

**NGUYỄN HOÀNG VIỆT (Chủ biên)
PHAN THỊ THANH BÌNH**


NGẮN MẠCH VÀ ỔN ĐỊNH TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

EBOOKBKMT.COM
Tìm kiếm tài liệu miễn phí

THƯ VIỆN ĐH NHA TRANG



3000022735

 **NHÀ XUẤT BẢN
ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH**

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA**

**TS Nguyễn Hoàng Việt (Chủ biên)
TS Phan Thị Thanh Bình - KS Huỳnh Châu Duy**

NGẮN MẠCH VÀ ỔN ĐỊNH TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

(Tái bản lần thứ ba)

EBOOKBKMT.COM
Tìm kiếm tài liệu miễn phí

**NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC QUỐC GIA
TP HỒ CHÍ MINH - 2011**

MỤC LỤC

Lời nói đầu	5
PHẦN 1	
NGẮN MẠCH TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN	7
Chương 1	
ĐẶC ĐIỂM DÒNG ĐIỆN NGẮN MẠCH	9
1.1 Ngắn mạch với nguồn cung cấp không đổi (<i>điểm ngắn mạch xa nguồn máy phát</i>)	10
1.2 Ngắn mạch xảy ra gần đầu cực máy phát điện đồng bộ	18
1.3 Đặc tính ngắn mạch của tải động cơ	27
1.4 Đặc tính ngắn mạch hệ thống điện công nghiệp	31
Chương 2	
TÍNH TOÁN NGẮN MẠCH ĐỐI XỨNG	35
2.1 Phương pháp tính trong đơn vị có tên	36
2.2 Phương pháp phần trăm	41
2.3 Phương pháp đơn vị tương đối	41
2.4 Các bước tính toán ngắn mạch trong đơn vị tương đối	44
2.5 Tính toán ngắn mạch dùng ma trận tổng trở thanh cái (<i>nút</i>)	55
Chương 3	
SỰ CỐ BẤT ĐỐI XỨNG	84
3.1 Các thành phần đối xứng	84
3.2 Các mạch thứ tự và các tổng trở thứ tự của các phần tử hệ thống điện	98
Chương 4	
TÍNH TOÁN SỰ CỐ BẤT ĐỐI XỨNG	145
4.1 Tổng quát	145
4.2 Ngắn mạch ba pha	154
4.3 Ngắn mạch một pha chạm đất ($N^{(1)}$)	155
4.4 Ngắn mạch hai pha không chạm đất	161
4.5 Ngắn mạch hai pha chạm đất	166
4.6 Sự cố hở pha	171
4.7 Tính toán sự cố phức hợp	184
4.8 Một vài ví dụ tính ngắn mạch bất đối xứng	191
4.9 Bảng tổng kết các sơ đồ liên kết thứ tự và công thức tính các dạng sự cố khác nhau	207

Chương 5

TÍNH TOÁN DÒNG NGẮN MẠCH TRONG CÁC TRƯỜNG HỢP RIÊNG: MẠNG TRUYỀN TẢI, MẠNG PHÂN PHỐI VÀ MẠNG HẠ THỂ	209
5.1 Tính toán ngắn mạch trong mạng truyền tải	209
5.2 Tính toán ngắn mạch trong mạng phân phối	226
5.3 Tính toán ngắn mạch trong mạng hạ thế	235

PHẦN 2

ỔN ĐỊNH TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN	243
------------------------------------	------------

Chương 6

KHÁI NIỆM CHUNG	245
6.1 Khái niệm, giả thiết, mục tiêu	245

Chương 7

ỔN ĐỊNH TĨNH HỆ THỐNG ĐIỆN	252
7.1 Tiêu chuẩn năng lượng	252
7.2 Phương pháp dao động bé	258

Chương 8

ỔN ĐỊNH ĐỘNG	270
8.1 Phương pháp diện tích	270
8.2 Các phương pháp tích phân số	279

Chương 9

ỔN ĐỊNH ĐIỆN ÁP	287
9.1 Khái niệm	287
9.2 Các tiêu chuẩn ổn định	290
9.3 Sụp đổ điện áp	293

Chương 10

CÁC BIỆN PHÁP NÂNG CAO TÍNH ỔN ĐỊNH	297
10.1 Các biện pháp cải thiện ổn định	297
10.2 Ví dụ về một vài sự cố gây mất ổn định	298

PHẦN PHỤ LỤC

Phụ lục 1

GIẢI BẰNG PHẦN MỀM MATLAB VÍ DỤ 2.11	303
---	------------

Phụ lục 2

GIẢI BẰNG PHẦN MỀM MATLAB VÍ DỤ 2.6	312
--	------------

Phụ lục 3

324

Tài liệu tham khảo

370

Lời nói đầu

Quyển NGẮN MẠCH VÀ ỔN ĐỊNH TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN được soạn gồm 2 phần, 10 chương và phụ lục. Phần 1 - Ngắn mạch trong hệ thống điện gồm 5 chương do tác giả TS Nguyễn Hoàng Việt biên soạn. Phần 2 - Ổn định trong hệ thống điện gồm 5 chương do tác giả TS Phan Thị Thanh Bình biên soạn. Phần phụ lục giải các ví dụ tính toán ngắn mạch bằng phần mềm Matlab do KS Huỳnh Châu Duy áp dụng tính toán.

NGẮN MẠCH VÀ ỔN ĐỊNH TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN được soạn cho sinh viên ngành điện Trường Đại học Bách khoa - Đại học Quốc gia TP HCM. Quyển sách này có thể dùng làm tài liệu tham khảo cho các chuyên viên kỹ thuật ngành điện, học viên cao học ngành điện.

Lần tái bản này có sửa chữa và bổ sung phần sự cố tổng hợp và không thể tránh khỏi sai sót. Chúng tôi mong nhận được sự đóng góp ý kiến của các đồng nghiệp và quý độc giả để lần tái bản sau sẽ hoàn chỉnh hơn. Mọi ý kiến đóng góp xin gửi về Bộ môn Hệ thống điện, Bộ môn Cung cấp điện, Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Quốc gia TP HCM, 268 Lý Thường Kiệt, Q.10, Tp.HCM, ĐT: (08) 8651801 - (08) 8655352.

Các tác giả



EBOOKBKMT.COM
Tìm kiếm tài liệu miễn phí

PHẦN 1

NGẮN MẠCH TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

ĐẶC ĐIỂM DÒNG ĐIỆN NGẮN MẠCH

Ngắn mạch trong hệ thống điện chỉ hiện tượng các dây dẫn pha chạm nhau, chạm đất (trong hệ thống điện có trung tính nối đất) hoặc chạm dây trung tính. Lúc ngắn mạch xảy ra, tổng trở của hệ thống giảm đi, các đại lượng mạch, điện áp và dòng điện sẽ bị thay đổi và mạch trải qua quá trình quá độ đến duy trì.

Ngắn mạch thường là ngắn mạch thoáng qua, là loại ngắn mạch có thể tự hết và khi được loại trừ bằng tác động tức thời của máy cắt thì sẽ không xuất hiện ngắn mạch trở lại khi đóng máy cắt sau đó. Sét là nguyên nhân thường gây ra ngắn mạch thoáng qua nhất, bên cạnh đó còn có những nguyên nhân khác như sự lắc lư của dây dẫn gây ra phóng điện và sự va chạm của các vật khác bên ngoài đường dây, chẳng hạn như một cành cây rơi vào đường dây cao thế. Điện áp cao được gây ra do sét giữa dây dẫn và cột gây ra sự ion hóa, tạo một đường dẫn điện từ đất đến dây dẫn. Trở kháng đất nhỏ cho phép dòng điện lớn từ dây dẫn đến đất và xuyên qua đất đến trung tính nối đất của máy phát hoặc của máy biến thế, hình thành mạch khép kín.

Ngắn mạch lâu dài, khác với ngắn mạch thoáng qua, là loại ngắn mạch vẫn còn tồn tại khi đóng máy cắt trở lại sau tác động cắt tức thời nếu không có biện pháp xử lý. Ngắn mạch lâu dài có nguyên nhân do dây chạm đất, do sứ cách điện bị vỡ, do hư hỏng cách điện, do bộ phận bảo vệ quá điện áp xung bị hỏng.

Ngắn mạch trong hệ thống điện được chia thành ngắn mạch ba pha đối xứng và ngắn mạch không đối xứng. Các dạng ngắn mạch không đối xứng là ngắn mạch chạm đất một pha ($N^{(1)}$, 1LG), ngắn mạch hai pha không chạm đất ($N^{(2)}$, L-L), và ngắn mạch hai pha chạm đất ($N^{(1,1)}$, 2LG). Ngắn mạch ba pha ($N^{(3)}$, 3PH) được định nghĩa là ngắn mạch xảy ra đồng thời ở cả ba pha. Tuy không thường xảy ra, nhưng đây là loại sự cố nặng nề nhất. Do tính đối xứng, việc tính toán ngắn mạch dạng này có thể thực hiện trên một pha. Kinh nghiệm cũng đã cho thấy khoảng 70 và 80% ngắn mạch trên đường dây truyền tải là ngắn mạch một pha chạm đất, nó xuất hiện thường là do sự phóng tia lửa điện của một dây và cột. Gần 5% các trường hợp ngắn mạch là ngắn mạch ba pha. Tất cả các loại ngắn mạch trên, ngoại trừ dạng ngắn mạch ba pha đều dẫn đến dòng ngắn mạch không

cân bằng giữa các pha, và vì vậy được gọi là ngắn mạch không đối xứng.

Quá trình quá độ dòng ngắn mạch phụ thuộc vào thời điểm xảy ra ngắn mạch, nguồn có thể cung cấp dòng ngắn mạch, tình trạng tải, vị trí điểm ngắn mạch, thời gian ngắn mạch, cấu trúc hệ thống và đặc điểm của các phần tử trong hệ thống điện.

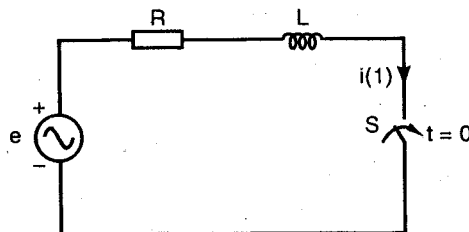
Dòng điện tức thời chạy qua các phần tử của hệ thống, ngay sau khi xảy ra sự cố ngắn mạch thì không giống như sau đó vài chu kỳ trước khi máy cắt được mở ở hai đầu đường dây sự cố. Và dòng điện tại cả hai thời điểm trên cũng khác rất nhiều so với dòng điện ngắn mạch duy trì nếu ngắn mạch không được cô lập bởi máy cắt. Thời gian cô lập ngắn mạch sẽ ảnh hưởng đến sức chịu đựng của trang thiết bị có dòng ngắn mạch đi qua và tính ổn định của hệ thống. Sự lựa chọn thích hợp máy cắt phụ thuộc vào hai yếu tố là dòng điện ngay khi ngắn mạch xảy ra và dòng điện mà máy cắt phải cắt. Thông số tìm được từ việc tính toán ngắn mạch được dùng để:

- Chọn trang thiết bị thích hợp .
- Tính toán giá trị đặt role điều khiển máy cắt.
- Giải dòng ngắn mạch trong hệ thống.
- Nghiên cứu ổn định hệ thống.

1.1 NGẮN MẠCH VỚI NGUỒN CUNG CẤP KHÔNG ĐỐI (ĐIỂM NGẮN MẠCH XA NGUỒN MÁY PHÁT)

1.1.1 Hệ thống một pha không tải

Để làm rõ quá trình quá độ và việc tính toán dòng ban đầu khi một hệ thống bị ngắn mạch, ta xem hiện tượng gì xảy ra khi điện áp ac được đưa vào một mạch gồm các phần tử có tính chất điện trở và điện cảm (H.1.1). Giả sử điện áp đưa vào là $u = U_{\max} \sin(\omega t + \alpha)$, với $t = 0$ là thời điểm khóa S khép kín mạch.



Hình 1.1: Nguồn hình sin cung cấp cho mạch RL nối tiếp

Phương trình vi phân biểu diễn mạng:

$$U_{\max} \sin(\omega t + \alpha) = Ri + L \frac{di}{dt} \quad (1.1)$$

Dòng ngắn mạch là nghiệm của phương trình trên:

$$i_N = \frac{U_{\max}}{Z} [\sin(\omega t + \alpha - \theta) - e^{-Rt/L} \sin(\alpha - \theta)] \quad (1.2)$$

$$i_N = \frac{U_{\max}}{Z} [\sin(\omega t + \alpha - \theta) - e^{-t/T_{dc}} \sin(\alpha - \theta)] \quad (1.3)$$

$$i_N = \sqrt{2}I'' [\sin(\omega t + \alpha - \theta) - e^{-t/T_{dc}} \sin(\alpha - \theta)] = i_{ac} + i_{dc} \quad (1.4)$$

với: $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$ và $\theta = \text{tg}^{-1}(\omega L/R)$ (1.5)

U - giá trị hiệu dụng nguồn áp ac

Z - tổng trở nhìn từ điểm ngắn mạch về nguồn, (tổng trở ngắn mạch hệ thống)

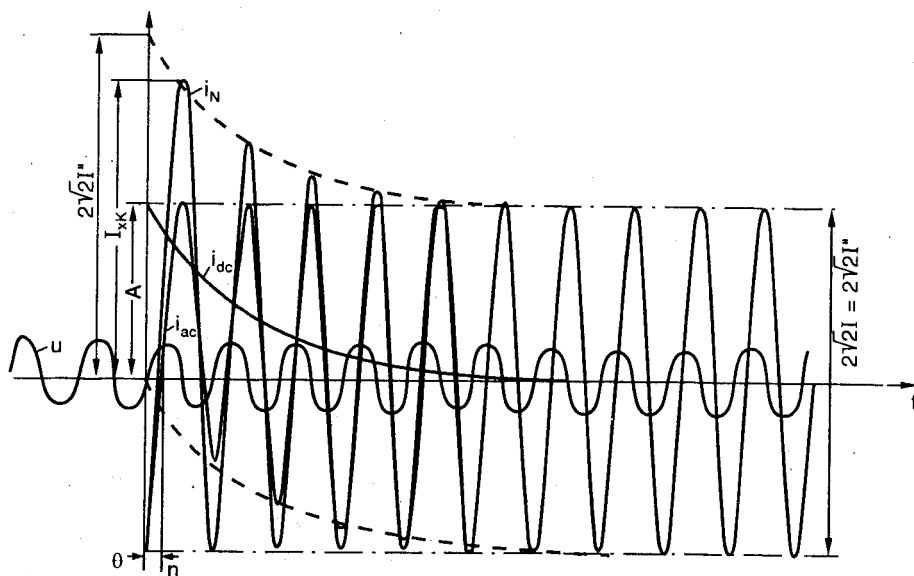
α - góc pha tại thời điểm ngắn mạch (đóng khóa S)

θ - góc tổng trở ngắn mạch hệ thống

$T_{dc} = \frac{L}{R}$ - hằng số thời gian thành phần một chiều dc

I'' - trị hiệu dụng thành phần chu kỳ.

Dòng điện quá độ i_N được vẽ ở hình 1.2



I_{xk} - dòng xung kích - dòng ngắn mạch bất đối xứng cực đại

$A = i_{dc0}$ - trị số ban đầu của thành phần không chu kỳ

i_{dc} - thành phần không chu kỳ (thành phần dc, thành phần tự do)

i_{ac} - thành phần chu kỳ

i_N - dòng ngắn mạch.

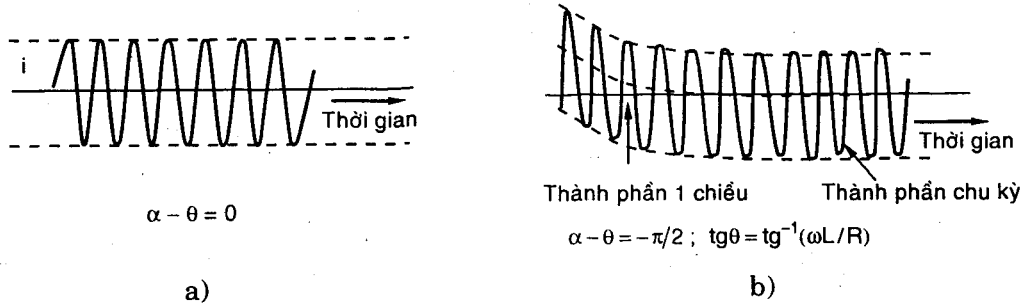
Hình 1.2: Dạng sóng dòng ngắn mạch

Số hạng đầu tiên của phương trình (1.2) là thành phần chu kỳ thay đổi dạng sin theo thời gian.

Số hạng thứ hai là thành phần không chu kỳ và giảm theo hàm mũ với hằng số thời gian $T_{dc} = L/R$. Thành phần không chu kỳ này được gọi là thành phần một chiều của dòng điện.

Số hạng hình sin là giá trị xác lập của dòng điện trong mạch RL khi cho điện áp hình sin vào mạch. Nếu giá trị của thành phần xác lập khác 0 khi $t = 0$, thành

phần một chiều tồn tại để đáp ứng điều kiện vật lý của dòng zero tại thời điểm đóng công tắc. Chú ý rằng thành phần một chiều sẽ không tồn tại nếu mạch được đóng tại một thời điểm của sóng điện áp lúc $\alpha - \theta = 0$ hay $\alpha - \theta = \pi$ (H.1.3a). Nếu tiếp điểm được đóng lại tại một thời điểm trên sóng điện áp lúc $\alpha - \theta = \pm \pi/2$, thành phần một chiều có giá trị ban đầu cực đại, bằng giá trị cực đại của thành phần hình sin.



Hình 1.3: Đồ thị dòng điện theo thời gian trong mạch RL

Hình 1.3b biểu diễn dòng điện theo thời gian khi $\alpha - \theta = -\pi/2$.

Điện áp là $V_{\max} \sin(\omega t + \alpha)$ tại $t = 0$.

Thành phần một chiều có thể có bất kỳ giá trị nào từ $0 \div \frac{U_{\max}}{|Z|}$, phụ thuộc vào giá trị tức thời của điện áp tại thời điểm đóng mạch và tỷ số R/L của mạch. Tại thời điểm đưa điện áp vào, thành phần một chiều và thành phần xác lập luôn luôn có cùng độ lớn nhưng trái dấu để biểu diễn giá trị 0 của dòng điện tức thời hiện hữu.

Chúng ta lưu ý vài đại lượng đặc trưng của dòng ngắn mạch quá độ.

1- Dòng điện ngắn mạch xung kích (giá trị đỉnh của dòng ngắn mạch bất đối xứng)

Hình 1.2 ứng với trường hợp dòng ngắn mạch xung kích lớn nhất tương ứng với biên độ thành phần chu kỳ i_{ac} lớn nhất và thành phần không chu kỳ i_{dc} xuất hiện cực đại. Theo hình 1.2:

- Trị số xung kích xuất hiện ở chu kỳ đầu vào thời điểm gần với thời điểm $t = T/2$ (T là chu kỳ tần số nguồn hình sin).

- Dòng xung kích phụ thuộc vào hằng số thời gian T_{dc} và có giá trị nằm trong giới hạn $\sqrt{2}I < I_{xk} < 2\sqrt{2}I$.

- Dòng ngắn mạch xung kích lớn nhất khi $R = 0$ ($T_{dc} \rightarrow \infty$), mạch có tính thuần cảm.

2- Trị số hiệu dụng của dòng ngắn mạch toàn phần được định nghĩa

$$I_t = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t-T/2}^{t+T/2} i_N^2 dt} \quad (1.6)$$

với T là chu kỳ của dòng điện xoay chiều tần số công nghiệp.

Trong trường hợp tổng quát, dạng sóng quá độ dòng ngắn mạch toàn phần phức tạp nên việc tính toán khó khăn. Một cách gần đúng người ta tính trị số hiệu dụng của dòng ngắn mạch theo công thức:

$$I_t = \sqrt{I_{ac}^2 + I_{dc}^2(t)} \quad (1.7)$$

với: I_{ac} - trị số hiệu dụng thành phần chu kỳ của dòng ngắn mạch

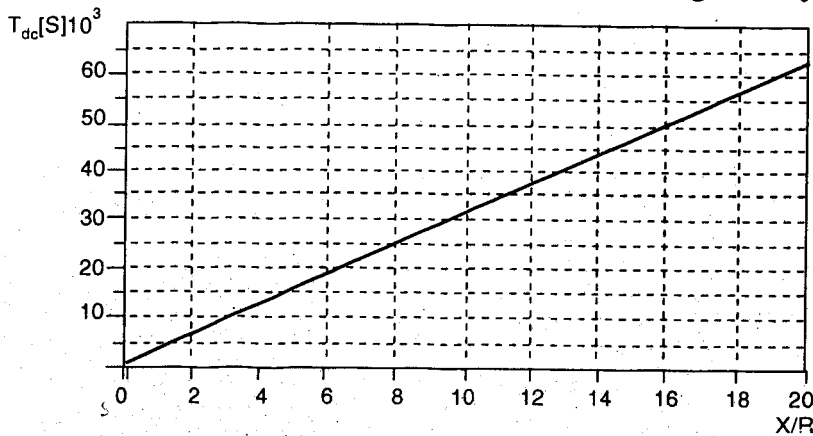
$I_{dc}(t)$ - trị số của dòng một chiều tại thời điểm tính toán t .

3- Hằng số thời gian T_{dc}

Hằng số T_{dc} phụ thuộc vào tỷ số X/R ; T_{dc} được xác định như sau:

$$T_{dc} = \frac{L}{R} = \frac{\omega L}{\omega R} = \frac{X/R}{\omega} = \frac{X/R}{100\pi} = \frac{X}{R} \cdot 3,18 \cdot 10^{-3} s \quad (1.8)$$

Trị số của X/R có giá trị khoảng 10+20. Mạng điện có điện áp càng cao thì tỷ số X/R càng lớn. Hình 1.4 cho trị số thời gian T_{dc} của hệ thống theo tỷ số X/R .



Hình 1.4: Hằng số thời gian T_{dc} của hệ thống điện

Thành phần quá độ của dòng điện sẽ giảm còn $1/e$ của giá trị ban đầu trong khoảng thời hằng C . Ví dụ trong một đơn vị thời hằng, quá độ sẽ giảm $1/e$ hay khoảng 36,8% trị số ban đầu. Trong mạng điện điện thế thấp, tỷ số $X/R \approx 8$ và hằng số thời gian là $\frac{8}{100\pi} \approx 0,025s$, nghĩa là dòng quá độ còn 36,8% trị số ban đầu khoảng 0,025s hay khoảng hơn một chu kỳ.

Ở mạng điện hạ thế, bảo vệ rơle tác động khoảng vài chu kỳ, vì thế dòng quá độ sẽ giảm vài lần trị số thời hằng trước khi máy cắt mở. Tuy nhiên, trên mạng điện có điện thế cao với $X/R = 20$, để giảm 36,8% thì phải mất hơn $\frac{20}{100\pi} \approx 0,0636s$ (hơn 3 chu kỳ). Điều này cần lưu ý khi chọn và tính toán từng thiết bị và bảo vệ cho mạng điện siêu cao thế.

4- Công suất ngắn mạch

Người ta định nghĩa công suất ngắn mạch là:

$$S_N = \sqrt{3} U_{tb} I_{tt} \quad (1.9)$$

với: U_{tb} - điện áp trung bình tại thời điểm ngắn mạch trước khi xảy ra ngắn mạch

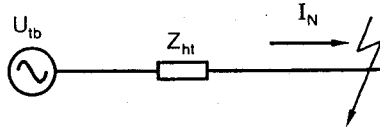
I_{tt} - trị số hiệu dụng của dòng ngắn mạch tính tại thời điểm tính toán t .

Công suất ngắn mạch được sử dụng để tính:

- Chọn lựa máy cắt:

$$S_{cắt MC} \geq S_{Nt} \quad (1.10)$$

- Tổng trở tương đương đẳng trị của hệ thống tới điểm có công suất ngắn mạch S_N .

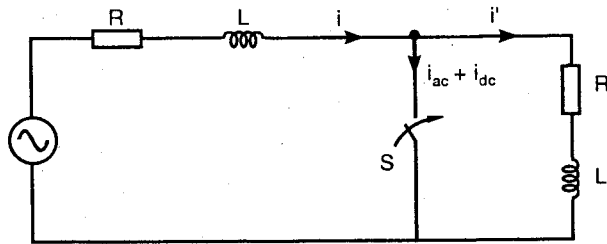


Hình 1.5: Đẳng trị hệ thống đến điểm ngắn mạch

$$\text{vì: } S_N = \sqrt{3} U_{tb} I_N = \frac{U_{tb}^2}{Z_{ht}} \quad (1.11)$$

$$\text{nên: } Z_{ht} = \frac{U_{tb}^2}{S_N} \quad (1.12)$$

1.1.2 Hệ thống một pha có tải



Hình 1.6: Mạch tương đương khi ngắn mạch có tải

Khảo sát hiện tượng dòng ngắn mạch khi hệ thống một pha đang có tải được biểu diễn bằng mạch tương đương hình 1.6.

Tải được thay thế bằng tổng trở $Z' = R' + jL'\omega = R' + jX'$ đang tải dòng i' .

Trước thời điểm khóa S (ngắn mạch) $i = i'$.

Tại thời điểm khóa S đóng:

$$i = i_{ac} + i' + i_{dc} \quad (1.13)$$

$$i = \sqrt{2}I'' \{ \sin(\omega t + \alpha - \theta) + [\frac{I'}{I''} \sin(\alpha - \theta_\Sigma) - \sin(\alpha - \theta)] e^{\frac{-t}{T_{dc}}} \} \quad (1.14)$$

với θ_Σ là góc tổng trở của toàn mạng:

$$\theta_\Sigma = \operatorname{arctg} \frac{\omega(X + X')}{R + R'} \quad (1.15)$$

Số hạng đầu tiên của phương trình (1.14) tương ứng với thành phần dòng ngắn mạch ac duy trì.

Số hạng thứ hai là trị số tức thời của dòng điện tải tại thời điểm ngắn mạch ($t = 0$).

Số hạng thứ ba là thành phần một chiều dc .

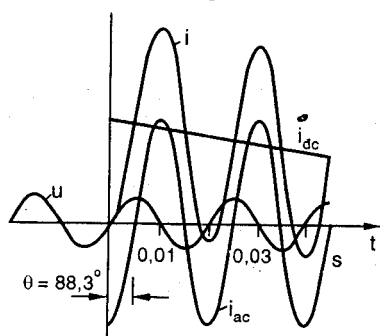
Hai số hạng sau giảm dần theo thời hằng T_{dc} .

Để làm rõ hơn ảnh hưởng của tải trên dòng ngắn mạch hay không ta khảo sát dạng sóng dòng ngắn mạch trong các trường hợp sau:

a) $\frac{X}{R} = \frac{X'}{R'} = 33$ ($\theta = \theta' = 88,3X$) với $\theta = \text{artg} \frac{X}{R}$; $\theta' = \text{artg} \frac{X'}{R'}$

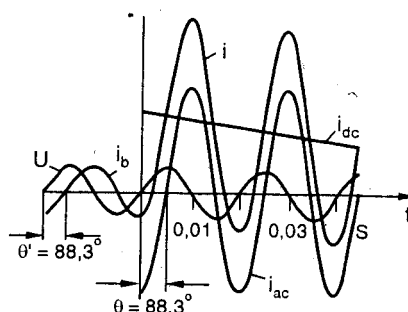
$\theta = 90^\circ$ tương ứng ngắn mạch trên mạng cao thế.

$\theta' = 90^\circ$ tương ứng với tải có $\cos\varphi$ thấp.



$\alpha = 0$; $\frac{X}{R} = 33$; $T_{dc} = 0,11s$

a)



$\alpha = 0$; $\frac{X}{R} = \frac{X'}{R'} = 33$; $T_{dc} = 0,11s$

b)

Hình 1.7: Dạng sóng dòng khi ngắn mạch lúc có tải và không tải

(trường hợp $\frac{X}{R} = \frac{X'}{R'} = 33$ và $\alpha = 0$)

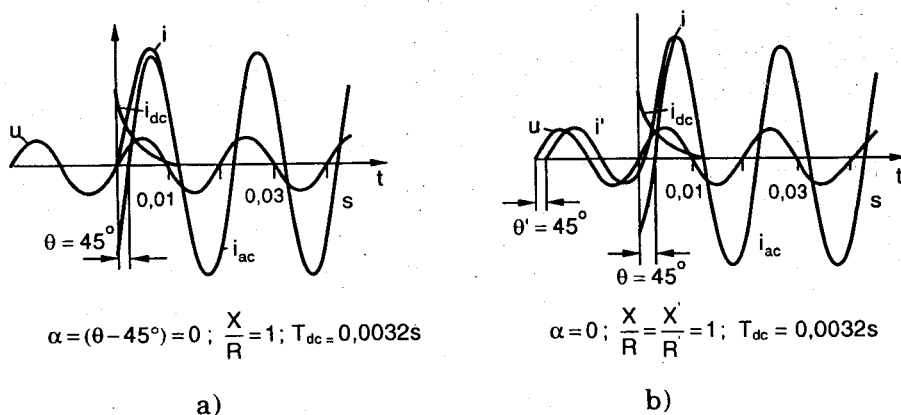
Tại thời điểm khóa S đóng ($t = 0$), $\alpha = 0$, ta vẽ dạng sóng dòng ngắn mạch cho trường hợp ngắn mạch lúc không tải (mạch tương đương hình 1.1) và cho trường hợp ngắn mạch có tải (mạch tương đương hình 1.6) trên hình 1.7a,b tương ứng.

b) $\frac{X}{R} = \frac{X'}{R'} = 1$

$\frac{X}{R} = 1$ tương ứng ngắn mạch ở mạng trung và hạ thế

$\frac{X'}{R'} = 1$ tương ứng với tải cảm có dòng tải trễ pha so với áp một góc 45° .

Dạng sóng khi ngắn mạch lúc không tải và có tải trong trường hợp này cho ở hình 1.8a,b tương ứng.

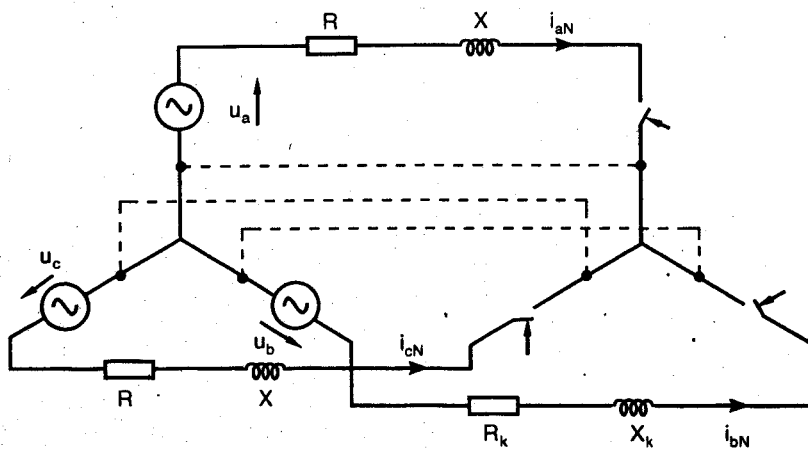


Hình 1.8: Dạng sóng dòng ngắn mạch lúc không tải và có tải (trường hợp $\frac{X}{R} = \frac{X'}{R'} = 1$)

Nhận xét: Trong cả hai trường hợp, dòng ngắn mạch i đều bắt đầu từ giá trị tức thời của dòng tải (i') tại thời điểm ngắn mạch. Để thỏa mãn điều kiện này thì giá trị ban đầu của thành phần dc phải bằng và ngược dấu với hiệu của giá trị tức thời ($i_{ac} - i'$).

So sánh các hình trên nhận thấy rằng thành phần ngắn mạch ac thì bằng nhau, trong khi thành phần dc ban đầu của trường hợp ngắn mạch lúc có tải thì giảm. Do đó giá trị đỉnh cực đại của dòng ngắn mạch lúc không tải thì lớn hơn trong trường hợp ngắn mạch có tải.

1.1.3 Hệ thống ba pha



Hình 1.9: Mạch tương đương hệ thống ba pha không tải

Hệ thống ba pha đối xứng có thể biểu diễn bằng một mạch tương đương như hình 1.9 - ba điện áp nguồn:

$$u_a = \sqrt{2}U \sin(\omega t)$$

$$u_b = \sqrt{2}U \sin(\omega t + 240^\circ)$$

$$u_c = \sqrt{2}U \sin(\omega t + 120^\circ)$$

Các tổng trở $Z = R + jX$ trên ba pha giống nhau.

Trước thời điểm xảy ra ngắn mạch ($t = 0$), dòng trên ba pha bằng 0.

Khi ngắn mạch xảy ra, ba khóa S cùng đóng một lúc. Trong trường hợp này là ngắn mạch ba pha đối xứng, do đó có thể chia hệ thống ba pha thành ba mạch đơn pha (như đường vẽ đứt nét hình 1.9).

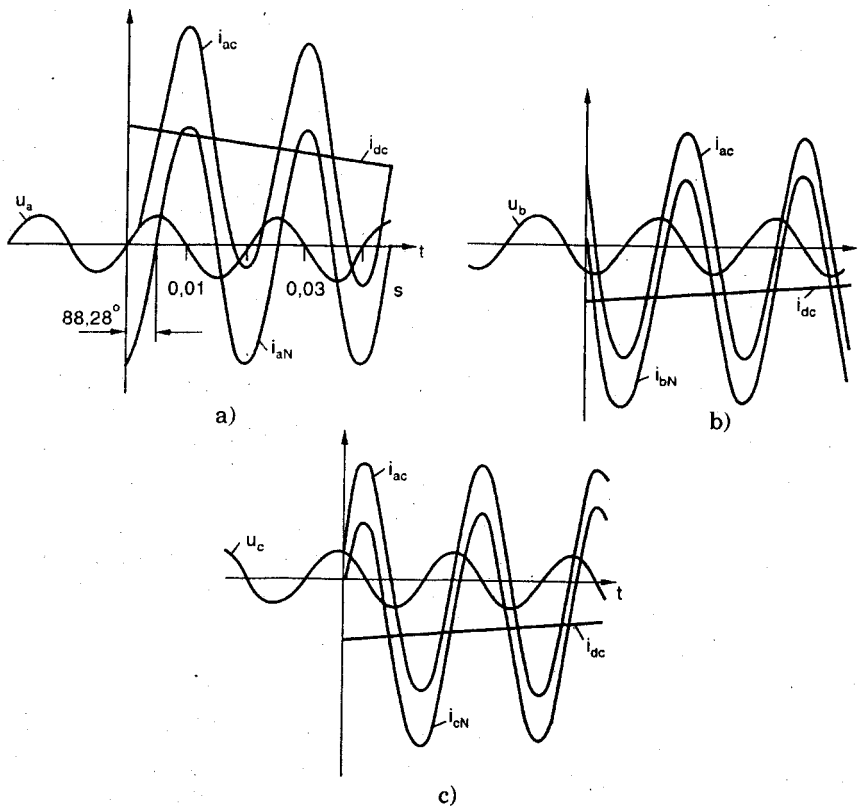
Dòng ngắn mạch được cho bởi ba phương trình:

$$i_a = \sqrt{2}I'' [\sin(\omega t + \alpha - \theta) - e^{-\frac{t}{T}} \sin(\alpha - \theta)]$$

$$i_b = \sqrt{2}I'' [\sin(\omega t + \alpha - \theta + 240^\circ) - e^{-\frac{t}{T}} \sin(\alpha - \theta + 240^\circ)]$$

$$i_c = \sqrt{2}I'' [\sin(\omega t + \alpha - \theta + 120^\circ) - e^{-\frac{t}{T}} \sin(\alpha - \theta + 120^\circ)]$$

Dạng sóng dòng ngắn mạch của ba pha khi thời điểm xảy ra ngắn mạch lúc điện áp u_a qua zero, nghĩa là lúc $\alpha = 0, \frac{X}{R} = 33, T_{dc} = 0,11s$ cho trên hình 1.10.



Hình 1.10: Dạng sóng dòng ngắn mạch của ba pha

So sánh dạng sóng hình 1.7a và 1.10a, nhận thấy chúng tương tự nhau (với dữ liệu hệ thống giống nhau). Thành phần dòng ngắn mạch ac của pha b và pha c nhỏ hơn khoảng 1/2 lần pha a. Trị ban đầu của thành phần một chiều pha b và pha c cũng bằng 1/2 và ngược dấu với pha a. Do đó dòng ngắn mạch toàn phần hai pha b và c nhỏ đáng kể so với dòng ngắn mạch pha a.

Trong thực tế, khi tính toán dòng ngắn mạch người ta quan tâm tới giá trị lớn nhất, tính toán dòng ngắn mạch ba pha đối xứng chỉ cần tính trên một pha -

tương ứng với trường hợp mạng điện không tải trước lúc xảy ra ngắn mạch và thời điểm xảy ra ngắn mạch lúc góc pha của điện áp nguồn một pha $\alpha = 0$ (lúc đó giá trị ban đầu thành phần một chiều bằng với giá trị cực đại của thành phần xoay chiều) (H.1.2).

1.2 NGẮN MẠCH XẢY RA GẦN ĐẦU CỰC MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

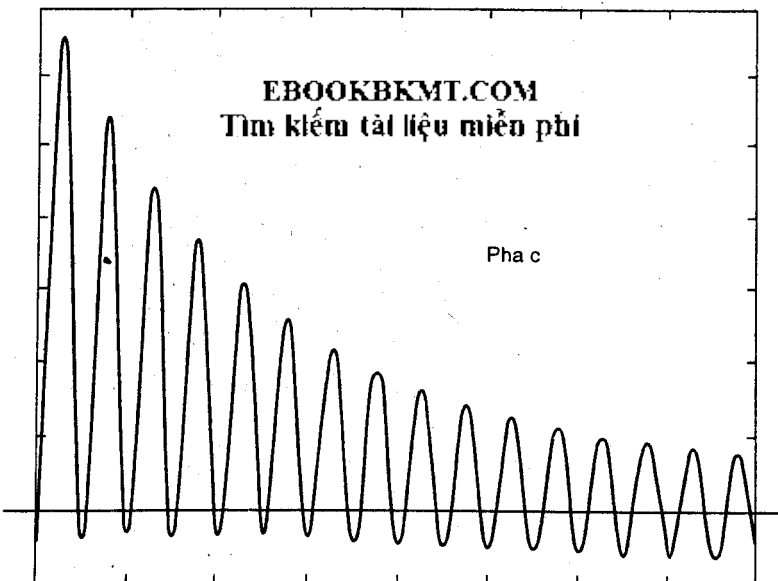
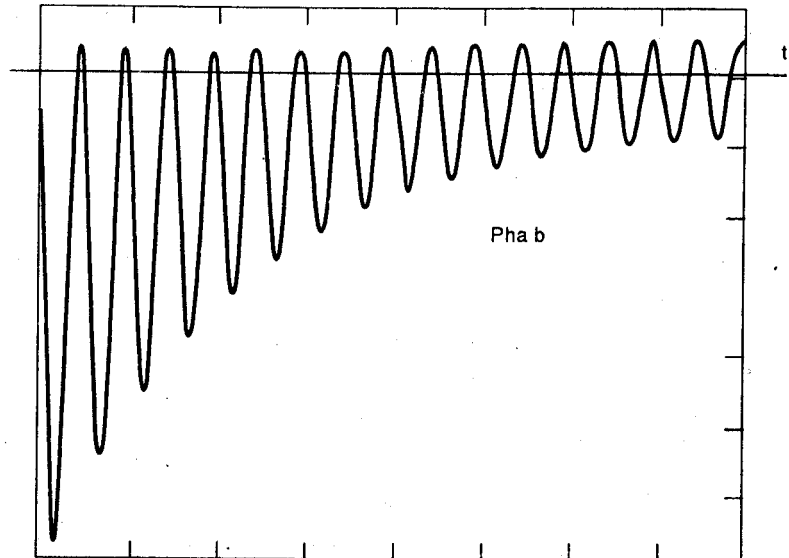
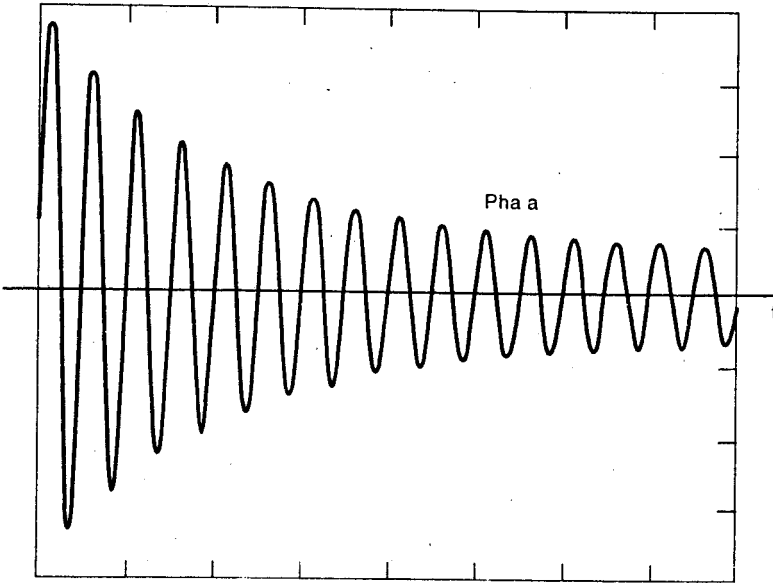
1.2.1 Kháng trở đồng bộ, quá độ, siêu quá độ máy phát điện

Chúng ta đã biết nguyên lý làm việc của máy phát điện đồng bộ là từ trường quay sẽ sinh ra điện áp trong cuộn dây của phần ứng gồm điện trở và kháng trở. Dòng điện trong cuộn dây phần ứng khi máy phát bị ngắn mạch thì cũng tương tự như dòng điện khi điện áp xoay chiều đột ngột đặt lên mạch điện trở và kháng trở nối tiếp. Tuy nhiên, có vài sự khác nhau quan trọng giữa chúng, do dòng điện trong các cuộn cảm và ảnh hưởng phần ứng đến từ trường quay.

Khi một sự cố xảy ra ở một mạng điện, dòng điện ngắn mạch được xác định bởi sức điện động của máy trong mạng điện, bởi các tổng trở của chúng và bởi các tổng trở trong mạng giữa các máy phát và chỗ sự cố. Dòng điện trong máy đồng bộ ngay sau khi xảy ra sự cố khác với dòng điện trong vài chu kỳ sau đó và khác với dòng điện sự cố duy trì, là do ảnh hưởng của dòng điện sự cố trong phần ứng lên từ thông sinh ra điện áp trong máy. Do sự thay đổi giá trị ở điện kháng của máy đồng bộ mà dòng điện thay đổi tương đối chậm từ trị số ban đầu sang trị số duy trì.

Như đã khảo sát điện áp xoay chiều đột ngột được cấp cho một mạch nối tiếp $R-L$, dòng điện chạy trên đó thường có hai thành phần - một thành phần điện một chiều, suy giảm theo hằng số thời gian L/R của mạch và một thành phần dao động điều hòa với biên độ không đổi. Một hiện tượng tương tự những phức tạp hơn sẽ xảy ra khi một ngắn mạch đột ngột xuất hiện tại các đầu cực của một máy đồng bộ. Các dòng điện pha phát sinh trong máy sẽ có các thành phần một chiều, làm cho chúng lệch khỏi trục thời gian hay không đối xứng khi được vẽ theo thời gian.

Một phương pháp dễ hiểu để phân tích hiệu ứng của một ngắn mạch ba pha ở các đầu cực của một máy phát điện không tải là quan sát dạng sóng dòng điện của một trong các pha ngay khi xảy ra sự cố. Vì các điện áp phát ra ở các pha của một máy ba pha lệch nhau 120° , nên ngắn mạch sẽ xảy ra ở các điểm khác nhau trên sóng điện áp của mỗi pha. Vì lý do này, thành phần quá độ điện một chiều sẽ khác nhau ở mỗi pha, và do đó dòng điện ngắn mạch trên mỗi pha sẽ khác nhau ở giai đoạn siêu quá độ và quá độ. Hình 1.11 thể hiện dòng điện ngắn mạch trên mỗi pha theo thời gian, với giả thiết ngắn mạch tại thời điểm mà ở pha a không có thành phần một chiều.



Hình 1.11: Dạng sóng dòng ngắn mạch trên ba pha khi xảy ra ngắn mạch tại đầu cực máy phát

Sự suy giảm của dòng ngắn mạch là do quá trình quá độ điện từ xảy ra trong máy phát điện và tác động lên sức điện động máy phát. Trong thực tế, khi khảo sát, biểu diễn, tính toán ngắn mạch, người ta giả sử sức điện động máy phát là hằng số và sự suy giảm dòng ngắn mạch ac là do sự gia tăng của kháng trở máy phát. Tương ứng với các giai đoạn của dòng ngắn mạch, các kháng trở dọc trục của máy phát là:

- Kháng trở đồng bộ x_d tương ứng với dòng ngắn mạch duy trì (trị hiệu dụng I).
- Kháng trở quá độ x'_d tương ứng với dòng ngắn mạch quá độ (trị hiệu dụng I').
- Kháng trở siêu quá độ x''_d tương ứng với dòng ngắn mạch siêu quá độ (trị hiệu dụng I'').

Máy điện đồng bộ có điện kháng khác nhau khi xảy ra các sự cố ngắn mạch ở các đầu cực. Ngay khi xảy ra ngắn mạch, phần ứng của máy hoạt động với một kháng trở hiệu dụng X'_d , kết hợp với một điện trở hiệu dụng của các mạch cản để xác định một hằng số thời gian siêu quá độ ngắn mạch trên trục dọc T''_d khoảng 0,003s.

Chu kỳ mà trong đó X'_d tồn tại được gọi là chu kỳ siêu quá độ và đây là các chu kỳ 3 và 4 đặc trưng của tần số hệ thống theo thời gian. Khi các dòng điện cuộn dây cản suy giảm đến mức không đáng kể, lúc ấy các dòng điện của máy suy giảm chậm hơn, với một hằng số thời gian quá độ ngắn mạch trục dọc T'_d được xác định bởi X'_d và điện trở máy phụ thuộc vào R_f của mạch kích từ.

Chu kỳ tồn tại X'_d được gọi là chu kỳ quá độ và T'_d khoảng trên dưới 1s.

Sau cùng, trong tình trạng ổn định được duy trì, điện kháng trục dọc và trục ngang $X_d = \omega L_d$ và $X_q = \omega L_q$ sẽ ảnh hưởng đến sự làm việc của máy cực lõi, giống như điện kháng đồng bộ X_d của máy đồng bộ rôto tròn ở trạng thái ổn định.

Các điện kháng khác nhau, được cung cấp bởi các nhà chế tạo máy thường được biểu diễn theo đơn vị tương đối trên lý lịch máy, trong khi đó các hằng số thời gian được tính bằng giây.

Phương trình biểu diễn dòng ngắn mạch tức thời để xảy ra ngắn mạch đến giai đoạn duy trì là:

$$i = E \left[\left(\frac{1}{x''_d} - \frac{1}{x'_d} \right) e^{-t/T''_d} + \left(\frac{1}{x'_d} - \frac{1}{x_d} \right) e^{-t/T'_d} + \frac{1}{x_d} \right] \sin(\omega t - \theta) + \frac{E}{x''_d} e^{-t/T''_d} \sin \theta \quad (1.16)$$

với E là trị hiệu dụng điện áp pha máy phát là hàm số của dòng kích từ.

Số hạng đầu của phương trình chính là thành phần siêu quá độ của dòng ngắn mạch ac.

Số hạng thứ hai là thành phần quá độ.

Số hạng thứ ba là thành phần duy trì.

Số hạng cuối cùng là thành phần dc .

Giả thiết tần số góc là hằng số trong điều kiện không tải, và lúc xảy ra ngắn mạch điện áp là 0.

Để dễ hiểu hơn quá trình quá độ xảy ra ngay sau thời điểm ngắn mạch đầu cực máy phát, ta khảo sát dòng ngắn mạch của pha không có thành phần một chiều.

Nếu thành phần một chiều của dòng điện không xuất hiện trong dòng điện của pha, và bỏ qua điện trở phần ứng, biên độ của thành phần điện xoay chiều của dòng điện pha được vẽ giảm theo thời gian (H.1.12) và thay đổi gần đúng theo:

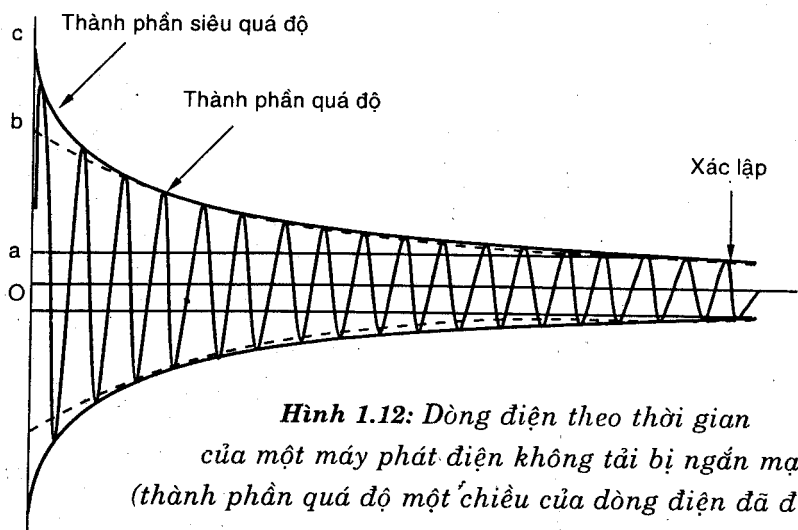
$$i(t) = E_i \left[\frac{1}{x_d} + \left(\frac{1}{x'_d} - \frac{1}{x_d} \right) e^{-t/T'_d} + \left(\frac{1}{x''_d} - \frac{1}{x'_d} \right) e^{-t/T''_d} \right] \quad (1.17)$$

Phương trình (1.17) chứng tỏ rõ ràng, dòng điện pha phần ứng với dòng điện một chiều đã bị khử có ba thành phần, hai trong chúng suy giảm với các mức độ khác nhau trong giai đoạn quá độ và siêu quá độ. Bỏ qua điện trở tương đối nhỏ của phần ứng, khoảng cách O-a ở hình 1.12 là trị số cực đại của dòng điện ngắn mạch duy trì, với trị số hiệu dụng I được cho bởi:

$$I = \frac{0-a}{\sqrt{2}} = \frac{E_i}{x_d} \quad (1.18)$$

Nếu đường bao của sóng dòng điện được kéo về phía gốc thời gian và bỏ qua vài chu kỳ đầu tiên trong đó dòng điện giảm rất nhanh, đoạn bị chắn là khoảng cách O-b. Trị số hiệu dụng của dòng điện được tượng trưng bởi đoạn chắn này được biết như dòng điện quá độ I' , xác định bởi:

$$I' = \frac{0-b}{\sqrt{2}} = \frac{E_i}{x'_d} \quad (1.19)$$



Trị số hiệu dụng của dòng điện được xác định bởi khoảng cách O-c gọi là dòng điện siêu quá độ I'' , được cho bởi:

$$I'' = \frac{0-c}{\sqrt{2}} = \frac{E_i}{x_d''} \quad (1.20)$$

Dòng điện siêu quá độ thường được gọi là dòng điện hiệu dụng đối xứng ban đầu. Khái niệm này có tính mô tả cao hơn vì nó truyền đạt được ý tưởng bỏ qua thành phần một chiều và nhấn mạnh đến trị số hiệu dụng của thành phần xoay chiều ngay sau khi xảy ra sự cố ($t \neq 0^+$). Các phương trình (1.19), (1.20) có thể được sử dụng để tính các thông số x_d' và x_d'' của máy khi giản đồ hình 1.12 chẳng hạn có tính chính xác cao. Mặt khác, các phương trình (1.19), (1.20) cũng chỉ ra phương pháp xác định dòng điện sự cố trong một máy phát điện khi biết điện kháng của nó.

Các hằng số thời gian (1.17) có thể được xác định từ giản đồ hình 1.12 hoặc bằng các công thức sau:

Hằng số thời gian T_d'' tương ứng với kháng trở x_d'' phụ thuộc vào đặc tính của mạch rôto nhất là cuộn dây cảm và được tính theo:

$$T_d'' = \frac{x_d'' + x_{ht}}{x_d' + x_{ht}} T_{d_0}'' \quad (1.21)$$

với: x_{ht} - tổng trở hệ thống;

T_{d_0}'' - hằng số thời gian dọc trục mạch hở siêu quá độ của máy phát

T_{d_0}'' có trị số khoảng 50ms nên $T_d'' < 50ms$ và $x_d' < x_d''$.

Khi ngắn mạch ở đầu cực máy phát, $x_{ht} = 0$ thì $T_d'' \approx 30 ms$, như vậy quá trình siêu quá độ xảy ra trong khoảng vài chu kỳ.

Hằng số thời gian quá độ T_d' có trị số lớn hơn và giai đoạn dòng ngắn mạch quá độ giảm chậm hơn. T_d' phụ thuộc vào đặc tính hãm của mạch kích từ và có trị số khác nhau. Khi ngắn mạch ba pha T_d' được tính từ công thức:

$$T_d' = \frac{x_d' + x_{ht}}{x_d + x_{ht}} T_{d_0}' \quad (1.22)$$

với T_{d_0}' là hằng số thời gian dọc trục quá độ mạch hở.

Khi ngắn mạch ở đầu cực máy phát, $x_{ht} = 0$ thì T_d' của máy phát tuabin hơi khoảng 1s và máy phát có cực ẩn T_d' khoảng 2s, đối với máy phát tuabin hơi công suất nhỏ, T_d' nhỏ hơn 0,2s.

Nếu trong hệ thống có tổng trở gồm điện trở có trị số tương đối lớn thì T_d' được xác định từ công thức:

$$T_d'' = \frac{R_{ht}^2 + (x_d' + x_{ht}) \cdot (x_d + x_{ht})}{R_{ht}^2 + (x_d + x_{ht})^2} T_{d_0}' \quad (1.23)$$

Hằng số thời gian T_{dc} phụ thuộc vào đặc tính hãm của mạch stato và tổng trở của hệ thống. T giống nhau cho các trường hợp dạng ngắn mạch khác nhau.

$$T_{dc} = \frac{X_2 + X_{ht}}{\omega(R_G + R_{ht})} \approx \frac{X_d'' + X_{ht}}{\omega(R_G + R_{ht})} \quad (1.24)$$

với R_G là điện trở của cuộn dây stato máy phát.

Khi ngắn mạch đầu cực máy phát có điện thế cao ($R_{ht} = X_{ht} = 0$), T_{dc} có trị số khoảng $0,07 \div 0,4s$. Đối với các máy phát điện thế thấp T_{dc} khoảng $0,01 \div 0,1s$. Bảng sau cho một vài giá trị hằng số thời gian tiêu biểu.

Bảng: Hằng số thời gian và các kháng trở máy phát điện

Đại lượng	Đơn vị	MF tuabin hơi	MF tuabin nước
x_d	Ω	1,4 – 1,8	0,98 – 1,1
x_d'	Ω	0,23 – 0,35	0,25 – 0,45
x_d''	Ω	0,15 – 0,23	0,2 – 0,35
T_{d_0}'	s	2,8 – 9,2	1,5 – 9,5
T_d'	s	0,4 – 1,8	0,5 – 3,3
T_d''	s	0,02 – 0,05	0,0 – 0,05
T_{dc}	s	0,04 – 0,35	0,03 – 0,3

1.2.2 Trị hiệu dụng dòng ngắn mạch

Dòng điện stato toàn phần là tổng của ba thành phần dòng ac và thành phần dc . Trị hiệu dụng đối xứng dòng toàn phần là:

$$I_{ac} = I_d + \Delta I' + \Delta I'' \quad (1.25)$$

với: I_d - trị hiệu dụng thành phần xác lập duy trì

$\Delta I', \Delta I''$ - độ gia tăng dòng thành phần quá độ và siêu quá độ:

$$\Delta I' = (I_d' - I_d) e^{-t/T'} \quad (1.26)$$

$$\Delta I'' = (I_d'' - I_d) e^{-t/T''} \quad (1.27)$$

Thành phần dc của dòng stato có thể lấy trị số bất kỳ nào từ trị số ban đầu tới I_d'' và giảm theo hằng số thời gian T_{dc} . Thành phần dc là:

$$I_{dc} = \sqrt{2} I_d'' e^{-t/T_{dc}} \quad (1.28)$$

Như vậy trị hiệu dụng dòng sự cố toàn phần gồm thành phần ac và dc là:

$$I = \sqrt{I_{ac}^2 + I_{dc}^2} \quad (1.29)$$

Chúng ta có thể tính dòng toàn phần tại thời điểm $t = 0$, lúc đó:

$$I_{\max} = \sqrt{2I_d'^2 + I_d''^2} = \sqrt{3}I_d'' \quad (1.30)$$

Độ suy giảm của hai thành phần *ac* và *dc* hoàn toàn khác. Độ suy giảm của thành phần *ac* phụ thuộc vào hằng số thời gian quá độ và siêu quá độ của máy phát còn độ suy giảm của thành phần *dc* phụ thuộc vào tỷ số *X/R* của hệ thống tới máy phát. Thực tế thành phần *dc* ảnh hưởng chính đến độ suy giảm dòng toàn phần.

Để hiểu rõ hơn ảnh hưởng của thành phần *dc* trên độ suy giảm dòng toàn phần, chúng ta quan sát mạch *R-L* có dòng ban đầu *dc* hằng số chạy qua: Nếu phần mạch *R-L* đột ngột bị ngắn mạch, dòng điện sẽ suy giảm theo phương trình:

$$i(t) = I_{dc} e^{-t/T_{dc}} = I_{dc} e^{-Rt/L} \quad (1.31)$$

với: $I_{dc} = \sqrt{2}I_{ac}$

Lúc đó dòng toàn phần:

$$I = \sqrt{I_{ac}^2 + 2I_{ac}^2 e^{-2Rt/L}} = I_{ac} \sqrt{1 + 2e^{-2Rt/L}} = K_a I_{ac} \quad (1.32)$$

$$\text{Hệ số } K_a = \sqrt{1 + 2e^{-\frac{2Rt}{L}}} = \sqrt{1 + 2\exp\left(\frac{-200\pi t}{X/R}\right)} \quad (1.33)$$

được gọi là hệ số không đối xứng.

Hình 1.10a biểu diễn dòng điện pha *a* đối xứng của máy phát khi sự cố xảy ra ở đầu cực máy phát. Điều này chỉ xảy ra khi góc pha của điện thế đúng bằng 0 khi ngắn mạch xảy ra và bỏ qua điện trở. Trong trường hợp này, dòng ngắn mạch đối xứng và được tính theo (1.25). Trong khi đó, thành phần một chiều dòng hai pha *b* và *c* giảm bằng và ngược nhau (H.1.11b,c).

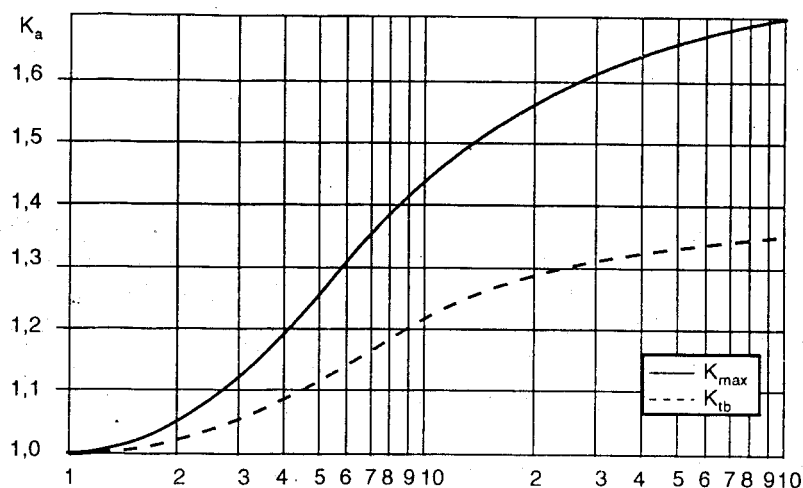
Hệ số K_a cực đại tại $t = 1/2$ chu kỳ và khác nhau trên mỗi pha. Chúng ta có thể tính trị số trung bình của hệ số K_a tại thời điểm $t = 1/2$ chu kỳ $= 1/100 = 0,01s$

$$K_{atb} = \sqrt{1 + \frac{8}{9} \exp\left(\frac{-2\pi}{X/R}\right)} \quad (1.34)$$

Chúng ta thấy rằng độ suy giảm *dc* phụ thuộc vào tỷ số *X/R* của hệ thống và trị số của K_a nằm giữa trị số cực đại và trung bình. Các giá trị của hệ số bất đối xứng được vẽ ở hình 1.13.

Dòng điện ngắn mạch theo thời gian được khảo sát ở trên là quá trình diễn ra từ thời điểm ngắn mạch đến dòng ngắn mạch xác lập duy trì. Thực tế, dòng ngắn mạch được cắt với thời gian nhanh nhất bởi máy cắt hay các thiết bị điện khác. Thời điểm cắt phụ thuộc vào thời gian của hệ thống role và máy cắt. Trong mạng điện cao thế, thời gian này khoảng $0,06 \pm 0,2s$ và trong vài trường hợp đặc biệt có thể nhỏ hơn $0,06s$.

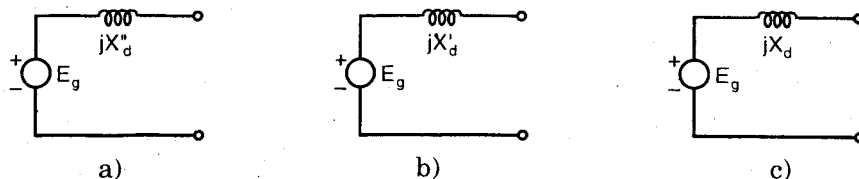
Cầu chì và các bộ phận hạn chế dòng ngắn mạch có sự phối hợp thích hợp sẽ cắt dòng điện trong lúc tăng vọt lên ban đầu trước khi đến giá trị đỉnh.



Hình 1.13: Hệ số bất đối xứng cực đại và trung bình theo tỷ số X/R

Sử dụng hình 1.13 cho phép chúng ta phỏng đoán sự bất đối xứng lớn nhất của dòng điện ngắn mạch đối với tình trạng đặc biệt của hệ thống. Điều này cho phép tính thành phần dc cực đại tồn tại trong hệ thống. Máy cắt phải có khả năng cắt dòng bất đối xứng cực đại, tuy nhiên xác suất xảy ra dòng bất đối xứng cực đại thấp. Để giảm giá thành máy cắt đôi khi người ta có thể chọn theo độ mất đối xứng trung bình.

1.2.3 Mô hình máy phát điện



Hình 1.14: Các mạch tương đương cho máy phát điện đồng bộ với điện áp E_g và (a) kháng trở siêu quá độ jX_d'' ; (b) kháng trở quá độ jX_d'

(c) kháng trở đồng bộ jX_d . Điện áp E_g thay đổi với phụ tải

Nếu máy phát điện không mang tải khi sự cố xảy ra, máy được biểu diễn bởi điện áp pha không tải mắc nối tiếp với một kháng trở tương ứng. Để tính các dòng điện trong:

- Tình trạng siêu quá độ, ta dùng điện kháng X_d'' mắc nối tiếp với điện áp không tải E_g , như trên hình 1.14a.

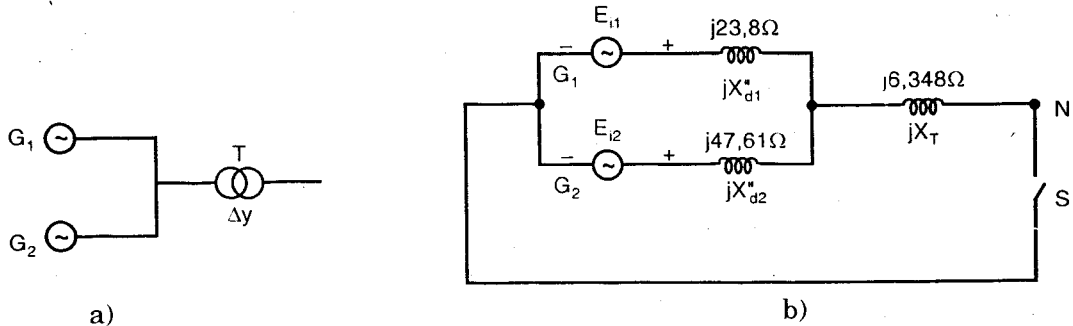
- Tình trạng quá độ, ta dùng kháng trở nối tiếp X_d' , như ở hình 1.14b.

Trạng thái xác lập, X_d sẽ được dùng, như ở hình 1.14c.

Dòng điện siêu quá độ $|I''|$ lớn hơn nhiều so với dòng điện duy trì $|I|$ vì X_d'' nhỏ hơn X_d nhiều. Sức điện động E_g như nhau ở mỗi mạch của hình 1.14 vì máy phát điện lúc đầu được giả thiết không tải.

Ví dụ 1.1. Hai máy phát điện được mắc song song nối phía hạ áp của một máy biến thế Δ -Y ba pha được vẽ ở hình 1.15a. Máy phát điện 1 có định mức 50.000 kVA, 13,8 kV. Máy phát điện 2 có định mức 25.000 kVA, 13,8 kV. Máy 1 có kháng trở siêu quá độ bằng 23,80 Ω , và 47,61 Ω với máy 2, các giá trị này đã quy về phía 66kV. Máy biến thế có định mức 75.000 kVA, 13,8 Δ /69Y kV, với kháng trở 6,348 Ω . Trước khi sự cố xảy ra, điện áp ở phía điện áp cao của máy biến thế là 66 kV. Máy biến thế không tải và không có dòng điện đang lưu chuyển giữa hai máy phát điện.

Hãy tìm dòng điện siêu quá độ ở mỗi máy phát điện khi một ngắn mạch ba pha xảy ra ở phía điện áp cao của máy biến thế.



Hình 1.15: (a) Sơ đồ một dây; (b) Sơ đồ kháng trở cho ví dụ 1.1

Giải. Các thông số dưới đây được tính quy về phía cao máy biến áp:

- Máy 1: $X_{d1}'' = 23,80 \Omega$; $E_{g1} = 66 \text{ kV}$
- Máy 2: $X_{d2}'' = 47,61 \Omega$; $E_{g2} = 66 \text{ kV}$
- Máy biến thế: $X_T = 6,348 \Omega$

Hình 1.15b cho biết sơ đồ kháng trở trước sự cố. Một sự cố ba pha tại N được mô phỏng bằng đóng ngắt điện S. Các sức điện động của hai máy có thể được xem song song vì chúng đồng nhất về độ lớn và pha, và không có dòng điện đang lưu chuyển giữa chúng. Kháng trở siêu quá độ song song tương đương là:

$$X_d'' = \frac{X_{d1}'' X_{d2}''}{X_{d1}'' + X_{d2}''} = \frac{23,80 \times 47,61}{23,80 + 47,61} = 15,8677 \Omega$$

Dòng điện ngắn mạch siêu quá độ tại chỗ ngắn mạch là:

$$I'' = \frac{E_i}{jX_d'' + jX_T} = \frac{66000}{j15,8677 + j6,348} = -j2970,9 \text{ A}$$

Điện áp V_T ở phía Δ của máy biến thế là:

$$V_T = I'' \cdot jX_T = (-j 2970,9)(j 6,348) = 18,8593 \text{ kV}$$

Dòng ngắn mạch trong máy 1 và 2:

$$I_1'' = \frac{E_{g1} - V_T}{jX_{d1}''} = \frac{66000 - 18859,3}{j23,80} = -j1980,7 \text{ A}$$

$$I_2'' = \frac{E_{g2} - V_T}{jX_{d2}''} = \frac{66000 - 18859,3}{j47,61} = -j990,14 \text{ A}$$

Tóm lại, trong việc phân tích sức điện động của máy phát và dòng siêu quá độ, dòng quá độ và dòng ổn định có thể được biểu diễn ở dạng vectơ. Điện áp cảm ứng trong cuộn dây phần ứng ngay sau khi sự cố ngắn mạch xảy ra khác với điện thế tồn tại sau khi đạt tới trạng thái ổn định. Chúng ta giải thích sự khác nhau này bằng cách sử dụng những kháng trở khác nhau (X_d'' , X_d' và X_d) nối tiếp với sức điện động để tính toán dòng điện trong trạng thái siêu quá độ, quá độ và xác lập duy trì. Nếu máy phát hoạt động không tải thì khi ngắn mạch xảy ra, máy phát được biểu diễn bởi điện áp không tải nối tiếp với kháng trở phù hợp, như trình bày ở hình 1.14. Điện trở cần đưa vào tính toán nếu yêu cầu độ chính xác cao. Nếu có tổng trở bên ngoài máy phát từ đầu cực máy phát đến chỗ ngắn mạch thì tổng trở ngoài này phải được đưa trong mạch tính toán.

Mặc dù kháng trở máy phát không là hằng số và phụ thuộc vào mức độ bão hòa của mạch từ, giá trị của nó nằm trong giới hạn xác định và có thể được dự đoán trước đối với nhiều dạng máy khác nhau. Nói chung, kháng trở siêu quá độ của máy phát và động cơ được dùng để xác định dòng điện ban đầu khi xảy ra ngắn mạch. Để xác định khả năng ngắt của máy cắt, ngoài trừ trường hợp máy cắt mở tức thời, kháng trở siêu quá độ thường được dùng cho máy phát, còn kháng trở quá độ thì được dùng cho động cơ đồng bộ. Khi khảo sát ổn định, đối với vấn đề xem xét máy phát có bị mất đồng bộ với phần còn lại của hệ thống không nếu ngắn mạch được cô lập sau khoảng thời gian xác định, kháng trở quá độ sẽ được sử dụng.

1.3 ĐẶC TÍNH NGẮN MẠCH CỦA TẢI ĐỘNG CƠ

1.3.1 Động cơ đồng bộ - máy bù đồng bộ

Những động cơ đồng bộ có các kháng trở cùng dạng như của máy phát. Khi một động cơ bị ngắn mạch, nó không còn nhận được năng lượng điện từ nguồn cung cấp nhưng năng lượng kích từ vẫn còn, và quán tính quay của rôto và của tải vẫn còn làm nó quay trong một thời gian ngắn. Lúc đó, sức điện động (sdd) của động cơ đồng bộ góp phần cung cấp dòng điện cho hệ thống, nó hoạt động như một máy phát.

Bằng cách đối chiếu những công thức tương ứng cho máy phát thì sdd siêu quá độ E_m'' và sdd quá độ E_m' cho một động cơ đồng bộ được tính bởi:

$$\dot{E}_m'' = \dot{V}_g - j\dot{X}_{dm}'' \dot{I}_L \quad (1.35)$$

$$\dot{E}_m' = \dot{V}_g - j\dot{X}_{dm}' \dot{I}_L \quad (1.36)$$

với V_g là điện áp đầu cực của động cơ.

Dòng ngắn mạch trong hệ thống chứa máy phát và động cơ mang tải có thể được giải bằng một trong 2 cách:

1- Tính toán từ sdd siêu quá độ (hoặc quá độ) của máy.

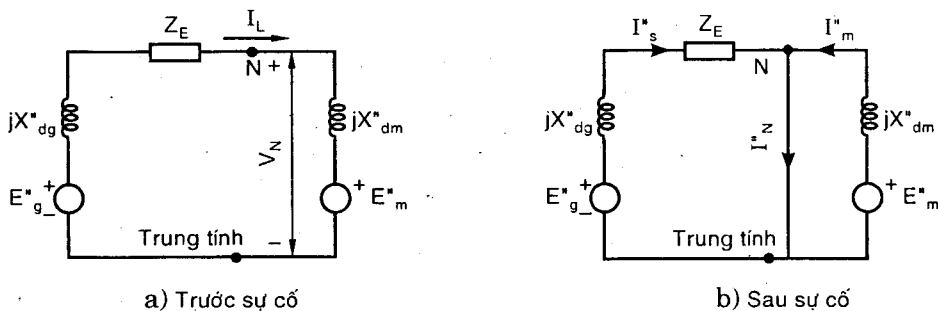
2- Sử dụng định lý Thevenin.

Ví dụ đơn giản dưới đây sẽ minh họa cho 2 cách:

Giả thiết có một máy phát đồng bộ cung cấp cho một động cơ đồng bộ bởi đường dây có kháng trở Z_E . Động cơ đang mang dòng tải I_L cấp bởi máy phát trước khi xảy ra ngắn mạch ba pha đối xứng tại đầu cực của động cơ. Hình 1.16 biểu diễn những mạch tương đương và dòng chạy trong hệ thống ngay trước và sau sự cố. Bằng cách thay thế kháng trở đồng bộ của máy bởi kháng trở siêu quá độ như hình 1.16a, chúng ta có thể tính toán sức điện động siêu quá độ của máy trước khi xuất hiện sự cố bởi giá trị V_N và I_L trong công thức:

$$\dot{E}_g'' = \dot{V}_N + (\dot{Z}_E + j\dot{X}_{dg}'')\dot{I}_L \quad (1.37)$$

$$\dot{E}_m'' = \dot{V}_N - j\dot{X}_{dm}''\dot{I}_L \quad (1.38)$$



Hình 1.16: Các mạch tương đương và dòng chạy trước và sau sự cố tại đầu cực của động cơ đồng bộ nối tới máy phát đồng bộ bởi tổng trở đường dây Z_E

Khi sự cố xảy ra trên hệ thống, như được trình bày trên hình 1.16b, dòng siêu quá độ I_g'' ra khỏi máy phát và I_m'' ra khỏi động cơ được tìm từ quan hệ:

$$\dot{i}_g'' = \frac{\dot{E}_g''}{\dot{Z}_E + j\dot{X}_{dg}''} = \frac{\dot{V}_N}{\dot{Z}_E + j\dot{X}_{dg}''} + \dot{I}_L \quad (1.39)$$

$$\dot{i}_m'' = \frac{\dot{E}_m''}{j\dot{X}_{dm}''} = \frac{\dot{V}_N}{j\dot{X}_{dm}''} - \dot{I}_L \quad (1.40)$$

Tổng các dòng này cho ta dòng sự cố đối xứng I_N'' trong hình 1.16(b). Đó là:

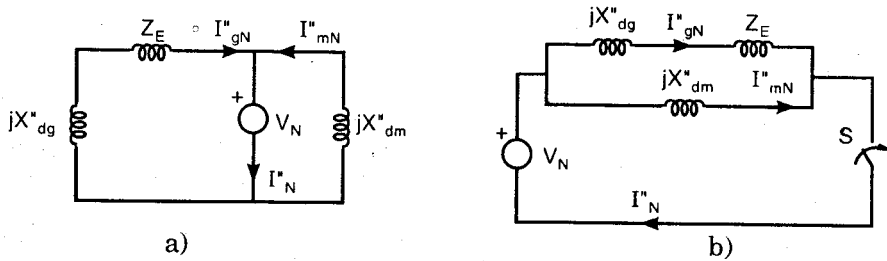
$$I_N'' = I_g'' + I_m'' = \frac{V_N}{Z_E + jX_{dg}''} + \frac{V_N}{jX_{dm}''} \quad (1.41)$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{I_{gN}''} \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{I_{mN}''}$

với I_{gN}'' , I_{mN}'' lần lượt là dòng thành phần tương ứng của máy phát và động cơ của dòng sự cố I_N'' .

Chú ý rằng, dòng sự cố không bao gồm dòng tải trước sự cố.

Cách khác, sử dụng định lý Thevenin là dựa vào (1.41) trong đó chỉ cần biết điện áp trước sự cố tại điểm sự cố V_N , và những tham số của mạng với những điện kháng siêu quá độ đặc trưng cho máy. Vì vậy, I_N'' và những dòng khác được sinh ra trong mạng bởi sự cố có thể được tìm một cách đơn giản bởi điện áp V_N tại điểm sự cố N trong mạng siêu quá độ liên quan của hệ thống (H.1.17a).



Hình 1.17: Sơ đồ tương đương hình 1.16

Nếu chúng ta vẽ lại mạng như hình 1.17b, có thể thấy rõ rằng những giá trị đối xứng của dòng sự cố siêu quá độ có thể được tìm thấy từ mạch tương đương Thevenin tại điểm sự cố. Mạch tương đương Thevenin gồm một máy phát đơn và một kháng trở đơn giới hạn tại điểm sự cố. Máy phát tương đương có một sức điện động bằng V_N là điện áp tại điểm sự cố trước khi sự cố xuất hiện. Kháng trở tương đương là giá trị đo được tại chỗ sự cố nhìn vào trong mạch khi tất cả các nguồn được nối tắt. Điện kháng siêu quá độ được dùng do cần tìm dòng ngắn mạch đối xứng ban đầu.

Trong hình 1.17b tổng trở Thevenin Z_{th} là:

$$Z_{th} = \frac{jX''_{dm}(Z_E + jX''_{dg})}{Z_E + j(X''_{dg} + X''_{dm})} \quad (1.42)$$

Khi ngắn mạch ba pha tại N được mô phỏng bằng sự đóng công tắc chuyển mạch S , dòng ngắn mạch siêu quá độ là:

$$I_N'' = \frac{V_N}{Z_E} = \frac{V_N[Z_E + j(X''_{dg} + X''_{dm})]}{jX''_{dm}(Z_E + jX''_{dg})} \quad (1.43)$$

Như vậy, những sự cố đối xứng ba pha trên hệ thống có máy phát và động cơ chịu tải có thể được phân tích bằng cách sử dụng sức điện động siêu quá độ hoặc định lý Thevenin, được minh họa trong ví dụ sau:

Ví dụ 1.2. Một máy phát điện đồng bộ và động cơ của sơ đồ hình 1.16 có công suất danh định là 30.000 kVA, điện áp định mức 13,2 kV, cả hai có kháng trở siêu quá độ là $j1,1616\Omega$. Kháng trở đường dây là $0,5808\Omega$. Động cơ kéo tải 20.000 kW, hệ số công suất 0,8 và điện áp đầu cực động cơ là 12,8 kV khi xảy ra sự cố ngắn mạch ba pha đối xứng tại đầu cực động cơ. Tìm dòng siêu quá độ của máy phát, động cơ và sự cố bằng cách dùng sức điện động của các máy.

Giải. Mạch tương đương trước sự cố của hệ thống tương ứng cho ở hình 1.16a. Chọn điện áp pha \dot{V}_{Np} tại điểm sự cố làm vectơ điện áp chuẩn.

$$\dot{V}_{Np} = \frac{12,8}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ = 7,39 \angle 0^\circ, \text{ kV}$$

Dòng tải trước sự cố

$$I_L = \frac{20000 \angle 36,9^\circ}{0,8 \times \sqrt{3} \times 12,8} = 1128 \angle 36,9^\circ \text{ A} = 902,044 + j677,274 \text{ A}$$

Máy phát:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{gp} &= \dot{V}_{Np} + \dot{I}_L \cdot jX_L = 7,39 + (0,902044 + j0,677274) \times j0,5808 \\ &= (6,997 + j0,524) \text{ kV} = 7,016 \angle 4,283^\circ, \text{ kV} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_{gp}'' &= \dot{V}_{gp} + jX_d'' \cdot \dot{I}_L = 6,997 + j0,524 + j1,1616 \times (0,902044 + j0,677274) \\ &= (6,21 + j1,572) \text{ kV} = 6,406 \angle 14,205^\circ, \text{ kV} \end{aligned}$$

Khi sự cố xảy ra tại N, mạch tương đương cho ở hình 1.16b.

Dòng sự cố cung cấp từ máy phát:

$$\dot{i}_g'' = \frac{6,21 + j1,572}{j(0,5808 + 1,1616)} 10^3 = 902,20 - j3564,05, \text{ A}$$

Động cơ: $\dot{V}_{mp} = \dot{V}_{Np} = 7,39 \angle 0^\circ, \text{ kV}$

$$\begin{aligned} \dot{E}_{mp}'' &= \dot{V}_{mp} - jX_{dm}'' \dot{I}_L \\ &= 7,39 - j1,1616 \times (902,244 + j677,274) \times 10^{-3} = 8,176 - 1,0478 \text{ kV} \end{aligned}$$

Dòng sự cố cung cấp từ động cơ:

$$\dot{i}_m'' = \frac{8,176 - j1,0478}{j1,1616} 10^3 = -902,032 - j7038,567 \text{ A}$$

Dòng sự cố tổng:

$$\dot{I}_N'' = \dot{i}_g'' + \dot{i}_m'' = 902,20 - j3564,05 - 902,032 - j7038,567 = -0,17 - j10602,5617 \text{ A}$$

Kết quả phân bố dòng cho ở hình 1.16b.

Ví dụ 1.3. Giải ví dụ 1.2 sử dụng định lý Thevenin.

Giải. Mạch tương đương Thevenin tương ứng với hình 1.17.

$$\dot{Z}_{th} = \frac{(\dot{Z}_E + jX_{dg}'') \times jX_{dm}''}{(\dot{Z}_E + jX_{dg}'') + jX_{dm}''} = \frac{(j1,1616 + j0,5808) \times j1,1616}{(j1,1616 + j0,5808) + j1,1616} = j0,697 \Omega$$

$$\dot{V}_{Np} = 7,39 \angle 0^\circ, \text{ kV}$$

$$\text{Luc sự cố: } \dot{I}_N'' = \frac{\dot{V}_{Np}}{\dot{Z}_N} = \frac{7,39 \times 10^3}{j0,697} = -j10602,538 \text{ A}$$

Dòng sự cố này phân bố trong mạch tỷ lệ nghịch với tổng trở:

Dòng ngắn mạch từ máy phát:

$$\dot{I}_{gN}'' = -j10602,538 \times \frac{j1,1616}{(j1,1616 + j0,5808) + j1,616} = -j4241,0152 \text{ A}$$

Dòng ngắn mạch từ động cơ:

$$\dot{I}_{mN}'' = -j10602,538 \times \frac{j1,1616 + j0,5808}{(j1,1616 + j0,5808) + j1,616} = -j6361,523 \text{ A}$$

Dòng tại điểm sự cố thì giống nhau dù có dòng tải hay không, nhưng dòng trên đường dây thì khác. Khi kể đến dòng phụ tải I_L , từ ví dụ 1.2, ta có:

$$\dot{I}_g'' = \dot{I}_{gf}'' + \dot{I}_L = -j4241,0152 + 902,044 + j677,274 = 902,044 - j3563,74 \text{ A}$$

$$\dot{I}_m'' = \dot{I}_{mN}'' - \dot{I}_L = -j6361,523 - 902,044 - j677,274 = -902,044 - j7038,8 \text{ A}$$

I_L cùng hướng với I_g'' nhưng ngược hướng với I_m'' .

$$\text{Dòng sự cố máy phát} = |902,044 - j3563,74| = 3676 \text{ A}$$

$$\text{Dòng sự cố động cơ} = |-902,044 - j7038,8| = 7096,36 \text{ A}$$

Tổng độ lớn dòng sự cố máy phát và động cơ không bằng với dòng sự cố vì dòng từ máy phát và động cơ không cùng pha khi dòng phụ tải được kể đến.

Thông thường, dòng phụ tải trên đường dây được bỏ qua trong việc xác định dòng ngắn mạch. Trong phương pháp Thevenin, khi bỏ qua dòng phụ tải có nghĩa là dòng trước sự cố trong mỗi đường dây không được thêm vào dòng chạy trên đường dây về phía điểm ngắn mạch. Phương pháp của ví dụ 1.1 bỏ qua dòng phụ tải nếu sức điện động siêu quá độ của tất cả các máy được giả thiết bằng điện áp V_N tại sự cố trước khi sự cố xảy ra, nghĩa là không có dòng chạy ở bất cứ nhánh nào trong mạng trước khi sự cố xảy ra. Điện trở, dung dẫn của biến áp thường được bỏ qua trong tính toán ngắn mạch vì chúng không ảnh hưởng nhiều đến dòng sự cố.

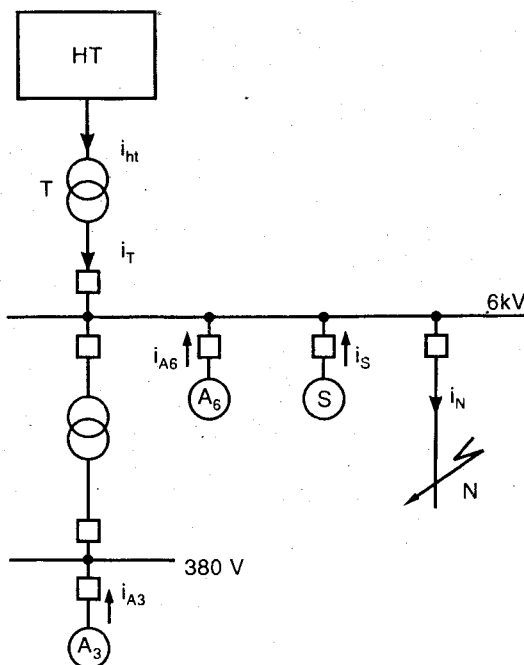
1.3.2 Động cơ không đồng bộ

Tương tự động cơ không đồng bộ điện thế thấp và cao áp cung cấp lại cho hệ thống dòng ngắn mạch, nhưng do máy không có cuộn kích từ nên dòng ngắn mạch giảm rất nhanh.

1.4 ĐẶC TÍNH NGẮN MẠCH HỆ THỐNG ĐIỆN CÔNG NGHIỆP

Để hiểu rõ hơn đặc tính khi xảy ra ngắn mạch của các động cơ, chúng ta khảo sát dạng sóng cụ thể của mạng điện công nghiệp sau:

Trong sơ đồ mạng điện (H.1.18) có các tải là động cơ không đồng bộ (A_6) ở cấp điện áp $6kV$, không đồng bộ cấp $380V$ (A_3) và động cơ đồng bộ cấp (S) $6kV$ được cung cấp từ nguồn hệ thống HT- $110kV$.



Hình 1.18: Mạng điện công nghiệp tiêu biểu

Giả thiết ngắn mạch ba pha xảy ra tại N trên thanh cái 6kV.

Dòng ngắn mạch i_N gồm có các nguồn cung cấp đến như sau:

Dòng i_{ht} từ hệ thống.

Dòng i_s từ động cơ đồng bộ.

Dòng i_{A6} từ động cơ không đồng bộ điện áp 6kV

Dòng i_{A3} từ động cơ không đồng bộ điện áp thấp.

Hình 1.19 cho các dạng sóng dòng của các phần tử khi ngắn mạch tại N.

Nhận thấy:

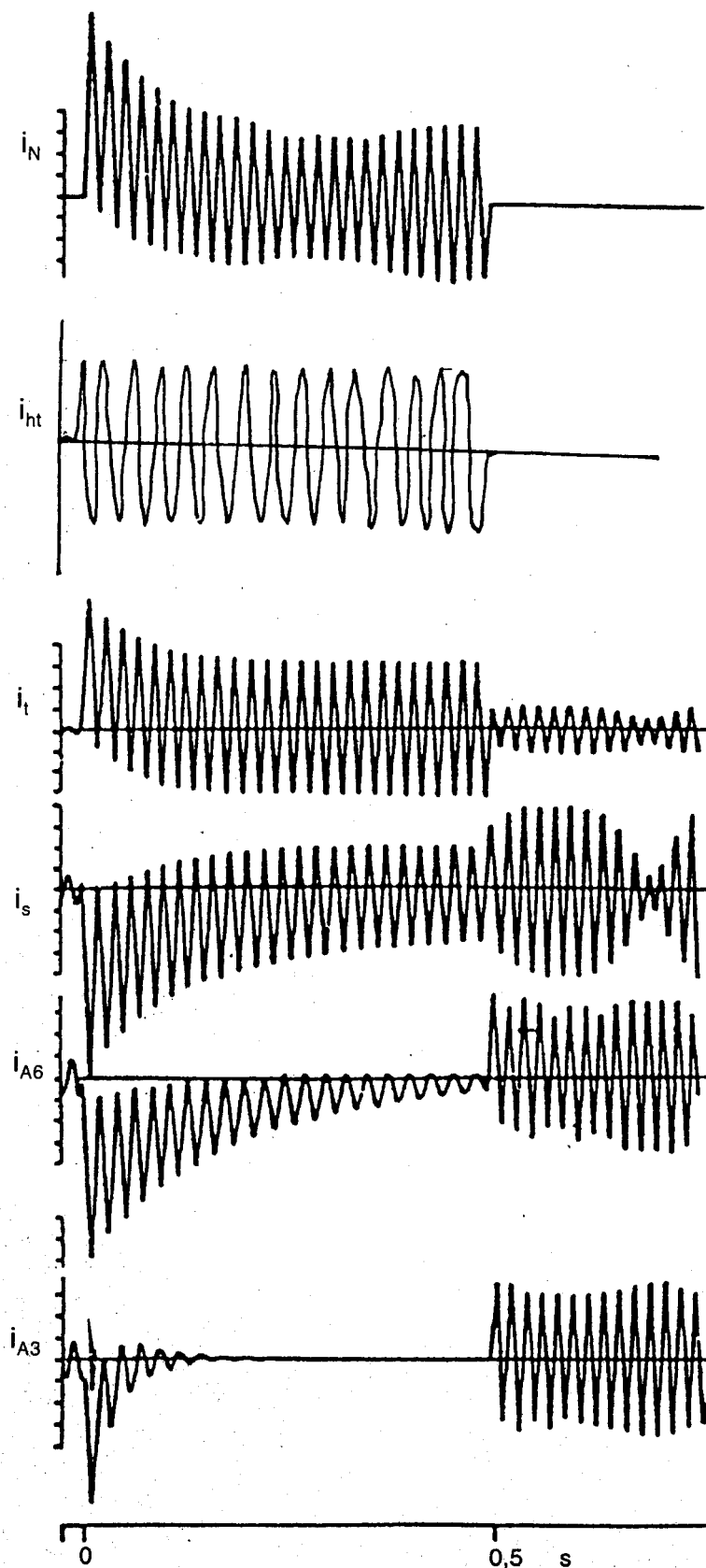
- Thành phần một chiều của dòng ngắn mạch i_N giảm sau khi ngắn mạch khoảng 0,2s và sau đó dòng ngắn mạch điều hòa.

- Dòng ngắn mạch được cung cấp chính từ dòng i_{HT} từ hệ thống.

- Động cơ không đồng bộ có đặc tính giống như máy phát động lực. Tuy nhiên nó trở thành không đồng bộ đối với hệ thống.

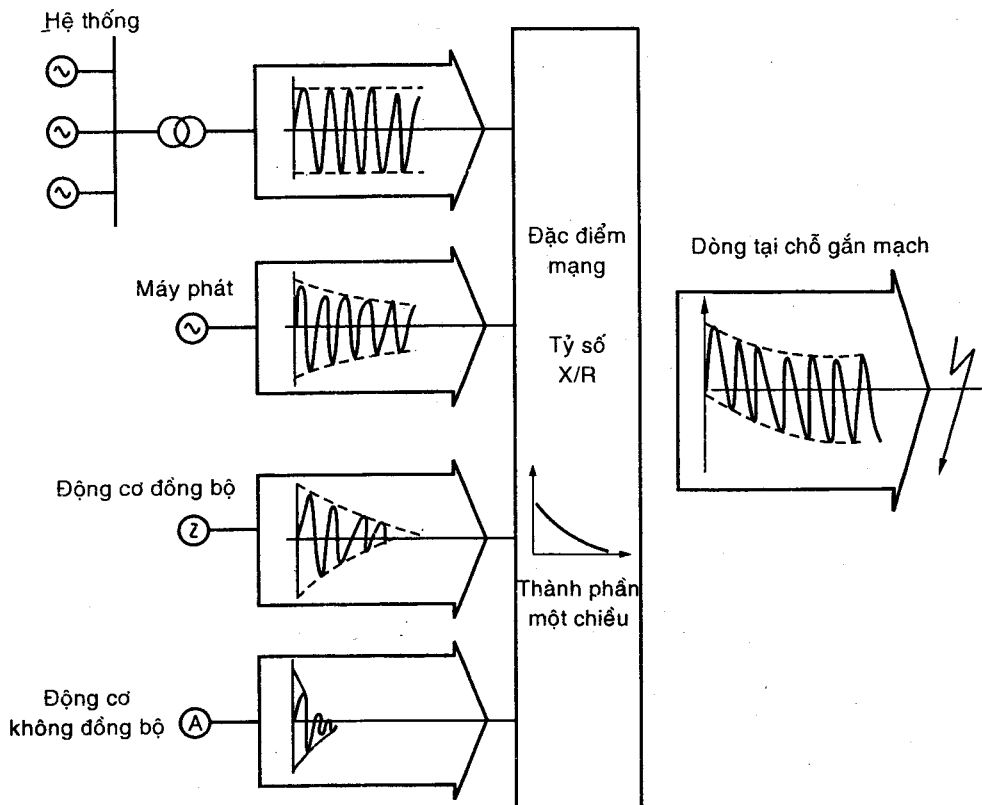
- Dòng ngắn mạch từ động cơ không đồng bộ giảm nhanh về không, tuy nhiên chúng cũng đóng góp vào dòng ngắn mạch ac ban đầu i_N'' , dòng ngắn mạch bất đối xứng cực đại (xung kích) I_{xk} . Động cơ điện áp thấp, công suất nhỏ có thể cung cấp dòng ngắn mạch tới hai chu kỳ.

Động cơ không đồng bộ điện áp cao, công suất lớn cung cấp dòng ngắn mạch song song với hệ thống qua tổng trở tương đương dòng ngắn mạch ac ban đầu, dòng xung kích với mức độ phụ thuộc vào biên độ tổng trở. Tùy thuộc vào đặc tính điện cơ của động cơ, quá trình quá độ kéo dài tới vài chu kỳ và sau đó có thể nhận điện lại từ hệ thống, từ các máy phát phụ thuộc vào độ sụt điện áp.



Hình 1.19: Các dạng sóng dòng ngắn mạch của các phần tử
(Biên độ dòng không vẽ cùng tỷ lệ)

Tóm lại, các dạng sóng của các nguồn có thể cung cấp đến điểm ngắn mạch cho bởi hình 1.20.



Hình 1.20: Các nguồn cung cấp dòng ngắn mạch

TÍNH TOÁN NGẮN MẠCH ĐỐI XỨNG

Đối với một hệ thống điện ba pha, trong trường hợp ngắn mạch ba pha trực tiếp thì điện áp của cả ba pha tại điểm ngắn mạch đều bằng không, dòng điện trong ba pha đối xứng và lệch nhau một góc 120° (không kể điểm ngắn mạch chạm đất hay không chạm đất). Do đó, chỉ cần tính dòng ngắn mạch cho một dây dẫn như cho các đặc tính tải đối xứng.

Tính toán ngắn mạch dùng định lý Thevenin.

Đây là lý thuyết được sử dụng trong hầu hết các bài toán ngắn mạch. Theo lý thuyết Thevenin, dòng sự cố được tính toán như sau:

$$\dot{I}_N^{(3)} = \frac{\dot{V}_{Th}}{\dot{Z}_{Th}} = \frac{\dot{V}_N(0)}{\dot{Z}_{Th}} \quad (2.1)$$

với: Z_{Th} - tổng trở nhìn từ chỗ xảy ra ngắn mạch về hệ thống khi các nguồn bị nối tắt.

Z_{Th} có thể tìm được nhờ vào việc biến đổi tương đương sơ đồ tổng trở hay từ ma trận tổng trở thành cái.

$V_{Th}, V_N(0)$ - điện áp tại chỗ ngắn mạch trước sự cố gọi là điện áp tương đương Thevenin.

Điện áp này có thể tìm được nhờ vào việc giải dòng công suất trong mạch trước sự cố. Do dòng tải trước sự cố rất bé so với dòng ngắn mạch, nên khi tính toán ngắn mạch dòng tải thường được bỏ qua, nghĩa là coi như mạch trước sự cố không có dòng chạy trên các đường dây, và cũng có nghĩa là điện áp tại mỗi vị trí trong mạch đều như nhau và đều bằng điện áp đầu cực máy phát hay điện áp đầu cực hệ thống cung cấp: $V_{Th} = V_{dm}$

Các phương pháp tính toán

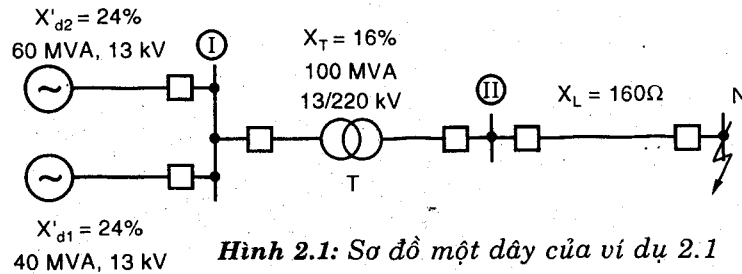
Để tính toán các giá trị dòng ngắn mạch, sụt áp, dòng khởi động động cơ... thì giá trị tổng trở của các phần tử khác nhau trong sơ đồ (như máy biến áp, cáp, động cơ, máy phát...) phải được xác định từ nhãn máy, sổ tay hay catalogue. Các giá trị tổng trở đó có thể tính theo đơn vị ohm, phần trăm hay đơn vị tương đối. Các phương pháp tính ngắn mạch:

- Phương pháp đơn vị có tên
- Phương pháp phần trăm
- Phương pháp đơn vị tương đối.

2.1 PHƯƠNG PHÁP TÍNH TRONG ĐƠN VỊ CÓ TÊN

Trong phương pháp này, các đại lượng như dòng, áp, công suất, tổng trở đều được biểu diễn theo đúng đơn vị của chúng. Ví dụ, tổng trở được tính theo đơn vị ohm (Ω). Tuy nhiên, nếu hệ thống điện bao gồm nhiều hơn một cấp điện áp thì các giá trị tính theo đơn vị ohm sẽ thay đổi bằng bình phương tỷ lệ của các cấp điện áp. Hay nói cách khác, giá trị ohm sẽ thay đổi từ phía bên này sang phía bên kia của máy biến áp. Ví dụ, nếu một hệ thống điện có 3 cấp điện áp, khi đó mỗi thành phần trong hệ thống điện (cáp, máy biến áp, động cơ,...) sẽ có 3 giá trị. Khi tính toán theo phương pháp này, đòi hỏi các giá trị tổng trở phải được quy về một cấp điện áp.

Ví dụ 2.1. Cho hệ thống điện như hình 2.1. Máy phát ban đầu không tải vận hành không tải tại điện áp định mức. Bỏ qua tất cả điện trở. Một sự cố ngắn mạch ba pha xảy ra tại đầu nhận của đường dây (điểm N). Xác định dòng ngắn mạch.



Hình 2.1: Sơ đồ một dây của ví dụ 2.1

Giải: a) Tính toán khi quy về phía I sơ cấp máy biến áp (13kV):

Kháng trở quá độ 2 máy phát:

$$X'_{d1I} = \frac{X'_{d1} \% V_{dmI}^2}{100 S_{dm1}} = 0,24 \frac{13^2}{60} = 0,676(\Omega)$$

$$X'_{d2I} = \frac{X'_{d2} \% V_{dmI}^2}{100 S_{dm2}} = 0,24 \frac{13^2}{40} = 1,014(\Omega)$$

Kháng trở máy biến áp: $X_{TI} = \frac{X_t \% V_{dmI}^2}{100 S_T} = 0,16 \frac{13^2}{100} = 0,2704(\Omega)$

Tổng trở đường dây: $X_{LI} = X_{LII} \left(\frac{V_I}{V_{II}} \right)^2 = 160 \left(\frac{13}{220} \right)^2 = 0,5587(\Omega)$

Kháng trở tương đương hai máy phát:

$$X'_d = \frac{X'_{d1} \cdot X'_{d2}}{X'_{d1} + X'_{d2}} = \frac{0,676 \times 1,014}{0,676 + 1,014} = 0,4056(\Omega)$$

Kháng trở tương đương nhìn từ điểm ngắn mạch về nguồn:

$$X_{tdI} = X'_{dI} + X_{TI} + X_{LI} = 0,4056 + 0,2704 + 0,5587 = 1,2347(\Omega)$$

Dòng sự cố: $I_{NI} = \frac{V_I}{\sqrt{3} \cdot X_{td}} = \frac{13}{\sqrt{3} \times 1,2347} = 6,079(kA) = 6079(A)$

b) Quy về phía II thứ cấp máy biến áp (220kV):

Kháng trở quá độ hai máy phát:

$$X'_{d1II} = \frac{X'_{d1} \% V_{dmII}^2}{100 S_{dm1}} = 0,24 \frac{220^2}{60} = 193,6(\Omega)$$

$$X'_{d2II} = \frac{X'_{d2} \% V_{dmII}^2}{100 S_{dm2}} = 0,24 \frac{220^2}{40} = 290,4(\Omega)$$

Kháng trở máy biến áp: $X_{TII} = \frac{X_t \% V_{dmII}^2}{100 S_T} = 0,16 \frac{220^2}{100} = 77,44(\Omega)$

Tổng trở đường dây: $X_{LII} = 160(\Omega)$

Kháng trở tương đương hai máy phát

$$X'_{dII} = \frac{X'_{d1} \cdot X'_{d2}}{X'_{d1} + X'_{d2}} = \frac{193,6 \times 290,4}{193,6 + 290,4} = 116,16(\Omega)$$

Kháng trở tương đương nhìn từ điểm ngắn mạch về nguồn:

$$X_{tdII} = X'_{dII} + X_{TII} + X_{LII} = 116,16 + 77,44 + 160 = 353,6(\Omega)$$

Dòng sự cố phía II: $I_{NII} = \frac{V_g}{\sqrt{3} \cdot X_{td}} = \frac{220}{\sqrt{3} \times 353,6} = 0,3592(kA) = 359,2(A)$

Quy về phía I sơ cấp: $I_{NI} = 0,3592 \left(\frac{V_{II}}{V_I} \right) = 0,3592 \left(\frac{220}{13} \right) = 6,079(kA)$

Ví dụ 2.2. Cho mạng điện như hình 2.2. Phát tuyến 1, 2 và 3 lần lượt có tổng trở $(0,007504 + j0,00808) \Omega$, $(0,004 + j0,00528) \Omega$, và $(0,00952 + j0,0027712) \Omega$. Mỗi nhóm động cơ M_1, M_2 có kháng trở siêu quá độ tương đương bằng 25% theo cơ bản mỗi máy và tỷ số $X/R = 6$. Công suất ngắn mạch tại thanh cái 22kV của hệ thống cung cấp là 800 MVA. Tính dòng ngắn mạch khi xảy ra ngắn mạch tại N_1 và N_2 . Bỏ qua dòng tải trước sự cố.

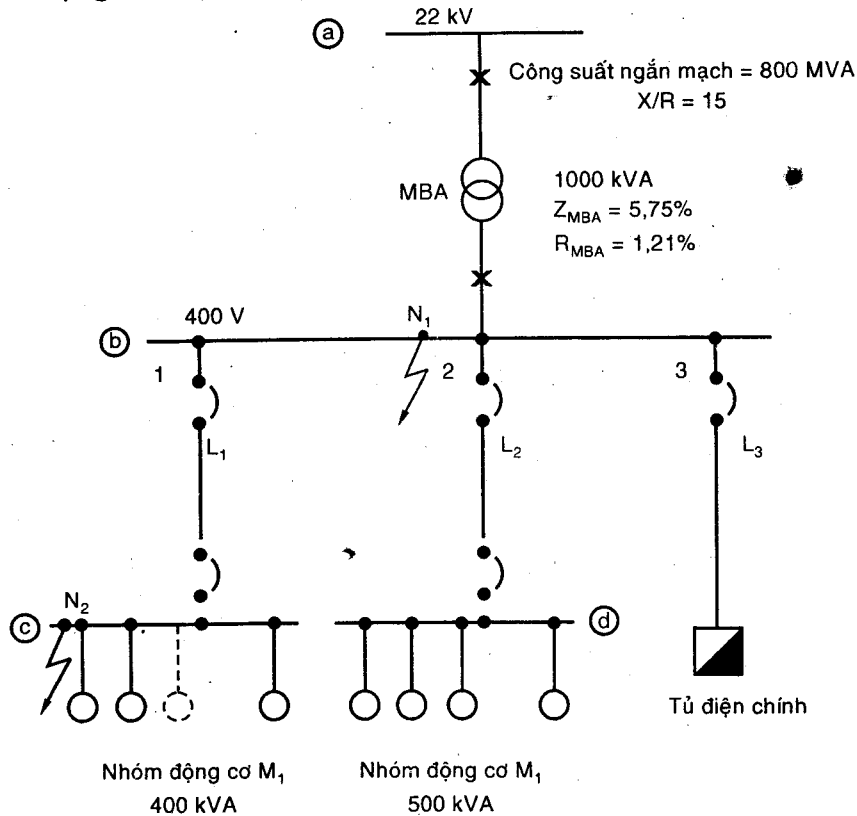
Giải. Do bỏ qua dòng tải trước sự cố nên điện thế trước sự cố tại vị trí ngắn mạch cũng bằng điện thế tại các vị trí khác trong mạng và bằng điện thế hệ thống. Như vậy, điện áp Thevenin tương đương tại chỗ sự cố là:

Quy về phía sơ cấp máy biến áp (22 kV): $V_{Th} = 22 \text{ kV}$

Quy về phía thứ cấp máy biến áp (0,4 kV): $V_{Th} = 0,4 \text{ kV}$

Như đã tìm hiểu ở chương 1, khi xảy ra ngắn mạch tại một vị trí trên đường dây cung cấp điện cho động cơ, động cơ bị mất nguồn cung cấp, nhưng do quán tính của trục động cơ và của tải động cơ vẫn còn làm động cơ quay kết hợp với

năng lượng kích từ do cuộn dây rôto gây nên làm cho động cơ trở thành nguồn cung cấp dòng ngắn mạch trong mạng điện. Vì vậy, khi tính tổng trở Thevenin nhìn từ chỗ sự cố bằng cách nối tắt các nguồn gây nên dòng ngắn mạch, tổng trở của động cơ và của đường dây đầu vào nó cũng phải được tính đến. Do động cơ chỉ cung cấp dòng ngắn mạch trong khoảng thời gian ngắn bắt đầu từ thời điểm ngắn mạch (khi quán tính trục động cơ còn lớn), nên ở đây để tính toán dòng ngắn mạch ta sẽ sử dụng kháng trở siêu quá độ động cơ.



Hình 2.2: Sơ đồ một dây của ví dụ 2.1

Tính các giá trị tổng trở hệ thống, máy biến áp và động cơ.

Quy về phía sơ cấp máy biến áp (22kV):

$$\text{Hệ thống: } Z_{HT} = \frac{U_{HT}^2}{\text{công suất ngắn mạch}} = \frac{22^2}{800} = 0,605 \Omega$$

do hệ thống có $X/R = 15$, $\Rightarrow X_{HT} = 0,604 \Omega$; $R_{HT} = 0,0402 \Omega$.

Máy biến áp:

$$Z_{MBA} = 0,0575 \frac{22^2}{1} = 25,41 \Omega$$

$$R_{MBA} = 0,0121 \frac{22^2}{1} = 5,8564 \Omega \Rightarrow X_{MBA} = \sqrt{Z_{MBA}^2 - R_{MBA}^2} = 24,726 \Omega$$

Nhóm động cơ M_1 : $X''_{M1} = 0,25 \frac{22^2}{0,4} = 302,5 \Omega$

$R_{M1} = 302,5/6 = 50,417 \Omega$

Nhóm động cơ M_2 : $X''_{M2} = 0,25 \frac{22^2}{0,5} = 242 \Omega$

$R_{M2} = \frac{242}{6} = 40,33 \Omega$

Quy về phía thứ cấp máy biến áp (0,4 kV):

Hệ thống: $Z_{HT} = 0,605 \frac{0,4^2}{22^2} = 0,0002 \Omega$

do hệ thống có $X/R = 15$, $\Rightarrow X_{HT} = 0,0001997 \Omega$; $R_{HT} = 0,0000133 \Omega$.

Máy biến áp: $Z_{MBA} = 0,0575 \frac{0,4^2}{1} = 0,0084 \Omega$

$R_{MBA} = 0,0121 \frac{0,4^2}{1} = 0,00194 \Omega \Rightarrow X_{MBA} = \sqrt{Z_{MBA}^2 - R_{MBA}^2} = 0,008174 \Omega$

Nhóm động cơ M_1 : $X''_{M1} = 0,25 \frac{0,4^2}{0,4} = 0,1 \Omega$

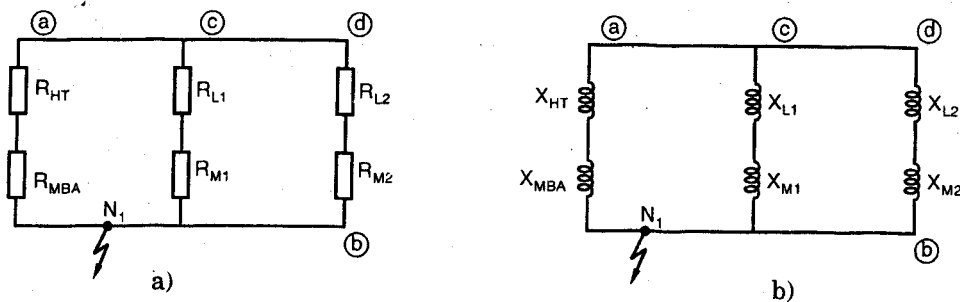
$R_{M1} = \frac{0,1}{6} = 0,017 \Omega$

Nhóm động cơ M_2 : $X''_{M2} = 0,25 \frac{0,4^2}{0,5} = 0,08 \Omega$

$R_{M2} = \frac{0,08}{6} = 0,0133 \Omega$

Khi xảy ra ngắn mạch tại N_1 : Để tính dòng ngắn mạch thì một sơ đồ tổng trở sẽ cho kết quả chính xác hơn. Tuy nhiên, do điện trở bé và thường không đáng kể, nên thay vì thiết lập sơ đồ tổng trở ta có thể thiết lập riêng sơ đồ điện trở và sơ đồ kháng trở và tính Z_{Th} từ X_{Th} và R_{Th} . Như vậy, việc tính toán sẽ đơn giản hơn mà sai số không lớn.

Ta có các sơ đồ tương đương như sau (thứ cấp):



Hình 2.3: Sơ đồ thay thế hình 2.2 khi ngắn mạch tại N_1

a) Sơ đồ điện trở; b) Sơ đồ kháng trở

Điện trở tương đương và kháng trở tương đương:

$$R_{Th} = (R_{HT} + R_{MBA}) // (R_{L1} + R_{M1}) // (R_{L2} + R_{M2})$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{0,001953} + \frac{1}{0,0245} + \frac{1}{0,0173}} = 0,001638 \Omega$$

$$X_{Th} = (X_{HT} + X_{MBA}) // (X_{L1} + X_{M1}) // (X_{L2} + X_{M2})$$

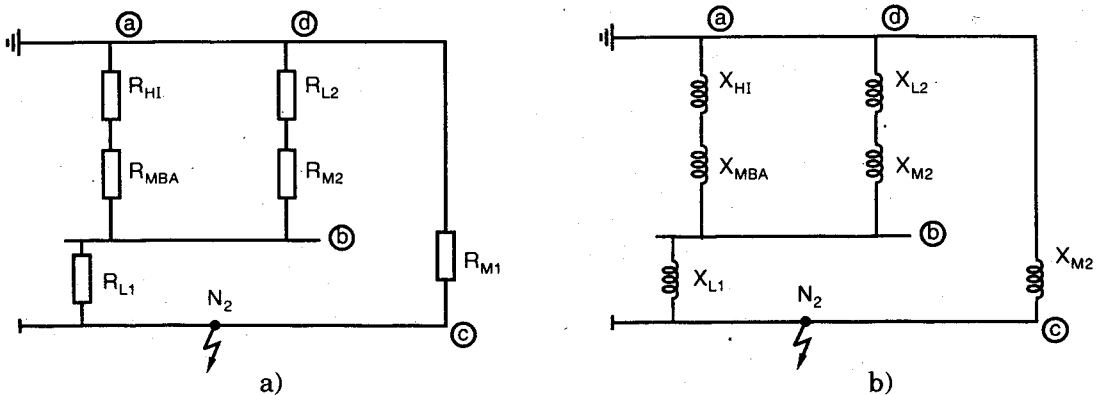
$$= \frac{1}{\frac{1}{0,008374} + \frac{1}{0,10808} + \frac{1}{0,08528}} = 0,007123 \Omega$$

$$Z_{Th} = R_{Th} + jX_{Th}; |Z_{Th}| = \sqrt{R_{Th}^2 + X_{Th}^2} = 0,007318 \Omega$$

Dòng ngắn mạch N_1 tính về phía thứ cấp:

$$I_{N1}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \times 0,007318} = 31,56 \text{ kA}$$

Khi xảy ra ngắn mạch tại N_2 :



Hình 2.4: Sơ đồ thay thế hình 2.2 khi ngắn mạch tại N_2

a) Sơ đồ điện trở, b) Sơ đồ kháng trở

$$R_{Th} = ((R_{HT} + R_{MBA}) // (R_{M2} + R_{L2}) + R_{L1}) // R_{M1}$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{0,017} + \frac{1}{0,007504 + 0,001755}} = 0,006 \Omega$$

$$X_{Th} = ((X_{HT} + X_{MBA}) // (X_{M2} + X_{L2}) + X_{L1}) // X_{M1}$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{0,1} + \frac{1}{0,007625 + 0,00808}} = 0,01357 \Omega$$

$$Z_{Th} = \sqrt{0,01357^2 + 0,006^2} = 0,01484 \Omega$$

Dòng ngắn mạch N_2 tính ở thứ cấp:

$$I_{N2}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \times 0,01484} = 15,562 \text{ kA}$$

2.2 PHƯƠNG PHÁP PHẦN TRĂM

Tính toán một hệ thống điện bằng phương pháp phần trăm khác so với phương pháp đơn vị tương đối mà ta sẽ trình bày dưới đây bởi hệ số 100 (giá trị phần trăm = $100 \times$ giá trị đơn vị tương đối). Phương pháp này không được sử dụng tính toán nhiều trong hệ thống điện do nó dẫn đến những sai số đơn giản.

Ví dụ: 50% dòng điện \times 100% tổng trở = 50% điện áp chứ không phải bằng 5000% điện áp như theo phép tính 50×100 .

2.3 PHƯƠNG PHÁP ĐƠN VỊ TƯƠNG ĐỐI

Như đã biết, khi sử dụng phương pháp trong đơn vị có tên để tính toán hệ thống điện có nhiều cấp điện áp, ta phải biến đổi các giá trị tổng trở về một cấp điện áp. Các giá trị dòng điện tính toán được khi đó cũng thuộc cấp điện áp đó và cần được quy đổi trở lại về cấp điện áp trong mạch của đường dây chứa nó, nếu ta cần biết giá trị đúng. Do đó, trong hệ thống điện người ta thường sử dụng hệ thống đơn vị tương đối cho các đại lượng vật lý khác nhau như là công suất, dòng điện, điện áp, và tổng trở được biểu diễn dưới dạng phân số thập phân hay bội số thập phân của các đại lượng cơ bản. Trong một hệ thống như vậy, các cấp điện áp khác nhau sẽ không xuất hiện, và mạng điện nối bởi máy phát, máy biến áp, dây dẫn sẽ trở thành một hệ thống các tổng trở không có đơn vị.

Giá trị trong đơn vị tương đối của các đại lượng được định nghĩa như sau:

$$\text{Giá trị trong đơn vị tương đối} = \frac{\text{giá trị thực của đại lượng}}{\text{giá trị cơ bản của đại lượng}} \quad (2.2)$$

Chẳng hạn:

$$S^* = S_{dvtđ} = \frac{S}{S_{cb}}; \quad V_{dvtđ} = \frac{V}{V_{cb}}; \quad I^* = I_{dvtđ} = \frac{I}{I_{cb}} \quad (2.3)$$

$$\text{và:} \quad Z^* = Z_{dvtđ} = \frac{Z}{Z_{cb}} \quad (2.4)$$

Ở đây, các tử số (giá trị thực) là các đại lượng có hướng hay các giá trị phức, còn mẫu số (giá trị cơ bản) luôn là số thực.

Thông thường, công suất cơ bản ba pha S_{cb} (MVA_{cb}) và điện áp dây cơ bản V_{cb} (kV_{cb}) sẽ được chọn, và người ta cố gắng chọn sao cho chúng gần với các giá trị danh định. Dòng điện cơ bản và tổng trở cơ bản thì phụ thuộc vào S_{cb} và V_{cb} và phải tuân theo các định luật dòng điện:

$$I_{cb} = \frac{S_{cb}}{\sqrt{3}V_{cb}} \quad (2.5)$$

$$\text{và:} \quad Z_{cb} = \frac{V_{cb}/\sqrt{3}}{I_{cb}} \quad (2.6)$$

thay I_{cb} trong (2.6) từ (2.5), tổng trở cơ bản trở thành:

$$Z_{cb} = \frac{(V_{cb})^2}{S_{cb}} \quad (2.7)$$

hay:
$$Z_{cb} = \frac{(kV_{cb})^2}{MVA_{cb}} \quad (2.8)$$

Khi trong mạng có chứa máy biến áp, giá trị điện áp cơ bản sẽ được chọn khác nhau cho mỗi phía máy biến áp. Và tỷ số các điện áp cơ bản phải bằng với tỷ số máy biến áp. Lưu ý rằng giá trị công suất cơ bản thì không thay đổi trong toàn mạng.

Ví dụ, xét một máy biến áp ba pha nối Y/ Δ , 34,5/115kV. Giả sử chọn công suất cơ bản, điện áp cơ bản, dòng cơ bản và tổng trở cơ bản cho phía hạ áp lần lượt là S_{cb} , V_{1cb} , I_{1cb} , và Z_{1cb} . Khi đó, ta nhận được các đại lượng tương ứng phía cao máy biến áp là:

$$V_{2cb} = \frac{115}{34,5} \cdot V_{1cb}; \quad I_{2cb} = \frac{S_{cb}}{\sqrt{3}V_{2cb}} = \frac{S_{cb}}{\sqrt{3}V_{1cb}} \cdot \frac{34,5}{115} = \frac{34,5}{115} \cdot I_{1cb}$$

$$Z_{2cb} = \frac{V_{2cb}^2}{S_{cb}} = \left(\frac{115}{34,5}\right)^2 \cdot \frac{V_{1cb}^2}{S_{cb}} = \left(\frac{115}{34,5}\right)^2 \cdot Z_{1cb}$$

Trong hệ thống đơn vị tương đối, việc tính toán ít bị nhầm lẫn hơn so với hệ đơn vị có tên là do khi chọn các giá trị cơ bản, việc chọn lựa điện áp pha cơ bản và công suất một pha cơ bản tuân theo các công thức của đại lượng có tên: $V_{cbd} = \sqrt{3} \cdot V_{cbp}$; $S_{cb} = 3 \cdot S_{cb}^{1pha}$. Nhờ vậy mà giá trị tương đối của điện áp pha bằng giá trị tương đối của điện áp dây, và công suất tương đối ba pha bằng công suất tương đối một pha. Khi đó, trong công thức tính dòng điện dựa trên sơ đồ một pha, ta không phải chia điện áp định mức cho $\sqrt{3}$ như trong hệ đơn vị có tên.

Như đã biết khái niệm công suất ngắn mạch ở chương 1, công suất ngắn mạch tại nút k được định nghĩa là tích giữa độ lớn điện áp nút định mức và độ lớn dòng ngắn mạch khi có ngắn mạch tại nút k (thanh cái k). Công suất ngắn mạch thường được dùng để xác định cỡ thanh cái và công suất của máy cắt. Dựa theo định nghĩa, công suất ngắn mạch ba pha tại nút k được cho bởi:

$$S_N = \sqrt{3} \cdot V_{dk} I_{Nk}^{(3)} \quad (MVA) \quad (2.9)$$

với: V_{dk} - độ lớn điện áp dây (kV)

$I_{Nk}^{(3)}$ - độ lớn dòng ngắn mạch (kA) ba pha đối xứng tại nút k.

Bỏ qua điện trở do kháng trở lớn, ta có thể viết công thức độ lớn dòng ngắn mạch ba pha trong hệ đơn vị tương đối như sau:

$$I_{Nk}^{*(3)} = \frac{V_k^*(0)}{X_{kk}^*} \quad (2.10)$$

ở đây: $V_k(0)$ - điện áp nút trước sự cố trong hệ đơn vị tương đối

X_{kk}^* - kháng trở trong đơn vị tương đối nhìn từ điểm sự cố nút k về hệ thống.

Biểu diễn dòng sự cố trong đơn vị có tên, ta có:

$$I_{Nk}^{(3)} = \frac{V_k(0)}{X_{kk}} I_{cb}, \quad (kA) \quad (2.11)$$

với

$$I_{cb} = \frac{S_{cb}(MVA)}{\sqrt{3}V_{cb}}, \quad (kA) \quad (2.12)$$

Như vậy, có thể viết công thức công suất ngắn mạch như sau:

$$S_N = V_{dk} \frac{V_k^*(0) \cdot S_{cb}}{X_{kk}^* V_{cb}}, \quad (MVA) \quad (2.13)$$

Nếu điện áp cơ bản được chọn bằng điện áp định mức, $V_{dk} = V_{cb}$ thì công suất ngắn mạch trở thành:

$$S_N = \frac{V_k^*(0) \cdot S_{cb}}{X_{kk}^*}, \quad (MVA) \quad (2.14)$$

Do giả thiết bỏ qua dòng tải trước sự cố, nên $V_k(0) = 1$ (đvtd), do đó chúng ta nhận được công thức tính gần đúng công suất ngắn mạch như sau:

$$S_N = \frac{S_{cb}}{X_{kk}^*} \quad (MVA) \quad (2.15)$$

$$\Rightarrow X_{kk}^* = \frac{S_{cb}}{S_N} \quad (2.16)$$

Chuyển đổi cơ bản trong đơn vị tương đối

Thông số (tổng trở) của riêng các máy phát và các máy biến áp, được cung cấp bởi nhà sản xuất thường ở dạng % hay giá trị tương đối với đại lượng cơ bản là định mức của máy. Tổng trở của đường dây truyền tải thì thường được biểu diễn bằng Ω . Khi phân tích hệ thống điện, tất cả các tổng trở này phải được biểu diễn trong đơn vị tương đối trên một hệ cơ bản chung. Như vậy, cần phải chuyển đổi các giá trị tương đối từ hệ cơ bản định mức của thiết bị sang hệ cơ bản được chọn, bởi vì $Z_{đvtd}$ thì phụ thuộc Z_{cb} nhưng $Z_{thuc}(\Omega)$ thì không, nên ta có thể viết:

$$Z(\Omega) = Z_{đvtd}^{cũ} \times Z_{cb}^{cũ} = Z_{đvtd}^{mới} \times Z_{cb}^{mới} \quad (2.17)$$

suy ra:

$$Z_{đvtd}^{mới} = Z_{đvtd}^{cũ} \frac{Z_{cb}^{cũ}}{Z_{cb}^{mới}} \quad (2.18)$$

$$= Z_{đvtd}^{cũ} \left[\frac{V_{cb}^{cũ}}{V_{cb}^{mới}} \right]^2 \frac{S_{cb}^{mới}}{S_{cb}^{cũ}} \quad (2.19)$$

Ký hiệu “cũ” bên phải (2.18) ký hiệu đại lượng nhằm chỉ đến giá trị trên cơ bản là định mức máy, còn ký hiệu “mới” (2.19) chỉ đến giá trị trên cơ bản mới vừa chọn.

2.4 CÁC BƯỚC TÍNH TOÁN NGẮN MẠCH TRONG ĐƠN VỊ TƯƠNG ĐỐI

Các bước thực hiện trong việc tính toán ngắn mạch đối xứng bằng đơn vị tương đối.

1- Vẽ sơ đồ một dây với các thông số của từng phần tử sơ đồ, đánh số từng điểm nút của sơ đồ.

2- Chọn một giá trị công suất cơ bản cho toàn hệ thống, thường chọn bằng công suất danh định của máy phát điện hay máy biến áp.

3- Chọn tùy ý một điện áp cơ bản, để thuận tiện ta chọn bằng giá trị điện áp định mức của thiết bị vừa được dùng để chọn công suất cơ bản trên. Tính các điện áp cơ bản khác theo giá trị vừa chọn và theo các tỷ số điện áp dây không tải của mỗi máy biến áp tương ứng.

4- Tính các tổng trở cơ bản tại các vị trí khác nhau và tính toán tất cả các tổng trở trong hệ đơn vị tương đối vừa chọn.

5- Vẽ sơ đồ tổng trở (một dây) cho toàn thể hệ thống. Xây dựng sơ đồ tương đương Thevenin bằng cách kết hợp các tổng trở nối tiếp, song song và biến đổi thành một sơ đồ tổng trở tương đương Thevenin đơn giản (Z_{th}).

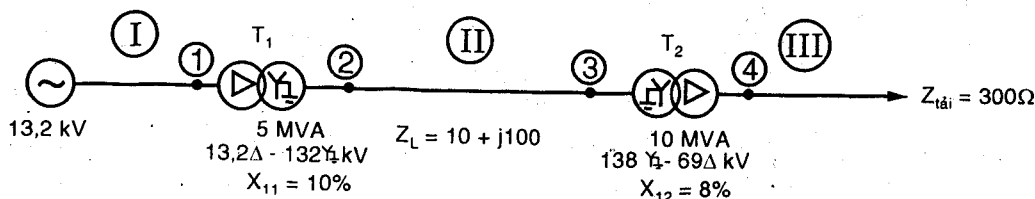
6- Tính toán dòng sự cố

$$I_{Thevenin}^* = I_{th}^* = \frac{E^*}{Z_{th}^*} = \frac{1,0}{(R_{th}^{*2} + X_{th}^{*2})^{1/2}} = I^* \quad (2.20)$$

7- Chuyển đổi dòng sự cố trở về trong hệ đơn vị có tên:

$$I_N^{(3)} = I^* \cdot I_{cb} \quad (2.21)$$

Ví dụ 2.3: Xét một hệ thống với sơ đồ một dây được biểu diễn trên hình 2.5. Thông số máy biến áp, đường dây và tổng trở tải ba pha được cho trên hình. Điện áp nguồn phát là 13,2kV (điện áp dây). Tìm dòng nguồn phát, dòng đường dây, dòng tải và điện áp tải, và công suất truyền cho tải.



Hình 2.5: Sơ đồ của ví dụ 2.3

Giải. Chúng ta bắt đầu từ sơ đồ một dây hình 2.3. Trong hình có ba cấp điện áp được xác định bằng ba phạm vi (I), (II), (III). Ta sẽ chọn cơ bản thích hợp với ba phạm vi này.

- Chọn S_{cb}^{3p} cho toàn hệ thống: $S_{cb}^{3p} = 10MVA$

- Chọn một điện áp dây cơ bản. Chọn $V_{cbII} = 138kV$. Tính được các điện áp cơ bản còn lại bởi tỷ số biến áp: $V_{cbI} = 13,8kV$; $V_{cbIII} = 69kV$.

Các chỉ số (I), (II) và (III) chỉ phạm vi áp dụng giá trị chọn.

- Tính tổng trở cơ bản cho 3 phạm vi, và tính các giá trị tổng trở trong đơn vị tương đối:

$$Z_{cbIII} = \frac{(69 \times 10^3)^2}{10 \times 10^6} = 467(\Omega) \Rightarrow \dot{Z}_{tái}^* = j \frac{300}{467} = j0,63 \text{ (đvtđ)}$$

$$Z_{cbII} = \frac{(138 \times 10^3)^2}{10 \times 10^6} = 1904(\Omega) \Rightarrow \dot{Z}_L^* = 5,25 \times 10^{-3}(1 + j10)$$

- Tính các dòng điện cơ bản:

$$I_{cbI} = \frac{S_{cb}}{\sqrt{3} \times V_{cbI}} = \frac{10 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 13,8 \times 10^3} = 418,4A$$

$$I_{cbII} = \frac{13,2}{132} \times 418,4 = 41,84A$$

$$I_{cbIII} = \frac{138}{69} \times 418,4 = 83,67A$$

- Đổi X_{T1} sang hệ cơ bản mới chọn:

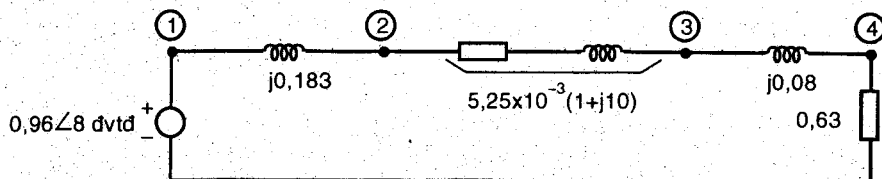
$$X_{T1}^{*mới} = 0,1 \left(\frac{13,2}{13,8} \right)^2 \left(\frac{10}{5} \right) = 0,183 \text{ đvtđ}$$

Đối với X_{T2} , hệ cơ bản không đổi, nên trong hệ cơ bản được chọn, nó vẫn giữ nguyên giá trị: $X_{T2}^* = 0,08 \text{ đvtđ}$

- Biểu diễn áp nguồn trong đơn vị tương đối: $E_s^* = \frac{13,2}{13,8} = 0,96$

đặt $E_s^* = 0,96 \angle 0^\circ \text{ đvtđ}$.

- Vẽ sơ đồ tổng trở đơn vị tương đối:



Hình 2.6: Sơ đồ thay thế hình 2.5

$$Z_{\Sigma}^* = j0,63 + 5,25 \times 10^{-3} \times (1 + j10) + j0,183 + j0,08 = 0,709 \angle 26,4^\circ \text{ đvtđ}$$

$$\dot{i}^* = \frac{0,96}{0,709 \angle 26,4^\circ} = 1,35 \angle -26,4^\circ \text{ đvtđ}$$

Chú ý rằng giá trị I^* tương đương 3 giá trị thực khác nhau trên phạm vi (I), (II) và (III) do các giá trị cơ bản khác nhau. Tính toán điện áp tải:

$$V^* = 0,63I^* = 0,8505 \angle -26,4^\circ I^* \text{ đvtd}$$

và công suất tải: $S^* = V^* \times I^* = Z^* \times |I^*|^2 = 0,63 \times 1,35^2 = 1,148$

- Tính giá trị thực:

$$\text{Dòng máy phát: } I_I = 1,35 \times 418,4 = 584,8 \text{ A}$$

$$\text{Dòng đường dây: } I_{II} = 1,35 \times 41,84 = 56,48 \text{ A}$$

$$\text{Dòng tải: } I_{III} = 1,35 \times 83,67 = 112,95 \text{ A}$$

$$\text{Điện áp tải: } V_{III} = 0,8505 \times 69 \text{ kV} = 58,48 \text{ kV}$$

$$\text{Công suất tải: } S^* \cdot S_{cb}^{3p} = 1,148 \times 10 \text{ MVA} = 11,48 \text{ MVA}$$

Ví dụ 2.4. Giải ví dụ 2.1 bằng phương pháp đơn vị tương đối.

Giải. Chọn công suất cơ bản $S_{cb} = 100 \text{ MVA}$.

Chọn điện áp cơ bản:

$$\text{Phía sơ cấp máy biến áp: } V_{cbI} = 13 \text{ kV}$$

$$\text{Phía thứ cấp máy biến áp: } V_{cbII} = 220 \text{ kV}$$

Tính tổng trở cơ bản và dòng điện cơ bản:

$$Z_{cbI} = \frac{V_{cbI}^2}{S_{cb}} = \frac{13^2}{100} = 1,69 \Omega$$

$$I_{cbI} = \frac{S_{cb}}{\sqrt{3} \cdot V_{cbI}} = \frac{100}{\sqrt{3} \times 13} = 4,4412 \text{ kA}$$

$$Z_{cbII} = \frac{V_{cbII}^2}{S_{cb}} = \frac{220^2}{100} = 484 \Omega$$

$$I_{cbII} = \frac{S_{cb}}{\sqrt{3} \cdot V_{cbII}} = \frac{100}{\sqrt{3} \times 220} = 0,2624 \text{ kA}$$

Tính các giá trị tổng trở trong hệ đơn vị tương đối theo các cơ bản vừa chọn:

$$X_{dI}^* = 0,24 \frac{S_{cb}^{mới}}{S_{cb}^{cũ}} \cdot \left(\frac{V_{cb}^{cũ}}{V_{cb}^{mới}} \right)^2 = 0,24 \frac{S_{cb}}{S_{dm}^{MP1}} \cdot \left(\frac{V_{dm}^{MP1}}{V_{cbI}} \right)^2 = 0,24 \frac{100}{60} = 0,40 \text{ đvtd}$$

$$X_{dII}^* = 0,24 \frac{S_{cb}^{mới}}{S_{cb}^{cũ}} \cdot \left(\frac{V_{cb}^{cũ}}{V_{cb}^{mới}} \right)^2 = 0,24 \frac{S_{cb}}{S_{dm}^{MP2}} \cdot \left(\frac{V_{dm}^{MP2}}{V_{cbII}} \right)^2 = 0,24 \frac{100}{40} = 0,60 \text{ đvtd}$$

$$X_L^* = \frac{X_L}{Z_{cb2}} = \frac{160}{484} = 0,33 \text{ đvtd}$$

$$X_T^* = 0,16$$

Tổng trở tương đương Thevenin:

$$\begin{aligned} Z_{Th}^* &= (jX'_{d1}) \parallel (jX'_{d2}) + jX_T + jX_L \\ &= \frac{j0,4 \times j0,6}{j0,4 + j0,6} + j0,16 + j0,33 = j0,73 \text{ đvtđ} \end{aligned}$$

Dòng ngắn mạch chạy trên đường dây khi xảy ra ngắn mạch cuối đường dây là:

$$I_N^{(3)*} = \frac{1,0}{j0,73} = -j1,37 \text{ đvtđ}$$

Đổi về hệ đơn vị có tên:

- Phía sơ cấp máy biến áp:

$$I_{N_SC}^{(3)} = I_N^{(3)} \cdot I_{cbI} = -j1,37 \times 4,4412 = -j6,084 \text{ kA}$$

- Phía thứ cấp máy biến áp:

$$I_{N_TC}^{(3)} = I_N^{(3)} \cdot I_{cbII} = -j1,37 \times 0,2624 = -j0,3595 \text{ kA}$$

Kết quả tính toán phù hợp với kết quả tính toán theo phương pháp đơn vị có tên trong ví dụ 2.1.

Ví dụ 2.5. Giải ví dụ 2.2 trong hệ đơn vị tương đối.

Giải. Chọn hệ cơ bản:

Chọn công suất cơ bản: $S_{cb}^{3ph} = S_{cb} = 1 \text{ MVA}$

Chọn điện áp dây cơ bản (bằng điện áp định mức hệ thống):

Phía sơ cấp máy biến áp: $V_{cb} = 22 \text{ kV}$

Phía thứ cấp máy biến áp: $V_{cb} = 0,4 \text{ kV}$

Dòng điện cơ bản:

Phía sơ cấp máy biến áp: $I_{cb} = \frac{1}{\sqrt{3} \times 22} = 26,24 \text{ A}$

Phía thứ cấp máy biến áp: $I_{cb} = \frac{1}{\sqrt{3} \times 0,4} = 1443 \text{ A}$

Tổng trở cơ bản:

Phía sơ cấp máy biến áp: $Z_{cb} = \frac{22^2}{1} = 484 \text{ } \Omega$

Phía thứ cấp máy biến áp: $Z_{cb} = \frac{0,4^2}{1} = 0,16 \text{ } \Omega$

Tính toán các giá trị tổng trở trong hệ cơ bản đã lựa chọn:

$$Z_{HT}^* = \frac{V_{dm}^2}{S_{NM}} \frac{1}{Z_{cb}} = \frac{V_{dm}^2 \cdot S_{cb}}{S_{NM} \cdot V_{cb}^2} = \frac{S_{cb}}{S_{NM}} = \frac{1}{800} = 0,00125 \text{ đvtđ}$$

$$R_{HT}^* = 0,0402/484 = 0,000083 \text{ đvtđ}$$

$$X_{HT}^* = 0,604/484 = 0,00125 \text{ đvtđ}$$

Do hệ cơ bản đã chọn trùng với định mức máy biến áp nên các giá trị tương đối của các thông số vẫn không thay đổi:

$$R_{MBA}^* = 0,0121 \text{ đvtd}; \quad Z_{MBA}^* = 0,0575 \text{ đvtd}$$

$$X_{MBA}^* = \sqrt{Z_{MBA}^2 - R_{MBA}^2} = 0,0562 \text{ đvtd}$$

Phát tuyến L_1 : $X_{L1}^* = \frac{0,00808}{0,16} = 0,0505 \text{ đvtd}; \quad R_{L1}^* = \frac{0,007504}{0,16} = 0,0469 \text{ đvtd}$

Phát tuyến L_2 : $X_{L2}^* = \frac{0,00528}{0,16} = 0,033 \text{ đvtd}; \quad R_{L2}^* = \frac{0,004}{0,16} = 0,025 \text{ đvtd}$

Động cơ: $X_{M1}^* = 0,25 \frac{S_{cb}}{S_{dm}} = 0,25 \frac{1}{0,4} = 0,625 \text{ đvtd}$

$$R_{M1}^* = \frac{0,25}{6} \frac{S_{cb}}{S_{dm}} = 0,1042 \text{ đvtd}$$

$$X_{M1}^* = 0,25 \frac{1}{0,5} = 0,5 \text{ đvtd}$$

$$R_{M2}^* = \frac{0,5}{6} = 0,0833 \text{ đvtd}$$

a) Ngắn mạch tại N_1 :

Điện trở tương đương và điện kháng tương đương:

$$\begin{aligned} R_{Th} &= (R_{HT} + R_{MBA}) // (R_{L1} + R_{M1}) // (R_{L2} + R_{M2}) \\ &= \frac{1}{\frac{1}{0,013} + \frac{1}{0,1511} + \frac{1}{0,1083}} = 0,01021 \text{ đvtd} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_{Th}^* &= (X_{HT} + X_{MBA}) // (X_{L1} + X_{M1}) // (X_{L2} + X_{M2}) \\ &= \frac{1}{\frac{1}{0,05745} + \frac{1}{0,6755} + \frac{1}{0,533}} = 0,0481 \text{ đvtd} \end{aligned}$$

$$\dot{Z}_{Th}^* = R_{Th} + jX_{Th}^*; \quad |Z_{Th}^*| = \sqrt{R_{Th}^2 + X_{Th}^2} = 0,0492 \text{ đvtd}$$

Dòng ngắn mạch N_1 :

$$I_{N1}^{(3)*} = \frac{1,0}{0,0492} = 20,325 \text{ đvtd} = 20,325 \times 1443 = 29,33 \text{ kA}$$

b) Ngắn mạch tại N_2 :

$$\begin{aligned} R_{Th}^* &= ((R_{HT} + R_{MBA}) // (R_{M2} + R_{L2}) + R_{L1}) // R_{M1} \\ &= \frac{1}{\frac{1}{0,05785} + \frac{1}{0,1042}} = 0,0372 \text{ đvtd} \end{aligned}$$

$$X_{Th}^* = ((X_{HT} + X_{MBA}) // (X_{M2} + X_{L2}) + X_{L1}) // X_{M1}$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{0,1024} + \frac{1}{0,625}} = 0,088 \text{ đvtd}$$

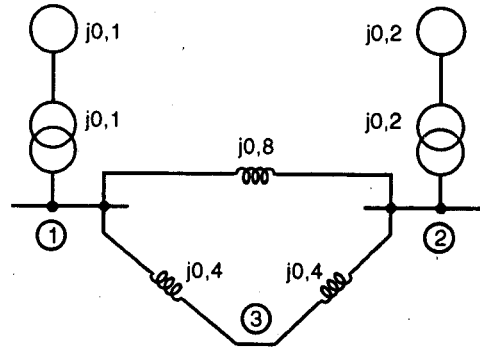
$$Z_{Th}^* = \sqrt{0,088^2 + 0,0372^2} = 0,0954 \text{ đvtd}$$

Dòng ngắn mạch N_2 :

$$I_{N2}^{(3)*} = \frac{1}{0,0954} = 10,48 \text{ đvtd} = 10,48 \times 1443 = 15,123 \text{ kA}$$

Kết quả tính dòng ngắn mạch tại N_1 và N_2 phù hợp với kết quả ví dụ 2.2.

Ví dụ 2.6. Sơ đồ một dây của một hệ thống điện ba nút đơn giản được cho trên hình 2.7. Mỗi máy phát được tương đương bởi một sức điện động nối tiếp với kháng trở quá độ. Tất cả tổng trở được cho trong đơn vị tương đối với công suất cơ bản là 100MVA, và bỏ qua điện trở. Giả sử rằng hệ thống được xem xét khi không tải và tất cả máy phát đều vận hành tại điện áp và tần số định mức.

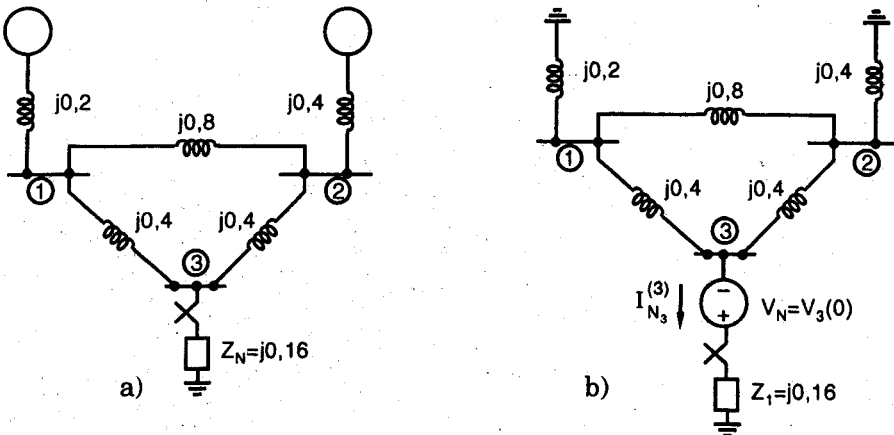


Hình 2.7: Hình minh họa cho ví dụ 2.6

Xác định dòng sự cố, điện áp nút, và dòng đường dây khi một sự cố ba pha đối xứng xảy ra với tổng trở chạm $Z_N = 0,16 \text{ đvtd}$ lần lượt xảy ra tại nút ③, nút ②.

Giải: a) Sự cố xảy ra tại nút ③:

Sự cố được giả lập bởi một công tắc nối tổng trở sự cố tại nút ③ như hình 2.8a. Theo lý thuyết Thevenin, sự thay đổi trạng thái trong mạng gây bởi nhánh tổng trở sự cố cũng tương đương như khi thêm vào nguồn áp $\dot{V}_3(0)$ và nối tắt các nguồn áp khác như trên hình 2.8b.



Hình 2.8: Sơ đồ tương đương khi ngắn mạch ba pha tại nút ③

Theo hình 2.8b, dòng sự cố tại nút ③ là:

$$I_{N3}^{(3)} = \frac{V_3(0)}{Z_{33} + Z_N} \quad (2.22)$$

với $V_3(0)$ là điện áp Thevenin hay điện áp nút ③ trước sự cố.

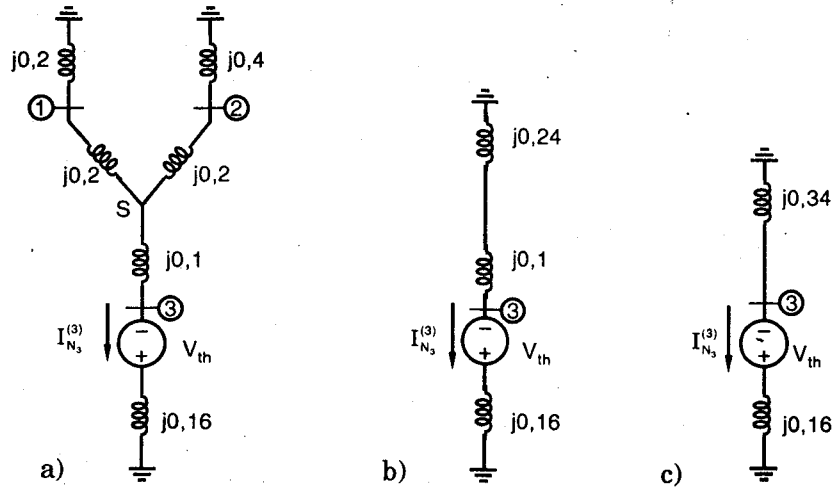
Điện áp nút này có thể nhận được từ kết quả tính toán phân bố công suất. Trong ví dụ này, do bỏ qua tải và điện áp máy phát được giả thiết bằng định mức, nên tất cả điện áp nút trước sự cố đều bằng 1 đvtd, nghĩa là:

$$V_1^*(0) = V_2^*(0) = V_3^*(0) = 1 \text{ (đvtd)}$$

với Z_{33} là tổng trở Thevenin nhìn từ nút sự cố.

Để tìm tổng trở Thevenin, ta biến đổi mạch $\Delta(1,2,3)$ thành dạng Y tương đương như hình 2.9a.

$$Z_{1s}^* = Z_{2s}^* = \frac{(j0,4)(j0,8)}{j1,6} = j0,2; \quad Z_{3s}^* = \frac{(j0,4)(j0,4)}{j1,6} = j0,1$$



Hình 2.9: Sơ đồ biến đổi tương đương

Kết hợp hai nhánh song song, ta được tổng trở Thevenin:

$$Z_{33}^* = \frac{(j0,4)(j0,6)}{j0,4 + j0,6} + j0,1 = j0,34 \text{ đvtd}$$

Từ hình 2.9c và công thức (2.22), dòng sự cố bằng:

$$I_{N3}^{(3)*} = \frac{V_3(0)}{Z_{33} + Z_N} = \frac{1,0}{j0,34 + j0,16} = -j2,0 \text{ đvtd}$$

Theo hình 2.9a, dòng điện từ hai máy phát là:

$$I_{G1}^* = \frac{j0,6}{j0,4 + j0,6} I_{N3}^{(3)*} = -j1,2 \text{ đvtd}$$

$$I_{G2}^* = \frac{j0,4}{j0,4 + j0,6} I_{N3}^{(3)*} = -j0,8 \text{ đvtd}$$

Tính sự thay đổi điện áp nút từ hình 2.9b, ta được:

$$\Delta V_1^* = 0 - (j0,2)(-j1,2) = -0,24 \text{ đvtd.}$$

$$\Delta V_2^* = 0 - (j0,4)(-j0,8) = -0,32 \text{ đvtd.}$$

$$\Delta V_3^* = (j0,16)(-j2) - 1,0 = -0,68 \text{ đvtd.}$$

Điện áp nút khi sự cố nhận được bằng cách xếp chồng điện áp nút trước sự cố và độ thay đổi điện áp nút do nguồn áp tương đương nối với nút sự cố, như vậy:

$$V_{1N}^* = \dot{V}_1(0) + \Delta \dot{V}_1 = 0,76 \text{ đvtd}$$

$$V_{2N}^* = \dot{V}_2(0) + \Delta \dot{V}_2 = 0,68 \text{ đvtd}$$

$$V_{3N}^* = \dot{V}_3(0) + \Delta \dot{V}_3 = 0,32 \text{ đvtd}$$

Dòng ngắn mạch trên đường dây:

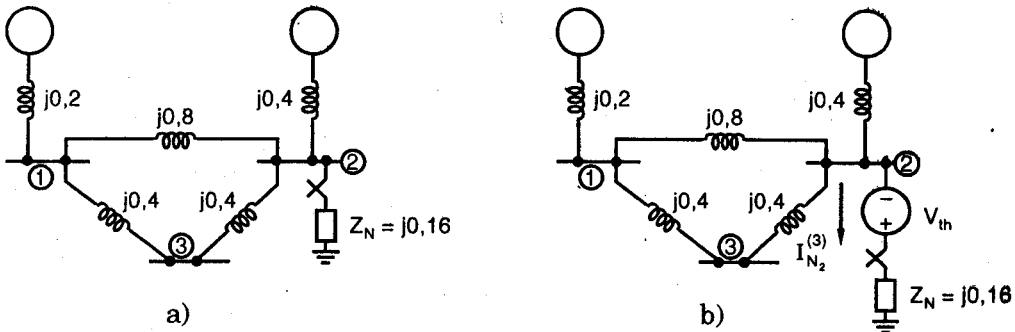
$$I_{12N}^* = \frac{\dot{V}_{1N}^* - \dot{V}_{2N}^*}{\dot{Z}_{12}} = -j0,1 \text{ đvtd}$$

$$I_{13N}^* = \frac{\dot{V}_{1N}^* - \dot{V}_{3N}^*}{\dot{Z}_{13}} = -j1,1 \text{ đvtd}$$

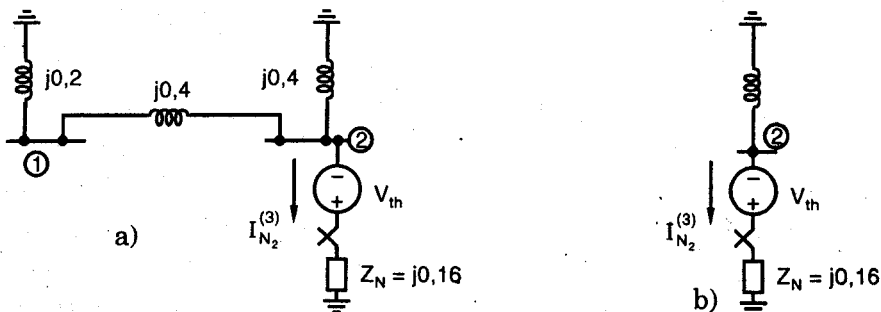
$$I_{23N}^* = \frac{\dot{V}_{2N}^* - \dot{V}_{3N}^*}{\dot{Z}_{23}} = -j0,9 \text{ đvtd}$$

b) Sự cố xảy ra tại nút ②

Sự cố với tổng trở chạm Z_N được vẽ trên hình 2.10a, và mạch tương đương Thevenin của nó được biểu diễn trên hình 2.10b. Để tìm tổng trở tương đương Thevenin, ta kết hợp hai nhánh song song như trên hình 2.11a.



Hình 2.10: Sơ đồ tương đương khi ngắn mạch tại nút ②



Hình 2.11: Biến đổi sơ đồ tương đương

Tiếp tục kết hợp hai nhánh song song nối từ đất đến thanh cái 2 như hình 2.11b, ta được:

$$Z_T^* = \frac{(j0,6)(j0,4)}{j0,6 + j0,4} = j0,24 \text{ đvtd}$$

Từ hình 2.11b, suy ra dòng ngắn mạch:

$$I_{N2}^{(3)*} = \frac{\dot{V}_2(0)}{\dot{Z}_{T2} + \dot{Z}_N} = \frac{1,0}{j0,24 + j0,16} = -j2,5 \text{ đvtd}$$

Theo hình 2.11a, suy ra dòng ngắn mạch chạy từ hai máy phát:

$$I_{G1}^* = \frac{j0,4}{j0,4 + j0,6} I_{N2}^{(3)*} = -j1,0 \text{ đvtd}$$

$$I_{G2}^* = \frac{j0,6}{j0,4 + j0,6} I_{N2}^{(3)*} = -j1,5 \text{ đvtd}$$

Sự thay đổi điện áp nút khi xảy ra sự cố:

$$\Delta V_1^* = 0 - (j0,2)(I_{G1}^*) = 0 - (j0,2)(-j1,0) = -0,2 \text{ đvtd}$$

$$\Delta V_2^* = 0 - (j0,4)(I_{G2}^*) = 0 - (j0,4)(-j1,5) = -0,6 \text{ đvtd}$$

$$\Delta V_3^* = \Delta V_1^* - (j0,4)\left(\frac{I_{G1}^*}{2}\right) = -0,2 - (j0,4)\left(\frac{-j0,1}{2}\right) = -0,4 \text{ đvtd}$$

Điện áp nút lúc xảy ra sự cố nhận được theo nguyên lý xếp chồng:

$$V_{1N}^* = V_1^*(0) + \Delta V_1^* = 1,0 - 0,2 = 0,8 \text{ đvtd}$$

$$V_{2N}^* = V_2^*(0) + \Delta V_2^* = 1,0 - 0,6 = 0,4 \text{ đvtd}$$

$$V_{3N}^* = V_3^*(0) + \Delta V_3^* = 1,0 - 0,4 = 0,6 \text{ đvtd}$$

Dòng ngắn mạch chạy trên các đường dây:

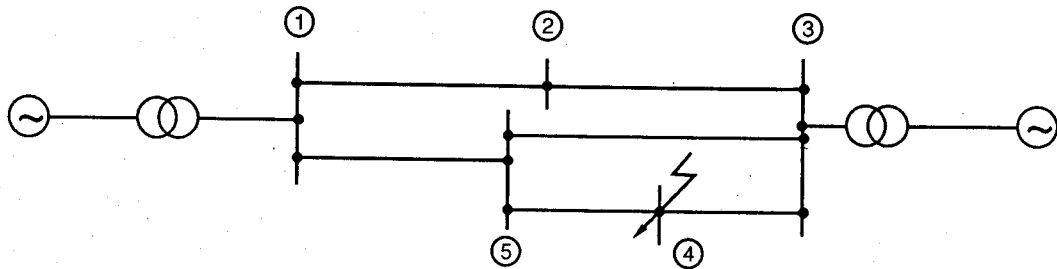
$$I_{N12}^* = \frac{\dot{V}_{N1} - \dot{V}_{N2}}{\dot{Z}_{12}} = \frac{0,8 - 0,4}{j0,8} = -j0,5 \text{ đvtd}$$

$$I_{N13}^* = \frac{\dot{V}_{N1} - \dot{V}_{N3}}{\dot{Z}_{13}} = \frac{0,8 - 0,6}{j0,4} = -j0,5 \text{ đvtd}$$

$$I_{N32}^* = \frac{\dot{V}_{N3} - \dot{V}_{N2}}{\dot{Z}_{32}} = \frac{0,6 - 0,4}{j0,4} = -j0,5 \text{ đvtd}$$

Ví dụ 2.7. Một mạng điện 5 nút hình 2.12 với máy phát tại nút ① và ③ lần lượt có công suất định mức là 270 MVA và 250 MVA. Kháng trở siêu quá độ máy phát cộng với kháng trở của máy biến áp nối giữa chúng với các thanh cái là 30% ứng với cơ bản là định mức của máy. Tỷ số biến đổi của máy biến áp thỏa điện áp cơ bản, điện áp cơ bản trên mỗi mạch máy phát bằng với điện áp định mức của máy phát. Tổng trở đường dây được cho trên hình với với cơ bản 100 MVA. Bỏ qua điện trở. Tìm dòng siêu quá độ khi ngắn mạch ba pha tại thanh cái số 4 (nút ④)

và các dòng chạy trên các đường dây khi đó. Bỏ qua dòng điện trước sự cố và giả sử rằng tất cả điện áp nút trước sự cố đều bằng 1,0 đvtd.



Hình 2.12: Sơ đồ mạng ví dụ 2.7

Giải. Trước sự cố, điện áp tại nút ④ là 1 đvtd. Khi xảy ra sự cố, điện áp tại nút ④ bằng 0 (thế so với đất). Theo nguyên lý Thevenin, có thể tương đương sự cố bởi một nguồn 1 (bằng về độ lớn với điện áp nút trước sự cố) ngược chiều với điện áp trước sự cố nối với đất bởi một công tắc chuyển mạch và nối tắt các nguồn khác trong hệ thống. Thời điểm ngắn mạch là thời điểm đóng công tắc.

Tính toán tổng trở tương đương Thevenin:

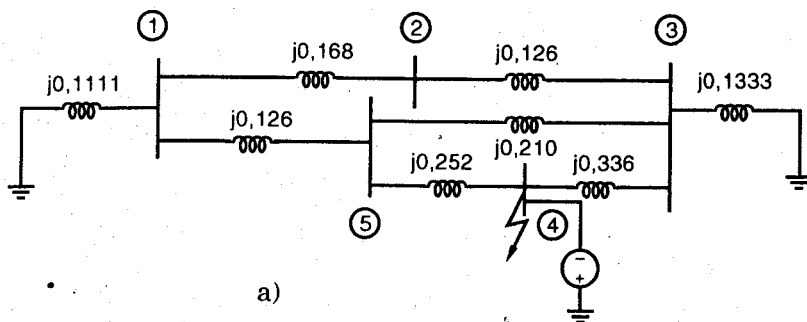
Chọn S_{cb} tính toán là 100MVA.

Kháng trở máy phát cộng máy biến áp trong hệ cơ bản 100 MVA (chú ý rằng $V_{cb} = V_{dm}$):

$$X_{G1}^* = 0,3 \times \frac{100}{270} = 0,1111 \text{ đvtd}$$

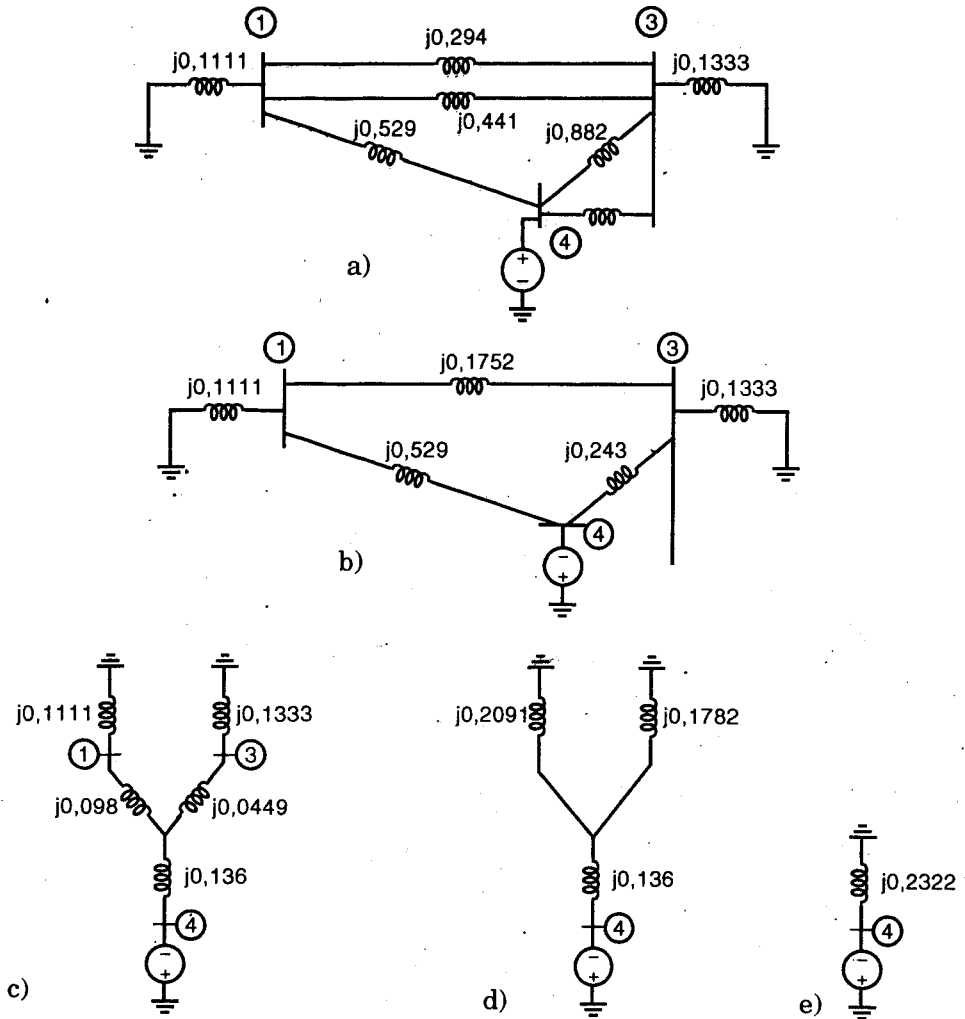
$$X_{G3}^* = 0,3 \times \frac{100}{250} = 0,1333 \text{ đvtd}$$

Sơ đồ thay thế mạng hình 2.12 cho ở hình 2.13:



Hình 2.13: Sơ đồ tương đương khi ngắn mạch tại nút ④

Biến đổi Y-Δ ba nhánh hình Y nối vào nút ⑤ của hình 2.13, ta được hình 2.14.



Hình 2.14: Sơ đồ tương đương sau khi biến đổi Y/Δ và liên kết

Tính được $Z_{Th}^* = j0,2322$ đvtd.

Tổng dòng sự cố tại nút ④:

$$\dot{I}_{N4}^{(3)*} = \frac{\dot{V}_4(0)}{\dot{Z}_T + \dot{Z}_N} = \frac{1,0}{j0,2322 + 0} = -j4,3072 \text{ đvtd}$$

Từ hình 2.14d, dòng ngắn mạch chạy ra khỏi đầu cực hai máy phát là:

$$\dot{I}_{G1}^* = \frac{j0,1728}{j0,2091 + j0,1728} \dot{I}_{N4}^{(3)*} = -j1,982 \text{ đvtd}$$

$$\dot{I}_{G3}^* = \frac{j0,2091}{j0,2091 + j0,1728} \dot{I}_{N4}^{(3)*} = -j2,325 \text{ đvtd}$$

Sự thay đổi điện áp tại nút ② và ① do nguồn giả lập sự cố gây nên là:

$$\Delta \dot{V}_1^* = 0 - jX_{G1} \times I_{G1} = 0 - (j0,1111)(-j1,982) = -0,2202 \text{ đvtd}$$

$$\Delta \dot{V}_3^* = 0 - jX_{G3} \times I_{G3} = 0 - (j0,1333)(-j2,325) = -0,31 \text{ đvtd}$$

Độ thay đổi điện áp tại nút sự cố (nút ④):

$$\Delta \dot{V}_4^* = -1 \text{ đvtd}$$

Điện áp nút khi sự cố nhận được bằng cách xếp chồng điện áp nút trước sự cố và độ thay đổi điện áp gây bởi suất điện động tương đương nối với thanh cái sự cố:

$$\dot{V}_{1N}^* = 1,0 - \Delta \dot{V}_1 = 1,0 - 0,2202 = -0,78 \text{ đvtd}$$

$$\dot{V}_{3N}^* = 1,0 - \Delta \dot{V}_2 = 1,0 - 0,31 = -0,69 \text{ đvtd}$$

$$\dot{V}_{4N}^* = 1,0 - \Delta \dot{V}_3 = 1,0 - 1,0 = 0 \text{ đvtd}$$

Dòng ngắn mạch trên các nhánh 1-2 và 2-3 là:

$$I_N^{*1-2} = I_N^{*2-3} = \frac{(\dot{V}_{3N}^* - \dot{V}_{1N}^*)}{jX_{1-3}} = \frac{0,69 - 0,78}{j0,294} = j0,306 \text{ đvtd}$$

Điện áp tại nút ② khi sự cố:

$$\dot{V}_{2N} = \dot{V}_{1N} + j0,168 \times I_N^{1-2} = 0,78 + j0,168 \times j0,306 = 0,7286 \text{ đvtd}$$

Dòng sự cố trên nhánh 3-4 và 4-5:

$$I_N^{*3-4} = \frac{\dot{V}_{3N}^* - \dot{V}_{4N}^*}{jX_{3-4}} = \frac{0,69}{j0,336} = -2,054 \text{ đvtd}$$

$$I_N^{*4-5} = I_N^{3-4} - I_N^{(3)} = -j2,054 + j4,3072 = j2,253 \text{ đvtd}$$

$$\dot{V}_{5N}^* = -I_N^{4-5} \cdot jX_{4-5} = -2,253 \times j0,252 = 0,568 \text{ đvtd}$$

Dòng ngắn mạch chạy trên nhánh 1-5:

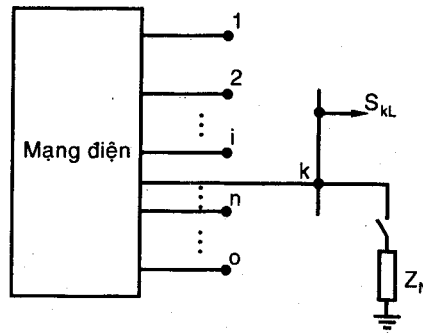
$$I_N^{*1-5} = \frac{(\dot{V}_{1N}^* - \dot{V}_{5N}^*)}{jX_{1-5}} = \frac{0,78 - 0,568}{j0,168} = -j1,263 \text{ đvtd}$$

Dòng ngắn mạch chạy trên nhánh 5-3:

$$I_N^{*5-3} = \frac{\dot{V}_{5N}^* - \dot{V}_{3N}^*}{jX_{5-3}} = \frac{0,568 - 0,69}{j0,210} = j0,581 \text{ đvtd}$$

2.5 TÍNH TOÁN NGẮN MẠCH DÙNG MA TRẬN TỔNG TRỞ THANH CÁI (NÚT)

Ở các ví dụ trên, để tính toán ngắn mạch ta đã tìm cách thu gọn mạch về một tổng trở tương đương. Nhưng đối với một mạng điện lớn có nhiều nút thì cách thức trên rất khó dùng. Trong phần này, ta sẽ trình bày một phương pháp khác, thông dụng hơn, khi tính toán ngắn mạch trong mạng nhiều nút. Bằng việc sử dụng các phần tử ma trận tổng trở thanh cái (nút), dòng sự cố cũng như giá trị điện áp nút khi sự cố sẽ được tính toán một cách dễ dàng và tiện lợi hơn.



Hình 2.15: Sơ đồ mạng tiêu biểu

Xét một nút tương trưng của một hệ thống điện n nút được vẽ trên hình 2.15. Hệ thống được giả thiết là vận hành trong tình trạng ba pha đối xứng và có thể được biểu diễn bằng mô hình một pha. Mỗi một máy được thay thế bởi một nguồn áp không đổi nối tiếp với một kháng trở có các giá trị X_d'' hoặc X_d' hoặc X_d tùy theo chế độ tính toán. Đường dây truyền tải được thay bằng mô hình tương đương hình π hay Z đơn giản, và tất cả các tổng trở được biểu diễn trong hệ đơn vị tương đối theo một cơ bản chung. Một sự cố ba pha đối xứng xảy ra tại thanh cái k qua tổng trở trạm Z_N . Các điện áp nút (điện áp pha) trước sự cố có thể nhận được bằng việc tính toán phân bố công suất trong mạng và được biểu diễn bằng một vectơ cột

$$[\mathbf{V}_{\text{nút}}(0)] = \begin{bmatrix} V_1(0) \\ V_2(0) \\ \vdots \\ \vdots \\ V_n(0) \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

Như đã trình bày ở các ví dụ trên, người ta thường bỏ qua dòng xác lập trước sự cố do dòng ngắn mạch quá lớn so với nó. Tuy nhiên, hợp lý hơn là thay thế tải bởi một tổng trở không đổi theo điện áp nút tải trước sự cố, nghĩa là:

$$Z_{iL} = \frac{|V_i(0)|^2}{S_L^*} \quad (2.24)$$

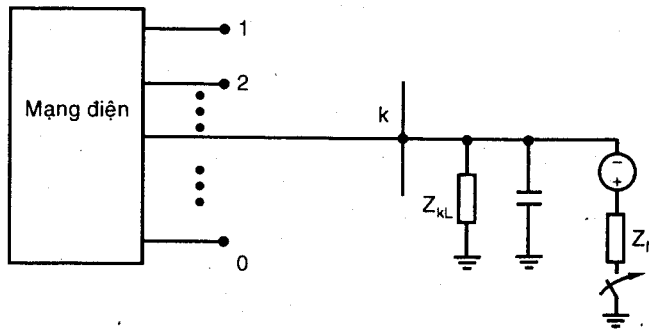
Trước khi xảy ra ngắn mạch, điện áp tại nút sự cố k là $V_k(0)$ khi ngắn mạch xảy ra, điện áp mạng thay đổi tương đương với việc đặt tại điểm chạm biến áp $V_k(0)$ và nối tắt các nguồn khác. Một cách tổng quát, có thể mô phỏng ảnh hưởng của ngắn mạch tại một nút bằng cách nối nút đó với đất qua một mạch nối tiếp gồm một nguồn áp cùng độ lớn và ngược dấu với điện áp nút trước sự cố và một tổng trở chạm còn các nguồn khác nối tắt. Và độ thay đổi điện thế trong mạng gây bởi sự cố với tổng trở chạm Z_N tại nút k thì cũng hệt như chúng được tạo ra trong mạch khi thêm vào nguồn áp $-V_k(0)$ nối tiếp tổng trở chạm và nối tắt tất cả các nguồn áp khác. Nối tắt tất cả các nguồn áp và thay tất cả các phần tử trong mạch bởi tổng trở tương ứng, ta nhận được mạch tương đương Thevenin được vẽ trên hình 2.16. Các độ lệch điện áp nút gây bởi sự cố trong mạch được biểu diễn

bởi vectơ cột:

$$[\Delta V_{\text{nút}}] = \begin{bmatrix} \Delta V_1 \\ \vdots \\ \Delta V_n \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

Theo lý thuyết Thevenin, điện áp nút khi sự cố nhận được bằng cách xếp chồng điện áp nút trước sự cố và độ lệch điện áp nút cho bởi công thức sau:

$$[V_{\text{nút}}(N)] = [V_{\text{nút}}(0)] + [\Delta V_{\text{nút}}] \quad (2.26)$$



Hình 2.16: Sơ đồ mạng thay thế khi ngắn mạch tại k

Ma trận tổng dẫn và ma trận tổng trở nút

Bây giờ ta sẽ xem xét áp dụng các công thức của ma trận tổng dẫn thành cái (nút) cũng như ma trận tổng trở nút để tính giá trị dòng xác lập khi ngắn mạch. Gọi $I_{\text{nút}}$ là vectơ dòng điện nút trước lúc sự cố bơm vào các nút của một mạng điện được tính theo các giá trị điện thế nút do chúng gây ra so với điện thế của một nút tham chiếu (nút gốc, nút chuẩn) như sau:

$$[I_{\text{nút}}] = [Y_{\text{nút}}] \times [V_{\text{nút}}] \quad (2.27)$$

với $[Y_{\text{nút}}]$ là ma trận tổng dẫn nút không chứa các phần tử ma trận ứng với nút tham chiếu (thường được chọn là đất).

Phần tử trên đường chéo ứng với mỗi nút là tổng của các tổng dẫn nối vào nút đó, nghĩa là:

$$Y_{ii} = \sum_{j=0}^m y_{ij}, \quad (j \neq i) \quad (2.28)$$

Các phần tử ngoài đường chéo bằng về độ lớn nhưng trái dấu với tổng dẫn nối giữa hai nút:

$$Y_{ij} = Y_{ji} = -y_{ij} \quad (2.29)$$

với y_{ij} là tổng dẫn nối giữa hai nút i và j .

Trong mạch tương đương Thevenin hình 2.16, dòng điện chạy vào mỗi nút đều bằng không, ngoại trừ nút sự cố. Do chiều dòng điện ngắn mạch hướng ra khỏi nút sự cố, nên ta nhận được một dòng điện âm chạy về phía nút k (nút sự cố). Như vậy, phương trình tổng quát (2.27) khi áp dụng cho mạch Thevenin trong hình 2.16 sẽ trở thành:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ -\dot{I}_k(N) \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Y}_{11} & \vdots & \dot{Y}_{1k} & \vdots & \dot{Y}_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \dot{Y}_{k1} & \vdots & \dot{Y}_{kk} & \vdots & \dot{Y}_{kn} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \dot{Y}_{n1} & \vdots & \dot{Y}_{nk} & \vdots & \dot{Y}_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \dot{V}_1 \\ \vdots \\ \Delta \dot{V}_k \\ \vdots \\ \Delta \dot{V}_n \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

hay: $[I_{nút}(N)] = [Y_{nút}] \times [\Delta V_{nút}]$ (2.31)

Giải tìm: $[\Delta V_{nút}] = [Z_{nút}] \times [I_{nút}(N)]$ (2.32)

Ở đây, $[Z_{nút}] = [Y_{nút}^{-1}]$, được hiểu như là ma trận tổng trở nút. Thay phương trình trên vào phương trình (2.26), ta được:

$$[V_{nút}(N)] = [V_{nút}(0)] + [Z_{nút}] \times [I_{nút}]$$

Phương trình ma trận viết lại:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_1(N) \\ \vdots \\ \dot{V}_k(N) \\ \vdots \\ \dot{V}_n(N) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{V}_1(0) \\ \vdots \\ \dot{V}_k(0) \\ \vdots \\ \dot{V}_n(0) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{Z}_{11} & \vdots & \dot{Z}_{1k} & \vdots & \dot{Z}_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \dot{Z}_{k1} & \vdots & \dot{Z}_{kk} & \vdots & \dot{Z}_{kn} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \dot{Z}_{n1} & \vdots & \dot{Z}_{nk} & \vdots & \dot{Z}_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ -\dot{I}_k(N) \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

Do chỉ có một phần tử khác không trong vectơ dòng điện, phương trình thứ k trong khai triển của công thức (2.33) trở thành:

$$\dot{V}_k(N) = \dot{V}_k(0) - \dot{Z}_{kk} \dot{I}_k(N) \quad (2.34)$$

Cũng từ mạch tương đương Thevenin hình 2.16, ta có:

$$\dot{V}_k(N) = \dot{Z}_N \dot{I}_k(N) \quad (2.35)$$

Đối với sự cố chạm trực tiếp, $Z_N = 0$ và dẫn đến $\dot{V}_{k(N)} = 0$.

Thay $\dot{V}_{k(N)}$ từ công thức (2.34) vào (2.35), ta được:

$$\dot{I}_k(N) = \frac{\dot{V}_k(0)}{\dot{Z}_{kk} + \dot{Z}_N} \quad (2.36)$$

Như vậy, để tính dòng ngắn mạch tại nút sự cố k , ta chỉ cần dùng phần tử Z_{kk} của ma trận tổng trở nút. Giá trị của Z_{kk} cũng chính là giá trị của tổng trở tương đương Thevenin của mạng nhìn từ nút sự cố k . Tương tự như vậy, viết phương trình thứ i của khai triển công thức (2.33), ta có:

$$\dot{V}_i(N) = \dot{V}_i(0) - \dot{Z}_{ik} \dot{I}_k(N) \quad (2.37)$$

Thay $\dot{I}_k(N)$ từ công thức 2.36, ta được điện áp nút i khi sự cố:

$$\dot{V}_i(N) = \dot{V}_i(0) - \frac{\dot{Z}_{ik}}{\dot{Z}_{kk} + \dot{Z}_N} \dot{V}_k(0) \quad (2.38)$$

Từ kết quả điện áp nút khi sự cố, ta có thể tính được dòng sự cố trên tất cả các đường dây. Đối với đường dây nối nút i và j bởi tổng trở z_{ij} , dòng ngắn mạch chạy trên đó là (chiều dương hướng từ i tới j):

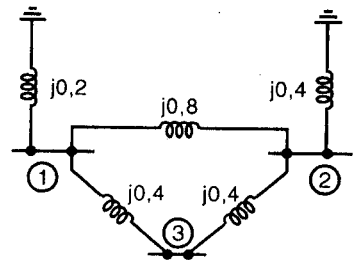
$$\dot{I}_{ij}(N) = \frac{\dot{V}_i(N) - \dot{V}_j(N)}{z_{ij}} \quad (2.39)$$

2.5.1 Phương pháp xây dựng ma trận tổng trở nút từ ma trận tổng dẫn nút

Để tính dòng ngắn mạch như trên đã biết ta cần biết ma trận tổng trở nút; mà ma trận tổng trở nút là ma trận nghịch đảo của ma trận tổng dẫn nút. Có được ma trận tổng trở nút thì có thể tính được dòng ngắn mạch khi xảy ra ngắn mạch tại các nút khác nhau và phân bố của chúng trên các đường dây cũng như điện áp nút khi ngắn mạch. Việc xây dựng ma trận tổng dẫn nút được thực hiện khá đơn giản. Các ví dụ sau đây minh họa cho cách thức xây dựng ma trận tổng dẫn nút và từ đó tính ra ma trận tổng trở nút bằng cách nghịch đảo ma trận tổng dẫn nút.

Ví dụ 2.8. Tính ma trận tổng trở nút cho mạch hình 2.17 trong ví dụ 2.6 bằng cách nghịch đảo ma trận tổng dẫn nút và tính dòng ngắn mạch, điện áp nút và dòng điện đường dây khi có ngắn mạch ba pha, dòng ra tại nút ③ qua tổng trở trung gian $Z_N = j0,16 \text{ đvtd}$.

Giải. Sơ đồ kháng trở trong ví dụ 2.6 được vẽ trên hình 2.17. Các bước xây dựng ma trận tổng dẫn nút được thực hiện như sau:



Hình 2.17

Hình minh họa ví dụ 2.8

Chọn nút tham chiếu là đất. Trước khi xây dựng ma trận $Y_{\text{nút}}$, ta cần tính tổng dẫn của các nhánh nối giữa các nút trong sơ đồ kháng trở tương đương Thevenin được vẽ trong hình 2.17. Tất cả đều được biểu diễn trong hệ đơn vị tương đối.

$$y_{12} = \frac{1}{z_{12}} = \frac{1}{j0,8} = -j1,25 \text{ đvtd}$$

$$y_{13} = \frac{1}{z_{13}} = \frac{1}{j0,4} = -j2,5 \text{ đvtd}$$

$$y_{23} = \frac{1}{z_{23}} = \frac{1}{j0,4} = -j2,5 \text{ đvtd}$$

$$y_{1-\text{đất}} = \frac{1}{z_{1-\text{đất}}} = \frac{1}{j0,2} = -j5 \text{ đvtd}$$

$$y_{2-\text{đất}} = \frac{1}{z_{2-\text{đất}}} = \frac{1}{j0,4} = -j2,5 \text{ đvtd}$$

Các tổng dẫn còn lại đều bằng không.

Bây giờ ta thực hiện việc tính toán các phần tử của ma trận tổng dẫn nút:

$$\mathbf{Y}_{\text{nút}} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{bmatrix}$$

Phần tử trên đường chéo ứng với mỗi nút là tổng các tổng dẫn nối vào nút đó theo (2.28):

$$Y_{11} = y_{1-\text{đất}} + y_{12} + y_{13} = -j5 - j1,25 - j2,5 = -j8,75 \text{ đvtd}$$

$$Y_{22} = y_{2-\text{đất}} + y_{21} + y_{23} = -j2,5 - j1,25 - j2,5 = -j6,25 \text{ đvtd}$$

$$Y_{33} = y_{32} + y_{31} = -j2,5 + j2,5 = -j5 \text{ đvtd}$$

Phần tử ngoài đường chéo bằng về độ lớn nhưng trái dấu với tổng dẫn nối giữa hai nút tương ứng theo (2.29):

$$Y_{12} = Y_{21} = -y_{12} = j1,25 \text{ đvtd}$$

$$Y_{13} = Y_{31} = -y_{13} = j2,5 \text{ đvtd}$$

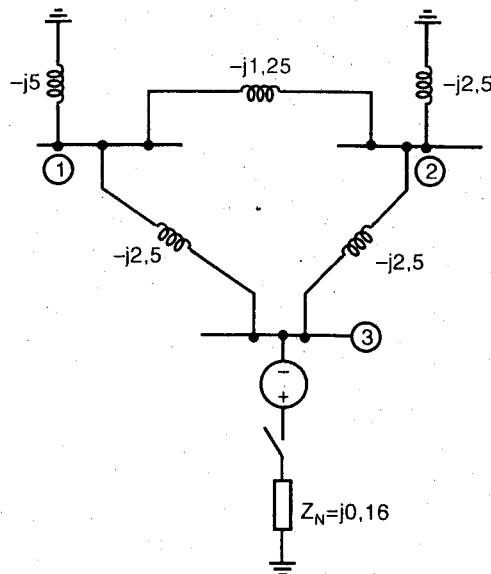
$$Y_{23} = Y_{32} = -y_{23} = j2,5 \text{ đvtd}$$

$$[\mathbf{Y}_{\text{nút}}] = \begin{bmatrix} -j8,75 & j1,25 & j2,5 \\ j1,25 & -j6,25 & j2,5 \\ j2,5 & j2,5 & -j5 \end{bmatrix}$$

Thực hiện phép nghịch đảo bằng MATLAB:

$$\Rightarrow [\mathbf{Z}_{\text{nút}}] = [\mathbf{Y}_{\text{nút}}]^{-1} = \begin{bmatrix} j0,16 & j0,08 & j0,12 \\ j0,08 & j0,24 & j0,16 \\ j0,12 & j0,16 & j0,34 \end{bmatrix}$$

Sơ đồ liên kết tổng dẫn của hệ thống hình 2.17 cho ở hình 2.18.



Hình 2.18: Sơ đồ liên kết tổng dẫn của hệ thống ví dụ 2.8

Từ phương trình (2.36) với sự cố tại nút ③ qua tổng trở chạm $\dot{Z}_N = j0,16 \text{ đvtđ}$.
 Dòng ngắn mạch ba pha là:

$$\dot{I}_3^{(3)}(N) = \frac{\dot{V}_3(0)}{\dot{Z}_{33} + \dot{Z}_N} = \frac{1,0}{j0,34 + j0,16} = -j2,0 \text{ (đvtđ)}$$

Từ phương trình (2.37), điện thế tại các nút lúc sự cố là:

$$\dot{V}_1(N) = \dot{V}_1(0) - \dot{Z}_{13} \dot{I}_3(N) = 1,0 - j0,12(-j2,0) = 0,76 \text{ (đvtđ)}$$

$$\dot{V}_2(N) = \dot{V}_2(0) - \dot{Z}_{23} \dot{I}_3(N) = 1,0 - j0,16(-j2,0) = 0,68 \text{ (đvtđ)}$$

$$\dot{V}_3(N) = \dot{V}_3(0) - \dot{Z}_{33} \dot{I}_3(N) = 1,0 - j0,34(-j2,0) = 0,32 \text{ (đvtđ)}$$

Từ (2.39), dòng ngắn mạch trên các đường dây:

$$\dot{I}_{12}(N) = \frac{\dot{V}_1(N) - \dot{V}_2(N)}{\dot{z}_{12}} = \frac{0,76 - 0,68}{j0,8} = -j0,1 \text{ đvtđ}$$

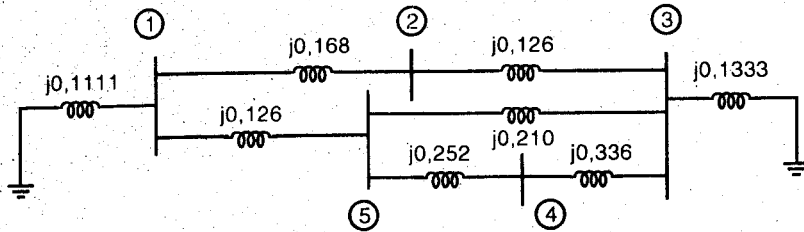
$$\dot{I}_{13}(N) = \frac{\dot{V}_1(N) - \dot{V}_3(N)}{\dot{z}_{13}} = \frac{0,76 - 0,32}{j0,4} = -j1,1 \text{ đvtđ}$$

$$\dot{I}_{23}(N) = \frac{\dot{V}_2(N) - \dot{V}_3(N)}{\dot{z}_{23}} = \frac{0,68 - 0,32}{j0,4} = -j0,9 \text{ đvtđ}$$

Nhận xét kết quả tìm được giống với kết quả ví dụ 2.6. Giá trị của tổng trở nút trên đường chéo ma trận tổng trở chính là tổng trở tương đương Thevenin nhìn từ nút đó về nguồn.

Ví dụ 2.9. Tính ma trận tổng dẫn nút của mạng hình 2.12 của ví dụ 2.7. Suy ra ma trận tổng trở nút.

Chọn nút tham chiếu là đất. Thực hiện tương tự ví dụ 2.8, ta có:



Hình 2.19: Sơ đồ kháng trở cho mạng hình 2.12 trong ví dụ 2.9

Tổng dẫn nối giữa các nút:

$$\dot{y}_{1-\text{đất}} = \frac{1}{\dot{z}_{1-\text{đất}}} = \frac{1}{j0,1111} = -j9,0009 \text{ đvtđ}$$

$$\dot{y}_{3-\text{đất}} = \frac{1}{\dot{z}_{3-\text{đất}}} = \frac{1}{j0,1333} = -j7,5019 \text{ đvtđ}$$

$$\dot{y}_{12} = \frac{1}{\dot{z}_{12}} = \frac{1}{j0,168} = -j5,9524 \text{ đvtđ}$$

$$\dot{y}_{15} = \frac{1}{z_{15}} = \frac{1}{j0,126} = -j7,9366 \text{ đvtd}$$

$$\dot{y}_{23} = \frac{1}{z_{23}} = \frac{1}{j0,126} = -j7,9366 \text{ đvtd}$$

$$\dot{y}_{34} = \frac{1}{z_{34}} = \frac{1}{j0,336} = -j2,9762 \text{ đvtd}$$

$$\dot{y}_{35} = \frac{1}{z_{35}} = \frac{1}{j0,210} = -j4,7619 \text{ đvtd}$$

$$\dot{y}_{45} = \frac{1}{z_{45}} = \frac{1}{j0,252} = -j3,9683 \text{ đvtd}$$

Các tổng dẫn còn lại đều bằng không.

Tính các phần tử của ma trận tổng dẫn nút:

$$\dot{Y}_{11} = \dot{y}_{12} + \dot{y}_{15} + \dot{y}_{1-\text{đất}} = -j22,8898 \text{ đvtd}$$

$$\dot{Y}_{22} = \dot{y}_{21} + \dot{y}_{23} = -j13,8889 \text{ đvtd}$$

$$\dot{Y}_{33} = \dot{y}_{32} + \dot{y}_{34} + \dot{y}_{35} + \dot{y}_{3-\text{đất}} = -j23,1765 \text{ đvtd}$$

$$\dot{Y}_{44} = \dot{y}_{43} + \dot{y}_{45} = -j6,9444 \text{ đvtd}$$

$$\dot{Y}_{55} = \dot{y}_{51} + \dot{y}_{53} + \dot{y}_{54} = -j16,6667 \text{ đvtd}$$

$$\dot{Y}_{12} = \dot{Y}_{21} = -\dot{y}_{12} = j5,9524 \text{ đvtd}$$

$$\dot{Y}_{13} = \dot{Y}_{31} = -\dot{y}_{13} = 0$$

$$\dot{Y}_{14} = \dot{Y}_{41} = -\dot{y}_{14} = 0$$

$$\dot{Y}_{15} = \dot{Y}_{51} = -\dot{y}_{15} = j7,9366 \text{ đvtd}$$

$$\dot{Y}_{23} = \dot{Y}_{32} = -\dot{y}_{23} = j7,9366 \text{ đvtd}$$

$$\dot{Y}_{24} = \dot{Y}_{42} = -\dot{y}_{24} = 0$$

$$\dot{Y}_{25} = \dot{Y}_{52} = -\dot{y}_{25} = 0$$

$$\dot{Y}_{34} = \dot{Y}_{43} = -\dot{y}_{34} = j2,9762 \text{ đvtd}$$

$$\dot{Y}_{35} = \dot{Y}_{53} = -\dot{y}_{35} = j4,7619 \text{ đvtd}$$

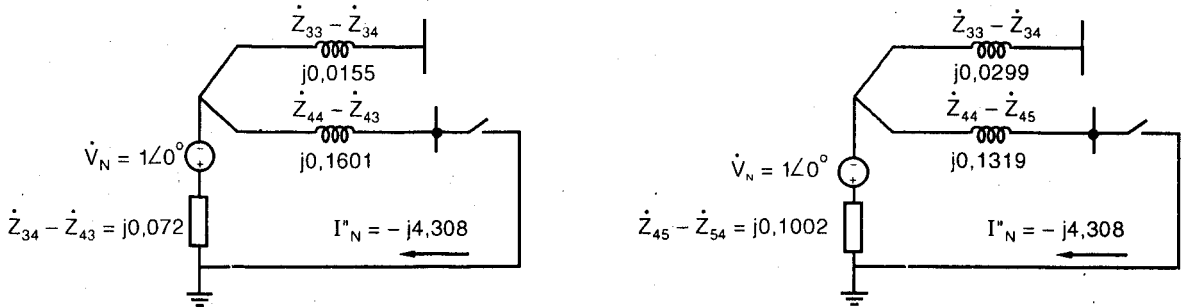
$$\dot{Y}_{45} = \dot{Y}_{54} = -\dot{y}_{45} = j3,9683 \text{ đvtd}$$

$$[\mathbf{Y}_{\text{nút}}] = j \begin{bmatrix} -22,8898 & 5,9524 & 0 & 0 & 7,9365 \\ 5,9524 & -13,8889 & 7,9365 & 0 & 0 \\ 0 & 7,9365 & -23,1765 & 2,9762 & 4,7619 \\ 0 & 0 & 2,9762 & -6,9444 & 3,9683 \\ 7,9365 & 0 & 4,7619 & 3,9683 & -16,6667 \end{bmatrix}$$

Thực hiện phép nghịch đảo:

$$\Rightarrow [Z_{\text{nút}}] = 3j \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 0,0793 & 0,0558 & 0,0382 & 0,0511 & 0,0608 \\ 0,0558 & 0,1338 & 0,0664 & 0,0630 & 0,0605 \\ 0,0382 & 0,0664 & 0,0875 & 0,0720 & 0,0603 \\ 0,0511 & 0,0630 & 0,0720 & 0,2321 & 0,1002 \\ 0,0608 & 0,0605 & 0,0603 & 0,1002 & 0,1300 \end{bmatrix}$$

Giả thiết muốn tính dòng ngắn mạch từ nút ③ và ⑤ đến nút ngắn mạch là (4), chúng ta cần biết V_3 và V_5 khi ngắn mạch. Mạch tương đương hình 2.20 để tìm dòng và áp ngắn mạch trong trường hợp này.



Hình 2.20: Dòng mạch tương đương Thevenin để tính điện áp tại nút ③ và nút ⑤ khi ngắn mạch tại nút ④.

Dòng ngắn mạch có thể tính từ hình 2.20a.

$$I_N = \frac{\dot{V}_N}{Z_{44}} = \frac{1,0}{j0,2321} = -j4,308$$

Từ hình a, tìm được điện thế tại nút ③ khi chọn:

$$\dot{V}_3 = \dot{V}_N - I_N Z_{34} = 1,0 - (-j4,308)(j0,0720) = 0,6898 \text{ đvtd}$$

Từ hình b, tìm được điện thế tại nút ⑤ khi chọn:

$$\dot{V}_5 = \dot{V}_N - I_N Z_{54} = 1,0 - (-j4,308)(j0,1002) = 0,5683 \text{ đvtd}$$

Dòng đường dây chạy vào điểm ngắn mạch 4 qua tổng trở đường dây Z_{34} và Z_{45}

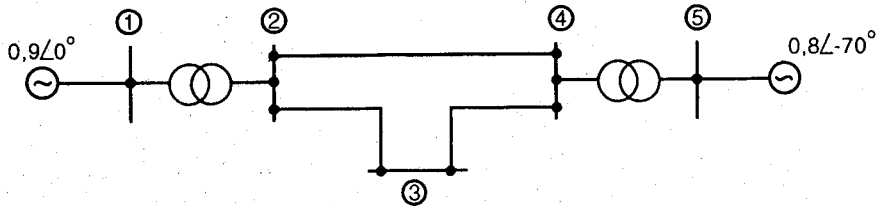
$$I_{34} = \frac{\dot{V}_3}{Z_{34}} = \frac{0,6898}{j0,336} = -j2,053 \text{ đvtd}$$

$$I_{54} = \frac{\dot{V}_5}{Z_{54}} = \frac{0,5683}{j0,252} = -j2,255 \text{ đvtd}$$

Dòng điện sự cố tổng cộng tại nút ④: $I_N = -j4,308 \text{ đvtd}$

Ví dụ 2.10. Cho một hệ thống điện năm nút được biểu diễn trong hình 2.21 các thông số đường dây (dạng hình π , bỏ qua điện trở) và máy biến áp trong hệ đơn vị tương đối được cho ở bảng 2.1. Máy phát và động cơ đều có kháng trở là $j1,25 \text{ đvtd}$. Xác định ma trận tổng dẫn nút và ma trận tổng trở nút trong hệ đơn vị

tương đối.

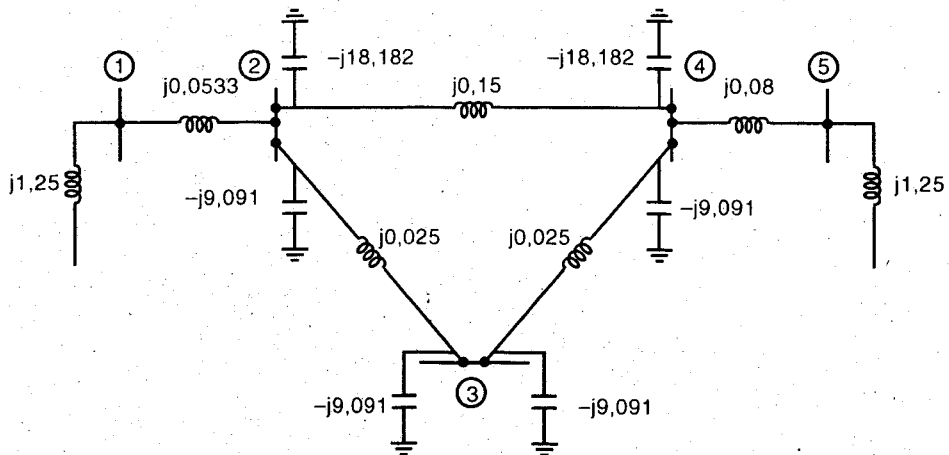


Hình 2.21: Hình của ví dụ 2.10

Bảng 2.1

Từ nút	Đến nút	X (đvtđ)	B (đvtđ)
1	2	0,0533	0
2	3	0,25	0,22
3	4	0,25	0,22
2	4	0,15	0,11
4	5	0,08	0

Chọn nút tham chiếu là đất. Ta cần tính tổng dẫn của các nhánh nối giữa các nút trong sơ đồ tổng trở tương đương Thevenin được vẽ trong hình 2.22. Tất cả đều được biểu diễn trong hệ đơn vị tương đối.



Hình 2.22: Sơ đồ thay thế mạng hình 2.21

$$y_{12} = \frac{1}{j0,0533} = -j18,657; \quad y_{23} = \frac{1}{j0,25} = -j4,00$$

$$y_{34} = y_{23} = -j4,00; \quad y_{45} = \frac{1}{j0,08} = -j12,5$$

$$y_{24} = \frac{1}{j0,15} = -j6,67; \quad y_g = y_m = \frac{1}{j1,25} = -j0,8$$

Bây giờ ta thực hiện việc tính toán các phần tử của ma trận tổng dẫn nút:

$$\dot{Y}_{11} = \dot{y}_{12} + \dot{y}_g = -j19,56$$

$$\dot{Y}_{12} = -\dot{y}_{12} = j18,76$$

$$\dot{Y}_{13} = \dot{Y}_{14} = \dot{Y}_{15} = \dot{Y}_{51} = \dot{Y}_{41} = \dot{Y}_{31} = 0$$

$$\dot{Y}_{23} = \dot{Y}_{32} = -\dot{y}_{23} = j4,00$$

$$\dot{Y}_{24} = \dot{Y}_{42} = -\dot{y}_{24} = j6,67$$

$$\dot{Y}_{25} = \dot{Y}_{52} = 0$$

$$\dot{Y}_{34} = \dot{Y}_{43} = -\dot{y}_{34} = j4,00$$

$$\dot{Y}_{35} = \dot{Y}_{53} = 0$$

$$\dot{Y}_{45} = \dot{Y}_{54} = -\dot{y}_{45} = j12,50$$

$$\dot{Y}_{55} = \dot{y}_{45} + \dot{y}_m = -j13,30$$

$$\dot{Y}_{22} = \dot{y}_{12} + \dot{y}_{23} + \dot{y}_{24} + j \frac{\dot{B}_{23}}{2} + j \frac{\dot{B}_{24}}{2} = -j29,27$$

$$\dot{Y}_{33} = \dot{y}_{23} + \dot{y}_{34} + j \frac{\dot{B}_{23}}{2} + j \frac{\dot{B}_{34}}{2} = -j7,78$$

$$\dot{Y}_{44} = \dot{y}_{34} + \dot{y}_{45} + \dot{y}_{24} + j \frac{\dot{B}_{24}}{2} + j \frac{\dot{B}_{34}}{2} = -j23,01$$

Vậy, ta có được ma trận tổng dẫn nút của mạch như sau:

$$[\mathbf{Y}_{nút}] = \begin{bmatrix} -j19,56 & j18,76 & 0 & 0 & 0 \\ j18,76 & -j29,27 & j4,00 & j6,67 & 0 \\ 0 & j4,00 & -j7,78 & j4,0 & 0 \\ 0 & j6,67 & j4,0 & -j23,01 & j12,5 \\ 0 & 0 & 0 & j12,5 & -j13,3 \end{bmatrix}$$

Thực hiện phép nghịch đảo ma trận:

$$[\mathbf{Z}_{nút}] = [\mathbf{Y}_{nút}]^{-1} = \begin{bmatrix} j1,02141 & j1,0117 & j1,0132 & j0,9591 & j0,9014 \\ j1,0117 & j1,0548 & j1,0564 & j0,9999 & j0,9398 \\ j1,01321 & j1,0564 & j1,2153 & j1,0573 & j0,9937 \\ j0,9591 & j0,9999 & j1,0573 & j1,0566 & j0,9930 \\ j0,9014 & j0,9398 & j0,9937 & j0,9930 & j1,0085 \end{bmatrix}$$

Do 3 ma trận tổng dẫn nút của 3 ví dụ trên đều được xây dựng theo sự tương ứng chỉ số nút-chỉ số phần tử nên 3 ma trận tổng trở nút cũng có tính chất như vậy, nghĩa là phần tử Z_{kk} trong ma trận tổng trở nút cũng chính là tổng trở tương đương Thevenin nhìn từ nút k về hệ thống.

2.5.2 Giảm số phần tử của ma trận tổng dẫn nút (phương pháp Kron)

Trong phần trước, khi giới thiệu ma trận tổng dẫn nút $\mathbf{Y}_{nút}$, ta thấy rằng nó thể hiện mối quan hệ giữa dòng điện bơm vào các nút của một mạng điện và điện

áp nút trong mạng gây bởi các dòng điện đó. Mạng có n nút thì ma trận tổng dẫn nút sẽ là ma trận $n \times n$. Tuy nhiên, chỉ tại những nút có nối với nguồn, hoặc tải, hoặc có ngắn mạch thì dòng điện bơm vào (đổ vào) nút đó mới có giá trị (khác 0), còn dòng điện đổ vào các nút khác đều bằng 0. Trong trường hợp không cần thiết, những nút không có dòng bơm vào có thể được triệt tiêu trong ma trận tổng dẫn nút. Ta có thể hiểu quá trình này giống như quá trình thu gọn sơ đồ tương đương của mạng nhưng được thực hiện trên ma trận tổng dẫn nút. Kết quả là ma trận tổng dẫn nút sẽ bị giảm kích thước so với kích thước ban đầu ($n \times n$). Giả sử ta có hệ phương trình biểu diễn quan hệ giữa các dòng điện đổ vào các nút của mạng với điện áp nút trong mạng như sau:

$$[\mathbf{I}_{\text{nút}}] = \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \vdots \\ 0 \\ \vdots \\ \dot{I}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Y}_{11} & \cdots & \cdots & \cdots & \dot{Y}_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \dot{Y}_{k1} & \dot{Y}_{k2} & \cdots & \cdots & \dot{Y}_{kn} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \dot{Y}_{n1} & \cdots & \cdots & \cdots & \dot{Y}_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_1 \\ \vdots \\ \dot{V}_k \\ \vdots \\ \dot{V}_n \end{bmatrix} \quad (2.40)$$

Theo phương trình thứ k của hệ trên, ta biểu diễn \dot{V}_k theo các giá trị điện áp nút còn lại:

$$\dot{V}_k = - \frac{\dot{V}_1 \dot{Y}_{k1} + \dot{V}_2 \dot{Y}_{k2} + \cdots + \dot{V}_n \dot{Y}_{kn}}{\dot{Y}_{kk}} \quad (2.41)$$

Thay \dot{V}_k trong công thức trên vào tất cả các phương trình của hệ, trừ phương trình thứ k , ta sẽ có $n-1$ phương trình biểu diễn quan hệ giữa $n-1$ giá trị dòng điện và $n-1$ giá trị điện áp nút tại các nút $1, 2, \dots, k-1, k+1, \dots, n$. Viết lại hệ $n-1$ phương trình này ở dạng ma trận, ta sẽ nhận được ma trận tổng dẫn nút đã thu gọn (giảm đi một hàng, một cột). Dễ dàng tính được các phần tử của ma trận tổng dẫn mới theo các phần tử ma trận cũ như sau:

$$\dot{Y}_{ij}^{\text{moi}} = \dot{Y}_{ij} - \frac{\dot{Y}_{ik} \dot{Y}_{kj}}{\dot{Y}_{kk}} \quad \text{với } i, j = 1, 2, \dots, n; i, j \neq k \quad (2.42)$$

2.5.3 Các phương pháp xây dựng trực tiếp ma trận tổng trở nút

1- Xây dựng ma trận tổng trở nút trực tiếp

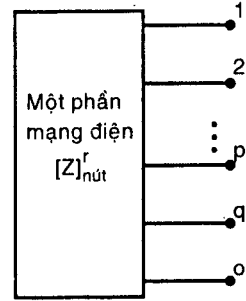
Ma trận $Z_{\text{nút}}$ trên tìm được dựa vào ma trận $Y_{\text{nút}}$ bằng cách nghịch đảo ma trận $Y_{\text{nút}}$. Việc nghịch đảo ma trận có thể thực hiện bằng tay theo công thức nghịch đảo ma trận hoặc trên chương trình máy tính có sẵn. Tuy nhiên, đối với một hệ thống điện lớn có nhiều nút, ma trận tổng dẫn của nó sẽ có nhiều phần tử bằng không, và đôi khi việc nghịch đảo ma trận không thể thực hiện được. Có một cách khác để tìm ma trận $Z_{\text{nút}}$ là xây dựng nó từ ma trận tổng trở nút đơn giản của một nhánh bằng cách từng bước một thêm vào mỗi phần tử mạng cho đến khi có được $Z_{\text{nút}}$ của mạng đầy đủ. Trong quá trình từng bước xây dựng ma trận tổng trở, chúng ta thực hiện từ một ma trận tổng trở cũ tới ma trận tổng trở mới theo các luật sau:

Bước 1: Chọn nút tham chiếu (nút chuẩn, nút gốc) gọi là nút 0 và bắt đầu từ một nhánh nối giữa nút gốc với một nút của nhánh đó.

Quy luật 1: Ma trận tổng trở nút $Z_{nút}^r$ của một nhánh là ma trận 1×1 có phần tử $Z_{11} = z_{nhánh}$.

Bước 2: Lần lượt thêm vào các nhánh mới nối giữa một nút mới nối với nút gốc dùng quy luật 2. Tiếp tục thực hiện như thế cho đến khi đã đủ số nhánh nối với nút gốc.

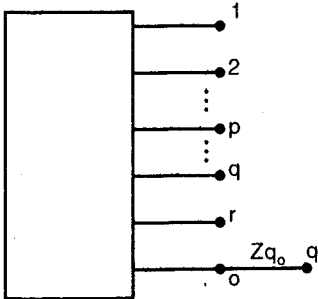
Giả sử ta đã lập được ma trận $Z_{nút}^r$ kích thước $r \times r$ của mạng có r nút (H.2.23) (không kể nút chuẩn) như sau:



Hình 2.23: Phần mạng điện r nút

$$[Z_{nút}^r] = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{11} & \dot{Z}_{1p} & \dot{Z}_{1r} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \dot{Z}_{p1} & \dot{Z}_{pp} & \dot{Z}_{pr} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \dot{Z}_{r1} & \dot{Z}_{rp} & \dot{Z}_{rr} \end{bmatrix} \quad (2.43)$$

Quy luật 2: Nếu thêm một nhánh có tổng trở z_{q0} nối từ một nút mới q đến nút chuẩn 0 thì ta nhận được ma trận mới kích thước $(r + 1) \times (r + 1)$ như sau (H.2.24):

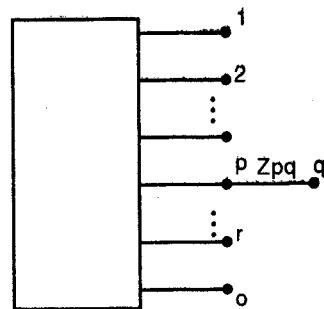


Hình 2.24: Phần mạng điện thêm một nút nối với nút chuẩn

$$[Z_{nút}^{r+1}] = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{11} & \dots & \dot{Z}_{1p} & \dots & \dot{Z}_{1r} & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \dot{Z}_{p1} & \dots & \dot{Z}_{pp} & \dots & \dot{Z}_{pr} & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \dot{Z}_{r1} & \dots & \dot{Z}_{rp} & \dots & \dot{Z}_{rr} & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \dots & 0 & \dot{z}_{q0} \end{bmatrix} \quad (2.44)$$

Bước 3: Lần lượt thêm vào các nhánh nối giữa nút mới với nút cũ (không phải nút gốc) dùng quy luật 3 cho đến khi không còn nút mới nào và tiến hành bước 4.

Quy luật 3: Trường hợp thêm một nhánh có tổng trở z_{pq} nối từ một nút mới q đến một nút p ($\neq 0$) có sẵn trong mạng r nút (H.2.25) (nút p được gọi là nút cũ) thì ta nhận được ma trận mới như sau:

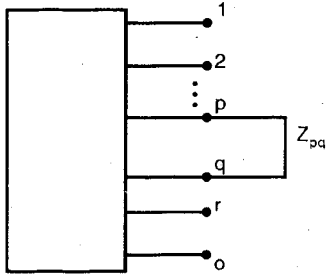


Hình 2.25: Phần mạng điện thêm một nút mới

$$[Z_{nút}^{r+1}] = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{11} & \cdots & \dot{Z}_{1p} & \cdots & \dot{Z}_{1r} & \dot{Z}_{1p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \dot{Z}_{p1} & \cdots & \dot{Z}_{pp} & \cdots & \dot{Z}_{pr} & \dot{Z}_{pp} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \dot{Z}_{r1} & \cdots & \dot{Z}_{rp} & \cdots & \dot{Z}_{rr} & \dot{Z}_{rp} \\ \dot{Z}_{p1} & \cdots & \dot{Z}_{pp} & \cdots & \dot{Z}_{pr} & \dot{Z}_{pp} + \dot{z}_{pq} \end{bmatrix} \quad (2.45)$$

Bước 4: Cuối cùng, hoàn tất mạng bằng việc bổ sung những nhánh giữa hai nút cũ dùng quy luật 4.

Quy luật 4: Nếu không thêm một nút mới nào mà chỉ thêm một nhánh mới có tổng trở z_{pq} nối giữa hai nút cũ p và q thì ma trận nhận được không thay đổi kích thước nhưng các giá trị của từng số hạng ma trận được tính lại như sau (H.2.27):



Hình 2.26: Phân mạng điện đưa thêm một tổng trở giữa hai nút

$$[Z_{nút}^r]^{mới} = [Z_{nút}^r]^{cũ} - \frac{1}{Z_{ll}} [\Delta Z] \times [\Delta Z]^T \quad (2.46)$$

- Nếu hai nút p và q đều không phải là nút chuẩn (H.2.26):

$[\Delta Z]$ và $[Z_{ll}]$ được xác định như sau:

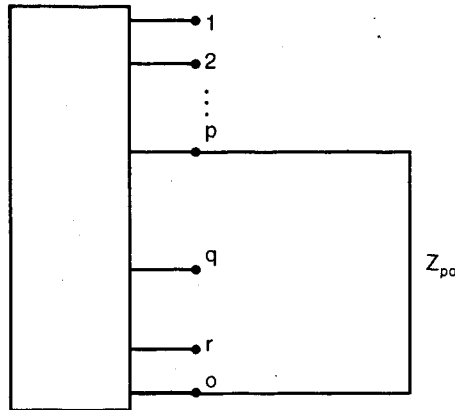
$$[\Delta Z] = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{1q} - \dot{Z}_{1p} \\ \dot{Z}_{2q} - \dot{Z}_{2p} \\ \vdots \\ \dot{Z}_{pq} - \dot{Z}_{pp} \\ \vdots \\ \dot{Z}_{rq} - \dot{Z}_{rp} \end{bmatrix} \quad (2.47)$$

$$\dot{Z}_{ll} = \dot{z}_{pq} + \dot{Z}_{pp} + \dot{Z}_{qq} - 2\dot{Z}_{pq} \quad (2.48)$$

$$[Z_{nút}^r]^{mới} = [Z_{nút}^r]^{cũ} - \frac{1}{\dot{Z}_{ll}} \times$$

$$\begin{bmatrix} (\dot{Z}_{1q} - \dot{Z}_{1p})^2 & (\dot{Z}_{1q} - \dot{Z}_{1p})(\dot{Z}_{2q} - \dot{Z}_{2p}) & \cdots & (\dot{Z}_{1q} - \dot{Z}_{1p})(\dot{Z}_{rq} - \dot{Z}_{rp}) \\ (\dot{Z}_{1q} - \dot{Z}_{1p})(\dot{Z}_{2q} - \dot{Z}_{2p}) & (\dot{Z}_{2q} - \dot{Z}_{2p})^2 & \cdots & (\dot{Z}_{2q} - \dot{Z}_{2p})(\dot{Z}_{rp} - \dot{Z}_{rp}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ (\dot{Z}_{rp} - \dot{Z}_{rp})(\dot{Z}_{1q} - \dot{Z}_{1p}) & (\dot{Z}_{rp} - \dot{Z}_{rp})(\dot{Z}_{2q} - \dot{Z}_{2p}) & \cdots & (\dot{Z}_{rp} - \dot{Z}_{rp})^2 \end{bmatrix} \quad (2.49)$$

- Nếu q (hoặc p) là nút chuẩn 0 (H.2.27):



Hình 2.27: Phân mạng điện đưa thêm một tổng trở nối từ một nút với nút chuẩn

$[\Delta Z]$ và \dot{Z}_{ll} được tính đơn giản hơn như sau:

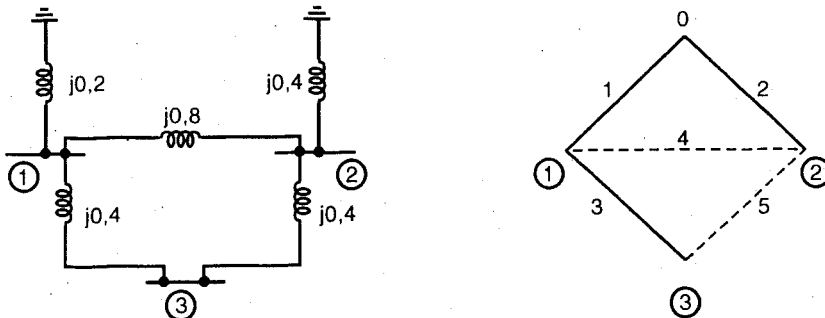
$$[\Delta Z] = \begin{bmatrix} -\dot{Z}_{1p} \\ -\dot{Z}_{2p} \\ \vdots \\ -\dot{Z}_{pp} \\ \vdots \\ -\dot{Z}_{rp} \end{bmatrix} = (-1) \times \begin{bmatrix} \dot{Z}_{1p} \\ \dot{Z}_{2p} \\ \vdots \\ \dot{Z}_{pp} \\ \vdots \\ \dot{Z}_{rp} \end{bmatrix} \quad (2.50)$$

$$\dot{Z}_{ll} = \dot{z}_{p0} + \dot{Z}_{pp} \quad (2.51)$$

Lúc đó:

$$[Z_{\text{nút}}^r]^{mới} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{11} & \dot{Z}_{1p} & \dot{Z}_{1r} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \dot{Z}_{p1} & \dot{Z}_{pp} & \dot{Z}_{pr} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \dot{Z}_{r1} & \dot{Z}_{rp} & \dot{Z}_{rr} \end{bmatrix} - \frac{1}{\dot{Z}_{ll}} \begin{bmatrix} \dot{Z}_{1p}^2 & \dot{Z}_{1p}\dot{Z}_{2p} & \dot{Z}_{1p}\dot{Z}_{3p} & \vdots & \dot{Z}_{1p}\dot{Z}_{rp} \\ \dot{Z}_{2p}\dot{Z}_{1p} & \dot{Z}_{2p}^2 & \dot{Z}_{2p}\dot{Z}_{3p} & \vdots & \dot{Z}_{2p}\dot{Z}_{rp} \\ \dot{Z}_{3p}\dot{Z}_{1p} & \dot{Z}_{3p}\dot{Z}_{2p} & \dot{Z}_{3p}^2 & \vdots & \dot{Z}_{3p}\dot{Z}_{rp} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \dot{Z}_{rp}\dot{Z}_{1p} & \dot{Z}_{rp}\dot{Z}_{2p} & \dot{Z}_{rp}\dot{Z}_{3p} & \vdots & \dot{Z}_{rp}^2 \end{bmatrix} \quad (2.52)$$

Ví dụ 2.11. Xây dựng ma trận tổng trở nút cho sơ đồ trong hình 2.28 của ví dụ 2.6.



Hình 2.28: Sơ đồ ví dụ 2.11

Giải

1- Chọn nút chuẩn là đất (nút 0). Chúng ta bắt đầu từ nhánh 1 nối với nút chuẩn. Nhánh đầu tiên 1, $z = j0,2$ nối giữa nút $q = 1$ và nút 0, ta nhận được ma trận 1×1 theo quy luật 1 như sau:

$$[\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(1)}]^1 = [z_{10}] = [j0,2]$$

2- Thêm nhánh 2-0; $Z_{2-0} = j0,4$ nối giữa nút mới $q = 2$ và nút 0 theo quy luật 2, ta nhận được ma trận:

$$[\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(2)}]^2 = \begin{bmatrix} j0,2 & 0 \\ 0 & z_{20} \end{bmatrix} = j \begin{bmatrix} 0,2 & 0 \\ 0 & 0,4 \end{bmatrix}$$

3- Tiếp theo, thêm vào nhánh 3-1, $Z_{3-1} = j0,4$ nối giữa nút mới $q = 3$ và nút $p = 1$, ta nhận được ma trận 3×3 . Ma trận được tính theo quy luật 3 như sau:

$$[\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(3)}]^3 = \begin{bmatrix} j0,2 & 0 & j0,2 \\ 0 & j0,4 & 0 \\ j0,2 & 0 & j0,2 + z_{31} \end{bmatrix} = j \begin{bmatrix} 0,2 & 0 & 0,2 \\ 0 & 0,4 & 0 \\ 0,2 & 0 & 0,6 \end{bmatrix}$$

4- Thêm vào nhánh 1-2, $Z_{1-2} = j0,8$ nối giữa nút $p = 1$ và $q = 2$. Ma trận mới không thay đổi số phần tử và nhận được bởi các công thức sau theo quy luật 4, chúng ta tính:

$$\text{Từ (2.47): } [\Delta \mathbf{Z}_{1-2}] = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{11} - \dot{Z}_{12} \\ \dot{Z}_{21} - \dot{Z}_{22} \\ \dot{Z}_{31} - \dot{Z}_{32} \end{bmatrix} = j \begin{bmatrix} 0,2 \\ -0,4 \\ 0,2 \end{bmatrix};$$

$$\text{Từ (2.48): } \dot{Z}_{ll} = \dot{Z}_{11} + \dot{Z}_{22} + \dot{z}_{12} - 2\dot{Z}_{12} = j1,4;$$

$$\frac{1}{\dot{Z}_{ll}} [\Delta \dot{Z}_{1-2}] \cdot [\Delta \dot{Z}_{1-2}]^T = \frac{1}{j1,4} \begin{bmatrix} -j0,2 \\ j0,4 \\ -j0,2 \end{bmatrix} [-j0,2 \quad j0,4 \quad -j0,2] =$$

$$= j \begin{bmatrix} 0,02857 & -0,05714 & 0,02857 \\ -0,05714 & 0,11428 & -0,05714 \\ 0,02857 & -0,05714 & 0,02857 \end{bmatrix}$$

$$[\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(3)}]^4 = [\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(3)}]^3 - \frac{1}{\dot{Z}_{ll}} [\Delta \mathbf{Z}_{1-2}] [\Delta \mathbf{Z}_{1-2}]^T = j \begin{bmatrix} 0,17143 & 0,05714 & 0,17143 \\ 0,05714 & 0,28571 & 0,05714 \\ 0,17143 & 0,05714 & 0,57143 \end{bmatrix}$$

5- Cuối cùng, thêm nhánh 2-3; $Z_{2-3} = j0,4$ nối giữa nút $p = 2$ và $q = 3$. Tính tương tự như bước 4, ta được ma trận tổng trở nút của mạng:

$$[\Delta \mathbf{Z}_{2-3}] = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{13} - \dot{Z}_{12} \\ \dot{Z}_{23} - \dot{Z}_{22} \\ \dot{Z}_{33} - \dot{Z}_{32} \end{bmatrix} = j \begin{bmatrix} 0,11429 \\ -0,22857 \\ 0,51429 \end{bmatrix}$$

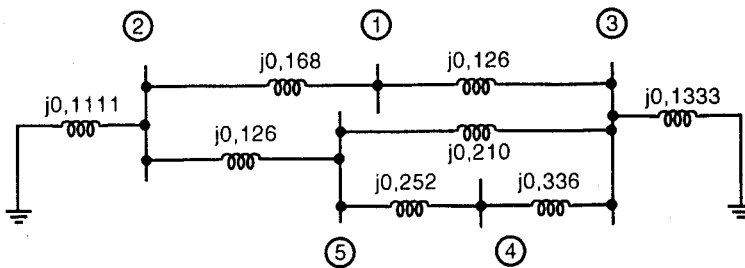
$$\dot{Z}_{ll} = \dot{Z}_{33} + \dot{Z}_{22} + \dot{z}_{32} - 2\dot{Z}_{32} = j1,14$$

$$\frac{1}{\dot{Z}_{ll}} [\Delta \mathbf{Z}_{2-3}] [\Delta \mathbf{Z}_{2-3}]^T = j \begin{bmatrix} 0,01143 & -0,02286 & 0,05143 \\ -0,02286 & 0,04571 & -0,10286 \\ 0,05143 & -0,10286 & 0,238143 \end{bmatrix}$$

$$[\mathbf{Z}_{\text{nút}}] = [\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(3)}]^5 = [\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(3)}]^4 - \frac{1}{\dot{Z}_{ll}} [\Delta \mathbf{Z}_{2-3}] [\Delta \mathbf{Z}_{2-3}]^T = j \begin{bmatrix} 0,16 & 0,08 & 0,12 \\ 0,08 & 0,24 & 0,16 \\ 0,12 & 0,16 & 0,34 \end{bmatrix}$$

Kết quả hoàn toàn phù hợp với ma trận tổng trở nút đã tính trong ví dụ 2.6.

Ví dụ 2.12. Xác định ma trận tổng trở nút cho sơ đồ kháng trở hình 2.19 trong ví dụ 2.9.



Hình 2.29: Vẽ lại sơ đồ kháng trở ví dụ 2.10

Giải. Tất cả các giá trị tính toán trong ví dụ đều được biểu diễn ở *đvtđ*.

1- Chọn nút tham chiếu là đất. Ma trận $\mathbf{Z}_{\text{nút}}$ của nhánh 1-0 như sau:

$$[\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(1)}]^1 = j [0,1111]$$

2- Thêm nhánh 3-0 nối giữa nút mới ③ và nút tham chiếu 0, ta được ma trận mới như sau:

$$[\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(2)}]^2 = j \begin{bmatrix} 0,1111 & 0 \\ 0 & 0,1333 \end{bmatrix}$$

3- Nối nút mới ② với nút ①, ma trận mới được tính như sau:

$$[\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(3)}]^3 = j \begin{bmatrix} 0,1111 & 0 & 0,1111 \\ 0 & 0,1333 & 0 \\ 0,1111 & 0 & 0,2791 \end{bmatrix}$$

4- Nối nút mới ④ với nút ③, lưu ý rằng nút ③ tương ứng với chỉ số 2 của ma trận tổng trở nút, ta được ma trận mới như sau:

$$[\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(4)}]^4 = \begin{bmatrix} 0,1111 & 0 & 0,1111 & 0 \\ 0 & 0,1333 & 0 & 0,1333 \\ 0,1111 & 0 & 0,2791 & 0 \\ 0 & 0,1333 & 0 & 0,4693 \end{bmatrix}$$

5- Nối nút mới ⑤ với nút ④, ma trận mới là:

$$[\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(5)}]^{5} = \begin{bmatrix} 0,1111 & 0 & 0,1111 & 0 & 0 \\ 0 & 0,1333 & 0 & 0,1333 & 0,1333 \\ 0,1111 & 0 & 0,2791 & 0 & 0 \\ 0 & 0,1333 & 0 & 0,4693 & 0,4693 \\ 0 & 0,1333 & 0 & 0,4693 & 0,7213 \end{bmatrix}$$

6- Bây giờ, 5 nút của sơ đồ kháng trở đã được đưa vào ma trận, theo thứ tự ①, ③, ②, ④, ⑤. Ta thực hiện việc thêm nhánh mới 2-3:

$$[\Delta \mathbf{Z}_{3-2}] = j \begin{bmatrix} -0,1111 \\ 0,1333 \\ -0,2791 \\ 0,1333 \\ 0,1333 \end{bmatrix}$$

$$\dot{Z}_{11} = \dot{z}_{23} + \dot{Z}_{33} + \dot{Z}_{22} - 2 \cdot \dot{Z}_{32} = j0,5384$$

$$[\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(5)}]^{6} = [\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(5)}]^{5} - \frac{[\Delta \mathbf{Z}_{3-2}][\Delta \mathbf{Z}_{3-2}]^T}{Z_{11}}$$

$$[\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(5)}]^{6} = j \begin{bmatrix} 0,0882 & 0,0275 & 0,0535 & 0,0275 & 0,0275 \\ 0,0275 & 0,1003 & 0,0691 & 0,1003 & 0,1003 \\ 0,0535 & 0,0691 & 0,1344 & 0,0691 & 0,0691 \\ 0,0275 & 0,1003 & 0,0691 & 0,4363 & 0,4363 \\ 0,0275 & 0,1003 & 0,0691 & 0,4363 & 0,6883 \end{bmatrix}$$

7- Thêm nhánh mới 1-5:

$$[\Delta \mathbf{Z}_{1-5}] = j \begin{bmatrix} 0,0607 \\ -0,0728 \\ -0,0156 \\ -0,4088 \\ -0,6608 \end{bmatrix}; \quad \dot{Z}_{11} = \dot{z}_{15} + \dot{Z}_{11} + \dot{Z}_{55} - 2 \cdot \dot{Z}_{15} = j0,8475$$

$$[\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(5)}]^{7} = [\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(5)}]^{6} - \frac{[\Delta \mathbf{Z}_{1-5}][\Delta \mathbf{Z}_{1-5}]^T}{Z_{11}}$$

$$[\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(5)}]^{7} = j \begin{bmatrix} 0,0838 & 0,0327 & 0,0546 & 0,0568 & 0,0748 \\ 0,0327 & 0,0940 & 0,0678 & 0,0678 & 0,0435 \\ 0,0546 & 0,0678 & 0,1341 & 0,0616 & 0,0569 \\ 0,0568 & 0,0678 & 0,0616 & 0,2391 & 0,1175 \\ 0,0748 & 0,0435 & 0,0569 & 0,1175 & 0,1731 \end{bmatrix}$$

8- Bước cuối cùng, ta thêm nhánh 3-5:

$$[\Delta Z_{2-5}] = j \begin{bmatrix} -0,0421 \\ 0,0505 \\ 0,0108 \\ -0,0524 \\ -0,1295 \end{bmatrix}; \quad \dot{Z}_{11} = \dot{z}_{35} + \dot{Z}_{22} + \dot{Z}_{55} - 2 \cdot \dot{Z}_{25} = j0,39$$

$$[Z_{\text{nút}}^{(5)}]_8 = \begin{bmatrix} 0,0793 & 0,0382 & 0,0558 & 0,0511 & 0,0608 \\ 0,0382 & 0,0875 & 0,0664 & 0,0720 & 0,0603 \\ 0,0558 & 0,0664 & 0,1338 & 0,0630 & 0,0605 \\ 0,0511 & 0,0720 & 0,0630 & 0,2321 & 0,1002 \\ 0,0608 & 0,0603 & 0,0605 & 0,1002 & 0,1300 \end{bmatrix}$$

Ma trận tổng trở nút trên được xây dựng khi lần lượt thêm vào các nút ①, ③, ②, ④, và ⑤. Nếu đổi hàng 2 và hàng 3, cột 2 và cột 3 cho nhau, ta sẽ nhận được ma trận tổng trở nút có sự tương ứng chỉ số nút-chỉ số phần tử, và ma trận mới này hoàn toàn giống như ma trận đã tính bằng phương pháp nghịch đảo ma trận tổng dẫn ở ví dụ 2.12.

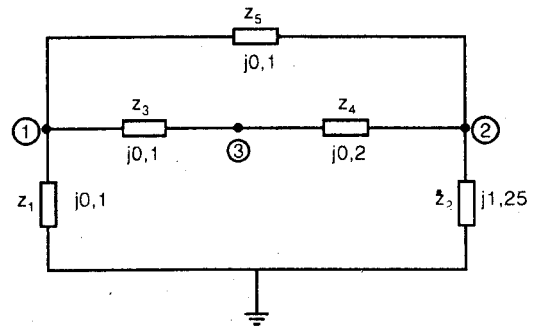
Ví dụ 2.13. Cho mạng điện 3 nút như hình 2.30, từng bước xây dựng ma trận tổng trở nút:

- Mạng điện nguyên trạng.
- Nhánh 3 tách khỏi mạng điện.

Giải. Mạng điện nguyên trạng:

Bước 1: Chọn nút chuẩn như hình 2.30.

Bước 2: Bắt đầu tính $Z_{\text{nút}}$ với tất cả các phần tử nối trực tiếp tới nút chuẩn O.



Hình 2.30: Sơ đồ ví dụ 2.13

$$[Z_{\text{nút}}^2]_1 = j \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1,25 \end{bmatrix}$$

Bước 3: Tiếp theo, nút ③ nối với nút ① qua Z_3 :

$$[Z_{\text{nút}}^3]_2 = j \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1,25 & 0 \\ 1 & 0 & 1,1 \end{bmatrix}$$

Bước 4: Thêm z_4 nối giữa nút ② và nút ③. Tính:

$$[\Delta Z] = j \begin{bmatrix} 0 \\ 1,25 \\ 0 \end{bmatrix} - j \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1,1 \end{bmatrix} = j \begin{bmatrix} -1 \\ 1,25 \\ -1,1 \end{bmatrix}$$

$$\dot{Z}_{11} = (j0,2 + j1,25 + j1,1) = j2,55$$

$$[Z_{nut}^{(3)}] = [Z_{nut}^{(2)}]^2 + j0,3922 \begin{bmatrix} -1,0 & 1,25 & -1,1 \\ 1,25 & -1,563 & 1,375 \\ -1,1 & 1,375 & -1,21 \end{bmatrix} = j \begin{bmatrix} 0,6078 & 0,4902 & 0,5686 \\ 0,4902 & 0,6372 & 0,5392 \\ 0,5686 & 0,5392 & 0,6255 \end{bmatrix}$$

Thêm Z_5 giữa nút ① và ②:

$$[\Delta Z] = j \begin{bmatrix} 0,6078 \\ 0,4902 \\ 0,5686 \end{bmatrix} - j \begin{bmatrix} 0,4902 \\ 0,6377 \\ 0,5392 \end{bmatrix} = j \begin{bmatrix} 0,1176 \\ -0,1471 \\ 0,0294 \end{bmatrix}$$

$$\dot{Z}_{11} = [j0,1 + j0,678 + j0,6372 - 2.(j0,4902)] = j0,4348$$

Tính được:

$$[Z_{nut}^{(3)}]^4 = [Z_{nut}^{(3)}]^3 + j2,742 \begin{bmatrix} -0,0138 & 0,0173 & -0,0035 \\ 0,0173 & -0,0216 & 0,0043 \\ -0,0035 & 0,0043 & -0,0009 \end{bmatrix}$$

$$[Z_{nut}^3]^4 = j \begin{bmatrix} 0,5699 & 0,5376 & 0,5591 \\ 0,5376 & 0,578 & 0,5511 \\ 0,5591 & 0,5511 & 0,6231 \end{bmatrix}$$

- Tách Z_5 khỏi mạng điện cũng tương đương như thêm vào giữa nút ① và ② tổng trở $Z_5 = -j0,1$.

Tính tương tự: $[\Delta Z] = j \begin{bmatrix} 0,0323 \\ -0,0404 \\ 0,008 \end{bmatrix}$

$$\dot{Z}_{11} = [-j0,1 + j0,5699 + j0,578 - 2.(j0,5376)] = -j0,0273$$

$$[\Delta Z].[\Delta Z]^T = j^2 \begin{bmatrix} 0,001043 & -0,001305 & 0,000258 \\ -0,001305 & 0,001632 & -0,000323 \\ 0,000258 & -0,000323 & 0,000064 \end{bmatrix}$$

$$[Z_{nut}^3] = j \begin{bmatrix} 0,6081 & 0,4894 & 0,5686 \\ 0,4898 & 0,6378 & 0,5393 \\ 0,5686 & 0,5393 & 0,6254 \end{bmatrix}$$

2- Xác định một cột của ma trận tổng trở nút từ ma trận tổng dẫn theo phương pháp các ma trận tam giác

Trong hệ thống điện lớn với nhiều nút, cấu trúc mạng phức tạp, thì phương pháp dùng ma trận tổng trở nút tỏ ra rất hữu hiệu khi việc biến đổi sơ đồ mạng về một tổng trở tương đương nối tiếp một nguồn áp gặp khó khăn. Như đã nói ở phần đầu, nếu tính được ma trận tổng trở nút thì có thể tính được dòng sự cố tại mọi nút trong mạng, phân bố của dòng sự cố cũng như điện áp nút khi sự cố. Đôi khi, chỉ có yêu cầu tính dòng ngắn mạch tại một nút trong mạng và khi ấy ta chỉ cần biết duy nhất một phần tử trong ma trận tổng trở nút. Trong trường hợp như thế, để đơn giản, người ta chỉ cần tính giá trị các phần tử trong cột có chứa phần

tử đường chéo tương ứng với nút sự cố của ma trận tổng trở nút. Để phục vụ cho mục đích này, người ta không cần nghịch đảo ma trận $[Y_{nút}]$ cũng như không cần xây dựng $[Z_{nút}]$ theo các thủ tục vừa trình bày trên mà chỉ cần biến đổi ma trận $[Y_{nút}]$ thành tích của hai ma trận tam giác. Hai ma trận này, được gọi là ma trận tam giác trên $[U]$ và ma trận tam giác dưới $[L]$, như sau:

$$[Y_{nút}] = [L] \times [U]$$

$$[L] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ l_{21} & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{n1} & l_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}; \quad [U] = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1n} \\ 0 & u_{22} & \dots & u_{2n} \\ \vdots & 0 & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & u_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.53)$$

Bởi vì $[Z_{nút}] = [Y_{nút}^{-1}]$, nên ta có thể viết:

$$[L] \times [U] \times [Z_{nút}] = [1]; \quad ([1] \text{ là ma trận đơn vị})$$

Khai triển công thức trên cho cột thứ k của ma trận $[Z_{nút}]$, ta được:

$$[L] \times [U] \times \begin{bmatrix} Z_{1k} \\ \vdots \\ \vdots \\ Z_{kk} \\ \vdots \\ \vdots \\ Z_{nk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1_k \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.54)$$

với 1_k là số 1 ở hàng thứ k .

$$\text{Bằng cách đặt: } [U] \times [Z]_k = T_{n \times 1} \quad (2.55)$$

với $[Z]_k$ là cột thứ k của ma trận $[Z_{nút}]$.

Dùng phương trình (2.54) để giải ra $T_{n \times 1}$, sau đó giải $[Z]_k$ từ (2.55).

Tính $[L]$ và $[U]$ từ ma trận $Y_{nút}$ dùng thuật toán tìm ma trận tam giác trên và tam giác dưới. Thuật toán chỉ áp dụng cho ma trận có các phần tử trên đường chéo chính khác không. Dễ thấy rằng ma trận tổng dẫn nút thỏa mãn điều kiện trên. Các bước tính như sau:

Bước 1: Chia các phần tử của cột đầu tiên (cột một) cho y_{11} , trừ chính Y_{11} :

$$\dot{Y}_{i1}^{(1)} = \frac{\dot{Y}_{i1}}{\dot{Y}_{11}}, \quad i = 2, 3, 4, \dots \quad (2.56)$$

Tính lại tất cả các phần tử không nằm trên cột 1 và hàng 1 theo công thức sau:

$$\dot{Y}_{ij}^{(1)} = \dot{Y}_{ij} - \frac{\dot{Y}_{i1} \dot{Y}_{1j}}{\dot{Y}_{11}}, \quad i, j = 2, 3, 4, \dots \quad (2.57)$$

Tương ứng có ma trận ở bước 1 sau:

$$\begin{bmatrix} \dot{Y}_{11} & \dot{Y}_{12} & \dots & \dot{Y}_{1n} \\ \dot{Y}_{21}^{(1)} & \dot{Y}_{22}^{(1)} & \dots & \dot{Y}_{2n}^{(1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \dot{Y}_{n1}^{(1)} & \dot{Y}_{n2}^{(1)} & \dots & \dot{Y}_{nn}^{(1)} \end{bmatrix}$$

Bước 2: Chia các phần tử nằm dưới Y_{22} trong cột 2 của ma trận mới cho Y_{22} :

$$Y_{i2}^{(2)} = \frac{Y_{i2}^{(1)}}{Y_{22}^{(1)}}, \quad i = 3, 4, \dots \quad (2.58)$$

Tính lại các phần tử không nằm trên cột 1, cột 2 và hàng 1, hàng 2 theo công thức (2.57), nhưng thay chỉ số 1 bởi chỉ số 2:

$$\dot{Y}_{ij}^{(2)} = \dot{Y}_{ij}^{(1)} - \frac{\dot{Y}_{i2}^{(1)} \dot{Y}_{2j}^{(1)}}{\dot{Y}_{22}^{(1)}} \quad (2.59)$$

Ma trận ở bước 2:

$$\begin{bmatrix} \dot{Y}_{11} & \dot{Y}_{12} & \dots & \dot{Y}_{1n} \\ \dot{Y}_{21}^{(1)} & \dot{Y}_{22}^{(1)} & \dots & \dot{Y}_{2n}^{(1)} \\ \dot{Y}_{31}^{(1)} & \dot{Y}_{32}^{(2)} & \dots & \dot{Y}_{3n}^{(2)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \dot{Y}_{n1}^{(1)} & \dot{Y}_{n2}^{(2)} & \dots & \dot{Y}_{nn}^{(2)} \end{bmatrix}$$

....

Bước k : Chia các phần tử nằm dưới Y_{kk} trong cột k của ma trận mới cho Y_{kk} :

$$\dot{Y}_{ik}^{(k)} = \frac{\dot{Y}_{ik}^{(k-1)}}{\dot{Y}_{kk}^{(k-1)}}, \quad i = k+1, k+2, \dots, n$$

- Tính lại tất cả các phần tử không nằm trên cột 1, cột 2...cột k và hàng 1, hàng 2... hàng k theo công thức (2.57), nhưng thay chỉ số 1 bởi chỉ số $k-1$, thay chỉ số 2 bởi chỉ số k :

$$\dot{Y}_{ij}^{(k)} = \dot{Y}_{ij}^{(k-1)} - \frac{\dot{Y}_{ik}^{(k-1)} \dot{Y}_{kj}^{(k-1)}}{\dot{Y}_{kk}^{(k-1)}}, \quad i, j = k+1; k+2, \dots; n \quad (2.60)$$

Ma trận có $n \times n$ phần tử thì việc tính toán sẽ dừng lại sau bước thứ $n - 1$. Khi đó, ta nhận được ma trận mới như sau:

$$[\mathbf{Y}_{\text{nút}}^{(n-1)}] = \begin{bmatrix} \dot{Y}_{11} & \dot{Y}_{12} & \dot{Y}_{13} & \dots & \dot{Y}_{1(n-1)} & \dot{Y}_{1n} \\ \dot{Y}_{21}^{(1)} & \dot{Y}_{22}^{(1)} & \dot{Y}_{23}^{(1)} & \dots & \dot{Y}_{2(n-1)}^{(1)} & \dot{Y}_{2n}^{(1)} \\ \dot{Y}_{31}^{(1)} & \dot{Y}_{32}^{(2)} & \dot{Y}_{33}^{(2)} & \dots & \dot{Y}_{3(n-1)}^{(2)} & \dot{Y}_{3n}^{(2)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \dot{Y}_{(n-1)1}^{(1)} & \dot{Y}_{(n-1)2}^{(2)} & \dot{Y}_{(n-1)3}^{(3)} & \dots & \dot{Y}_{(n-1)(n-1)}^{(n-2)} & \dot{Y}_{(n-1)n}^{(n-2)} \\ \dot{Y}_{n1}^{(1)} & \dot{Y}_{n2}^{(2)} & \dot{Y}_{n3}^{(3)} & \dots & \dot{Y}_{n(n-1)}^{(n-1)} & \dot{Y}_{nn}^{(n-1)} \end{bmatrix} \quad (2.61)$$

Các phần tử nằm ở phần tam giác trên và đường chéo chính của ma trận U sẽ bằng với các phần tử tương ứng cùng vị trí của ma trận $\mathbf{Y}_{\text{nút}}^{(n-1)}$. Còn các phần tử nằm ở tam giác dưới của ma trận L sẽ bằng các phần tử tương ứng cùng vị trí của ma trận $\mathbf{Y}_{\text{nút}}^{(n-1)}$.

$$[\mathbf{U}] = \begin{bmatrix} \dot{Y}_{11} & \dot{Y}_{12} & \dot{Y}_{13} & \dots & \dot{Y}_{1(n-1)} & \dot{Y}_{1n} \\ 0 & \dot{Y}_{22}^{(1)} & \dot{Y}_{23}^{(1)} & \dots & \dot{Y}_{2(n-1)}^{(1)} & \dot{Y}_{2n}^{(1)} \\ 0 & 0 & \dot{Y}_{33}^{(2)} & \dots & \dot{Y}_{3(n-1)}^{(2)} & \dot{Y}_{3n}^{(2)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \dot{Y}_{(n-1)(n-1)}^{(n-2)} & \dot{Y}_{(n-1)n}^{(n-2)} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \dot{Y}_{nn}^{(n-1)} \end{bmatrix} \quad (2.62)$$

$$[\mathbf{L}] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dot{Y}_{21}^{(1)} & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dot{Y}_{31}^{(1)} & \dot{Y}_{32}^{(2)} & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \dot{Y}_{(n-1)1}^{(1)} & \dot{Y}_{(n-1)2}^{(2)} & \dot{Y}_{(n-1)3}^{(3)} & \dots & 1 & 0 \\ \dot{Y}_{n1}^{(1)} & \dot{Y}_{n2}^{(2)} & \dot{Y}_{n3}^{(3)} & \dots & \dot{Y}_{n(n-1)}^{(n-1)} & 1 \end{bmatrix} \quad (2.63)$$

Ví dụ 2.14. Tính các ma trận $[L]$ và $[U]$ của ma trận tổng dẫn $[Y]$ trong ví dụ 2.9.

Giải. Ta viết lại ma trận tổng dẫn \mathbf{Y} như sau:

$$[\mathbf{Y}] = j \begin{bmatrix} -22,8898 & 5,9524 & 0 & 0 & 7,9365 \\ 5,9524 & -13,8889 & 7,9365 & 0 & 0 \\ 0 & 7,9365 & -23,1765 & 2,9762 & 4,7619 \\ 0 & 0 & 2,9762 & -6,9444 & 3,9683 \\ 7,9365 & 0 & 4,7619 & 3,9683 & -16,6667 \end{bmatrix}$$

Theo lý thuyết, để tính các ma trận L và U , cần biến đổi ma trận Y qua 4 bước. Nếu gọi ma trận có được sau bước biến đổi thứ $k-1$ ($4 > k > 1$) là $Y^{(k-1)}$ thì các phần tử ma trận $Y^{(k)}$ được tính như sau:

$$\dot{Y}_{ik}^{(k)} = \frac{\dot{Y}_{ik}^{(k-1)}}{\dot{Y}_{kk}^{(k-1)}}, \quad i = k+1; k+2, \dots, 5$$

$$\dot{Y}_{ij}^{(k)} = \dot{Y}_{ij}^{(k-1)} - \frac{\dot{Y}_{ik}^{(k-1)}\dot{Y}_{kj}^{(k-1)}}{\dot{Y}_{kk}^{(k-1)}}, \quad i, j = k+1; k+2, \dots, 5$$

Tính toán theo hai công thức trên, ta lần lượt nhận được kết quả:

$$[Y^{(1)}] = j \begin{bmatrix} -22,8898 & 5,9524 & 0 & 0 & 7,9365 \\ -0,2600 & -12,3410 & 7,9365 & 0 & 2,0639 \\ 0 & 7,9365 & 2,9762 & 2,9762 & 4,7619 \\ 0 & 0 & -6,9444 & -6,9444 & 3,9683 \\ -0,3476 & 2,0639 & 3,9683 & 3,9683 & -13,9149 \end{bmatrix}$$

$$[Y^{(2)}] = j \begin{bmatrix} -22,8898 & 5,9524 & 0 & 0 & 7,9365 \\ -0,2600 & -12,3410 & 7,9365 & 0 & 2,0639 \\ 0 & -0,6431 & -18,0725 & 2,9762 & 6,0892 \\ 0 & 0 & 2,9762 & -6,9444 & 3,9683 \\ -0,3476 & -0,1672 & 6,0892 & 3,9683 & -13,5697 \end{bmatrix}$$

$$[Y^{(3)}] = j \begin{bmatrix} -22,8898 & 5,9524 & 0 & 0 & 7,9365 \\ -0,2600 & -12,3410 & 7,9365 & 0 & 2,0639 \\ 0 & -0,6431 & -18,0725 & 2,9762 & 6,0892 \\ 0 & 0 & -0,1647 & -6,4543 & 4,9710 \\ -0,3476 & -0,1672 & -0,3369 & 4,9710 & -11,5181 \end{bmatrix}$$

$$[Y^{(4)}] = j \begin{bmatrix} -22,8898 & 5,9524 & 0 & 0 & 7,9365 \\ -0,2600 & -12,3410 & 7,9365 & 0 & 2,0639 \\ 0 & -0,6431 & -18,0725 & 2,9762 & 6,0892 \\ 0 & 0 & -0,1647 & -6,4543 & 4,9710 \\ -0,3476 & -0,1672 & -0,3369 & -0,7702 & -7,6895 \end{bmatrix}$$

Suy ra ma trận L và ma trận U :

$$[L] = j \begin{bmatrix} -j & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0,2600 & -j & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0,6431 & -j & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0,1647 & -j & 0 \\ -0,3476 & -0,1672 & -0,3369 & -0,7702 & -j \end{bmatrix}$$

$$[\mathbf{U}] = j \begin{bmatrix} -22,8898 & 5,9524 & 0 & 0 & 7,9365 \\ 0 & -12,3410 & 7,9365 & 0 & 2,0639 \\ 0 & 0 & -18,0725 & 2,9762 & 6,0892 \\ 0 & 0 & 0 & -6,4543 & 4,9710 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -7,6895 \end{bmatrix}$$

Bây giờ ta sẽ dùng hai ma trận \mathbf{L} và \mathbf{U} để tính một cột của ma trận tổng trở nút, cột 4 chẳng hạn:

Do ma trận tổng trở nút là ma trận nghịch đảo của ma trận tổng dẫn nút nên:

$$[\mathbf{L}] \cdot [\mathbf{U}] \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} \dot{Z}_{14} \\ \dot{Z}_{24} \\ \dot{Z}_{34} \\ \dot{Z}_{44} \\ \dot{Z}_{54} \end{bmatrix}}_{\mathbf{X}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Coi ma trận \mathbf{X} là ẩn, do ma trận \mathbf{L} có dạng tam giác, ta có thể dễ dàng giải ra \mathbf{X} từ hệ trên:

$$[\mathbf{U}] \begin{bmatrix} \dot{Z}_{14} \\ \dot{Z}_{24} \\ \dot{Z}_{34} \\ \dot{Z}_{44} \\ \dot{Z}_{54} \end{bmatrix} = [\mathbf{X}] = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0,770\% \end{bmatrix}$$

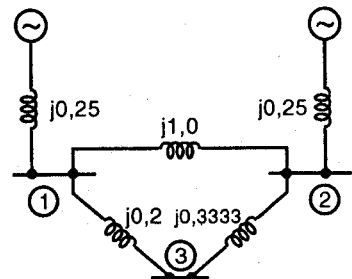
Tương tự như vậy, ta cũng có thể dễ dàng giải ra các phần tử cột 4 của ma trận $\mathbf{Z}_{\text{nút}}$:

$$\begin{bmatrix} \dot{Z}_{14} \\ \dot{Z}_{24} \\ \dot{Z}_{34} \\ \dot{Z}_{44} \\ \dot{Z}_{54} \end{bmatrix} = j \begin{bmatrix} 0,0511 \\ 0,0630 \\ 0,0720 \\ 0,2321 \\ 0,1002 \end{bmatrix}$$

Kết quả có được phù hợp với ma trận $\mathbf{Z}_{\text{nút}}$ đã giải trong ví dụ 2.9.

Ví dụ 2.15. Cho mạch trong hình 2.31. Giá trị kháng trở máy phát được cho là giá trị kháng trở siêu quá độ. Tìm dòng ngắn mạch siêu quá độ tại nút ③ và phân bố của nó.

Trong ví dụ này, ta sẽ dùng phương pháp ma trận tam giác trên và ma trận tam giác dưới để tìm các



Hình 2.31

Hình của ví dụ 2.15

phần tử trên cột 3 của ma trận tổng trở nút. Chú ý rằng để phù hợp giữa chỉ số nút và chỉ số phần tử ma trận tổng trở nút, thì ma trận tổng dẫn $\mathbf{Y}_{\text{nút}}$ phải có sự phù hợp tương ứng.

Ta tính được ma trận $\mathbf{Y}_{\text{nút}}$ và biểu diễn nó dưới dạng tích hai ma trận L và U như sau:

$$[\mathbf{Y}_{\text{nút}}] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -0,1 & 1 & 0 \\ -0,5 & -0,44304 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -j10 & j1 & j5 \\ 0 & -j7,9 & j3,5 \\ 0 & 0 & -j3,94934 \end{bmatrix}$$

Do cần tìm cột 3 của ma trận $\mathbf{Z}_{\text{nút}}$, theo công thức (2.51) ta được phương trình sau:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -0,1 & 1 & 0 \\ -0,5 & -0,44304 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -j10 & j1 & j5 \\ 0 & -j7,9 & j3,5 \\ 0 & 0 & -j3,94934 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{Z}_{13} \\ \dot{Z}_{23} \\ \dot{Z}_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Đặt

$$[\mathbf{X}] = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -j10 & j1 & j5 \\ 0 & -j7,9 & j3,5 \\ 0 & 0 & -j3,94934 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{Z}_{13} \\ \dot{Z}_{23} \\ \dot{Z}_{33} \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -0,1 & 1 & 0 \\ -0,5 & -0,44304 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -j10 & j1 & j5 \\ 0 & -j7,9 & j3,5 \\ 0 & 0 & -j3,94934 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{Z}_{13} \\ \dot{Z}_{23} \\ \dot{Z}_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ j0,25320 \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} \dot{Z}_{13} \\ \dot{Z}_{23} \\ \dot{Z}_{33} \end{bmatrix} = j \begin{bmatrix} 0,13782 \\ 0,11218 \\ 0,25320 \end{bmatrix}$$

Dòng sự cố tại nút ③ khi có ngắn mạch ba pha tại nút ③:

$$j_{N3}^{(3)} = \frac{\dot{V}_N}{\dot{Z}_{33}} = \frac{1}{j0,25320} = -j3,94937 \text{ đvtd}$$

Dòng ngắn mạch trên các nhánh 2-3, 1-3 và 2-3:

$$i_{N3}^{2-3} = \frac{\dot{V}_2(N) - \dot{V}_3(N)}{z_{23}} = \frac{1}{\dot{z}_{23}} \times ((\dot{V}_2(0) - \dot{Z}_{23} i_{N3}^{(3)}) (\dot{V}_3(0) - \dot{Z}_{33} i_{N3}^{(3)}))$$

$$i_{N3}^{2-3} = -i_{N3}^{(3)} \frac{\dot{Z}_{23} - \dot{Z}_{33}}{\dot{z}_{23}} = j3,94937 \frac{j0,11218 - j0,25320}{j0,3333} = -j1,671$$

$$i_{N3}^{1-3} = -i_{N3}^{(3)} \frac{\dot{Z}_{13} - \dot{Z}_{33}}{\dot{z}_{13}} = j3,94937 \frac{j0,13782 - j0,25320}{j0,2} = -j2,2784$$

$$i_{N3}^{1-2} = -i_{N3}^{(3)} \frac{\dot{Z}_{13} - \dot{Z}_{23}}{\dot{z}_{12}} = j0,1013 \text{ đvtd.}$$

Trong phần 2.5 vừa rồi, chúng ta đã giới thiệu hai ma trận quan trọng có tính cách mô tả đặc tính của mạng điện. Ma trận $\mathbf{Y}_{\text{nút}}$ có thể được xác định sau một số bước đơn giản và có thể dùng nó để tìm điện áp nút trong mạch khi biết dòng điện bơm vào các nút. Khi tại một số nút không có dòng điện đổ vào, ta có thể giảm kích thước ma trận mô tả mạng để đơn giản việc tính toán.

Ma trận $\mathbf{Z}_{\text{nút}}$ là ma trận nghịch đảo của ma trận $\mathbf{Y}_{\text{nút}}$ và nó đóng một vai trò khá quan trọng trong việc phân tích hệ thống. Thông thường, người ta không tìm $\mathbf{Z}_{\text{nút}}$ bằng cách nghịch đảo $\mathbf{Y}_{\text{nút}}$ mà thay vào đó là xây dựng $\mathbf{Z}_{\text{nút}}$ trực tiếp hay tính một cột nào đó của $\mathbf{Z}_{\text{nút}}$ bằng phương pháp ma trận tam giác để phục vụ cho việc tính toán ngắn mạch tại nút tương ứng. Các phần mềm tính toán ngắn mạch hiện đại thường tính $\mathbf{Z}_{\text{nút}}$ bằng phương pháp ma trận tam giác để phân tích sự cố. Trong phần tiếp theo, ta sẽ lại sử dụng $\mathbf{Z}_{\text{nút}}$ để phân tích sự cố bất đối xứng.

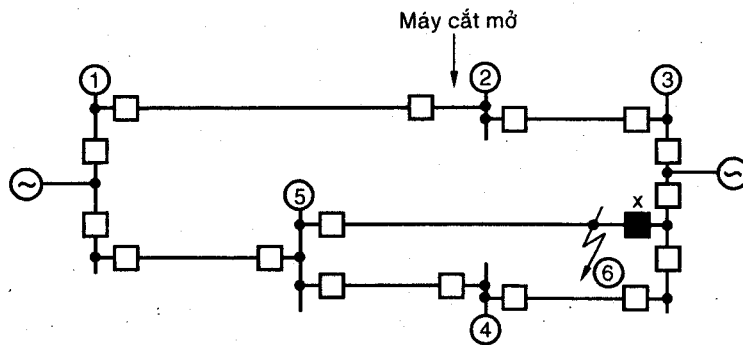
2.5.4 Sự thay đổi cấu trúc trong mạch do một máy cắt mở

Trong phần 2.5.1 ta đã xem xét cách thức xây dựng ma trận tổng trở nút với sơ đồ mạng tương đương Thevenin khi sự cố. Thông thường, sơ đồ mạng tương đương trước và sau sự cố là giống nhau, ngoại trừ kháng trở máy phát và động cơ. Trước sự cố, giá trị kháng trở máy phát và động cơ là kháng trở đồng bộ, nhưng khi sự cố xảy ra, giá trị kháng trở máy phát sẽ là giá trị kháng trở siêu quá độ (nếu sự cố xảy ra không quá xa so với đầu cực máy phát), còn giá trị kháng trở động cơ có thể là giá trị kháng trở siêu quá độ, có thể vẫn là giá trị kháng trở đồng bộ, hay được bỏ qua tùy theo tương quan giữa vị trí ngắn mạch và đầu cực động cơ. Mặt khác, trong thực tế, có những trường hợp ngắn mạch trên đường dây có máy cắt ở hai đầu và vị trí xảy ra ngắn mạch nằm sát một đầu đường dây, nghĩa là nằm gần một máy cắt hơn, khi ấy, hai máy cắt hai đầu đường dây sẽ không cô lập sự cố cùng một lúc. Máy cắt gần sự cố sẽ mở trước và lúc bấy giờ, dòng sự cố sẽ thay đổi giá trị do sơ đồ mạng thay đổi. Để tính giá trị mới của dòng sự cố, không thể dùng ma trận tổng trở nút của sơ đồ mạng khi máy cắt gần sự cố chưa mở. Ta có thể xây dựng lại ma trận tổng trở nút ứng với tình trạng mới này, nhưng việc này đôi khi tốn thời gian và không cần thiết. Để tính được ma trận tổng trở nút ứng với sơ đồ mới (một máy cắt đã mở), ta chỉ việc tiếp tục xây dựng nó từ ma trận của sơ đồ cũ (chưa máy cắt nào mở) theo trình tự sau:

1- Từ sơ đồ tương đương cũ và ma trận tổng trở tương ứng, ta thêm vào một nhánh mới nối giữa thanh cái (nút) có máy cắt xa chỗ ngắn mạch hơn và vị trí ngắn mạch. Vị trí ngắn mạch được coi như một nút mới. Dùng quy luật 3 trong phần 2.5.3.

2- Cắt nhánh nối giữa hai nút đầu đường dây, giả sử là nút p và q . Thủ tục cắt nhánh cũng giống như thủ tục thêm nhánh, chỉ khác là giá trị tổng trở nhánh được nhân cho (-1) . Dùng quy luật 4 nhưng thay z_{pq} bởi $(-z_{pq})$.

Xét mạng điện trên hình 2.32. Một ngắn mạch ba pha xảy ra trên đường dây 5-3 rất gần máy cắt tại nút ③, máy cắt x. Giả sử lúc ngắn mạch trước khi máy cắt x mở ra mạng có ma trận tổng trở nút là $\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(5)}$, tìm ma trận tổng trở nút của mạng $\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(6)x}$ khi máy cắt x mở và giá trị dòng sự cố mới trên đường dây 5-3 (đã hở nút ③).



Hình 2.32: Mạng có một máy cắt mở khi sự cố

Để đơn giản việc gọi tên, giả sử rằng chỉ số của các phần tử ma trận $\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(5)}$ cũng tương ứng với chỉ số nút trong mạng, nghĩa là Z_{33} ứng với nút ③. Nói cách khác, ma trận $\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(5)}$ được xây dựng theo thứ tự thêm vào các nút ①, ②, ③, ④ và ⑤.

- Khi thêm nhánh mới nối giữa nút ③ và vị trí ngắn mạch, nút ⑥, ta được ma trận như sau:

$$[\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(6)}] = \begin{bmatrix} \mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(5)} & \mathbf{Z}_6^T \\ \mathbf{Z}_6 & \mathbf{Z}_{66} \end{bmatrix} \quad (2.64)$$

với: $[\mathbf{Z}_6] = [\dot{Z}_{51} \quad \dot{Z}_{52} \quad \dot{Z}_{53} \quad \dot{Z}_{54} \quad \dot{Z}_{55}]$

$$[\mathbf{Z}_{66}] = [\dot{Z}_{55} + \dot{z}_{65}] = [\dot{Z}_{55} + \dot{z}_{35}]$$

- Cắt nhánh 3-5 nối giữa nút ③ và nút ⑤, ta tính được ma trận $\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(6)x}$ theo các công thức sau:

$$[\Delta \mathbf{Z}_{3-5}] = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{13} - \dot{Z}_{15} \\ \dot{Z}_{23} - \dot{Z}_{25} \\ \dot{Z}_{33} - \dot{Z}_{35} \\ \dot{Z}_{43} - \dot{Z}_{45} \\ \dot{Z}_{53} - \dot{Z}_{55} \\ \dot{Z}_{53} - \dot{Z}_{55} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta \dot{Z}_1 \\ \Delta \dot{Z}_2 \\ \Delta \dot{Z}_3 \\ \Delta \dot{Z}_4 \\ \Delta \dot{Z}_5 \\ \Delta \dot{Z}_6 \end{bmatrix} \quad (2.65)$$

$$\dot{Z}_u = \dot{Z}_{33} + \dot{Z}_{55} - 2\dot{Z}_{35} - \dot{z}_{35}$$

$$[\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(6)x}] = [\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(6)}] - \frac{[\Delta \mathbf{Z}_{3-5}][\Delta \mathbf{Z}_{3-5}]^T}{\dot{Z}_u}$$

$$[\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(6)x}] = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{11} & \dot{Z}_{12} & \dots & \dots & \dot{Z}_{15} & \dot{Z}_{15} \\ \dot{Z}_{21} & \dot{Z}_{22} & \dots & \dots & \dot{Z}_{25} & \dot{Z}_{25} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \dot{Z}_{51} & \dot{Z}_{52} & \dots & \dots & \dot{Z}_{55} & \dot{Z}_{55} \\ \dot{Z}_{51} & \dot{Z}_{52} & \dots & \dots & \dot{Z}_{55} & \dot{Z}_{55} + \dot{z}_{35} \end{bmatrix} - \frac{1}{\dot{Z}_u} \begin{bmatrix} \Delta \dot{Z}_1^2 & \Delta \dot{Z}_1 \Delta \dot{Z}_2 & \dots & \dots & \dots & \Delta \dot{Z}_1 \Delta \dot{Z}_6 \\ \Delta \dot{Z}_2 \Delta \dot{Z}_1 & \Delta \dot{Z}_2^2 & \dots & \dots & \dots & \Delta \dot{Z}_2 \Delta \dot{Z}_6 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Delta \dot{Z}_6 \Delta \dot{Z}_1 & \Delta \dot{Z}_6 \Delta \dot{Z}_2 & \dots & \dots & \dots & \Delta \dot{Z}_6^2 \end{bmatrix} \quad (2.66)$$

Dòng sự cố chạy trên đường dây 5-3 bây giờ cũng chính là dòng sự cố tại nút ⑥, và được tính theo công thức:

$$I_N'' = \frac{1,0}{Z_{66}^{\text{mới}}} = \frac{1,0}{\frac{\dot{Z}_{55} + \dot{z}_{35} - (\dot{Z}_{53} - \dot{Z}_{55})^2}{\dot{Z}_{33} + \dot{Z}_{55} - 2\dot{Z}_{35} - \dot{z}_{35}}} \quad (2.67)$$

với: $Z_{66}^{\text{mới}} = \frac{\dot{Z}_{55} + \dot{z}_{35} - (\dot{Z}_{53} - \dot{Z}_{55})^2}{\dot{Z}_{33} + \dot{Z}_{55} - 2\dot{Z}_{35} - \dot{z}_{35}}$ là phần tử hàng 6 cột 6 của ma trận $\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(6)x}$.

SỰ CỐ BẤT ĐỐI XỨNG

3.1 CÁC THÀNH PHẦN ĐỐI XỨNG

Như đã trình bày ở phần đầu, ngắn mạch được chia làm ngắn mạch đối xứng và ngắn mạch bất đối xứng. Trong hệ thống điện ba pha cân bằng:

Ngắn mạch đối xứng chính là ngắn mạch ba pha hay ngắn mạch ba pha chạm đất.

Như đã khảo sát ở các phần trên, do ba dòng điện ngắn mạch chạy trên ba pha là đối xứng (bằng nhau về độ lớn và lệch nhau 120° về pha) nên ngắn mạch đối xứng có thể được xem xét dựa trên mô hình một pha hay sơ đồ một dây.

Ngắn mạch bất đối xứng là ngắn mạch một pha chạm đất ($N^{(1)}$), ngắn mạch hai pha không chạm đất ($N^{(2)}$), và ngắn mạch hai pha chạm đất ($N^{(1,1)}$). Gặp trường hợp vận hành, một pha hay hai pha bị hở cũng đưa đến tình trạng làm việc bất đối xứng.

Người ta cũng đã tìm ra nhiều phương pháp để giải bài toán sự cố bất đối xứng. Tuy nhiên, do tính đơn giản hóa của sơ đồ một dây đối với việc giải các bài toán sự cố đối xứng, nên người ta có xu hướng sử dụng phương pháp các thành phần đối xứng để biểu diễn một mạch bất đối xứng dưới dạng một số mạch đối xứng. Trong phần này, ta sẽ khảo sát phương pháp các thành phần đối xứng và cách dùng nó để giải các bài toán sự cố bất đối xứng theo mô hình một pha.

3.1.1 Giới thiệu về các thành phần đối xứng

Phương pháp các thành phần đối xứng cho phép thay thế một hệ thống ba đại lượng pha không đối xứng như điện áp hay dòng điện bởi ba hệ thống đối xứng, trong đó mỗi hệ thống gồm ba đại lượng đối xứng. Trong mỗi một hệ thống đối xứng, các đại lượng của nó bằng nhau về độ lớn và góc lệch giữa hai đại lượng kề nhau luôn không đổi.

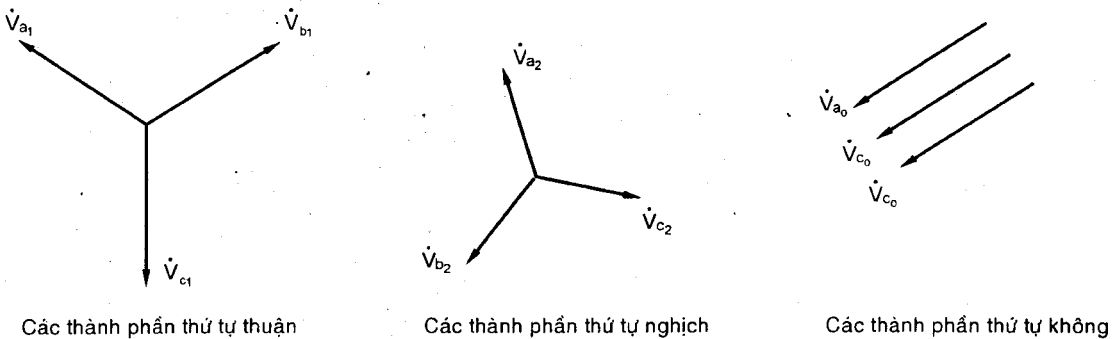
Nếu gọi ba đại lượng pha của hệ thống không đối xứng ban đầu là ba đại lượng ban đầu, và “thứ tự pha” được hiểu như là thứ tự của ba đại lượng pha ban đầu khi đi theo một chiều quay dương xác định trên sơ đồ vectơ của chúng, thì ba hệ thống (hay tập hợp) các thành phần đối xứng thay thế được mô tả như sau:

1- Các thành phần thứ tự thuận gồm ba đại lượng (vectơ) bằng nhau về độ lớn, từng đôi một lệch nhau 120° về pha và có cùng thứ tự như các đại lượng ban đầu.

2- Các thành phần thứ tự nghịch gồm ba đại lượng (vectơ) bằng nhau về độ lớn, từng đôi một lệch nhau 120° về pha và có thứ tự pha ngược với thứ tự pha của các đại lượng ban đầu.

3- Các thành phần thứ tự không gồm ba đại lượng (vectơ) bằng nhau về độ lớn và cả góc pha.

Khi giải một bài toán bằng các thành phần đối xứng, ký hiệu ba pha của hệ thống điện là a, b, c. Thứ tự pha của hệ thống, thông thường theo chiều dương quy ước cùng chiều kim đồng hồ là abc. Như vậy, thứ tự pha của các thành phần thứ tự thuận là abc, và của các thành phần thứ tự nghịch là acb. Nếu các đại lượng pha điện áp ban đầu là $\dot{V}_a, \dot{V}_b, \dot{V}_c$, thì ký hiệu các thành phần thứ tự thuận là $\dot{V}_{a1}, \dot{V}_{b1}, \dot{V}_{c1}$; ký hiệu các thành phần thứ tự nghịch là $\dot{V}_{a2}, \dot{V}_{b2}, \dot{V}_{c2}$; và ký hiệu các thành phần thứ tự không là $\dot{V}_{a0}, \dot{V}_{b0}, \dot{V}_{c0}$. Hình 3.1 biểu diễn ba tập hợp các thành phần đối xứng như vậy. Các đại lượng pha là dòng điện sẽ được ký hiệu bởi I với các chỉ số như đối với điện áp.



Hình 3.1: Các thành phần đối xứng

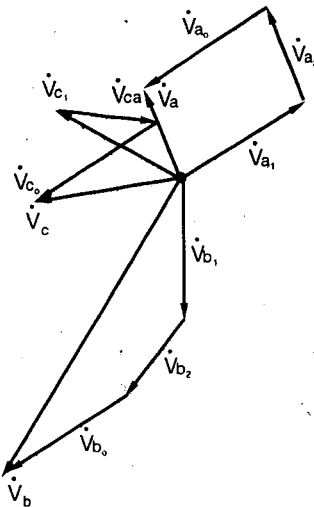
Mỗi đại lượng pha không đối xứng ban đầu là tổng các thành phần đối xứng, nên ta có thể viết:

$$\begin{aligned}\dot{V}_a &= \dot{V}_{a0} + \dot{V}_{a1} + \dot{V}_{a2} \\ \dot{V}_b &= \dot{V}_{b0} + \dot{V}_{b1} + \dot{V}_{b2} \\ \dot{V}_c &= \dot{V}_{c0} + \dot{V}_{c1} + \dot{V}_{c2}\end{aligned}\tag{3.1}$$

Viết dưới dạng ma trận:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{V}_{a0} \\ \dot{V}_{b0} \\ \dot{V}_{c0} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{V}_{a1} \\ \dot{V}_{b1} \\ \dot{V}_{c1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{V}_{a2} \\ \dot{V}_{b2} \\ \dot{V}_{c2} \end{bmatrix}\tag{3.2}$$

Tổ hợp của một tập hợp ba đại lượng pha không đối xứng từ ba tập hợp các thành phần đối xứng của hình 3.1 được trình bày trên hình 3.2.



Hình 3.2: Tổng hợp các thành phần không đối xứng theo các thành phần đối xứng của chúng

3.1.2 Biểu diễn các thành phần đối xứng theo các đại lượng pha không đối xứng

Trong hình 3.2, chúng ta xem xét tổ hợp ba đại lượng pha từ ba tập hợp các đại lượng pha đối xứng. Tổ hợp được thực hiện theo các công thức (3.1). Bây giờ chúng ta xem xét cũng các công thức (3.1) trên để xác định cách thức phân tích các đại lượng pha không đối xứng theo các thành phần đối xứng của chúng.

Trước hết, theo quan hệ giữa các thành phần đối xứng, số lượng các ẩn số có thể được giảm bằng cách biểu diễn mỗi thành phần của V_b và V_c thành tích của một thành phần của V_a và một số hàm số của toán tử $a = 1 \angle 120^\circ$ như sau:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{a_0} &= \dot{V}_{b_0} = \dot{V}_{c_0} \\ \dot{V}_{b_1} &= a^2 \dot{V}_{a_1}; \quad \dot{V}_{c_1} = a \dot{V}_{a_1} \\ \dot{V}_{b_2} &= a \dot{V}_{a_2}; \quad \dot{V}_{c_2} = a^2 \dot{V}_{a_2} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Thay các công thức (3.3) vào các công thức (3.1), ta được:

$$\begin{aligned} \dot{V}_a &= \dot{V}_{a_0} + \dot{V}_{a_1} + \dot{V}_{a_2} \\ \dot{V}_b &= \dot{V}_{a_0} + a^2 \dot{V}_{a_1} + a \dot{V}_{a_2} \\ \dot{V}_c &= \dot{V}_{a_0} + a \dot{V}_{a_1} + a^2 \dot{V}_{a_2} \end{aligned} \quad (3.4)$$

hay viết dưới dạng ma trận:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_{a_0} \\ \dot{V}_{a_1} \\ \dot{V}_{a_2} \end{bmatrix} = [\mathbf{A}] \begin{bmatrix} \dot{V}_{a_0} \\ \dot{V}_{a_1} \\ \dot{V}_{a_2} \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

$$\text{Ở đây, ta đặt: } [A] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

$$\text{Có thể tính được: } [A]^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} = \frac{1}{3} [A]^* \quad (3.7)$$

$$\dot{V}_{a_0} = \frac{1}{3}(\dot{V}_a + \dot{V}_b + \dot{V}_c)$$

$$\text{Dẫn đến: } \dot{V}_{a_1} = \frac{1}{3}(\dot{V}_a + a\dot{V}_b + a^2\dot{V}_c) \quad (3.8)$$

$$\dot{V}_{a_2} = \frac{1}{3}(\dot{V}_a + a^2\dot{V}_b + a\dot{V}_c)$$

$$\text{Viết dưới dạng ma trận: } \begin{bmatrix} \dot{V}_{a_0} \\ \dot{V}_{a_1} \\ \dot{V}_{a_2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Tương tự như vậy, ta viết được các phương trình cho dòng điện:

$$\begin{aligned} \dot{I}_a &= \dot{I}_{a_0} + \dot{I}_{a_1} + \dot{I}_{a_2} \\ \dot{I}_b &= \dot{I}_{a_0} + a^2\dot{I}_{a_1} + a\dot{I}_{a_2} \\ \dot{I}_c &= \dot{I}_{a_0} + a\dot{I}_{a_1} + a^2\dot{I}_{a_2} \end{aligned} \quad (3.10)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{a_0} \\ \dot{I}_{a_1} \\ \dot{I}_{a_2} \end{bmatrix} = \dot{I}_{a_0} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} + \dot{I}_{a_1} \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix} + \dot{I}_{a_2} \begin{bmatrix} 1 \\ a \\ a^2 \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

$$\dot{I}_{a_0} = \frac{1}{3}(\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c); \quad \dot{I}_{a_1} = \frac{1}{3}(\dot{I}_a + a\dot{I}_b + a^2\dot{I}_c); \quad \dot{I}_{a_2} = \frac{1}{3}(\dot{I}_a + a^2\dot{I}_b + a\dot{I}_c) \quad (3.12)$$

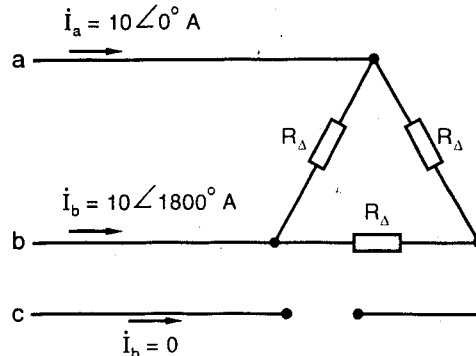
$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{a_0} \\ \dot{I}_{a_1} \\ \dot{I}_{a_2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

Kết quả trên có thể mở rộng cho dòng pha của một mạch Δ , với các đại lượng \dot{V}_{ab} , \dot{V}_{bc} , \dot{V}_{ca} , và \dot{I}_{ab} , \dot{I}_{bc} , \dot{I}_{ca} .

Ví dụ 3.1. Cho một hệ thống dây dẫn ba pha có một pha bị hở mạch. Dòng điện chạy qua tải Δ trên dây pha a có biên độ 10A. Chọn pha chuẩn là pha a và giả thiết rằng pha c bị hở mạch, hãy tìm các thành phần đối xứng của dòng điện dây.

Giải. Theo giả thiết, ta có các dòng điện dây trên ba pha là:

$$\dot{I}_a = 10\angle 0^\circ; \quad \dot{I}_b = 10\angle 180^\circ; \quad \dot{I}_c = 0^\circ$$



Hình 3.3: Hình minh họa cho ví dụ 3.1

Từ công thức (3.12), ta có:

$$\dot{I}_{a_0} = \frac{1}{3}(10 + 10\angle 180) = 0$$

$$\dot{I}_{a_1} = \frac{1}{3}(10 + 10\angle 300) = 5 - j2,8866 = 5,7735\angle -30^\circ$$

$$\dot{I}_{a_2} = \frac{1}{3}(10 + 10\angle 420) = 5 + j2,8866 = 5,7735\angle 30^\circ$$

Theo công thức (3.3), áp dụng tương tự cho dòng điện, ta được:

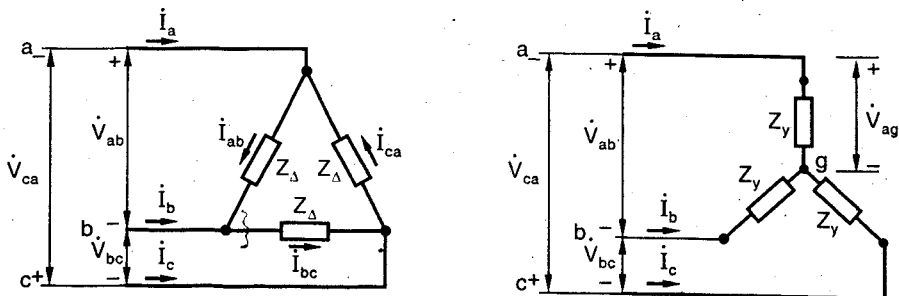
$$\dot{I}_{b_0} = \dot{I}_{c_0} = \dot{I}_{a_0} = 0$$

$$\dot{I}_{b_1} = a^2 \dot{I}_{a_1} = 5,7735\angle -150^\circ; \quad \dot{I}_{c_1} = a \dot{I}_{a_1} = 5,7735\angle 90^\circ$$

$$\dot{I}_{b_2} = a \dot{I}_{a_2} = 5,7735\angle 150^\circ; \quad \dot{I}_{c_2} = a^2 \dot{I}_{a_2} = 5,7735\angle -90^\circ$$

Ta có thể thấy rằng các thành phần đối xứng \dot{I}_{c_1} và \dot{I}_{c_2} của dòng điện dây pha c đều có giá trị khác không, mặc dù dây dẫn pha c không mang điện.

3.1.3 Mạch Y và mạch Δ đối xứng



Hình 3.4: Tổng trở đối xứng đầu Y và Δ

Trong hệ thống ba pha, các phần tử mạch được đấu vào ba dây pha a, b, c ở dạng Y hoặc Δ . Mối quan hệ giữa các thành phần đối xứng của dòng điện và điện áp trong mạch Y hay Δ có thể được thành lập từ hình 3.4 biểu diễn các tổng trở

đối xứng dấu hình Y hoặc Δ . Chọn nhánh gốc cho các đại lượng Δ là nhánh $a-b$. Sự lựa chọn này là ngẫu nhiên và không ảnh hưởng đến kết quả. Ta có:

$$\dot{I}_a = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}; \quad \dot{I}_b = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}; \quad \dot{I}_c = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{ba} \quad (3.14)$$

Cộng ba phương trình (3.14) với nhau và chú ý đến định nghĩa dòng thứ tự không, ta được $\dot{I}_{a_0} = (\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c)/3 = 0$, nghĩa là dòng điện dây trong một mạch đấu Δ không có dòng thứ tự không. Thay các thành phần đối xứng của dòng điện vào công thức tính \dot{I}_a , ta được:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{a_1} + \dot{I}_{a_2} &= (\dot{I}_{ab_1} + \dot{I}_{ab_2} + \dot{I}_{ab_0}) - (\dot{I}_{ca_1} + \dot{I}_{ca_2} + \dot{I}_{ca_0}) \\ &= \underbrace{(\dot{I}_{ab_0} - \dot{I}_{ca_0})}_0 + (\dot{I}_{ab_1} - \dot{I}_{ca_1}) + (\dot{I}_{ab_2} - \dot{I}_{ca_2}) \end{aligned} \quad (3.15)$$

Chú ý rằng $\dot{I}_{ca_1} = a\dot{I}_{ab_1}$ và $\dot{I}_{ca_2} = a^2\dot{I}_{ab_2}$, ta viết lại công thức (3.15) như sau:

$$\dot{I}_{a_1} + \dot{I}_{a_2} = (1-a)\dot{I}_{ab_1} + (1-a^2)\dot{I}_{ab_2} \quad (3.16)$$

Tương tự cho pha b , ta cũng có:

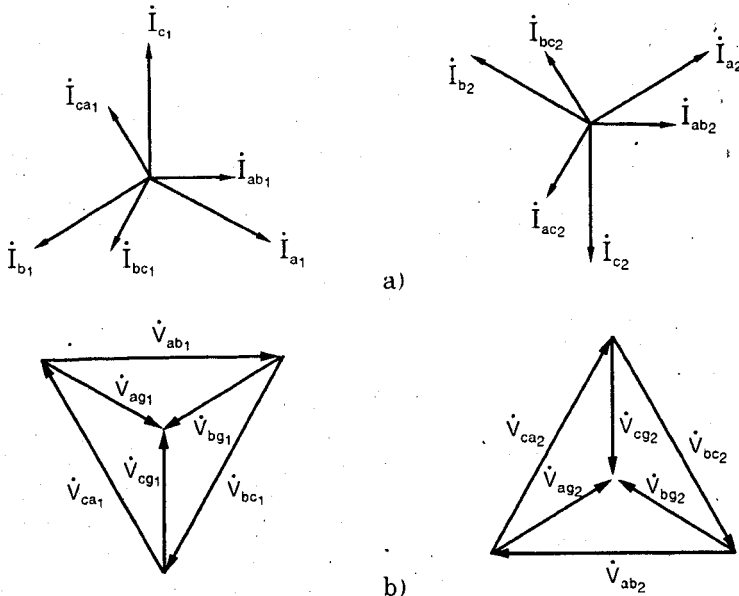
$$\dot{I}_{b_1} + \dot{I}_{b_2} = (1-a)\dot{I}_{bc_1} + (1-a^2)\dot{I}_{bc_2} \quad (3.17)$$

Trong công thức (3.17), ta thay \dot{I}_{b_1} bởi $a^2\dot{I}_{a_1}$; \dot{I}_{b_2} bởi $a\dot{I}_{a_2}$; \dot{I}_{bc_1} bởi $a^2\dot{I}_{ab_1}$; \dot{I}_{bc_2} bởi \dot{I}_{ab_2} thì nhận được:

$$a^2\dot{I}_{a_1} + a\dot{I}_{a_2} = (a^2-1)\dot{I}_{ab_1} + (a-1)\dot{I}_{ab_2} \quad (3.18)$$

Kết hợp (3.18) và (3.16), ta có được hai kết quả quan trọng sau:

$$\dot{I}_{a_1} = \sqrt{3}\angle -30^\circ \dot{I}_{ab_1}; \quad \dot{I}_{a_2} = \sqrt{3}\angle 30^\circ \dot{I}_{ab_2} \quad (3.19)$$



Hình 3.5: Sơ đồ vectơ các thành phần thứ tự thuận và thứ tự nghịch
 a) Các thành phần thứ tự thuận và thứ tự nghịch của dòng điện
 b) Các thành phần thứ tự thuận và thứ tự nghịch của điện áp

Hai phương trình trên cho thấy quan hệ giữa các dòng điện cùng thứ tự. Tập hợp đầy đủ các thành phần thứ tự thuận và thứ tự nghịch của dòng điện được trình bày trong sơ đồ vectơ hình 3.5a.

Đối với điện áp, ta có các phương trình biểu diễn quan hệ giữa điện áp dây và điện áp pha như sau:

$$\dot{V}_{ab} = \dot{V}_{ag} - \dot{V}_{bg}; \quad \dot{V}_{bc} = \dot{V}_{bg} - \dot{V}_{cg}; \quad \dot{V}_{ca} = \dot{V}_{cg} - \dot{V}_{ag} \quad (3.20)$$

Cộng ba phương trình (3.20) ta được:

$$\dot{V}_{ab_0} = \frac{\dot{V}_{ab} + \dot{V}_{bc} + \dot{V}_{ca}}{3} = 0.$$

Như vậy điện áp dây không tồn tại thành phần thứ tự không. Viết \dot{V}_{ab} dưới dạng tổng các thành phần thứ tự, ta được:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{ab_1} + \dot{V}_{ab_2} &= (\dot{V}_{ag_1} + \dot{V}_{ag_2} + \dot{V}_{ag_0}) - (\dot{V}_{bg_1} + \dot{V}_{bg_2} + \dot{V}_{bg_0}) \\ &= (\dot{V}_{ag_1} - \dot{V}_{bg_1}) + (\dot{V}_{ag_2} - \dot{V}_{bg_2}) + (\dot{V}_{ag_0} - \dot{V}_{bg_0}) \\ &= (\dot{V}_{ag_1} - \dot{V}_{bg_1}) + (\dot{V}_{ag_2} - \dot{V}_{bg_2}) + 0 = (1-a^2)\dot{V}_{ag_1} + (1-a)\dot{V}_{ag_2} \end{aligned} \quad (3.21)$$

Từ công thức (3.21), tương tự như đối với dòng điện, ta cũng nhận được kết quả sau:

$$\dot{V}_{ab_1} = \sqrt{3} \angle 30^\circ \dot{V}_{ag_1}; \quad \dot{V}_{ab_2} = \sqrt{3} \angle -30^\circ \dot{V}_{ag_2} \quad (3.22)$$

Theo các công thức (3.22), ta vẽ được tập hợp đầy đủ các thành phần thứ tự thuận và thứ tự nghịch của điện áp như trên hình 3.5(b).

Chú ý rằng, trong hệ đơn vị tương đối do ta chọn các đại lượng cơ bản tuân theo các định luật điện, cho nên các công thức (3.22) và (3.18) khi biểu diễn trong hệ đơn vị tương đối sẽ không tồn tại hệ số $\sqrt{3}$.

Từ hình 3.3, ta thấy rằng $\dot{V}_{ab}/\dot{I}_{ab} = \dot{Z}_\Delta$ khi không có nguồn hay hồ cảm trong mạch Δ . Viết theo các thành phần thứ tự thuận và thứ tự nghịch, ta có:

$$\frac{\dot{V}_{ab_1}}{\dot{I}_{ab_1}} = \dot{Z}_\Delta = \frac{\dot{V}_{ab_2}}{\dot{I}_{ab_2}} \quad (3.23)$$

Thay công thức (3.22) và (3.21) vào (3.23), ta có:

$$\frac{\sqrt{3}\dot{V}_{ag_1} \angle 30^\circ}{\frac{\dot{I}_{a_1}}{\sqrt{3}} \angle 30^\circ} = \dot{Z}_\Delta = \frac{\sqrt{3}\dot{V}_{ag_2} \angle -30^\circ}{\frac{\dot{I}_{a_2}}{\sqrt{3}} \angle -30^\circ} \quad (3.24)$$

$$\Rightarrow \frac{\dot{V}_{ag_1}}{\dot{I}_{a_1}} = \frac{\dot{Z}_\Delta}{3} = \frac{\dot{V}_{ag_2}}{\dot{I}_{a_2}} \quad (3.25)$$

Công thức (3.25) chứng tỏ rằng tổng trở đầu Δ , Z_Δ tương đương với tổng trở trên mỗi pha hay tổng trở đầu Y , $\dot{Z}_Y = \dot{Z}_\Delta/3$. Kết quả này phù hợp với phép biến

đối Y- Δ . Quan hệ $\dot{Z}_Y = \dot{Z}_\Delta/3$ đúng khi tổng trở \dot{Z}_Δ và \dot{Z}_Y đều được biểu diễn bằng Ω hay trong cùng hệ đơn vị tương đối.

Ví dụ 3.2. Ba điện trở giống nhau đấu hình Y tạo thành tải ba pha định mức 2300V và 500kVA. Điện áp dây trên tải như sau: $V_{ab} = 1840$ V; $V_{bc} = 2760$ V; $V_{ca} = 2300$ V.

Tìm các thành phần đối xứng của điện áp dây và dòng điện dây tải theo đơn vị tương đối. Giả sử trung tính tải không nối với trung tính hệ thống. Chọn cơ bản $V_{cbsdây} = 2300$ V; $S_{cb3pha} = 500$ kVA.

Giải. Do cơ bản định mức tải bằng với cơ bản đã chọn nên trong hệ đơn vị tương đối đã chọn giá trị điện trở là 1,0 đvtd. Giá trị điện áp dây trong hệ đơn vị tương đối là: $V_{ab} = \frac{1840}{2300} = 0,8$ đvtd; $V_{bc} = \frac{2760}{2300} = 1,2$ đvtd; $V_{ca} = \frac{2300}{2300} = 0,8$ đvtd

Do $\dot{V}_{ab} + \dot{V}_{bc} + \dot{V}_{ca} = 0$ nên 3 vectơ \dot{V}_{ab} , \dot{V}_{bc} , \dot{V}_{ca} tạo thành 3 cạnh của một tam giác. Biết độ lớn các cạnh, dễ dàng giải ra các góc trong tam giác theo định lý cosin. Chọn nhánh c-a làm chuẩn, chú ý đến thứ tự pha ab, bc, ca, ta có được các giá trị điện áp dây như sau:

$$\dot{V}_{ab} = 0,8 \angle -97,18^\circ \text{ đvtd}; \quad \dot{V}_{bc} = 1,2 \angle 138,6^\circ \text{ đvtd}; \quad \dot{V}_{ca} = 1 \angle 0^\circ \text{ đvtd}$$

Các thành phần đối xứng của điện áp dây là:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{ab_1} &= (\dot{V}_{ab} + a\dot{V}_{bc} + a^2\dot{V}_{ca}) \\ &= (0,8 \angle -97,18^\circ + 1,2 \angle (120^\circ + 138,6^\circ) + 1 \angle 240^\circ) / 3 = 0,9857 \angle 253,6^\circ \text{ đvtd} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{V}_{ab_2} &= (\dot{V}_{ab} + a^2\dot{V}_{bc} + a\dot{V}_{ca}) \\ &= (0,8 \angle -97,18^\circ + 1,2 \angle (240^\circ + 138,6^\circ) + 1 \angle 120^\circ) / 3 = 0,2346 \angle 40,3^\circ \text{ đvtd} \end{aligned}$$

Do trung tính tải không nối trung tính hệ thống nên không tồn tại dòng thứ tự không. Như vậy, điện áp pha tại tải chỉ bao gồm các thành phần thứ tự thuận và thứ tự nghịch. Theo các công thức (3.22) ta có:

$$\dot{V}_{an_1} = 0,9857 \angle (253,6^\circ - 30^\circ) = 0,9857 \angle 223,6^\circ \text{ đvtd}$$

$$\dot{V}_{an_2} = 0,2346 \angle (40,3^\circ + 30^\circ) = 0,2346 \angle 70,3^\circ \text{ đvtd}$$

Do điện trở mỗi pha tải có giá trị 1,0 đvtd nên ta nhận được biểu thức tính thành phần thứ tự thuận và thứ tự nghịch của dòng điện dây như sau (dòng điện có hướng từ nguồn đến tải):

$$\dot{i}_{a_1} = \frac{\dot{V}_{an_1}}{1} = 0,9857 \angle 223,6^\circ \text{ đvtd}$$

$$\dot{i}_{a_2} = \frac{\dot{V}_{an_2}}{1} = 0,2346 \angle 70,3^\circ \text{ đvtd}$$

3.1.4 Biểu diễn công suất ba pha theo các thành phần thứ tự

Nếu các thành phần đối xứng của dòng và áp đều được biết, công suất tiêu thụ trong mạch ba pha có thể được tính trực tiếp từ các thành phần. Tổng công suất phức chạy trong một mạch ba pha qua ba dây a , b và c là:

$$\dot{S}_{3p} = P + jQ = \dot{V}_a \dot{I}_a^* + \dot{V}_b \dot{I}_b^* + \dot{V}_c \dot{I}_c^*$$

trong đó: \dot{V}_a , \dot{V}_b , \dot{V}_c - điện áp tại các đầu cực

\dot{I}_a , \dot{I}_b , \dot{I}_c - dòng chạy trong mạch trên ba dây.

Nếu trung tính nối đất qua tổng trở thì \dot{V}_a , \dot{V}_b , \dot{V}_c phải được hiểu như điện áp từ dây pha đến đất chứ không chỉ đến điểm trung tính. Công thức trên được viết lại dưới dạng ma trận như sau:

$$\dot{S}_{3p} = \begin{bmatrix} \dot{V}_a & \dot{V}_b & \dot{V}_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix}^* = \begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix}^* \quad (3.26)$$

Biểu diễn các đại lượng pha bởi các thành phần đối xứng, ta được:

$$\dot{S}_{3p} = \left[\mathbf{A} \mathbf{V}_{a012} \right]^T \left[\mathbf{A} \mathbf{I}_{a012} \right]^* \quad (3.27)$$

trong đó:

$$\mathbf{V}_{a012} = \begin{bmatrix} \dot{V}_{a_0} \\ \dot{V}_{a_1} \\ \dot{V}_{a_2} \end{bmatrix} \quad \text{và} \quad \mathbf{I}_{a012} = \begin{bmatrix} \dot{I}_{a_0} \\ \dot{I}_{a_1} \\ \dot{I}_{a_2} \end{bmatrix} \quad (3.28)$$

Do chuyển vị của tích hai ma trận bằng tích hai ma trận chuyển vị theo thứ tự ngược lại nên ta có:

$$\dot{S}_{3p} = \mathbf{V}_{a012}^T \mathbf{A}^T \mathbf{A}^* \mathbf{I}_{a012}^* \quad (3.29)$$

Chú ý rằng $\mathbf{A}^T = \mathbf{A}$ và $\mathbf{A}^{-1} = \frac{1}{3} \mathbf{A}^*$, ta nhận được:

$$\dot{S}_{3p} = 3 \begin{bmatrix} \dot{V}_{a_0} & \dot{V}_{a_1} & \dot{V}_{a_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{a_0} \\ \dot{I}_{a_1} \\ \dot{I}_{a_2} \end{bmatrix}^* \quad (3.30)$$

Vậy công suất phức là:

$$\dot{S}_{3p} = 3(\dot{V}_{a_0} \dot{I}_{a_0}^* + \dot{V}_{a_1} \dot{I}_{a_1}^* + \dot{V}_{a_2} \dot{I}_{a_2}^*) \quad (3.31)$$

Chú ý, công thức trên chỉ hoàn toàn đúng trong hệ đơn vị có tên, còn khi S_{3p} được biểu diễn trong hệ đơn vị tương đối với công suất cơ bản là công suất ba pha thì hệ số 3 không tồn tại (bởi vì khi biểu diễn theo đơn vị tương đối thì công suất

ba pha cũng bằng công suất một pha). Công thức (3.27) trên đã biểu diễn được tổng công suất phức theo tổng của các công suất thành phần đối xứng của pha a , và ở các công thức (3.5), (3.11) ta cũng đã biểu diễn được các đại lượng pha không đối xứng ban đầu là điện áp và dòng điện theo các thành phần đối xứng của pha a . Từ bây giờ trở đi, ta có thể không viết ký hiệu a nằm ở góc phải dưới của ký hiệu các thành phần đối xứng pha a , chẳng hạn I_o, I_1, I_2 sẽ được hiểu là chỉ đến các thành phần đối xứng của dòng điện pha a .

Ví dụ 3.3. Sử dụng số liệu ví dụ 3.1, tính toán công suất tiêu thụ bởi tải trong đơn vị tương đối và sau đó kiểm tra lại bằng cách tính toán trong hệ đơn vị có tên.

Giải. Theo công thức (3.31), trong hệ đơn vị tương đối, ta có:

$$\dot{S}_{3p} = (\dot{V}_{a_0} I_{a_0}^* + \dot{V}_{a_1} I_{a_1}^* + \dot{V}_{a_2} I_{a_2}^*)$$

Thay các giá trị tương ứng trong ví dụ 3.1 vào, ta được ;

$$\begin{aligned} \dot{S}_{3p} &= 0,9857 \angle 223,6^\circ \times 0,9857 \angle -223,6^\circ + 0,2346 \angle 70,3^\circ \times 0,2346 \angle -70,3^\circ \\ &= (0,9857)^2 + (0,2346)^2 = 1,02664 \text{ đvtd} = 1,02664 \times 500 = 513,32 \text{ kW} \end{aligned}$$

Kiểm tra lại trong hệ đơn vị có tên:

Giá trị điện trở mỗi pha tải R_Y là 1 đvtd. Suy ra giá trị R_Y trong hệ đơn vị có tên là:

$$R_Y = 1,0 \times \frac{2300^2}{500000} = 10,58 \Omega$$

Suy ra giá trị điện trở R_Δ trong mạch Δ tương đương của tải là:

$$R_\Delta = 3 \times R_Y = 3 \times 10,58 = 31,74 \Omega$$

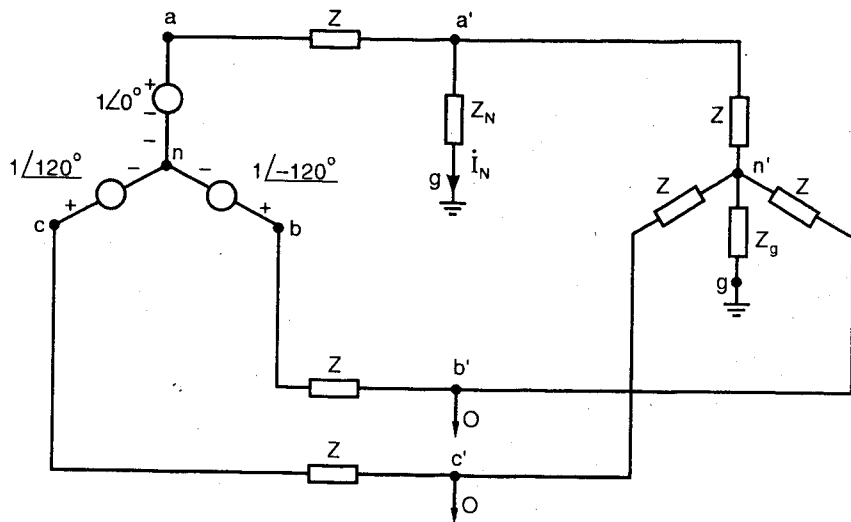
Từ các giá trị điện áp dây đã cho, ta có thể tính toán trực tiếp công suất tiêu thụ bởi tải:

$$S_{3p} = \frac{|V_{ab}|^2}{R_\Delta} + \frac{|V_{bc}|^2}{R_\Delta} + \frac{|V_{ca}|^2}{R_\Delta} = \frac{1840^2 + 2760^2 + 2300^2}{31,74} = 513,33 \text{ kW}$$

Kết quả kiểm tra lại trong hệ đơn vị có tên hoàn toàn phù hợp với kết quả tính trong hệ đơn vị tương đối.

3.1.5 Dùng thành phần đối xứng để phân tích sự cố không đối xứng

Để dễ hiểu khi dùng phương pháp thành phần đối xứng giải bài toán bất đối xứng, chúng ta sử dụng mạch đơn giản hình 3.6 gồm nguồn ba pha đối xứng vô cùng lớn cung cấp cho một tải ba pha đối xứng tổng trở Z qua tổng trở dây dẫn đối xứng cũng là Z . Giả thiết chạm đất pha a xảy ra tại điểm chạm a' qua điện trở trung gian Z_N .



Hình 3.6: Hệ thống mạng chạm đất một pha

Giả thiết chúng ta muốn tính dòng điện chạm \dot{I}_N , rõ ràng từ trên hình 3.6 chúng ta không thể giải được bằng mô hình một pha vì mạch điện không đối xứng. Người ta có thể giải bài toán trên bằng cách dùng giải thuật giải tích mạng nhưng lúc đó bài toán sẽ trở thành phức tạp.

Nhận xét trên mạng điện ta thấy rằng, ngoại trừ khi sự cố, mạng điện là đối xứng. Từ đây gợi cho chúng ta ý tưởng là, nếu lấy nhánh của mạng có dòng sự cố \dot{I}_N (nhánh Z_N) ra khỏi mạng và thay thế bằng một nguồn dòng có cùng trị số \dot{I}_N thì lúc này tính đối xứng của mạng được phục hồi. Điều này có nghĩa, chúng ta thay đổi mạng bất đối xứng thành nguồn bất đối xứng. Từ đó bằng cách dùng các thành phần đối xứng, chúng ta thay thế dòng ngắn mạch không đối xứng thành tổng ba nguồn đối xứng thứ tự không, thứ tự thuận và thứ tự nghịch, rồi sau đó dùng nguyên lý xếp chồng ta có thể dễ dàng tìm dòng ngắn mạch không đối xứng thông qua ba thành phần đối xứng.

Tính đúng đắn của việc thay thế phần tổng trở Z_N (mang dòng \dot{I}_N) ngay chỗ ngắn mạch bằng nguồn dòng \dot{I}_N , là quá trình ngược lại của định lý thay thế trong phần lý thuyết mạch, phát biểu rằng: Chúng ta có thể thay thế nguồn dòng bằng nhánh tổng trở được chọn như thế nào để dòng điện không đổi.

Đối với phần mạng điện còn lại không bị ảnh hưởng của \dot{I}_N được tạo ra như thế nào, mạng điện chỉ biết rằng dòng ngắn mạch \dot{I}_N được lấy ra từ điểm a', như thế nếu chúng ta thay thế nhánh có dòng \dot{I}_N bằng nguồn dòng có cùng trị số \dot{I}_N thì đáp số giải mạch của phần mạng điện còn lại không có gì thay đổi.

Trở lại hình 3.6.

Khi chạm đất pha a, vectơ dòng điện được mô tả trong trường hợp này là:

$$\dot{i}_N = \begin{bmatrix} \dot{i}_{aN} \\ \dot{i}_{bN} \\ \dot{i}_{cN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{i}_N \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Từ (3.13),

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_{aN_0} \\ \dot{i}_{aN_1} \\ \dot{i}_{aN_2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{i}_N \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{\dot{i}_N}{3} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

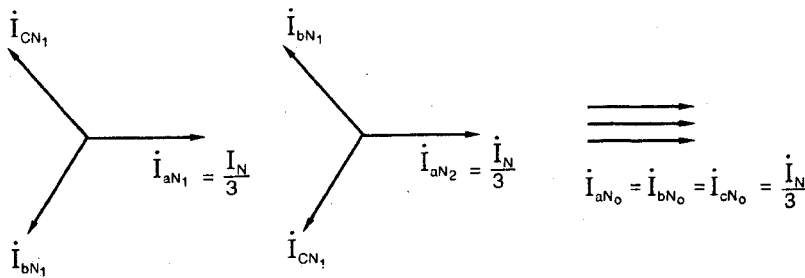
Như vậy: $\dot{i}_{aN_1} = \dot{i}_{aN_2} = \dot{i}_{aN_0} = \frac{\dot{i}_N}{3}$

Theo (3.10):

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_N \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{\dot{i}_N}{3} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} + \frac{\dot{i}_N}{3} \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix} + \frac{\dot{i}_N}{3} \begin{bmatrix} 1 \\ a \\ a^2 \end{bmatrix}$$

Như vậy vectơ dòng điện sự cố toàn phần thực sự được coi như là tổng của vectơ dòng thứ tự không, vectơ dòng sự cố thứ tự nghịch, vectơ dòng sự cố thứ tự thuận.

Giản đồ vectơ của các thành phần dòng điện tương ứng trong trường hợp chạm đất một pha cho ở hình 3.7.



Hình 3.7: Hệ thống vectơ thành phần đối xứng khi chạm đất một pha

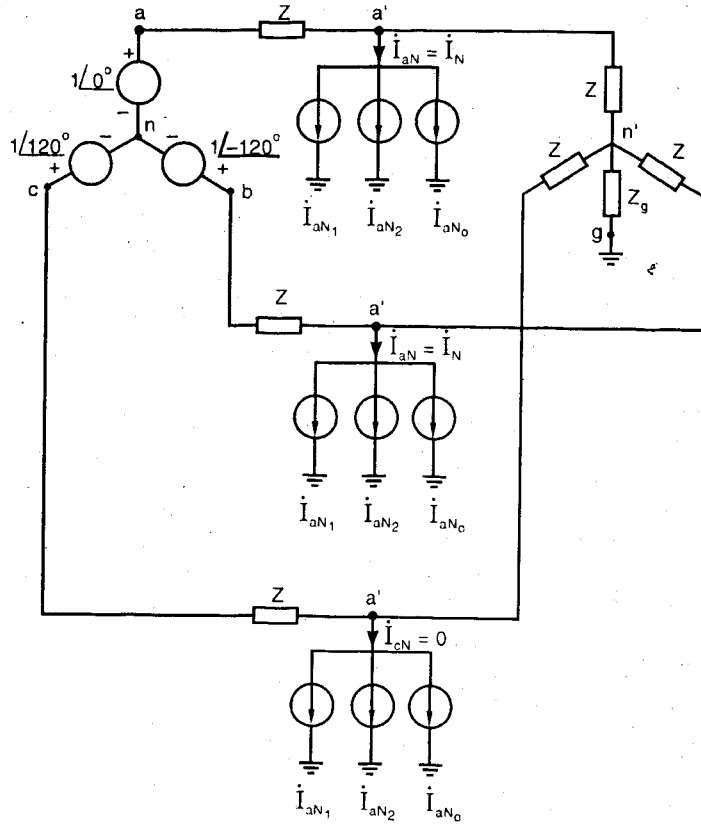
Chúng ta có:

$$I_{aN} = I_{aN_1} + I_{aN_2} + I_{aN_0} = I_N$$

$$I_{bN} = I_{bN_1} + I_{bN_2} + I_{bN_0} = 0$$

$$I_{cN} = I_{cN_1} + I_{cN_2} + I_{cN_0} = 0$$

Kể từ đây, chúng ta, thay vì phân tích mạng bất đối xứng hình 3.6, sẽ phân tích tính toán trên mạng thay thế bằng các thành phần đối xứng tương đương cho ở hình 3.8.

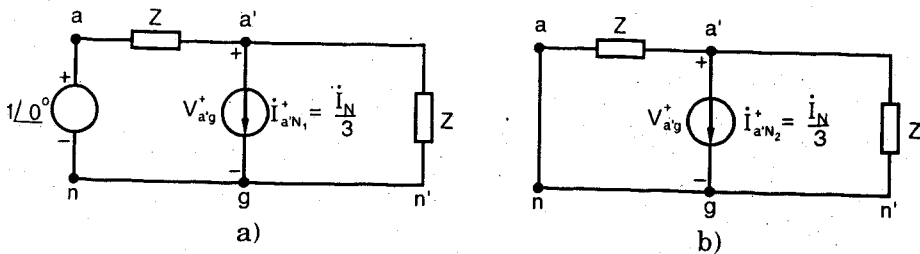


Hình 3.8: Sơ đồ thay thế tương đương ngắn mạch một pha chạm đất bằng các thành phần đối xứng

Đầu tiên ta tìm đáp ứng do nguồn thứ tự thuận (bỏ qua các nguồn khác), sau đó tìm đáp ứng nguồn thứ tự nghịch, sau cùng là đáp ứng của nguồn thứ tự không. Đáp số tìm được bằng phương pháp xếp chồng.

Khi khảo sát đáp ứng của chỉ thành phần nguồn đối xứng thứ tự thuận, mạng đối xứng, chúng ta sẽ sử dụng mô hình tương đương một pha (như trường hợp ngắn mạch đối xứng). Lưu ý rằng dưới điều kiện cân bằng không có dòng qua Z_g nên điện thế tại các nút n, n', g bằng nhau. Mạng thay thế tương đương một pha thứ tự thuận được vẽ ở hình 3.9a.

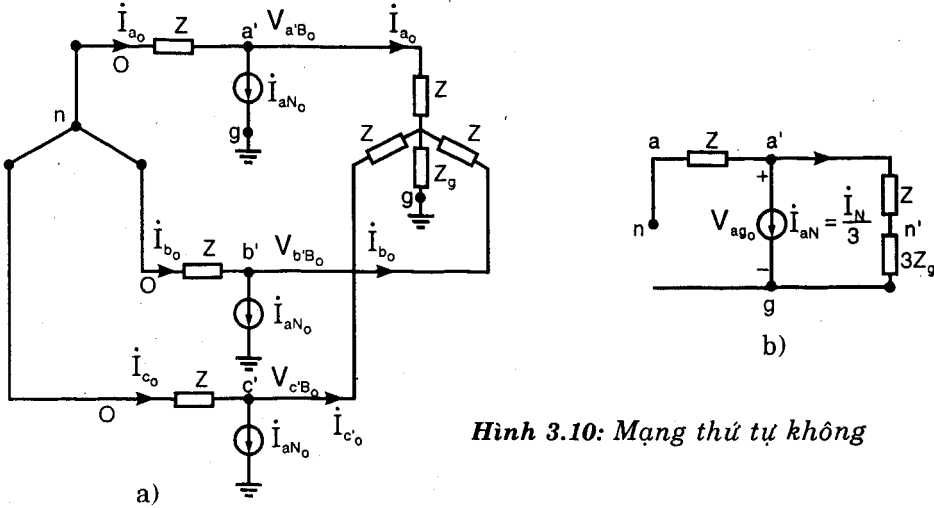
Tương tự chúng ta cũng tìm được mạng thay thế tương đương một pha thứ tự nghịch như hình vẽ 3.9b.



Hình 3.9: Mạng thứ tự thuận và thứ tự nghịch

Sau cùng chúng ta khảo sát chỉ với tác động của thành phần đối xứng thứ tự không. Dễ dàng thấy rằng nguồn thứ tự không cung cấp cho mạng đối xứng sẽ tạo

ra đáp ứng chỉ có thành phần thứ tự không. Mạng thay thế tương đương ba pha thứ tự không được vẽ ở hình 3.10a.



Hình 3.10: Mạng thứ tự không

Trong mạng này: $\dot{I}_{a_0} = \dot{I}_{b_0} = \dot{I}_{c_0}$

Định luật Kirchoff tại nút n: $\dot{I}_{a_0} + \dot{I}_{b_0} + \dot{I}_{c_0} = 0$

Nên $\dot{I}_{a_0} = \dot{I}_{b_0} = \dot{I}_{c_0} = 0$ (không có dòng thứ tự không từ phía nguồn).

Điều này có nghĩa từ điểm ngắn mạch về nguồn mạng thứ tự không hở. (Trung tính nguồn không nối đất nên không có lối xuống đất cho dòng thứ tự không về được). Nhìn hình 3.10a từ điểm mạch về phía tải và lưu ý rằng:

$$\dot{I}_{a_0} = \dot{I}_{b_0} = \dot{I}_{c_0}$$

và chúng ta có: $\dot{V}_{a'g_0} = \dot{Z} \cdot \dot{I}_{a_0} + 3\dot{Z}_g \cdot \dot{I}_{a_0}$ (3.32)

với: $\dot{V}_{a'g_0} = \dot{V}_{b'g_0} = \dot{V}_{c'g_0}$

Từ phương trình (3.32) có thể xây dựng sơ đồ thay thế thành phần thứ tự không một pha như hình 3.10b.

Vì dòng điện từ n' tới g là I_{a_0} thay vì $3I_{a_0}$ nên cần thiết thay thế Z_g bằng $3Z_g$.

Trong mạch tương đương hình 3.10, ba điểm n, n', g, không nhất thiết cùng điện thế.

Từ các mạng thành phần đối xứng một pha của các hình 3.9 và 3.10b chúng ta dễ dàng tìm các dòng thứ tự đối xứng và sau đó dùng các công thức (3.10) ta tìm được dòng ngắn mạch bất đối xứng I_N .

Từ khái niệm này, chúng ta thấy ưu điểm việc dùng thành phần đối xứng để giải bài toán không đối xứng bằng ba mạng ba pha đối xứng. Mỗi hệ thống ba pha đối xứng được đẳng trị tương đương thành một mạng thứ tự một pha. Từ các mạng đẳng trị thứ tự này, chúng ta dễ dàng tìm thành phần đối xứng và sau đó áp dụng công thức để tìm dòng bất đối xứng.

Lưu ý, trong mạng điện đơn giản đã khảo sát hình 3.6, các giá trị tổng trở của ba mạng thứ tự đối xứng giống nhau. Thực tế mạng điện phức tạp, nhiều phần tử khác nhau, các tổng trở thứ tự của các phần tử trong sơ đồ khác nhau.

Tổng quát: Khi thành lập các sơ đồ các thành phần đối xứng thứ tự thuận, thứ tự nghịch và thứ tự không, các giá trị tổng trở trên sơ đồ đẳng trị tương đương sẽ có giá trị thứ tự thuận, thứ tự nghịch và thứ tự không tương ứng.

3.2 CÁC MẠCH THỨ TỰ VÀ CÁC TỔNG TRỞ THỨ TỰ CỦA CÁC PHẦN TỬ HỆ THỐNG ĐIỆN

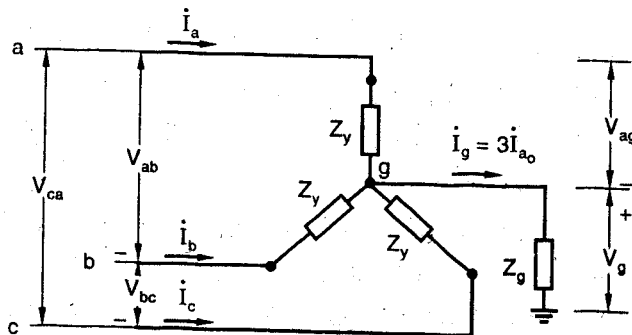
Trong một hệ thống ba pha cân bằng, tình trạng sự cố không đối xứng gây ra dòng và áp không cân bằng tồn tại trong mỗi pha. Nếu dòng và áp liên hệ với nhau qua tổng trở không đổi, hệ thống được gọi là tuyến tính và có thể được áp dụng nguyên lý xếp chồng. Đáp ứng điện áp của hệ thống tuyến tính với dòng không cân bằng có thể được xác định bằng cách xác định đáp ứng riêng của mỗi phần tử với các thành phần đối xứng của dòng điện. Các phần tử hệ thống được quan tâm là các máy phát, máy biến áp, đường dây truyền tải, và tải mắc hình Y hoặc Δ .

Đáp ứng của mỗi phần tử hệ thống thường phụ thuộc vào cách đấu nối của nó và các thành phần dòng điện đang xem xét. Các mạch điện tương đương, được gọi là các mạch điện thứ tự, sẽ được dùng để phản ánh các đáp ứng riêng của các phần tử theo mỗi thành phần dòng điện. Có ba mạch thứ tự cho mỗi phần tử hệ thống điện ba pha. Bằng sự sắp xếp riêng các mạch thứ tự trong mạng theo sự đấu nối của các phần tử, ta đi đến khái niệm ba mạng thứ tự. Giải các mạng thứ tự khi sự cố cho ta các thành phần đối xứng của dòng điện và điện áp. Các thành phần này phản ánh được ảnh hưởng của dòng sự cố không cân bằng ban đầu trong toàn thể hệ thống.

3.2.1 Mạch thứ tự của tải

1- Tải tổng trở đấu hình Y

a) Trung tính tải nối đất



Hình 3.11: Tải tổng trở Y trung tính nối đất

Nếu có tổng trở Z_g nối giữa trung tính và đất của tải đấu hình Y như trên hình 3.11, thì tổng dòng điện dây sẽ bằng dòng I_g trên đường dẫn xuống đất qua trung tính. Nghĩa là:

$$\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = \dot{I}_g \quad (3.33)$$

Theo công thức biểu diễn dòng thứ tự không, ta được: $\dot{I}_g = 3\dot{I}_{a_0}$.

Do tổng các dòng điện thứ tự thuận và thứ tự nghịch bằng 0 tại điểm trung tính g , nên không tồn tại bất cứ dòng thứ tự thuận hay dòng thứ tự nghịch nào trên đường dẫn từ trung tính đến đất. Và dĩ nhiên là các dòng điện trên không liên quan gì đến tổng trở Z_g . Mặt khác, các dòng thứ tự không kết hợp nhau bằng $3\dot{I}_{a_0}$ trên đường dẫn từ trung tính đến đất, sinh ra độ sụt áp $3\dot{I}_{a_0}\dot{Z}_g$ giữa trung tính và đất, do đó có sự phân biệt giữa thế trung tính và thế đất trong tình trạng bất đối xứng.

Lần lượt ký hiệu điện thế pha a so với trung tính và so với đất là V_{an} , V_a , suy ra $\dot{V}_a = \dot{V}_{an} + \dot{V}_g$, với $\dot{V}_g = 3\dot{I}_{a_0}\dot{Z}_g$. Theo hình 3.6, ta có thể viết độ sụt áp đến đất từ mỗi dây pha a , b và c như sau:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{V}_{ag} \\ \dot{V}_{bg} \\ \dot{V}_{cg} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{V}_g \\ \dot{V}_g \\ \dot{V}_g \end{bmatrix} = \dot{Z}_Y \begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix} + 3\dot{I}_{a_0}\dot{Z}_g \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.34)$$

$$\Rightarrow [\mathbf{A}] \begin{bmatrix} \dot{V}_{a_0} \\ \dot{V}_{a_1} \\ \dot{V}_{a_2} \end{bmatrix} = \dot{Z}_Y [\mathbf{A}] \begin{bmatrix} \dot{I}_{a_0} \\ \dot{I}_{a_1} \\ \dot{I}_{a_2} \end{bmatrix} + 3\dot{I}_{a_0}\dot{Z}_g \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{với: } [\mathbf{A}] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$$

Nhân hai vế phương trình trên với \mathbf{A}^{-1} , ta được:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{a_0} \\ \dot{V}_{a_1} \\ \dot{V}_{a_2} \end{bmatrix} = \dot{Z}_Y \begin{bmatrix} \dot{I}_{a_0} \\ \dot{I}_{a_1} \\ \dot{I}_{a_2} \end{bmatrix} + 3\dot{I}_{a_0}\dot{Z}_g [\mathbf{A}]^{-1} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{a_0} \\ \dot{V}_{a_1} \\ \dot{V}_{a_2} \end{bmatrix} = \dot{Z}_Y \begin{bmatrix} \dot{I}_{a_0} \\ \dot{I}_{a_1} \\ \dot{I}_{a_2} \end{bmatrix} + 3\dot{I}_{a_0}\dot{Z}_g \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.35)$$

Khai triển công thức (3.35) trên:

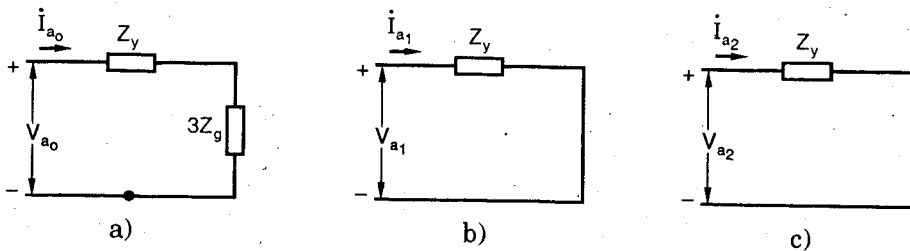
$$\begin{aligned}\dot{V}_{a_0} &= (\dot{Z}_Y + 3\dot{Z}_g)\dot{I}_{a_0} = \dot{Z}_0\dot{I}_{a_0} \\ \dot{V}_{a_1} &= \dot{Z}_Y \dot{I}_{a_1} = \dot{Z}_1\dot{I}_{a_1} \\ \dot{V}_{a_2} &= \dot{Z}_Y \dot{I}_{a_2} = \dot{Z}_2\dot{I}_{a_2}\end{aligned}\quad (3.36)$$

Viết dưới dạng ma trận:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{a_0} \\ \dot{V}_{a_1} \\ \dot{V}_{a_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_Y + 3\dot{Z}_g & 0 & 0 \\ 0 & \dot{Z}_Y & 0 \\ 0 & 0 & \dot{Z}_Y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{a_0} \\ \dot{I}_{a_1} \\ \dot{I}_{a_2} \end{bmatrix}\quad (3.37)$$

Ba công thức trên chứng tỏ rằng dòng điện thứ tự chỉ gây ra độ sụt áp cùng thứ tự trên mạch tải đầu Y đối xứng. Nó cho phép chúng ta vẽ ba mạch thứ tự một pha như trên hình 3.12. Mạch trên hình 3.12a được gọi là mạch thứ tự không và từ đây cho chúng ta khái niệm về tổng trở của dòng thứ tự không, được cho bởi:

$$\dot{Z}_0 = \frac{\dot{V}_{a_0}}{\dot{I}_{a_0}} = \dot{Z}_Y + 3\dot{Z}_g\quad (3.38)$$



Hình 3.12: Các mạch thứ tự tải tổng trở đầu Y với trung tính nối đất qua Z_g .

Tương tự, mạch hình 3.12b được gọi là mạch thứ tự thuận và Z_1 được gọi là tổng trở đối với dòng thứ tự thuận, mạch trên hình 3.12c được gọi là mạch thứ tự nghịch và Z_2 được gọi là tổng trở đối với dòng thứ tự nghịch. Đơn giản hơn, Z_0 , Z_1 và Z_2 cũng có thể được gọi là tổng trở thứ tự không, tổng trở thứ tự thuận và tổng trở thứ tự nghịch.

Ở đây, tổng trở thứ tự thuận và tổng trở thứ tự nghịch đều bằng với Z_Y , điều này thường đúng cho mạch đối xứng tĩnh. Khi mạch thực ba pha chỉ tồn tại một dòng điện thứ tự, nó có thể được tượng trưng bởi mạch thứ tự một pha ứng với dòng thứ tự đó. Khi ba dòng điện thứ tự đồng thời tồn tại, tất cả ba mạch thứ tự đều cần thiết để biểu diễn một cách đầy đủ mạch thực ba pha ban đầu.

Điện áp trong mạch thứ tự thuận và thứ tự nghịch có thể được hiểu như điện thế so với đất hay với trung tính bất kể có hay không một tổng trở Z_g nối giữa trung tính và đất. Như vậy:

- Trong mạch thứ tự thuận không có sự phân biệt giữa \dot{V}_{ag_1} và \dot{V}_{a_1}

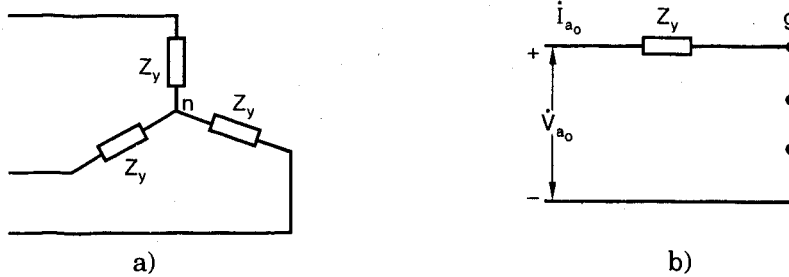
- Trong mạch thứ tự nghịch không có sự phân biệt giữa \dot{V}_{ag_2} và \dot{V}_{a_2} .

- Trong mạch thứ tự không thì tồn tại một hiệu điện thế giữa điểm trung tính và nút gốc của mạch thứ tự không.

Trong hình 3.12a dòng \dot{I}_{a_0} chảy qua tổng trở $3Z_g$ gây nên độ sụt áp giữa trung tính và đất tương tự như độ sụt áp gây bởi dòng $3\dot{I}_{a_0}$ chảy qua tổng trở Z_g trong mạch thực hình 3.11.

b) Trung tính tải không nối đất

Trường hợp trung tính mạch Y không được nối đất, sẽ không có dòng thứ tự không. $Z_g = \infty$, và được tượng trưng bởi đoạn mạch hở giữa trung tính g và đất (nút gốc) trong mạch thứ tự không như trên hình 3.13b.



Hình 3.13: Mạch thứ tự không của tải đấu Y không nối đất trung tính

2- Tải tổng trở đấu Δ

Trong một mạch tải đấu Δ không thể tồn tại một đường dẫn qua trung tính, và vì thế dòng điện dây chảy trong một mạch tải đấu Δ hay mạch Y tương đương của tải không thể chứa bất cứ thành phần thứ tự không nào. Xem xét mạch tải đấu Δ đối xứng trong hình 3.4:

$$\dot{V}_{ab} = \dot{Z}_{\Delta} \dot{I}_{ab}; \quad \dot{V}_{bc} = \dot{Z}_{\Delta} \dot{I}_{bc}; \quad \dot{V}_{ca} = \dot{Z}_{\Delta} \dot{I}_{ca} \quad (3.39)$$

$$\Rightarrow \dot{V}_{ab} + \dot{V}_{bc} + \dot{V}_{ca} = 3\dot{Z}_{\Delta} \dot{I}_{ab_0} \quad (3.40)$$

và do tổng của các điện áp dây luôn bằng 0, nên:

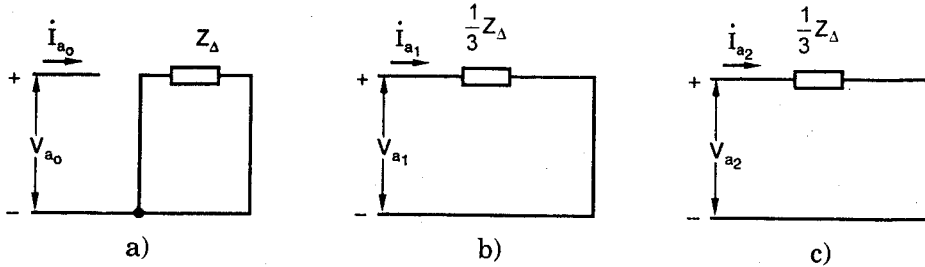
$$\dot{V}_{ab_0} = \dot{I}_{ab_0} = 0 \quad (3.41)$$

Như vậy, trong mạch đấu Δ chỉ có tổng trở mà không có nguồn hay hồ cảm thì sẽ không có bất cứ dòng điện thứ tự không nào tồn tại trong các nhánh, nghĩa là không tồn tại dòng điện vòng trong tải Δ. Một dòng điện vòng một pha có thể sinh ra trong mạch Δ của máy biến áp và máy phát do nguồn áp hay do cảm ứng thứ tự không. Mạch thứ tự không của tải Δ được biểu diễn trên hình 3.14a. Tuy nhiên, ngay cả khi có điện áp thứ tự không được sinh ra trong các pha của mạch Δ, cũng sẽ không tồn tại một điện áp thứ tự không nào giữa các đầu cực Δ, bởi vì điện áp sinh ra trên mỗi pha sẽ cân bằng với sụt áp trên tổng trở thứ tự không mỗi pha.

Từ công thức (3.25), kết hợp với nhận xét cho rằng không có sự phân biệt:

- Giữa \dot{V}_{ag_1} và \dot{V}_{a_1} trong mạch thứ tự thuận
- Giữa \dot{V}_{ag_2} và \dot{V}_{a_2} trong mạch thứ tự nghịch.

Ta vẽ được mạch thứ tự thuận và thứ tự nghịch của tải đấu Δ như hình 3.14b,c.



Hình 3.14: Các mạch thứ tự của tải tổng trở đối xứng đấu Δ .

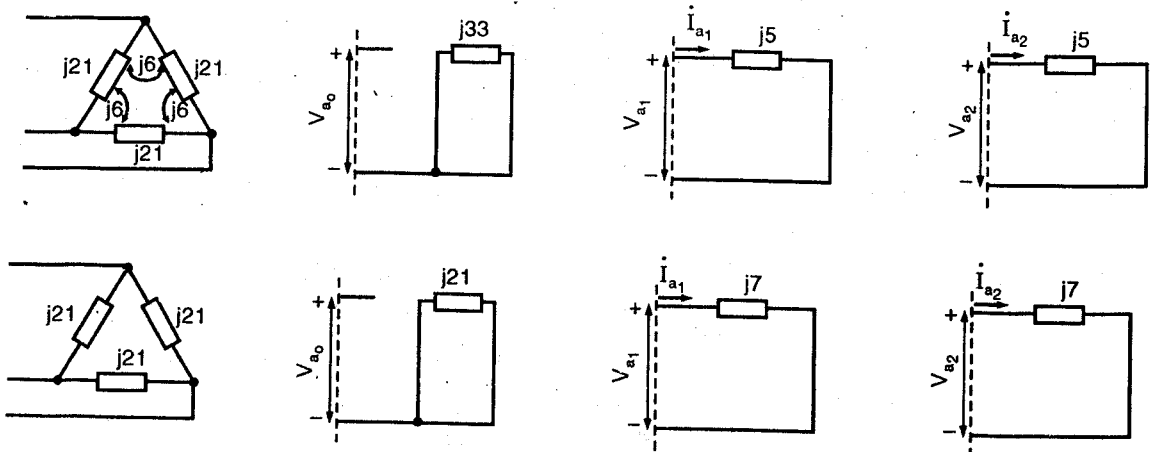
Ví dụ 3.4. Cho 3 kháng trở $j21 \Omega$ được đấu hình Δ . Xác định các kháng trở thứ tự và mạch thứ tự. Giải lại bài toán trên với trường hợp có một kháng trở hồ cảm giá trị $j6 \Omega$ xuất hiện ở giữa các nhánh (kháng trở) của Δ .

Giải. Điện áp dây, quan hệ với các dòng điện Δ theo hệ phương trình sau:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{ab} \\ \dot{V}_{bc} \\ \dot{V}_{ca} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j21 & 0 & 0 \\ 0 & j21 & 0 \\ 0 & 0 & j21 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{ab} \\ \dot{I}_{bc} \\ \dot{I}_{ca} \end{bmatrix} \quad (3.42)$$

Biểu diễn các giá trị ban đầu bởi các thành phần đối xứng của chúng, ta được:

$$[A] \begin{bmatrix} \dot{V}_{ab_0} \\ \dot{V}_{ab_1} \\ \dot{V}_{ab_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j21 & 0 & 0 \\ 0 & j21 & 0 \\ 0 & 0 & j21 \end{bmatrix} [A] \begin{bmatrix} \dot{I}_{ab_0} \\ \dot{I}_{ab_1} \\ \dot{I}_{ab_2} \end{bmatrix}$$



Hình 3.15: Mạch thứ tự không, thứ tự thuận, và thứ tự nghịch cho tải kháng trở nối Δ của ví dụ 3.4

Và nhân mỗi vế cho $[A]^{-1}$, ta được:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{ab_0} \\ \dot{V}_{ab_1} \\ \dot{V}_{ab_2} \end{bmatrix} = j21[A]^{-1}[A] \begin{bmatrix} \dot{I}_{ab_0} \\ \dot{I}_{ab_1} \\ \dot{I}_{ab_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j21 & 0 & 0 \\ 0 & j21 & 0 \\ 0 & 0 & j21 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{ab_0} \\ \dot{I}_{ab_1} \\ \dot{I}_{ab_2} \end{bmatrix}$$

Như đã trình bày ở (3.25), ta có mạch thứ tự thuận và nghịch có kháng trở mỗi pha $X_1 = X_2 = j7\Omega$ được cho ở H.3.15a. Và vì $V_{ab_0} = 0$, dòng thứ tự không $I_{ab} = 0$, cho nên mạch thứ tự không là một mạch hở. Điện trở $j21\Omega$ trong mạch thứ tự không chỉ có ý nghĩa khi có một sức điện động trong mạch Δ ban đầu.

Khi có kháng trở hồ cảm $j6 \Omega$ giữa các pha, quan hệ giữa các đại lượng dòng điện và điện áp ban đầu được thể hiện thông qua ma trận tổng trở trong công thức dưới đây:

$$[A] \begin{bmatrix} \dot{V}_{ab_0} \\ \dot{V}_{ab_1} \\ \dot{V}_{ab_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j21 & j6 & j6 \\ j6 & j21 & j6 \\ j6 & j6 & j21 \end{bmatrix} [A] \begin{bmatrix} \dot{I}_{ab_0} \\ \dot{I}_{ab_1} \\ \dot{I}_{ab_2} \end{bmatrix}$$

Ma trận tổng trở có thể tách ra làm hai phần như sau:

$$\begin{bmatrix} j21 & j6 & j6 \\ j6 & j21 & j6 \\ j6 & j6 & j21 \end{bmatrix} = j15 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + j6 \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

và đem nhân vào phương trình phía trên đã được nhân cho $[A]^{-1}$, ta được:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{ab_0} \\ \dot{V}_{ab_1} \\ \dot{V}_{ab_2} \end{bmatrix} = \left\{ j15[A]^{-1}[A] + j6[A]^{-1} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} [A] \right\} \begin{bmatrix} \dot{I}_{ab_0} \\ \dot{I}_{ab_1} \\ \dot{I}_{ab_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j33 & 0 & 0 \\ 0 & j15 & 0 \\ 0 & 0 & j15 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{ab_0} \\ \dot{I}_{ab_1} \\ \dot{I}_{ab_2} \end{bmatrix}$$

Kháng trở thứ tự thuận và nghịch X_1 và X_2 bây giờ được có giá trị là $j5 \Omega$, như ở hình 3.15b. Vì ở đây có hồ cảm giữa các nhánh Δ nên ta phải tìm hiểu lại về các đại lượng dòng và áp thứ tự không. Đặt tổng trở hồ cảm là Z_M , ta có:

$$\dot{V}_{ab} = \dot{I}_{ab} \dot{Z}_{\Delta} + (\dot{I}_{bc} + \dot{I}_{ca}) \dot{Z}_M \quad (3.43)$$

$$\dot{V}_{bc} = \dot{I}_{bc} \dot{Z}_{\Delta} + (\dot{I}_{ca} + \dot{I}_{ab}) \dot{Z}_M \quad (3.44)$$

$$\dot{V}_{ca} = \dot{I}_{ca} \dot{Z}_{\Delta} + (\dot{I}_{ab} + \dot{I}_{bc}) \dot{Z}_M \quad (3.45)$$

Cộng ba phương trình trên, ta được:

$$\dot{V}_{ab} + \dot{V}_{bc} + \dot{V}_{ca} = 3\dot{V}_{ab_0} = (\dot{I}_{ab} + \dot{I}_{bc} + \dot{I}_{ca})(\dot{Z}_{\Delta} + 2\dot{Z}_M) = 3\dot{I}_{ab_0}(\dot{Z}_{\Delta} + 2\dot{Z}_M) \quad (3.46)$$

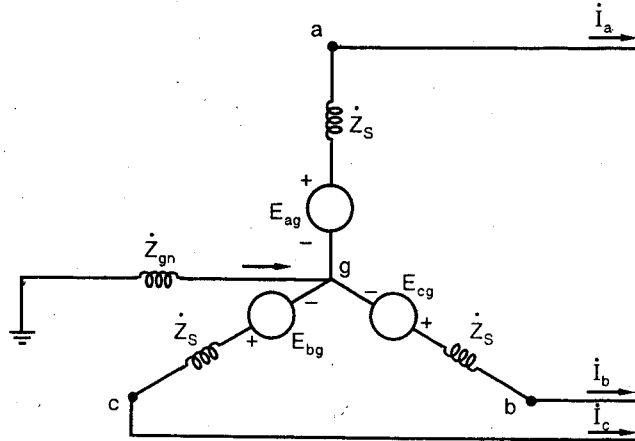
Do $\dot{V}_{ab} + \dot{V}_{bc} + \dot{V}_{ca} = 0$, từ phương trình trên, ta suy ra: $\dot{V}_{ab_0} = \dot{I}_{ab_0} = 0$

và như vậy mạch thứ tự không vẫn hở.

Một lần nữa chúng ta nhận thấy rằng điện trở $j33 \Omega$ trong mạng thứ tự không không có ý nghĩa bởi vì không có sức điện động trong mạch Δ ban đầu.

3.2.2 Mạch thứ tự của máy phát điện đồng bộ

Hình 3.16 biểu diễn một máy phát đồng bộ, có trung tính nối đất qua một kháng trở Z_{gn} . Khi có một sự cố xảy ra ở đầu cực máy phát, có các dòng điện I_a , I_b , và I_c chạy trên các đường dây. Nếu có sự cố chạm đất, dòng điện chạy vào trung tính của máy phát được gọi là I_{gn} và các dòng điện dây có thể được phân tích theo các thành phần đối xứng của chúng:



Hình 3.16: Máy phát điện đồng bộ có trung tính nối đất

Máy phát đồng bộ sinh ra sức điện động ba pha cân bằng và được đặc trưng

bằng vectơ thứ tự thuận:
$$[E]^{abc} = \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix} \dot{E}_a \quad (3.47)$$

Khi máy phát cung cấp cho tải ba pha cân bằng, điện áp các pha được tính:

$$\dot{V}_a = \dot{E}_a - \dot{Z}_S \dot{I}_a - \dot{Z}_{gn} \dot{I}_{gn} \quad (3.48)$$

$$\dot{V}_b = \dot{E}_b - \dot{Z}_S \dot{I}_b - \dot{Z}_{gn} \dot{I}_{gn} \quad (3.49)$$

$$\dot{V}_c = \dot{E}_c - \dot{Z}_S \dot{I}_c - \dot{Z}_{gn} \dot{I}_{gn} \quad (3.50)$$

Mà $\dot{I}_{gn} = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c$ nên viết lại hệ phương trình (3.48); (3.49); (3.50) dưới dạng ma trận là:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{E}_a \\ \dot{E}_b \\ \dot{E}_c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \dot{Z}_S + \dot{Z}_{gn} & \dot{Z}_{gn} & \dot{Z}_{gn} \\ \dot{Z}_{gn} & \dot{Z}_S + \dot{Z}_{gn} & \dot{Z}_{gn} \\ \dot{Z}_{gn} & \dot{Z}_{gn} & \dot{Z}_S + \dot{Z}_{gn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix} \quad (3.51)$$

hay viết gọn lại:
$$[\dot{V}]_{abc} = [\dot{E}]_{abc} - [\dot{Z}]_{abc} [\dot{I}]_{abc} \quad (3.52)$$

với: $[\dot{V}]_{abc}$ - vectơ điện áp đầu cực máy phát

$[\dot{I}]_{abc}$ - vectơ dòng điện pha.

Biến đổi vectơ áp và dòng thành các thành phần đối xứng của chúng, ta được:

$$[\dot{A}][\dot{V}]_{a012} = [\dot{A}][\dot{E}]_{a012} - [\dot{Z}]^{abc}[\dot{A}][\dot{I}]_{a012} \quad (3.53)$$

Nhân phương trình trên với $[\dot{A}]^{-1}$:

$$[\dot{V}]_{a012} = [\dot{E}]_{a012} - [\dot{A}]^{-1}[\dot{Z}]^{abc}[\dot{A}][\dot{I}]_{a012} \quad (3.54)$$

$$[\dot{V}]_{a012} = [\dot{E}]_{a012} - [\dot{Z}]^{abc}[\dot{i}]_{a012} \quad (3.55)$$

$$\text{với: } [Z]_{012} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{Z}_S + \dot{Z}_{gn} & \dot{Z}_{gn} & \dot{Z}_{gn} \\ \dot{Z}_{gn} & \dot{Z}_S + \dot{Z}_{gn} & \dot{Z}_{gn} \\ \dot{Z}_{gn} & \dot{Z}_{gn} & \dot{Z}_S + \dot{Z}_{gn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad (3.56)$$

Thực hiện phép nhân ma trận ta được:

$$[Z]_{012} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_S + 3\dot{Z}_{gn} & 0 & 0 \\ 0 & \dot{Z}_S & 0 \\ 0 & 0 & \dot{Z}_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_0 & 0 & 0 \\ 0 & \dot{Z}_1 & 0 \\ 0 & 0 & \dot{Z}_2 \end{bmatrix} \quad (3.57)$$

Vì sức điện động của máy phát cân bằng chỉ có thành phần điện thế thứ tự thuận nên:

$$[E]_{a012} = \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{E}_{ag} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.58)$$

Thay thế $[E]_{a012}$ và $[Z]_{a012}$ vào (3.55) ta được:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{a_0} \\ \dot{V}_{a_1} \\ \dot{V}_{a_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{E}_{ag} \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \dot{Z}_0 & 0 & 0 \\ 0 & \dot{Z}_1 & 0 \\ 0 & 0 & \dot{Z}_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{a_0} \\ \dot{I}_{a_1} \\ \dot{I}_{a_2} \end{bmatrix} \quad (3.59)$$

Viết lại thành phương trình biểu diễn các thành phần đối xứng:

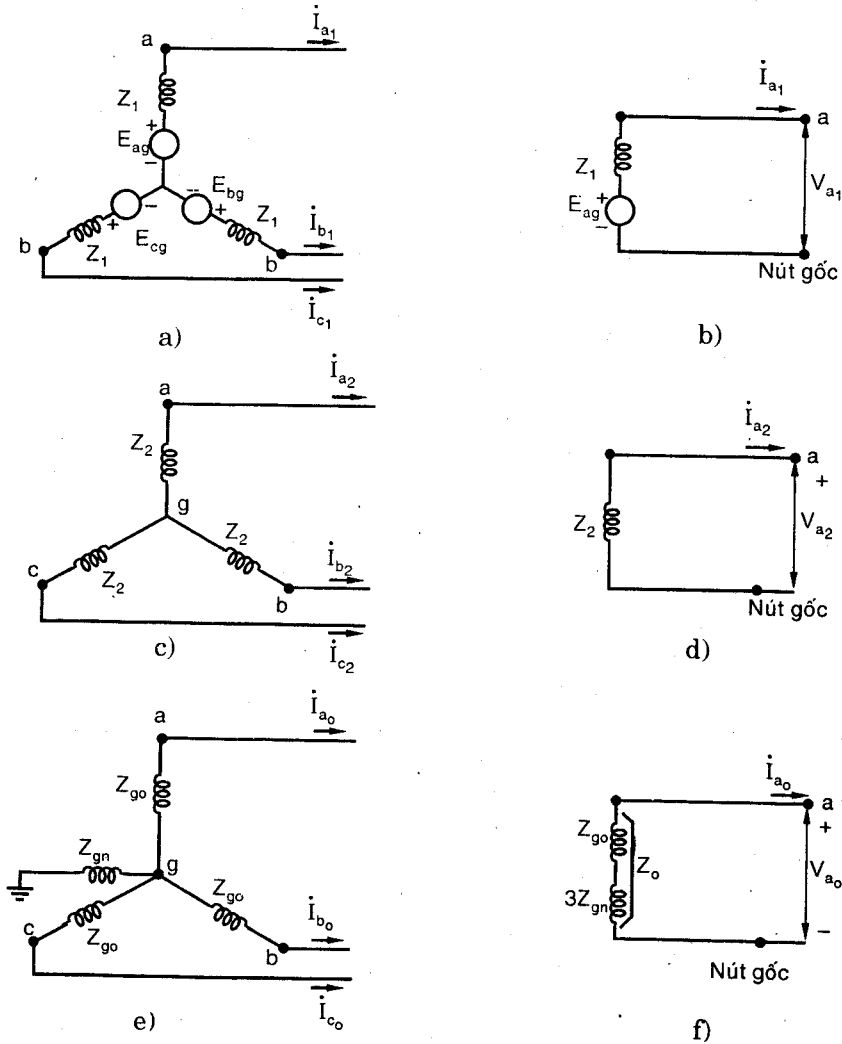
$$\dot{V}_{a_0} = 0 - \dot{Z}_0 \dot{I}_{a_0}; \quad \dot{V}_{a_1} = \dot{E}_{ag} - \dot{Z}_1 \dot{I}_{a_1}; \quad \dot{V}_{a_2} = 0 - \dot{Z}_2 \dot{I}_{a_2} \quad (3.60)$$

với $\dot{Z}_0, \dot{Z}_1, \dot{Z}_2$ lần lượt là tổng trở thứ tự không, thứ tự thuận và thứ tự nghịch của máy phát.

Ba phương trình (3.60) có thể được biểu diễn bằng ba mạch tương đương thứ tự như ở hình 3.17.

Mạch thứ tự thuận gồm một sức điện động nối tiếp với tổng trở thứ tự thuận. Mạch thứ tự nghịch và thứ tự không không chứa nguồn nhưng cũng bao gồm các tổng trở của máy phát ứng với dòng điện thứ tự nghịch và thứ tự không.

Nút gốc của mạch thứ tự thuận và thứ tự nghịch là điểm trung tính của máy phát. Trong các mạch thứ tự thuận và thứ tự nghịch, điểm trung tính có cùng thế với đất, dù trung tính máy phát có nối đất qua một tổng trở Z_{gn} hay không. Một lần nữa, ta thấy rằng không có sự khác biệt nào giữa \dot{V}_{a_1} và \dot{V}_{ag_1} trong mạch thứ tự thuận hay giữa \dot{V}_{a_2} và \dot{V}_{ag_2} trong mạch thứ tự nghịch. Vì lý do trên, điện áp thứ tự thuận và thứ tự nghịch ở hình 3.17 được viết không có kèm ký hiệu g.



Hình 3.17: Các mạch thứ tự máy phát

- a) Đường dẫn dòng thứ tự thuận
- b) Mạch thứ tự thuận
- c) Đường dẫn dòng thứ tự nghịch
- d) Mạch thứ tự nghịch
- e) Đường dẫn dòng thứ tự không
- f) Mạch thứ tự không

Dòng điện chạy qua tổng trở Z_{gn} giữa trung tính và đất là $3I_{a_0}$. Theo hình 3.17e chúng ta thấy rằng độ sụt áp thứ tự không từ điểm a đến đất là $-3I_{a_0}Z_{gn} - I_{a_0}Z_{g_0}$. Ở đây Z_{g_0} là tổng trở thứ tự không trên mỗi pha của máy phát. Mạch điện thứ tự không là mạch điện đơn pha được giả sử chỉ mang dòng điện thứ tự không của chỉ một pha, vì vậy phải có tổng trở là $3Z_{gn} + Z_{g_0}$, như hình 3.17f. Vậy tổng trở thứ tự không mà I_{a_0} chạy qua là:

$$\dot{Z}_0 = 3\dot{Z}_{gn} + \dot{Z}_{g_0} \quad (3.61)$$

Thông thường các thành phần điện áp và dòng điện của pha a được tìm thấy từ các phương trình xác định bởi các mạch thứ tự. Các phương trình cho các thành phần đối xứng của độ sụt áp từ điểm a của pha a đến nút gốc (hoặc đất) được viết lại như sau:

$$\dot{V}_{a_0} = -I_{a_0}\dot{Z}_0; \quad \dot{V}_{a_1} = \dot{E}_{an} - I_{a_1}\dot{Z}_1; \quad \dot{V}_{a_2} = -I_{a_2}\dot{Z}_2 \quad (3.62)$$

ở đây: \dot{E}_{ag} - điện áp thứ tự thuận so với điểm trung tính

\dot{Z}_1, \dot{Z}_2 lần lượt là tổng trở thứ tự thuận và thứ tự nghịch của máy phát

\dot{Z}_0 - được định nghĩa bởi công thức (3.61).

Các công thức vừa được xây dựng ở trên đều dựa theo một mô hình máy phát đơn giản trong đó được giả thiết chỉ tồn tại các thành phần cơ bản của dòng điện. Theo mô hình này thì các tổng trở thứ tự thuận và thứ tự nghịch được tìm thấy bằng nhau nhưng hoàn toàn khác với trở kháng thứ tự không. Trong thực tế, tổng trở của máy điện quay đối với các dòng điện của ba mạch thứ tự, một cách tổng quát, thì không giống nhau. Cảm ứng trong máy đồng bộ phụ thuộc vào mối liên hệ giữa thứ tự pha của dòng điện thứ tự với chiều quay rôto. Tổng trở thứ tự thuận máy đồng bộ là giá trị tổng trở phản ánh quan hệ giữa điện áp thứ tự thuận và dòng điện thứ tự thuận trong máy khi dòng điện thứ tự thuận chảy trong các cuộn stato gây bởi điện áp thứ tự thuận. Do đó, ta thấy rằng kháng trở thứ tự thuận máy phát có thể nhận một trong những giá trị kháng trở X_d'', X_d', X_d tùy thuộc vào khoảng thời gian được quan tâm sau khi xảy ra sự cố.

Sức từ động sinh bởi dòng điện phần ứng thứ tự nghịch quay theo chiều ngược lại với rôto trên đó có cuộn kích từ DC. Không giống như từ thông sinh ra bởi các dòng điện thứ tự thuận vốn đứng yên so với rôto, từ thông sinh ra bởi các dòng điện thứ tự nghịch quét qua nhanh chóng trên bề mặt của rôto có chu kỳ. Dòng điện cảm ứng trong cuộn kích từ và trong các cuộn dây cản chống lại sức từ động của phần ứng, và như vậy sẽ làm giảm từ thông xuyên qua rôto. Tình trạng này cũng tương tự như sự thay đổi từ thông một cách tức thời khi xảy ra ngắn mạch ở đầu cực của máy phát. Các đường sức từ thì cũng giống như khi tính kháng trở siêu quá độ. Vì vậy trong máy rôto tròn, kháng trở siêu quá độ của máy phát bằng với kháng trở thứ tự nghịch:

$$X_2 = X_d'' \quad (3.63)$$

Khi chỉ có dòng điện thứ tự không chảy qua các cuộn dây phần ứng của một máy điện ba pha, dòng điện và sức từ động của ba pha sẽ đạt cực đại cùng một lúc. Cụ thể hơn, dòng điện và sức từ động của mỗi pha sẽ có độ lớn như nhau tại mọi thời điểm. Do các cuộn dây được bố trí đối xứng trong không gian chung quanh phần ứng nên nếu sức từ động sinh ra bởi dòng điện của mỗi pha có hình sin hoàn toàn, đồ thị sức từ động xung quanh phần ứng là tổng ba đường hình sin lệch pha nhau 120° và cộng lại bằng 0 ở tất cả mọi thời điểm. Không có từ thông sinh ra giữa khe hở không khí, do đó không có kháng trở gây bởi phản ứng phần ứng và chỉ có kháng trở của mỗi cuộn dây pha gây bởi từ thông rò (tản). Trong máy điện, thực tế các vòng dây được phân bố không sinh ra sức từ động hình sin hoàn toàn. Do đó, từ thông tổng gây bởi các sức từ động vẫn có một giá trị rất nhỏ, điều đó sẽ tạo ra kháng trở thứ tự không và đây là giá trị nhỏ nhất của kháng trở máy điện - nó có thể lớn hơn không trong điều kiện lý tưởng là không có từ thông trong khe hở đối với dòng điện thứ tự không. Nói chung, kháng trở thứ tự không có thể cho gần đúng là kháng trở rò:

$$X_0 = X_{r0} \quad (3.64)$$

Bảng 3.1 cho một số giá trị tiêu biểu các kháng trở thứ tự máy phát ở đơn vị tương đối. X_1 có thể nhận một trong các giá trị X_d'' , X_d' , X_d tùy thuộc vào khoảng thời gian được quan tâm sau sự cố.

Bảng 3.1: Thông số trung bình kháng trở một vài loại máy phát - tuabin tiêu biểu

Kháng trở	Máy phát tuabin		Máy phát cực lỗi với cuộn căn
	Chế độ làm mát thông thường	Chế độ làm mát dọc dây dẫn	
X_d	1,20	1,80	1,25
X_q	1,60	1,75	0,70
X_d'	0,15	0,30	0,30
X_d''	0,09	0,22	0,20
X_2	0,09	0,22	0,20
X_0	0,03	0,12	0,18

Công thức 3.62 áp dụng cho tất cả các máy phát mang dòng điện không cân bằng, là điểm bắt nguồn cho sự phát sinh của các biểu thức đối với các thành phần dòng điện cho các loại sự cố khác nhau, chúng áp dụng mạch tương đương Thevenin tại bất kỳ nút nào của hệ thống giống như trường hợp máy phát có tải dưới điều kiện xác lập. Khi tính toán ở điều kiện quá độ hoặc siêu quá độ, thì các công thức áp dụng cho máy phát có tải nếu E' hoặc E'' được thay thế cho E_{an} .

Ví dụ 3.5. Một máy phát cực lỗi không cuộn căn có công suất danh định 20MVA, 13,8 kV và có một kháng trở siêu quá độ dọc trục là $j0,25$ đvtd trên cơ bản là định mức máy. Kháng trở thứ tự nghịch và thứ tự không lần lượt là $j0,35$ và $j0,10$.

Trung tính của máy phát được nối đất trực tiếp. Máy phát đang làm việc không tải tại điện áp danh định với $E_{ag} = 1.0 \angle 0^\circ$ đvtd thì xảy ra sự cố một pha chạm đất tại đầu cực máy phát, và có các giá trị điện thế so với đất trong hệ đơn vị tương đối với cơ bản là định mức máy là:

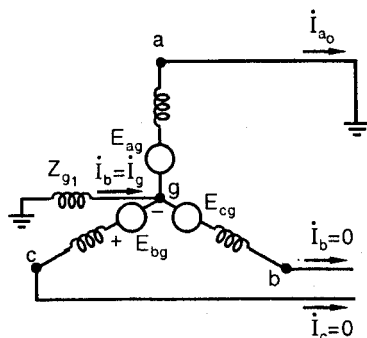
$$\dot{V}_a = 0; \quad \dot{V}_b = 1,013 \angle -102,25^\circ; \quad \dot{V}_c = 1,013 \angle 102,25^\circ$$

Hãy xác định dòng ngắn mạch siêu quá độ trong máy phát và điện áp dây trong điều kiện siêu quá độ khi xảy ra sự cố.

Giải. Hình 3.18 biểu diễn sự cố chạm đất trên pha a của máy điện. Viết lại V_b, V_c ở dạng đại số:

$$\dot{V}_b = -0,215 - j0,990 \text{ đvtd}$$

$$\dot{V}_c = -0,215 + j0,990 \text{ đvtd}$$



Hình 3.18: Hình minh họa ví dụ 3.5

Thành phần đối xứng của điện áp tại điểm xảy ra sự cố (đầu cực máy phát) là:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{a_0} \\ \dot{V}_{a_1} \\ \dot{V}_{a_2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ -0,215 - j0,990 \\ -0,215 + j0,990 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,143 + j0 \\ 0,643 + j0 \\ -0,500 + j0 \end{bmatrix} \text{ đvtd}$$

Từ phương trình (3.62) và hình 3.16 với $Z_{gn} = 0$, ta tính:

$$\dot{I}_{a_0} = \frac{\dot{V}_{a_0}}{\dot{Z}_{g_0}} = - \frac{(-0,143 + j0)}{j0,10} = -j1,43 \text{ đvtd}$$

$$\dot{I}_{a_1} = \frac{\dot{E}_{ag} - \dot{V}_{a_1}}{\dot{Z}_1} = \frac{(1,0 + j0) - (0,643 + j0)}{j0,25} = -j1,43 \text{ đvtd}$$

$$\dot{I}_{a_2} = - \frac{\dot{V}_{a_2}}{\dot{Z}_2} = - \frac{(-0,500 + j0)}{j0,35} = -j1,43 \text{ đvtd}$$

Nhận thấy ba dòng điện dây thứ tự bằng nhau.

Như vậy, dòng điện sự cố chạy vào đất là:

$$\dot{I}_a = \dot{I}_{a_0} + \dot{I}_{a_1} + \dot{I}_{a_2} = 3\dot{I}_{a_0} = -j4,29 \text{ đvtd}$$

Dòng điện cơ bản là $20.000 / (\sqrt{3} \times 13,8) = 837$ A, và như vậy dòng điện siêu quá độ trên đường dây a là $\dot{I}_a = -j4,29 \times 837 = -j3,590$ A

Điện áp dây khi sự cố là:

$$\dot{V}_{ab} = \dot{V}_a - \dot{V}_b = 0,215 + j0,990 = 1,01 \angle 77,7^\circ \text{ đvtd}$$

$$\dot{V}_{bc} = \dot{V}_b - \dot{V}_c = 0 - j0,990 = 0,990 \angle 270^\circ \text{ đvtd}$$

$$\dot{V}_{ca} = \dot{V}_c - \dot{V}_a = -0,215 + j0,990 = 1,01 \angle 77,7^\circ \text{ đvtd}$$

Vì điện áp máy phát so với trung tính $E_{ag} = 1,0 \text{ đvtd}$, các giá trị điện áp dây trên được biểu diễn trong đvtd với điện áp cơ bản đến điểm trung tính. Tính theo đơn vị volt, điện áp dây sau sự cố là

$$\dot{V}_{ab} = 1,01 \times \frac{13,8}{\sqrt{3}} \angle 77,7^\circ = 8,05 \angle 77,7^\circ \text{ kV}$$

$$\dot{V}_{bc} = 1,980 \times \frac{13,8}{\sqrt{3}} \angle 270^\circ = 15,78 \angle 270^\circ \text{ kV}$$

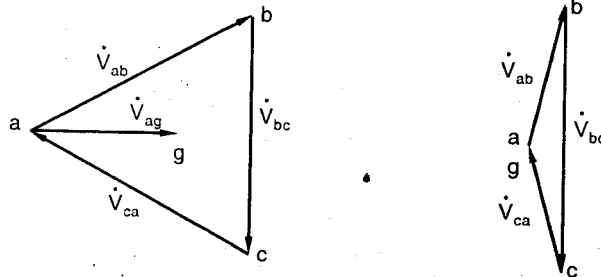
$$\dot{V}_{ca} = 1,01 \times \frac{13,8}{\sqrt{3}} \angle 102,3^\circ = 8,05 \angle 102,3^\circ \text{ kV}$$

Trước sự cố, các điện áp dây đối xứng và bằng $13,8 \text{ kV}$. So sánh với điện áp dây sau khi sự cố xảy ra, điện áp trước sự cố, với pha của $V_{ag} = E_{ag}$ làm pha gốc, được cho như sau:

$$\dot{V}_{ab} = 13,8 \angle 30^\circ \text{ kV}; \quad \dot{V}_{bc} = 13,8 \angle 270^\circ \text{ kV}; \quad \dot{V}_{ca} = 13,8 \angle 150^\circ \text{ kV}$$

Hình 3.19 cho thấy sơ đồ vectơ của điện áp trước sự cố và sau sự cố

Ví dụ trên cho thấy rằng $\dot{I}_{a_0} = \dot{I}_{a_1} = \dot{I}_{a_2}$ trong trường hợp sự cố một pha chạm đất. Đây là kết quả tổng quát sẽ được chứng minh ở phần sau.



Hình 3.19: Sơ đồ pha của điện áp đường dây của ví dụ 3.5 trước và sau sự cố

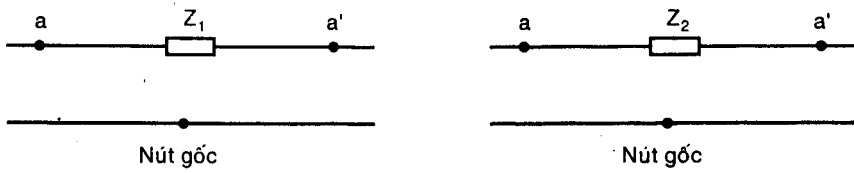
3.2.3 Các mạng thứ tự của máy biến áp

1- Máy biến áp hai cuộn dây

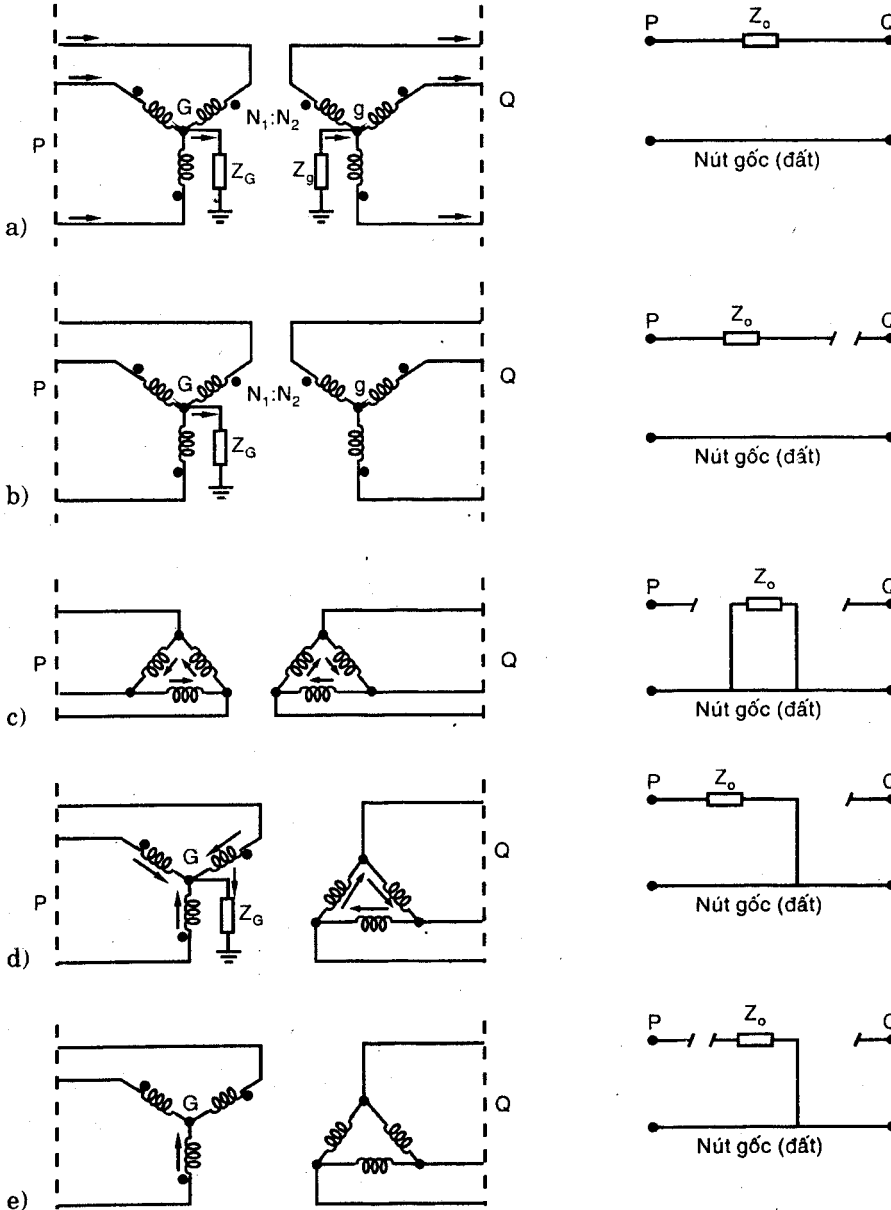
Máy biến áp hai cuộn dây được mô hình hóa bởi tổng trở rò hay tổng trở ngắn mạch mắc nối tiếp. Do máy biến áp là thiết bị tĩnh, tổng trở rò của nó sẽ không thay đổi khi thứ tự pha thay đổi. Như vậy, tổng trở thứ tự thuận và nghịch của máy biến áp là như nhau. Nếu máy biến áp cho dòng thứ tự không chạy qua thì tổng trở thứ tự không cũng bằng tổng trở rò, do đó:

$$Z_0 = Z_1 = Z_2 = Z_{r0} = Z_T$$

Do tính đối xứng, mạch thứ tự thuận và thứ tự nghịch của máy biến áp cũng giống như mạch tương đương máy biến áp trong tình trạng đối xứng, tức lúc chưa xảy ra sự cố bất đối xứng. Chúng được biểu diễn như sau:



Hình 3.20: Mạng thứ tự thuận và thứ tự nghịch máy biến áp



Hình 3.21: Các tổ cấu cuộn dây máy biến áp hai cuộn dây thông thường và mạch thứ tự không tương ứng

- a) Máy biến áp đấu Y/Y với cả hai trung tính nối đất và mạch thứ tự không tương ứng
- b) Máy biến áp đấu Y/Y với chỉ một trung tính nối đất và mạch thứ tự không tương ứng
- c) Máy biến áp đấu tam giác và mạch thứ tự (không tương ứng)
- d) Máy biến áp đấu sao tam giác với trung tính nối đất và mạch thứ tự (không tương ứng)
- e) Máy biến áp đấu sao tam giác với trung tính cách ly và mạch thứ tự (không tương ứng)

Tuy nhiên, trong kiểu đấu dây Y/Δ của máy biến áp hai cuộn dây, nếu bỏ qua tổng trở rò, điện áp thứ tự thuận hay thứ tự nghịch hai phía của máy biến áp sẽ không trùng pha như trên hình 3.20 mà lệch một góc 30°. Các trường hợp được khảo sát ở dưới đây sẽ làm rõ điều đó.

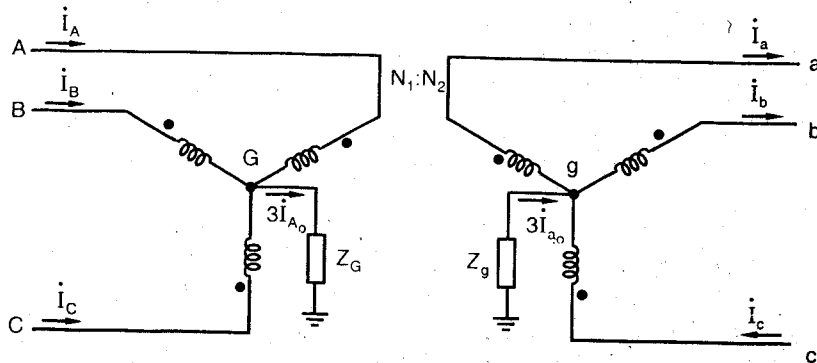
Mạch tương đương thứ tự không của máy biến áp hai cuộn dây phụ thuộc vào cách đấu nối các cuộn dây máy biến áp và phụ thuộc vào việc trung tính máy biến áp có nối đất hay không. Hình 3.21 biểu diễn một số loại máy biến áp hai cuộn dây thông dụng và mạch tương đương thứ tự không tương ứng của chúng.

Ta đã biết rằng khi bỏ qua từ trở lõi thép, sức từ động sẽ cân bằng giữa cuộn sơ và thứ cấp máy biến áp. Điều này có nghĩa là dòng điện chỉ có thể chảy trong cuộn sơ cấp nếu có dòng chảy trong cuộn thứ cấp và ngược lại. Dựa theo nhận xét này ta có thể xây dựng các mạch thứ tự không bằng cách đặt các điện áp thứ tự không lên cuộn sơ cấp và xem xét các dòng thứ tự không được tạo thành:

Trường hợp 1: Máy biến áp đấu Y/Y với cả hai trung tính đều nối đất.

Ta đã biết rằng dòng thứ tự không là tổng của dòng ba pha. Do cả hai trung tính đều được nối đất, nên sẽ có đường dẫn dòng thứ tự không xuống đất chạy qua cả hai phía sơ và thứ máy biến áp, và khi đó máy biến áp được biểu diễn bởi tổng trở rò tương đương theo mô hình một pha như hình 3.21a. Nếu cả hai trung tính đều nối đất trực tiếp thì $Z_o = Z_T$.

Nếu trung tính máy biến áp nối đất qua tổng trở có giá trị khác không, sẽ có sụt áp trên các tổng trở này gây bởi dòng thứ tự không, và mối quan hệ giữa dòng và áp thứ tự không hay, nói cách khác, là tổng trở thứ tự không trong trường hợp này cũng sẽ bị ảnh hưởng bởi các tổng trở nối đất này. Xét một máy biến áp có cả hai trung tính đều nối đất như hình 3.22.



Hình 3.22: Máy biến áp đấu Y/Y với trung tính nối đất qua tổng trở
Sụt áp trên máy biến áp gây bởi dòng thứ tự không được tính như sau:

$$\dot{V}_{A_o} = \dot{V}_{AG_o} + 3\dot{Z}_G \dot{I}_{A_o} \quad (3.65)$$

$$\dot{V}_{a_o} = \dot{V}_{ag_o} - 3\dot{Z}_g \dot{I}_{a_o} \quad (3.66)$$

$$\dot{I}_{a_o} = \frac{1}{3}(\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c) = \frac{1}{3} \frac{N_1}{N_2} (\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C) = \frac{N_1}{N_2} \dot{I}_{A_o} \quad (3.67)$$

Kết hợp (3.66) và (3.67) ta được:

$$\dot{V}_{a_o} = \dot{V}_{ag_o} - 3 \frac{N_1}{N_2} \dot{Z}_g \dot{I}_{A_o} \quad (3.68)$$

Lấy hai vế (3.68) nhân với $(-N_1/N_2)$ rồi đem cộng với (3.65) vế theo vế, ta được:

$$\dot{V}_{A_o} - \frac{N_1}{N_2} \dot{V}_{a_o} = \dot{V}_{AG_o} - \frac{N_1}{N_2} \dot{V}_{ag_o} + \dot{I}_{A_o} (3\dot{Z}_G + 3(\frac{N_1}{N_2})^2 \dot{Z}_g) \quad (3.69)$$

Nếu bỏ qua tổng trở rò thì $\dot{V}_{AG_o} - \frac{N_1}{N_2} \dot{V}_{ag_o} = 0$ và công thức (3.69) trở thành:

$$\dot{V}_{A_o} - \frac{N_1}{N_2} \dot{V}_{a_o} = \dot{I}_{A_o} (3\dot{Z}_G + 3(\frac{N_1}{N_2})^2 \dot{Z}_g) \quad (3.70)$$

Theo công thức (3.70), tổng trở thứ tự không phía cao thế trong trường hợp này chính là $(3\dot{Z}_G + 3(\frac{N_1}{N_2})^2 \dot{Z}_g)$, nếu kể thêm tổng trở rò thì:

$$\dot{Z}_o = \dot{Z}_{r_o} + 3\dot{Z}_G + 3(\frac{N_1}{N_2})^2 \dot{Z}_g \quad (3.71)$$

Tổng trở thứ tự không trong đơn vị tương đối cơ bản là điện áp định mức của trường hợp 1 hình 3.21a:

$$Z_o^* = Z_T + 3Z_G + 3Z_g \text{ đvtđ}$$

Trường hợp 2: Máy biến áp Y/Y với một phía trung tính nối đất.

Giả thiết phía sơ cấp có nối đất trung tính, nhưng do trung tính thứ cấp không nối đất, tổng các dòng pha phía thứ cấp bằng không, suy ra dòng thứ tự không trong cuộn thứ cấp bằng không. Do đó, dòng thứ tự không trong cuộn sơ cấp cũng bằng không. Nói cách khác, nếu một phía trung tính máy biến áp không nối đất, dòng thứ tự không không thể chạy qua hai cuộn dây của hai phía. Điều này có nghĩa là hoặc Z_g hoặc $Z_G \rightarrow \infty$ tùy vào phía nào trung tính không nối đất. Và mạch thứ tự không của máy biến áp được biểu diễn là một mạch hở như trong hình 3.21b.

Trường hợp 3: Máy biến áp đấu Δ/Δ .

Tổng vectơ của các điện áp dây bằng không ở mỗi bên của biến áp Δ/Δ ở hình 3.23, và vì vậy $V_{AB_o} = V_{ab_o} = 0$. Theo quy ước cực tính thông thường được ký hiệu cho cách ghép cuộn dây như hình 3.23, chúng ta được:

$$\dot{V}_{AB} = \frac{N_1}{N_2} \dot{V}_{ab}$$

hay:
$$\dot{V}_{AB_1} + \dot{V}_{AB_2} = \frac{N_1}{N_2} (\dot{V}_{ab_1} + \dot{V}_{ab_2}) \quad (3.72)$$

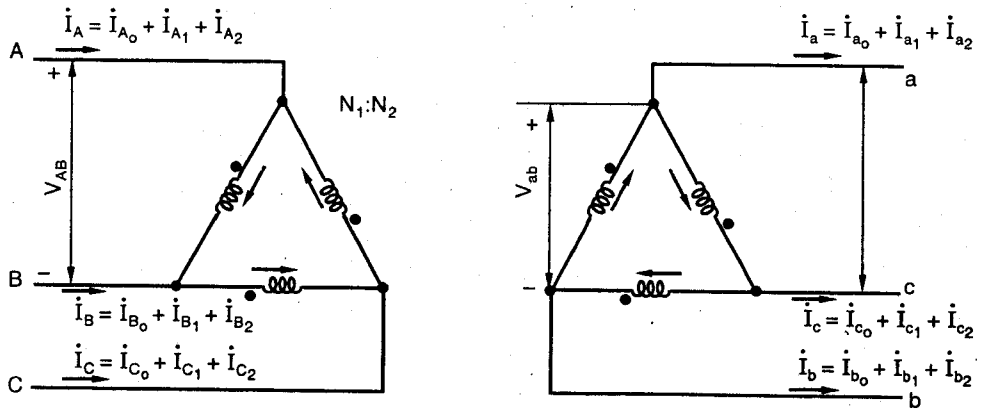
Viết lại các điện áp dây theo điện áp pha như công thức (3.69) trong phần phân tích mạch đấu Y và Δ , ta được:

$$\sqrt{3}V_{AG_1} \angle 30^\circ + \sqrt{3}V_{AG_2} \angle -30^\circ = \frac{N_1}{N_2} (\sqrt{3}V_{ag_1} \angle 30^\circ + \sqrt{3}V_{ag_2} \angle -30^\circ) \quad (3.73)$$

Cân bằng các thành phần đối xứng từ công thức (3.73) như các phần trên, ta có:

$$\dot{V}_{AG_1} = \frac{N_1}{N_2} \dot{V}_{ag_1}; \quad \dot{V}_{AG_2} = \frac{N_1}{N_2} \dot{V}_{ag_2} \quad (3.74)$$

Hai công thức trên cho thấy rằng, mạch tương đương thứ tự thuận và thứ tự nghịch của biến áp $\Delta - \Delta$, như đã nói, hoàn toàn tương tự mạch tương đương một pha trong tình trạng đối xứng. Bởi vì trong một mạch Δ không có đường trở về cho dòng điện thứ tự không, nên sẽ không có dòng điện thứ tự không chạy ra khỏi các đầu nút Δ ở hai bên của tổ nối $\Delta - \Delta$ mặc dù dòng thứ tự không chạy quanh trong cuộn dây Δ khép kín. Vì thế, $I_{A_0} = I_{a_0} = 0$ ở hình 3.23, và chúng ta nhận được mạch tương đương thứ tự không ở hình 3.21c bị hở mạch ở cả phía sơ lẫn phía thứ máy biến áp.



Hình 3.23: Sơ đồ cuộn dây của biến áp tổ nối $\Delta - \Delta$ ba pha

Trường hợp 4: Máy biến áp Y/Δ với trung tính phía Y nối đất.

Trường hợp này tồn tại dòng thứ tự không chảy trong phía sơ cấp (Y) vì có dòng thứ tự không khép kín chảy trong các cuộn thứ cấp mắc Δ và có đường dẫn xuống đất cho dòng thứ tự không phía sơ cấp (Y). Chú ý rằng dòng thứ tự không phía thứ cấp không thể đi ra các đầu cực của mạch Δ . Vì lý do đó, $I_{a_0} = 0$ trong hình 3.24. Giả sử rằng cuộn dây biến áp pha A phía đầu Y được mắc tương ứng với cuộn ab phía đầu Δ (kiểu đấu $Y/\Delta 1$). Điện áp pha A ở phía Y có thể được viết:

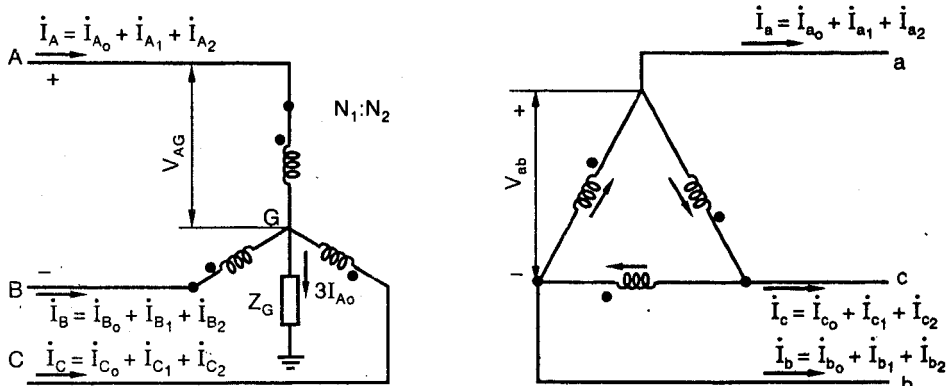
$$\dot{V}_A = \dot{V}_{AG} + \dot{V}_G$$

$$\text{hay: } \dot{V}_{A_0} + \dot{V}_{A_1} + \dot{V}_{A_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \dot{V}_{ab_0} + \frac{N_1}{N_2} \dot{V}_{ab_1} + \frac{N_1}{N_2} \dot{V}_{ab_2} \right) + 3Z_G \dot{I}_{A_0} \quad (3.75)$$

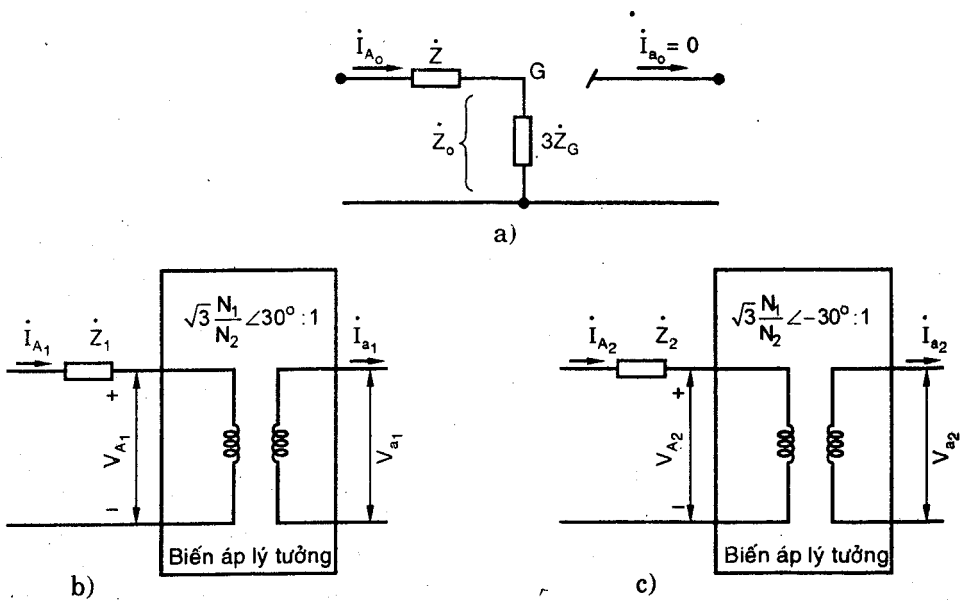
Cân bằng các thành phần thứ tự tương ứng, ta có:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{A_0} - 3Z_G \dot{I}_{A_0} &= \frac{N_1}{N_2} \dot{V}_{ab_0} \\ \dot{V}_{A_1} = \frac{N_1}{N_2} \dot{V}_{ab_1} &= \frac{N_1}{N_2} \sqrt{3} \angle 30^\circ \times \dot{V}_{a_1} \end{aligned} \quad (3.76)$$

$$\dot{V}_{A_2} = \frac{N_1}{N_2} \dot{V}_{ab_2} = \frac{N_1}{N_2} \sqrt{3} \angle -30^\circ \times \dot{V}_{a_2}$$



Hình 3.24: Sơ đồ máy biến áp Y-Δ ba pha có trung tính nối đất qua Z_G



Hình 3.25: Mạch thứ tự không, thứ tự thuận và thứ tự nghịch cho máy biến áp đấu Y/Δ

Phương trình (3.75) cho phép chúng ta vẽ mạch thứ tự không ở hình 3.25a, trong đó $Z_0 = Z + 3Z_G$ là tổng trở thứ tự không nhìn từ phía đấu Y với Z là tổng trở rò được nhìn từ phía đấu Y của biến áp. Mạch tương đương cho ta một đường dẫn dòng điện thứ tự không từ đường dây phía đấu Y qua điện trở tương đương và kháng trở rò của biến áp đến nút gốc. Một đoạn mạch hở tồn tại giữa đường dây và nút gốc ở bên phía Δ. Khi một tổng trở Z_G được dùng để nối từ điểm trung tính đến đất, thì mạch tương đương thứ tự không phải có tổng trở $3Z_G$ nối tiếp với điện trở tương đương và kháng trở rò của máy biến áp nối từ đường dây phía Y đến đất.

Theo công thức (3.76), ta có thể vẽ mạch tương đương thứ tự thuận và thứ tự nghịch cho trường hợp này, lưu ý dòng thứ tự thuận và thứ tự nghịch hai phía

lệch pha nhau một góc 30° (H.3.25 b,c):

Trường hợp 5: Máy biến áp đấu Y/Δ với trung tính phía Y cách ly.

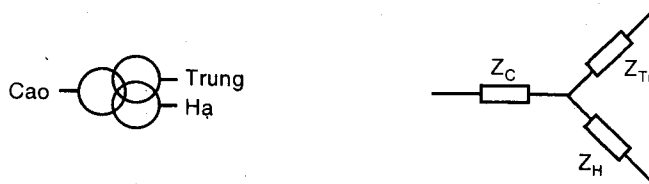
Trường hợp này là trường hợp đặc biệt của trường hợp 4 khi $Z_G \rightarrow \infty$. Do trung tính phía Y cách ly với đất, nên không tồn tại dòng thứ tự không trong các cuộn dây phía sơ cấp (Y), và dẫn đến không có dòng thứ tự không trong máy biến áp. Mạch tương đương thứ tự không máy biến áp là một mạch hở như hình 3.21e. Giả sử máy biến áp đấu $Y/\Delta 1$.

Chú ý rằng trong trường hợp này có sự lệch pha 30° giữa các thành phần đối xứng của điện áp pha hai phía máy biến áp giống như trường hợp 4, và mạch thứ tự thuận cùng mạch thứ tự nghịch của trường hợp này cũng tương tự như của trường hợp 4 trên.

$$\dot{V}_{A_1} = \frac{N_1}{N_2} \dot{V}_{ab_1} = \frac{N_1}{N_2} \sqrt{3} \angle 30^\circ \times \dot{V}_{a_1} \quad (3.77)$$

$$\dot{V}_{A_2} = \frac{N_1}{N_2} \dot{V}_{ab_2} = \frac{N_1}{N_2} \sqrt{3} \angle -30^\circ \times \dot{V}_{a_2} \quad (3.78)$$

2- Máy biến áp ba cuộn dây



Hình 3.26: Máy biến áp ba cuộn dây và mạch tương đương thứ tự thuận (nghịch) của tương ứng

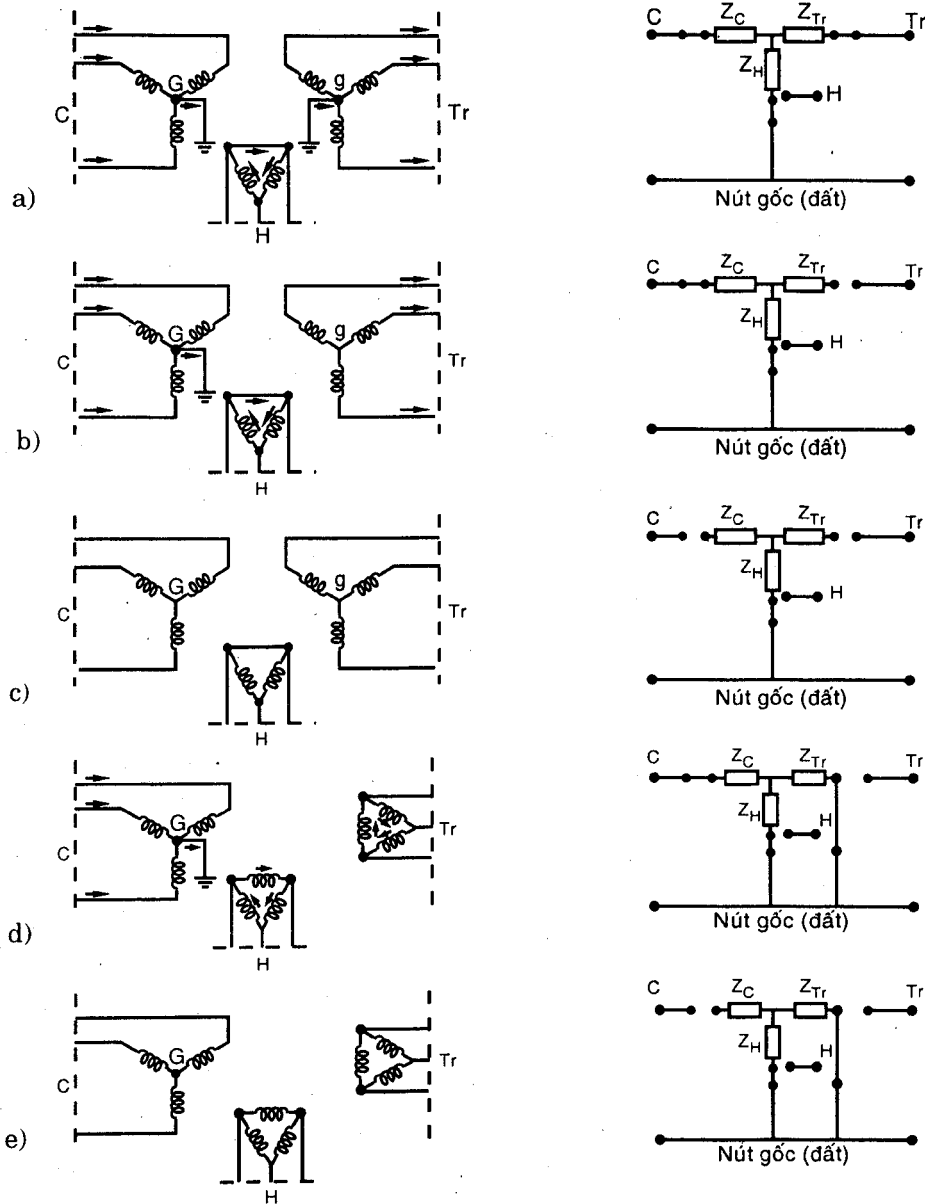
Nếu tổng trở do từ hóa của máy biến áp được bỏ qua, mạch tương đương thứ tự thuận và thứ tự nghịch của một máy biến áp ba cuộn dây có thể được biểu diễn bởi tổng trở hình Y gồm ba tổng trở riêng rẽ, như trên hình 3.26. Trong đó, C, Tr, và H lần lượt là các cuộn dây phía cao, phía trung, và cuộn hạ (cuộn hạ thường được mắc hình Δ). Có một cách gọi tên khác cho ba cuộn dây là cuộn sơ cấp (P) (phía cao thế), cuộn thứ (S) và cuộn thứ ba (Q). Tổng trở của mỗi nhánh hình Y có thể được xác định từ các tổng trở ngắn mạch (ba pha) Z_{CT} , Z_{TH} , và Z_{HC} giữa hai cuộn dây bất kỳ khi cho cuộn còn lại hở mạch.

Tổng trở tương đương mỗi nhánh:

$$\begin{aligned} \dot{Z}_C &= \frac{\dot{Z}_{C-Tr} + \dot{Z}_{C-H} - \dot{Z}_{Tr-H}}{2} \\ \dot{Z}_{Tr} &= \frac{\dot{Z}_{C-Tr} + \dot{Z}_{Tr-H} - \dot{Z}_{C-H}}{2} \\ \dot{Z}_H &= \frac{\dot{Z}_{C-H} + \dot{Z}_{Tr-H} - \dot{Z}_{C-Tr}}{2} \end{aligned} \quad (3.79)$$

Chú ý rằng các công thức trên được dùng trong hệ đơn vị tương đối, khi muốn viết trong hệ đơn vị có tên, ta phải quy đổi các tổng trở ngắn mạch về một cấp

điện áp, khi đó các giá trị tổng trở nhánh có được sẽ là giá trị biểu kiến trong cấp điện áp đó. Thông thường sẽ có một tổng trở nhánh nhận giá trị ậm bé.



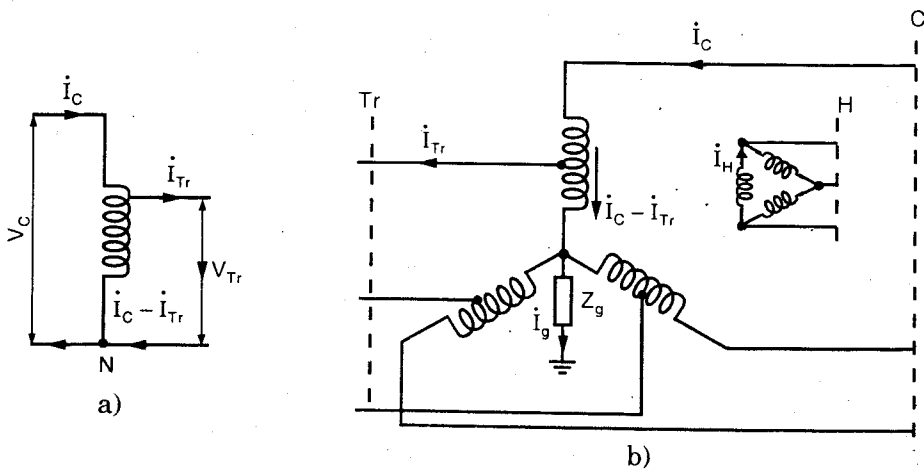
Hình 3.27: Các dạng máy biến áp ba cuộn dây và mạch thử tự không tương ứng của chúng

- a) Máy biến áp đấu $Y/Y/\Delta$ với hai trung tính của hai cuộn Y đều nối đất
- b) Máy biến áp đấu $Y/Y/\Delta$ với một cuộn Y nối đất trung tính
- c) Máy biến áp đấu $Y/Y/\Delta$ không có trung tính nào nối đất
- d) Máy biến áp đấu $Y/\Delta/\Delta$ với trung tính cuộn Y nối đất
- e) Máy biến áp đấu $Y/\Delta/\Delta$ với trung tính cuộn Y không nối đất.

Giống như trường hợp máy biến áp hai cuộn dây, dòng thứ tự không chỉ có thể chảy trong các cuộn dây máy biến áp ba cuộn dây khi máy biến áp hình thành mạch vòng kín cho dòng điện thứ tự không chảy về trung tính hệ thống, nghĩa là có ít nhất một cuộn dây nối hình Y có trung tính nối đất. Ngoài ra, đòi hỏi sức từ động phải cân bằng giữa các cuộn dây máy biến áp, nghĩa là không tồn tại tình trạng chỉ có một cuộn dây có dòng thứ tự không. Như vậy, dựa theo quy luật tồn tại của dòng thứ tự không trong các mạch tương đương thứ tự không đã xây dựng cho máy biến áp hai cuộn dây, ta có thể suy ra các mạch tương đương thứ tự không cho các loại máy biến áp ba cuộn dây như trong hình 3.27.

3- Máy biến áp tự ngẫu

Máy biến áp tự ngẫu được biểu diễn bởi một cuộn dây, có một phần chung cho cả phía điện áp cao và phía điện áp thấp, như trên hình 3.28a. Gọi cuộn "chung" là phần cuộn dây nằm giữa các đầu cực, mạch phía điện áp thấp. Phần còn lại của cuộn dây, chỉ của riêng phía điện áp cao, được gọi là cuộn "nối tiếp". Kết hợp cuộn "chung" và cuộn "nối tiếp" sẽ tạo nên cuộn "chung-nối tiếp" giữa các đầu cực mạch phía điện áp cao.



Hình 3.28: Mạch biểu diễn máy biến áp tự ngẫu

Máy biến áp tự ngẫu ba pha thông thường có các cuộn dây chính đấu hình Y, với trung tính thường được nối đất trực tiếp. Ngoài ra, có một cuộn thứ ba cách ly được đấu hình Δ , như hình 3.28b. Khi đó, cuộn dây nằm giữa các đầu cực phía cao áp (điện áp cao) được gọi là cuộn cao C. Cuộn chung kết hợp với các nhánh rẽ nối vào đầu cực phía trung áp (điện áp thấp) gọi là cuộn trung Tr, và cuộn cách ly còn lại gọi là cuộn hạ H.

Mạch thứ tự thuận, thứ tự nghịch

Mạch thứ tự thuận, thứ tự nghịch, của máy biến áp tự ngẫu ba pha thì tương tự như máy biến áp hai hay ba cuộn dây. Mạch tương đương thứ tự thuận, thứ tự nghịch hình Y của máy biến áp tự ngẫu ba cuộn dây nhận được trên hình 3.29a giống như trường hợp máy biến áp ba cuộn dây.

Gọi \dot{Z}_{C-Tr} , \dot{Z}_{C-H} , \dot{Z}_{Tr-H} lần lượt là tổng trở ngắn mạch giữa cuộn C và cuộn Tr, giữa cuộn C và cuộn H, và giữa cuộn Tr và cuộn H, \dot{Z}_C , \dot{Z}_{Tr} , \dot{Z}_H lần lượt là các tổng trở nhánh trong mạch tương đương hình Y thứ tự thuận và thứ tự nghịch của máy biến áp tự ngẫu ứng với các đầu cực cao áp, trung áp, hạ áp. Khi đó, tương tự như đối với máy biến áp ba cuộn dây, ta cũng có các công thức sau:

$$\begin{aligned}\dot{Z}_C &= \frac{\dot{Z}_{C-Tr} + \dot{Z}_{C-H} - \dot{Z}_{Tr-H}}{2} \\ \dot{Z}_{Tr} &= \frac{\dot{Z}_{C-Tr} + \dot{Z}_{Tr-H} - \dot{Z}_{C-H}}{2} \\ \dot{Z}_H &= \frac{\dot{Z}_{C-H} + \dot{Z}_{Tr-H} - \dot{Z}_{C-Tr}}{2}\end{aligned}\quad (3.80)$$

Khi cuộn thứ ba không tải, điểm H trong hình 3.29a sẽ bị hở mạch, và trong mạch thứ tự thuận và thứ tự nghịch, tổng trở ngắn mạch của máy biến áp sẽ trở thành $\dot{Z}_C + \dot{Z}_{Tr} = \dot{Z}_{C-Tr}$, tương tự như mạch tương đương thứ tự thuận và thứ tự nghịch của máy biến áp hai cuộn dây, với tổng trở do từ hóa được bỏ qua.

Mạch thứ tự không

Trung tính các cuộn dây đấu hình Y nối đất qua Z_g

Khi xác định mạch tương đương thứ tự không cho máy biến áp tự ngẫu ba cuộn dây, cần chú ý đến tổng trở Z_g nối giữa trung tính phía các cuộn dây chính đấu hình Y và đất. Ngoài ra, do cuộn hạ đấu hình Δ , nên trong mạch thứ tự không hình Y của máy biến áp tự ngẫu, nhánh tổng trở tương ứng với cuộn hạ sẽ nối với đất thay vì nối vào các đầu cực phía hạ thế. Bấy giờ, trong mạch thứ tự không, thay vì dùng các ký hiệu Z_C , Z_{Tr} , và Z_H , ta sẽ dùng Z_x , Z_y , và Z_z thay thế tương ứng như trên hình 3.29b. Các giá trị mới này liên hệ với các giá trị Z_C , Z_{Tr} , Z_H và Z_g theo các công thức sau:

$$\begin{aligned}\dot{Z}_x &= \dot{Z}_{Tr} + 3\dot{Z}_g \frac{N}{(N+1)} \\ \dot{Z}_y &= \dot{Z}_C - 3\dot{Z}_g \frac{N}{(N+1)} \\ \dot{Z}_z &= \dot{Z}_H + 3\dot{Z}_g \frac{1}{(N+1)}\end{aligned}\quad (3.81)$$

ở đây N là tỷ số vòng dây giữa cuộn nối tiếp và cuộn chung.

Nếu trung tính nối đất trực tiếp, $Z_g = 0$, và mạch tương đương thứ tự không hoàn toàn tương tự như mạch tương đương thứ tự thuận, chỉ khác là tổng trở tương đương cuộn tam giác \dot{Z}_H sẽ nối với đất thay vì nối với đầu cực phía hạ thế. Hình 3.29b biểu diễn mạch tương đương thứ tự không của máy biến áp tự ngẫu ba cuộn dây có trung tính nối đất. Trong đó, dòng I_{C0} và I_{Tr0} là các dòng điện thứ tự không được tính toán ở phía cao và trung áp. Sự sai biệt giữa hai dòng này trong hệ đơn vị có tên là dòng điện trong cuộn chung. Dòng chạy trên dây nối giữa

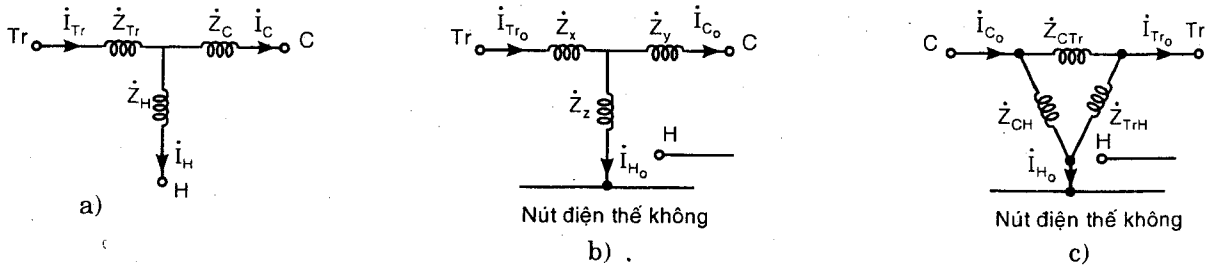
trung tính hình Y và đất lớn gấp 3 lần dòng cuộn chung.

Trung tính các cuộn dây đầu Y không nối đất

Nếu trung tính các cuộn dây đầu Y không nối đất, $Z_g = \infty$ và các tổng trở nhánh của mạch tương đương thứ tự không hình Y cũng sẽ vô cùng lớn, bởi vì rõ ràng không có một đường dẫn cho dòng thứ tự không chạy giữa các cuộn dây, mặc dù tồn tại một mạch vật lý khép kín và sự cân bằng sức từ động vẫn có thể nhận được. Mạch tương đương thứ tự không đúng đắn trong trường hợp này là một mạch Δ như trên hình 3.29c, và giá trị tổng trở các nhánh của nó được xác định trực tiếp từ mạch thực. Phương pháp đòi hỏi ba phương trình tương ứng với ba điều kiện vận hành đã cho. Giải các phương trình này cho chúng ta mối quan hệ giữa các tổng trở nhánh Δ tương đương và tổng trở ngắn mạch giữa cuộn nối tiếp và cuộn hạ, Z_{nt-H} .

$$\dot{Z}_{CTr} = \dot{Z}_{nt-H} \frac{N^2}{(1+N)}; \quad \dot{Z}_{CH} = \dot{Z}_{nt-H} \frac{N}{(1+N)}; \quad \dot{Z}_{TrH} = -\dot{Z}_{nt-H} N \quad (3.82)$$

Với mạch tương đương hình Δ thay thế cho mạch tương đương hình Y trong mạch tương đương thứ tự không máy biến áp tự ngẫu, máy biến áp có thể kết hợp với các tổng trở hệ thống khác để nhận được mạng thứ tự không hệ thống.



Hình 3.29: Các mạch thứ tự máy biến áp tự ngẫu

- a) Mạch thứ tự thuận và thứ tự nghịch
- b) Mạch thứ tự không khi trung tính các cuộn dây đầu Y nối đất
- c) Mạch thứ tự không khi trung tính các cuộn dây đầu Y không nối đất

3.2.4 Mạch thứ tự của đường dây truyền tải ba pha

1- Hiệu ứng hồ cảm

Khi xây dựng mô hình tính toán cho đường dây, chúng ta cần lưu ý hiện tượng cảm ứng giữa các dây dẫn (hồ cảm).

Hiện tượng hồ cảm của những đường dây xảy ra khi chúng mang dòng điện và đặt song song với một khoảng cách nhất định. Các dây dẫn có dòng điện sẽ tạo ra từ thông và móc vòng qua các dây dẫn song song khác, do đó sẽ tạo nên một điện áp trên chúng. Chúng ta có thể viết phương trình cơ bản của từ thông móc vòng theo lý thuyết trường, ảnh hưởng của dây dẫn 2 do dòng điện trong dây dẫn 1 gây ra như sau:

$$\lambda_{21} = \oint_{c_2} \text{Ad}s_2 > 0 \text{ Wb/vòng} \quad (3.83)$$

trong đó: A - trường thế vectơ $= \frac{\mu_0 I_1}{4\pi} \int \frac{1}{r} ds_1, \text{ Wb/m}$

ds_1 - vi phân chiều dài dọc theo đường dây 1

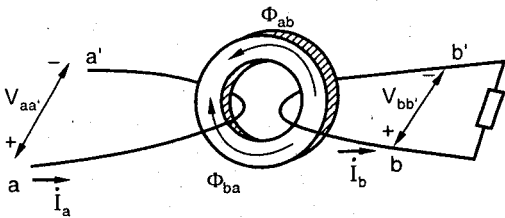
ds_2 - vi phân chiều dài dọc theo đường dây 2

r - bán kính của dây dẫn; μ_0 - độ từ thẩm.

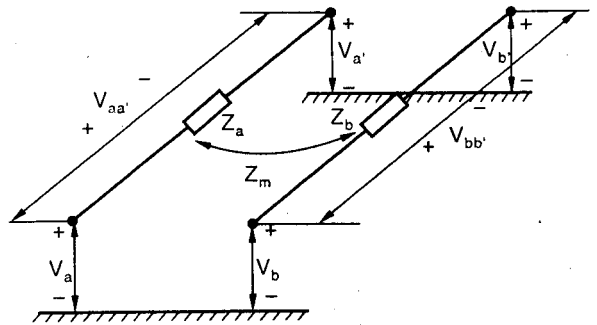
Từ biểu thức từ thông móc vòng tương hỗ trên, ta có thể viết được công thức tính hồ cảm giữa hai đường dây như sau:

$$M = \frac{\lambda_{21}}{I_2}, \quad (H) \quad (3.84)$$

Để thuận tiện khi xem xét hồ cảm giữa hai dây dẫn mang điện, ta xem chúng như là một máy biến áp lõi không khí và chỉ có một vòng dây như hình 3.30. Dòng điện có chiều được xác định theo các đầu cực tính được đánh dấu trên mỗi dây và các đầu cực tính này sẽ xác định chiều của dòng điện chạy bên trong chúng. Nếu ta đặt hai đầu a, a' một điện áp $V_{aa'}$ có chiều như trong hình 3.30, thì dòng điện trong đoạn $a-a'$ sẽ có chiều từ a đến a' , dòng điện này sẽ tạo ra từ thông Φ_{ba} (từ thông móc vòng dây b do dòng điện I_a) có chiều như trên hình vẽ. Theo định luật Lenz, từ thông Φ_{ba} sẽ tạo nên một dòng điện cảm ứng I_b có chiều từ b' đến b trong đoạn dây $b'-b$, dòng điện I_b này sẽ tạo nên từ thông Φ_{ab} ngược chiều với từ thông Φ_{ba} .



Hình 3.30: Sơ đồ máy biến áp lõi không khí tương đương với tương hỗ giữa hai dây dẫn



Hình 3.31

Sơ đồ hai đường dây có hồ cảm

Chúng ta có thể thể hiện hình vẽ 3.30 bằng mạch điện ở hình 3.31 và biểu thức quan hệ giữa dòng điện và điện áp trên hình 3.30 như sau:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{aa'} \\ \dot{V}_{bb'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_a & \dot{Z}_m \\ \dot{Z}_m & \dot{Z}_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \end{bmatrix} \quad (3.85)$$

trong đó: $\dot{V}_{aa'}$ - điện áp giữa hai đầu $a-a'$; $\dot{V}_{bb'}$ - điện áp giữa hai đầu $b-b'$

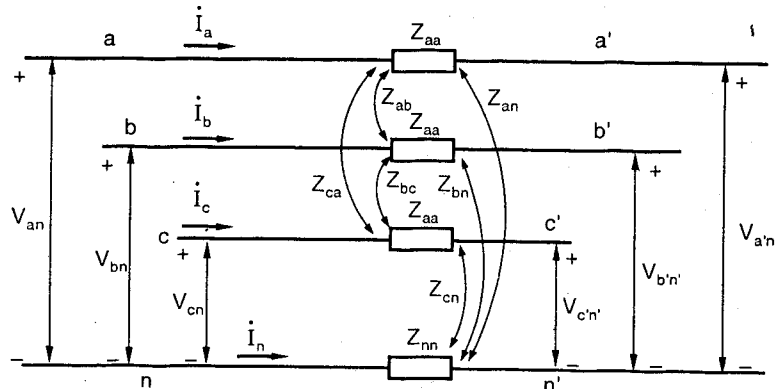
\dot{I}_a - dòng điện chạy trên đoạn dây $a-a'$; \dot{I}_b - dòng điện chạy trên đoạn dây $b-b'$

\dot{Z}_a - tổng trở tự thân của đoạn dây $a-a'$; \dot{Z}_b - tổng trở tự thân của đoạn dây $b-b'$

\dot{Z}_m - tổng trở do hồ cảm của hai dây dẫn $a-a'$ và $b-b'$.

2- Tổng trở các mạng thứ tự cho đường dây truyền tải đơn trên không dây ba pha

Chúng ta xem xét hình 3.32, biểu diễn một đoạn đường dây truyền tải điện trên không ba pha có dây trung tính. Chúng ta sẽ khảo sát đường dây lúc làm việc bình thường đối xứng và sẽ chuyển sang không cân bằng lúc xảy ra bất đối xứng. Đường dây truyền tải thực tế không hoàn toàn cân bằng nhưng ảnh hưởng của không đối xứng thường nhỏ, nhất là khi đường dây có chuyển vị.



Hình 3.32: Đường dây truyền tải ba pha trên không có dây trung tính

Mỗi pha có tổng trở tự thân là Z_{aa} , tổng trở tự thân của dây trung tính là Z_{nn} .

Khi dòng I_a , I_b , I_c trên mỗi pha không cân bằng, dây trung tính sẽ mang dòng điện. Do hiệu ứng hồ cảm dòng điện chạy trên bất cứ pha nào đều tạo điện thế cảm ứng lên các dòng pha lân cận và lên dây trung tính. Tương tự dòng trên dây trung tính I_n sẽ tạo điện thế cảm ứng lên các dây pha.

Giả sử hồ cảm giữa ba dây pha là đối xứng và giữa hai dây pha bất kỳ có tổng trở tương hỗ là Z_{ab} ($Z_{ab} = Z_{bc} = Z_{ca}$). Tương tự, tổng trở tương hỗ giữa dây trung tính và mỗi dây pha là Z_{an} ($Z_{an} = Z_{bn} = Z_{cn}$).

Từ hình 3.32 và áp dụng định luật Kirchhoff về điện áp, ta có:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{an} &= \dot{Z}_{aa}\dot{I}_a + \dot{Z}_{ab}(\dot{I}_b + \dot{I}_c) + \dot{Z}_{an}\dot{I}_n + \dot{V}_{a'n'} - (\dot{Z}_{nn}\dot{I}_n + \dot{Z}_{an}(\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c)) \\ \dot{V}_{bn} &= \dot{Z}_{aa}\dot{I}_b + \dot{Z}_{ab}(\dot{I}_a + \dot{I}_c) + \dot{Z}_{bn}\dot{I}_n + \dot{V}_{b'n'} - \dot{Z}_{nn}\dot{I}_n + \dot{Z}_{an}(\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c) \\ \dot{V}_{cn} &= \dot{Z}_{aa}\dot{I}_c + \dot{Z}_{ab}(\dot{I}_b + \dot{I}_a) + \dot{Z}_{cn}\dot{I}_n + \dot{V}_{c'n'} - \dot{Z}_{nn}\dot{I}_n + \dot{Z}_{an}(\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c) \end{aligned} \quad (3.86)$$

Độ sụt áp trên đoạn đường dây là:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{an} - \dot{V}_{a'n'} &= (\dot{Z}_{aa} - \dot{Z}_{an})\dot{I}_a + (\dot{Z}_{ab} - \dot{Z}_{an})(\dot{I}_b + \dot{I}_c) + (\dot{Z}_{an} - \dot{Z}_{nn})\dot{I}_n \\ \dot{V}_{bn} - \dot{V}_{b'n'} &= (\dot{Z}_{aa} - \dot{Z}_{an})\dot{I}_b + (\dot{Z}_{ab} - \dot{Z}_{an})(\dot{I}_a + \dot{I}_c) + (\dot{Z}_{an} - \dot{Z}_{nn})\dot{I}_n \\ \dot{V}_{cn} - \dot{V}_{c'n'} &= (\dot{Z}_{aa} - \dot{Z}_{an})\dot{I}_c + (\dot{Z}_{ab} - \dot{Z}_{an})(\dot{I}_a + \dot{I}_b) + (\dot{Z}_{an} - \dot{Z}_{nn})\dot{I}_n \end{aligned} \quad (3.87)$$

Dòng trên dây trung tính là tổng ba dòng pha nhưng ngược chiều nên ta có:

$$\dot{I}_n = -(\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c)$$

Thế vào các công thức (3.87) ta được

$$\begin{aligned} \dot{V}_{an} - \dot{V}_{a'n'} &= (\dot{Z}_{aa} + \dot{Z}_{nn} - 2\dot{Z}_{an})\dot{I}_a + (\dot{Z}_{ab} + \dot{Z}_{nn} - 2\dot{Z}_{an})(\dot{I}_b + \dot{I}_c) \\ \dot{V}_{bn} - \dot{V}_{b'n'} &= (\dot{Z}_{aa} + \dot{Z}_{nn} - 2\dot{Z}_{an})\dot{I}_b + (\dot{Z}_{ab} + \dot{Z}_{nn} - 2\dot{Z}_{an})(\dot{I}_a + \dot{I}_c) \\ \dot{V}_{cn} - \dot{V}_{c'n'} &= (\dot{Z}_{aa} + \dot{Z}_{nn} - 2\dot{Z}_{an})\dot{I}_c + (\dot{Z}_{ab} + \dot{Z}_{nn} - 2\dot{Z}_{an})(\dot{I}_a + \dot{I}_b) \end{aligned} \quad (3.88)$$

Công thức (3.88) trên cho thấy rằng sự hiện diện của dây trung tính đã thay đổi tổng trở tự thân và tổng trở tương hỗ của các dây pha thành các giá trị sau:

$$\begin{aligned} \dot{Z}_s &= \dot{Z}_{aa} + \dot{Z}_{nn} - 2\dot{Z}_{an} \\ \dot{Z}_m &= \dot{Z}_{ab} + \dot{Z}_{nn} - 2\dot{Z}_{an} \end{aligned} \quad (3.89)$$

Viết lại các công thức (3.88) dưới dạng ma trận:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{aa'} \\ \dot{V}_{bb'} \\ \dot{V}_{cc'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{V}_{an} - \dot{V}_{a'n'} \\ \dot{V}_{bn} - \dot{V}_{b'n'} \\ \dot{V}_{cn} - \dot{V}_{c'n'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_s & \dot{Z}_m & \dot{Z}_m \\ \dot{Z}_m & \dot{Z}_s & \dot{Z}_m \\ \dot{Z}_m & \dot{Z}_m & \dot{Z}_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix} \quad (3.90)$$

với $\dot{V}_{aa'}$, $\dot{V}_{bb'}$, $\dot{V}_{cc'}$ là độ sụt áp trên các dây pha.

Do công thức (3.90) không chứa dòng dây trung tính nên Z_s và Z_m có thể được xem như là thông số riêng các dây pha, mà không có liên quan nào với dây về trung tính.

Tương tự như phân tải tổng trở, có thể viết công thức (3.90) dưới dạng các thành phần đối xứng với pha chuẩn là pha a:

$$[\mathbf{A}] \begin{bmatrix} V_{aa'_0} \\ V_{aa'_1} \\ V_{aa'_2} \end{bmatrix} = \left\{ \begin{bmatrix} \dot{Z}_s - \dot{Z}_m & 0 & 0 \\ 0 & \dot{Z}_s - \dot{Z}_m & 0 \\ 0 & 0 & \dot{Z}_s - \dot{Z}_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{Z}_m & \dot{Z}_m & \dot{Z}_m \\ \dot{Z}_m & \dot{Z}_m & \dot{Z}_m \\ \dot{Z}_m & \dot{Z}_m & \dot{Z}_m \end{bmatrix} \right\} [\mathbf{A}] \begin{bmatrix} I_{a_0} \\ I_{a_1} \\ I_{a_2} \end{bmatrix} \quad (3.91)$$

với:
$$[\mathbf{A}] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$$

Thực hiện phép nhân $[\mathbf{A}]^{-1}$ với (3.91) ta được:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{aa'_0} \\ \dot{V}_{aa'_1} \\ \dot{V}_{aa'_2} \end{bmatrix} = [\mathbf{A}]^{-1} \left\{ (\dot{Z}_s - \dot{Z}_m) \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \dot{Z}_m \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \right\} [\mathbf{A}] \begin{bmatrix} \dot{I}_{a_0} \\ \dot{I}_{a_1} \\ \dot{I}_{a_2} \end{bmatrix} \quad (3.92)$$

Thực hiện các phép tính ma trận phương trình (3.92):

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{aa'_0} \\ \dot{V}_{aa'_1} \\ \dot{V}_{aa'_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_s + 2Z_m & 0 & 0 \\ 0 & Z_s - Z_m & 0 \\ 0 & 0 & Z_s - Z_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{a_0} \\ \dot{I}_{a_1} \\ \dot{I}_{a_2} \end{bmatrix} \quad (3.93)$$

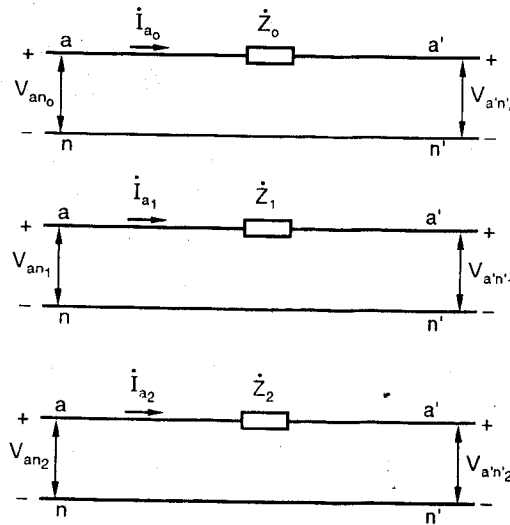
Như vậy, ta có các tổng trở thứ tự của đường dây như sau:

$$\begin{aligned}\dot{Z}_o &= \dot{Z}_s + 2\dot{Z}_m = \dot{Z}_{aa} + 2\dot{Z}_{ab} + 3\dot{Z}_{nn} - 6\dot{Z}_{an} \\ \dot{Z}_1 &= \dot{Z}_2 = \dot{Z}_s - \dot{Z}_m = \dot{Z}_{aa} - \dot{Z}_{ab}\end{aligned}\quad (3.94)$$

Từ công thức (3.93) và (3.94) các thành phần thứ tự của độ sụt áp giữa hai đầu đoạn dây có thể được viết thành ba phương trình đơn giản sau:

$$\begin{aligned}\dot{V}_{aa'o} &= \dot{V}_{an_o} - \dot{V}_{a'n'o} = \dot{Z}_o \dot{I}_{a_o} \\ \dot{V}_{aa'1} &= \dot{V}_{an_1} - \dot{V}_{a'n'1} = \dot{Z}_1 \dot{I}_{a_1} \\ \dot{V}_{aa'2} &= \dot{V}_{an_2} - \dot{V}_{a'n'2} = \dot{Z}_2 \dot{I}_{a_2}\end{aligned}\quad (3.95)$$

Theo mô hình đường dây ngắn ba pha hoàn toàn đối xứng như hình 3.32, ta thấy rằng, mỗi phương trình thứ tự thuận, thứ tự nghịch và thứ tự không đều không liên quan đến hai phương trình còn lại, và các mạch thứ tự thuận, thứ tự nghịch, thứ tự không tương ứng có thể được vẽ độc lập không có tương hỗ với nhau như hình 3.33. Không kể tính đơn giản của mô hình đường dây hình 3.32, sự khảo sát ở trên đã cho thấy các đặc tính quan trọng của các tổng trở thứ tự có thể áp dụng cho nhiều mô hình đường dây phức tạp trong thực tế. Chẳng hạn, tổng trở thứ tự thuận và tổng trở thứ tự nghịch của đường dây thì bằng nhau và chúng không phụ thuộc tổng trở dây trung tính \dot{Z}_{nn} và \dot{Z}_{an} . Hai giá trị \dot{Z}_{nn} và \dot{Z}_{an} chỉ tồn tại trong công thức tính tổng trở thứ tự không Z_o , như công thức (3.94). Nói cách khác, các thông số tổng trở dây trung tính trở về chỉ được tính đến trong giá trị của tổng trở thứ tự không của đường dây truyền tải mà không ảnh hưởng đến tổng trở thứ tự thuận hay tổng trở thứ tự nghịch.



Hình 3.33: Các mạch thứ tự của đường dây truyền tải trên không có dây trung tính

Hầu hết đường dây truyền tải có ít nhất là hai đường dây phía trên cao gọi là các dây đất (dây chống sét); hai dây này được nối đất lặp lại tại những vị trí cách đều nhau dọc theo chiều dài đường dây. Các dây đất kết hợp với đường trở về (đất) để tạo thành một dây trung tính có các thông số tổng trở, như là Z_{nn} và Z_{an} .

phụ thuộc vào điện trở đất. Đa số các tài liệu chuyên môn đều trình bày, như chúng ta đã chứng minh ở đây, rằng các thông số tổng trở của đường trung tính trở về đều được tính đến trong tổng trở thứ tự không của đường dây. Bằng cách coi dây trung tính hệ (3.33) như đường trở về đối với các thành phần thứ tự không của các dòng điện không đối xứng và thông số của dây trung tính đã gồm trong giá trị tổng trở thứ tự không, lúc đó chúng ta có thể xem đất như một dây dẫn lý tưởng. Các điện thế trong hình 3.34 được hiểu là so với tham chiếu là đất lý tưởng và chúng ta có thể viết:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{aa'_o} &= \dot{V}_{a_o} - \dot{V}_{a'_o} = \dot{Z}_o \dot{I}_{a_o} \\ \dot{V}_{aa'_1} &= \dot{V}_{a_1} - \dot{V}_{a'_1} = \dot{Z}_1 \dot{I}_{a_1} \\ \dot{V}_{aa'_2} &= \dot{V}_{a_2} - \dot{V}_{a'_2} = \dot{Z}_2 \dot{I}_{a_2} \end{aligned} \quad (3.96)$$

với các điện thế \dot{V}_a và $\dot{V}_{a'}$ được tính so với đất lý tưởng.

Khi xây dựng các công thức điện cảm và điện dung của đường dây truyền tải có chuyển vị, ta giả thiết rằng dòng điện ba pha cân bằng và nhận được kết quả là tổng trở thứ tự thuận bằng tổng trở thứ tự nghịch đường dây. Khi chỉ có dòng thứ tự không chạy trên đường dây truyền tải, dòng điện trên mỗi pha là như nhau. Dòng điện trở về qua đất, qua các dây trên không nối đất, hay cả hai. Bởi vì dòng thứ tự không giống nhau trên cả ba pha, nên từ trường gây bởi dòng thứ tự không lớn hơn nhiều so với từ trường gây bởi dòng thứ tự thuận hay thứ tự nghịch, và do đó, kháng trở thứ tự không của đường dây truyền tải trên không lớn gấp 2 đến 3,5 lần kháng trở thứ tự thuận. Tỷ số này có thể cao hơn đối với đường dây lộ kép và đường dây không có dây chống sét.

Ví dụ 3.6. Trên hình 3.32 cho các giá trị điện áp đầu cực về hai phía của đường dây như sau:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{an} &= 182,0 + j70,0 \text{ kV} & \dot{V}_{a'n'} &= 154,0 + j28,0 \text{ kV} \\ \dot{V}_{bn} &= 72,24 - j32,62 \text{ kV} & \dot{V}_{b'n'} &= 44,24 - j74,62 \text{ kV} \\ \dot{V}_{cn} &= -170,24 + j88,62 \text{ kV} & \dot{V}_{c'n'} &= -198,24 + j46,62 \text{ kV} \end{aligned}$$

Các giá trị tổng trở được cho:

$$\dot{Z}_{aa} = j60\Omega; \dot{Z}_{ab} = j20\Omega; \dot{Z}_{nn} = j80\Omega; \dot{Z}_{an} = j30\Omega$$

Dựa vào các giá trị đã cho, xác định các dòng điện dây I_a, I_b, I_c dùng các thành phần đối xứng. Giải lại không dùng các thành phần đối xứng để đối chiếu kết quả.

Giải. Tính toán các tổng trở thứ tự:

$$\dot{Z}_o = \dot{Z}_{aa} + 2\dot{Z}_{ab} + 3\dot{Z}_{nn} - 6\dot{Z}_{an} = j60 + j40 + j240 - j180 = j160\Omega$$

$$\dot{Z}_1 = \dot{Z}_2 = \dot{Z}_{aa} - \dot{Z}_{ab} = j60 - j20 = j40\Omega$$

Các thành phần thứ tự của độ sụt áp trên đường dây:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{aa'_0} \\ \dot{V}_{aa'_1} \\ \dot{V}_{aa'_2} \end{bmatrix} = \mathbf{A}^{-1} \begin{bmatrix} \dot{V}_{an} - \dot{V}_{a'n'} \\ \dot{V}_{bn} - \dot{V}_{b'n'} \\ \dot{V}_{cn} - \dot{V}_{c'n'} \end{bmatrix} = \mathbf{A}^{-1} \begin{bmatrix} (182-154) + j(70-28) \\ (72,24-44,24) - j(32,62-74,62) \\ -(170,24-198,24) + j(88,62-46,62) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 28,0 + j42,0 \\ 28,0 + j42,0 \\ 28,0 + j42,0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 28,0 + j42,0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kV}$$

Thay các giá trị điện áp tính được vào công thức (3.95), ta có:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{aa'_0} &= 28,0 + j42,0 = j160 \dot{I}_{a_0} \\ \dot{V}_{aa'_1} &= 0 = j40 \dot{I}_{a_1} \\ \dot{V}_{aa'_2} &= 0 = j40 \dot{I}_{a_2} \end{aligned}$$

Từ đây ta xác định được các thành phần thứ tự của dòng điện pha a và các dòng điện dây như sau:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{a_0} &= 262,5 - j175 \text{ A}; \quad \dot{I}_{a_1} = \dot{I}_{a_2} = 0 \\ \dot{I}_a &= \dot{I}_b = \dot{I}_c = 262,5 - j175 \text{ A} \end{aligned}$$

Giải lại không dùng các thành phần đối xứng:

Tính các tổng trở tự thân và tổng trở hỗ cảm tương đương ở công thức (3.88):

$$\begin{aligned} \dot{Z}_S &= \dot{Z}_{aa} + \dot{Z}_{nn} - 2\dot{Z}_{an} = j60 + j80 - j60 = j80 \Omega \\ \dot{Z}_m &= \dot{Z}_{ab} + \dot{Z}_{nn} - 2\dot{Z}_{an} = j20 + j80 - j60 = j40 \Omega \end{aligned}$$

Tính các dòng điện dây theo (3.89) không dùng các thành phần đối xứng:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{aa'} \\ \dot{V}_{bb'} \\ \dot{V}_{cc'} \end{bmatrix} = (28 + j42) \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j80 & j40 & j40 \\ j40 & j80 & j40 \\ j40 & j40 & j80 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j80 & j40 & j40 \\ j40 & j80 & j40 \\ j40 & j40 & j80 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 28 + j42 \\ 28 + j42 \\ 28 + j42 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} (262,5 - j175) 10^{-3}, \text{ kA}$$

Kết quả tính toán theo hai cách hoàn toàn phù hợp với nhau.

Xác định tổng trở thứ tự đường dây đơn ba pha:

Tổng trở thứ tự của một dây dẫn có đường dây về là đất và tổng trở tương hỗ giữa hai dây dẫn song song có đường về đất chung được tính theo công thức Catson là:

$$Z_S = R + 0,000988f + j0,0029f \log \frac{D_d}{r_{td}}, \quad (\Omega / km) \quad (3.97)$$

$$Z_m = 0,000988f + j0,0029f \log \frac{D_d}{D}, \quad (\Omega / km) \quad (3.98)$$

với: R - điện trở dây dẫn, (Ω / km)

r_{td} - bán kính trung bình hình học của một dây dẫn đơn

D - khoảng cách giữa hai dây song song; $f = 50\text{Hz}$ - tần số hệ thống;

$D_d = 216 \sqrt{\frac{\rho}{f}}$ với ρ - điện trở đất (Ω / cm^3) là khoảng cách tương đương dây dẫn

với đất là hàm số của điện trở đất và tần số.

Giá trị ρ có thể tham khảo ở bảng 3.1.

Bảng 3.1: Điện trở đất

Tình trạng đất	$\rho(\Omega.m)$
Nước biển	0,01 - 1,0
Đất ẩm	10 - 100
Đất ẩm vừa	100
Đất khô	1000
Đất đá	10^7
Cát, sỏi	10^9

Tổng trở thứ tự của đường dây mạch đơn ba pha đối xứng được tính theo (3.94):

$$\dot{Z}_1 = \dot{Z}_2 = \dot{Z}_S - \dot{Z}_m; \quad \dot{Z}_0 = \dot{Z}_S + 2\dot{Z}_m \quad (3.100)$$

Thay phương trình (3.97) và (3.98) vào (3.100), ta được:

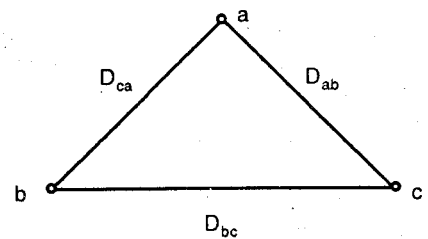
$$\dot{Z}_1 = \dot{Z}_2 = R + j0,0145f \log \frac{D_d}{r_{td}}$$

$$\dot{Z}_0 = R + 0,148 + j0,434 \log \frac{D_d}{\sqrt[3]{D_{tb}^2}} = R + 0,148 + j0,434 \log \frac{D_d}{r_{td}}$$

với $r_{td} = \sqrt[3]{D_{tb}^2}$ là bán kính trung bình hình học của một nhóm dây dẫn.

Nếu đường dây ba pha không đối xứng, để đảm bảo tính đối xứng đường dây người ta sẽ chuyển vị trí các pha trên mỗi 1/3 chiều dài đường dây. Nếu gọi $D_{ab} - D_{bc} - D_{ca}$ là khoảng cách giữa các pha thì D của cả một đường dây chính là khoảng cách trung bình hình học giữa các dây dẫn của đường dây ba pha:

$$D_{tb} = \sqrt[3]{D_{ab} \cdot D_{bc} \cdot D_{ca}}$$

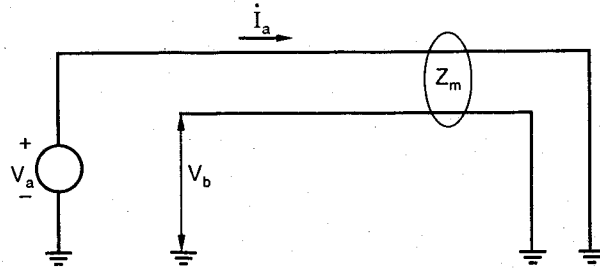


Hình 3.34

Bố trí ba pha đường dây

3- Tính toán hồ cảm trên đường dây một pha khi có sự cố

Xem xét hệ thống một pha đơn giản như hình 3.35, khi có dòng sự cố chạy trên dây dẫn a , chúng ta tính toán giá trị điện áp đặt trên dây dẫn b . Dây a và b có chung đường trở về đất.



Hình 3.35: Hồ cảm của hai đường dây một pha song song

Biểu thức điện áp cảm ứng trên đường b do dòng điện chạy trên đường dây a :

$$\dot{V}_b = \dot{Z}_m \dot{I}_a$$

với: V_b - điện thế do hồ cảm dọc theo chiều dài đường dây b

Z_m - tổng trở hồ cảm giữa hai đường dây. Z_m được tính như sau:

Với điện trở suất $\rho = 100 \Omega \cdot m$ và tần số hệ thống điện là $50Hz$, ta có:

$$\dot{Z}_m = 0,0592 + j0,1450 \log \frac{930}{D_{ab}(m)}, \Omega/km$$

Nếu khoảng cách giữa hai dây dẫn là $20m$ ($D_{ab} = 20m$):

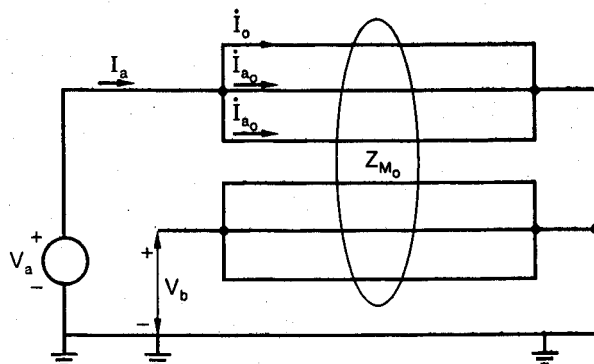
$$\dot{Z}_m = 0,0592 + j0,24, \Omega/km$$

Như vậy, ứng với khoảng cách $20m$ giữa hai dây a và b , dòng điện $1000A$ trên dây a sẽ gây ra phân bố thế tương ứng trên dây b là $250V/km$. Vậy điện áp cảm ứng trên chiều dài $200km$ của dây b sẽ là $50 kV$.

4- Ảnh hưởng của hồ cảm thứ tự không trên đường dây ba pha phức tạp

Đối với các loại đường dây ba pha song song hay đường dây ba pha đơn có dây chống sét, do ảnh hưởng của hồ cảm giữa các đường dây với nhau, nên các tổng trở thứ tự của mỗi đường dây sẽ không giống như khi chúng vận hành độc lập. Trên thực tế, hồ cảm trong hệ thống thứ tự thuận và thứ tự nghịch tương đối nhỏ và có thể bỏ qua khi xem xét cho bảo vệ thông thường. Tổng trở hồ cảm thứ tự thuận và thứ tự nghịch nhỏ hơn 5% so với tổng trở tự thân đối với đường dây không chuyển vị và nhỏ hơn 3% đối với đường dây có chuyển vị.

Quan sát hình 3.36 có hai đường dây ba pha song song, dòng điện thứ tự không trên cả ba pha là như nhau, và do đó, hiệu ứng tương hồ gây bởi ba dây pha sẽ tăng gấp ba lần so với khi nó được gây ra bởi một dây pha. Trong trường hợp này, ba dây pha của mỗi một đường dây song song có thể được thay thế bởi một dây dẫn đơn. Khi đó, tương hồ giữa các đường dây và giữa đường dây với dây chống sét sẽ được quy về mô hình một pha đã khảo sát.



Hình 3.36: Hồ cảm thứ tự không giữa hai đường dây ba pha song song

Điện thế cảm ứng trên đường dây b hình 3.36 bằng ba lần của hình 3.35:

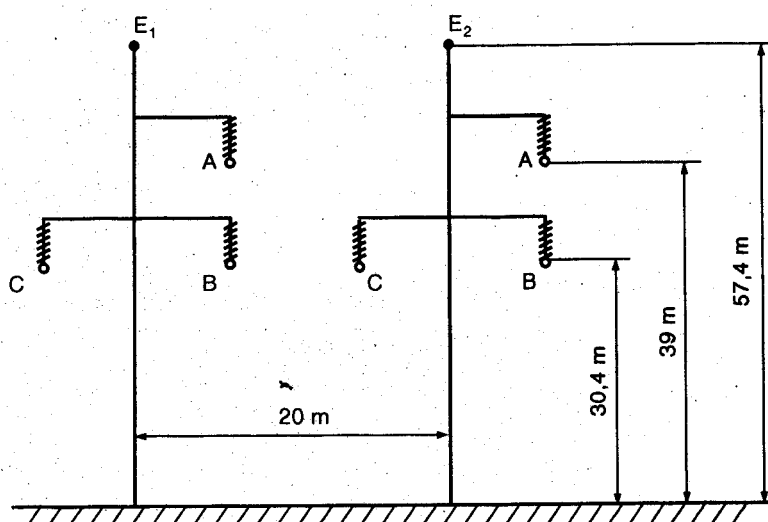
$$\dot{V}_b = 3\dot{I}_{a_0} \dot{Z}_m$$

Do đó, tổng trở hồ cảm thứ tự không:
$$\dot{Z}_{M_o} = \frac{\dot{V}_{b_o}}{\dot{I}_{a_0}} = 3Z_m \quad (3.101)$$

với Z_m là giá trị tổng trở hồ cảm giữa hai dây dẫn song song trong trường hợp một pha đã khảo sát.

Tổng trở hồ cảm thứ tự không có thể đạt đến 70% tổng trở thứ tự không đường dây khi các đường dây song song được mắc cùng cột.

Để tính toán chính xác \dot{Z}_{M_o} phải xem xét khoảng cách thực tế giữa các dây dẫn của đường dây đa mạch và đặc tính của chúng, số lượng và vị trí nối đất của dây chống sét. Chẳng hạn, đối với hai đường dây song song 380 kV có dây chống sét hình 3.37, bằng chương trình đo đạc và tính toán đặc biệt, người ta đã đưa ra được một số kết quả trong bảng 3.2.



Hình 3.37: Hai đường dây song song 380 kV.

Dây dẫn pha - $4 \times 240 \text{ mm}^2$ ACSR; Dây đất - 240 mm^2 ACSR

Bảng 3.2: Các giá trị tổng trở của hai đường dây song song

	Điện trở đất 100 Ω m	Điện trở đất 1000 Ω m
Tổng trở thứ tự thuận (Ω /km)	0,032+j0,303	0,032+j0,303
Tổng trở thứ tự không (Ω /km)	0,202+j0,88	0,236+j0,96
Dung kháng thứ tự thuận (nF/km)	12,42	12,42
Dung kháng thứ tự không (nF/km)	7,95	7,95
Tổng trở hỗ tương thứ tự không (Ω /km)	0,169+j0,523	0,202+j0,599
Tổng trở hỗ tương thứ tự thuận (nghịch) (Ω /km)	0,01-j0,019	-0,01-j0,019
Dung kháng hỗ tương thứ tự thuận (nF/km)	0,76	0,76
Dung kháng hỗ tương thứ tự không (nF/km)	3	3

Như vậy, đối với các loại đường dây ba pha phức tạp, tổng trở thứ tự thuận và thứ tự nghịch của mỗi đường dây coi như không đổi và bằng với giá trị lúc vận hành đơn. Nhưng tổng trở thứ tự không thì cần phải thay đổi do ảnh hưởng của hồ cảm thứ tự không.

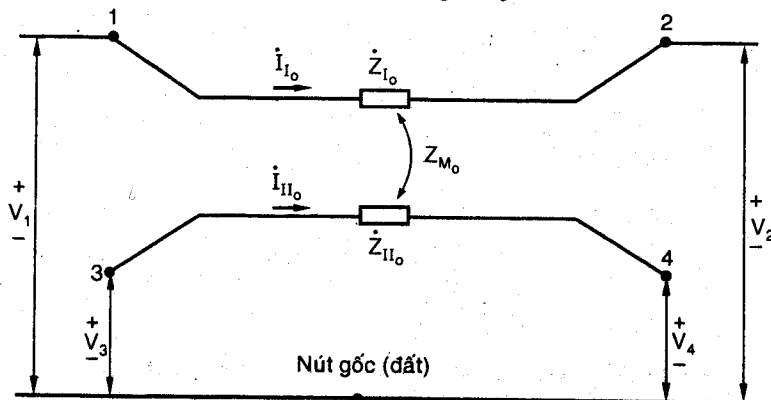
Do đó cần phải khảo sát và xây dựng các mạch thứ tự không cho các loại đường dây phức tạp, như đường dây lộ kép, đường dây đơn có dây chống sét v.v... khi có và không có sự cố xảy ra trên đường dây.

5- Sơ đồ thứ tự không của các loại đường dây (mô hình cho đường dây ngắn)

Có thể chia hai đường dây song song thành ba loại: hai đường dây song song không có chung thanh cái (hay trạm nối) nào, hai đường dây song song có chung một thanh cái (hay trạm nối) ở một đầu đường dây và hai đường dây song song có chung hai thanh cái (hay trạm nối) ở hai đầu đường dây. Trường hợp đơn giản nhất và dễ tính toán bảo vệ nhất là trường hợp hai đường dây có chung hai thanh cái hay đường dây lộ kép. Ngoài ra, trong mỗi trường hợp, cần xem xét ảnh hưởng của dây chống sét.

a) Hai đường dây song song không có chung thanh cái nào

Vị trí sự cố xảy ra không nằm trên đường dây:



Hình 3.38: Mạng tương đương thứ tự không hai đường dây song song không có chung thanh cái

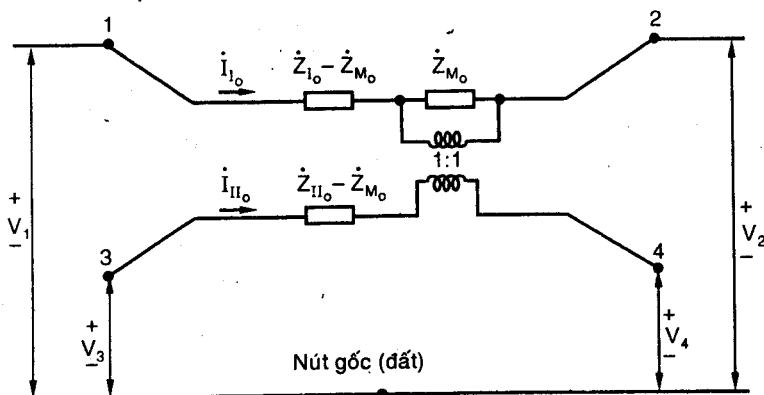
Hình 3.38 biểu diễn hai đường dây song song không có chung thanh cái nào. Ta viết phương trình độ sụt áp thứ tự không trên mỗi đường dây như sau:

$$\dot{V}_{12} = \dot{I}_{I_0} \dot{Z}_{I_0} + \dot{I}_{II_0} \dot{Z}_{M_0}; \quad \dot{V}_{34} = \dot{I}_{II_0} \dot{Z}_{II_0} + \dot{I}_{I_0} \dot{Z}_{M_0} \quad (3.102)$$

Biến đổi các phương trình (3.102) bằng cách cộng vào vế phải phương trình thứ nhất biểu thức $\dot{I}_{I_0} \dot{Z}_{II_0} - \dot{I}_{I_0} \dot{Z}_{M_0}$ và cộng vào vế phải phương trình thứ hai biểu thức $\dot{I}_{II_0} \dot{Z}_{M_0} - \dot{I}_{II_0} \dot{Z}_{M_0}$, ta nhận được các phương trình:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{12} &= \dot{I}_{I_0} (\dot{Z}_{I_0} - \dot{Z}_{M_0}) + (\dot{I}_{I_0} + \dot{I}_{II_0}) \dot{Z}_{M_0} \\ \dot{V}_{34} &= \dot{I}_{II_0} (\dot{Z}_{II_0} - \dot{Z}_{M_0}) + (\dot{I}_{I_0} + \dot{I}_{II_0}) \dot{Z}_{M_0} \end{aligned} \quad (3.103)$$

Với hai phương trình trên, mạch hai đường dây song song có hồ cảm không có chung thanh cái có thể tương đương với mạch mô hình vật lý như trên hình 3.39, trong đó một máy biến áp lý tưởng 1:1 được dùng để đưa vào mỗi đường dây một độ sụt áp giống nhau gây bởi tổng trở hồ cảm. Dọ dòng điện chạy vào tổng trở hồ cảm là tổng hai dòng dây nên tổng trở tự thân thứ tự không của mỗi đường dây phải được biến đổi cho phù hợp như hình 3.39.



Hình 3.39: Mạch tương đương vật lý đối với hai đường dây song song không chung thanh cái

Người ta cũng đã xây dựng một mạch tương đương khác cho trường hợp này mà không phải dùng đến máy biến áp lý tưởng 1:1. Tuy nhiên, đây lại là một mạch có chứa các tổng trở không phải là tổng trở thực và có sơ đồ khá phức tạp gồm những nhánh chéo. Mạch tương đương này được xây dựng theo các phương trình và ma trận tổng dẫn:

Viết lại công thức (3.102) theo các dòng điện, ta được:

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{I_0} \\ \dot{I}_{II_0} \end{bmatrix} = [\mathbf{Z}]^{-1} \begin{bmatrix} \dot{V}_1 - \dot{V}_2 \\ \dot{V}_3 - \dot{V}_4 \end{bmatrix} = \frac{1}{\det[\mathbf{Z}]} \begin{bmatrix} \dot{Z}_{II_0} & -\dot{Z}_{M_0} \\ -\dot{Z}_{M_0} & \dot{Z}_{I_0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_1 - \dot{V}_2 \\ \dot{V}_3 - \dot{V}_4 \end{bmatrix} \quad (3.104)$$

ở đây
$$[\mathbf{Z}] = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{I_0} & \dot{Z}_M \\ \dot{Z}_M & \dot{Z}_{II_0} \end{bmatrix}$$

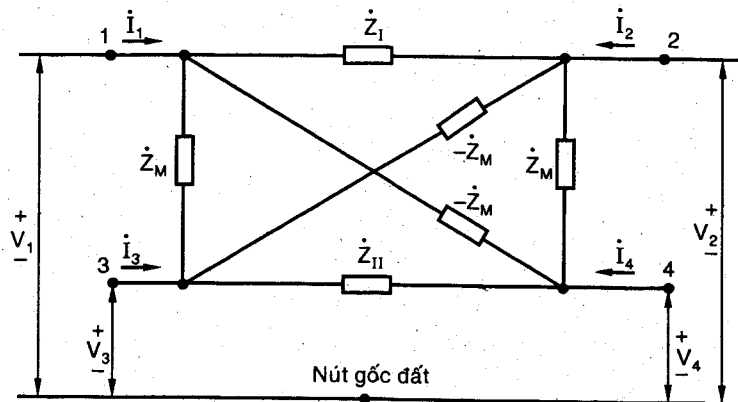
Coi mạch hai đường dây song song trên như một mạng bốn cửa, ta có thể viết phương trình cho mạch như sau:

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \\ \dot{I}_3 \\ \dot{I}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{I}_{I_0} \\ -\dot{I}_{I_0} \\ \dot{I}_{II_0} \\ -\dot{I}_{II_0} \end{bmatrix} = \frac{1}{\det[\mathbf{Z}]} \begin{bmatrix} \dot{Z}_{II_0} & -\dot{Z}_{II_0} & -\dot{Z}_{M_0} & \dot{Z}_{M_0} \\ -\dot{Z}_{II_0} & \dot{Z}_{II_0} & \dot{Z}_{M_0} & -\dot{Z}_{M_0} \\ -\dot{Z}_{M_0} & \dot{Z}_{M_0} & \dot{Z}_{I_0} & -\dot{Z}_{I_0} \\ \dot{Z}_{M_0} & -\dot{Z}_{M_0} & -\dot{Z}_{I_0} & \dot{Z}_{I_0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \\ \dot{V}_3 \\ \dot{V}_4 \end{bmatrix} \quad (3.105)$$

với $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_3, \dot{I}_4$ lần lượt là các dòng điện chạy vào các nút ①, ②, ③, và ④ trên hình 3.38.

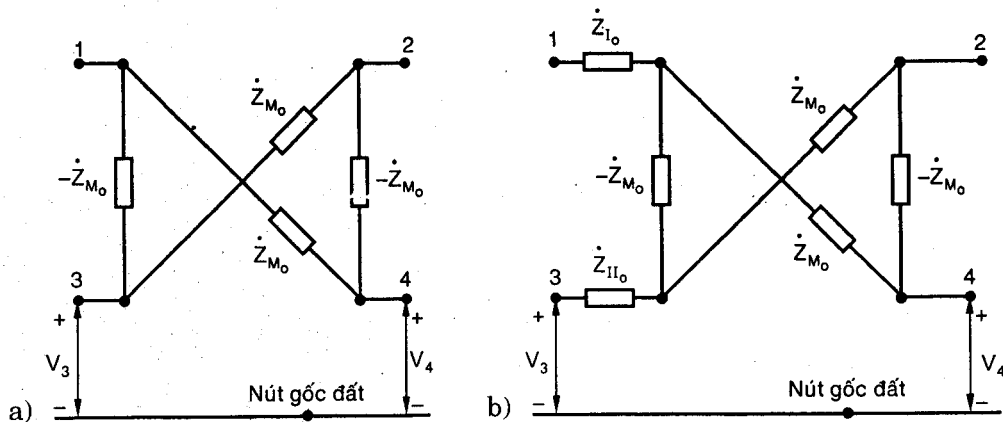
Từ các giá trị tổng trở tính toán được từ ma trận tổng dẫn trong công thức (3.105) trên, người ta đã biểu diễn được mạch tương đương bốn cửa cho trường hợp này như hình 3.40, trong đó các giá trị tổng trở $\dot{Z}_I, \dot{Z}_{II}, \dot{Z}_M$ được tính như sau:

$$\begin{aligned} \dot{Z}_I &= \dot{Z}_{I_0} - \frac{\dot{Z}_{M_0}^2}{\dot{Z}_{II_0}} = \frac{\dot{Z}_{I_0} \dot{Z}_{II_0} - \dot{Z}_{M_0}^2}{\dot{Z}_{II_0}} \\ \dot{Z}_{II} &= \dot{Z}_{II_0} - \frac{\dot{Z}_{M_0}^2}{\dot{Z}_{I_0}} = \frac{\dot{Z}_{I_0} \dot{Z}_{II_0} - \dot{Z}_{M_0}^2}{\dot{Z}_{I_0}} \\ \dot{Z}_M &= \frac{\dot{Z}_{I_0} \dot{Z}_{II_0}}{\dot{Z}_{M_0}} - \dot{Z}_{M_0} = \frac{\dot{Z}_{II_0} \dot{Z}_{I_0} - \dot{Z}_{M_0}^2}{\dot{Z}_{M_0}} \end{aligned} \quad (3.106)$$



Hình 3.40: Mạng tương đương bốn cửa của trường hợp hai đường dây song song không có chung thanh cái (trạm nối)

Trong các công thức (3.106), nếu cho $Z_{I_0} \rightarrow 0, Z_{II_0} \rightarrow 0$, ta được $Z_I \rightarrow \infty, Z_{II} \rightarrow \infty$, và $Z_M \rightarrow -Z_{M_0}$. Mặt khác, khi $Z_{I_0} \rightarrow 0, Z_{II_0} \rightarrow 0$ thì mạch tương đương hình 3.40 chỉ còn biểu diễn máy biến áp lý tưởng 1:1. Như vậy, ta có thể biểu diễn máy biến áp lý tưởng bởi mạch trên hình 3.41. Mạch hình 3.41a chính là mạch hình 3.40 đã thay đổi các giá trị tổng trở cho phù hợp với việc nối tắt tổng trở Z_{I_0} và Z_{II_0} . Nếu thêm \dot{Z}_{I_0} và \dot{Z}_{II_0} trở lại ta được mạng tương đương hình 3.41b.

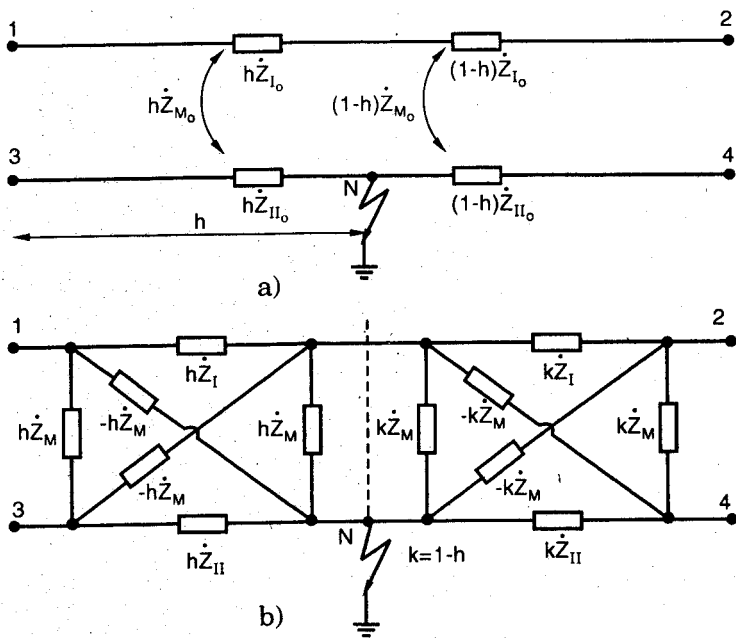


Hình 3.41: Mạch tương đương đơn giản hóa

Vị trí sự cố nằm trên một đường dây:

Mạch biểu diễn tình trạng này được vẽ trên hình 3.42a. Ở đây, h là tỷ số giữa khoảng cách từ một đầu đường dây (nút ①) đến vị trí sự cố N so với chiều dài đường dây.

Dựa theo sự phân tích và mạng tương đương trên hình 3.40, người ta biểu diễn mạch tương đương thứ tự không cho trường hợp có sự cố xảy ra trên một đường dây của hai đường dây song song không cùng chung thanh cái (trạm nối) như hình 3.42b.



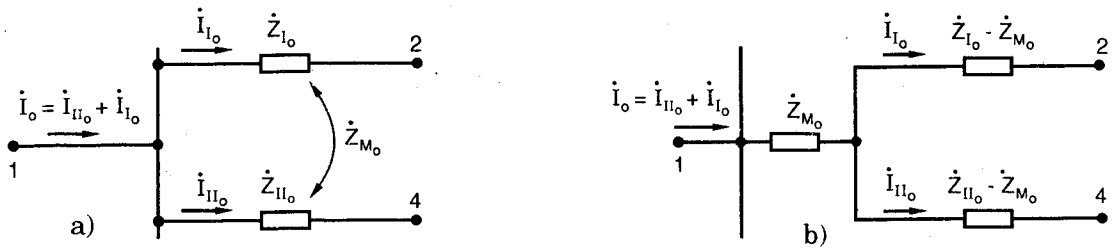
Hình 3.42: Mạch tương đương có hai đường dây song song khi có sự cố trên đường dây ($k = 1 - h$)

b) Hai đường dây song song chỉ có chung một thanh cái (trạm nối)

Vị trí sự cố không nằm trên đường dây:

Hình 3.43a biểu diễn mạch hai đường dây song song có chung một thanh cái.

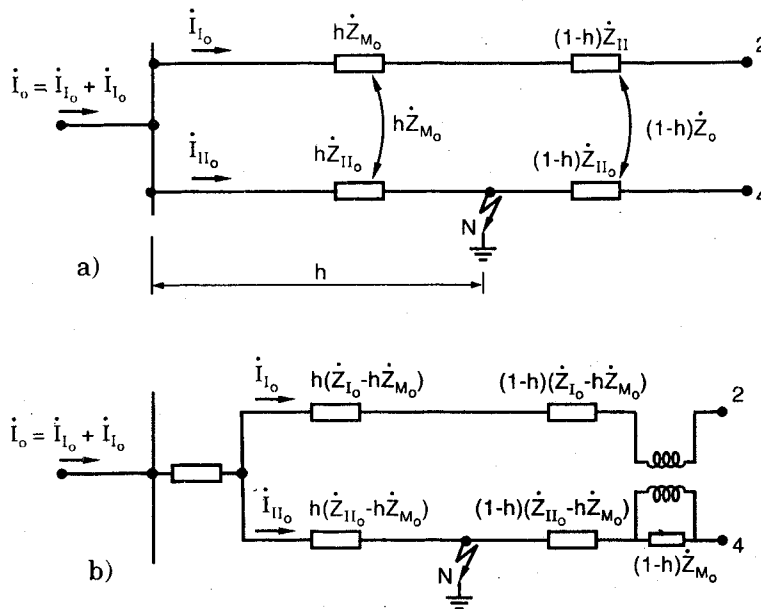
Dựa theo các phương trình (3.103) của trường hợp hai đường dây song song không có chung thanh cái, áp dụng cho trường hợp này, ta có được mạch tương đương cho hai đường dây song song có chung một thanh cái được vẽ ở hình 3.43.



Hình 3.43: Mạch tương đương thứ tự không hai đường dây song song có chung một thanh cái (trạm nối)

Vị trí sự cố nằm trên một đường dây:

Hình 3.44 vẽ mạch tương đương với đường dây song song chung một đầu khi sự cố trên một đường dây



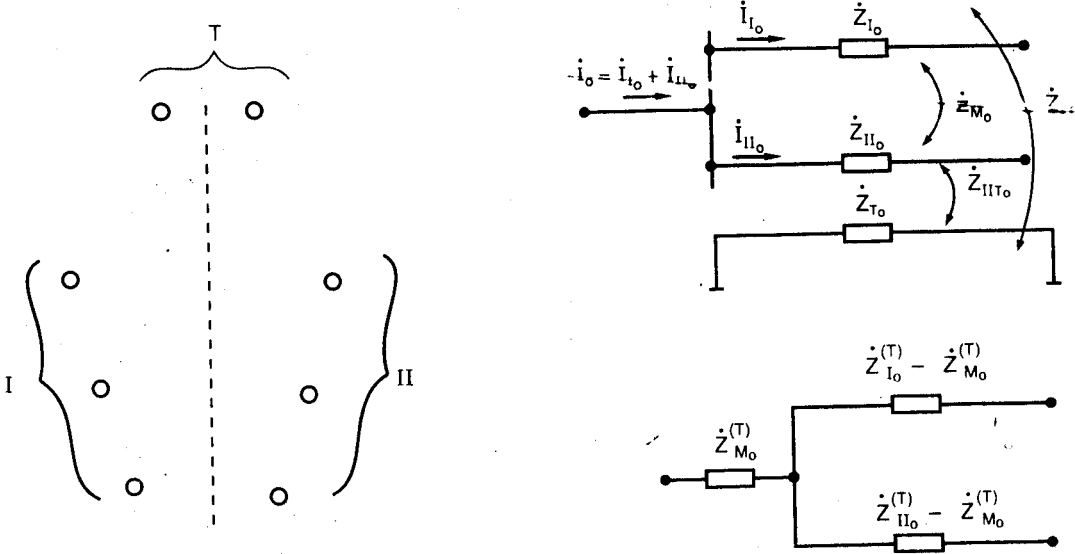
Hình 3.44: Mạch tương đương đường dây song song chung một đầu có sự cố trên một đường dây

c) Hai đường dây song song có chung một thanh cái và cùng dây chống sét

Dạng bố trí và sơ đồ thay thế tương đương cho ở hình 3.45.

với:
$$\dot{Z}_{I_0}^T = \dot{Z}_{I_0} - \frac{\dot{Z}_{IT_0}^2}{\dot{Z}_{T_0}}; \quad \dot{Z}_{II_0}^T = \dot{Z}_{II_0} - \frac{\dot{Z}_{IIT_0}^2}{\dot{Z}_{T_0}}; \quad \dot{Z}_{M_0}^T = \dot{Z}_{M_0} - \frac{\dot{Z}_{IT_0} \dot{Z}_{IIT_0}}{\dot{Z}_{T_0}}$$

Bằng cách tách đường dây thành hai phần nằm hai bên vị trí sự cố, phần bên trái tương tự như hình 3.44, phần bên phải tương tự như hình 3.40, ta xây dựng được mạch tương đương thứ tự không cho trường hợp này như ở hình 3.45.

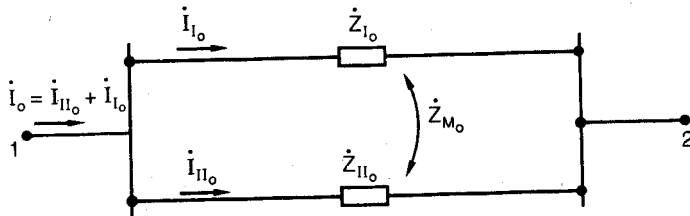


Hình 3.45: Mạch tương đương thứ tự không hai đường dây song song có chung một thanh cái và dây chống sét

d) Hai đường dây song song cùng chung hai thanh cái ở hai đầu đường dây (đường dây lộ kép)

Vị trí sự cố không nằm trên đường dây:

Từ hình 3.38, nếu ta nối nút ① với nút ③, nút ② với nút ④, ta sẽ có mạch biểu diễn cho trường hợp này, được vẽ trong hình 3.46.



Hình 3.46: Mạch biểu diễn hai đường dây lộ kép có hở cảm

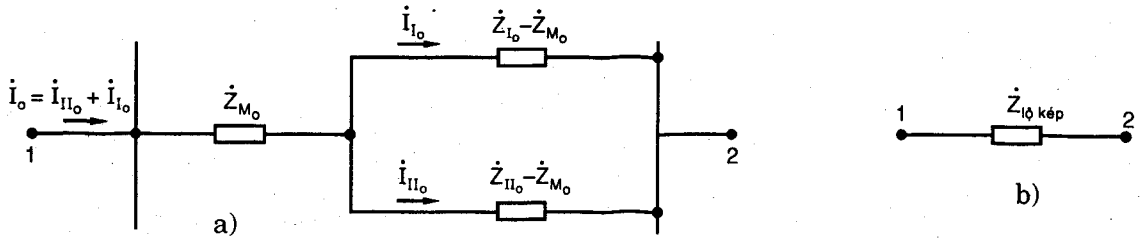
Viết lại hai phương trình (3.102) nhưng thay V_{34} bởi V_{12} , ta có được hai phương trình mô tả mạch hình 3.46:

$$\dot{V}_{12} = \dot{I}_{I_0} \dot{Z}_{I_0} + \dot{I}_{II_0} \dot{Z}_{M_0}; \quad \dot{V}_{12} = \dot{I}_{II_0} \dot{Z}_{II_0} + \dot{I}_{I_0} \dot{Z}_{M_0} \quad (3.107)$$

Tương tự như phương trình (3.104), các phương trình (3.107) được biến đổi:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{12} &= \dot{I}_{I_0} (\dot{Z}_{I_0} - \dot{Z}_{M_0}) + (\dot{I}_{II_0} + \dot{I}_{I_0}) \dot{Z}_{M_0} \\ \dot{V}_{12} &= \dot{I}_{II_0} (\dot{Z}_{II_0} - \dot{Z}_{M_0}) + (\dot{I}_{I_0} + \dot{I}_{II_0}) \dot{Z}_{M_0} \end{aligned} \quad (3.108)$$

Từ các phương trình (3.108), ta có thể biểu diễn tương đương cho trường hợp này bởi mạch thứ tự không trên hình 3.47.



Hình 3.47: Mạch tương đương thứ tự không đối với trường hợp đường dây lộ kép

Trừ hai phương trình (3.108) cho nhau vế theo vế, ta được quan hệ giữa hai dòng điện dây:

$$\dot{I}_{I_o} = \dot{I}_{II_o} \frac{\dot{Z}_{II_o} - \dot{Z}_{M_o}}{\dot{Z}_{I_o} - \dot{Z}_{M_o}} \quad (3.109)$$

$$\Rightarrow \dot{I}_{I_o} + \dot{I}_{II_o} = \dot{I}_{II_o} \left(1 + \frac{\dot{Z}_{II_o} - \dot{Z}_{M_o}}{\dot{Z}_{I_o} - \dot{Z}_{M_o}}\right) = \dot{I}_{II_o} \frac{\dot{Z}_{I_o} + \dot{Z}_{II_o} - 2\dot{Z}_{M_o}}{\dot{Z}_{I_o} - \dot{Z}_{M_o}} = \dot{I}_{I_o} \frac{\dot{Z}_{I_o} + \dot{Z}_{II_o} - 2\dot{Z}_{M_o}}{\dot{Z}_{II_o} - \dot{Z}_{M_o}} \quad (3.110)$$

$$\Rightarrow \dot{I}_{I_o} = (\dot{I}_{I_o} + \dot{I}_{II_o}) \frac{\dot{Z}_{II_o} - \dot{Z}_{M_o}}{\dot{Z}_{I_o} + \dot{Z}_{II_o} - 2\dot{Z}_{M_o}} \quad (3.111)$$

Thế (3.111) vào phương trình đầu của (3.108), ta được công thức sau:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{12} &= (\dot{I}_{I_o} + \dot{I}_{II_o}) \left(\frac{(\dot{Z}_{II_o} - \dot{Z}_{M_o})(\dot{Z}_{I_o} - \dot{Z}_{M_o})}{\dot{Z}_{I_o} + \dot{Z}_{II_o} - 2\dot{Z}_{M_o}} + \dot{Z}_{M_o} \right) \\ &= (\dot{I}_{I_o} + \dot{I}_{II_o}) \left(\frac{\dot{Z}_{I_o} \dot{Z}_{II_o} - \dot{Z}_{M_o}^2}{\dot{Z}_{I_o} + \dot{Z}_{II_o} - 2\dot{Z}_{M_o}} \right) \end{aligned} \quad (3.112)$$

Theo (3.112) hay từ mạch như hình 3.46, ta có được tổng trở thứ tự không tương đương cho đường dây ba pha lộ kép (H.3.47b) là:

$$\dot{Z}_{l_o k\u00e9p} = \frac{\dot{Z}_{II_o} \dot{Z}_{I_o} - \dot{Z}_{M_o}^2}{\dot{Z}_{II_o} + \dot{Z}_{I_o} - 2\dot{Z}_{M_o}} \quad (3.113)$$

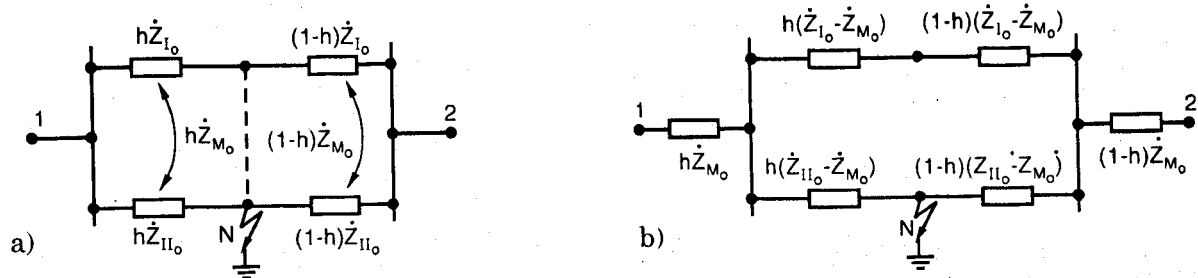
Trường hợp hai đường dây giống nhau, $\dot{Z}_{I_o} = \dot{Z}_{II_o} = \dot{Z}_o$, ta có:

$$\dot{Z}_{l_o k\u00e9p} = \frac{\dot{Z}_o + \dot{Z}_{M_o}}{2} \quad (3.114)$$

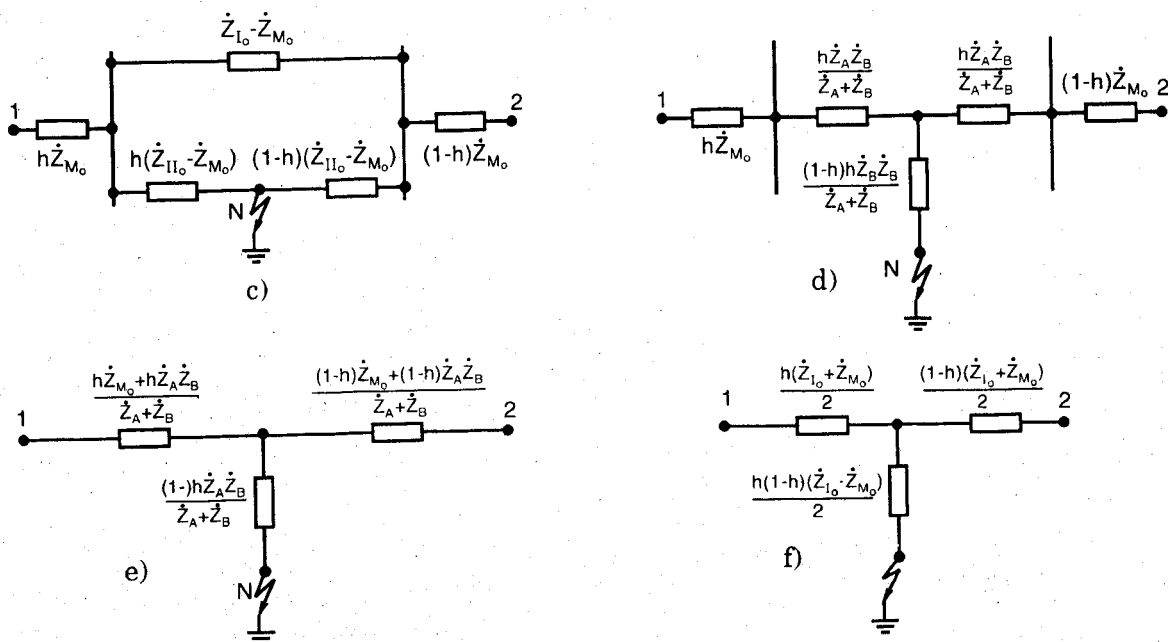
Vị trí sự cố nằm trên một đường dây và máy cắt trên đường dây chưa mở

Hình 3.46 biểu diễn mạng thứ tự không hai đường dây song song không có sự cố. Nếu có một sự cố xảy ra trên một trong hai đường dây, trong mạng tương đương thứ tự không phải tính đến hồ cảm giữa các đoạn đường dây ở hai phía sự cố, chúng ta xây dựng mạng tương đương thứ tự không cho trường hợp này theo từng bước trên hình 3.48. Các mạch tương đương hình 3.48 được xây dựng cho trường hợp chưa mở bất kỳ máy cắt nào trên đường dây đang khảo sát. Hình

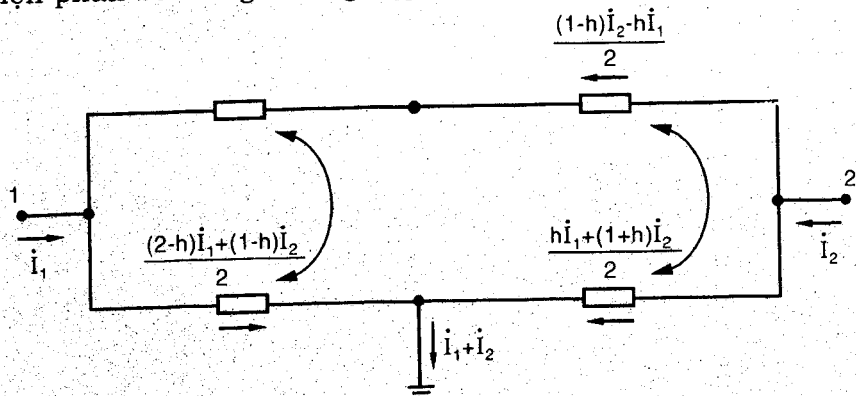
3.48f biểu diễn sơ đồ mạch tương đương thứ tự không khi hai đường dây có tổng trở thứ tự không riêng giống nhau.



Đặt $Z_{I_0} - Z_{M_0} = Z_A$; $Z_{II_0} - Z_{M_0} = Z_B$



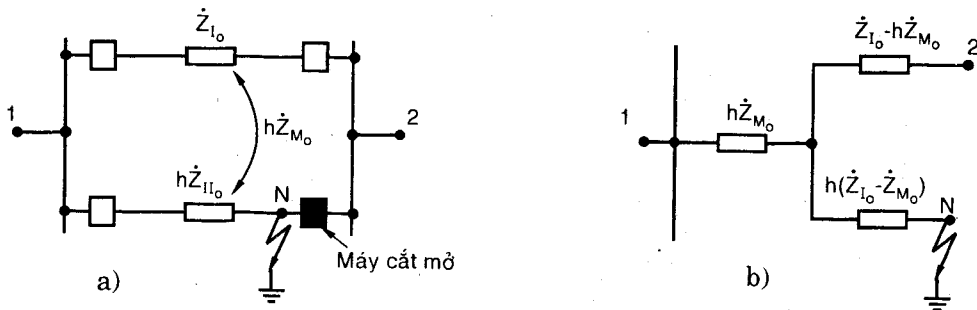
Hình 3.48: Mạch tương đương lộ kép khi có sự cố trên một đường dây
Dòng điện phân bố trong trường hợp này như trên hình 3.49.



Hình 3.49: Phân bố dòng khi sự cố trên đường dây lộ kép

Vị trí sự cố nằm trên một đường dây và một máy cắt trên đường dây có sự cố đã mở

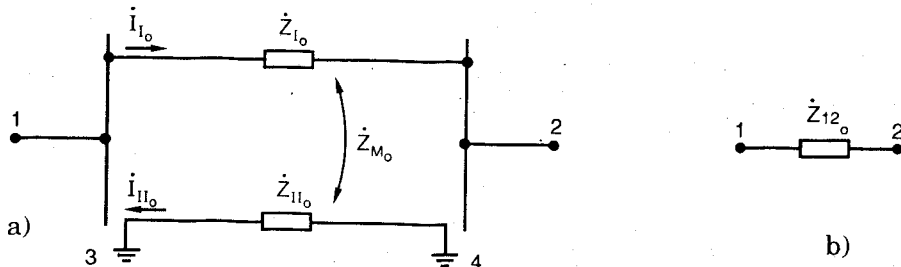
Đây là trường hợp thường xảy ra trong thực tế, lúc này tình trạng mạch tương tự như hình 3.43, chỉ khác là có hệ số h tham gia vào trong sơ đồ tương đương. Xây dựng mạch tương đương tương tự như ở trường hợp hình 3.43, ta nhận được mạch tương đương cho trường hợp này như hình 3.50.



Hình 3.50: Mạch tương đương thứ tự không đối với đường dây lộ kép có một máy cắt trên một đường dây đã mở khi có sự cố trên chính đường dây đó

ệ) Đường dây ba pha đơn có dây chống sét hay đường dây lộ kép có một đường dây bị cắt ra và nối đất ở hai đầu

Vị trí sự cố không nằm trên đường dây:



Hình 3.51: Mạch tương đương đường dây đơn có dây chống sét

Trường hợp này tương tự như trường hợp đầu tiên đã khảo sát, chỉ cụ thể hơn là hai nút ③ và ④ đều được nối đất. Dòng điện chạy trên đường dây đang vận hành tạo nên điện áp trên đường dây được nối đất cả hai đầu, do dây này tạo thành mạch kín nên hình thành dòng điện I_{II_0} có chiều chống lại từ thông do I_{I_0} gây ra. Ta viết được phương trình điện áp cho mạch hình 3.51 như sau:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{12} &= \dot{I}_{I_0} \dot{Z}_{I_0} - \dot{I}_{II_0} \dot{Z}_{M_0} \\ \dot{V}_{34} &= 0 = -\dot{I}_{II_0} \dot{Z}_{II_0} + \dot{I}_{I_0} \dot{Z}_{M_0} \end{aligned} \tag{3.115}$$

Phương trình thứ hai của hệ (3.115) cho ta mối quan hệ giữa hai dòng điện trên hai dây dẫn:

$$\dot{I}_{II_0} = \dot{I}_{I_0} \frac{\dot{Z}_{M_0}}{\dot{Z}_{II_0}} \tag{3.116}$$

Thế vào phương trình đầu của hệ (3.115), ta được:

$$\dot{V}_{12} = \dot{I}_{I_0} \underbrace{\left(\dot{Z}_{I_0} - \frac{\dot{Z}_{M_0}^2}{\dot{Z}_{II_0}} \right)}_{Z_{12_0}} = \dot{I}_{I_0} \dot{Z}_{12_0} \quad (3.117)$$

Suy ra:
$$Z_{12_0} = \dot{Z}_{I_0} - \frac{\dot{Z}_{M_0}^2}{\dot{Z}_{II_0}} \quad (3.118)$$

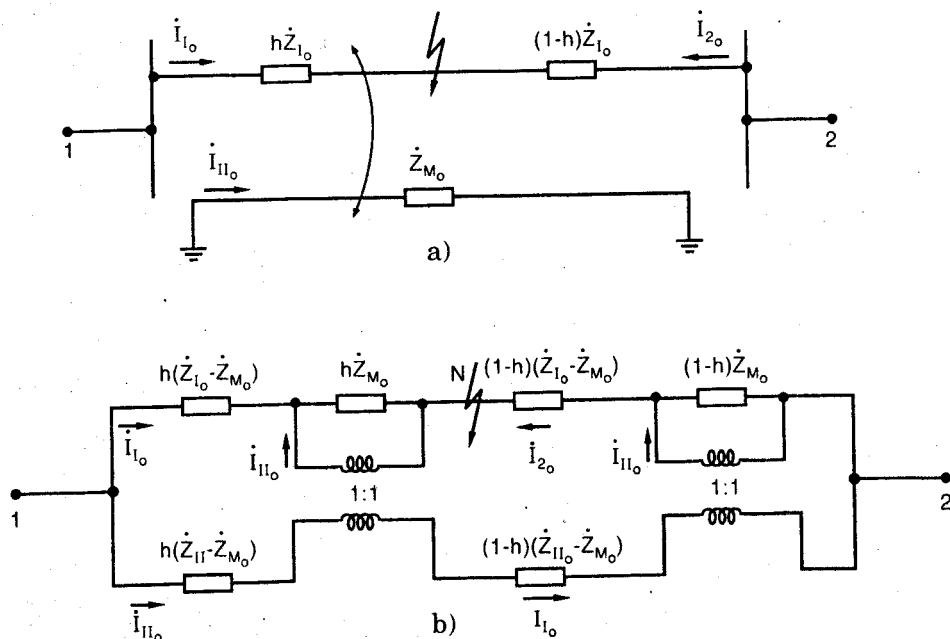
Công thức (3.118) cho ta giá trị tổng trở thứ tự không tương đương Z_{12_0} của đường dây lộ kép có một đường dây bị cắt ra và nối đất ở hai đầu. Trường hợp đường dây ba pha đơn có dây chống sét cũng hoàn toàn tương tự như trên, chỉ khác là tổng trở đường dây nối đất hai đầu và tổng trở do hồ cảm giữa hai đường dây phải được thay thế tương ứng bởi tổng trở dây chống sét và tổng trở hồ cảm giữa đường dây đang vận hành và dây chống sét. Nhận thấy đường dây còn lại (nối đất hai đầu) và dây chống sét làm giảm tổng trở thứ tự không của đường dây ba pha đơn.

Vị trí sự cố nằm trên đường dây đang vận hành

Chúng ta có thể xây dựng mạng thứ tự không tương tự cho trường hợp này và mạch tương đương cho ở hình 3.52.

6- Xây dựng mô hình trên đường dây truyền tải dài

Công việc xây dựng biểu diễn các mạng thứ tự cho đường dây dài khó khăn, phức tạp hơn nhiều vì phải cần mô hình bằng các thông số rải của tổng trở nối tiếp và tổng dẫn song song. Vấn đề này sẽ được tìm hiểu tiếp ở các tài liệu sau.

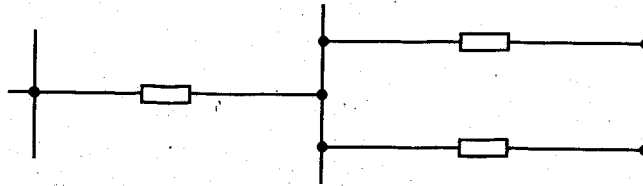


Hình 3.52: Mạch tương đương đường dây đôi, cắt ra một đường có tiếp đất hai đầu

7- Tổng trở thứ tự đường dây truyền tải cáp

Để xác định tổng trở thứ tự đường dây cáp, có thể sử dụng các công thức (3.100), (3.101) tương tự cho đường dây trên không. Tuy nhiên, lưu ý tổng trở thứ tự không của cáp bị ảnh hưởng bởi vỏ cáp, giống như dây chống sét của đường dây trên không.

Sơ đồ thay thế tổng trở thứ tự không của cáp tương tự như đường dây trên không cho ở hình 3.53.



Hình 3.53: Sơ đồ thay thế thứ tự không của đường dây cáp

Từ công thức (3.100), (3.101) chúng ta xác định:

- Kháng trở thứ tự không của đường dây cáp: $X_{0C} = 0,434 \log(D_d/R_{td})$ (Ω/km)

với: D_d - giống như đường dây trên không;

$R_{td} = \sqrt[3]{r_{td}d^2}$ - bán kính trung bình hình học của ba lõi cáp;

r_{td} - bán kính tương đương lõi cáp; d - khoảng cách giữa các tâm lõi cáp.

Kháng trở hồ cảm giữa vỏ và lõi cáp:

$$X_{0C_{-v}} = 0,434 \log\left(\frac{D_d}{D_{C_{-v}}}\right) \text{ (Ω/km)}$$

với: $D_{C_{-v}} = (r_{tr} + r_{ng})/2$ - bán kính trung bình vỏ cáp

r_{tr}, r_{ng} - bán kính trong và ngoài vỏ cáp.

3.2.5 Mạng thứ tự của hệ thống điện

Trong các phần trước đây ta đã khảo sát các mạch (sơ đồ) tương đương một pha gồm các sơ đồ thứ tự thuận, nghịch và không đối với từng phần tử của mạng điện: tải, máy biến áp, đường dây truyền tải và máy điện đồng bộ. Ngoại trừ máy điện quay, tất cả các phần tử của mạng đều là phần tử (hay thiết bị) tĩnh và không có nguồn trong các sơ đồ thứ tự tương đương của chúng. Mỗi phần tử đều được giả sử là tuyến tính và đối xứng trên ba pha khi đấu nối dạng Y hay Δ . Theo những giả thiết trên, chúng ta nhận xét rằng:

1- Trong bất cứ phần tử nào của mạng và với bất cứ sơ đồ thứ tự nào, sụt áp chỉ phụ thuộc vào tổng trở và dòng điện cùng thứ tự.

2- Tổng trở thứ tự thuận và nghịch, Z_1 và Z_2 , bằng nhau trong bất cứ thiết bị tĩnh nào và đối với máy điện quay trong tình trạng siêu quá độ, hai giá trị này có thể được coi gần đúng là bằng nhau.

3- Trong bất cứ phần tử nào của mạng, tổng trở thứ tự không thường không bằng Z_1 và Z_2 .

4- Chỉ có sơ đồ thứ tự thuận của máy điện quay có chứa nguồn áp (sức điện động thứ tự thuận).

5- Với các giá trị điện thế trong sơ đồ thứ tự thuận và thứ tự nghịch, điểm có điện thế 0 (nút tham chiếu, nút gốc, nút chuẩn) chính là trung tính và điện thế so với trung tính cũng như điện thế so với đất.

6- Không có dòng thứ tự thuận hay dòng thứ tự nghịch chạy giữa điểm trung tính và đất.

7- Tổng trở thực Z_g nối giữa trung tính và đất không nằm trong sơ đồ thứ tự thuận và thứ tự nghịch, nhưng trong sơ đồ thứ tự không (một pha) nó được tương đương với tổng trở có giá trị $3Z_g$ nối giữa điểm trung tính và đất.

Những đặc điểm này của các sơ đồ thứ tự của các phần tử dẫn đến cách xây dựng các mạng thứ tự tương ứng. Một mạng thứ tự nào đó - sẽ được xây dựng bằng cách liên kết tất cả các sơ đồ cùng thứ tự của các phần tử - biểu diễn tất cả các đường đi của tất cả các dòng điện thứ tự đó trong một pha của hệ thống thực.

Trong hệ thống ba pha cân bằng, ba dòng điện chạy trong ba pha dưới điều kiện hệ thống vận hành bình thường sẽ tạo thành một tập hợp thứ tự thuận đối xứng. Những dòng điện thứ tự thuận này chỉ gây nên các độ sụt áp thứ tự thuận. Tình trạng hệ thống cân bằng này đã được khảo sát ở chương 2, và ta đã xem xét các dòng điện chạy trên một mạng đơn pha độc lập được tạo bởi sức điện động thứ tự thuận của máy điện quay và các tổng trở của các thiết bị tính khác ứng với dòng điện thứ tự thuận. Mạng tương đương một pha như vậy được gọi là mạng thứ tự thuận để phân biệt với hai mạng thứ tự còn lại. Như vậy, khi hệ thống vận hành bình thường, mạng tương đương của nó là một mạng thứ tự thuận.

Khi biểu diễn tổng trở và tổng dẫn tương đương của các mạng thứ tự thuận phức tạp trong chương trước, ta đã không quan tâm đến sự dịch pha gây bởi các máy biến áp đấu Y- Δ trong mạng, vì các hệ thống thực tế được thiết kế sao cho tổng của các độ dịch pha này bằng không trong toàn mạch kín. Tuy nhiên, khi tính toán chi tiết, chúng ta cần phải lưu ý đến độ lệch pha của các điện áp pha và dòng điện dây thứ tự thuận khi đi từ phía Δ sang phía Y của máy biến áp đấu Y- Δ hoặc Δ -Y.

Từ mạng thứ tự thuận có thể suy ra mạng thứ tự nghịch một cách đơn giản. Máy phát và động cơ đồng bộ ba pha chỉ có sức điện động thứ tự thuận vì chúng được thiết kế để phát ra điện áp cân bằng. Vì các trở kháng thứ tự thuận và thứ tự nghịch giống nhau trong các hệ thống cân bằng tĩnh, cho nên việc biến đổi mạng thứ tự thuận sang mạng thứ tự nghịch được thực hiện bằng cách chỉ thay đổi kháng trở biểu diễn cho máy điện quay và loại bỏ sức điện động. Sức điện động được loại bỏ trong điều kiện giả định là sức điện động máy phát cân bằng và không có sự hiện diện của điện áp thứ tự nghịch tạo ra từ các nguồn ngoài. Dĩ nhiên, khi dùng mạng thứ tự nghịch cho việc tính toán chi tiết chúng ta cũng phải chú ý đến độ lệch pha dòng điện dây và điện áp pha thứ tự nghịch giữa hai phía Δ và Y của máy biến áp Y- Δ .

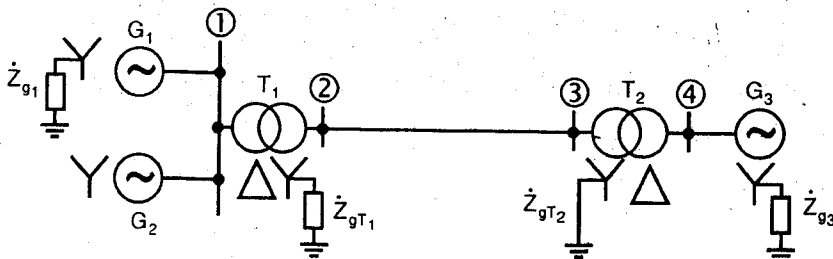
Vì tất cả các điểm trung tính của hệ thống ba pha cân bằng có cùng điện thế khi dòng điện ba pha cân bằng chạy trong hệ thống, cho nên tất cả các điểm trung tính phải có cùng điện thế đối với các dòng điện thứ tự thuận hoặc thứ tự nghịch. Như vậy điểm trung tính của hệ thống ba pha cân bằng là điểm thế gốc cho các độ sụt áp thứ tự thuận và thứ tự nghịch và là nút gốc của mạng thứ tự thuận và thứ tự nghịch. Kháng trở nối giữa điểm trung tính của máy điện và đất không tham gia vào mạng thứ tự thuận hoặc thứ tự nghịch vì không có dòng điện thứ tự thuận hoặc thứ tự nghịch nào có thể chạy qua nó.

Mạng thứ tự nghịch, cũng giống như mạng thứ tự thuận, có thể được đưa về mạch tương đương chính xác của các phần tử của hệ thống hoặc được đơn giản hoá bằng cách bỏ bớt những điện trở nối tiếp và tổng dẫn shunt.

Các sơ đồ thứ tự không của các phần tử trong hệ thống khi được kết hợp với nhau tương ứng với sự đấu nối thực tế của chúng trong hệ thống sẽ hình thành nên mạng thứ tự không. Do các dòng thứ tự không trên tất cả các pha của hệ thống bằng nhau về độ lớn và về góc pha nên dòng thứ tự không chỉ tồn tại khi trong mạng có đường trở về tạo nên một mạch kín (dây trung tính). Thế gốc của điện thế thứ tự không là thế của đất tại điểm trong hệ thống mà bất cứ điện thế riêng biệt nào cũng có thể được xác định. Do dòng thứ tự không có thể chạy trong đất nên chưa hẳn đất có cùng điện thế tại tất cả mọi điểm và nút gốc của mạng thứ tự không không nói lên rằng đất có điện thế không đổi. Giả sử hệ thống ta đang xét có tính đến tổng trở đất và tổng trở dây nối đất, còn đường trở về của mạng thứ tự không là một dây dẫn tổng trở bằng không, và cũng chính là điểm gốc của hệ thống đối với mạng thứ tự không. Bởi vì tổng trở của đất được tính vào tổng trở của thứ tự không nên điện thế đo được so với nút gốc của thứ tự không là giá trị điện áp chính xác so với đất lý tưởng (không có điện trở).

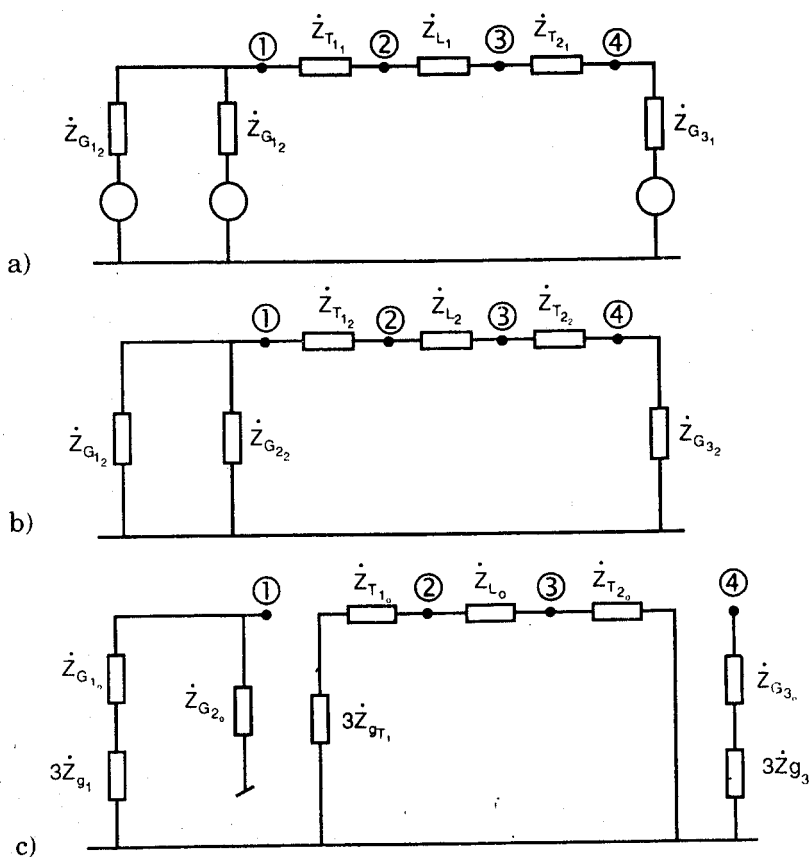
Việc phân tích một sự cố bất đối xứng trong một hệ thống đối xứng bao gồm việc tìm các thành phần đối xứng của dòng điện bất đối xứng chảy trong hệ thống. Như vậy để tính toán ảnh hưởng của một sự cố bởi phương pháp các thành phần đối xứng, chủ yếu là xác định các tổng trở thứ tự và kết hợp chúng để tạo nên các mạng thứ tự.

Ví dụ 3.7. Thành lập các mạng thứ tự thuận, thứ tự nghịch và thứ tự không cho hệ thống được vẽ trong hình 3.54.



Hình 3.54: Sơ đồ mạng điện của ví dụ 3.7

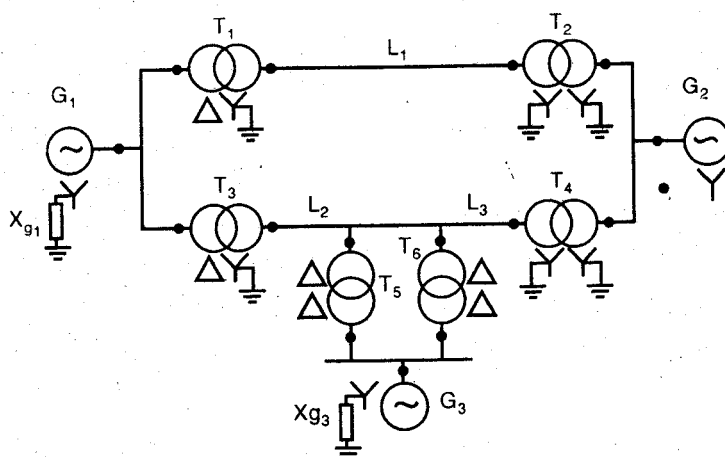
Giải. Các mạng thứ tự của hình 3.54 được vẽ cho ở hình 3.55.



Hình 3.55; Các mạng thứ tự của sơ đồ 3.54

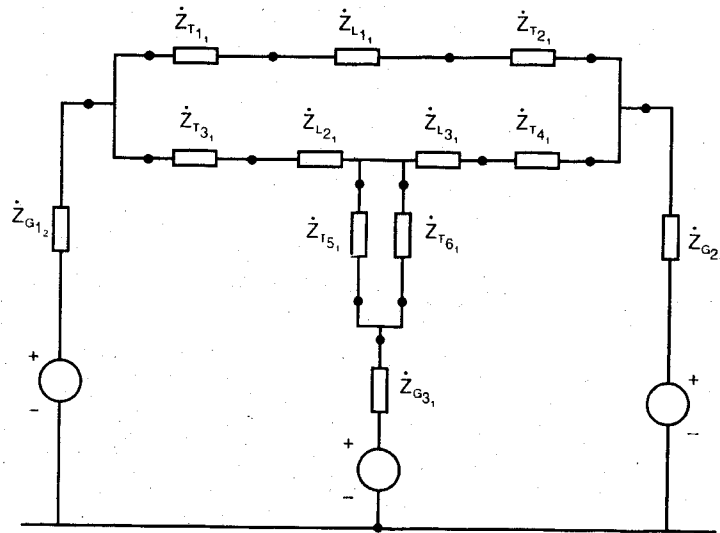
a) Mạng thứ tự thuận; b) Mạng thứ tự nghịch; c) Mạng thứ tự không

Ví dụ 3.8. Vẽ các mạng thứ tự cho hệ thống bởi sơ đồ một dây trên hình 3.56.

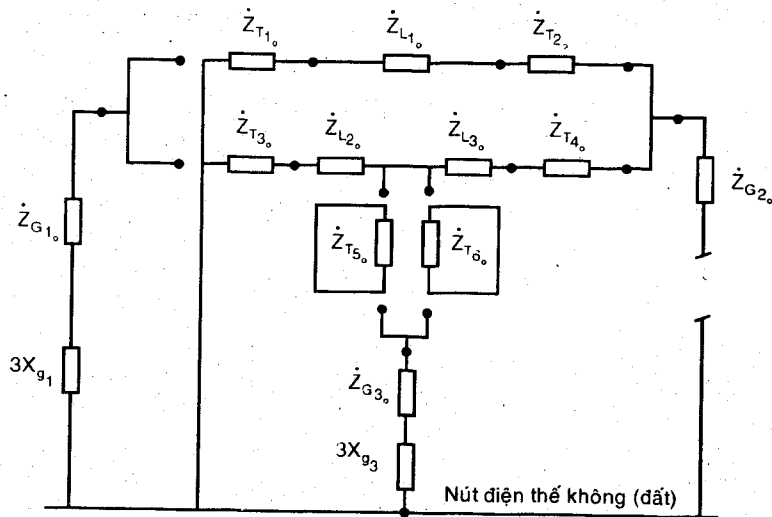


Hình 3.56: Sơ đồ một dây của một hệ thống điện nhỏ

Giải. Mạng thứ tự thuận của sơ đồ hình 3.56 được vẽ ở hình 3.57 và mạng thứ tự không ở hình 3.58.



Hình 3.57: Mạng thứ tự thuận



Hình 3.58: Mạng thứ tự không hệ thống điện hình 3.56

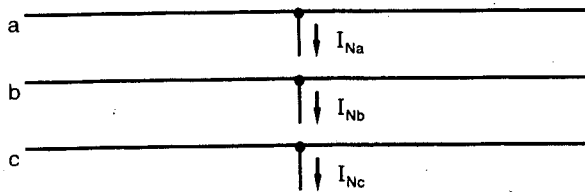
Mạng thứ tự nghịch tương tự như mạng thứ tự thuận, chỉ khác là nối tắt các nguồn áp và thay tổng trở thứ tự thuận các máy phát bởi tổng trở thứ tự nghịch tương ứng.

Các mạng thứ tự chứa các thành phần đối xứng của dòng điện và sau đó được liên kết với nhau để biểu diễn các tình trạng sự cố bất đối xứng khác nhau trong hệ thống được tìm hiểu ở chương 4.

TÍNH TOÁN SỰ CỐ BẤT ĐỐI XỨNG

4.1 TỔNG QUÁT

Hầu hết các sự cố xảy ra trong hệ thống điện là sự cố bất đối xứng. Như đã nói, sự cố bất đối xứng tạo ra dòng điện bất đối xứng chạy trên ba pha của hệ thống. Khảo sát sự cố bất đối xứng trong hệ thống điện bằng cách áp dụng lý thuyết Thevenin trên mỗi mạng thứ tự cho phép ta tìm dòng điện sự cố bằng cách thay thế toàn thể hệ thống bởi một nguồn áp và một tổng trở nối tiếp.

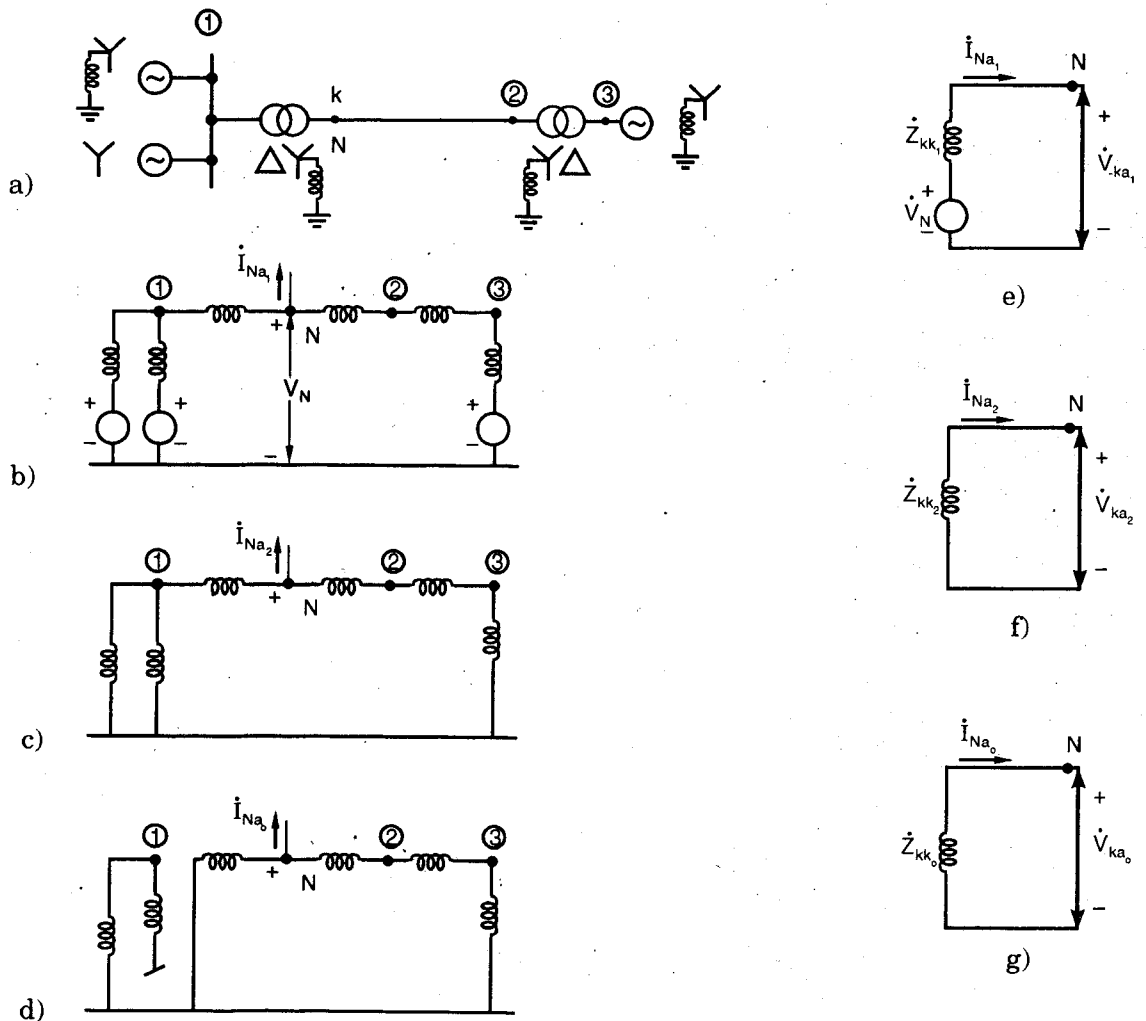


Hình 4.1: Ba dây dẫn của hệ thống ba pha.

Các đầu nối các dòng I_{Na} , I_{Nb} và I_{Nc} có thể liên kết nhau

để mô tả các dạng sự cố khác nhau

Trong các phương trình các thành phần đối xứng trong một mạng bình thường, dòng điện chảy ra ngoài hệ thống cân bằng ban đầu từ ba pha a, b, c tại chỗ sự cố được gọi là I_{Na} , I_{Nb} , I_{Nc} . Hình 4.1 biểu diễn ba dòng điện như vậy. Dòng điện từ mỗi dây dẫn chạy vào chỗ sự cố được chỉ bởi các mũi tên nằm bên cạnh các nút (đầu nối) giả tưởng nối liền với mỗi dây tại nơi xảy ra sự cố. Hình thức liên kết của ba đầu nối tùy thuộc vào kiểu sự cố. Chẳng hạn, nối trực tiếp giữa đầu nối b và đầu nối c hình thành nên sự cố hai pha không chạm đất qua tổng trở không. Dòng trong đầu nối giả tưởng a bằng không và $I_{Nb} = -I_{Nc}$.



Hình 4.2: Sơ đồ một dây của hệ thống ba pha, ba mạng thứ tự của hệ thống, và các mạch tương đương Thevenin ứng với sự cố tại N (nút k)

- a) Sơ đồ một dây của hệ thống ba pha cân bằng; b) Mạng thứ tự thuận
 c) Mạng thứ tự nghịch; d) Mạng thứ tự không
 e) Mạch tương đương Thevenin của mạng thứ tự thuận
 f) Mạch tương đương Thevenin của mạng thứ tự nghịch
 g) Mạch tương đương Thevenin của mạng thứ tự không

Điện áp pha - đất tại nút j bất kỳ của hệ thống khi có sự cố được gọi là V_{ja} , V_{jb} , V_{jc} . Các thành phần thứ tự tương ứng của V_{ja} là V_{ja_0} , V_{ja_1} , V_{ja_2} . Tương tự như khi khảo sát sự cố đối xứng, điện áp pha-trung tính của pha a tại nơi xảy ra sự cố trước khi sự cố xảy ra, được gọi là V_N , là một điện áp thứ tự thuận vì hệ thống vốn cân bằng trước khi xảy ra sự cố.

Chúng ta khảo sát sơ đồ một dây của hệ thống điện và các mạng thứ tự tương ứng gồm hai máy điện đồng bộ được vẽ ở hình 4.2. Sơ đồ tiêu biểu này có thể dùng

để khảo sát các chế độ của hệ thống. Vị trí xảy ra sự cố được ký hiệu bởi N , và trong ví dụ này được gọi tên là nút k trong sơ đồ một dây và trong các mạng thứ tự. Các máy điện được thay thế bởi các sức điện động siêu quá độ mắc nối tiếp với các kháng trở siêu quá độ của chúng khi tính toán tình trạng siêu quá độ.

Ở chương 2, trong hệ thống điện tổng quát n nút, chúng ta đã dùng ma trận tổng trở nút chứa các tổng trở thứ tự thuận để xác định các dòng điện và điện áp khi xảy ra một sự cố ba pha đối xứng. Phương pháp này có thể dễ dàng mở rộng để áp dụng trong các sự cố bất đối xứng do mạng thứ tự nghịch cũng như mạch thứ tự không. Đối với mạng thứ tự thuận, ma trận tổng trở nút sẽ được viết như sau:

$$[Z_{nút_1}] = \begin{matrix} & \begin{matrix} (1) & (2) & \dots & (k) & \dots & (n) \end{matrix} \\ \begin{matrix} (1) \\ (2) \\ \vdots \\ (k) \\ \vdots \\ (n) \end{matrix} & \begin{bmatrix} \dot{Z}_{11_1} & \dot{Z}_{12_1} & \dots & \dot{Z}_{1k_1} & \dots & \dot{Z}_{1n_1} \\ \dot{Z}_{21_1} & \dot{Z}_{22_1} & \dots & \dot{Z}_{2k_1} & \dots & \dot{Z}_{2n_1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \dot{Z}_{k1_1} & \dot{Z}_{k2_1} & \dots & \dot{Z}_{kk_1} & \dots & \dot{Z}_{kn_1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \dot{Z}_{n1_1} & \dot{Z}_{n2_1} & \dots & \dot{Z}_{nk_1} & \dots & \dot{Z}_{nn_1} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4.1)$$

Tương tự như vậy, ma trận tổng trở nút trong mạng thứ tự nghịch và thứ tự không sẽ được viết:

$$[Z_{nút_2}] = \begin{matrix} & \begin{matrix} (1) & (2) & \dots & (k) & \dots & (n) \end{matrix} \\ \begin{matrix} (1) \\ (2) \\ \vdots \\ (k) \\ \vdots \\ (n) \end{matrix} & \begin{bmatrix} \dot{Z}_{11_2} & \dot{Z}_{12_2} & \dots & \dot{Z}_{1k_2} & \dots & \dot{Z}_{1n_2} \\ \dot{Z}_{21_2} & \dot{Z}_{22_2} & \dots & \dot{Z}_{2k_2} & \dots & \dot{Z}_{2n_2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \dot{Z}_{k1_2} & \dot{Z}_{k2_2} & \dots & \dot{Z}_{kk_2} & \dots & \dot{Z}_{kn_2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \dot{Z}_{n1_2} & \dot{Z}_{n2_2} & \dots & \dot{Z}_{nk_2} & \dots & \dot{Z}_{nn_2} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4.2)$$

$$[Z_{nút_o}] = \begin{matrix} & \begin{matrix} (1) & (2) & \dots & (k) & \dots & (n) \end{matrix} \\ \begin{matrix} (1) \\ (2) \\ \vdots \\ (k) \\ \vdots \\ (n) \end{matrix} & \begin{bmatrix} \dot{Z}_{11_o} & \dot{Z}_{12_o} & \dots & \dot{Z}_{1k_o} & \dots & \dot{Z}_{1n_o} \\ \dot{Z}_{21_o} & \dot{Z}_{22_o} & \dots & \dot{Z}_{2k_o} & \dots & \dot{Z}_{2n_o} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \dot{Z}_{k1_o} & \dot{Z}_{k2_o} & \dots & \dot{Z}_{kk_o} & \dots & \dot{Z}_{kn_o} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \dot{Z}_{n1_o} & \dot{Z}_{n2_o} & \dots & \dot{Z}_{nk_o} & \dots & \dot{Z}_{nn_o} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4.3)$$

Như vậy, Z_{ij_0} , Z_{ij_1} , Z_{ij_2} lần lượt là phần tử thứ (i, j) trong các ma trận tổng trở nút của mạng thứ tự không, thứ tự thuận, và thứ tự nghịch. Hơn nữa, mỗi mạng thứ tự có thể được thay thế bởi mạch Thevenin tương đương của nó giữa bất kỳ một nút nào đó và nút gốc.

Mạch tương đương Thevenin giữa điểm sự cố N và nút gốc trong mỗi mạng được vẽ kế bên sơ đồ mạng thứ tự tương ứng ở hình 4.2. Như trong chương 1, điện áp nguồn trong mạng thứ tự thuận và mạch tương đương Thevenin của nó là V_N , là điện thế tại N so với trung tính trước khi sự cố xảy ra. Tổng trở Thevenin có được giữa điểm N , hay nút k và nút gốc của mạng thứ tự thuận là Z_{kk_1} và giá trị của nó phụ thuộc vào các giá trị tổng trở của các phần tử trong mạng.

Trước khi sự cố xảy ra, không có các dòng thứ tự không cũng như dòng thứ tự nghịch chạy trong hệ thống, và các điện áp trước sự cố bằng 0 tại tất cả các nút của các mạng thứ tự nghịch và thứ tự không. Như vậy, điện áp trước sự cố giữa điểm N và nút gốc bằng 0 trong các mạng thứ tự nghịch, và thứ tự không và không xuất hiện các sức điện động trong các mạch Thevenin tương đương của chúng. Tổng trở thứ tự nghịch và thứ tự không giữa điểm N tại nút k và nút gốc trong mỗi mạng thứ tự tương ứng lần lượt bằng với tổng trở Thevenin; Z_{kk_2} và Z_{kk_0} lần lượt là các phần tử trên đường chéo của $[Z_{nút_2}]$ và $[Z_{nút_0}]$.

Tóm lại, nếu sức điện động trong mạng thứ tự thuận được nối tắt thì tổng trở giữa nút k và nút chuẩn là tổng trở thứ tự thuận Z_{kk_1} trong ma trận tổng trở và chính là tổng trở tương đương Thevenin của mạng giữa nút k và nút chuẩn. Như vậy chúng ta xem Z_{kk_1} như là tổng trở nhìn từ nút k và nút chuẩn khi trong mạng không có nguồn. Nếu điện thế V_N trước sự cố nối tiếp với tổng trở này thì tạo thành mạng thứ tự thuận như hình 4.2e và được gọi là mạng tương đương Thevenin thứ tự thuận.

Vì I_{Na} là dòng chảy từ hệ thống vào chỗ sự cố, các thành phần đối xứng I_{Na_0} , I_{Na_1} , I_{Na_2} của nó sẽ ra khỏi các mạng thứ tự và mạch tương đương tương ứng của chúng tại điểm N như trên hình 4.2. Như vậy, các dòng $-I_{Na_0}$, $-I_{Na_1}$, $-I_{Na_2}$ tương đương như các dòng điện được bơm vào nút sự cố k của các mạng thứ tự không, thứ tự thuận và thứ tự nghịch khi xảy ra sự cố. Các dòng điện bơm vào này gây nên những độ thay đổi điện áp tại các nút của mạng thứ tự thuận, thứ tự nghịch và thứ tự không. Các giá trị trên có thể được tính toán dựa vào các ma trận tổng trở nút theo trình tự đã mô tả ở phần sự cố đối xứng. Chẳng hạn, khi dòng điện I_{Na_1} được bơm vào nút k , độ thay đổi điện áp trong mạng thứ tự thuận của hệ thống n -nút được cho bởi:

$$\begin{bmatrix} \Delta \dot{V}_{1a_1} \\ \Delta \dot{V}_{2a_1} \\ \vdots \\ \Delta \dot{V}_{ka_1} \\ \vdots \\ \Delta \dot{V}_{Na_1} \end{bmatrix} = \begin{matrix} (1) \\ (2) \\ \vdots \\ (k) \\ \vdots \\ (N) \end{matrix} \begin{bmatrix} \dot{Z}_{11_1} & \dot{Z}_{12_1} & \cdots & \dot{Z}_{1k_1} & \cdots & \dot{Z}_{1N_1} \\ \dot{Z}_{21_1} & \dot{Z}_{22_1} & \cdots & \dot{Z}_{2k_1} & \cdots & \dot{Z}_{2N_1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \dot{Z}_{k1_1} & \dot{Z}_{k2_1} & \cdots & \dot{Z}_{kk_1} & \cdots & \dot{Z}_{kN_1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \dot{Z}_{N1_1} & \dot{Z}_{N2_1} & \cdots & \dot{Z}_{Nk_1} & \cdots & \dot{Z}_{NN_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ -\dot{I}_{Na_1} \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\dot{Z}_{1k_1} \dot{I}_{Na_1} \\ -\dot{Z}_{2k_1} \dot{I}_{Na_1} \\ \vdots \\ -\dot{Z}_{kk_1} \dot{I}_{Na_1} \\ \vdots \\ -\dot{Z}_{Nk_1} \dot{I}_{Na_1} \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

Phương trình trên này tương tự như phương trình của phần sự cố đối xứng. Lưu ý rằng chỉ có cột k của $[Z_{nút_1}]$ được đưa vào các phương trình. Trong các ứng dụng công nghiệp, người ta thường bỏ qua các dòng điện trước sự cố và coi điện áp thứ tự thuận tại tất cả các nút của hệ thống trước khi sự cố xảy ra là V_N . Cộng độ thay đổi điện áp của phương trình (4.4) với điện áp trước sự cố, ta sẽ được điện áp thứ tự thuận tại pha a ở mỗi nút trong thời gian xảy ra sự cố:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{1a_1} \\ \dot{V}_{2a_1} \\ \vdots \\ \dot{V}_{ka_1} \\ \vdots \\ \dot{V}_{Na_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{V}_N \\ \dot{V}_N \\ \vdots \\ \dot{V}_N \\ \vdots \\ \dot{V}_N \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta \dot{V}_{1a_1} \\ \Delta \dot{V}_{2a_1} \\ \vdots \\ \Delta \dot{V}_{ka_1} \\ \vdots \\ \Delta \dot{V}_{Na_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{V}_N - \dot{Z}_{1k_1} \dot{I}_{Na_1} \\ \dot{V}_N - \dot{Z}_{2k_1} \dot{I}_{Na_1} \\ \vdots \\ \dot{V}_N - \dot{Z}_{kk_1} \dot{I}_{Na_1} \\ \vdots \\ \dot{V}_N - \dot{Z}_{Nk_1} \dot{I}_{Na_1} \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

Đối với các đại lượng điện áp thứ tự nghịch và thứ tự không, ta cũng có các phương trình tương tự. Lưu ý rằng trước sự cố, điện áp thứ tự nghịch và thứ tự không bằng 0 tại tất cả các nút:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{1a_2} \\ \dot{V}_{2a_2} \\ \vdots \\ \dot{V}_{ka_2} \\ \vdots \\ \dot{V}_{Na_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\dot{Z}_{1k_2} \dot{I}_{Na_2} \\ -\dot{Z}_{2k_2} \dot{I}_{Na_2} \\ \vdots \\ -\dot{Z}_{kk_2} \dot{I}_{Na_2} \\ \vdots \\ -\dot{Z}_{Nk_2} \dot{I}_{Na_2} \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} \dot{V}_{1a_0} \\ \dot{V}_{2a_0} \\ \vdots \\ \dot{V}_{ka_0} \\ \vdots \\ \dot{V}_{Na_0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\dot{Z}_{1k_0} \dot{I}_{Na_0} \\ -\dot{Z}_{2k_0} \dot{I}_{Na_0} \\ \vdots \\ -\dot{Z}_{kk_0} \dot{I}_{Na_0} \\ \vdots \\ -\dot{Z}_{Nk_0} \dot{I}_{Na_0} \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Cũng như mạng thứ tự thuận, khi sự cố xảy ra tại nút k , chỉ các thành phần của cột k thuộc ma trận $Z_{nút_2}$ và $Z_{nút_0}$ là được thể hiện trong phương trình của các điện áp thứ tự nghịch và thứ tự không. Như vậy, khi biết được các thành phần đối xứng \dot{I}_{Na_1} , \dot{I}_{Na_2} , và \dot{I}_{Na_0} của dòng sự cố tại nút k , ta có thể xác định các giá trị điện áp tại nút j bất kỳ của hệ thống từ hàng thứ j của các phương trình (4.5) và

(4.6). Điều này có nghĩa là suốt thời gian sự cố xảy ra tại nút k , điện áp tại nút j bất kỳ là:

$$\dot{V}_{ja_0} = -\dot{Z}_{jk_0} \dot{I}_{Na_0}; \quad \dot{V}_{ja_1} = \dot{V}_N - \dot{Z}_{kk_1} \dot{I}_{Na_1}; \quad \dot{V}_{ja_2} = -\dot{Z}_{jk_2} \dot{I}_{Na_2} \quad (4.7)$$

Nếu điện áp trước sự cố tại nút j không là V_N thì một cách đơn giản, ta có thể thay thế giá trị V_N trong phương trình trên bởi một giá trị thực của điện áp (thứ tự thuận) trước sự cố tại nút đó. Vì theo định nghĩa, V_N là điện áp trước sự cố thật sự tại nút sự cố k , nên tại nút k ta luôn có:

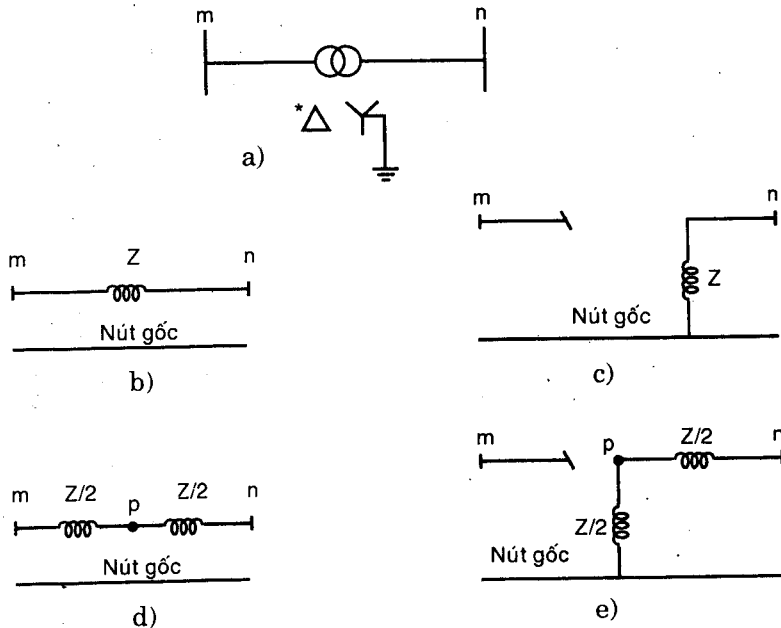
$$\dot{V}_{ka_0} = -\dot{Z}_{kk_0} \dot{I}_{Na_0}; \quad \dot{V}_{ka_1} = \dot{V}_N - \dot{Z}_{kk_1} \dot{I}_{Na_1}; \quad \dot{V}_{ka_2} = -\dot{Z}_{kk_2} \dot{I}_{Na_2} \quad (4.8)$$

và đây là những phương trình tính điện áp đầu cực cho những mạch tương đương Thevenin của các mạng thứ tự được trình bày ở hình 4.2.

Điều quan trọng phải nhớ: Các dòng \dot{I}_{Na_1} , \dot{I}_{Na_2} , \dot{I}_{Na_0} là các thành phần đối xứng dòng điện trong các đầu nối giả tưởng được gắn vào hệ thống tại điểm xảy ra sự cố. Giá trị các dòng điện này được xác định bởi kiểu sự cố đang khảo sát, và cứ mỗi lần được tính, chúng được xem như giá trị âm của các dòng điện đổ vào mạng thứ tự tương ứng. Nếu hệ thống có máy biến áp đấu Δ -Y, thì các điện áp thứ tự được tính từ phương trình (4.7) có thể sẽ phải thay đổi góc pha trước khi kết hợp với các đại lượng khác để tạo thành các điện áp nút mới của hệ thống bị sự cố. Sẽ không có sự thay đổi pha trong phương trình (4.8) khi mà pha của điện áp V_N tại điểm xảy ra sự cố được chọn là pha gốc, và thông thường người ta hay làm như vậy.

Lưu ý trong trường hợp sử dụng ma trận tổng trở dùng máy tính để tính toán ngắn mạch đối với hệ thống có máy biến áp Δ -Y, đó là khi tính toán lại $[Z_{nút}]$ của mạng thứ tự không ứng với việc hở mạch trong mạng cần phải được hết sức chú ý. Ví dụ, xét một máy biến áp Y- Δ có trung tính nối đất trực tiếp được nối vào giữa nút m và nút n của hình 4.3a. Mạch thứ tự thuận, và thứ tự không được vẽ lần lượt ở hình 4.3b, c. Mạch thứ tự nghịch cũng giống như mạch thứ tự thuận. Chúng đơn giản chỉ là các nhánh của các mạng thứ tự trong các ma trận tổng trở $[Z_{nút_0}]$, $[Z_{nút_1}]$, $[Z_{nút_2}]$ khi sử dụng phương pháp thể hiện bằng hình ảnh. Tuy nhiên, khi chúng ta bỏ đi sự nối kết của máy biến áp với nút n thì thuật toán hiệu chỉnh $[Z_{nút_0}]$ của mạng thứ tự không áp dụng cho máy vì tính sẽ gặp vấn đề. Đối với mạng thứ tự thuận và thứ tự nghịch, chúng ta có thể dễ dàng thực hiện hiệu chỉnh các ma trận tổng trở nút của chúng theo cách thông thường, nghĩa là: thêm vào tổng trở có giá trị $(-Z)$ giữa nút m và nút n trong các mạng thứ tự thuận và thứ tự nghịch. Tuy nhiên, cách thức tương tự không thể áp dụng cho ma trận tổng trở nút thứ tự không $Z_{nút_0}$ nếu nó được hình thành trực tiếp từ hình vẽ ở hình 4.3c. Thêm $(-Z)$ giữa nút m và n sẽ không tương đương với việc bỏ đi nhánh liên kết thứ tự không với nút n . Để việc hiệu chỉnh ma trận tổng trở nút được thực hiện đồng nhất (có ý nghĩa với tính toán bằng máy tính) trong ba mạng thứ tự, có một cách là đưa vào một nút p - như trình bày ở hình 4.3d,e. Lưu ý rằng tổng trở

ron Z bây giờ được chia thành hai phần với nút p như trong hình vẽ. Bây giờ, thêm nhánh $(-Z/2)$ giữa nút n và p ở mỗi mạng thứ tự trong hình 4.3d,e sẽ tương đương với việc hở mạch nối kết giữa máy biến áp đến nút n . Nút bên trong của máy biến áp (nút p) có thể được dùng trong việc ứng dụng máy vi tính cho thuật toán xây dựng $[Z_{\text{nút}}]$.



Hình 4.3

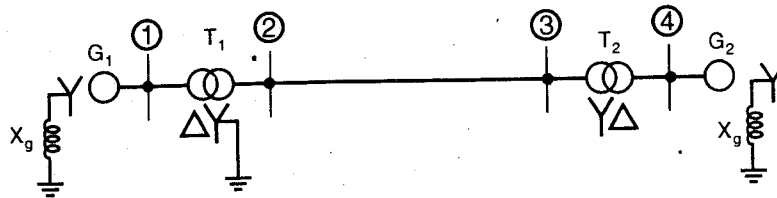
- a) Biến áp Δ -Y trung tính nối đất trực tiếp
- b) Mạch thứ tự thuận; c) Mạch thứ tự không
- d) Mạch thứ tự thuận với nút bên trong máy biến áp
- e) Mạch thứ tự không với nút bên trong máy biến áp

Ví dụ 4.1. Hai máy đồng bộ được nối đến đường dây qua các máy biến thế ba pha như trong hình 4.4. Công suất và kháng trở của các máy phát và máy biến thế là:

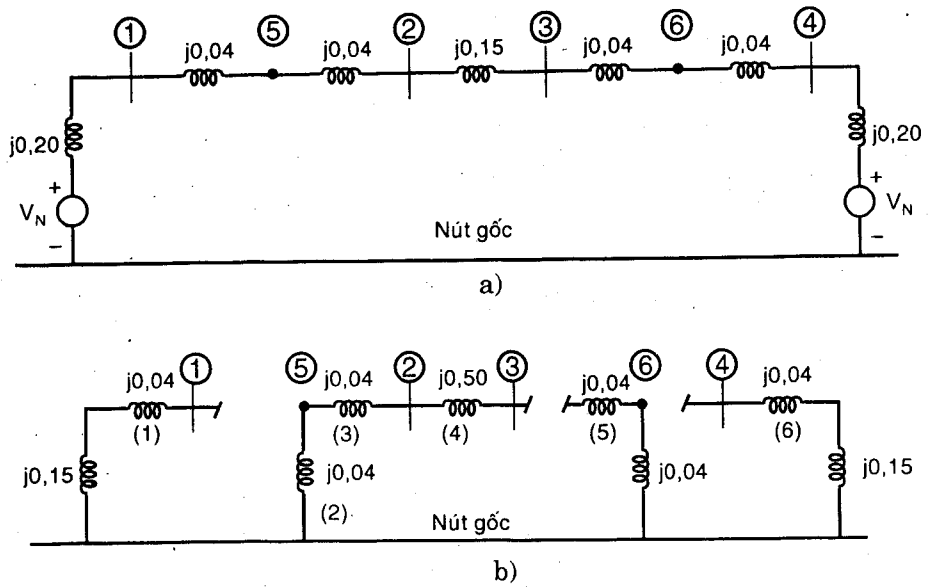
Máy 1 và 2: 100MVA; 20kV; $X_d'' = X_1 = X_2 = 20\%$; $X_o = 4\%$; $X_g = 5\%$

Máy biến thế T_1 và T_2 : 100MVA; 20 Δ /345Y kV; $X = 8\%$

Đường dây: với $S_{cb} = 100\text{MVA}$; $U_{cb} = 345\text{kV}$ thì kháng trở đường dây là $X_1 = X_2 = 15\%$ và $X_o = 50\%$. Hãy vẽ ba mạch thứ tự và tìm ma trận tổng trở nút thứ tự không theo thuật toán xây dựng $Z_{\text{nút}}$.



Hình 4.4: Sơ đồ một dây của hệ thống cho ví dụ 4.1



Hình 4.5: a) Mạng thứ tự thuận; b) Mạng thứ tự không của hệ thống trong ví dụ 4.1.
Các nút ⑤ và ⑥ là hai nút trong của biến áp

Giải. Chọn $S_{cb3p} = 100 \text{ MVA}$; $V_{cb1} = 345 \text{ kV}$ phía cao hai máy biến áp
 $V_{cb2} = 20 \text{ kV}$ phía hạ áp máy biến áp.

Các giá trị kháng trở trong *đvtd* của các phần tử hệ thống được cho ở trên có cơ bản trùng với cơ bản đã chọn và vì vậy chúng có thể được dùng một cách trực tiếp để hình thành các mạng thứ tự, với cơ bản ở đây là $S_{cb3p} = 100 \text{ MVA}$.

Hình 4.5a thể hiện mạng thứ tự thuận, mạng này cũng chính là mạng thứ tự nghịch khi nối tắt các sức điện động.

Hình 4.5b biểu diễn mạng thứ tự không với kháng trở $3X_g = 0,15 \text{ đvtd}$ nối giữa trung tính của mỗi máy phát với đất.

Ứng với mỗi máy biến thế có một nút bên trong, nút ⑤ cho máy biến thế T_1 và nút ⑥ cho máy biến thế T_2 . Những nút trong này không giữ vai trò quan trọng trong việc phân tích hệ thống. Để áp dụng thuật toán xây dựng $Z_{\text{nút}}$, chúng ta hãy gọi tên cho các nhánh thứ tự không từ (1) đến (6) như trên hình 4.5.

Bước 1: Thêm nhánh (1) cho nút điện thế không (nút gốc):

$$(1) \begin{bmatrix} j0,19 \end{bmatrix}$$

Bước 2: Thêm nhánh (2) cho nút gốc:

$$(1) \quad (5) \\ (1) \begin{bmatrix} j0,19 & 0 \\ 0 & j0,04 \end{bmatrix}$$

Bước 3: Thêm nhánh (3) giữa nút ⑤ và ②

$$\begin{array}{c} (1) \quad (5) \quad (2) \\ (1) \left[\begin{array}{ccc} j0,19 & 0 & 0 \\ (5) \left[\begin{array}{ccc} 0 & j0,04 & j0,04 \\ (2) \left[\begin{array}{ccc} 0 & j0,04 & j0,08 \end{array} \right] \end{array} \right] \end{array} \right] \end{array}$$

Bước 4: Thêm nhánh (4) giữa nút ② và ③

$$\begin{array}{c} (1) \quad (5) \quad (2) \quad (3) \\ (1) \left[\begin{array}{cccc} j0,19 & 0 & 0 & 0 \\ (5) \left[\begin{array}{cccc} 0 & j0,04 & j0,04 & j0,04 \\ (2) \left[\begin{array}{cccc} 0 & j0,04 & j0,08 & j0,08 \\ (3) \left[\begin{array}{cccc} 0 & j0,04 & j0,08 & j0,58 \end{array} \right] \end{array} \right] \end{array} \right] \end{array} \right] \end{array}$$

Bước 5: Thêm nhánh (5) giữa nút ③ và ⑥

$$\begin{array}{c} (1) \quad (5) \quad (2) \quad (3) \quad (6) \\ (1) \left[\begin{array}{ccccc} j0,19 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ (5) \left[\begin{array}{ccccc} 0 & j0,04 & j0,04 & j0,04 & j0,04 \\ (2) \left[\begin{array}{ccccc} 0 & j0,04 & j0,08 & j0,08 & j0,08 \\ (3) \left[\begin{array}{ccccc} 0 & j0,04 & j0,08 & j0,58 & j0,58 \\ (6) \left[\begin{array}{ccccc} 0 & j0,04 & j0,08 & j0,58 & j0,66 \end{array} \right] \end{array} \right] \end{array} \right] \end{array} \right] \end{array} \right] \end{array}$$

Bước 6: Thêm nhánh (6) nối giữa nút ④ và nút gốc.

$$\begin{array}{c} (1) \quad (5) \quad (2) \quad (3) \quad (6) \quad (4) \\ (1) \left[\begin{array}{cccccc} j0,19 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ (5) \left[\begin{array}{cccccc} 0 & j0,04 & j0,04 & j0,04 & j0,04 & 0 \\ (2) \left[\begin{array}{cccccc} 0 & j0,04 & j0,08 & j0,08 & j0,08 & 0 \\ (3) \left[\begin{array}{cccccc} 0 & j0,04 & j0,08 & j0,58 & j0,58 & 0 \\ (6) \left[\begin{array}{cccccc} 0 & j0,04 & j0,08 & j0,58 & j0,66 & 0 \\ (4) \left[\begin{array}{cccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & j0,19 \end{array} \right] \end{array} \right] \end{array} \right] \end{array} \right] \end{array} \right] \end{array} \right] \end{array}$$

Nút ⑤ và ⑥ là các nút giả bên trong của máy biến thế được tạo ra nhằm áp dụng máy vi tính một cách thuận lợi cho thuật toán xây dựng $Z_{\text{nút}}$. Chúng ta không nêu ra các phép tính cho các nhánh có kháng trở vô cùng lớn tương ứng với mạch hở. Ma trận vừa tính được ở trên tương ứng với sáu nút trong hệ thống, nếu ta không quan tâm đến việc cắt nhánh máy biến áp đầu Y/Δ, do mở máy cắt, chẳng hạn, thì không cần thiết phải đưa vào hai nút ⑤ và ⑥ và bây giờ ma trận tổng trở nút sẽ chỉ tương ứng với bốn nút ①, ②, ③ và ④. Để có được ma trận này, theo mục 1.5.3.3b trong chương 1, đơn giản ta chỉ cần bỏ đi hàng 5, hàng 6, cột 5 và cột 6 của ma trận trên.

$$[Z_{nút_0}] = \begin{matrix} & \begin{matrix} (1) & (2) & (3) & (4) \end{matrix} \\ \begin{matrix} (1) \\ (2) \\ (3) \\ (4) \end{matrix} & \begin{bmatrix} j0,19 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & j0,08 & j0,08 & 0 \\ 0 & j0,08 & j0,58 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & j0,19 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Các phần tử bằng 0 trong $Z_{nút_0}$ cho thấy dòng thứ tự không đổ vào nút ① hoặc nút ④ của hình 4.5b không thể gây ra điện áp tại các nút khác bởi vì có đoạn mạch hở trong mạng bởi máy biến thế Y/Δ. Chú ý rằng kháng trở $j0,08$ *đvtđ* nối tiếp với đoạn mạch hở giữa nút ③ và ④ không ảnh hưởng $Z_{nút_0}$ vì nhánh này không thể tải dòng điện.

Tương tự, áp dụng thuật toán xây dựng $Z_{nút}$ vào mạng thứ tự thuận và mạng thứ tự nghịch, ta được:

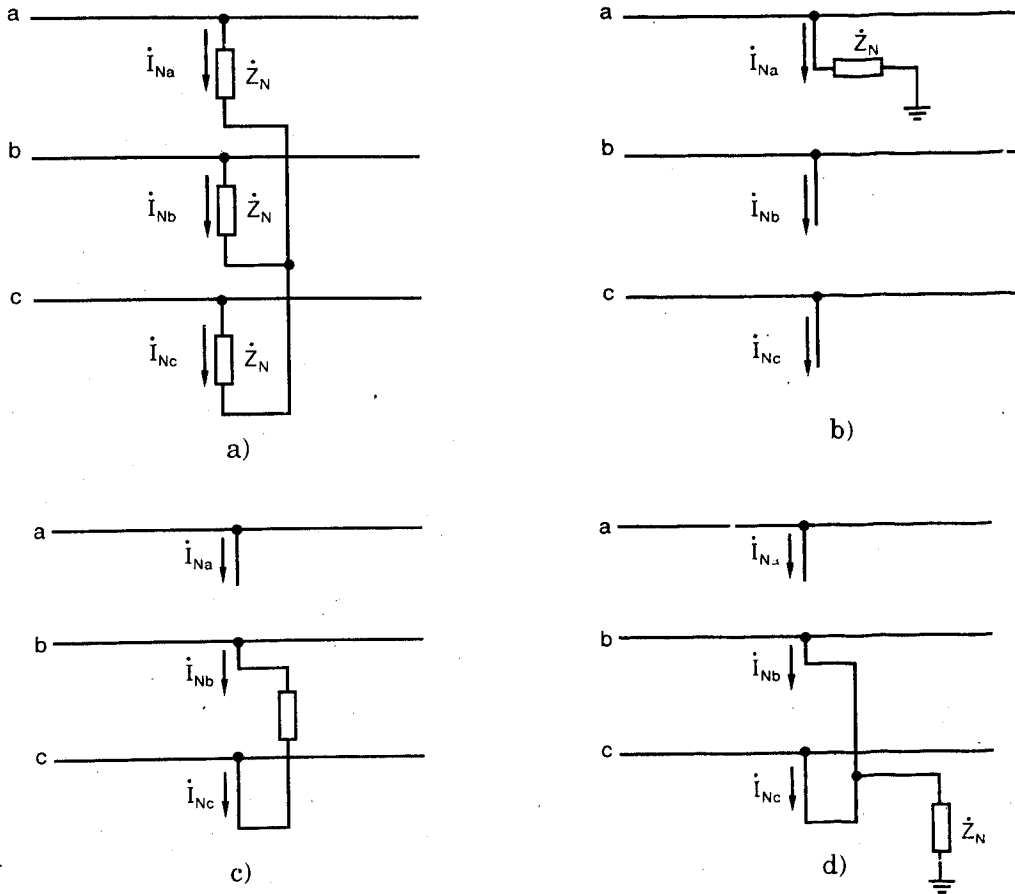
$$[Z_{nút}]^{(1)} = [Z_{nút}]^{(2)} = \begin{matrix} & \begin{matrix} (1) & (2) & (3) & (4) \end{matrix} \\ \begin{matrix} (1) \\ (2) \\ (3) \\ (3) \end{matrix} & \begin{bmatrix} j0,1437 & j0,1211 & j0,789 & j0,0563 \\ j0,1211 & j0,1696 & j0,1104 & j0,0789 \\ j0,0789 & j0,1104 & j0,1696 & j0,1211 \\ j0,0563 & j0,0789 & j0,1211 & j0,1437 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Các sự cố được xét đến trong các phần tiếp theo sẽ liên quan đến tổng trở ngắn mạch Z_N giữa các dây pha hoặc từ một hay hai dây pha đến đất. Khi $Z_N = 0$, chúng ta có ngắn mạch trực tiếp. Mặc dù ngắn mạch trực tiếp kiểu này dẫn đến giá trị lớn nhất của dòng điện sự cố và vì thế chúng trở thành những giá trị bảo đảm nhất để sử dụng khi xác định ảnh hưởng của sự cố sẽ xảy ra, các sự cố có tổng trở chạm ít khi bằng 0. Hầu hết các sự cố là kết quả của hư hỏng cách điện, nơi mà tổng trở giữa dây và mặt đất tùy thuộc vào điện trở hồ quang của bản thân cột, và của cọc nối đất cột nếu như dây đất (dây chống sét) không được dùng. Điện trở cọc nối đất cột chiếm một phần lớn điện trở giữa dây và mặt đất và tùy thuộc vào tính trạng vật lý của đất. Điện trở của đất khô gấp từ 10 đến 100 lần điện trở đất ẩm ướt.

4.2 NGẮN MẠCH BA PHA

Các dạng ngắn mạch qua điện trở trung gian Z_N được cho ở hình 4.6

Một hệ thống cân bằng sẽ duy trì sự đối xứng sau khi xảy ra một sự cố ba pha có cùng tổng trở chạm nối giữa từng dây và điểm chung. Khi đó, chỉ có dòng thứ tự thuận chảy trong hệ thống. Khi tổng trở chạm Z_N bằng nhau ở mọi pha như được trình bày ở Hình 4.6a, chúng ta chỉ cần đơn giản thêm vào tổng trở Z_N cho mạch tương đương Thevenin (thứ tự thuận) bình thường của hệ thống tại nút sự cố k và tính dòng sự cố từ phương trình:



Hình 4.6: Sơ đồ nối kết của các đầu nối giả tưởng cho các sự cố qua tổng trở chạm
 a) Sự cố ba pha; b) Sự cố một pha chạm đất;
 c) Sự cố hai pha không chạm đất; d) Sự cố hai pha chạm đất

$$\dot{I}_{Na} = \dot{I}_{Na_1} = \frac{\dot{V}_N}{\dot{Z}_{kk_1} + \dot{Z}_N}; \quad \dot{I}_{Nb} = a^2 \dot{I}_{Na}; \quad \dot{I}_{Nc} = a \dot{I}_{Na} \quad (4.9)$$

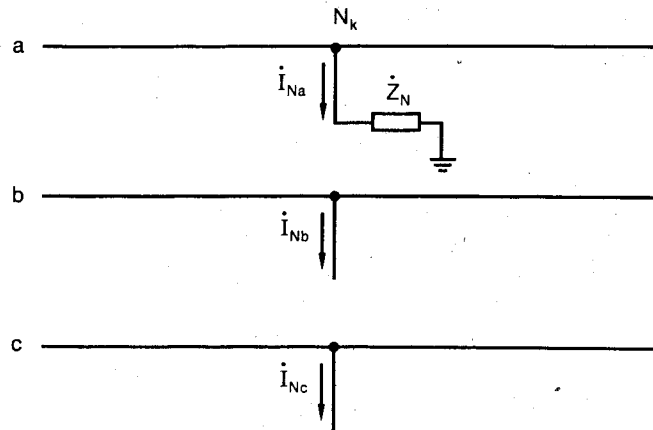
Khi ngắn mạch trực tiếp, lúc đó $\dot{I}_{Na_1} = \frac{\dot{V}_N}{\dot{Z}_{kk_1}}$

Đối với các sự cố khác trình bày trong hình 4.6, sự khai triển của các phương trình cho các thành phần đối xứng của dòng điện $\dot{I}_{Na_0}, \dot{I}_{Na_1}, \dot{I}_{Na_2}$ sẽ được trình bày ở các phần tiếp theo. Trong mỗi trường hợp, điểm sự cố N được quy ước là nút k .

4.3 NGẮN MẠCH MỘT PHA CHẠM ĐẤT ($M^{(1)}$)

Ngắn mạch một pha chạm đất là loại sự cố xảy ra nhiều nhất trong hệ thống, thường do sét đánh hay do dây dẫn tiếp xúc với đất. Hình 4.7 biểu diễn sự cố một pha chạm đất qua tổng trở chạm Z_N với pha a là pha chạm. Gọi nút xảy ra sự cố là nút k , ba dòng điện trên ba pha chảy ra khỏi nút k khi có sự cố lần lượt là \dot{I}_{Na} ,

\dot{I}_{Nb} , \dot{I}_{Nc} . Trong trường hợp này \dot{I}_{Na} là dòng điện chảy ra khỏi nút k vào đất.



Hình 4.7: Sự cố pha a chạm đất qua tổng trở chạm Z_N

Sự cố được biểu diễn bởi các phương trình sau:

$$\dot{I}_{Nb} = \dot{I}_{Nc} = 0 \quad (4.10)$$

$$\dot{V}_{ka} = \dot{Z}_N \dot{I}_{Na} \quad (4.11)$$

với V_{ka} là điện áp pha so với đất tại nút k .

Do $\dot{I}_{Nb} = \dot{I}_{Nc} = 0$, các thành phần đối xứng của dòng điện chạy ra khỏi nút k được cho bởi:

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{Na_0} \\ \dot{I}_{Na_1} \\ \dot{I}_{Na_2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{Na} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \dot{I}_{Na_0} = \dot{I}_{Na_1} = \dot{I}_{Na_2} = \frac{\dot{I}_{Na}}{3} \quad (4.12)$$

Thay \dot{I}_{Na_0} bằng \dot{I}_{Na_1} và \dot{I}_{Na_2} và từ phương trình (4.7) chúng ta có:

$$\dot{V}_{ka_0} = -\dot{Z}_{kk_0} \dot{I}_{Na_0}; \quad \dot{V}_{ka_1} = \dot{V}_N - \dot{Z}_{kk_1} \dot{I}_{Na_0}; \quad \dot{V}_{ka_2} = -\dot{Z}_{kk_2} \dot{I}_{Na_0} \quad (4.13)$$

tổng các phương trình này và lưu ý: $\dot{V}_{ka} = 3\dot{Z}_N \dot{I}_{Na_0}$, ta nhận được công thức sau:

$$\dot{V}_{ka} = \dot{V}_{ka_0} + \dot{V}_{ka_1} + \dot{V}_{ka_2} = \dot{V}_N - (\dot{Z}_{kk_0} + \dot{Z}_{kk_1} + \dot{Z}_{kk_2}) \dot{I}_{Na_0} = 3\dot{Z}_N \dot{I}_{Na_0}$$

$$\Rightarrow \dot{I}_{Na_0} = \dot{I}_{Na_1} = \dot{I}_{Na_2} = \frac{\dot{V}_N}{\dot{Z}_{kk_0} + \dot{Z}_{kk_1} + \dot{Z}_{kk_2} + 3\dot{Z}_N} \quad (4.14)$$

$$\dot{I}_{Na} = 3\dot{I}_{Na_0} = \frac{3\dot{V}_N}{\dot{Z}_{kk_0} + \dot{Z}_{kk_1} + \dot{Z}_{kk_2} + 3\dot{Z}_N} \quad (4.15)$$

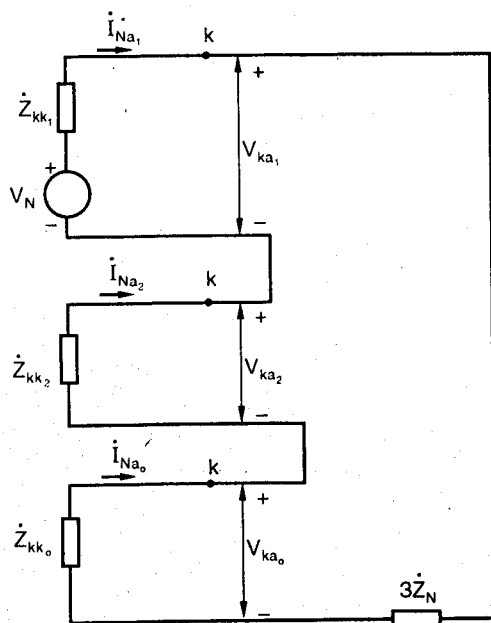
Công thức (4.14) là công thức tính dòng sự cố ứng với sự cố một pha chạm đất qua tổng trở chạm Z_N , và từ đây, ta có thể dễ dàng dùng các công thức thành

phần đối xứng liên quan để xác định tất cả điện áp và dòng điện tại chỗ sự cố N. Khi chạm đất trực tiếp $Z_{N_0} = 0$, lúc đó:

$$\dot{I}_{Na_0} = \dot{I}_{Na_1} = \dot{I}_{Na_2} = \frac{\dot{V}_N}{\dot{Z}_{kk_0} + \dot{Z}_{kk_1} + \dot{Z}_{kk_2}} \quad (4.16)$$

$$\dot{I}_{Na} = 3\dot{I}_{Na_0} = \frac{3\dot{V}_N}{\dot{Z}_{kk_0} + \dot{Z}_{kk_1} + \dot{Z}_{kk_2}} \quad (4.17)$$

Nếu mạch tương đương Thevenin của ba mạng thứ tự của hệ thống được mắc nối tiếp nhau, như hình (4.8), ta thấy rằng dòng điện và điện áp trong mạch sẽ thỏa mãn các công thức trên - tổng trở Thevenin nhìn vào ba mạng thứ tự tại nút sự cố k nối tiếp với tổng trở chạm $3\dot{Z}_N$ và nguồn áp trước sự cố.



Hình 4.8: Kết nối các mạch tương đương Thevenin của các mạng thứ tự để biểu diễn sự cố một pha chạm đất tại pha a với tổng trở chạm Z_N

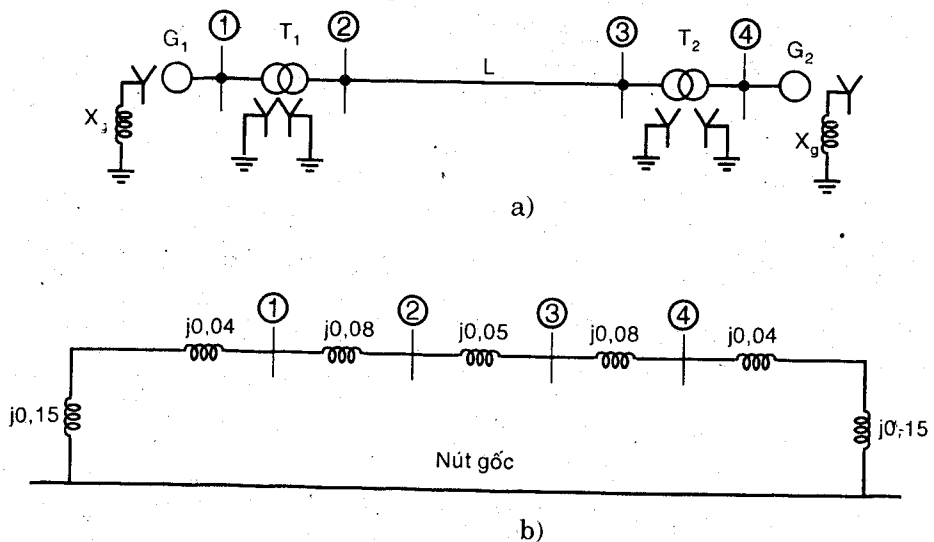
Với các mạch tương đương được kết nối như thế, điện áp trên mỗi mạch tương đương của mỗi mạng thứ tự sẽ tương ứng với các thành phần đối xứng của điện áp V_{ka} tại nút sự cố k , và dòng điện chảy vào mỗi mạng thứ tự tại nút k thì bằng về độ lớn nhưng ngược dấu với dòng điện thứ tự tương ứng tại chỗ sự cố. Việc mắc nối tiếp các mạch tương đương của các mạng tổng trở, như trên hình 4.8a, cho chúng ta một hình ảnh liên tưởng dễ nhớ về công thức tính toán dòng chạm đất một pha, đối với tất cả các công thức cần thiết tại điểm sự cố đều có thể được xác định từ sự kết nối mạng thứ tự. Một khi đã tính được các dòng \dot{I}_{Na_0} , \dot{I}_{Na_1} , \dot{I}_{Na_2} , các thành phần của điện áp tại các nút của hệ thống có thể xác định được từ các ma trận tổng trở nút của các mạng thứ tự tương ứng theo công thức (4.7).

Ví dụ 4.2. Cho sơ đồ mạng điện tiêu biểu như hình 4.9. Thông số của các phần tử như sau:

Máy phát 1 và 2: 100 MVA, 20 kV. $X_d'' = X_1 = X_2 = 20\%$; $X_o = 4\%$, $X_g = 5\%$

Máy biến thế T_1 và T_2 : 100 MVA; 20Y/345Y_o kV; $X = 8\%$

Cả hai máy biến áp đều được nối đất trực tiếp ở hai bên. Trên cơ bản $S_{cb} = 100$ MVA; $U_{cb} = 345$ kV thì kháng trở dây dẫn là $X_1 = X_2 = 15\%$; $X_o = 50\%$. Hệ thống đang vận hành tại điện áp danh định không có dòng trước sự cố khi sự cố một dây chạm đất trực tiếp ($Z_N = 0$) xảy ra trên pha A tại nút ③. Dùng ma trận tổng trở nút cho mỗi mạng thứ tự, xác định dòng chạm đất siêu quá độ tại nơi có sự cố, điện áp pha đầu cực của máy phát 2, và dòng siêu quá độ chạy ra khỏi máy phát trên pha c của máy phát 2.



Hình 4.9: a) Sơ đồ một dây hệ thống được mô tả trong ví dụ 4.2

b) Mạng thứ tự không của hệ thống trong ví dụ 4.2

Giải. Hệ thống này giống như trong ví dụ 4.1, ngoại trừ tất cả các máy biến thế bây giờ được nối Y_o/Y_o. Vì vậy chúng ta có thể tiếp tục dùng ma trận $Z_{nút_1}$, $Z_{nút_2}$ đã được trình bày ở ví dụ 4.1. Tuy nhiên, vì hai phía các máy biến áp đều đã được nối đất trực tiếp nên mạng thứ tự không bây giờ được nối như hình 4.9b và có ma trận tổng trở nút như sau:

$$Z_{nút_0} = \begin{matrix} & \begin{matrix} (1) & (2) & (3) & (4) \end{matrix} \\ \begin{matrix} (1) \\ (2) \\ (3) \\ (4) \end{matrix} & \begin{bmatrix} j0,1553 & j0,1407 & j0,0493 & j0,0347 \\ j0,1407 & j0,1999 & j0,0701 & j0,0493 \\ j0,0493 & j0,0701 & 0,1999 & j0,1407 \\ j0,0347 & j0,0493 & j0,1407 & j0,1553 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Vì sự cố một pha chạm đất xảy ra tại nút ③, nên chúng ta phải nối mạch tương đương Thevenin của các mạng thứ tự nối tiếp nhau, như được trình bày trên hình 4.10. Từ hình này chúng ta có thể tính được các thành phần đối xứng của

dòng I_{NA} đi ra khỏi hệ thống vào chỗ sự cố:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{NA_0} = \dot{I}_{NA_1} = \dot{I}_{NA_2} &= \frac{\dot{V}_N}{\dot{Z}_{33_1} + \dot{Z}_{33_2} + \dot{Z}_{33_0}} \\ &= \frac{1,0 \angle 0^\circ}{j(0,1696 + 0,1696 + 0,1999)} = -j1,8549 \text{ đvtd} \end{aligned}$$

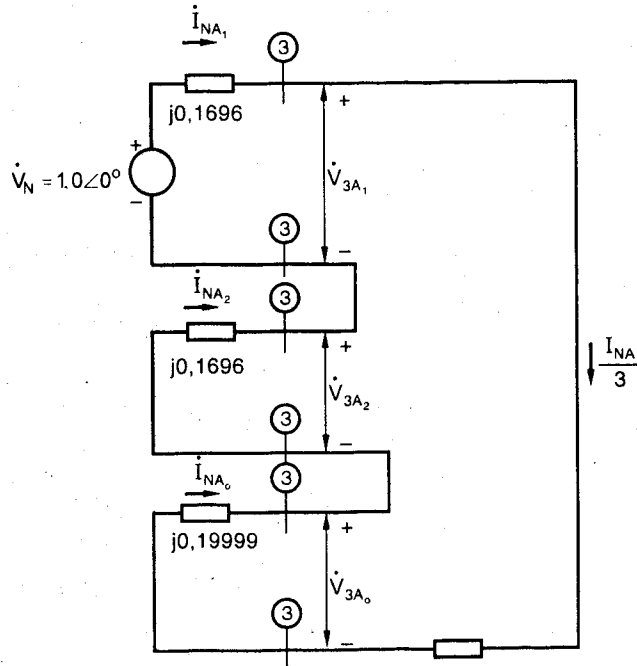
Dòng tổng sự cố là:

$$\dot{I}_{NA} = 3\dot{I}_{NA_0} = -j5,5648 \text{ đvtd}$$

Dòng điện cơ bản phía đường dây truyền tải điện áp cao là

$$I_{cbII} = 100000/\sqrt{3} \times 345 = 167,35, \text{ ta có:}$$

$$\dot{I}_{NA} = -j5,5648 \times 167,35 = 931 \angle 270^\circ \text{ A}$$



Hình 4.10: Mắc nối tiếp mạch tương đương Thevenin của các mạng thứ tự cho sự cố một pha chạm đất trong ví dụ 4.2

Các điện áp thứ tự pha a tại nút ④, tại đầu cực của máy 2 được tính theo phương trình (4.6) với $k = 3, j = 4$.

$$\dot{V}_{4a_0} = -\dot{Z}_{43_0} \dot{I}_{NA_0} = -(j0,1407)(-j1,8549) = -0,261(\text{đvtd})$$

$$\dot{V}_{4a_1} = \dot{V}_N - \dot{Z}_{43_1} \dot{I}_{NA_1} = 1 - (j0,1211)(-j1,8549) = 0,7754(\text{đvtd})$$

$$\dot{V}_{4a_2} = -\dot{Z}_{43_2} \dot{I}_{NA_2} = -(j0,1211)(-j1,8549) = -0,2246(\text{đvtd})$$

Ký hiệu viết A và a lần lượt dùng để chỉ các điện áp và các dòng điện phía điện áp cao và thấp của hai máy biến thế nối Y-Y. Không có sự dời pha qua các máy biến thế. Từ các thành phần đối xứng trên ta có thể tính các điện áp pha a, b, và c tại nút ④ như sau:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{4a} \\ \dot{V}_{4b} \\ \dot{V}_{4c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0,2610 \\ 0,7754 \\ -0,2246 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,2898 + j0,0 \\ -0,5364 - j0,866 \\ -0,5364 + j0,866 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,2898 \angle 0^\circ \\ 1,0187 \angle -121,8^\circ \\ 1,0187 \angle 121,8^\circ \end{bmatrix}$$

Để biểu diễn các điện áp pha của máy 2 bằng đơn vị kV , ta nhân chúng cho $V_{cbpha} = 20/\sqrt{3}$, và được:

$$\dot{V}_{4a} = 3,346 \angle 0^\circ, kV$$

$$\dot{V}_{4b} = 11,763 \angle -121,8^\circ, kV$$

$$\dot{V}_{4c} = 11,763 \angle 121,8^\circ, kV$$

Để xác định dòng chạy ra khỏi máy 2 trên pha c, trước hết ta phải tính các thành phần đối xứng của dòng pha a trong các nhánh tương đương máy phát 2 trong các mạng thứ tự. Từ hình 4.9b dòng thứ tự không ra khỏi máy được tính bởi:

$$\dot{i}_{a_0} = -\frac{\dot{V}_{4a_0}}{jX_0} = \frac{0,2610}{j0,04} = -j6,525 \text{ đvtd}$$

và từ hình 4.10 hai dòng thứ tự còn lại được tính như sau:

$$\dot{i}_{a_1} = \frac{\dot{V}_N - \dot{V}_{4a_1}}{jX''} = \frac{1,0 - 0,7754}{j0,20} = -j1,123 \text{ đvtd}$$

$$\dot{i}_{a_2} = -\frac{V_{4a_2}}{jX''} = -\frac{0,7754}{j0,20} = -j1,123 \text{ đvtd}$$

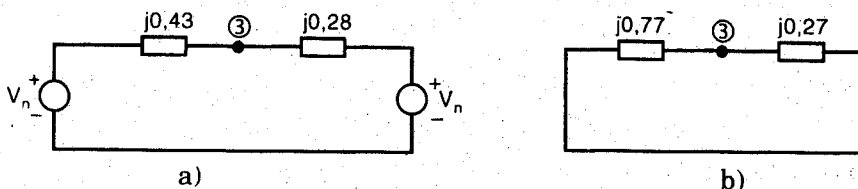
Chú ý rằng, các dòng điện trong máy phát được ký hiệu không có ký tự N nằm ở góc phải dưới, vì N được dành cho các dòng điện và điện áp tại điểm xảy ra sự cố. Các dòng pha c trong máy phát 2 bây giờ được tính một cách dễ dàng theo công thức:

$$\dot{I}_c = \dot{i}_{a_0} + a\dot{i}_{a_1} + a^2\dot{i}_{a_2} = -j6,525 + a(-j1,123) + a^2(-j1,123) = -j5,402 \text{ đvtd}$$

Dòng điện cơ bản phía điện áp thấp (các máy phát) là $100000/(\sqrt{3} \times 20) = 2886,751 \text{ A}$, và vì vậy $|I_c| = 15594 \text{ A}$. Các điện áp và dòng khác trong hệ thống có thể được tính tương tự.

Lưu ý với ví dụ sơ đồ mạng đơn giản hình 4.8a và nếu chỉ tính ngắn mạch tại một vị trí, chúng ta có thể nhanh chóng dùng phương pháp tương đương Thevenin.

Từ sơ đồ thứ tự thuận hình 4.5a, sơ đồ thứ tự không hình 4.9b chúng ta vẽ lại hình 4.11.



Hình 4.11: Mạng tương đương thứ tự thuận và thứ tự không

Từ hình 4.11a tính được tổng trở tương đương Thevenin thứ tự thuận và thứ tự nghịch nhìn từ nút ③:

$$\dot{Z}_{\Sigma 1} = \dot{Z}_{\Sigma 2} = \frac{j0,43 \cdot j0,28}{j0,43 + j0,28} = j0,1696$$

Kết quả này phù hợp với số hạng $Z_{33,1}$ khi dùng phương pháp tính toán ma trận.

Từ sơ đồ mạng thứ tự không hình 4.9b, chúng ta vẽ lại hình 4.11b tương đương.

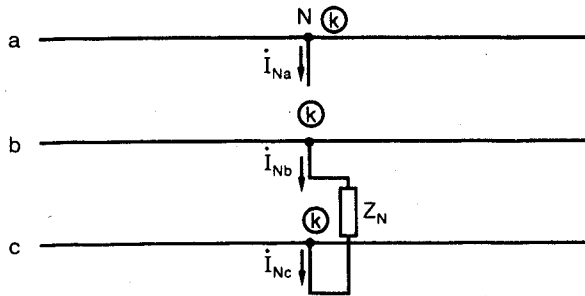
Từ hình 4.11b, tính được tổng trở tương đương Thevenin thứ tự không nhìn từ nút ③:

$$\dot{Z}_{\Sigma 0} = \frac{j0,77 \times j0,27}{j0,77 + j0,27} = j0,1999$$

Chúng ta cũng nhận được kết quả tương tự như tính bằng ma trận.

4.4 NGẮN MẠCH HAI PHA KHÔNG CHẠM ĐẤT

Sự cố hai pha không chạm đất xảy ra với pha b và c qua tổng trở chạm Z_N được biểu diễn trong hình 4.12.



Hình 4.12: Sự cố hai pha không chạm đất qua tổng trở chạm Z_N

Ta có các phương trình biểu diễn sự cố như sau:

$$\dot{I}_{Na} = 0; \quad \dot{I}_{Nb} = -\dot{I}_{Nc}; \quad \dot{V}_{kb} - \dot{V}_{kc} = \dot{I}_{Nb} \dot{Z}_N \quad (4.18)$$

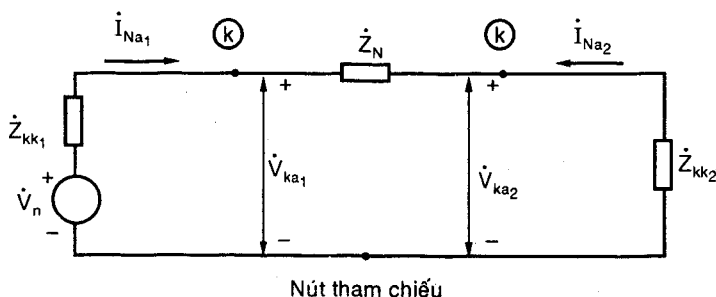
Do $\dot{I}_{Nb} = -\dot{I}_{Nc}$ và $\dot{I}_{Na} = 0$, các thành phần đối xứng của dòng điện được cho bởi công thức:

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{Na_0} \\ \dot{I}_{Na_1} \\ \dot{I}_{Na_2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{I}_{Nb} \\ -\dot{I}_{Nb} \end{bmatrix} \quad (4.19)$$

Khai triển công thức trên, ta có: $\dot{I}_{Na_0} = 0; \quad \dot{I}_{Na_1} = -\dot{I}_{Na_2}$

Do không có nguồn áp thứ tự không và do dòng $\dot{I}_{Na_0} = 0$, nên không có dòng điện chạy vào trong mạng thứ tự không khi có sự cố và điện áp đầu cực mạng thứ tự không phải bằng không. Như vậy, việc tính toán ngắn mạch hai pha không chạm đất không liên quan đến mạng thứ tự không.

Để thỏa công thức $\dot{I}_{Na_1} = -\dot{I}_{Na_2}$, ta phải nối mạch tương đương Thevenin của mạng thứ tự thuận và mạng thứ tự nghịch song song nhau, như trên hình 4.13.



Nút tham chiếu

Hình 4.13: Kết nối hai mạch tương đương Thevenin của hai mạng thứ tự thuận và nghịch để biểu diễn sự cố hai pha không chạm đất.

Khi liên kết hai mạng thứ tự như thế thì công thức $\dot{V}_{kb} - \dot{V}_{kc} = \dot{I}_{Nb} \dot{Z}_N$ cũng được thỏa mãn. Thật vậy, khai triển hai vế công thức (4.18) theo các thành phần đối xứng, ta được:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{kb} - \dot{V}_{kc} &= (\dot{V}_{kb_1} + \dot{V}_{kb_2}) - (\dot{V}_{kc_1} + \dot{V}_{kc_2}) = (\dot{V}_{kb_1} - \dot{V}_{kc_1}) + (\dot{V}_{kb_2} - \dot{V}_{kc_2}) \\ &= (a^2 - a)\dot{V}_{ka_1} + (a - a^2)\dot{V}_{ka_2} = (a^2 - a)(\dot{V}_{ka_1} - \dot{V}_{ka_2}) \end{aligned} \quad (4.20)$$

$$\dot{I}_{Nb} \dot{Z}_N = (\dot{I}_{Nb_1} + \dot{I}_{Nb_2}) \dot{Z}_N = (a^2 \dot{I}_{Na_1} + a \dot{I}_{Na_2}) \dot{Z}_N \quad (4.21)$$

Thế công thức $\dot{I}_{Na_1} = -\dot{I}_{Na_2}$ vào (4.20), ta nhận được:

$$(a^2 - a)(\dot{V}_{ka_1} - \dot{V}_{ka_2}) = (a^2 - a) \dot{I}_{Na_1} \dot{Z}_N \quad (4.22)$$

hay
$$(\dot{V}_{ka_1} - \dot{V}_{ka_2}) = \dot{I}_{Na_1} \dot{Z}_N \quad (4.23)$$

Để thấy rằng, vế phải của hai công thức (4.20) và (4.22) bằng nhau theo sự kết nối các mạng thứ tự như trên hình 4.13, suy ra hai vế trái cũng phải bằng nhau, nghĩa là sự kết nối các mạng thứ tự như trên hình 4.13 hoàn toàn biểu diễn được sự cố hai pha không chạm đất.

Và như vậy, theo sự kết nối các mạng thứ tự, ta dễ dàng suy ra công thức tính dòng điện sự cố:

$$\dot{I}_{Na_1} = -\dot{I}_{Na_2} = \frac{\dot{V}_N}{\dot{Z}_{kk_1} + \dot{Z}_{kk_2} + \dot{Z}_N} \quad (4.24)$$

Với sự cố chạm trực tiếp, ta thay Z_N bằng giá trị 0.

Lúc đó:
$$\dot{I}_{Na_1} = -\dot{I}_{Na_2} = \frac{\dot{V}_N}{\dot{Z}_{kk_1} + \dot{Z}_{kk_2}} \quad (4.25)$$

Thay (4.25) vào (4.19) ta tìm được:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{Na} &= 0 \\ \dot{I}_{Nb} &= \frac{(a^2 - a)\dot{V}_N}{\dot{Z}_{kk_1} + \dot{Z}_{kk_2}} = -j \frac{\sqrt{3}\dot{V}_N}{\dot{Z}_{kk_1} + \dot{Z}_{kk_2}} \end{aligned} \quad (4.26)$$

$$\dot{I}_{Nc} = \frac{(a - a^2)\dot{V}_N}{\dot{Z}_{kk_1} + \dot{Z}_{kk_2}} = j \frac{\sqrt{3}\dot{V}_N}{\dot{Z}_{kk_1} + \dot{Z}_{kk_2}} \quad (4.27)$$

Công thức (4.24) là công thức tính dòng sự cố đối với sự cố hai pha chạm nhau (không chạm đất) qua tổng trở chạm Z_N . Khi đã biết được \dot{I}_{Na_1} và \dot{I}_{Na_2} , thì $-\dot{I}_{Na_1}$ và $-\dot{I}_{Na_2}$ có thể được xem như các dòng điện lần lượt đổ vào mạng thứ tự thuận và thứ tự nghịch tại nút sự cố, và độ thay đổi điện thế thứ tự tại các nút của hệ thống gây bởi dòng sự cố có thể nhận được từ các ma trận tổng trở nút, như đã trình bày. Khi trong hệ thống có máy biến áp đấu Y/ Δ , độ lệch pha giữa dòng và áp thứ tự thuận, thứ tự nghịch ở hai phía máy biến áp phải được đưa vào trong tính toán. Ví dụ sau đây sẽ làm rõ điều đó.

Ví dụ 4.3. Hệ thống tương tự như trong ví dụ 4.1 đang vận hành tại điện áp danh định không có các dòng điện trước sự cố hai pha không chạm đất xảy ra tại nút ③. Dùng ma trận tổng trở nút của các mạng trong tình trạng siêu quá độ xác định các dòng điện khi sự cố, các điện áp dây tại nút sự cố, và các điện áp dây tại các đầu cực của máy phát 2.

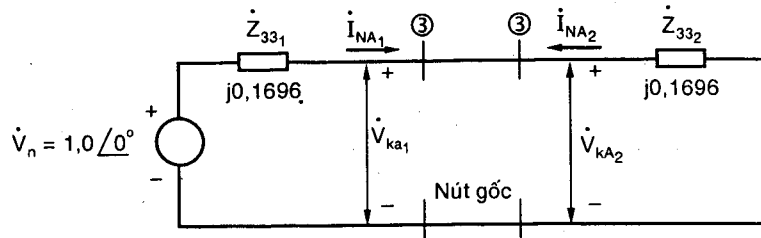
Giải. $[Z_{\text{nút}_1}]$ và $[Z_{\text{nút}_2}]$ đã được trình bày trong ví dụ 4.1. Mặc dù $Z_{\text{nút}_0}$ đã được tính, chúng ta không quan tâm đến mạng thứ tự không trong bài giải này vì đây là sự cố hai pha không chạm đất.

Để mô phỏng sự cố, các mạch tương đương Thevenin tại nút ③ của mạch thứ tự thuận và thứ tự nghịch trong ví dụ 4.3 được mắc song song như hình 4.14. Từ hình này các dòng điện thứ tự được tính như sau:

$$\dot{I}_{NA_1} = -\dot{I}_{NA_2} = \frac{\dot{V}_N}{\dot{Z}_{33_1} + \dot{Z}_{33_2}} = \frac{1}{j0,1696 + j0,1696} = -j2,9481 \text{ đvtd}$$

Ta ký hiệu A ở góc phải dưới cho các dòng điện trong công thức trên, sự cố này nằm ở phía cao áp (đường dây). Vì $I_{NA_0} = 0$, các dòng điện pha sự cố được tính bởi:

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{NA} \\ \dot{I}_{NB} \\ \dot{I}_{NC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ -j2,9481 \\ -j2,9481 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -5,1061 \\ 5,1061 \end{bmatrix} \text{ đvtd}$$



Hình 4.14: Sự nối kết của mạch tương đương Thevenin cho sự cố hai pha không chạm đất của ví dụ 4.3

Như ví dụ 4.2, dòng điện cơ bản phía đường dây truyền tải là $I_{cbII} = 167,35$ A, như vậy ta có:

$$I_{NA} = 0$$

$$\dot{I}_{NB} = -5,1061 \times 167,35 = 855 \angle 180^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_{NC} = 5,1061 \times 167,35 = 855 \angle 0^\circ \text{ A}$$

Các thành phần đối xứng của điện áp pha A đến đất tại nút ③ là: $\dot{V}_{3A_0} = 0$

$$\dot{V}_{3A_1} = \dot{V}_{3A_2} = 1 - \dot{Z}_{331} \dot{I}_{NA_1} = 1 - (j0,1696)(-j2,9481) = 0,5 \angle 0^\circ \text{ đvtd}$$

Điện áp pha tại nút sự cố 3 là:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{3A} \\ \dot{V}_{3B} \\ \dot{V}_{3C} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_{3A_0} \\ \dot{V}_{3A_1} \\ \dot{V}_{3A_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -0,5 \\ -0,5 \end{bmatrix} \text{ đvtd}$$

Điện áp dây tại nút sự cố 3 là:

$$\dot{V}_{3,AB} = \dot{V}_{3A} - \dot{V}_{3B} = (1,0 + j0) - (-0,50 + j0) = 1,5 \angle 0^\circ \text{ đvtd}$$

$$\dot{V}_{3,BC} = \dot{V}_{3B} - \dot{V}_{3C} = (-0,50 + j0) - (-0,50 + j0) = 0 \text{ đvtd}$$

$$\dot{V}_{3,CA} = \dot{V}_{3C} - \dot{V}_{3A} = (-0,5 + j0) - (1,0 + j0) = 1,5 \angle 180^\circ \text{ đvtd}$$

Biểu diễn trong đơn vị có tên thì điện áp dây tại nút sự cố 3 là:

$$\dot{V}_{3,AB} = 1,5 \angle 0^\circ \times \frac{345}{\sqrt{3}} = 299 \angle 0^\circ \text{ kV}$$

$$\dot{V}_{3,BC} = 0$$

$$\dot{V}_{3,CA} = 1,5 \angle 180^\circ \times \frac{345}{\sqrt{3}} = 299 \angle 180^\circ \text{ kV}$$

Nếu không tính đến sự thay đổi pha do biến thế Δ/Y được nối vào máy phát 2, ta có thể chỉ tính toán các điện áp thứ tự của pha A (quy về phía cao) tại nút ④ dùng ma trận tổng trở nút của ví dụ 4.1 và phương trình (4.7) với $k = 3$ và $j = 4$.

$$\dot{V}_{4A_0} = -\dot{Z}_{43_0} \dot{I}_{NA_0} = 0$$

$$\dot{V}_{4A_1} = \dot{V}_N - \dot{Z}_{43_1} \dot{I}_{NA_1} = 1 - (j0,1211)(-j2,9481) = 0,643 \text{ đvtd}$$

$$\dot{V}_{4A_2} = -\dot{Z}_{43_2} \dot{I}_{NA_2} = -(j0,1211)(-j2,9481) = 0,357 \text{ đvtd}$$

Để tính đến sự thay đổi pha của dòng điện và điện áp khi đi qua máy biến áp tăng áp nối với máy phát 2, ta phải làm trễ pha điện áp thứ tự thuận và sớm pha điện áp thứ tự nghịch một góc 30° . Tại đầu cực của máy phát 2 (nút ④), được chỉ định bằng ký hiệu a cho phía hạ thế, điện áp được tính:

$$\dot{V}_{4a_0} = 0$$

$$\dot{V}_{4a_1} = \dot{V}_{4A_1} \angle -30^\circ = 0,643 \angle -30^\circ = 0,5569 - j0,3215 \text{ đvtd}$$

$$\dot{V}_{4a_2} = \dot{V}_{4A_1} \angle 30^\circ = 0,357 \angle 30^\circ = 0,3092 - j0,1785 \text{ đvtd}$$

$$\begin{aligned} \dot{V}_{4a} &= \dot{V}_{4a_0} + \dot{V}_{4a_1} + \dot{V}_{4a_2} \\ &= 0 + (0,5569 - j0,3215) + (0,3092 + j0,1785) \\ &= 0,8661 - j0,1430 = 8787 \angle -9,4^\circ \text{ đvtd} \end{aligned}$$

Điện áp pha b tại đầu cực của máy phát 2 được tính như sau:

$$\dot{V}_{4b_0} = \dot{V}_{4a_0} = 0$$

$$\dot{V}_{4b_1} = a^2 \dot{V}_{4a_1} = (1 \angle 240^\circ)(0,643 \angle -30^\circ) = -0,5569 - j0,3215 \text{ đvtd}$$

$$\dot{V}_{4b_2} = a \dot{V}_{4a_2} = (1 \angle 120^\circ)(0,357 \angle 30^\circ) = -0,3092 - j0,1785 \text{ đvtd}$$

$$\begin{aligned} \dot{V}_{4b} &= \dot{V}_{4b_0} + \dot{V}_{4b_1} + \dot{V}_{4b_2} = 0 + (0,5569 - j0,3215) + (-0,3092 + j0,1785) \\ &= -0,8661 - j0,1430 = 8787 \angle -170,6^\circ \text{ đvtd} \end{aligned}$$

Điện áp pha c tại đầu cực của máy phát 2:

$$\dot{V}_{4c_0} = \dot{V}_{4a_0} = 0$$

$$\dot{V}_{4c_1} = a \dot{V}_{4a_1} = (1 \angle 120^\circ)(0,643 \angle -30^\circ) = 0,643 \angle 90^\circ \text{ đvtd}$$

$$\dot{V}_{4c_2} = a^2 \dot{V}_{4a_2} = (1 \angle 240^\circ)(0,357 \angle 30^\circ) = 0,357 \angle -90^\circ \text{ đvtd}$$

$$\dot{V}_{4c} = \dot{V}_{4c_0} + \dot{V}_{4c_1} + \dot{V}_{4c_2} = 0 + (j0,643) + (-j0,357) = 0 + j0,286 \text{ đvtd}$$

Điện áp dây tại đầu cực của máy phát 2:

$$\dot{V}_{4,ab} = \dot{V}_{4a} - \dot{V}_{4b} = (0,8661 - j0,143) - (-0,8661 - j0,143) = 1,7322 + j0 \text{ đvtd}$$

$$\begin{aligned} \dot{V}_{4,bc} &= \dot{V}_{4b} - \dot{V}_{4c} = (-0,8661 - j0,143) - (0 + j0,286) \\ &= -0,8661 - j0,429 = 0,9665 \angle -153,65^\circ \text{ đvtd} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{V}_{4,ca} &= \dot{V}_{4c} - \dot{V}_{4a} = (0 - j0,286) - (0,8661 - j0,143) \\ &= -0,8661 + j0,429 = 0,9665 \angle 153,65^\circ \text{ đvtd} \end{aligned}$$

Tính trong đơn vị có tên, điện áp dây tại đầu cực máy phát 2 là:

$$\dot{V}_{4,ab} = 1,7322 \angle 0^\circ \times \frac{20}{\sqrt{3}} = 20 \angle 0^\circ \text{ kV}$$

$$\dot{V}_{4,bc} = 0,9665 \angle -153,65^\circ \times \frac{20}{\sqrt{3}} = 11,2 \angle -153,65^\circ \text{ kV}$$

$$\dot{V}_{4,ca} = 0,9665 \angle 153,65^\circ \times \frac{20}{\sqrt{3}} = 11,2 \angle 153,65^\circ \text{ kV}$$

Như vậy, từ các dòng I_{NA_0} , I_{NA_1} , I_{NA_2} tại chỗ sự cố và ma trận tổng trở nút của các mạng thứ tự, chúng ta có thể xác định các điện áp nút và các dòng nhánh không cân bằng trong hệ thống gây bởi sự cố hai pha không chạm đất.

Tương tự như ví dụ trước, khi chỉ cần tính dòng ngắn mạch tại một vị trí trong mạng điện số nút ít, chúng ta có thể dùng phương pháp sơ đồ Thevenin tương đương nhìn từ nút sự cố tính toán bằng tay sẽ nhanh chóng hơn.

4.5 NGẮN MẠCH HAI PHA CHẠM ĐẤT

Giả thiết ngắn mạch hai pha chạm đất xảy ra với pha b và c tại nút k qua tổng trở chạm Z_N như hình 4.15. Các phương trình biểu diễn sự cố như sau:

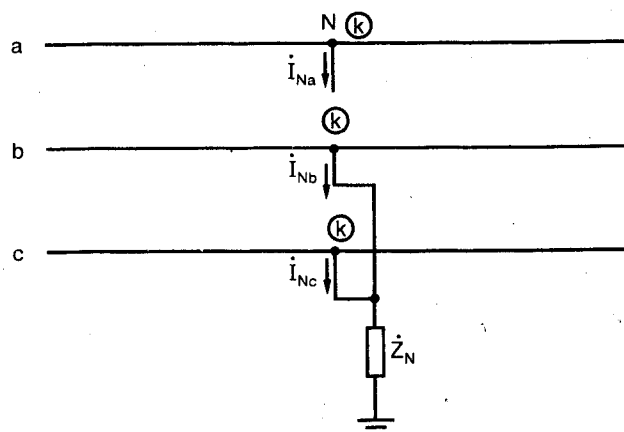
$$\dot{I}_{Na} = 0; \quad \dot{V}_{kb} = \dot{V}_{kc} = (\dot{I}_{Nb} + \dot{I}_{Nc}) \dot{Z}_N \quad (4.28)$$

Do $\dot{I}_{Na} = 0$, dòng thứ tự không \dot{I}_{Na_0} được cho bởi $\dot{I}_{Na_0} = (\dot{I}_{Nb} + \dot{I}_{Nc})/3$, và điện áp \dot{V}_{kb} , \dot{V}_{kc} trong công thức (4.28) trở thành:

$$\dot{V}_{kb} = \dot{V}_{kc} = 3 \dot{I}_{Na_0} \cdot \dot{Z}_N \quad (4.29)$$

Thay \dot{V}_{kb} bởi \dot{V}_{kc} , và biểu diễn các thành phần đối xứng của \dot{V}_{ka} , ta được:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{ka_0} \\ \dot{V}_{ka_1} \\ \dot{V}_{ka_2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_{ka} \\ \dot{V}_{kb} \\ \dot{V}_{kc} \end{bmatrix} \quad (4.30)$$



Hình 4.15: Sự cố hai pha chạm đất

Khai triển công thức ma trận trên, ta suy ra:

$$\dot{V}_{ka_1} = \dot{V}_{ka_2} \quad (4.31)$$

$$3\dot{V}_{ka_0} = \dot{V}_{ka} + 2\dot{V}_{kb} = (\dot{V}_{ka_0} + \dot{V}_{ka_1} + \dot{V}_{ka_2}) + 2(3\dot{Z}_N \dot{I}_{Na_0}) \quad (4.32)$$

Rút gọn hai vế (4.32), chú ý công thức (4.31), ta nhận được:

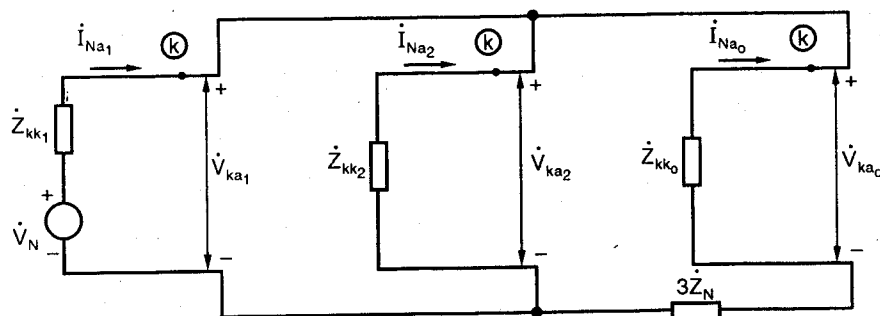
$$\dot{V}_{ka_2} = \dot{V}_{ka_1} = \dot{V}_{ka_0} - 3\dot{Z}_N \cdot \dot{I}_{Na_0} \quad (4.33)$$

Do $I_{Na} = 0$, nên:

$$\dot{I}_{Na_0} + \dot{I}_{Na_1} + \dot{I}_{Na_2} = 0 \quad (4.34)$$

Thấy rằng hai công thức (4.34) và (4.33) sẽ được thỏa khi ba mạng thứ tự được mắc song song, như hình 4.16. Sơ đồ mạng kết nối cho thấy rằng dòng thứ tự thuận \dot{I}_{Na_1} được xác định bằng cách đặt điện áp nút trước sự cố V_N trên tổng trở tương đương gồm \dot{Z}_{kk_1} mắc nối tiếp với hai tổng trở \dot{Z}_{kk_2} và $(\dot{Z}_{kk_0} + 3\dot{Z}_N)$ song song, nghĩa là:

$$\dot{I}_{Na_1} = \frac{\dot{V}_N}{\dot{Z}_{kk_1} + \left[\frac{\dot{Z}_{kk_2}(\dot{Z}_{kk_0} + 3\dot{Z}_N)}{\dot{Z}_{kk_2} + (\dot{Z}_{kk_0} + 3\dot{Z}_N)} \right]} \quad (4.35)$$



Hình 4.16: Kết nối các mạch tương đương Thevenin của các mạng thứ tự để biểu diễn sự cố hai pha chạm đất (pha b và pha c)

Dòng thứ tự nghịch và thứ tự không chảy ra khỏi hệ thống vào chỗ sự cố có thể được xác định từ hình 4.16 theo công thức:

$$\dot{I}_{Na_2} = -\dot{I}_{Na_1} \left[\frac{(\dot{Z}_{kk_0} + 3\dot{Z}_N)}{\dot{Z}_{kk_2} + (\dot{Z}_{kk_0} + 3\dot{Z}_N)} \right] \quad (4.36)$$

$$\dot{I}_{Na_0} = -\dot{I}_{Na_1} \left[\frac{\dot{Z}_{kk_2}}{\dot{Z}_{kk_2} + (\dot{Z}_{kk_0} + 3\dot{Z}_N)} \right] \quad (4.37)$$

Đối với sự cố chạm trực tiếp, ta thay $Z_N = 0$ trong các công thức trên.

$$\dot{I}_{Na_1} = \frac{\dot{V}_N}{\dot{Z}_{kk_1} + \left[\frac{\dot{Z}_{kk_2} \dot{Z}_{kk_0}}{\dot{Z}_{kk_2} + \dot{Z}_{kk_0}} \right]} \quad (4.38)$$

$$\dot{I}_{Na_2} = -\dot{I}_{Na_1} \left[\frac{\dot{Z}_{kk_0}}{\dot{Z}_{kk_2} + \dot{Z}_{kk_0}} \right] \quad (4.39)$$

$$\dot{I}_{Na_0} = -\dot{I}_{Na_1} \left[\frac{\dot{Z}_{kk_2}}{\dot{Z}_{kk_2} + \dot{Z}_{kk_0}} \right] \quad (4.40)$$

Dòng ngắn mạch toàn phần: $\dot{I}_{Na} = 0$

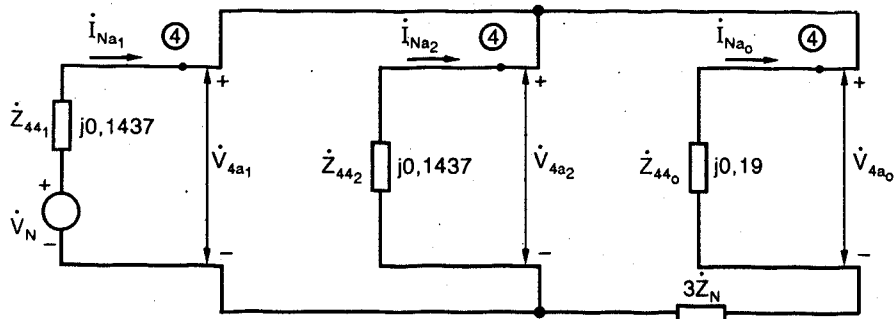
$$\dot{I}_{Nb} = j \frac{\sqrt{3} \dot{V}_N (a \cdot \dot{Z}_{kk_2} - \dot{Z}_{kk_0})}{\dot{Z}_{kk_1} \dot{Z}_{kk_2} + \dot{Z}_{kk_2} \dot{Z}_{kk_0} + \dot{Z}_{kk_0} \dot{Z}_{kk_1}} \quad (4.41)$$

$$\dot{I}_{Nc} = -j \frac{\sqrt{3} \dot{V}_N (a^2 \cdot \dot{Z}_{kk_2} - \dot{Z}_{kk_0})}{\dot{Z}_{kk_1} \dot{Z}_{kk_2} + \dot{Z}_{kk_2} \dot{Z}_{kk_0} + \dot{Z}_{kk_0} \dot{Z}_{kk_1}} \quad (4.42)$$

Khi $Z_N = \infty$, mạch thứ tự không sẽ trở thành mạch hở, không tồn tại dòng thứ tự không chảy trong mạch liên kết các mạng thứ tự và các công thức trên trở thành các công thức ứng với sự cố hai pha không chạm đất đã trình bày với tổng trở chạm bằng không.

Nhắc lại một lần nữa rằng các dòng điện thứ tự I_{Na_1} , I_{Na_2} , và I_{Na_0} , một khi đã được tính toán, có thể được xem như các dòng điện âm bơm vào các mạng thứ tự tại nút sự cố k và độ thay đổi điện áp thứ tự tại các nút của hệ thống có thể được tính từ các ma trận tổng trở nút, như chúng ta đã làm trong hai phần trên.

Ví dụ 4.4. Tìm dòng siêu quá độ và các điện áp dây trong điều kiện siêu quá độ khi một sự cố hai pha chạm đất với $Z_N = 0$ xảy ra tại các đầu cực của máy phát 2 trong hệ thống hình 4.4. Giả sử rằng hệ thống không tải (không có dòng tải trước sự cố) và vận hành tại điện áp định mức thì sự cố xảy ra. Dùng ma trận tổng trở nút và bỏ qua điện trở.



Hình 4.17: Nối kết mạch tương đương Thevenin của các mạng thứ tự cho sự cố pha chạm đất của ví dụ 4.4

Giải. Ma trận tổng trở nút $[Z_{\text{nút}_1}]$, $[Z_{\text{nút}_2}]$ và $[Z_{\text{nút}_o}]$ giống như ví dụ 4.3 vì thế kháng trở tương đương Thevenin tại nút ④ (nút sự cố) theo đơn vị tương đối cũng bằng với các thành phần trên đường chéo của các ma trận: $Z_{44_o} = j0,19$ và $Z_{44_1} = Z_{44_2} = j0,1437$. Để mô phỏng sự cố hai pha chạm đất tại nút ④, ta nối các mạch tương đương Thevenin của ba mạng thứ tự song song như hình 4.16 ta được hình 4.17, từ đó ta tính:

$$\dot{I}_{Na_1} = \frac{V_N}{Z_{44_1} + \left[\frac{Z_{44_2} Z_{44_o}}{Z_{44_2} + Z_{44_o}} \right]} = \frac{1 + j0}{j0,1437 + \left[\frac{(j0,1437)(j0,19)}{(j0,1437 + j0,19)} \right]} = -j4,4342 \text{ đvtd}$$

Như vậy, các điện áp thứ tự tại chỗ sự cố là:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{4a_1} &= \dot{V}_{4a_2} = \dot{V}_{4a_o} = \dot{V}_N - \dot{I}_{Na_1} Z_{44_1} \\ &= 1 - (-j4,4342)(j0,1437) = 0,3628 \text{ đvtd} \end{aligned}$$

Dòng điện đổ vào mạng thứ tự nghịch và thứ tự không tại nút sự cố được tính bởi công thức phân dòng như sau:

$$\dot{I}_{Na_2} = -\dot{I}_{Na_1} \left[\frac{Z_{44_o}}{Z_{44_2} + Z_{44_o}} \right] = j4,4342 \left[\frac{j0,19}{j(0,1437 + 0,19)} \right] = j2,5247 \text{ đvtd}$$

$$\dot{I}_{Na_o} = -\dot{I}_{Na_1} \left[\frac{Z_{44_2}}{Z_{44_2} + Z_{44_o}} \right] = j4,4342 \left[\frac{j0,1437}{j(0,1437 + 0,19)} \right] = j1,9095 \text{ đvtd}$$

Dòng ra khỏi hệ thống tại điểm sự cố

$$\dot{I}_{Na} = \dot{I}_{Na_o} + \dot{I}_{Na_1} + \dot{I}_{Na_2} = j1,9095 - j4,4342 + j2,5247 = 0$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{Nb} &= \dot{I}_{Na_o} + a^2 \dot{I}_{Na_1} + a \dot{I}_{Na_2} \\ &= j1,9095 + (1 \angle 240^\circ)(4,4342 \angle -90^\circ) + (1 \angle 120^\circ)(2,5247 \angle 90^\circ) \\ &= -6,0266 + j2,8642 = 6,6726 \angle 154,6^\circ \text{ đvtd} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{Nc} &= \dot{I}_{Na_o} + a \dot{I}_{Na_1} + a^2 \dot{I}_{Na_2} \\ &= j1,9095 + (1 \angle 120^\circ)(4,4342 \angle -90^\circ) + (1 \angle 240^\circ)(2,5247 \angle 90^\circ) \\ &= 6,0266 + j2,8642 = 6,6726 \angle 25,4^\circ \text{ đvtd} \end{aligned}$$

và dòng điện chạy vào trong đất là:

$$\dot{I}_N = \dot{I}_{Nb} + \dot{I}_{Nc} = 3\dot{I}_{Na_o} = j5,7285 \text{ đvtd}$$

Tính điện áp pha a - b - c tại nút sự cố:

$$\dot{V}_{4a} = \dot{V}_{4a_o} + \dot{V}_{4a_1} + \dot{V}_{4a_2} = 3\dot{V}_{4a_1} = 3(0,3628) = 1,0884 \text{ đvtd}$$

$$\dot{V}_{4b} = \dot{V}_{4c} = 0; \dot{V}_{4,ab} = \dot{V}_{4a} - \dot{V}_{4b} = 1,0884 \text{ đvtd}$$

$$\dot{V}_{4,bc} = \dot{V}_{4b} - \dot{V}_{4c} = 0; \dot{V}_{4,ca} = \dot{V}_{4c} - \dot{V}_{4a} = -1,0884 \text{ đvtd}$$

Dòng điện cơ bản bằng $I_{cbI} = 100 \times 10^3 / (\sqrt{3} \times 20) = 2887 \text{ A}$ phía hạ áp (máy phát 1 và 2), ta tìm được: $\dot{I}_{Na} = 0$

$$\dot{I}_{Nb} = 2887 \times 6,6726 \angle 154,6^\circ = 19262 \angle 154,6^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_{Nc} = 2887 \times 6,6726 \angle 25,4^\circ = 19262 \angle 25,4^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_N = 2887 \times 5,7285 \angle 90^\circ = 16538 \angle 90^\circ \text{ A}$$

Điện áp dây cơ bản phía hạ áp (máy 2 và máy 1) là 20 kV , như vậy

$$\dot{V}_{4,ab} = 1,0884 \times 20 = 21,68 \angle 0^\circ \text{ kV}$$

$$\dot{V}_{4,bc} = 0$$

$$\dot{V}_{4,ca} = -1,0884 \times 20 = 21,68 \angle 180^\circ \text{ kV}$$

Ví dụ 4.3 và 4.4 cho thấy rằng sự thay đổi pha gây bởi máy biến áp Δ/Y không được đưa vào các phép tính dòng điện và điện áp thứ tự tại điểm xảy ra sự cố của hệ thống, đại lượng V_N tại chỗ sự cố đã được chọn như là một điện áp chuẩn (pha của V_N là pha gốc) cho các phép tính. Tuy nhiên, đối với những phần khác của hệ thống phía bên kia của máy biến áp so với điểm ngắn mạch, các dòng điện thứ tự và điện áp thứ tự được tính bằng ma trận tổng trở nút phải được thay đổi pha trước khi được liên kết để tạo thành các điện áp thực ban đầu. Sở dĩ có điều này là vì các mạng thứ tự dùng để hình thành các ma trận tổng trở nút không phản ánh sự thay đổi pha khi đi qua máy biến áp Y/Δ , nghĩa là các mạng thứ tự chỉ gồm các tổng trở tính trên đơn vị tương đối tham chiếu theo phần của mạng nơi có sự cố.

Ví dụ 4.5. Hãy tính điện thế siêu quá độ so với đất tại nút ④, đầu mút của đường dây cách xa sự cố hai pha chạm đất, trong hệ thống của ví dụ 4.4.

Giải. Các giá trị số của các thành phần đối xứng dòng sự cố đã được giải trong bài giải ví dụ 4.4 và các ma trận $[Z_{\text{nút}_0}]$, $[Z_{\text{nút}_1}]$, và $[Z_{\text{nút}_2}]$ đã được tìm ra trong ví dụ 4.2. Bỏ qua sự thay đổi về pha gây bởi máy biến thế Δ/Y và thay thế các giá trị thích hợp trong công thức (4.7), chúng ta được các điện áp tại nút ④ gây ra bởi sự cố tại nút ④:

$$\dot{V}_{2a_0} = -\dot{I}_{Na_0} \dot{Z}_{24_0} = -(j1,9095)(0) = 0$$

$$\dot{V}_{2a_1} = \dot{V}_N - \dot{I}_{Na_1} \dot{Z}_{24_1} = -(-j4,4342)(j0,0789) = 0,6501 \text{ đvtd}$$

$$\dot{V}_{2a_2} = -\dot{I}_{Na_2} \dot{Z}_{24_2} = -(j2,5247)(j0,0789) = 0,1992 \text{ đvtd}$$

Khi tính đến sự thay đổi pha qua máy biến áp đi từ phía Δ (nút sự cố 4) sang phía Y (đường dây truyền tải), ta có:

$$\dot{V}_{2A_0} = 0$$

$$\dot{V}_{2A_1} = \dot{V}_{2a_1} \angle 30^\circ = 0,6501 \angle 30^\circ = 0,6530 + j0,3251 \text{ đvtd}$$

$$\dot{V}_{2A_2} = \dot{V}_{2a_2} \angle -30^\circ = 0,1992 \angle -30^\circ = 0,1725 - j0,0996 \text{ đvtd}$$

Điện áp cần tìm có thể được tính như sau:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{2A} &= \dot{V}_{2A_0} + \dot{V}_{2A_1} + \dot{V}_{2A_2} = (0,5630 + j0,3251) + (0,1725 - j0,0996) \\ &= 0,7355 + j0,2255 = 0,7693 \angle 17,0^\circ \text{ đvtd} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{V}_{2B} &= \dot{V}_{2B_0} + a^2 \dot{V}_{2B_1} + \dot{V}_{2B_2} = (1 \angle 240^\circ)(0,6531 \angle 30^\circ) + (1 \angle 120^\circ)(0,1992 \angle 30^\circ) \\ &= -0,1725 - j0,5535 = 0,5798 \angle 107,3^\circ \text{ đvtd} \end{aligned}$$

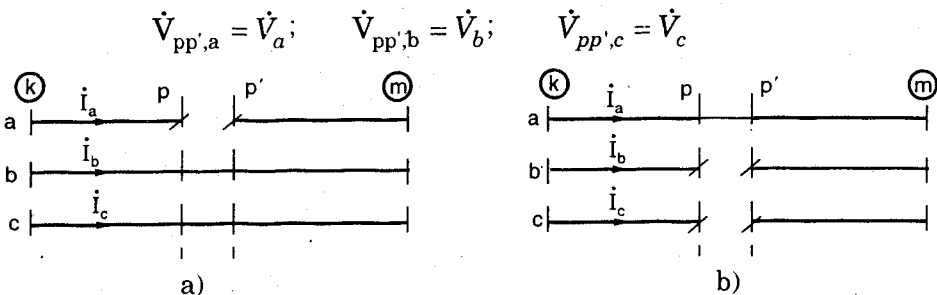
$$\begin{aligned} \dot{V}_{2C} &= \dot{V}_{2C_0} + a \dot{V}_{2C_1} + a^2 \dot{V}_{2C_2} = (1 \angle 120^\circ)(0,6531 \angle 30^\circ) + (1 \angle 240^\circ)(0,1992 \angle 30^\circ) \\ &= -0,5656 - j0,1274 = 0,5798 \angle 167,3^\circ \text{ đvtd} \end{aligned}$$

Các giá trị trong đơn vị tương đối này có thể được đổi sang trong đơn vị có tên bằng cách nhân với điện áp cơ bản pha $345/\sqrt{3}$ kV phía đường dây truyền tải.

4.6 SỰ CỐ HỖ PHA

Khi một pha hay hai pha của một nhánh trong mạng bị hở (đứt), trong nhánh sẽ xuất hiện các dòng điện bất đối xứng. Tình trạng hở pha xảy ra thường là do gió bão làm đứt dây hoặc do sự hoạt động của các thiết bị ngắt dòng không đồng đều ba pha khi quá tải. Tuy không nghiêm trọng như sự cố ngắn mạch, nhưng nó cũng ảnh hưởng đến truyền tải công suất trong mạng.

Tình trạng hở pha được biểu diễn bởi hình 4.18. Hình 4.18a, b lần lượt mô tả hở mạch một pha và hở mạch hai pha trên nhánh nối giữa nút k và nút m của mạng. Để tiện cho việc sử dụng các thành phần đối xứng pha a , ta quy ước pha a là pha bị hở mạch khi hở mạch một pha, và khi hở mạch hai pha, hai pha hở sẽ là pha b và pha c . Trong cả hai trường hợp, ký hiệu chỗ hở là p và p' . Chiều dương các dòng điện pha \dot{I}_a , \dot{I}_b , và \dot{I}_c trên nhánh bị hở được quy ước là từ k đến m . Để đơn giản, ký hiệu các điện áp tại chỗ hở mạch như sau:



Hình 4.18: Biểu diễn sự cố hở pha giữa nút k và m
 a) Hở một pha; b) Hở hai pha

Để phân tích sự cố hở pha, trước hết chúng ta xây dựng các sơ đồ tương đương thứ tự giữa hai nút chứa sự cố hở pha (không phải nút gốc) của hệ thống, chẳng hạn như nút k và nút m .

Trong mạng điện, lúc ban đầu chưa sự cố, ta gọi:

$[\mathbf{V}] = [\dot{V}_1 \dots \dot{V}_k \dots \dot{V}_m \dots \dot{V}_n]^T$ là vectơ điện áp nút của mạng.

$[\mathbf{I}] = [\dot{I}_1 \dots \dot{I}_k \dots \dot{I}_m \dots \dot{I}_n]^T$ là vectơ dòng điện đổ vào các nút trong mạng.

$[\mathbf{Z}]$ là ma trận tổng trở nút của mạng.

Thế thì: $[\mathbf{V}] = [\mathbf{Z}][\mathbf{I}]$

Xét riêng hai nút k và m ; điện áp thứ tự thuận của pha a trước khi hở pha:

$$\dot{V}_k = \dot{Z}_{k1}\dot{I}_1 + \dot{Z}_{k2}\dot{I}_2 + \dots + \dot{Z}_{kk}\dot{I}_k + \dots + \dot{Z}_{km}\dot{I}_m + \dot{Z}_{kn}\dot{I}_n \quad (4.43)$$

$$\dot{V}_m = \dot{Z}_{m1}\dot{I}_1 + \dot{Z}_{m2}\dot{I}_2 + \dots + \dot{Z}_{mk}\dot{I}_k + \dots + \dot{Z}_{mm}\dot{I}_m + \dot{Z}_{mn}\dot{I}_n$$

Giả sử đặt thêm một nhánh tải nối giữa nút k và nút m . Dòng chạy trên nhánh từ k đến m là I_L . Khi đó, nhánh tải tạo ra các độ thay đổi dòng điện đổ vào các nút k và m là $\Delta \dot{I}_k = -\dot{I}_L$ và $\Delta \dot{I}_m = \dot{I}_L$. Điện áp nút \dot{V}'_k và \dot{V}'_m lúc này là:

$$\dot{V}'_k = \dot{V}_k + \dot{Z}_{kk}\Delta \dot{I}_k + \dot{Z}_{km}\Delta \dot{I}_m \quad (4.44)$$

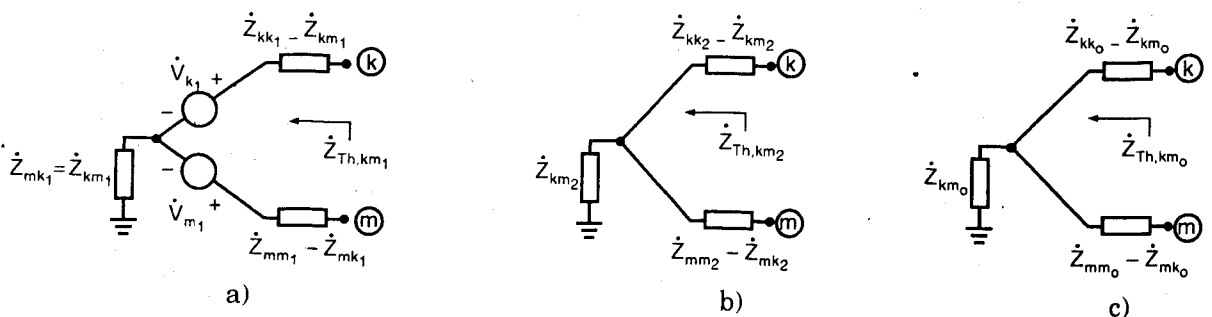
$$\dot{V}'_m = \dot{V}_m + \dot{Z}_{mk}\Delta \dot{I}_k + \dot{Z}_{mm}\Delta \dot{I}_m \quad (4.45)$$

Viết lại (4.44) và (4.45) dưới dạng:

$$\dot{V}'_k = \dot{V}_k + (\dot{Z}_{kk} - \dot{Z}_{km})\Delta \dot{I}_k + \dot{Z}_{km}(\Delta \dot{I}_m + \Delta \dot{I}_k) \quad (4.46)$$

$$\dot{V}'_m = \dot{V}_m + (\dot{Z}_{mm} - \dot{Z}_{mk})\Delta \dot{I}_m + \dot{Z}_{mk}(\Delta \dot{I}_k + \Delta \dot{I}_m) \quad (4.47)$$

Từ (4.46) và (4.47), có thể vẽ các mạch tương đương Thevenin thứ tự thuận, thứ tự nghịch và thứ tự không giữa hai nút k và m trong mạng như hình 4.19 dưới đây, chú ý rằng điện áp Thevenin ban đầu trong mạch thứ tự nghịch và thứ tự không bằng không do mạng ban đầu đối xứng.



Hình 4.19: Mạch tương đương (thứ tự thuận, thứ tự nghịch và thứ tự không) Thevenin nhìn từ hai nút (khác nút gốc) của hệ thống. \dot{V}_{k1} , \dot{V}_{m1} là các điện áp nút thứ tự thuận ban đầu tại các nút k , m . Các tổng trở là các phần tử trong ma trận tổng trở nút của mạng

Từ hình 4.19 ta cũng có thể xác định tổng trở tương đương Thevenin giữa hai nút k và m :

$$\dot{Z}_{Th,km} = \dot{Z}_{kk} + \dot{Z}_{mk} - 2\dot{Z}_{km} \quad (4.48)$$

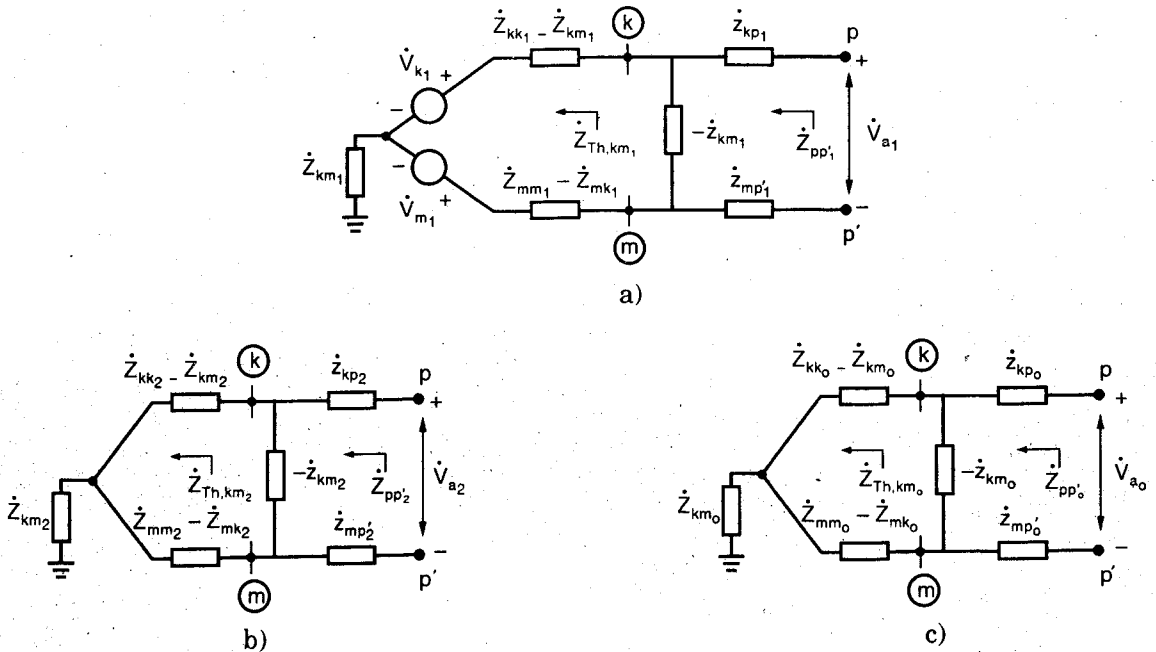
trong đó \dot{Z}_{kk} , \dot{Z}_{mk} , \dot{Z}_{km} là các số hạng tương ứng của ma trận tổng trở nút.

Từ hình 4.18, chúng ta thấy rằng tình trạng hở một pha tại điểm pp' tương đương với tình trạng đầu tiên mở cả ba pha giữa hai điểm pp' và sau đó nối tắt giữa hai điểm pp' của hai pha còn lại. Tương tự cho trường hợp hở hai pha tại pp' , mở ba pha cũng giống như lấy hẳn đường dây $k - m$ ra và kế đó nối tắt một pha từ nút k và m tại điểm p và p' . Nếu đường dây $k - m$ có tổng trở thứ tự là Z_{km_0} , Z_{km_1} , Z_{km_2} chúng ta có thể mô phỏng việc hở cả ba pha bằng cách thêm vào tổng trở âm thứ tự đường dây là $-Z_{km_0}$, $-Z_{km_1}$, $-Z_{km_2}$ giữa hai nút k và m trong ba sơ đồ tương đương thứ tự Thevenin tương ứng của hệ thống điện ban đầu.

Khi sự cố hở pha a tại điểm pp' giữa hai nút k , m có thể được mô phỏng bằng các thay đổi mạch tương đương giữa k và m :

- Thêm nhánh có tổng trở $-z_{km}$ nối giữa nút k và m . Ở đây z_{km} chính là tổng trở thực của đường dây $k - m$ trước sự cố.
- Thêm nhánh $k-p$ có tổng trở z_{kp} nối giữa nút mới p và nút k và nhánh $m-p'$ có tổng trở $z_{mp'}$ nối giữa nút mới p' và nút m . Chú ý rằng $z_{kp} + z_{mp'} = z_{km}$.

Thực hiện hai thủ tục trên với mạch tương đương Thevenin trên hình 4.19, ta được mạch tương đương Thevenin riêng cho từng mạch thứ tự khi sự cố hở pha giữa hai điểm pp' như trên hình 4.20.



Hình 4.20: Mạch tương đương thứ tự thuận, thứ tự nghịch và thứ tự không khi hở pha giữa nút k và m tại điểm pp'

Bây giờ, từ hình 4.20 ta có thể dễ dàng tính các tổng trở tương đương Thevenin của các mạng thứ tự pha a khi nhìn vào mạng từ giữa hai điểm p và p' như sau:

$$\dot{Z}_{pp'_0} = \dot{z}_{kp_0} + \dot{Z}_{Th,km_0} // (-\dot{z}_{km_0}) + \dot{z}_{mp'_0} = \frac{-\dot{z}_{km_0}^2}{\dot{Z}_{Th,km_0} - \dot{z}_{km_0}} \quad (4.49)$$

$$\dot{Z}_{pp'_1} = \dot{z}_{kp_1} + \dot{Z}_{Th,km_1} // (-\dot{z}_{km_1}) + \dot{z}_{mp'_1} = \frac{-\dot{z}_{km_1}^2}{\dot{Z}_{Th,km_1} - \dot{z}_{km_1}} \quad (4.50)$$

$$\dot{Z}_{pp'_2} = \dot{z}_{kp_2} + \dot{Z}_{Th,km_2} // (-\dot{z}_{km_2}) + \dot{z}_{mp'_2} = \frac{-\dot{z}_{km_2}^2}{\dot{Z}_{Th,km_2} - \dot{z}_{km_2}} \quad (4.51)$$

Điện áp mạch hở là điện áp tương đương Thevenin $\dot{V}_{pp'_1}$ trong mạng thứ tự thuận pha a nhìn từ p và p' là điện áp đặt trên tổng trở $(-\dot{z}_{km_1})$ trong hình 4.20:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{pp'_1} &= \frac{\dot{V}_{k_1} - \dot{V}_{m_1}}{\dot{Z}_{kk_1} - \dot{Z}_{km_1} + \dot{Z}_{mm_1} - \dot{Z}_{mk_1} - \dot{z}_{km_1}} (-\dot{z}_{km_1}) \\ &= \frac{\dot{V}_{k_1} - \dot{V}_{m_1}}{\dot{Z}_{Th,km_1} - \dot{z}_{km_1}} (-\dot{z}_{km_1}) = \frac{\dot{Z}_{pp'_1}}{\dot{z}_{km_1}} (\dot{V}_{k_1} - \dot{V}_{m_1}) \end{aligned} \quad (4.52)$$

Gọi $\dot{I}_{km} = \frac{\dot{V}_{k_1} - \dot{V}_{m_1}}{\dot{z}_{km_1}} = \frac{\dot{V}_k - \dot{V}_m}{\dot{z}_{km}}$, thế thì \dot{I}_{km} chính là dòng điện chạy trên nhánh $k-m$ trước sự cố, và ta có thể viết lại công thức (4.52) như sau:

$$\dot{V}_{pp'_1} = \dot{I}_{km} \dot{Z}_{pp'_1} \quad (4.53)$$

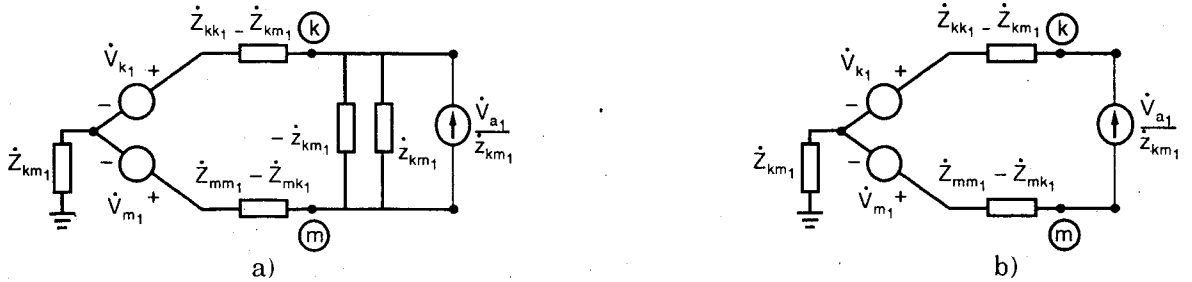
Ở đây, ta thấy xuất hiện yêu cầu tính dòng nhánh trước sự cố (hở pha). Điều này làm ta nhớ đến thói quen bỏ qua dòng tải trước sự cố khi tính toán ngắn mạch. Sở dĩ có sự khác nhau này là vì việc tính toán dòng ngắn mạch để phục vụ cho chọn lựa máy cắt, mà các máy cắt thì được chọn lựa theo các cấp dòng ngắn mạch (cấp công suất) có sai biệt lớn. Sự sai biệt này đủ lớn để ta có thể bỏ qua dòng tải trước sự cố (vốn bé hơn rất nhiều so với dòng ngắn mạch) mà không làm ảnh hưởng đến kết quả chọn lựa máy cắt. Còn trong sự cố hở pha, độ thay đổi dòng điện không quá lớn so với dòng tải trước sự cố, vì thế dòng tải trước sự cố trong trường hợp này phải được tính toán chính xác.

Tóm lại, có thể tính các tổng trở tương đương Thevenin và điện áp mạch hở giữa hai nút p và p' theo các phần tử của các ma trận $\mathbf{Z}_{\text{nút}}$ như sau:

$$\begin{aligned} \dot{Z}_{0,1,2} &= \dot{Z}_{pp'_{0,1,2}} = \dot{z}_{kp_{0,1,2}} + \dot{Z}_{Th,km_{0,1,2}} // (-\dot{z}_{km_{0,1,2}}) + \dot{z}_{mp'_{0,1,2}} \\ &= \frac{-\dot{z}_{km_{0,1,2}}^2}{\dot{Z}_{Th,km_{0,1,2}} - \dot{z}_{km_{0,1,2}}} \end{aligned} \quad (4.54)$$

$$\dot{V}_{pp'_1} = \dot{I}_{km} \dot{Z}_{pp'_1} \quad (4.55)$$

Dùng phép biến đổi từ nguồn áp \dot{V}_{a_1} nối tiếp với tổng trở $\dot{z}_{kp_1} + \dot{z}_{mp_1} + \dot{z}_{km_1}$ thành nguồn dòng $\dot{V}_{a_1}/\dot{z}_{km_1}$ song song với tổng trở \dot{z}_{km_1} của mạch thứ tự thuận hình 4.20a, ta được mạch tương đương hình 4.21b dưới đây.



Hình 4.21: Biến đổi nguồn áp thành nguồn dòng mạch thứ tự thuận

Cũng như vậy với mạch thứ tự nghịch và thứ tự không ta được hình 4.22.



Hình 4.22: Sơ đồ nguồn dòng của mạch thứ tự nghịch và không

Theo hai hình 4.21 và 4.22, có thể kết luận rằng sự cố hở pha tương tự như khi ta đặt các nguồn dòng $\frac{\dot{V}_{a_1}}{\dot{z}_{km_1}}, \frac{\dot{V}_{a_2}}{\dot{z}_{km_2}}, \frac{\dot{V}_{a_0}}{\dot{z}_{km_0}}$ nối giữa k và m . Chiều nguồn dòng tương ứng chiều của \dot{V}_{a_1} , tức là hướng từ m đến k . Trong mạch thứ tự thuận, nguồn dòng $\dot{V}_{a_1}/\dot{z}_{km_1}$ gây ra các độ thay đổi dòng điện đổ vào nút k và nút m là

$$\Delta \dot{I}_{k_1} = \frac{\dot{V}_{a_1}}{\dot{z}_{km_1}}, \quad \Delta \dot{I}_{m_1} = -\frac{\dot{V}_{a_1}}{\dot{z}_{km_1}}.$$

Tương tự như vậy trong hai mạch thứ tự còn lại. Độ

thay đổi điện áp nút trong các mạng thứ tự gây bởi nguồn dòng tương đương sự cố là:

$$\Delta \dot{V}_{i_1} = \dot{Z}_{ik_1} \Delta \dot{I}_{k_1} + \dot{Z}_{im_1} \Delta \dot{I}_{m_1} = \frac{\dot{Z}_{ik_1} - \dot{Z}_{im_1}}{\dot{z}_{km_1}} \dot{V}_{a_1} \tag{4.56}$$

$$\Delta \dot{V}_{i_2} = \dot{Z}_{ik_2} \Delta \dot{I}_{k_2} + \dot{Z}_{im_2} \Delta \dot{I}_{m_2} = \frac{\dot{Z}_{ik_2} - \dot{Z}_{im_2}}{\dot{z}_{km_2}} \dot{V}_{a_2} \tag{4.57}$$

$$\Delta \dot{V}_{i_0} = \dot{Z}_{ik_0} \Delta \dot{I}_{k_0} + \dot{Z}_{im_0} \Delta \dot{I}_{m_0} = \frac{\dot{Z}_{ik_0} - \dot{Z}_{im_0}}{\dot{z}_{km_0}} \dot{V}_{a_0} \tag{4.58}$$

Chú ý rằng trước sự cố, điện áp nút tại các nút trong mạng thứ tự nghịch và thứ tự không bằng không, do đó, công thức (4.57) và (4.58) cũng cho ta giá trị

điện áp tại các nút trong hai mạng thứ tự nghịch và thứ tự không. Còn điện áp nút trong mạng thứ tự thuận khi sự cố hở pha có thể được tính như sau:

$$\dot{V}_i(N) = V_i(0) + \Delta \dot{V}_i = \dot{V}_i(0) + \frac{\dot{Z}_{ik_1} - \dot{Z}_{im_1}}{\dot{Z}_{km_1}} \dot{V}_{a_1} \quad (4.59)$$

Hở mạch một pha:

Khi hở mạch một pha (pha a), pha b và c vẫn nối nên:

$$\dot{V}_{pp',b} = \dot{V}_{pp',c} = \dot{V}_b = \dot{V}_c = 0; \quad \dot{I}_a = 0$$

Theo lý thuyết các thành phần đối xứng, ta nhận được:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{a_0} \\ \dot{V}_{a_1} \\ \dot{V}_{a_2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_a \\ \dot{V}_a \end{bmatrix}$$

hay
$$\dot{V}_{a_1} = \dot{V}_{a_2} = \dot{V}_{a_0} = \frac{1}{3} \dot{V}_a \quad (4.60)$$

và
$$\dot{I}_{a_0} + \dot{I}_{a_1} + \dot{I}_{a_2} = 0 \quad (4.61)$$

Hai phương trình trên sẽ được thỏa nếu ta kết nối các mạng thứ tự của mạng song song nhau, như trên hình 4.23a. Như vậy, hình 4.23a có thể được coi là hình biểu diễn cho tình trạng hở mạch một pha giữa hai nút k và m tại điểm pp' .

Hở mạch hai pha:

Trong tình trạng này, pha a vẫn nối nên:

$$\dot{V}_{pp',a} = \dot{V}_a = 0; \quad \dot{I}_b = \dot{I}_c = 0$$

Theo lý thuyết các thành phần đối xứng, ta nhận được:

$$\dot{V}_{a_1} + \dot{V}_{a_2} + \dot{V}_{a_0} = 0 \quad (4.62)$$

$$\dot{I}_{a_1} = \dot{I}_{a_2} = \dot{I}_{a_0} = \frac{1}{3} \dot{I}_a \quad (4.63)$$

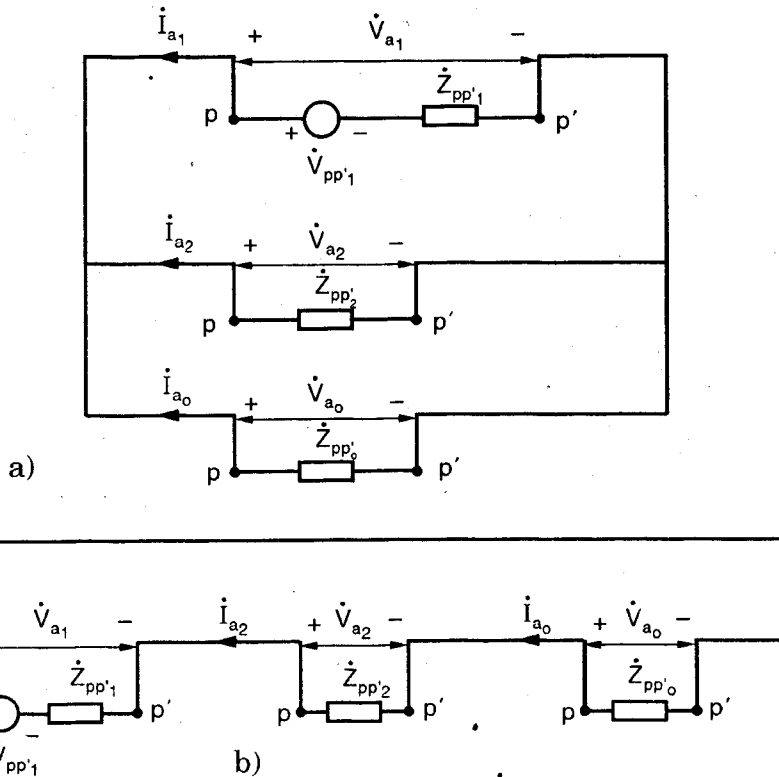
với: $\dot{Z}_{pp'_1}$, $\dot{Z}_{pp'_2}$, $\dot{Z}_{pp'_0}$ lần lượt là tổng trở tương đương Thevenin khi nhìn vào các mạng thứ tự pha a từ hai nút p và p' được xác định bằng các công thức (4.49), (4.50) (4.51).

$\dot{V}_{pp'_1}$ - điện áp tương đương Thevenin giữa hai nút p và p' của mạng thứ tự thuận pha a được xác định bằng các công thức (4.52), (4.53).

Hai phương trình trên cho phép chúng ta biểu diễn sự cố hở hai pha bằng cách kết nối các mạng thứ tự nối tiếp nhau, như hình 4.23b.

Từ hình 4.23a, thấy rằng ảnh hưởng của sự cố hở mạch trên mạng thứ tự thuận là làm tăng tổng trở truyền qua đường dây. Đối với hở một pha, tổng trở tăng này được thêm vào giữa điểm p và p' của mạch thứ tự thuận là tổng trở song song giữa tổng trở thứ tự nghịch và tổng trở thứ tự không. Như vậy, công suất vẫn có thể truyền qua giữa p và p' , dù cho mạch thứ tự không giữa p và p' có tổng

trở vô cùng lớn. Ngược lại, với sự cố hở hai pha được biểu diễn trên hình 4.23b, thêm vào giữa p và p' trong mạch thứ tự thuận là tổng trở thứ tự nghịch và tổng trở thứ tự không nối tiếp, và do đó công suất không thể truyền qua nhánh sự cố, trừ khi mạch thứ tự không giữa p và p' có tổng trở rất nhỏ.



Hình 4.23: Mạng liên kết thứ tự khi
a) Hở một pha; b) Hở hai pha

Từ hình 4.23a liên kết mạng thứ tự khi mất một pha, chúng ta có thể tìm được các dòng và áp thứ tự:

$$\dot{I}_{a_1} = \dot{I}_{km} \frac{\dot{Z}_{pp'1}}{\dot{Z}_{pp'1} + \frac{\dot{Z}_{pp'2}\dot{Z}_{pp'o}}{\dot{Z}_{pp'2} + \dot{Z}_{pp'o}}} = \dot{I}_{km} \frac{\dot{Z}_{pp'1}(\dot{Z}_{pp'2} + \dot{Z}_{pp'o})}{\dot{Z}_{pp'o}\dot{Z}_{pp'1} + \dot{Z}_{pp'1}\dot{Z}_{pp'2} + \dot{Z}_{pp'2}\dot{Z}_{pp'o}} \quad (4.64)$$

(với \dot{I}_{km} là dòng tải trước sự cố).

$$\dot{V}_{a_o} = \dot{V}_{a_1} = \dot{V}_{a_2} = \dot{I}_{a_1} \frac{\dot{Z}_{pp'2}\dot{Z}_{pp'o}}{\dot{Z}_{pp'2} + \dot{Z}_{pp'o}} = \dot{I}_{km} \frac{\dot{Z}_{pp'o}\dot{Z}_{pp'1}\dot{Z}_{pp'2}}{\dot{Z}_{pp'o}\dot{Z}_{pp'1} + \dot{Z}_{pp'1}\dot{Z}_{pp'2} + \dot{Z}_{pp'2}\dot{Z}_{pp'o}} \quad (4.65)$$

Trong trường hợp hở mạch hai pha từ hình 4.23b, chúng ta cũng tìm được dòng và áp thứ tự như sau:

$$\frac{\dot{I}_a}{3} \dot{I}_{a_0} = \dot{I}_{a_1} = \dot{I}_{a_2} = \dot{I}_{km} \frac{\dot{Z}_{pp'_1}}{\dot{Z}_{pp'_0} + \dot{Z}_{pp'_1} + \dot{Z}_{pp'_2}} \quad (4.66)$$

$$\dot{V}_{a_1} = \dot{I}_{a_1} (\dot{Z}_{pp'_2} + \dot{Z}_{pp'_0}) = \dot{I}_{km} \frac{\dot{Z}_{pp'_1} (\dot{Z}_{pp'_2} + \dot{Z}_{pp'_0})}{\dot{Z}_{pp'_1} + \dot{Z}_{pp'_2} + \dot{Z}_{pp'_0}}$$

$$\dot{V}_{a_2} = -\dot{I}_{a_2} \dot{Z}_{pp'_2} = \dot{I}_{km} \frac{-\dot{Z}_{pp'_1} \dot{Z}_{pp'_2}}{\dot{Z}_{pp'_1} + \dot{Z}_{pp'_2} + \dot{Z}_{pp'_0}} \quad (4.67)$$

$$\dot{V}_{a_0} = -\dot{I}_{a_0} \dot{Z}_{pp'_0} = \dot{I}_{km} \frac{-\dot{Z}_{pp'_1} \dot{Z}_{pp'_0}}{\dot{Z}_{pp'_1} + \dot{Z}_{pp'_2} + \dot{Z}_{pp'_0}}$$

Ví dụ 4.6. Xét hệ thống trong ví dụ 4.1. Coi máy thứ hai là động cơ có công suất 50 MVA, hệ số công suất 0,8 trễ, điện áp định mức tại nút ③ là 345kV. Các thông số vẫn được giữ nguyên trong hệ đơn vị tương đối với công suất cơ bản 100 MVA. Xác định độ thay đổi điện áp nút tại nút ③ khi:

- Hở mạch một pha đường dây truyền tải giữa nút ② và nút ③
- Hở mạch hai pha đường dây truyền tải giữa nút ② và nút ③.

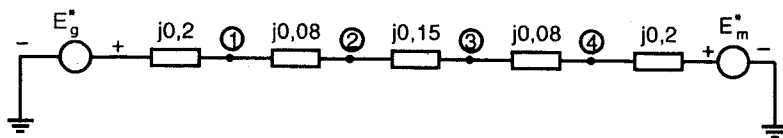
Giải. Chọn công suất cơ bản 100 MVA, các điện áp cơ bản là điện áp định mức. Các thông số trong đơn vị tương đối của ví dụ 4.1 đều có thể được dùng trực tiếp (không phải quy đổi) vì chúng đều tương ứng với hệ cơ bản đã chọn. Ta viết lại các thông số và vẽ lại các mạch thứ tự của hệ thống trong ví dụ 4.1 (mạch thứ tự nghịch giống như mạch thứ tự thuận chỉ trừ không có sức điện động) ở hình 4.24 và 4.25.

Máy 1 (máy phát): $X_{g_1} = X_{g_2} = X_d'' = 0,2; X_{g_0} = 0,04; X_{gn} = 0,05$

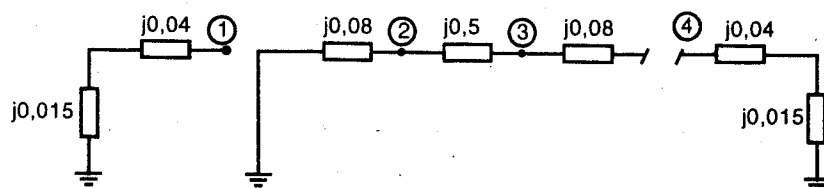
Máy 2 (động cơ): $X_{m_1} = X_{m_2} = X_d'' = 0,2; X_{m_0} = 0,04; X_{mn} = 0,05$

Máy biến áp T_1, T_2 : $X_T = 0,08$

Đường dây: $X_{L_1} = X_{L_2} = 0,15; X_{L_0} = 0,5$



Hình 4.24: Mạng thứ tự thuận



Hình 4.25: Mạng thứ tự không

Bây giờ ta sẽ kết nối các mạch thứ tự tương ứng với 2 kiểu sự cố hở pha trên.

a) Sự cố hở một pha được biểu diễn bằng cách kết nối song song các mạng thứ tự:

Trước sự cố, dòng điện chạy vào động cơ trên đường dây 2-3 (chọn $\dot{V}_3 = 1 \angle 0$) là:

$$\dot{I}_{23} = \frac{P - jQ}{V_3^*} = \frac{0,5(0,8 - j0,6)}{1} = 0,4 - j0,3 \text{ đvtd}$$

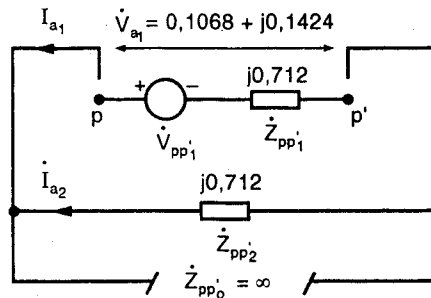
Từ hình 4.23 ta có thông số đường dây 2-3:

$$\dot{Z}_{\text{②}\text{①}} = \dot{Z}_{\text{②}\text{②}} = j0,15 \text{ đvtd}; \dot{Z}_{\text{②}\text{③}} = j0,5 \text{ đvtd}$$

Từ các ma trận tổng trở nút đã có sẵn ở ví dụ 4.1 và từ các phương trình (4.49) và (4.50) và (4.51):

$$\dot{Z}_{pp'1} = \dot{Z}_{pp'2} = \frac{-\dot{z}_{23}^2}{\dot{Z}_{22} + \dot{Z}_{33} - 2\dot{Z}_{23} - \dot{z}_{23}} = j0,712 \text{ (đvtd)}$$

$$\dot{Z}_{pp'o} = \frac{-\dot{z}_{23o}^2}{\dot{Z}_{22o} + \dot{Z}_{33o} - 2\dot{Z}_{23o} - \dot{z}_{23o}} = \frac{-(j0,5)^2}{j0,08 + j0,58 - 2(j0,08) - j0,5} = \frac{0,25}{0} = \infty$$



Hình 4.26: Kết nối các mạng thứ tự để biểu diễn sự cố hở một pha

Như thế, nếu đường dây nối nút ② và ③ hở, xuất hiện tổng trở vô cùng lớn giữa hai điểm p và p' (điểm hở) của mạch thứ tự không.

b) Khi một pha bị đứt

Liên kết mạng thứ tự mô phỏng trường hợp đứt một pha của đường dây 2-3 cho ở hình 4.26.

Khi một pha bị đứt, tổng trở mạng thứ tự thuận tăng lên một lượng tương đương với hai mạng thứ tự nghịch và không song song nhau giữa điểm đứt p và p' .

Từ phương trình (4.65):

$$\begin{aligned} \dot{V}_{a_o} = \dot{V}_{a_1} = \dot{V}_{a_2} &= \dot{I}_{23} \frac{\dot{Z}_{pp'1} \dot{Z}_{pp'2}}{\dot{Z}_{pp'1} + \dot{Z}_{pp'2}} = (0,4 - j0,3) \frac{j0,712 \cdot j0,712}{j0,712 + j0,712} \\ &= 0,1068 + j0,1424 \text{ đvtd} \end{aligned}$$

Độ thay đổi điện áp nút tại nút ③:

$$\Delta \dot{V}_{3a_o} = \frac{\dot{Z}_{32o} - \dot{Z}_{33o}}{\dot{z}_{23o}} \dot{V}_{a_o} = \frac{(j0,08 - j0,58)}{j0,5} \dot{V}_{a_o} = -\dot{V}_{a_o} = -0,1068 - j0,1424 \text{ đvtd}$$

$$\Delta \dot{V}_{3a_1} = \Delta \dot{V}_{3a_2} = \frac{\dot{Z}_{32_1} - \dot{Z}_{33_1}}{\dot{z}_{23_1}} \dot{V}_{a_1} = \frac{(j0,1104 - j0,0,1696)}{j0,15} \dot{V}_{a_1} = -0,0422 - j0,0562 \text{ đvtd}$$

Vậy điện áp nút ③ khi sự cố là:

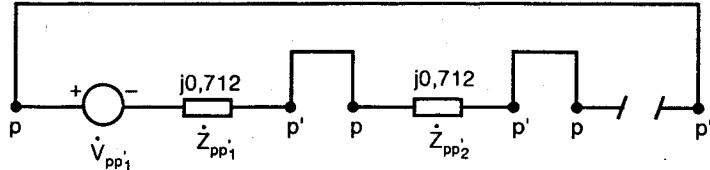
$$\dot{V}_{3a}(N) = \dot{V}_3(0) + \Delta\dot{V}_{3_0} + \Delta\dot{V}_{3_1} + \Delta\dot{V}_{3_2} = \dot{V}_3 + (-0,1912 - j0,2548) \text{ đvtd}$$

Trước sự cố:

$$\dot{V}_3(0) = 1 + j0,0; \quad \dot{V}_3(N) = 0,8088 - j0,2548 = 0,848 \angle -17,5^\circ$$

c) Sự cố hở hai pha:

Liên kết mạng thứ tự mô phỏng sự cố hở hai pha cho ở hình 4.26.



Hình 4.27: Mạng thứ tự liên kết khi hở hai pha

Ta nhận thấy mạng liên kết là một mạng hở vì nối tiếp với mạng thứ tự thuận một tổng trở thứ tự không vô cùng lớn.

Nói tóm lại, công suất không thể truyền qua chỉ một pha của đường dây truyền tải ba pha trong trường hợp này.

Ví dụ 4.7: Cho mạng điện như hình 4.28 với các thông số sau:

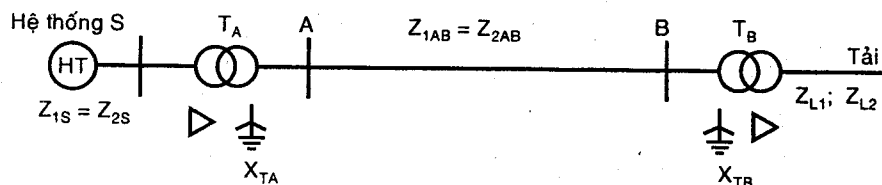
Hệ thống S: 50 MVA; $Z_{1S} = Z_{2S} = 15\%$

Máy biến áp T_A tại thanh cái A: 50MVA; 115/34,5kV; $X_{TA} = 7\%$

Đường dây AB: $Z_{1AB} = 0,21 \angle 71^\circ$, $Z_{0AB} = 0,64 \angle 67^\circ$ với $S_{CB} = 30\text{MVA}$;
 $U_{CB} = 35,5\text{kV}$

Máy biến áp T_B tại thanh cái B: 30MVA; 34,5/13,8kV $X_{TB} = 8\%$

Tải: 30MVA; $\cos\theta = 0,9$ ($Z_{L1} = 1,0 \angle 25,84^\circ$, $Z_{L2} = 0,6 \angle 29^\circ$) với $S_{CB} = 30\text{MVA}$;
 $U_{CB} = 35,5\text{kV}$



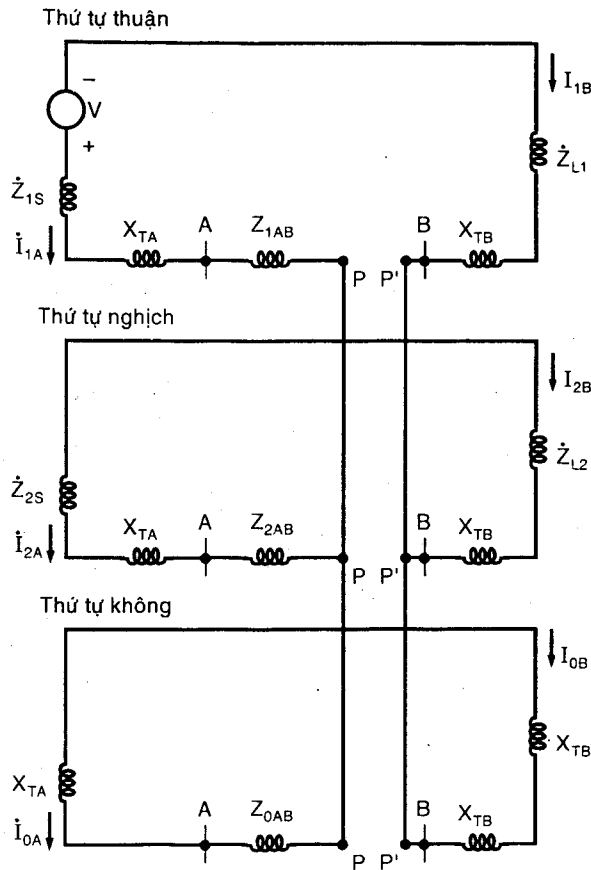
Hình 4.28: Sơ đồ mạng điện của ví dụ 4.7

Tính toán dòng sự cố khi hở pha a tại thanh cái B.

Sơ đồ liên kết mạng thứ tự khi hở pha a tại B cho hình 4.29

Tính các thông số hệ thống trong hệ đơn vị tương đối theo cơ bản 30MVA; 34,5kV

$$\dot{Z}_{1S} = j0,15 \frac{30}{50} = j0,09, \quad \dot{X}_{TA} = j0,07 \frac{30}{50} = j0,042$$



Hình 4.29: Sơ đồ liên kết các mạng thứ tự khi hở pha a tại thanh cái B

Đặt: $\dot{Z}_{1A} = \dot{Z}_{1S} + \dot{X}_{TA} + \dot{Z}_{1AB}$; $\dot{Z}_{1A} = \dot{Z}_{2A}$

$$\dot{Z}_{1A} = j0,09 + j0,042 + 0,21 \angle 71^\circ = 0,3376 \angle 78,31^\circ$$

$$\dot{Z}_{0A} = X_{TA} + Z_{0AB}$$

$$\dot{Z}_{0A} = j0,042 + 0,64 \angle 67^\circ = 0,6788 \angle 68,39^\circ$$

$$\dot{Z}_{1B} = Z_{L1} + X_{AB}$$

$$\dot{Z}_{1B} = j0,08 + 1,0 \angle 25,84^\circ = 1,037 \angle 29,82^\circ$$

$$\dot{Z}_{2B} = \dot{Z}_{L2} + \dot{X}_{AB}$$

$$\dot{Z}_{2B} = j0,08 + 0,6 \angle 29^\circ = 0,6426 \angle 35,25^\circ$$

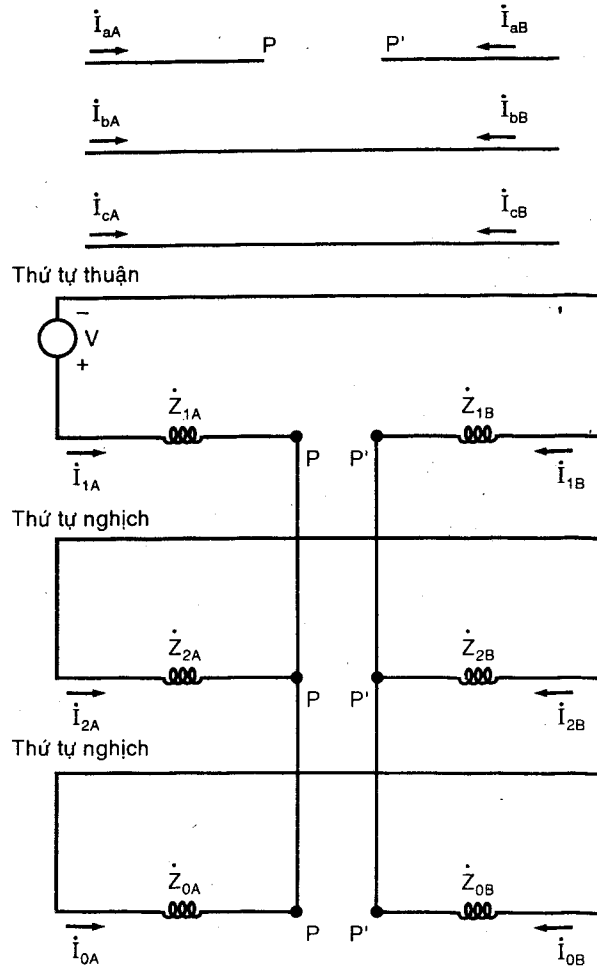
$$\dot{Z}_{0B} = \dot{X}_{AB}$$

$$\dot{Z}_{0B} = \dot{X}_{TB} = j0,08 = 0,08 \angle 90^\circ$$

Từ sơ đồ liên kết thu gọn thành hình 4.30:

$$\dot{Z}_2 = \dot{Z}_{2a} + \dot{Z}_{2b} = 0,9187 \angle 49,87^\circ; \dot{Z}_0 = \dot{Z}_{0A} + \dot{Z}_{0B} = 0,7537 \angle 70,63^\circ$$

$$\frac{\dot{Z}_2 \dot{Z}_0}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_0} = 0,4209 \angle 61,245^\circ = 0,2025 + j0,3690$$



Hình 4.30: Liên kết thu gọn khi hở pha tại thanh cái B

Tổng trở tương đương:

$$\dot{Z}_{1A} + \frac{\dot{Z}_2 \dot{Z}_0}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_0} + \dot{Z}_{1B} = 1,688 \angle 46,08^\circ \quad (4.68)$$

Giả sử trước sự cố điện áp tải có biên độ và góc pha là $1 \angle 0^\circ$, dòng tải có biên độ và góc pha $1 \angle -25,84^\circ$ (tính trong đơn vị tương đối).

Ta có: $-\dot{V} + \dot{I}(\dot{Z}_{1A} + \dot{Z}_{TB}) + 1 = 0$

$$\dot{V} = 1 + 1 \angle -25,84^\circ (0,0684 + j0,4106)$$

$$\dot{V} = 1 + 10,4163 \angle 54,7^\circ = 1,286 \angle 15,315^\circ \text{ đvtd} \quad (4.69)$$

Từ (4.68), (4.69) ta có:

$$\dot{I}_{1A} = \frac{1,286 \angle 15,315^\circ}{1,688 \angle 46,08^\circ} = 0,762 \angle -30,765^\circ = 0,655 - j0,39 \text{ đvtd} \quad (4.70)$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{2A} &= -\dot{I}_{1A} \frac{\dot{Z}_0}{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_2} = -0,762 \angle -30,765^\circ \frac{0,7537 \angle 70,63^\circ}{1,645 \angle 59,165^\circ} = 0,349 \angle 160,7^\circ \\ &= -0,329 + j0,115 \text{ đvtd} \end{aligned} \quad (4.71)$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{0A} &= -\dot{I}_{1G} \frac{\dot{Z}_2}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_0} = -0,762 \angle 30,76^\circ \frac{0,9187 \angle 49,87^\circ}{1,645 \angle 59,165^\circ} \\ &= 0,426 \angle 139,85^\circ = -0,325 + j0,274 \text{ đvđt} \end{aligned} \quad (4.72)$$

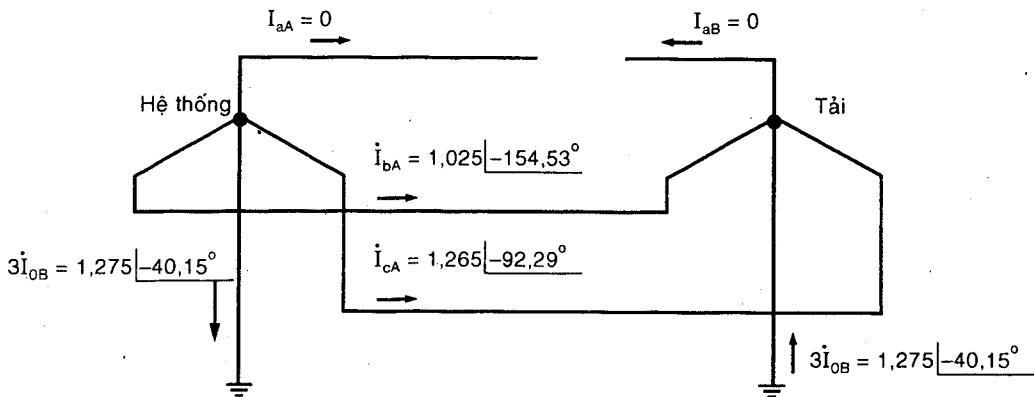
Từ (4.70), (4.72) ta có:

$$\dot{I}_{aA} = \dot{I}_{1A} + \dot{I}_{2A} + \dot{I}_{0A} = 0$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{bA} &= a^2 \dot{I}_{1A} + a \dot{I}_{2A} + \dot{I}_{0A} = 0,762 \angle 209,24^\circ + 0,349 \angle 280,7^\circ + 0,426 \angle 139,85^\circ \\ &= -0,925 - j0,441 = 1,025 \angle -154,53^\circ \text{ đvđt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{cA} &= a \dot{I}_{1A} + a^2 \dot{I}_{2A} + \dot{I}_{0A} = 0,762 \angle 89,24^\circ + 0,349 \angle 40,7^\circ + 0,426 \angle 139,85^\circ \\ &= -0,05 - j1,264 = 1,265 \angle 92,285^\circ \text{ đvđt} \end{aligned}$$

Từ kết quả trên phân bố dòng cho hình 4.31.



Hình 4.31: Sơ đồ phân bố dòng khi trung tính hai máy biến áp nối đất

Ví dụ 4.8: Hở pha khi hệ thống chỉ nối đất một phía nguồn

Nếu máy biến áp 30MVA ở thanh cái B không nối đất, thì mạng thứ tự không X_{TB} sẽ hở nên không có dòng I_{0A} và I_{0B} . Tổng trở lúc này là:

Tổng trở tương đương:

$$\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 = 1,562 + j1,548 = 2,199 \angle 44,75^\circ$$

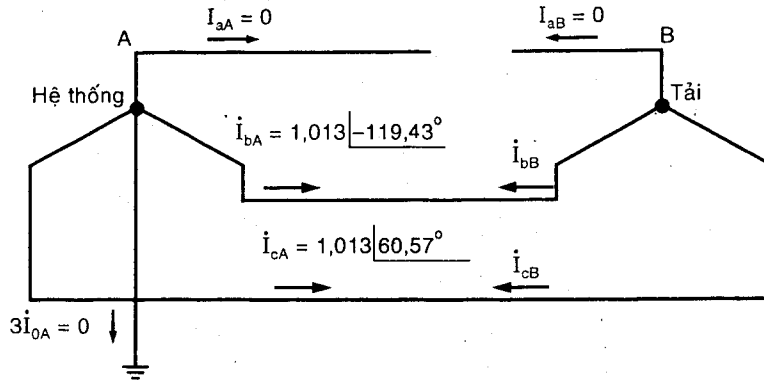
$$\dot{I}_{1A} = -\dot{I}_{2A} = -\dot{I}_{1B} = \dot{I}_{2B} = \frac{1,286 \angle 15,315^\circ}{2,199 \angle 44,75^\circ} = 0,5849 \angle -29,434^\circ$$

$$\dot{I}_{aA} = \dot{I}_{aB} = 0$$

$$\dot{I}_{bA} = a^2 \dot{I}_{1A} - a \dot{I}_{1A} = 1,013 \angle -119,434^\circ$$

$$\dot{I}_{cA} = a \dot{I}_{1A} - a^2 \dot{I}_{1A} = 1,013 \angle -60,566^\circ$$

Phân bố dòng biểu diễn hình 4.32.

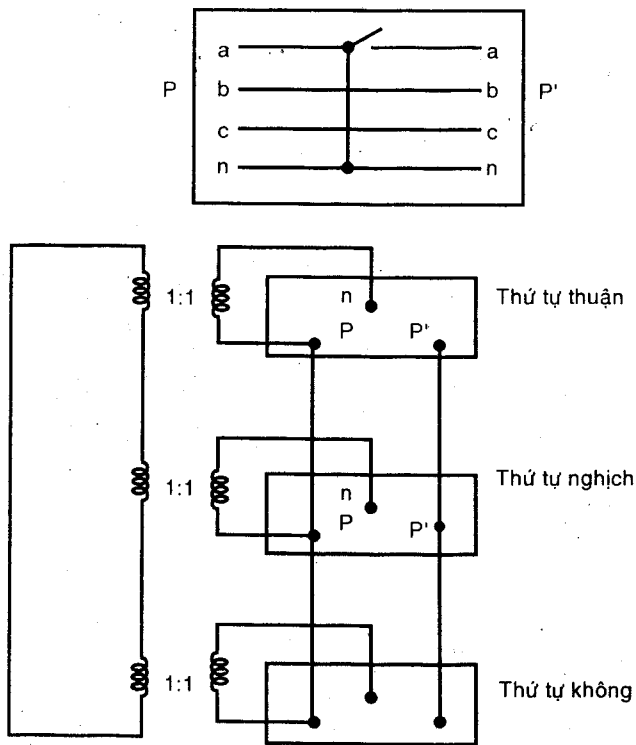


Hình 4.32: Phân bố dòng khi máy biến áp B không nối trung tính

4.7 TÍNH TOÁN SỰ CỐ PHỨC HỢP

Một trong những sự cố phức hợp thường xảy ra trong hệ thống điện là một pha bị đứt và rơi xuống chạm đất.

Sơ đồ liên kết trong trường hợp này là cho hình 4.33. Trong đó sử dụng ba máy biến áp lý tưởng để mô phỏng chạm đất một pha.



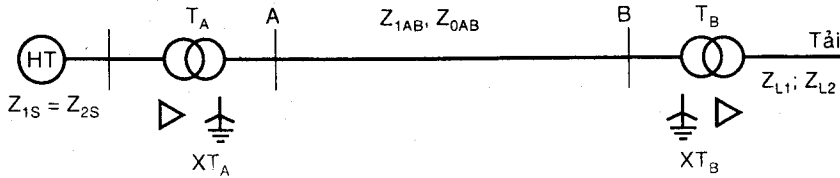
Hình 4.33: Liên kết mạng thứ tự khi một pha đứt và rơi xuống chạm đất

Ta khảo sát các trường hợp sau:

- Một pha bị đứt rơi xuống chạm đất phía tải
- Một pha bị đứt rơi xuống chạm đất phía nguồn

4.7.1 Một pha bị đứt rơi xuống đất phía tải

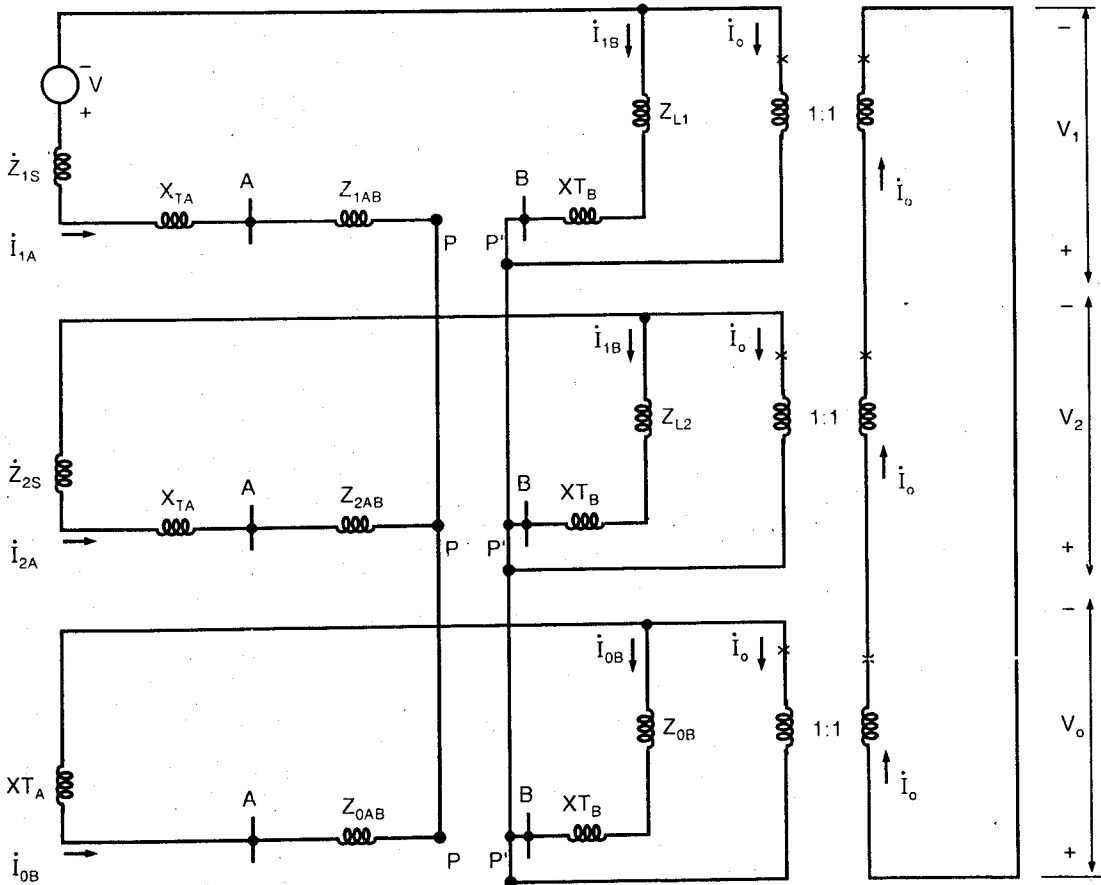
Khảo sát trường hợp một pha bị đứt rơi xuống đất tại trạm B bằng ví dụ với sơ đồ mạng hình 4.34, thông số giống như ví dụ 4.7.



Hình 4.34: Hệ thống bị đứt pha a và rơi chạm đất tại trạm B

Xét khi có tải: 30MVA

$$\begin{aligned} \dot{Z}_{1A} &= Z_{1S} + X_{TA} + \dot{Z}_{1AB} & \dot{Z}_{1B} &= X_{TB} + \dot{Z}_{L1} \\ \dot{Z}_{2A} &= \dot{Z}_{1A} & \dot{Z}_{2B} &= X_{TB} + \dot{Z}_{L2} \\ \dot{Z}_{0A} &= X_{TA} + \dot{Z}_{0AB} & \dot{Z}_{0B} &= X_{TB} \end{aligned}$$



Hình 4.35: Mạng thứ tự liên kết cho trường hợp hình 4.34

Từ hình 4.35

$$-\dot{V} + \dot{I}_{1A}\dot{Z}_{1A} - \dot{I}_{2A}\dot{Z}_{1A} + \dot{I}_{2B}\dot{Z}_{2B} - \dot{I}_{1B}\dot{Z}_{1B} = 0 \quad (4.73)$$

Mạng thứ tự thuận: $\dot{I}_{1A} + \dot{I}_{1B} + \dot{I}_o = 0 \quad (4.74)$

Mạng thứ tự nghịch: $\dot{I}_{2A} + \dot{I}_{2B} + \dot{I}_o = 0 \quad (4.75)$

Mạng thứ tự không: $\dot{I}_{0A} + \dot{I}_{0B} + \dot{I}_o = 0 \quad (4.76)$

Do $\dot{I}_{1A} + \dot{I}_{2A} + \dot{I}_{0A} = 0$
 $-\dot{I}_o = 1/3(\dot{I}_{1B} + \dot{I}_{2B} + \dot{I}_{0B}) \quad (4.77)$

Thế (4.77) vào (4.74), (4.75), (4.76) ta có:

$$\dot{I}_{1A} = -2/3\dot{I}_{1B} + 1/3\dot{I}_{2B} + 1/3\dot{I}_{0B} \quad (4.78)$$

$$\dot{I}_{2A} = 1/3\dot{I}_{1B} - 2/3\dot{I}_{2B} + 1/3\dot{I}_{0B} \quad (4.79)$$

$$\dot{I}_{0A} = 1/3\dot{I}_{1B} + 1/3\dot{I}_{2B} - 2/3\dot{I}_{0B} \quad (4.80)$$

Thế (4.78), (4.79) vào (4.73) ta có:

$$-\dot{I}_{1B}(\dot{Z}_{1A} + \dot{Z}_{1B}) + \dot{I}_{2B}(\dot{Z}_{1A} + \dot{Z}_{2B}) = \dot{V} \quad (4.81)$$

Từ hình 4.35 ta có:

$$\dot{V}_1 = \dot{I}_{1B}\dot{Z}_{1B} = 0; \quad \dot{V}_2 + \dot{I}_{2B}\dot{Z}_{2B} = 0; \quad \dot{V}_o + \dot{I}_{0B}\dot{Z}_{0B} = 0 \quad (4.82)$$

Và có: $\dot{V}_1 + \dot{V}_2 + \dot{V}_o = 0$

nên: $\dot{I}_{1B}\dot{Z}_{1B} + \dot{I}_{2B}\dot{Z}_{2B} + \dot{I}_{0B}\dot{Z}_{0B} = 0; \quad (4.83)$

Từ mạng thứ tự nghịch và thứ tự không

$$\dot{I}_{2A}\dot{Z}_{2A} - \dot{I}_{0A}\dot{Z}_{0A} + \dot{I}_{0B}\dot{Z}_{0B} - \dot{I}_{2B}\dot{Z}_{2B} = 0 \quad (4.84)$$

Thế (4.79), (4.80) vào (4.84), đơn giản và nhân thêm 3 ta được:

$$\dot{I}_{1B}(\dot{Z}_{1A} - \dot{Z}_{0A}) - \dot{I}_{2B}(2\dot{Z}_{1A} + \dot{Z}_{0A} + 3\dot{Z}_{2B}) + \dot{I}_{0B}(\dot{Z}_{1A} + 2\dot{Z}_{0A} + 3\dot{Z}_{2B}) = 0 \quad (4.85)$$

Từ hệ ba phương trình (4.81), (4.82), (4.83), tìm ba ẩn \dot{I}_{1B} , \dot{I}_{2B} , \dot{I}_{0B}

Biến đổi bằng cách nhân (4.82) cho $(\dot{Z}_{1A} + 2\dot{Z}_{0A} + 3\dot{Z}_{0B})$ và (4.85) nhân với (\dot{Z}_{0B}) . Sau đó trừ nhau ta được phương trình khử được \dot{I}_{0B} :

$$\dot{I}_{1B}\dot{Z}_X + \dot{I}_{2B}\dot{Z}_Y = 0 \quad (4.86)$$

với $\dot{Z}_X = \dot{Z}_{1B}(\dot{Z}_{1A} + 2\dot{Z}_{0A} + 3\dot{Z}_{0B}) + \dot{Z}_{0B}(\dot{Z}_{0A} - \dot{Z}_{1A}) \quad (4.87)$

$$\dot{Z}_Y = \dot{Z}_{2B}(\dot{Z}_{1A} + 2\dot{Z}_{0B}) + \dot{Z}_{0B}(2\dot{Z}_{1A} + \dot{Z}_{0A} + 6\dot{Z}_{2B}) \quad (4.88)$$

Từ (4.86) ta suy ra

$$\dot{I}_{2B} = -\dot{I}_{1B} \frac{\dot{Z}_X}{\dot{Z}_Y} \quad (4.89)$$

Thế (4.89) vào (4.81) rút gọn ta có:

$$\dot{I}_{1B} = \frac{-\dot{V}\dot{Z}_Y}{\dot{Z}_X(\dot{Z}_{1A} + \dot{Z}_{2B}) + \dot{Z}_Y(\dot{Z}_{1A} + \dot{Z}_{1B})} \quad (4.90)$$

Từ (4.78) ta suy ra:

$$\dot{I}_{0B} = \frac{-\dot{I}_{1B}\dot{Z}_{1B} - \dot{I}_{2B}\dot{Z}_{2B}}{\dot{Z}_{0B}} \quad (4.91)$$

Dòng I_o được xác định bằng công thức (4.77) từ đó ta tính \dot{I}_{1A} , \dot{I}_{2A} , \dot{I}_{0A} bằng công thức (4.74), (4.75), (4.76)

$$\dot{I}_{1A} = -\dot{I}_{1B} - \dot{I}_o \quad (4.92)$$

$$\dot{I}_{2A} = -\dot{I}_{2B} - \dot{I}_o \quad (4.93)$$

$$\dot{I}_{0A} = -\dot{I}_{0B} - \dot{I}_o \quad (4.94)$$

Thế số vào ta tính được các giá trị sau (tính ở cơ bản 30MVA 34,5kV):

$$\dot{Z}_{1S} = j0,15 \frac{30}{50} = j0,09, \quad X_{TA} = j0,07 \frac{30}{50} = j0,042, \quad \dot{Z}_{2A} = \dot{Z}_{1A} \quad (4.95)$$

$$\dot{Z}_{1A} = j0,09 + j0,042 + 0,21\angle 71^\circ = 0,3376\angle 78,31^\circ$$

$$\dot{Z}_{0A} = j0,042 + 0,64\angle 67^\circ = 0,6788\angle 68,39^\circ$$

$$\dot{Z}_{1B} = j0,08 + 1,0\angle 25,84^\circ = 1,037\angle 29,82^\circ$$

$$\dot{Z}_{2B} = j0,08 + 0,6\angle 29^\circ = 0,6426\angle 35,25^\circ$$

$$\dot{Z}_{0B} = j0,08 = 0,08\angle 90^\circ$$

Từ (4.74), (4.75), (4.76) ta tính được:

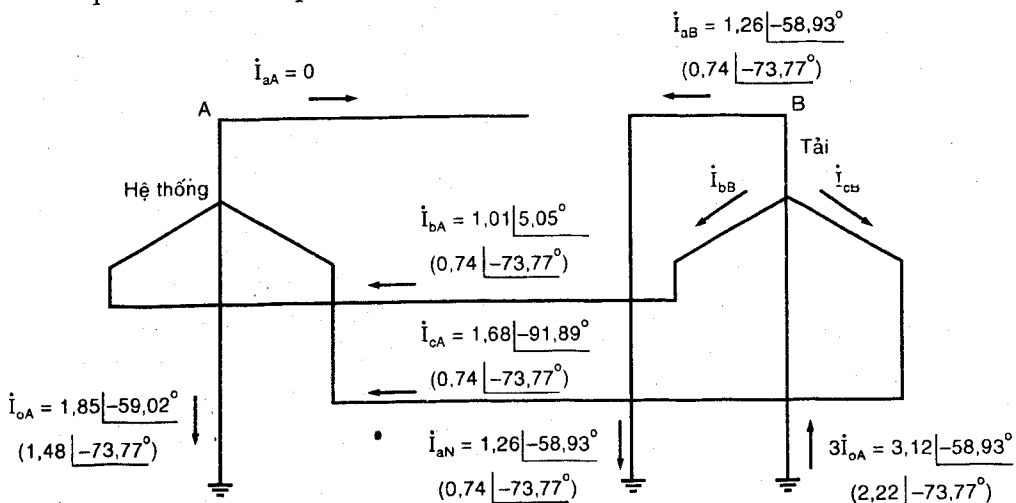
$$\dot{I}_{1B} = 0,502\angle 154,93^\circ \quad \dot{I}_{1A} = 0,881\angle -40,53^\circ$$

$$\dot{I}_{2B} = 0,697\angle -35,25^\circ \quad \dot{I}_{2A} = 0,354\angle -173,11^\circ$$

$$\dot{I}_{0B} = 1,039\angle -58,94^\circ \quad \dot{I}_{0A} = 0,618\angle 120,98^\circ$$

$$\dot{I}_o = 0,421\angle 121,19^\circ$$

Từ kết quả trên ta vẽ phân bố dòng hình 4.36:

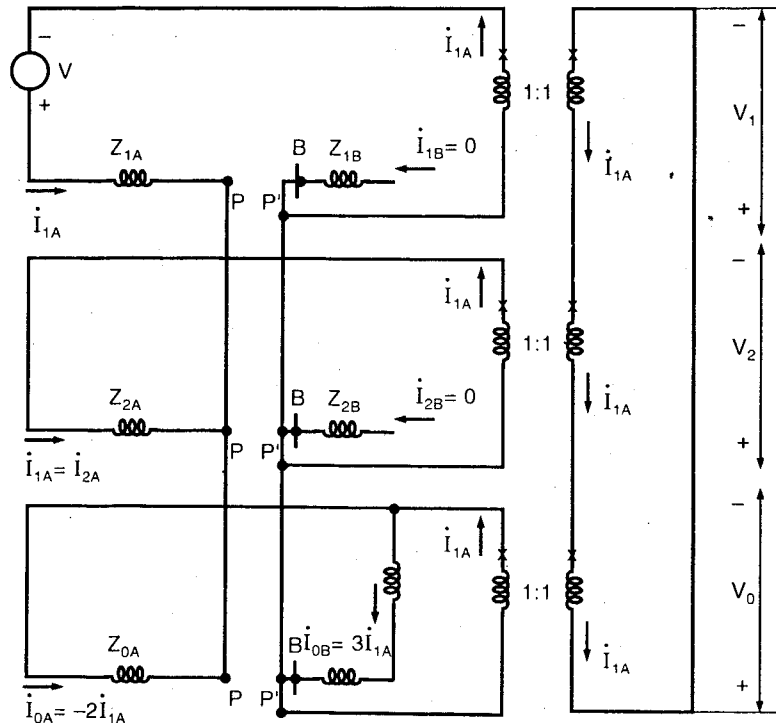


Hình 4.36: Phân bố dòng cho trường hợp pha a chạm đất tại B.

Trị số trong ngoặc là cho trường hợp không tải

Xét khi không tải (H.4.35)

Nếu tổng trở nhánh tải ($\dot{Z}_{L1} + \dot{Z}_{TB}$) và ($\dot{Z}_{L2} + \dot{Z}_{TB}$) bỏ qua thì \dot{I}_{1B} và \dot{I}_{2B} không tồn tại. Điều này thể hiện ở hình 4.37. Sơ đồ thay thế và tính toán sẽ đơn giản đi rất nhiều.



Hình 4.37: Mạng thứ tự liên kết thứ tự trường hợp đứt một pha chạm đất khi không tải

Ta có:
$$\dot{V}_1 + \dot{V}_2 + \dot{V}_0 = 0 \quad (4.96)$$

Máy biến áp lý tưởng không có kháng trở và bỏ qua tải, nên không tính được \dot{V}_1, \dot{V}_2

Ở mạch thứ tự không:
$$3\dot{I}_{1A}X_{TB} + \dot{V}_0 = 0 \quad (4.97)$$

Thế (4.96) vào (4.97):
$$3\dot{I}_{1A}X_{TB} - \dot{V}_1 - \dot{V}_2 = 0 \quad (4.98)$$

Từ mạng thứ tự thuận và thứ tự nghịch trên hình 4.37:

$$-\dot{V} + \dot{I}_{1A}\dot{Z}_{1A} - \dot{I}_{2A}\dot{Z}_{2A} - \dot{V}_2 + \dot{V}_1 = 0$$

Ta đã có: $\dot{I}_{1A} = \dot{I}_{2A}$ nên:
$$-\dot{V} - \dot{V}_2 + \dot{V}_1 = 0 \quad (4.99)$$

Thế (4.99) vào (4.98):
$$3\dot{I}_{1A}X_{TB} + \dot{V} - 2\dot{V}_1 = 0 \quad (4.100)$$

Từ mạng thứ tự thuận và thứ tự không trên hình 4.37

$$-\dot{V} + \dot{I}_{1A}\dot{Z}_{1A} + 2\dot{I}_{1A}\dot{Z}_{0A} + 3\dot{I}_{1A}X_{TB} + \dot{V}_1 = 0$$

Nhân thêm 2 cho hai vế phương trình ta được:

$$-2\dot{V} + (2\dot{I}_{1A}\dot{Z}_{1A} + 4\dot{I}_{1A}\dot{Z}_{0A} + 6\dot{I}_{1A}X_{TB}) + 2\dot{V}_1 = 0 \quad (4.101)$$

Từ (4.100), (4.101) suy ra:
$$-\dot{V} + \dot{I}_{1A}(2\dot{Z}_{1A} + 4\dot{Z}_{0A} + 9X_{TB}) = 0$$

$$\dot{I}_{1A} = \dot{I}_{2A} = \frac{\dot{V}}{2\dot{Z}_{1A} + 4\dot{Z}_{0A} + 9X_{TB}} \quad (4.102)$$

$$\dot{I}_{0A} = -2\dot{I}_{2A}; \quad \dot{I}_{1B} = \dot{I}_{2B} = 0; \quad \dot{I}_{0B} = 3\dot{I}_{1A} \quad (4.103)$$

Bây giờ ta thế giá trị với $\dot{V} = 1\angle 0^\circ$ trong trường hợp không tải, ta có:

$$\dot{I}_{1A} = \dot{I}_{2A} = \frac{1\angle 0^\circ}{1,137 + j3,91} = 0,246\angle -73,77^\circ$$

$$\dot{I}_{0A} = 0,492\angle 106,23^\circ; \quad \dot{I}_{0B} = 0,738\angle -73,72^\circ$$

Các giá trị dòng tính được biểu diễn giá trị đặt trong ngoặc đơn của hình 4.36 để ta có thể so sánh với trường hợp có tải.

Trường hợp trung tính máy biến áp phía tải không nối đất

Nếu máy biến áp 30MVA tại thanh cái B không có nối đất hay là nó được đấu tam giác bên phía cao áp, thì trong quan hệ hình 4.35 X_{TB} sẽ không được nối trong mạch thứ tự không. Kết quả là trở kháng thứ tự không sẽ không nối tới điểm Y dẫn đến không có dòng thứ tự không chạy trong mạng thứ tự không. Như thế tương đương trường hợp hệ thống không nối đất mặc dù MBA tại A được nối đất và một pha chạm đất. Tuy nhiên, vẫn có dòng chạm do dung dẫn giữa pha và đất.

Giả sử rằng tổng dung kháng tại B là $200k\Omega$ ở $34,5kV$ dòng điện dung là:

$$\dot{I}_C = \frac{34.500}{\sqrt{3.200.000}} = 0,1A \text{ ở } 34,5kV \quad (4.104)$$

Với $Z_{OB} = -j5041$ (đvtđ) trong hình 4.35 thì áp dụng các công thức từ (4.78) đến (4.80), (4.84), (4.85) và công thức (4.91). Ta tính được:

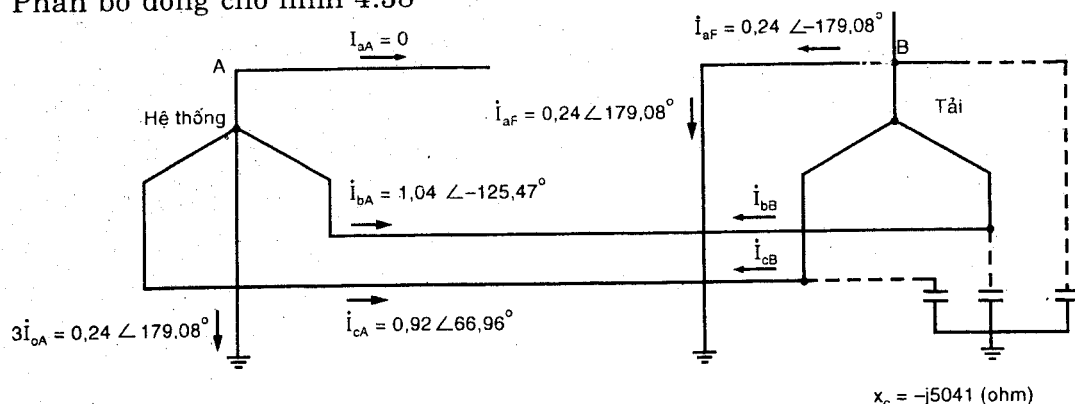
$$\dot{I}_{1A} = 0,598\angle -27,77^\circ \quad \dot{I}_{1B} = 0,671\angle -155,33^\circ$$

$$\dot{I}_{2A} = 0,528\angle -148,27^\circ \quad \dot{I}_{2B} = 0,461\angle -36,85^\circ$$

$$\dot{I}_{0A} = 0,08\angle -179,11^\circ \quad \dot{I}_{0B} = 0,00008\angle 100^\circ$$

$$\dot{I}_o = 0,08\angle -0,94^\circ$$

Phân bố dòng cho hình 4.38

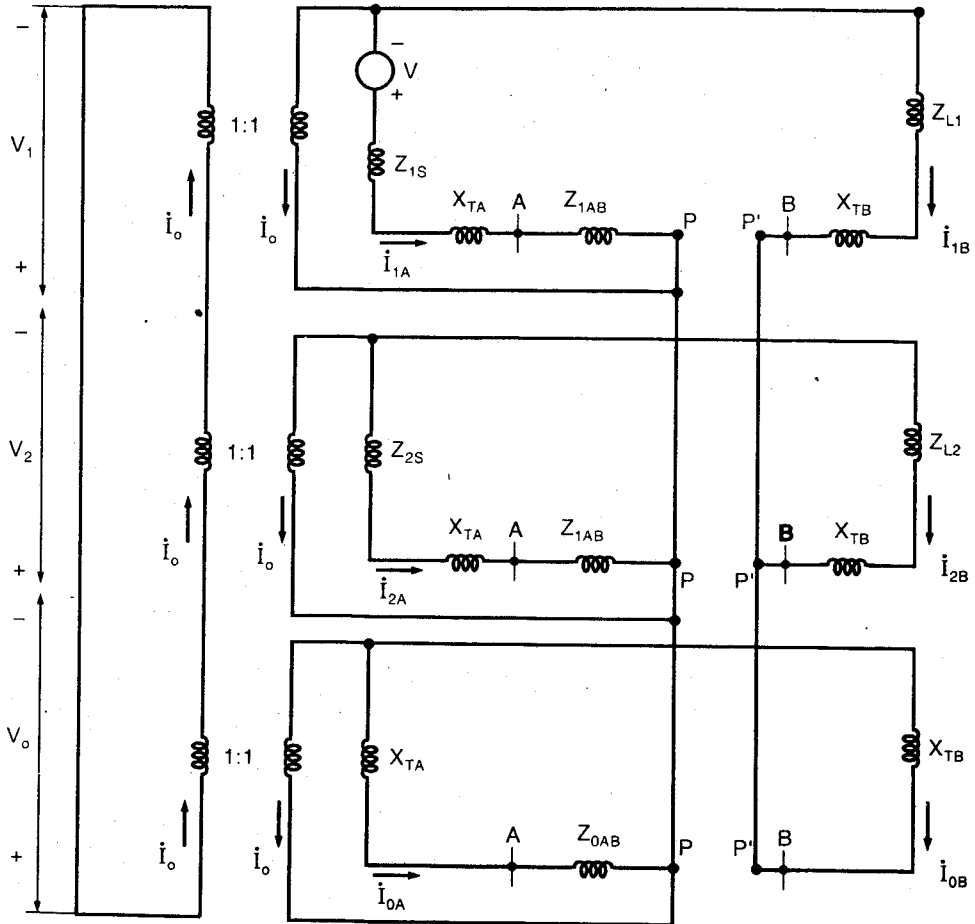


Hình 4.38: Phân bố dòng cho trường hợp trung tính MBA phía tải không nối đất

4.7.2 Một pha phía đường dây bị đứt và rơi chạm đất

Khi đường dây rơi xuống đất, máy biến áp lý tưởng trong sơ đồ liên kết sẽ liên kết phía đường dây (H.4.39)

Như đã nhận xét, $Z_{tải}$ không thể bỏ qua vì nếu không tải thì sẽ không có đường dẫn cho dòng điện trừ khi nó khép mạch qua điện dung của hệ thống xuống đất. Khi điện dung của hệ thống lớn và thường được bỏ qua trong hệ thống có nối đất nên dòng ngắn mạch chạm đất sẽ rất nhỏ.



Hình 4.39: Mạng liên kết thủ tục cho trường hợp một pha phía đường dây bị đứt và rơi xuống đất

Từ hình 4.39:

$$-\dot{V} + \dot{I}_{1A}Z_{1A} + \dot{V}_1 = 0 \tag{4.105}$$

$$\dot{I}_{2A}\dot{Z}_{1A} + \dot{V}_2 = 0 \tag{4.106}$$

$$\dot{I}_{0A}\dot{Z}_{0A} + \dot{V}_o = 0 \tag{4.107}$$

Với: $\dot{V}_1 + \dot{V}_2 + \dot{V}_o = 0$

Ta được $\dot{I}_{1A}\dot{Z}_{1AB} + \dot{I}_{2A}\dot{Z}_{1AB} + \dot{I}_{0A}\dot{Z}_{0AB} = \dot{V}$ (4.108)

Từ mạng thứ tự nghịch và thứ tự không ta chứng minh được:

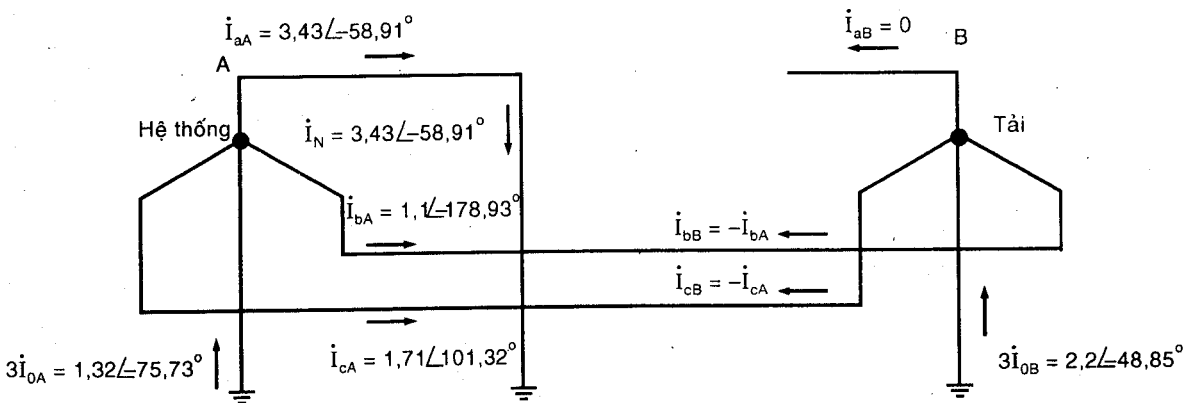
$$I_{1A} \frac{X_{TB} - Z_{2B}}{3} + I_{2A} (Z_{1A} + Z_{2B} + \frac{X_{TB} - Z_{2B}}{3}) - I_{0A} (Z_{0A} + X_{TB} - \frac{X_{TB} - Z_{2B}}{3}) = 0 \quad (4.109)$$

Từ mạng thứ tự nghịch và thứ tự thuận ta cũng chứng minh được:

$$I_{1A} (Z_{1A} + \frac{Z_{2B} + 2Z_{1B}}{3}) - I_{2A} (Z_{1A} + \frac{2Z_{2B} + Z_{1B}}{3}) + I_{0A} (\frac{Z_{2B} - Z_{1B}}{3}) = \dot{V} \quad (4.110)$$

Từ ba phương trình vào (4.108), (4.109), (4.110) ta tính được I_{1A}, I_{2A}, I_{0A} và suy ra các dòng pha. Từ đó ta có phân bố dòng như sau:

$$I_{0A} = 0,4284 \angle -74,85^\circ; I_{1A} = 1,0989 \angle -71,33^\circ; I_{2A} = 1,9766 \angle -48,58^\circ$$



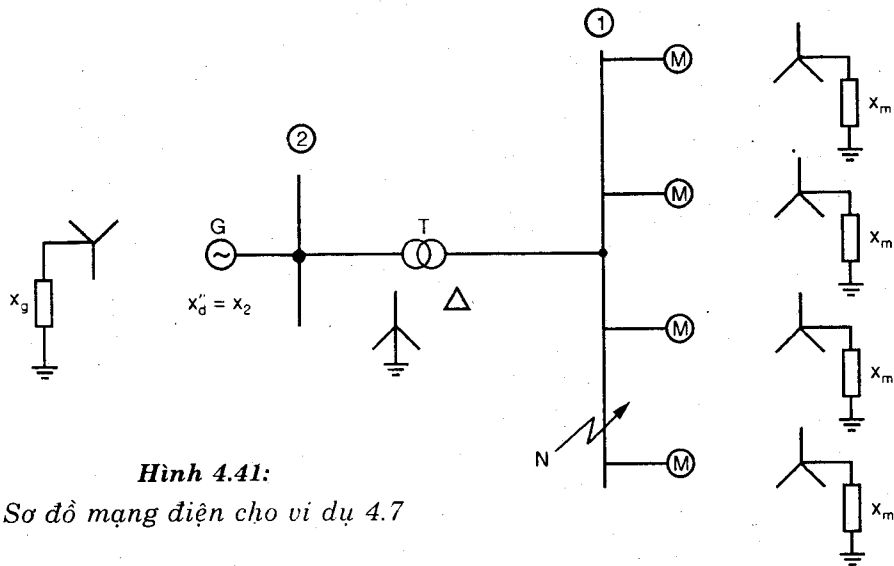
Hình 4.40: Phân bố dòng cho trường hợp một pha bị đứt phía đường dây

4.8 MỘT VÀI VÍ DỤ TÍNH NGẮN MẠCH BẤT ĐỐI XỨNG

Để tính toán giải tích ngắn mạch trong hệ thống lớn, các chương trình máy tính lớn dựa vào các ma trận tổng trở thành cái. Dạng ngắn mạch thường được tính toán nhất là ngắn mạch ba pha và chạm đất một pha để phục vụ cho việc chọn máy cắt và bảo vệ role. Dòng tính toán ngắn mạch tại chỗ ngắn mạch cũng như phân bố trên các nhánh khác.

Đối với hệ thống điện nông nghiệp và hệ thống điện nhỏ, không nhất thiết phải sử dụng ma trận tổng trở mà có thể dùng sơ đồ tương đương Thevenin để tính toán ngắn mạch tại một vài điểm trong mạng sẽ nhanh chóng hơn. Sau đây xin giới thiệu một vài ví dụ tính toán ngắn mạch chạm đất một pha bằng tay để hiểu rõ hơn việc sử dụng sơ đồ mạng liên kết các mạng thứ tự.

Ví dụ 4.8. Hệ thống điện được tương đương bởi một máy phát điện G cung cấp cho nhóm tải động cơ đồng bộ M giống nhau qua máy biến áp T như hình 4.41. Các thông số của sơ đồ:



Hình 4.41:

Sơ đồ mạng điện cho ví dụ 4.7

Hệ thống điện G: $S_G = 7500 \text{ kVA}$; $U_G = 4,16 \text{ kV}$ ($4,16 = \sqrt{3} \times 2,4 \text{ kV}$)

$$x_d'' = x_2 = 0,1 \text{ đvtd}; \quad x_o = 0,05 \text{ đvtd}; \quad x_g = 0,05 \text{ đvtd}$$

Nhóm tải động cơ M:

$U_{dm} = 600 \text{ V}$; hiệu suất 89,5% khi đầy tải; lúc $\cos \varphi = 1$ và điện thế định mức; tổng công suất 4476 kW (6000 Hp), kháng trở mỗi động cơ tính theo cơ bản là định mức tổng cộng: $x_d'' = x_1 = 0,2$; $x_2 = 0,2$; $x_o = 0,04$ và trung tính động cơ nối đất qua kháng trở $x_m = 0,02 \text{ đvtd}$.

Máy biến áp T: $S_T = 2500 \text{ kVA}$; $2400/600 \text{ V}$ ($4160 \text{ V Y}/600 \text{ V } \Delta$); $Z_T\% = 10\%$; tổ đấu dây như hình vẽ.

Khi chạm đất một pha ở phía điện áp 600 V (điểm N trên hình 4.28), các động cơ cung cấp tải tổng là 3730 kW (5000 Hp) ở điện thế định mức, $\cos \varphi = 0,85$ trễ và $\eta = 88\%$. Tính toán dòng ngắn mạch quá độ trong mạng điện với giả thiết không kể ảnh hưởng dòng điện trước sự cố.

Giải. Chọn các đại lượng cơ bản: $S_{cb} = 7500 \text{ kVA}$; $U_{cb2} = 4,16 \text{ kV}$; $U_{cb1} = 600 \text{ V}$.

Công suất định mức đầu vào của mỗi động cơ tương đương:

$$\frac{6000 \cdot 0,746}{0,895} = 5000 \text{ kVA}$$

Kháng trở của động cơ tương đương theo cơ bản đã chọn:

$$x_d'' = x_2 = x_1 = 0,2 \frac{7500}{5000} = 0,3 \text{ đvtd}$$

$$x_o = 0,04 \frac{7500}{5000} = 0,06 \text{ đvtd}$$

Trong mạng thứ tự không:

- Kháng trở giữa trung tính động cơ và đất là: $3x_m = 3 \times 0,02 \frac{7500}{5000} = 0,09 \text{ đvtd}$

- Kháng trở giữa trung tính máy phát và đất là: $3x_g = 3 \times 0,05 = 0,15 \text{ đvtđ}$

Hình 4.42 sơ đồ liên kết ba mạng thứ tự nối tiếp thể hiện khi chạm đất một pha ở N.

Vì động cơ vận hành ở điện thế định mức chỉ là điện thế cơ bản của động cơ nên điện thế pha a tại nút ① trước thời điểm xảy ra sự cố là: $\dot{V}_N = 1 \text{ đvtđ}$

$$\text{Dòng điện cơ bản của động cơ: } \frac{7500000}{\sqrt{3} \cdot 600} = 7217 \text{ A}$$

$$\text{Dòng điện thực của động cơ: } \frac{746 \times 5000}{0,88 \times \sqrt{3} \times 600 \times 0,85} = 4798 \text{ A}$$

Dòng điện của động cơ trước sự cố tính trong đvtđ:

$$\frac{4798}{7217} \angle -\cos^{-1} 0,85 = 0,665 \angle -31,8^\circ = 0,565 - j0,35 \text{ (đvtđ)}$$

nếu bỏ qua dòng điện trước sự cố, E_g'' và E_m'' được cho bằng $1 \angle 0^\circ \text{ đvtđ}$ trên hình 4.42. Tổng trở Thevenin nhìn từ nút ① của từng mạch thứ tự:

$$\dot{Z}_1 = \dot{Z}_2 = \frac{(j0,1 + j0,1)j0,3}{j0,1 + j0,1 + j0,3} = j0,12 \text{ đvtđ}$$

$$\dot{Z}_0 = j0,15 \text{ đvtđ}$$

Từ mạng liên kết thứ tự tính dòng sự cố:

$$\dot{I}_{N_{a1}} = \frac{\dot{V}_N}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_0} = \frac{1}{j0,12 + j0,12 + j0,15} = \frac{1}{j0,39} = -j2,564$$

$$\dot{I}_{N_{a2}} = \dot{I}_{N_{a0}} = \dot{I}_{N_{a1}} = -j2,564 \text{ (đvtđ)}$$

Dòng điện tại chỗ ngắn mạch: $\dot{I}_N = 3\dot{I}_{N_{a0}} = 3(-j2,564) = -j7,692 \text{ đvtđ}$

Từ mạng thứ tự thuận tìm dòng ngắn mạch thứ tự thuận:

$$\text{- Chạy từ máy biến áp: } \dot{I}_{NT_1} = \frac{-j2,564 \cdot j0,3}{j0,5} = -j1,538 \text{ đvtđ}$$

$$\text{- Chạy từ động cơ: } \dot{I}_{NM_1} = \frac{-j2,564 \cdot j0,2}{j0,5} = -j1,026 \text{ đvtđ}$$

Tương tự tìm được dòng thứ tự nghịch chạy từ máy biến áp và động cơ đến điểm ngắn mạch lần lượt là:

$$\dot{I}_{NT_2} = -j1,538 \text{ đvtđ}; \quad \dot{I}_{NM_2} = -j1,026 \text{ đvtđ}$$

Dòng ngắn mạch thứ tự không chạy từ động cơ đổ về điểm ngắn mạch:

$$I_{NM_0} = -j2,564 \text{ đvtđ}$$

Dòng ngắn mạch từng pha từ máy biến áp đổ về điểm ngắn mạch tính trong đơn vị tương đối viết dưới dạng ma trận là:

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ -j1,538 \\ -j1,538 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -j3,076 \\ j1,538 \\ j1,538 \end{bmatrix}$$

Dòng động cơ đổ về điểm ngắn mạch:

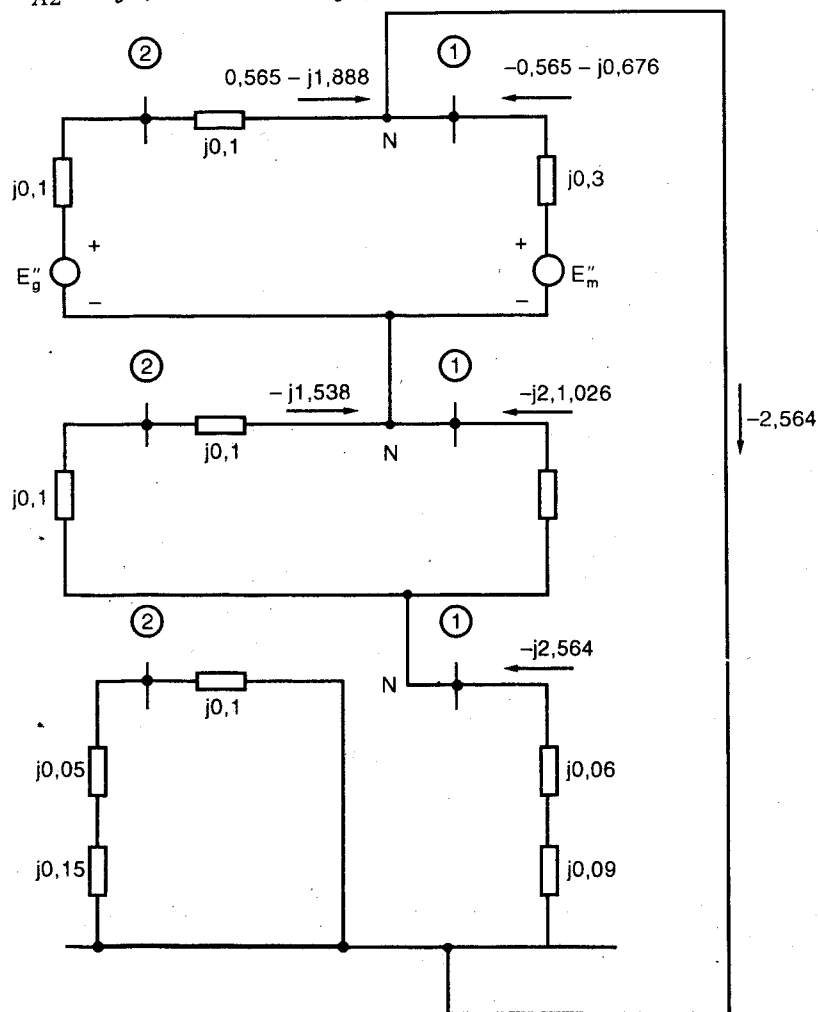
$$\begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -j2,564 \\ -j1,026 \\ -j1,026 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -j4,616 \\ -j1,538 \\ -j1,538 \end{bmatrix}$$

Nếu ký hiệu chữ A và a là pha a của máy biến áp phía bên cao và bên hạ, chúng ta có dòng điện quan hệ giữa phía cao và hạ của máy biến áp trong đvtd là:

$$\dot{I}_{A1} = \dot{I}_{a1} \angle 30^\circ; \quad \dot{I}_{A2} = \dot{I}_{a2} \angle -30^\circ$$

$$\text{Do đó: } \dot{I}_{A1} = -j1,538 \angle 30^\circ = j1,538 \angle -60^\circ = 0,769 - j1,332$$

$$\dot{I}_{A2} = -j1,538 \angle -30^\circ = j1,538 \angle -120^\circ = -0,769 - j1,332$$



Hình 4.42: Sơ đồ liên kết thứ tự khi chạm đất một pha tại N

Từ hình 4.42, chúng ta lưu ý rằng $\dot{I}_{A_0} = 0$ trong mạng thứ tự không. Vì thế không có dòng thứ tự không bên phía cao của máy biến áp, chúng ta có:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{A_1} + \dot{I}_{A_2} = (0,769 - j1,332) + (-0,769 - j1,332) = -j2,664 \text{ đvtd}$$

$$\dot{I}_{A_1} = a^2 \dot{I}_{A_2} = (1 \angle 240^\circ)(1,538 \angle -60^\circ) = -1,538 + j.0$$

$$\dot{I}_{B_2} = a \dot{I}_{A_2} = (1 \angle 240^\circ)(1,538 \angle -120^\circ) = 1,538 + j.0$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{B_1} + \dot{I}_{B_2} = 0$$

$$\dot{I}_{C_1} = a \dot{I}_{A_1} = (1 \angle 120^\circ)(1,538 \angle -60^\circ) = 0,769 + j.1,332$$

$$\dot{I}_{C_2} = a^2 \dot{I}_{A_2} = (1 \angle 120^\circ)(1,538 \angle -120^\circ) = -0,769 + j.1,332$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{C_1} + \dot{I}_{C_2} = j2,664 \text{ đvtd}$$

Điện thế từng điểm nút trong hệ thống, có thể tìm được bằng cách tính toán từ dòng và kháng trở của các mạng thứ tự thành phần điện thế bên phía cao của máy biến áp được tìm đầu tiên, không tính đến độ lệch pha qua MBA, sau đó bổ sung vào.

Tính dòng điện ngắn mạch trong đơn vị có tên:

$$\dot{I}_{cb_1} = 7217A$$

$$\dot{I}_{cb_2} = \frac{7500000}{\sqrt{34160}} = 1041A$$

Dòng tại chỗ sự cố:

$$\dot{I}_N = 7,692 \times 7217 = 55500A$$

Dòng từng pha từ MBA đến điểm ngắn mạch N:

$$\dot{I}_A = 3,076 \times 7217 = 22200A$$

$$\dot{I}_B = 1,538 \times 7217 = 11100A$$

$$\dot{I}_C = 1,538 \times 7217 = 11100A$$

Dòng từng pha từ động cơ đến điểm ngắn mạch N:

$$\dot{I}_{aM} = 4,616 \times 7217 = 33300A$$

$$\dot{I}_{bM} = 1,538 \times 7217 = 11100A$$

$$\dot{I}_{cM} = 1,538 \times 7217 = 11100A$$

Dòng ngắn mạch giữa thanh cái 4,16 kV và MBA:

$$\dot{I}_{AG} = 2,664 \times 1041 = 2773A$$

$$\dot{I}_{BG} = 0$$

$$\dot{I}_{CG} = 2,664 \times 1041 = 2773A$$

Các kết quả tính dòng ngắn mạch chạm đất một pha ở trên tính với điều kiện không quan tâm đến dòng tải của động cơ.

Nếu trong trường hợp kể đến ảnh hưởng của dòng tải tại thời điểm xảy ra ngắn mạch, chúng ta phải thêm dòng của động cơ pha a trước lúc xảy ra sự cố vào thành phần thứ tự thuận. I_{NaT_1} chạy từ MBA đến điểm ngắn mạch và trừ cùng giá trị của I_{NaM_1} chạy từ động cơ đến điểm N.

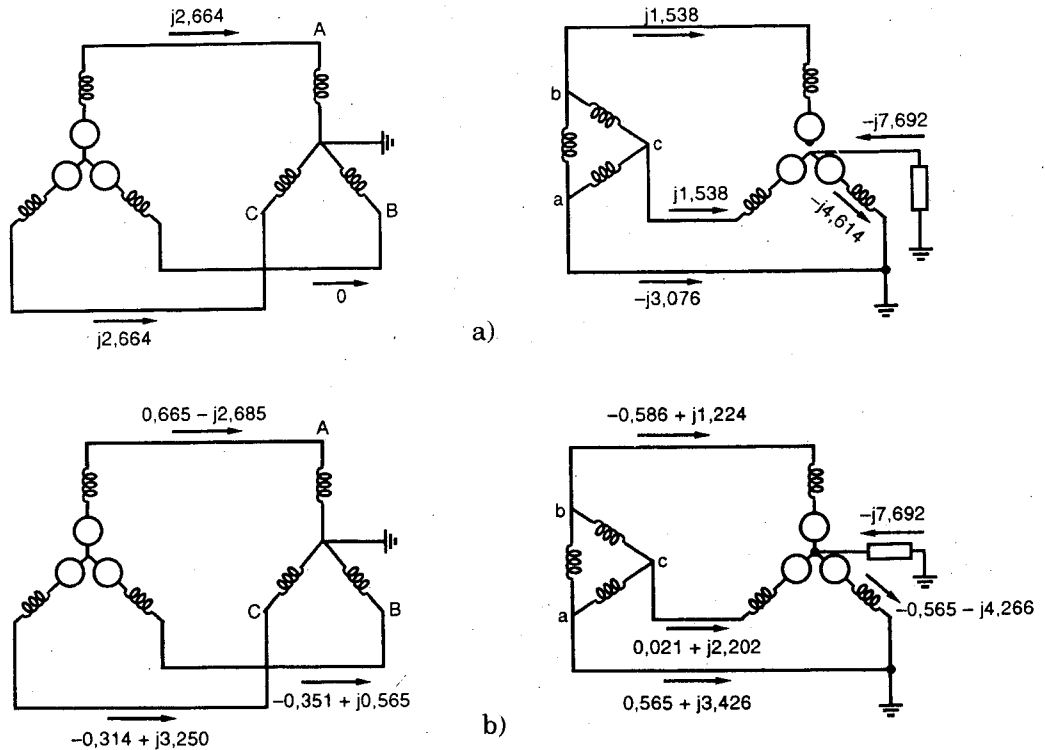
Trị số mới của dòng thứ tự thuận từ MBA tới điểm N trong pha a là:

$$0,565 - j0,35 - j1,538 = 0,565 - j1,888$$

Trị số mới của dòng thứ tự thuận pha a từ động cơ tới N:

$$-0,565 + j0,35 - j1,026 = -0,565 - j0,676$$

Những trị số mới này được vẽ trên hình 4.42. Quá trình tính toán với trị số mới này cũng tương tự như trên.



Hình 4.43: Dòng ngắn mạch phân bố trong mạng điện hình 4.42 khi tính không kể đến ảnh hưởng của tải và có kể đến ảnh hưởng của tải trước sự cố

Hình 4.43a,b vẽ các dòng ngắn mạch một pha trên từng phần tử của hệ thống hình 4.42. Khi không kể đến ảnh hưởng của tải (H.4.43a) và kể đến ảnh hưởng của tải (H.4.43b) tính trong đơn vị tương đối.

Trong mạng điện lớn, dòng ngắn mạch lớn hơn nhiều so với dòng tải nên ảnh hưởng việc bỏ qua dòng tải trước sự cố sẽ ít hơn như khi so sánh hai hình 4.43a,b.

Trong mạng điện lớn, việc xác định dòng tải trước sự cố hoàn toàn tìm được bằng bài toán phân bố công suất nếu chúng ta muốn tính toán dòng ngắn mạch có

kể đến ảnh hưởng của dòng tải.

Ví dụ 4.9. Cho sơ đồ hệ thống điện nhỏ hình 4.44a. Sự cố một pha chạm đất xảy ra tại N. Định mức và kháng trở của máy phát và MBA là:

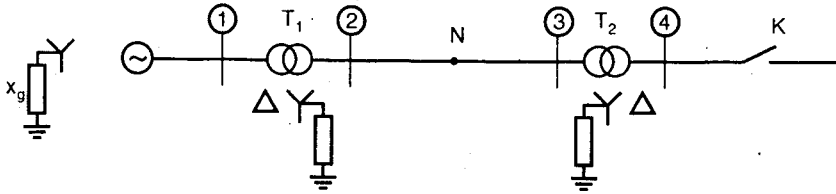
Máy phát: 100 MVA; 20kV; $x^s = x_2 = 20\%$; $x_0 = 4\%$; $x_g = 5\%$

MBA T_1 và T_2 : 100 MVA; $20\Delta / 345 Y$ kV; $x = 10\%$

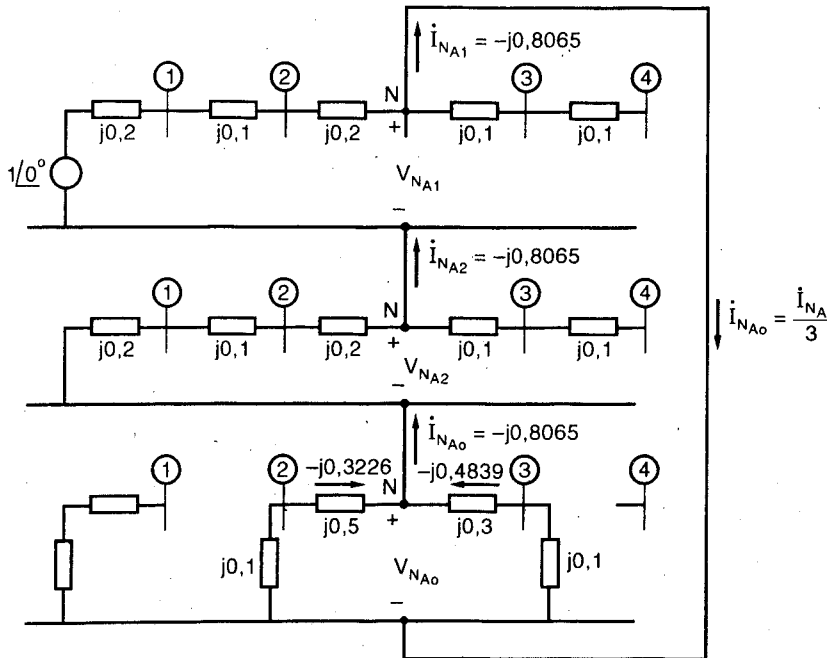
Chọn cơ bản 100 MVA; 345 kV; kháng trở mạch tương đương:

Từ T_1 đến N: $x_1 = x_2 = 20\%$; $x_0 = 50\%$

Từ T_2 đến N: $x_1 = x_2 = 10\%$; $x_0 = 30\%$



Hình 4.44a: Sơ đồ hệ thống của ví dụ 4.9



Hình 4.44b: Sơ đồ liên kết thứ tự khi chạm đất một pha

Mô phỏng sự cố chạm đất một pha, mạch liên kết thứ tự với các giá trị tính trong đơn vị tương đối được vẽ ở hình 4.44b. Hãy phân bố dòng sự cố trên từng pha.

Giải. Khi khóa K mở, dòng trước sự cố bằng không và điện thế pha a tại N bằng với điện thế chuẩn $1 + j0$ đvtd. Tổng trở thứ tự nhìn từ điểm sự cố:

$$\dot{Z}_{pp0} = \frac{j0,6 \cdot j0,4}{j0,6 + j0,4} = j0,24 \text{ đvtd}$$

$$\dot{Z}_{pp1} = \dot{Z}_{pp2}$$

Dòng ngắn mạch tại A thứ tự pha a phía cao thế MBA:

$$\dot{I}_{NA_0} = \dot{I}_{NA_1} = \dot{I}_{NA_2} = \frac{1+j0}{j0,5+j0,5+j0,24} = -j0,8065 \text{ đvtd}$$

Dòng ngắn mạch tại N: $\dot{I}_{NA} = 3\dot{I}_{NA_0} = -j2,4195 \text{ đvtd}$

Dòng ngắn mạch thứ tự pha B tại N:

$$\dot{I}_{NB_1} = a^2 \dot{I}_{NA_1} = 0,8065 \angle -90^\circ + 240^\circ = 0,8065 \angle 150^\circ \text{ đvtd}$$

$$\dot{I}_{NB_2} = a \dot{I}_{NA_2} = 0,8065 \angle -90^\circ + 120^\circ = 0,8065 \angle 30^\circ \text{ đvtd}$$

$$\dot{I}_{NB_0} = \dot{I}_{NA_0} = 0,8065 \angle -90^\circ \text{ đvtd}$$

Dòng ngắn mạch pha B tại N: $\dot{I}_{NB} = \dot{I}_{NB_0} + \dot{I}_{NB_1} + \dot{I}_{NB_2} = 0 \text{ đvtd}$

Tương tự dòng ngắn mạch pha C tại N: $\dot{I}_{NC} = \dot{I}_{NC_0} + \dot{I}_{NC_1} + \dot{I}_{NC_2} = 0 \text{ đvtd}$

Dòng ngắn mạch thứ tự không trong mạng thứ tự không.

Từ T_1 tới N: $\dot{I}_{A_0} = \frac{j0,4}{j0,6+j0,4} 0,8065 \angle -90^\circ = 0,3226 \angle -90^\circ \text{ đvtd}$

Từ T_2 tới N: $\dot{I}_{A_0} = \frac{j0,6}{j0,6+j0,4} 0,8065 \angle -90^\circ = 0,4839 \angle -90^\circ \text{ đvtd}$

Dòng ngắn mạch trên đường dây:

Từ T_1 tới N:

Pha A: $\dot{I}_{LA} = 0,3226 \angle -90^\circ + 0,8065 \angle -90^\circ + 0,8065 \angle -90^\circ = -j1,9356 \text{ đvtd}$

Pha B: $\dot{I}_{LB} = 0,3226 \angle -90^\circ + 0,8065 \angle 150^\circ + 0,8065 \angle 30^\circ = j0,4839 \text{ đvtd}$

Pha C: $\dot{I}_{LC} = 0,3226 \angle -90^\circ + 0,8065 \angle 30^\circ + 0,8065 \angle 150^\circ = j0,4839 \text{ đvtd}$

Từ T_2 tới N:

Pha A: $\dot{I}'_{LA} = -j0,4839 \text{ đvtd}$

Pha B: $\dot{I}'_{LB} = -j0,4839 \text{ đvtd}$

Pha C: $\dot{I}'_{LC} = -j0,4839 \text{ đvtd}$

Lưu ý rằng có các thành phần thứ tự không, thứ tự thuận, thứ tự nghịch của pha A, B, C từ T_1 nhưng chỉ có thành phần thứ tự không từ T_2 .

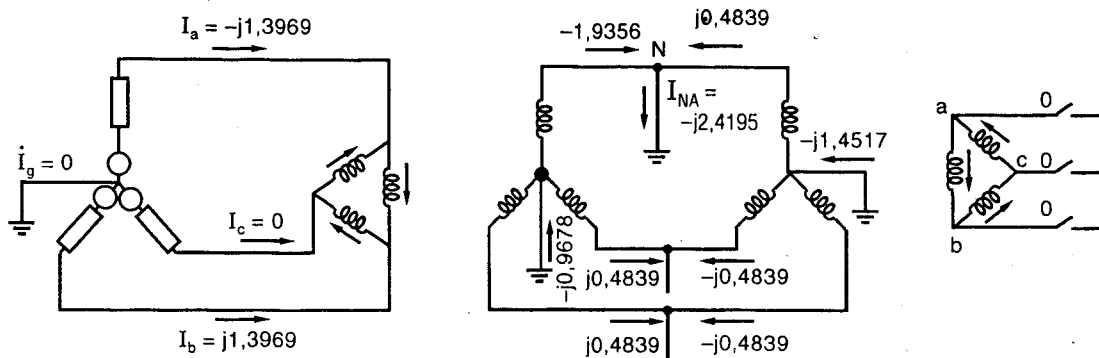
Dòng trong máy phát:

$$\dot{I}_a = \dot{I}_{a_0} + \dot{I}_{a_1} + \dot{I}_{a_2} = 0,8065 \angle -90^\circ - 30^\circ + 0,8065 \angle -90^\circ + 30^\circ = -j1,3969 \text{ đvtd}$$

$$\dot{I}_b = \dot{I}_{a_0} + a^2 \dot{I}_{a_1} + a \dot{I}_{a_2} = 0,8065 \angle -120^\circ + 240^\circ + 0,8065 \angle -60^\circ + 120^\circ = j1,3969 \text{ đvtd}$$

$$\dot{I}_c = \dot{I}_{a_0} + a \dot{I}_{a_1} + a^2 \dot{I}_{a_2} = 0,8065 \angle -120^\circ + 120^\circ + 0,8065 \angle -60^\circ + 240^\circ = 0 \text{ đvtd}$$

Hình 4.46 cho giản đồ phân bố dòng ba pha của hệ thống hình 4.45 sự cố chạm đất một pha tại N.



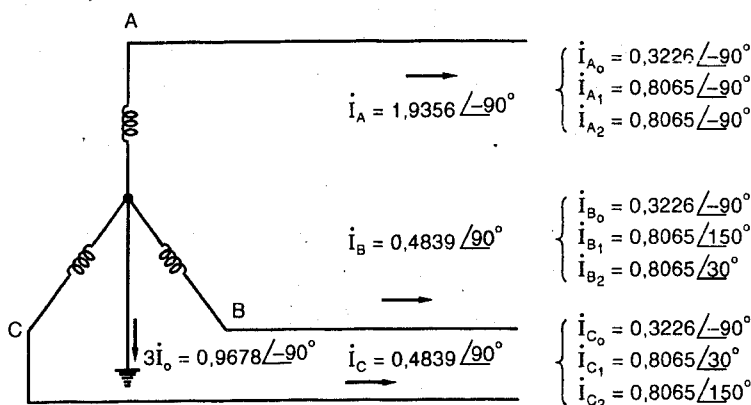
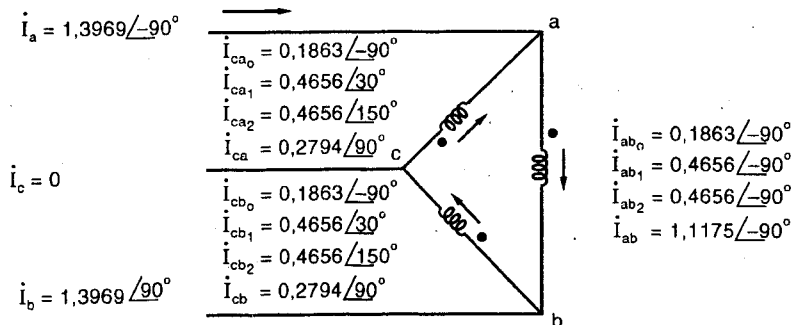
Hình 4.45: Phân bố dòng ba pha khi hệ thống chạm đất một pha

Từ hình vẽ, nhận xét rằng:

- Khi chạm đất một pha, dòng pha $\dot{I}_B = \dot{I}_C = 0$ nhưng các thành phần thứ tự của các pha này không bằng không

$$\dot{I}_{B_0} \neq 0; \dot{I}_{B_1} \neq 0; \dot{I}_{B_2} \neq 0; \dot{I}_{C_0} \neq 0; \dot{I}_{C_1} \neq 0; \dot{I}_{C_2} \neq 0$$

- Dòng ngắn mạch tại điểm N gồm có một phần từ T_1 và một phần từ T_2 .
- Trong máy phát điện, chỉ có thành phần dòng thứ tự thuận và nghịch.
- Trong các cuộn dây Δ của MBA T_2 chỉ có thành phần dòng thứ tự không.



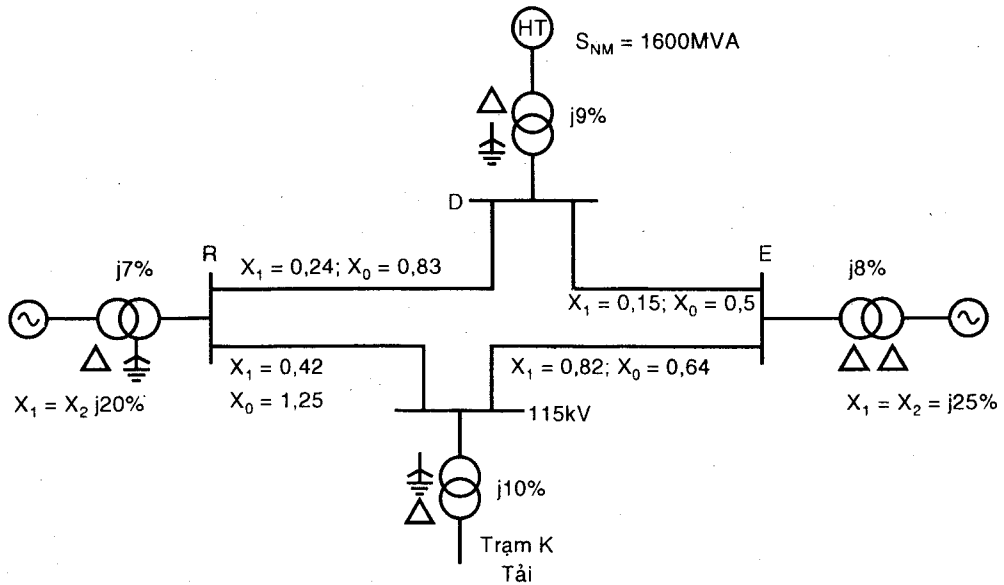
Hình 4.46: Dòng phân bố trong MBA T_1

- Trong các cuộn dây Δ của MBA T_1 , mỗi cuộn dây pha có thành phần dòng thứ tự thuận, nghịch và không. Những thành phần dòng điện này được vẽ ở hình 4.46 và có trị số:

$$\dot{i}_{ab} = \frac{\dot{I}_A}{\sqrt{3}} = 1,1175 \angle -90^\circ; \quad \dot{i}_{bc} = \frac{\dot{I}_B}{\sqrt{3}} = 0,2794 \angle 90^\circ; \quad \dot{i}_{ca} = \frac{\dot{I}_C}{\sqrt{3}} = 0,2794 \angle 90^\circ$$

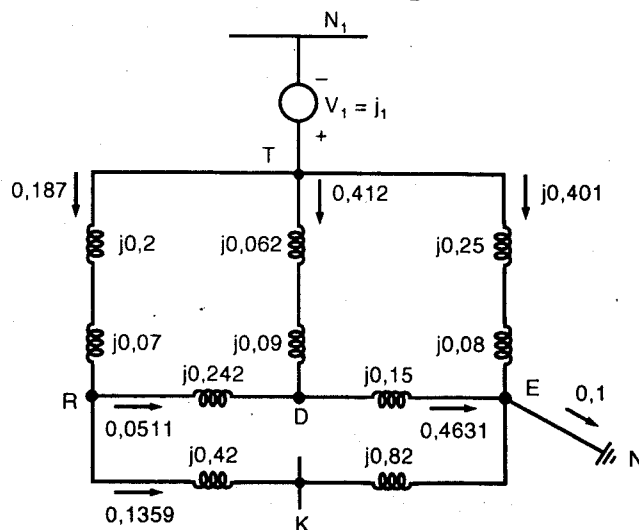
Ví dụ 4.10:

Cho hệ thống ba nguồn tại trạm D, E, R cung cấp cho tải tại thanh cái K (H.4.47) các thông số tính theo cơ bản: $S_{CB} = 100MVA$; $U_{CB} = 115kV$ cho trên hình. Tính toán ngắn mạch các dạng tại thanh cái E :

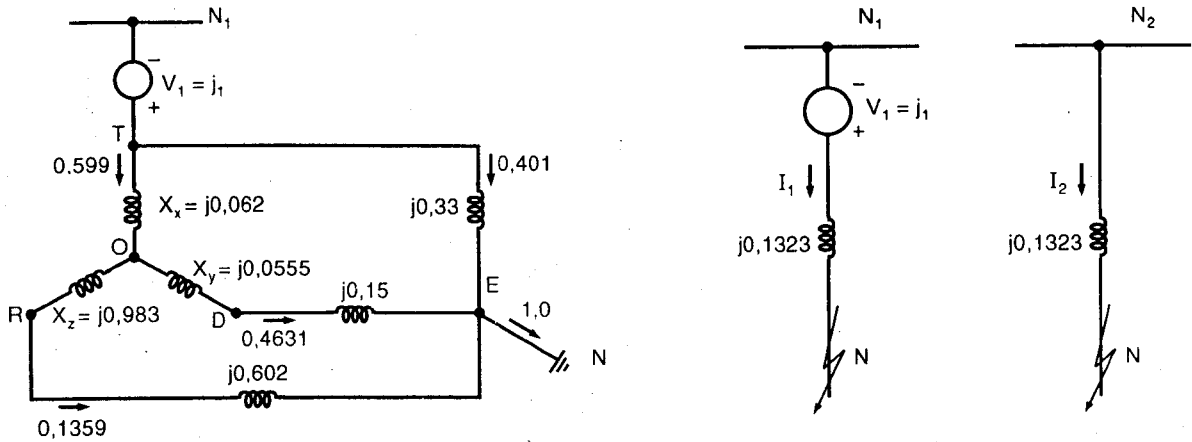


Hình 4.47: Sơ đồ mạng hệ thống của ví dụ 4.10

Giải: Sơ đồ thay thế thứ tự thuận của hệ thống cho ở hình 4.48



Hình 4.48a: Sơ đồ tương đương mạng thứ tự thuận



Hình 4.48b: Sơ đồ tương đương thu gọn mạng thứ tự thuận và nghịch

Biến đổi sao tam giác TRD thành hình sao.

$$X_x = j \frac{0,27 \times 0,1525}{0,27 + 0,1525 + 0,242} = j0,062$$

$$X_y = j \frac{0,1525 \times 0,242}{0,27 + 0,1525 + 0,242} = j0,0555$$

$$X_z = j \frac{0,27 \times 0,242}{0,27 + 0,1525 + 0,242} = j0,0983$$

Tiếp tục song song hai nhánh ODE và ORE:

$$j \frac{(0,0555 + 0,15) \times (0,0983 + 0,602)}{0,0555 + 0,15 + 0,0983 + 0,602} = j \frac{0,2055 \times 0,7003}{0,9058} = j0,1589$$

Hệ số phân nhánh OER là $0,2055/0,9058 = 0,2269$ và nhánh ODE là $0,7003/0,9058 = 0,7731$

Tổng trở tương đương thứ tự thuận và thứ tự nghịch của hệ thống hình 4.48b.

$$X_1 = X_2 = j \frac{(0,062 + 0,1589) \times (0,33)}{(0,062 + 0,1589) + 0,33} = j0,1233$$

Tỷ số phân dòng, nhánh chứa X_x là $0,33/0,5509 = 0,599$; nhánh chứa kháng trở $0,33$ là $0,2209/0,5509 = 0,401$.

Giả sử dòng tại điểm chạm bằng 1 đvtd thì dòng chạy nhánh chứa kháng trở $0,33$ là $0,401$ và nhánh chứa X_x bằng $0,599$

Từ đây ta tính được dòng chạy trên:

Nhánh ODE bằng $0,599 \times 0,7731 = 0,4631$

Nhánh ORE bằng $0,599 \times 0,2269 = 0,1359$

Dòng chạy qua trở kháng $0,1525$ nhánh TD ở hình 4.48a được tính như sau:

$$j \frac{(0,599) \times (0,062) + (0,4631) \times (0,0555)}{0,1525} = j \frac{0,0371 + 0,0257}{0,1525} = j0,412$$

Dòng chạy qua trở kháng 0,27 nhánh TR ở hình 4.48a được tính như sau:

$$j \frac{(0,599) \times (0,062) + (0,1359) \times (0,0983)}{0,27} = j \frac{0,0371 + 0,0134}{0,27} = j0,187$$

Các hệ số phân dòng trên được dùng để tính dòng ngắn mạch phân bố trên các phần tử.

a) Khi ngắn mạch ba pha đối xứng tại E:

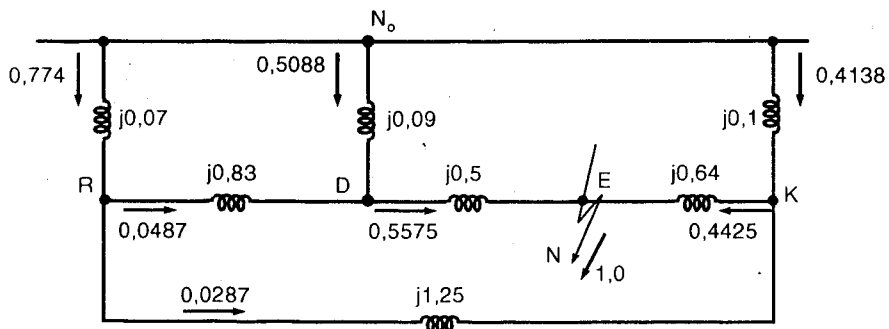
$$I_N^{(3)} = \frac{1}{0,1323} = 7,56 \text{ đvtd} = 7,56 \times \frac{100.000}{\sqrt{3115}} = 3794,3 \text{ A ở } 115 \text{ kV}$$

Dùng các hệ số phân dòng trên để suy ra dòng điện ngắn mạch trên các nhánh một cách dễ dàng.

b) Tính toán ngắn mạch bất đối xứng:

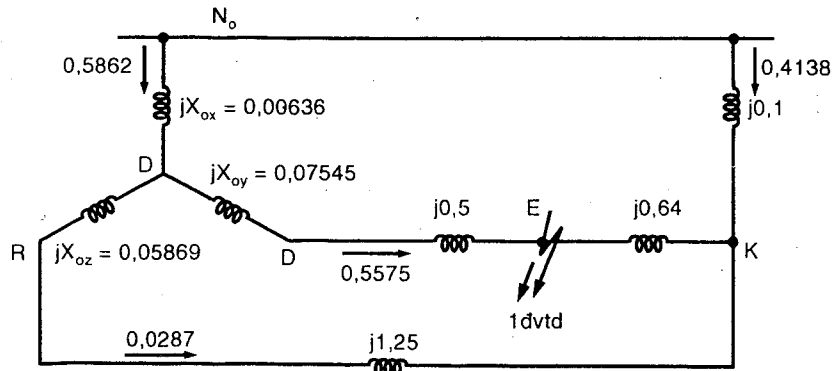
- Trong sơ đồ hệ thống này mạng thứ tự nghịch giống như mạng thứ tự thuận.
- Thành lập mạng thứ tự không hình 4.49 theo cơ bản

$$S_{CB} = 100 \text{ MVA}; U_{CB} = 115 \text{ kV}$$

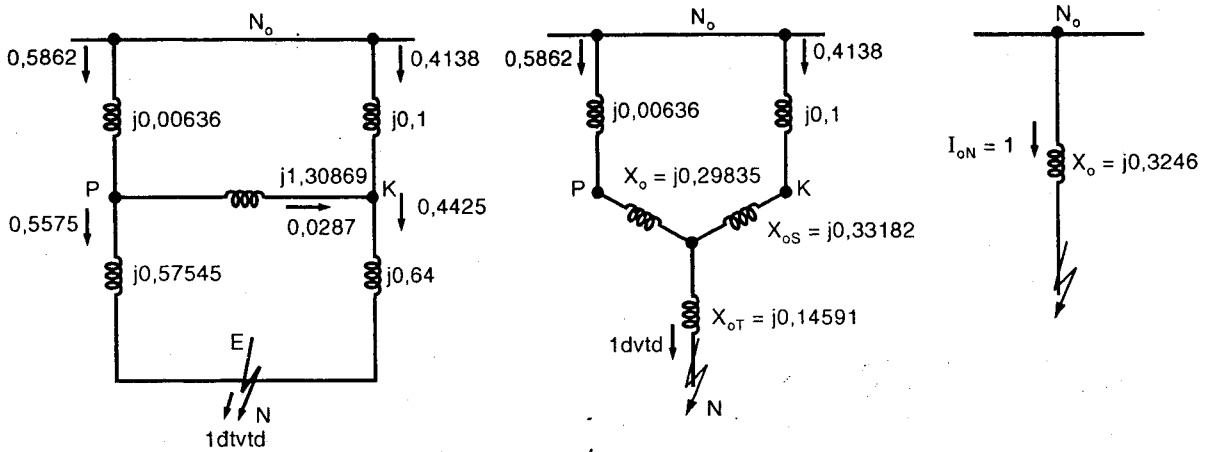


Hình 4.49: Mạng thứ tự không của hệ thống hình 4.48

Biến đổi và thu gọn sơ đồ mạng thứ tự không từng bước cho ở hình 4.50.



Hình 4.50a: Sơ đồ tương đương sau khi biến đổi tam giác N_0RD thành hình sao



Hình 4.51: Sơ đồ tương đương thu gọn của mạng thứ tự không

Các giá trị trên hình 4.50 và 4.51 được tính từng bước trong đơn vị tương đối:
 $S_{CB} = 100MVA$; $U_{CB} = 115kV$.

$$X_{0x} = j \frac{0,7 \times 0,09}{0,07 + 0,09 + 0,83} = j0,0636 \quad X_{0y} = j \frac{0,09 \times 0,83}{0,09} = j0,07545$$

$$X_{0z} = j \frac{0,07 \times 0,83}{0,09} = j0,05869 \quad X_{0r} = j \frac{1,30869 \times 0,57545}{1,30869 + 0,57545 + 0,64} = j0,29825$$

$$X_{0s} = j \frac{1,30869 \times 0,64}{2,52414} = j0,33182 \quad X_{0t} = j \frac{0,57545 \times 0,64}{2,52414} = j0,14591$$

$$X_0 = j0,14591 + j \frac{(0,00636 + 0,29835)(0,1 + 0,33182)}{0,00636 + 0,29835 + 0,1 + 0,33182} = j0,3246$$

Các hệ số phân dòng:

- Nhánh PE: $\frac{0,5862 \times 0,29835 + 0,1 \times 0,33182}{0,00636 + 0,29835 + 0,1 + 0,33182} = 0,5575$
- Nhánh PRK: $\frac{0,5862 \times 0,29835 - 0,4138 \times 0,33182}{1,30869} = 0,0287$
- Nhánh N_0D : $\frac{0,5862 \times 0,00636 + 0,5575 \times 0,07545}{0,09} = 0,5088$
- Nhánh N_0R : $\frac{0,5862 \times 0,00636 + 0,0287 \times 0,05869}{0,07} = 0,0774$

Dòng ngắn mạch một pha tại E:

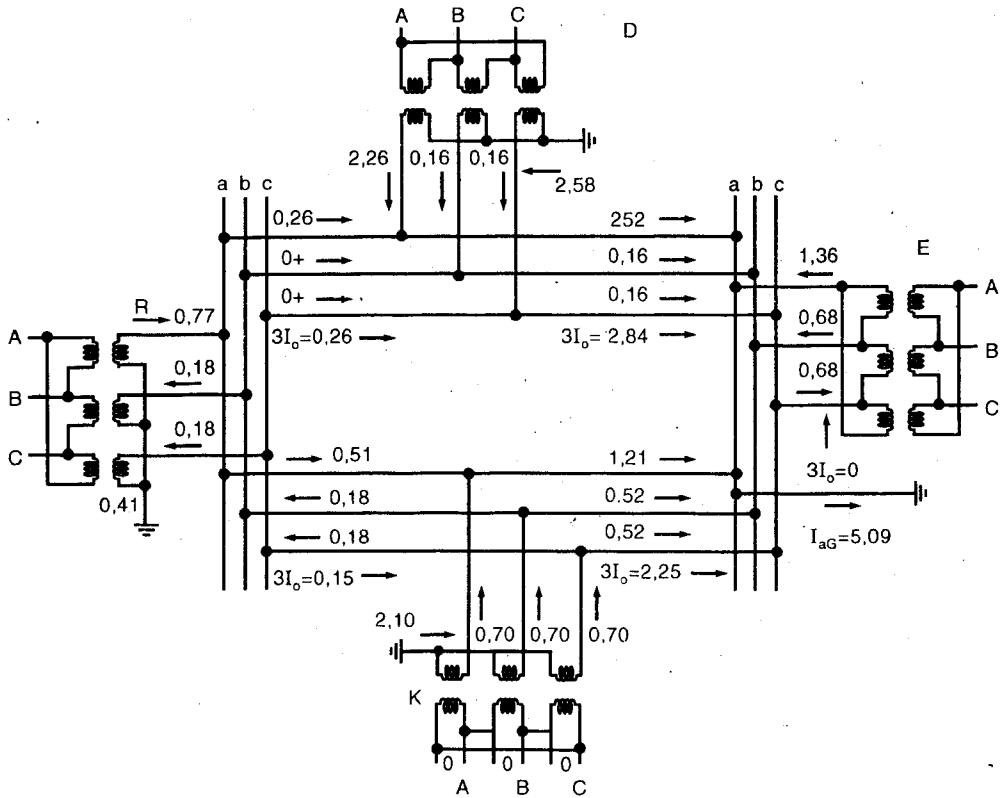
$$I_{1N} = I_{2N} = I_{0N} = \frac{1}{0,1323 + 0,1323 + 0,3246} = 1,697 \text{ dtvd} \quad (4.111)$$

$$I_{aN} = 3I_{0N} = 3 \times 1,697 = 5,09 \text{ dtvd} = 5,09 \frac{100000}{\sqrt{3} \times 115} = 2556,23A$$

Phân bố dòng các pha trên các nhánh khi chạm đất một pha tại E cho ở hình 4.52.

Để thỏa mãn định luật KIRCHHOFF tổng dòng đi qua trung tính máy biến áp nối đất bằng dòng chạm xuống đất tại E ($5,09 = 2,58 + 0,41 + 2,1$).

Trong ví dụ này với giả thuyết trước sự cố không tải, khi chạm đất pha a có dòng ngắn mạch pha a. Do hệ thống điện là mạng vòng kín nên các pha b và c trên các nhánh vẫn có dòng khi chạm đất một pha, bởi vì mạng thứ tự không luôn khác với mạng thứ tự thuận và thứ tự nghịch.



Hình 4.52: Phân bố dòng hco trường hợp sự cố tại trạm E

Ta biết:

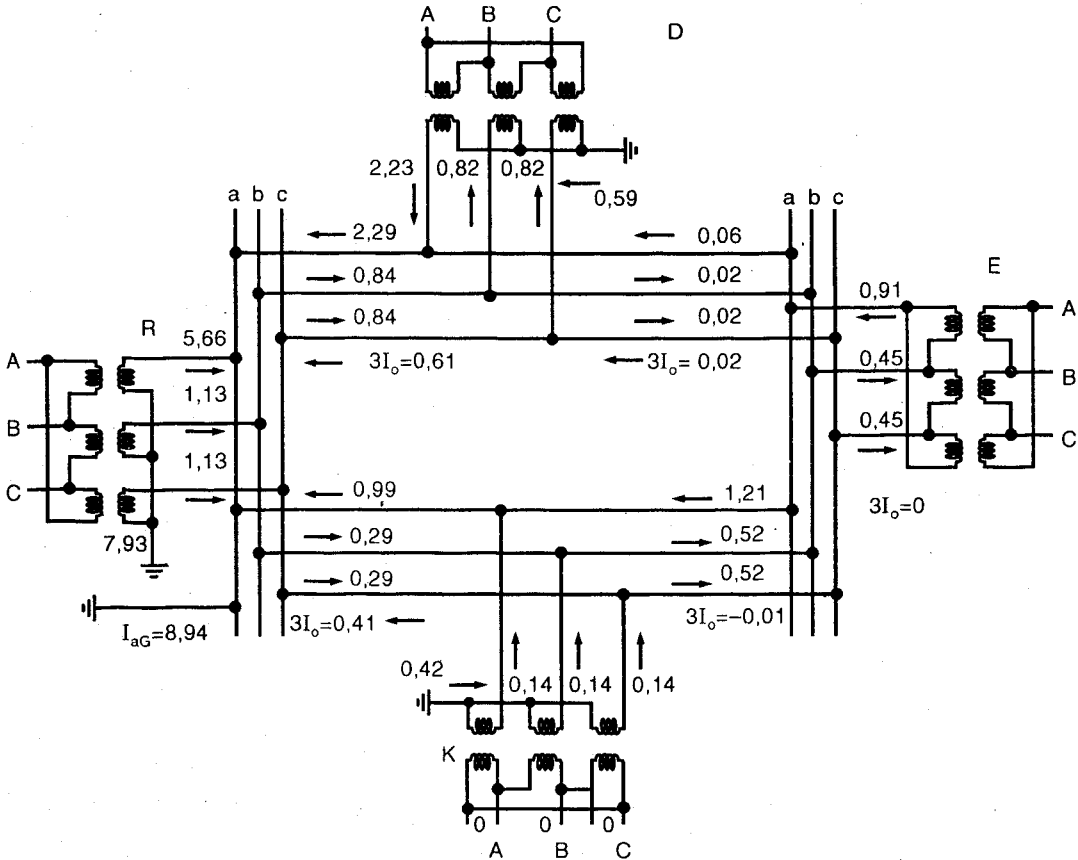
$$\begin{aligned} \dot{I}_a &= \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_0 \\ \dot{I}_b &= a^2 \dot{I}_1 + a \dot{I}_2 + \dot{I}_0 = (a^2 + a) \dot{I}_1 + \dot{I}_0 = -\dot{I}_1 + \dot{I}_0 \\ \dot{I}_c &= a \dot{I}_1 + a^2 \dot{I}_2 + \dot{I}_0 = (a + a^2) \dot{I}_1 + \dot{I}_0 = -\dot{I}_1 + \dot{I}_0 \end{aligned} \quad (4.112)$$

Từ đây, nếu tổng trở thứ tự thuận và thứ tự nghịch giống nhau thì dòng pha b và c là hiệu của hai thành phần thứ tự thuận và thứ tự không.

Do hệ số phân bố dòng mạng thứ tự không và thứ tự thuận (nghịch) khác nhau nên đưa đến thành phần dòng thứ tự không và thứ tự thuận khác nhau và như thế sẽ có dòng trên các pha b và c.

Lưu ý trong mạng phân phối hình tia, mặc dù tổng trở thứ tự không và thứ tự thuận (nghịch) khác nhau, hệ số phân bố dòng thứ tự không và thứ tự thuận (nghịch) giống nhau thì các phương trình (4.112) ta có $\dot{I}_b = \dot{I}_c = 0$ và $\dot{I}_a = 3\dot{I}_0$ cho tất cả các nhánh trong mạng hình tia.

Tính toán tương tự cho trường hợp ngắn mạch tại thanh cái R (115kV). Kết quả cho ở hình 4.53.



Hình 4.53: Phân bố dòng khi sự cố ở trạm R

Nhận xét rằng dòng ngắn mạch ba pha khi ngắn mạch tại E và R gần như nhau ($I_{NE}^{(3)} = 7,56$; $I_{NR}^{(3)} = 7,31$) nhưng dòng chạm đất một pha thì khác nhau hoàn toàn.

Dòng chạm đất pha a tại trạm E nhỏ hơn dòng ngắn mạch ba pha (khoảng $5,09/7,09 = 67\%$) do máy biến áp tải E đấu tam giác - tam giác.

Dòng chạm đất pha tại R lớn hơn dòng ngắn mạch ba pha (khoảng $8,94/7,31 = 122\%$) do tổ đấu dây máy biến áp tại R là tam giác - sao (nối đất).

c) Tính toán điện thế lúc sự cố:

$$\dot{V}_{1k} = \dot{V} - \sum \dot{I}_1 \dot{Z}_1$$

với: \dot{V}_{1k} điện thế thứ tự thuận tại nút k; \dot{V} điện thế nguồn

$\sum \dot{V}$ tổng điện thế từ nút o đến nút k.

Điện thế thứ tự nghịch: $\dot{V}_{2k} = 0 - \sum \dot{I}_2 \dot{V}_2$

Điện thế thứ tự không: $\dot{V}_{0k} = 0 - \sum \dot{I}_0 \dot{V}_0$

Điện thế các pha được xác định từ phương trình

$$\dot{V}_a = \dot{V}_1 + \dot{V}_2 + \dot{V}_0; \dot{V}_b = a^2 \dot{V}_1 + a \dot{V}_2 + \dot{V}_0; \dot{V}_c = a \dot{V}_1 + a^2 \dot{V}_2 + \dot{V}_0$$

Từ các hệ số phân bố hình 4.49 đến hình 4.51 (tính với dòng chạm 1 đvtd) với dòng chạm tính toán là 1,697 (phương trình (4.111)) tính được các điện áp tại E:

$$\dot{V}_{1E} = j1,0 - 1,697 \times 0,401 \times j0,33 = j0,7754 \text{ đvtd}$$

$$\dot{V}_{2E} = 0 - 1,697 \times 0,401 \times j0,33 = -j0,2246 \text{ đvtd}$$

$$\dot{V}_{0E} = 0 - 1,697 \times (0,4138 \times j0,4425 \times j0,64) = -j0,5509 \text{ đvtd}$$

Từ đây tính:

$$\dot{V}_{aE} = j(0,7754 - 0,2246 - 0,5509) = 0 \text{ đvtd}$$

$$\dot{V}_{bE} = a^2(j0,7754) + a(-j0,2246) - j0,5509$$

$$= 0,7754 \angle 330^\circ + 0,2246 \angle 30^\circ - j0,5509 = 1,197 \angle -43,67^\circ \text{ đvtd}$$

$$\dot{V}_{cE} = A(j0,7754) + a^2(-j0,2246) - j0,5509 = 1,197 \angle -136,33^\circ \text{ đvtd}$$

Tại thanh cái D:

$$\dot{V}_{1D} = j1,0 - 1,697 \times 0,412 \times j0,1525 = j0,8934$$

$$\dot{V}_{2D} = 0 - 1,697 \times 0,412 \times j0,1525 = -j0,1066$$

$$\dot{V}_{0D} = 0 - 1,697 \times 0,5088 \times j0,09 = -j0,0777$$

Suy ra điện thế trên các pha:

$$\dot{V}_{aD} = j0,7091$$

$$\dot{V}_{bD} = j0,866 - j0,4711 = 0,9858 \angle -28,55^\circ$$

$$\dot{V}_{cD} = j0,866 - j0,4711 = 0,9858 \angle -151,45^\circ$$

Tại thanh cái K:

$$\dot{V}_{1K} = j1,0 - 1,697(0,187 \times j0,27 + 0,1359 \times j0,42) = j0,8174$$

$$\dot{V}_{2K} = 0 - 1,697(0,187 \times 0,27 + 0,1359 \times j0,42) = -j0,8174$$

$$\dot{V}_{0K} = 0 - 1,697 \times 0,4138 \times j0,1 = -j0,0702$$

Suy ra điện thế trên các pha:

$$\dot{V}_{aK} = j0,5646$$

$$\dot{V}_{bK} = 0,8666 - j0,3876 = 0,9488 \angle -24,11^\circ$$

$$\dot{V}_{cK} = 0,8666 - j0,3876 = 0,9488 \angle -155,89^\circ$$

Tại thanh cái R:

$$\dot{V}_{1R} = j1,0 - 1,697 \times 0,187 \times j0,27 = j0,9143$$

$$\dot{V}_{2R} = 0 - 1,697 \times 0,187 \times j0,27 = j0,9143$$

$$\dot{V}_{0R} = 0 - 1,697 \times 0,0774 \times j0,07 = -j0,0092$$

Suy ra điện thế trên các pha:

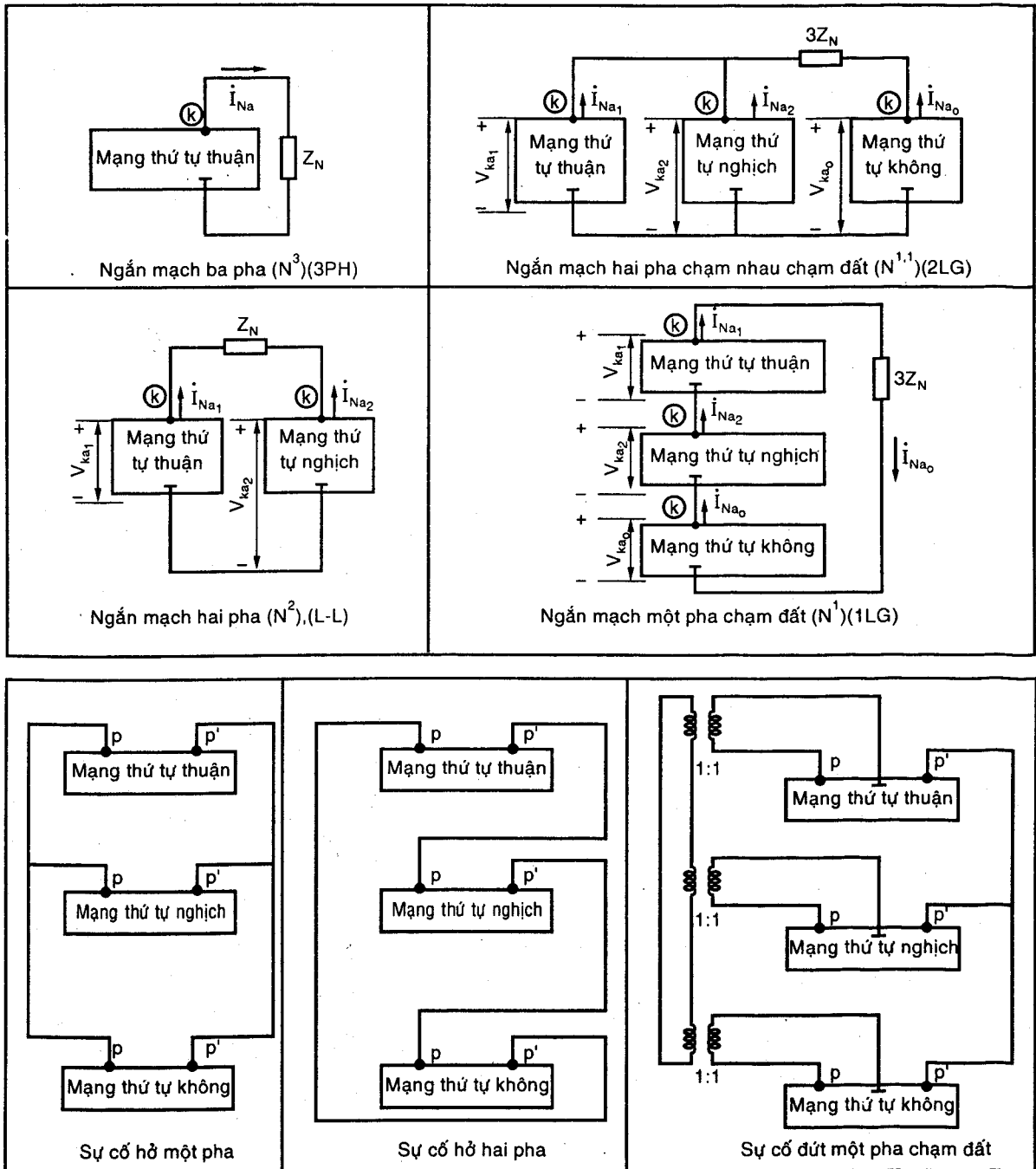
$$\dot{V}_{aR} = j0,8194$$

$$\dot{V}_{bR} = 0,866 - j0,4235 = 0,964 \angle -26,06^\circ$$

$$\dot{V}_{cR} = 0,866 - j0,4235 = 0,964 \angle -153,94^\circ$$

4.9 BẢNG TỔNG KẾT CÁC SƠ ĐỒ LIÊN KẾT THỨ TỰ VÀ CÔNG THỨC TÍNH CÁC DẠNG SỰ CỐ KHÁC NHAU

Tổng kết các sơ đồ liên kết mạng thứ tự và các công thức tính toán khi có các dạng sự cố khác nhau cho ở hình 4.54 và bảng sau.



Hình 4.54: Bảng liên kết mạng thứ tự cho các dạng sự cố khác nhau. Bảng các công thức tính dòng và áp khi có sự cố khác nhau

Sự cố ngắn mạch			Sự cố hở mạch	
Ngắn mạch một pha chạm đất	Ngắn mạch hai pha	Hai pha chạm đất	Hở một pha	Hở hai pha
Dòng thứ tự	$\dot{I}_{N_{a1}} = \frac{\dot{V}}{\dot{Z}_{kk1} + \dot{Z}_{kk2} + \dot{Z}_{kk0} + 3\dot{Z}_N}$	$\dot{I}_{N_{a1}} = \frac{\dot{V}}{\dot{Z}_{kk1} + \dot{Z}_{kk2} // (\dot{Z}_{kk0} + \dot{Z}_N)}$	$\dot{I}_{a1} = \frac{\dot{I}_{km} \dot{Z}_{pp1}}{\dot{Z}_{pp1} + \dot{Z}_{pp2} + \dot{Z}_{pp0}}$	$\dot{I}_{a1} = \frac{\dot{I}_{km} \dot{Z}_{pp1}}{\dot{Z}_{pp1} + \dot{Z}_{pp2} + \dot{Z}_{pp0}}$
	$\dot{I}_{N_{a2}} = \dot{I}_{N_{a1}}$	$\dot{I}_{N_{a2}} = -\dot{I}_{N_{a1}}$	$\dot{I}_{a2} = -\dot{I}_{a1}$	$\dot{I}_{a2} = \dot{I}_{a1}$
	$\dot{I}_{N_{a0}} = \dot{I}_{N_{a1}}$	$\dot{I}_{N_{a0}} = 0$	$\dot{I}_{N_{a0}} = \dot{I}_{N_{a1}} \frac{\dot{Z}_{kk2}}{\dot{Z}_{kk2} + \dot{Z}_{kk0} + 3\dot{Z}_N}$	$\dot{I}_{a0} = -\dot{I}_{a1} \frac{\dot{Z}_{pp2}}{\dot{Z}_{pp2} + \dot{Z}_{pp0}}$
Ap thứ tự	$\dot{V}_{ka1} = \dot{I}_{N_{a1}} (\dot{Z}_{kk2} + \dot{Z}_{kk0} + 3\dot{Z}_N)$	$\dot{V}_{ka1} = \dot{V}_{ka0} - 3\dot{I}_{N_{a1}} \dot{Z}_N$	$\dot{V}_{a1} = \dot{I}_{a1} \frac{\dot{Z}_{pp2} \dot{Z}_{pp0}}{\dot{Z}_{pp2} + \dot{Z}_{pp0}}$	$\dot{V}_{a1} = \dot{I}_{a1} (\dot{Z}_{pp1} + \dot{Z}_{pp0})$
	$\dot{V}_{ka2} = -\dot{I}_{N_{a1}} \dot{Z}_{kk2}$	$\dot{V}_{ka2} = -\dot{I}_{N_{a2}} \dot{Z}_{kk2}$	$\dot{V}_{a2} = -\dot{I}_{a2} \dot{Z}_{pp2}$	$\dot{V}_{a2} = -\dot{I}_{N_{a2}} \dot{Z}_{pp2}$
	$\dot{V}_{ka0} = \dot{I}_{N_{a1}} \dot{Z}_{kk0}$	$\dot{V}_{ka0} = 0$	$\dot{V}_{a0} = -\dot{I}_{a0} \dot{Z}_{pp0}$	$\dot{V}_{a0} = -\dot{I}_{a0} \dot{Z}_{pp0}$

TÍNH TOÁN DÒNG NGẮN MẠCH TRONG CÁC TRƯỜNG HỢP RIÊNG: MẠNG TRUYỀN TẢI, MẠNG PHÂN PHỐI VÀ MẠNG HẠ THỂ

5.1 TÍNH TOÁN NGẮN MẠCH TRONG MẠNG TRUYỀN TẢI

Trong việc tính toán cho hệ thống bảo vệ rơle cần phải biết giá trị dòng sự cố cực đại và cực tiểu tại vị trí đặt bảo vệ.

Dòng sự cố lớn nhất xảy ra khi có một lượng lớn nhất các máy phát đang vận hành, thường là ở thời điểm tải đỉnh. Giá trị dòng sự cố tại bất cứ điểm nào trong mạng, phụ thuộc vào tổng trở tương đương Thevenin nhìn vào mạng từ điểm sự cố. Điều kiện cực đại nguồn phát tạo nên điện áp cao nối tiếp với tổng trở Thevenin. Thêm vào đó, do tải nặng tổng trở Thevenin sẽ cực tiểu, bởi vì hầu hết mọi đường dây sẽ vận hành trong tình trạng này. Khi xem xét sự cố cực đại, chúng ta giả sử rằng sự cố là trực tiếp, với tổng trở chạm bằng không. Dòng sự cố cực đại này có thể được tính toán tại mọi nút trong hệ thống truyền tải. Dòng sự cố cực đại cần thiết để xác định mức cắt lớn nhất của máy cắt hay của các thiết bị ngắt dòng sự cố khác và trị số đặt của các bảo vệ.

Dòng sự cố cực tiểu xảy ra khi tải thấp, khi đó số lượng máy phát vận hành ít, và vì thế tổng trở tương đương Thevenin cao. Thường chúng ta thêm vào giá trị điện trở sự cố để đạt đến giới hạn cực tiểu có thể của dòng sự cố. Dòng cực tiểu cũng cần được tính toán tại mọi nút của mạng điện bởi vì dựa trên tình trạng dòng sự cố cực tiểu này để tính toán phối hợp các thiết bị bảo vệ và đánh giá độ nhạy bảo vệ cần thiết. Dòng sự cố cực tiểu quan trọng vì chúng được so sánh với dòng tải cực đại để chắc rằng không có sự nhầm lẫn giữa hai giá trị cần phân biệt để bảo vệ chỉ cắt máy cắt khi có sự cố và không tác động khi có tải cực đại. Các chương trình tính toán có thể thực hiện nhanh chóng các giá trị cần thiết này.

Hầu hết việc tính toán sự cố trong mạng truyền tải như đã tìm hiểu được thực hiện trong đơn vị tương đối với ma trận tổng trở nút. Khi tính toán, chúng ta thường giả thiết dòng tải không đáng kể so với dòng sự cố, hay cho hở mạch tại các nút tải. Viết lại công thức:

$$[\mathbf{V}] = [\mathbf{Z}][\mathbf{I}]; \quad Z_{ii} = \frac{V_i}{I_i} \Big|_{I_k=0, i=1,2,\dots,n, k \neq i}$$

với Z_{ii} là phần tử thứ i trên của đường chéo của ma trận tổng trở nút là tổng trở tương đương Thevenin nhìn từ nút i vào hệ thống khi nút i bị sự cố.

Điện áp tương đương Thevenin là điện áp hở mạch tại nút i hay điện áp danh định trước sự cố. Thường chúng ta cho điện áp này bằng 1 đvtd, mặc dù giá trị này có thể được điều chỉnh như mong muốn vì mạng là tuyến tính. Tổng trở Z_{ik} trong ma trận $\mathbf{Z}_{nút}$ là một giá trị tổng trở phản ánh quan hệ giữa điện áp tại nút i với dòng điện đổ vào nút k .

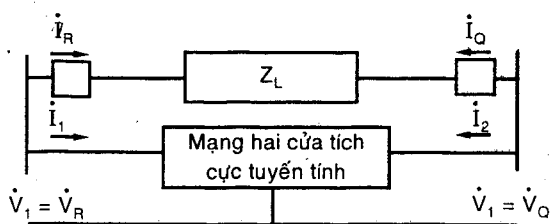
Như đã biết, người ta cũng dùng cả ma trận tổng trở nút của mạng thứ tự nghịch và thứ tự không trong tính toán ngắn mạch. Thường chúng ta giả thiết mạng thứ tự nghịch giống như mạng thứ tự thuận, ngoại trừ các kháng trở máy phát. Như vậy, biết được các mạng thứ tự, dùng ma trận tổng trở nút hay biến đổi mạch tương đương Thevenin, chúng ta có thể giải được bất cứ dòng sự cố yêu cầu nào tại các nút truyền tải.

5.1.1 Tương đương hệ thống điện

Giả sử ta cần tính toán bảo vệ cho một đường dây truyền tải hay một phần tử nào đó trong hệ thống truyền tải. Mạng kết nối với phần tử là một mạng tích cực có chứa nguồn cũng như các nhánh tải song song, tụ điện, cuộn kháng... Trong mạng lớn, số phương trình mô tả mạng điện tương đương với số nút. Trong nhiều trường hợp yêu cầu cho biết thông tin tại bất kỳ nút nào của mạng, ta cần phải giải số lượng lớn phương trình mô phỏng hệ thống.

Trong lĩnh vực bảo vệ, người ta thường quan tâm đến ảnh hưởng của hệ thống lên phần tử cần bảo vệ, nên cần thu gọn mạng đơn giản hơn để phục vụ cho yêu cầu tính toán bảo vệ. Chúng ta sẽ khảo sát phần tử bảo vệ là đường dây hay máy biến áp trong nhánh nào đó nối giữa hai nút của hệ thống.

Xét đường dây truyền tải nối giữa hai nút trong hệ thống điện. Giả thiết chúng ta cần biết dòng, áp tại vị trí hai đầu đường dây. Để xác định các giá trị này người ta sẽ tương đương hệ thống trừ đường dây đang khảo sát thành một mạng tương đương hai cửa tích cực chứa nguồn và các tổng trở tương đương như hình 5.1.



Hình 5.1: Đường dây khảo sát và tương đương hệ thống trừ đường dây

Mạng trong hình 5.1 được mô tả bởi các phương trình mạng hai cửa mạch hở như sau:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{11} & \dot{Z}_{12} \\ \dot{Z}_{21} & \dot{Z}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{V}_{S1} \\ \dot{V}_{S2} \end{bmatrix} \tag{5.1}$$

hay: $[\mathbf{V}] = [\mathbf{Z}][\mathbf{I}] + [\mathbf{V}_S]$

Các phần tử trong ma trận tổng trở Z được gọi là các thông số mạng hở, nghĩa là \dot{I}_1 hay $\dot{I}_2 = 0$. Các vectơ điện áp \dot{V}_{S1} và \dot{V}_{S2} trong (5.1) là vectơ điện áp nguồn, biểu diễn ảnh hưởng của nguồn trong hệ thống. Chúng ta sẽ xác định sơ đồ tương đương hai cửa của hệ thống khi tháo đường dây ra. \dot{V}_1, \dot{V}_2 là điện thế các nút ①, ② so với nút gốc. Các dòng điện \dot{I}_1, \dot{I}_2 là các dòng điện đổ vào hệ thống tại các nút ①, ②. Trước hết, khi hai cửa mạng tương đương để hở, nghĩa là $\dot{I}_1 = \dot{I}_2 = 0$ trong phương trình (5.1) lúc đó:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix}_{\dot{I}_1 = \dot{I}_2 = 0} = \begin{bmatrix} \dot{V}_{S1} \\ \dot{V}_{S2} \end{bmatrix} \tag{5.2}$$

Từ biểu thức trên nhận thấy điện áp nguồn $\dot{V}_{S1}, \dot{V}_{S2}$ chính là các giá trị điện áp mạch hở tại các cửa 1, 2 khi đường dây được tháo bỏ. Chúng thể hiện ảnh hưởng của nguồn trong hệ thống. Có thể xem đây như là các điện áp Thevenin tương đương và được xác định từ việc giải bài toán phân bố dòng công suất trong hệ thống khi tháo bỏ đường dây ra khỏi hệ thống.

Kế đến, trong trường hợp không có các nguồn trong hệ thống, ta có:

$$\dot{V}_{S1} = \dot{V}_{S2} = 0 \tag{5.3}$$

Lúc đó mạng hai cửa trở thành mạng thụ động và các thông số mạng hai cửa được xác định bằng cách lần lượt bơm dòng vào mỗi cửa.

Trong điều kiện bơm nguồn vào, điện thế tại hai cửa được đo hoặc tính và so sánh với dòng điện bơm vào, chúng ta nhận được các thông số mạng hai cửa:

$$\dot{Z}_{11} = \frac{\dot{V}_1}{\dot{I}_1} \Big|_{\dot{I}_2 = 0} \tag{5.4}$$

$$\dot{Z}_{12} = \frac{\dot{V}_1}{\dot{I}_2} \Big|_{\dot{I}_1 = 0} \tag{5.5}$$

$$\dot{Z}_{21} = \frac{\dot{V}_2}{\dot{I}_1} \Big|_{i_2=0} \quad (5.6)$$

$$\dot{Z}_{22} = \frac{\dot{V}_2}{\dot{I}_2} \Big|_{i_1=0} \quad (5.7)$$

1- Xác định các thông số mạng hai cửa

Thông số mạng hai cửa có thể được xác định từ các phương trình mô tả mạng điện. Các phương trình có thể ở dạng tổng trở nút hay tổng dẫn nút. Do hệ thống điện thực tế có nhiều nút, nhiều nhánh nên số lượng phương trình rất lớn và giải hệ phương trình cần sự hỗ trợ của máy tính. Do các chương trình tính toán ngắn mạch thường sử dụng ma trận tổng trở nên người ta thường xác định thông số mạng hai cửa từ các phương trình ở dạng tổng trở nút.

Chúng ta mô tả mạng điện bằng ma trận tổng trở nút; để đơn giản, ta bỏ qua nguồn điện thế:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_1 \\ \dots \\ \dot{V}_i \\ \dots \\ \dot{V}_k \\ \dots \\ \dot{V}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{11} & \dot{Z}_{1i} & \dot{Z}_{1k} & \dot{Z}_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dot{Z}_{i1} & \dot{Z}_{ii} & \dot{Z}_{ik} & \dot{Z}_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dot{Z}_{k1} & \dot{Z}_{ki} & \dot{Z}_{kk} & \dot{Z}_{kn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dot{Z}_{n1} & \dot{Z}_{ni} & \dot{Z}_{nk} & \dot{Z}_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dots \\ \dot{I}_i \\ \dots \\ \dot{I}_k \\ \dots \\ \dot{I}_n \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

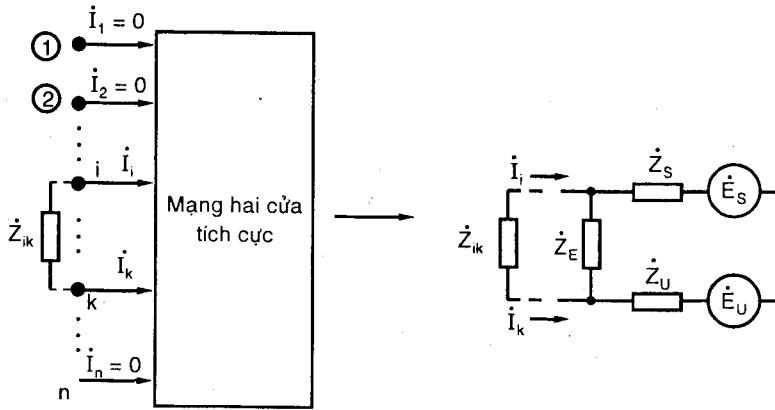
Giả sử rằng nhánh được khảo sát nối giữa nút i, k , dòng điện bơm vào mạng là những dòng chảy ra mỗi đầu nhánh. Các dòng này ký hiệu là \dot{I}_1, \dot{I}_2 ở công thức (5.1). Tất cả các dòng khác bằng không. Dùng các phương pháp toán học biến đổi và rút gọn hệ phương trình (5.8) về dạng:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_i \\ \dot{V}_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{ii} & \dot{Z}_{ik} \\ \dot{Z}_{ki} & \dot{Z}_{kk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_i \\ \dot{I}_k \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

Nếu chọn nút i, k là 1, 2 thì:

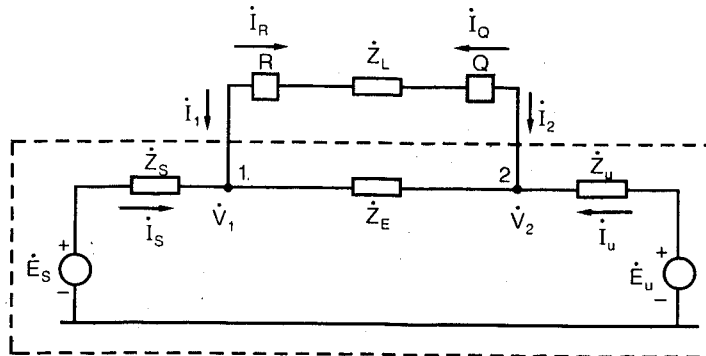
$$\begin{bmatrix} \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{11} & \dot{Z}_{12} \\ \dot{Z}_{21} & \dot{Z}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} \quad (5.10)$$

Lưu ý rằng ma trận (5.10) được xác định khi nhánh đường dây khảo sát được tháo ra khỏi mạng. Sơ đồ thay thế tương đương nhìn từ hai nút i, k của mạng điện cho bởi hình 5.2 khi không kể đường dây khảo sát.



Hình 5.2: Thông số mạng hai cửa tương đương

Một mạng tương đương hai cửa đơn giản nhất của hệ thống ba nút, nút ① (cửa 1), nút ② (cửa 2), và nút tham chiếu (nút gốc) gồm ba tổng trở tương đương như trình bày trên hình 5.2 và vẽ lại trên hình 5.3. Các sức điện động tượng trưng cho ảnh hưởng của các nguồn trong mạng, được xác định khi tính toán hở mạch tại nút ① và ②. Tổng trở Z_L trên hình 5.3 biểu diễn tổng trở đường dây khảo sát. Z_E được gọi là tổng trở tương đương mạch ngoài.



Hình 5.3: Sơ đồ tương đương hai cửa

Các thông số mạng hai cửa được xác định khi tháo đường dây ra khỏi hệ thống:

- Đầu tiên ta tính điện áp tại các nút trong tình trạng hở mạch đường dây (ảnh hưởng của nguồn khi $I_1' = I_2 = 0$):

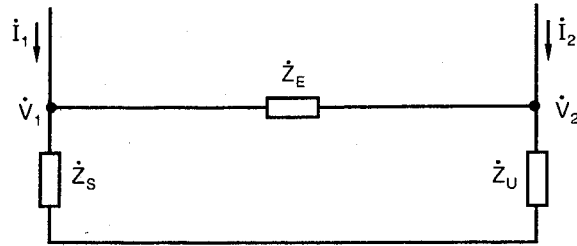
$$\dot{I} = \frac{\dot{E}_S - \dot{E}_U}{\dot{Z}_S + \dot{Z}_E + \dot{Z}_U} = \frac{\dot{E}_S - \dot{E}_U}{\dot{Z}_\Sigma}$$

với $\dot{Z}_\Sigma = \dot{Z}_S + \dot{Z}_E + \dot{Z}_U$

Điện áp tại các nút ① và ② như sau:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{V}_R \\ \dot{V}_Q \end{bmatrix} = \frac{1}{\dot{Z}_\Sigma} \begin{bmatrix} \dot{Z}_E + \dot{Z}_U & \dot{Z}_S \\ \dot{Z}_U & \dot{Z}_E + \dot{Z}_S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{E}_S \\ \dot{E}_U \end{bmatrix} \quad (5.11)$$

- Ta xem xét các thông số mạng hai cửa khi hở mạch đường dây và nối tắt các sức điện động. Xét hình 5.4:



Hình 5.4: Sơ đồ tương đương mạch hở khi có lập nguồn

Cho $I_1 = 1$ đơn vị và $I_2 = 0$, ta tìm được cột đầu của ma trận tổng trở:

$$\dot{Z}_{11} = \frac{\dot{V}_1}{\dot{I}_1} \Big|_{I_2=0} = \frac{\dot{Z}_S(\dot{Z}_E + \dot{Z}_U)}{\dot{Z}_\Sigma} \quad (5.12)$$

$$\dot{Z}_{21} = \frac{\dot{V}_2}{\dot{I}_1} \Big|_{I_2=0} = \frac{\dot{Z}_S \dot{Z}_U}{\dot{Z}_\Sigma} \quad (5.13)$$

Cho $I_1 = 0$ và $I_2 = 1$, ta tìm được cột thứ hai của ma trận tổng trở:

$$\dot{Z}_{12} = \frac{\dot{V}_1}{\dot{I}_2} \Big|_{I_1=0} = \frac{\dot{Z}_S \dot{Z}_U}{\dot{Z}_\Sigma} \quad (5.14)$$

$$\dot{Z}_{22} = \frac{\dot{V}_2}{\dot{I}_2} \Big|_{I_1=0} = \frac{\dot{Z}_U(\dot{Z}_E + \dot{Z}_S)}{\dot{Z}_\Sigma} \quad (5.15)$$

2- Tổng trở tương đương từ thông số mạng hai cửa

Thông số mạng hai cửa có thể được xác định từ việc đơn giản hóa ma trận tổng trở nút mô tả mạng như công thức 5.9. Để xác định các tổng trở và nguồn trong mạng tương đương hai cửa, ta dựa vào các phương trình trên và nhận được:

$$\dot{Z}_S = \frac{\dot{Z}_{11}\dot{Z}_{22} - \dot{Z}_{12}\dot{Z}_{21}}{\dot{Z}_{22} - \dot{Z}_{21}} \quad (5.16)$$

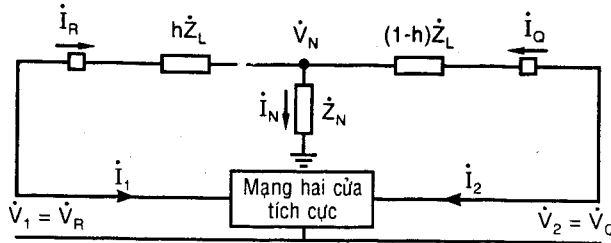
$$\dot{Z}_U = \frac{\dot{Z}_{11}\dot{Z}_{22} - \dot{Z}_{12}\dot{Z}_{21}}{\dot{Z}_{11} - \dot{Z}_{12}} \quad (5.17)$$

$$\dot{Z}_E = \frac{\dot{Z}_{11}\dot{Z}_{22} - \dot{Z}_{12}\dot{Z}_{21}}{\dot{Z}_{12}} = \frac{\dot{Z}_{11}\dot{Z}_{22} - \dot{Z}_{12}\dot{Z}_{21}}{\dot{Z}_{21}} \quad (5.18)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{E}_S \\ \dot{E}_U \end{bmatrix} = \frac{1}{\dot{Z}_E} \begin{bmatrix} \dot{Z}_S + \dot{Z}_E & -\dot{Z}_S \\ -\dot{Z}_U & \dot{Z}_U + \dot{Z}_E \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_R \\ \dot{V}_Q \end{bmatrix} \quad (5.19)$$

Thay \dot{Z}_S , \dot{Z}_U , \dot{Z}_E trong (5.19) bởi các công thức (5.16), (5.17), (5.18), ta sẽ nhận được E_S , E_U theo các thông số mạng hai cửa. Chú ý rằng \dot{V}_R , \dot{V}_Q là các điện thế đo được so với nút gốc khi hở mạch đường dây.

3- Mạch tương đương đường dây khi ngắn mạch ba pha qua tổng trở chạm \dot{Z}_N



Hình 5.5: Mạng hai cửa đường dây sự cố

Hình 5.5 biểu diễn mạng thứ tự thuận khi đường dây xảy ra sự cố qua tổng trở chạm trung gian \dot{Z}_N được dùng để tính ngắn mạch ba pha. Sơ đồ thứ tự nghịch và thứ tự không cũng có thể được thành lập để tính ngắn mạch bất đối xứng ở phần sau. h là tỷ lệ khoảng cách từ đầu đường dây tới chỗ sự cố so với chiều dài đường dây.

Từ sơ đồ:

$$\dot{I}_N = \dot{I}_R + \dot{I}_Q = \frac{\dot{V}_N}{\dot{Z}_N} \Rightarrow \dot{V}_N = \dot{Z}_N(\dot{I}_R + \dot{I}_Q) \tag{5.20}$$

$$\dot{I}_R = -\dot{I}_1 = \frac{\dot{V}_1 - \dot{V}_N}{h\dot{Z}_L} \Rightarrow \dot{V}_1 = (\dot{Z}_N + h\dot{Z}_L)\dot{I}_R + \dot{Z}_N\dot{I}_Q \tag{5.21}$$

$$\dot{I}_Q = -\dot{I}_2 = \frac{\dot{V}_2 - \dot{V}_N}{(1-h)\dot{Z}_L} \Rightarrow \dot{V}_2 = (\dot{Z}_N + (1-h)\dot{Z}_L)\dot{I}_Q + \dot{Z}_N\dot{I}_R \tag{5.22}$$

Thay thế các giá trị này vào phương trình (5.1) trên:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{S1} \\ \dot{V}_{S2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{11} + h\dot{Z}_L + \dot{Z}_N & \dot{Z}_{12} + \dot{Z}_N \\ \dot{Z}_{21} + \dot{Z}_N & \dot{Z}_{22} + (1-h)\dot{Z}_L + \dot{Z}_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_R \\ \dot{I}_Q \end{bmatrix} \tag{5.23}$$

Giải các phương trình tìm dòng điện ở mỗi đầu đường dây:

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_R \\ \dot{I}_Q \end{bmatrix} = \frac{1}{\dot{Z}_\Delta^2} \begin{bmatrix} \dot{Z}_{22} + (1-h)\dot{Z}_L + \dot{Z}_N & \dot{Z}_{12} + \dot{Z}_N \\ \dot{Z}_{21} + \dot{Z}_N & \dot{Z}_{11} + h\dot{Z}_L + \dot{Z}_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_{S1} \\ \dot{V}_{S2} \end{bmatrix} \tag{5.24}$$

với
$$\dot{Z}_\Delta^2 = (\dot{Z}_{11} + h\dot{Z}_L + \dot{Z}_N)(\dot{Z}_{22} + (1-h)\dot{Z}_L + \dot{Z}_N) - (\dot{Z}_{12} + \dot{Z}_N)(\dot{Z}_{21} + \dot{Z}_N)$$

Phương trình (5.24) biểu diễn giá trị dòng điện đầu đường dây theo điện thế nguồn hai cửa hở mạch. Nếu biểu diễn theo sức điện động mạch tương đương thì ta có:

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_R \\ \dot{I}_Q \end{bmatrix} = \frac{\dot{Z}_L + \dot{Z}_E}{\dot{F}_1\dot{F}_3 - \dot{F}_2^2} \begin{bmatrix} (1-h)\dot{Z}_L(\dot{F}_2 - \dot{F}_3) + \dot{Z}_E\dot{F}_3 & -[(1-h)\dot{Z}_L(\dot{F}_2 - \dot{F}_1) + \dot{Z}_E\dot{F}_2] \\ -[h\dot{Z}_L(\dot{F}_2 - \dot{F}_3) + \dot{Z}_E\dot{F}_2] & [h\dot{Z}_L(\dot{F}_1 - \dot{F}_2) + \dot{Z}_E\dot{F}_1] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{E}_S \\ \dot{E}_U \end{bmatrix}$$

với
$$\dot{F}_1 = (\dot{Z}_S + h\dot{Z}_L + \dot{Z}_N)(\dot{Z}_L + \dot{Z}_E) - (h\dot{Z}_L)^2 \tag{5.25}$$

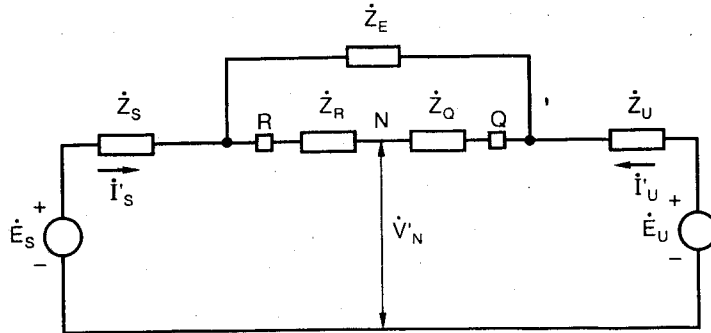
$$\dot{F}_2 = \dot{Z}_N(\dot{Z}_L + \dot{Z}_E) - h(1-h)\dot{Z}_L^2 \tag{5.26}$$

$$F_3 = [Z_U + (1-h)Z_L + Z_N](Z_L + Z_E) - (1-h)^2 Z_L^2 \quad (5.27)$$

4.1.2 Phân tích sự cố ba pha trên đường dây

1- Trước sự cố

Sơ đồ tương đương trước sự cố được cho ở hình 5.6



Hình 5.6: Hệ thống trước sự cố

Giải mạch đơn giản này ta tìm được các giá trị dòng và áp:

$$I'_S = \frac{Z_k(\dot{E}_S - \dot{E}_U)}{Z_k(Z_U + Z_S) + Z_E(Z_R + Z_Q)} \quad (5.28)$$

$$I'_S = -I'_U \quad (5.29)$$

với

$$Z_k = Z_R + Z_Q + Z_E$$

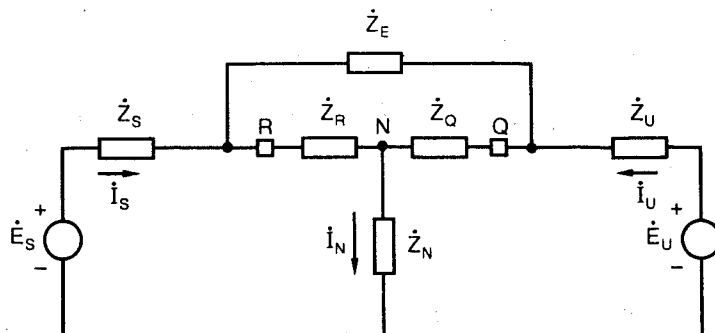
Điện áp tại N trước sự cố:

$$\dot{V}'_N = \frac{(Z_k Z_U + Z_Q Z_E) \dot{E}_S + (Z_k Z_S + Z_R Z_E) \dot{E}_U}{Z_k(Z_U + Z_S) + Z_E(Z_R + Z_Q)} \quad (5.30)$$

$$\dot{I}'_N = 0 \quad (5.31)$$

2- Khi có sự cố

Tình trạng sự cố qua tổng trở chạm Z_N được biểu diễn trong hình 5.7.



Hình 5.7: Hệ thống bị sự cố qua tổng trở chạm

Giải mạch hình 5.7 ta tìm được các biểu thức dòng và áp khi sự cố:

$$I_S = \frac{[\dot{Z}_k(\dot{Z}_U + \dot{Z}_N) + \dot{Z}_Q(\dot{Z}_R + \dot{Z}_Q)]\dot{E}_S - (\dot{Z}_k\dot{Z}_N + \dot{Z}_R\dot{Z}_Q)\dot{E}_U}{M \text{ số}} \quad (5.32)$$

$$\dot{I}_U = \frac{[\dot{Z}_k(\dot{Z}_U + \dot{Z}_N) + \dot{Z}_Q(\dot{Z}_R + \dot{Z}_Q)]\dot{E}_U - (\dot{Z}_k\dot{Z}_N + \dot{Z}_R\dot{Z}_Q)\dot{E}_S}{M \text{ số}} \quad (5.33)$$

$$\dot{I}_N = \dot{I}_S + \dot{I}_U = \frac{(\dot{Z}_k\dot{Z}_U + \dot{Z}_Q\dot{Z}_R)\dot{E}_S + (\dot{Z}_k\dot{Z}_S + \dot{Z}_R\dot{Z}_E)\dot{E}_U}{M \text{ số}} \quad (5.34)$$

$$\dot{V}_N = \dot{Z}_N \dot{I}_N \quad (5.35)$$

với: $M \text{ số} = \frac{(\dot{Z}_k\dot{Z}_N + \dot{Z}_R\dot{Z}_Q)[\dot{Z}_k(\dot{Z}_S + \dot{Z}_U) + \dot{Z}_E(\dot{Z}_R + \dot{Z}_Q)] + (\dot{Z}_k\dot{Z}_S + \dot{Z}_R\dot{Z}_E)(\dot{Z}_k\dot{Z}_U + \dot{Z}_Q\dot{Z}_E)}{\dot{Z}_k}$ (5.36)

Để đơn giản, ta đặt:

$$\dot{Z}_{kS}^2 = \dot{Z}_k\dot{Z}_S + \dot{Z}_R\dot{Z}_E; \quad \dot{Z}_{kU} = \dot{Z}_k\dot{Z}_U + \dot{Z}_Q\dot{Z}_E$$

$$\dot{Z}_{kN}^2 = \dot{Z}_k\dot{Z}_N + \dot{Z}_R\dot{Z}_Q; \quad \dot{Z}_{kE} = \dot{Z}_{kS}^2 + \dot{Z}_{kU}^2$$

Theo đó: $M \text{ số} = \frac{\dot{Z}_{kL}^2 \dot{Z}_{kE}^2 + \dot{Z}_{kS}^2 \dot{Z}_{kU}^2}{\dot{Z}_k}$

và: $\dot{I}_S = \frac{(\dot{Z}_{kN}^2 + \dot{Z}_{kU}^2)\dot{E}_S - \dot{Z}_{kN}^2 \dot{E}_U}{M \text{ số}}$ (5.37)

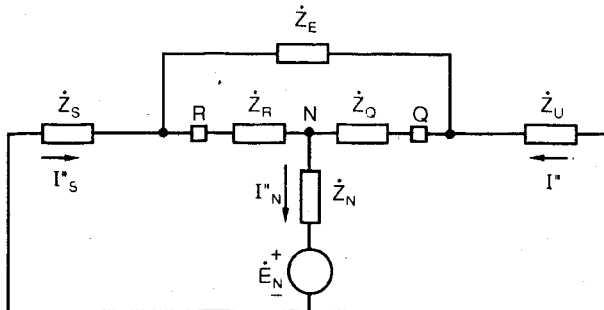
$$\dot{I}_U = \frac{(\dot{Z}_{kN}^2 + \dot{Z}_{kS}^2)\dot{E}_U - \dot{Z}_{kN}^2 \dot{E}_S}{M \text{ số}} \quad (5.38)$$

$$\dot{I}_N = \frac{\dot{Z}_{kU}^2 \dot{E}_S + \dot{Z}_{kS}^2 \dot{E}_U}{M \text{ số}} \quad (5.39)$$

$$\dot{V}_N = \frac{\dot{Z}_N(\dot{Z}_{kU}^2 \dot{E}_S + \dot{Z}_{kS}^2 \dot{E}_U)}{M \text{ số}} \quad (5.40)$$

3- Khi có sự cố nhưng không xét đến dòng tải

Trong trường hợp không kể đến ảnh hưởng của dòng tải, ta có sơ đồ tương đương hình 5.8. Ở đây $\dot{E}_N = \dot{V}_N$ là điện áp trước sự cố tại điểm chạm.

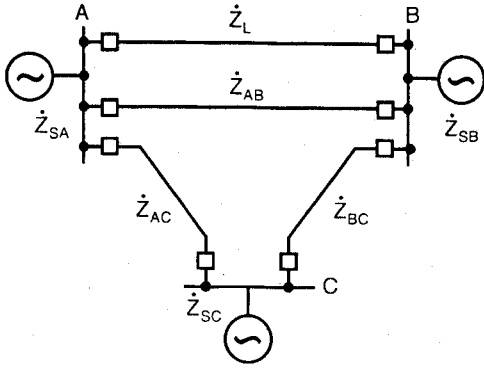


Hình 5.8: Hệ thống bị sự cố không xét đến dòng tải

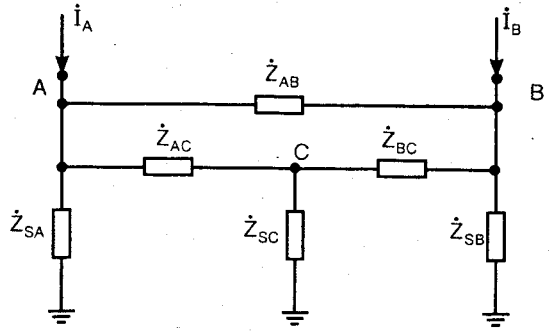
Bảng 5.1: Kết quả tính toán dòng ngắn mạch

Dòng sự cố tổng $I = I' + I''$	Dòng trước sự cố I	Dòng sự cố không tải I''
$I_S = \frac{(Z_{kN}^2 + Z_{kU}^2) \dot{E}_S - Z_{kN}^2 \dot{E}_U}{M \text{ số}}$	$I_S = \frac{Z_k (\dot{E}_S - \dot{E}_U)}{Z_{kE}^2} = -I_U$	$I_S'' = \frac{Z_{kU}^2 (Z_{kU}^2 \dot{E}_S + Z_{kS}^2 \dot{E}_U)}{Z_{kE}^2}$
$I_U = \frac{(Z_{kN}^2 + Z_{kS}^2) \dot{E}_U - Z_{kN}^2 \dot{E}_U}{M \text{ số}}$	$I_U = -I_S$	$I_U'' = \frac{Z_{kS}^2 (Z_{kU}^2 \dot{E}_S + Z_{kS}^2 \dot{E}_U)}{Z_{kE}^2}$
$I_N = \frac{Z_{kU}^2 \dot{E}_S + Z_{kS}^2 \dot{E}_U}{M \text{ số}}$	$I_N = 0$	$I_N'' = \frac{Z_{kE}^2 (Z_{kU}^2 \dot{E}_S + Z_{kS}^2 \dot{E}_U)}{Z_{kE}^2}$
$V_N = \frac{Z_N (Z_{kU}^2 \dot{E}_S + Z_{kS}^2 \dot{E}_U)}{M \text{ số}}$	$V_N = \frac{(Z_{kU}^2 \dot{E}_S + Z_{kS}^2 \dot{E}_U)}{Z_{kE}^2}$	$V_N'' = \frac{-Z_X}{Z_k M \text{ số}} (Z_{kU}^2 \dot{E}_S + Z_{kS}^2 \dot{E}_U)$
$I_S = \frac{Z_{kN}^2 \dot{E}_S - (Z_{kN}^2 + Z_{kS}^2) \dot{E}_U + Z_{kE}^2 \dot{E}_N}{M \text{ số}}$	$I_S = \frac{Z_k (\dot{E}_S - \dot{E}_U)}{Z_{kS}^2} = -I_U$	$I_S'' = \frac{Z_{kU}^2 \dot{E}_N}{M \text{ số}}$
$I_U = \frac{Z_{kN}^2 \dot{E}_U - (Z_{kN}^2 + Z_{kU}^2) \dot{E}_S + Z_{kE}^2 \dot{E}_N}{M \text{ số}}$	$I_U = \frac{Z_k (\dot{E}_U - \dot{E}_S)}{Z_{kU}^2} = -I_S$	$I_U'' = \frac{Z_{kS}^2 \dot{E}_N}{M \text{ số}}$
$I_N = \frac{Z_{kE}^2 \dot{E}_N}{M \text{ số}}$	$I_N = 0$	$I_N'' = \frac{Z_{kE}^2 \dot{E}_N}{M \text{ số}}$
$V_N = \frac{Z_{kE}^2 \dot{E}_N - Z_{kN}^2 \dot{E}_U + Z_{kS}^2 \dot{E}_U}{M \text{ số}}$	$V_N = \dot{E}_N$	$V_N'' = \frac{(Z_{kE}^2 \dot{E}_N + Z_{kS}^2 \dot{E}_U) \dot{E}_N}{Z_k M \text{ số}}$
$M \text{ số} = (Z_{kN}^2 \dot{E}_U + Z_{kS}^2 \dot{E}_U) / Z_k$	$Z_k = Z_R + Z_Q + Z_R$	$Z_X = (Z_{kE}^2 \dot{E}_N + Z_{kS}^2 \dot{E}_U) / Z_k$

Ví dụ 5.1. Xác định thông số mạng hai của tương đương nhìn từ hai đầu đường dây L của mạng hình 5.9.



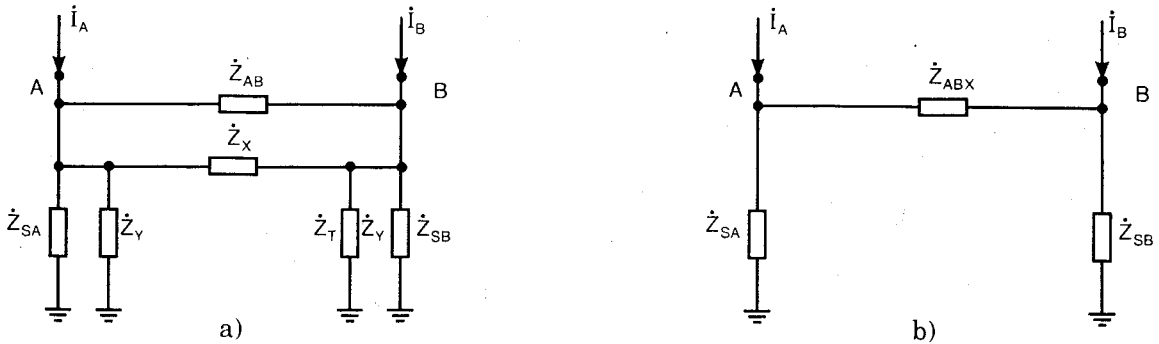
Hình 5.9: Sơ đồ mạng của ví dụ 5.1



Hình 5.10: Sơ đồ thay thế hình 5.9

Ta sẽ xác định các thông số mạng hai của tương đương nhìn từ hai đầu đường dây L bằng định nghĩa. Tháo bỏ đường dây L , nối tắt các nguồn áp, ta có sơ đồ hình 5.10.

Biến đổi Y- Δ đối với các nhánh Z_{AC} , Z_{BC} , Z_{SC} , ta được sơ đồ tương đương hình 5.11.



Hình 5.11: Sơ đồ thay thế hình 5.9 sau khi biến đổi

Trong đó, các giá trị tổng trở tương đương được tính như sau:

$$\dot{Z}_X = \dot{Z}_{AC} + \dot{Z}_{BC} + \frac{\dot{Z}_{AC}\dot{Z}_{BC}}{\dot{Z}_{SC}} = \frac{\dot{Z}_{AC}\dot{Z}_{BC} + \dot{Z}_{AC}\dot{Z}_{SC} + \dot{Z}_{SC}\dot{Z}_{BC}}{\dot{Z}_{SC}}$$

$$\dot{Z}_Y = \dot{Z}_{AC} + \dot{Z}_{SC} + \frac{\dot{Z}_{AC}\dot{Z}_{SC}}{\dot{Z}_{BC}} = \frac{\dot{Z}_{AC}\dot{Z}_{BC} + \dot{Z}_{AC}\dot{Z}_{SC} + \dot{Z}_{SC}\dot{Z}_{BC}}{\dot{Z}_{BC}}$$

$$\dot{Z}_T = \dot{Z}_{SC} + \dot{Z}_{BC} + \frac{\dot{Z}_{SC}\dot{Z}_{BC}}{\dot{Z}_{AC}} = \frac{\dot{Z}_{AC}\dot{Z}_{BC} + \dot{Z}_{AC}\dot{Z}_{SC} + \dot{Z}_{SC}\dot{Z}_{BC}}{\dot{Z}_{AC}}$$

và:
$$\dot{Z}_{ABX} = \frac{\dot{Z}_X\dot{Z}_{AB}}{\dot{Z}_X + \dot{Z}_{AB}}; \dot{Z}_A = \frac{\dot{Z}_Y\dot{Z}_{SA}}{\dot{Z}_Y + \dot{Z}_{SA}}; \dot{Z}_B = \frac{\dot{Z}_T\dot{Z}_{SB}}{\dot{Z}_T + \dot{Z}_{SB}}$$

Đến đây, ta thấy rằng sơ đồ hình 5.11b chính là sơ đồ tương đương hai của khi ngắn mạch các nguồn, do đó, thay vì tính các giá trị \dot{Z}_{11} , \dot{Z}_{22} , \dot{Z}_{12} , \dot{Z}_{21} theo

các công thức (5.4)-(5.7) để rồi suy ra các giá trị \dot{Z}_U , \dot{Z}_S , \dot{Z}_E , ta có thể suy ra \dot{Z}_U , \dot{Z}_S , \dot{Z}_E trực tiếp từ sơ đồ 5.11(b):

$$\dot{Z}_S = \dot{Z}_A; \quad \dot{Z}_U = \dot{Z}_B; \quad \dot{Z}_E = \dot{Z}_{ABX}$$

Có thể thử lại điều này bằng cách tính tiếp \dot{Z}_{11} , \dot{Z}_{22} , \dot{Z}_{12} , \dot{Z}_{21} theo định nghĩa:

Cho $\dot{I}_A = 1$ và $\dot{I}_B = 0$, ta có:

$$\dot{Z}_{11} = \frac{\dot{V}_A}{\dot{I}_A} = \dot{Z}_A // (\dot{Z}_B + \dot{Z}_{ABX}) = \frac{\dot{Z}_A(\dot{Z}_B + \dot{Z}_{ABX})}{\dot{Z}_A + (\dot{Z}_B + \dot{Z}_{ABX})}$$

$$\dot{Z}_{21} = \frac{\dot{V}_B}{\dot{I}_A} = \frac{\dot{V}_B}{\dot{V}_A} \frac{\dot{V}_A}{\dot{I}_A} = \frac{\dot{Z}_B}{\dot{Z}_B + \dot{Z}_{ABX}} \dot{Z}_{11} = \frac{\dot{Z}_A \dot{Z}_B}{\dot{Z}_A + \dot{Z}_B + \dot{Z}_{ABX}}$$

Cho $\dot{I}_B = 1$ và $\dot{I}_A = 0$, ta có:

$$\dot{Z}_{22} = \frac{\dot{V}_B}{\dot{I}_B} = \dot{Z}_B // (\dot{Z}_A + \dot{Z}_{ABX}) = \frac{\dot{Z}_B(\dot{Z}_A + \dot{Z}_{ABX})}{\dot{Z}_B + (\dot{Z}_A + \dot{Z}_{ABX})}$$

$$\dot{Z}_{12} = \frac{\dot{V}_A}{\dot{I}_B} = \frac{\dot{V}_A}{\dot{V}_B} \frac{\dot{V}_B}{\dot{I}_B} = \frac{\dot{Z}_A}{\dot{Z}_A + \dot{Z}_{ABX}} \dot{Z}_{22} = \frac{\dot{Z}_A \dot{Z}_B}{\dot{Z}_A + \dot{Z}_B + \dot{Z}_{ABX}} = \dot{Z}_{21}$$

Suy ra:

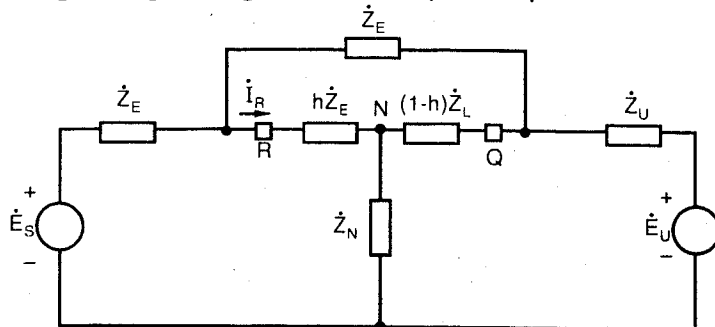
$$\dot{Z}_S = \frac{\dot{Z}_{11}\dot{Z}_{22} - \dot{Z}_{12}\dot{Z}_{21}}{\dot{Z}_{22} - \dot{Z}_{21}} = \frac{(\dot{Z}_A\dot{Z}_B + \dot{Z}_A\dot{Z}_{ABX})(\dot{Z}_A\dot{Z}_B + \dot{Z}_B\dot{Z}_{ABX}) - (\dot{Z}_A\dot{Z}_B)^2}{\dot{Z}_B\dot{Z}_{ABX}(\dot{Z}_A + \dot{Z}_B + \dot{Z}_{ABX})} = \dot{Z}_A$$

$$\dot{Z}_U = \frac{\dot{Z}_{11}\dot{Z}_{22} - \dot{Z}_{12}\dot{Z}_{21}}{\dot{Z}_{11} - \dot{Z}_{12}} = \frac{(\dot{Z}_A\dot{Z}_B + \dot{Z}_A\dot{Z}_{ABX})(\dot{Z}_A\dot{Z}_B + \dot{Z}_B\dot{Z}_{ABX}) - (\dot{Z}_A\dot{Z}_B)^2}{\dot{Z}_A\dot{Z}_{ABX}(\dot{Z}_A + \dot{Z}_B + \dot{Z}_{ABX})} = \dot{Z}_B$$

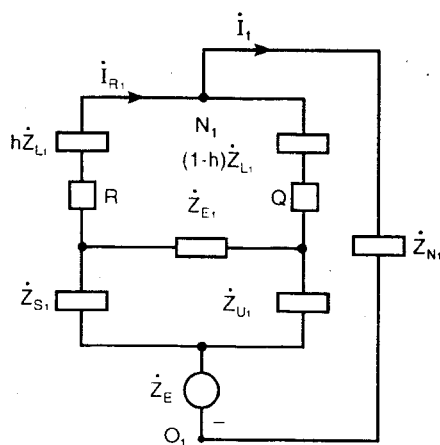
$$\dot{Z}_E = \frac{\dot{Z}_{11}\dot{Z}_{22} - \dot{Z}_{12}\dot{Z}_{21}}{\dot{Z}_{12}} = \frac{(\dot{Z}_A\dot{Z}_B + \dot{Z}_A\dot{Z}_{ABX})(\dot{Z}_A\dot{Z}_B + \dot{Z}_B\dot{Z}_{ABX}) - (\dot{Z}_A\dot{Z}_B)^2}{\dot{Z}_B\dot{Z}_A(\dot{Z}_A + \dot{Z}_B + \dot{Z}_{ABX})} = \dot{Z}_{ABX}$$

5.1.3 Tính toán các dạng ngắn mạch trên đường dây truyền tải

Dựa vào lý thuyết tính toán các dạng sự cố, áp dụng cho trường hợp ngắn mạch trên đường dây truyền tải. Xem phần còn lại của hệ thống như một mạng hai cửa. Gọi h là tỷ lệ khoảng cách từ đầu đường dây tới chỗ sự cố N so với chiều dài đường dây, mạng tương đương biểu diễn sự cố được vẽ như hình 5.12.



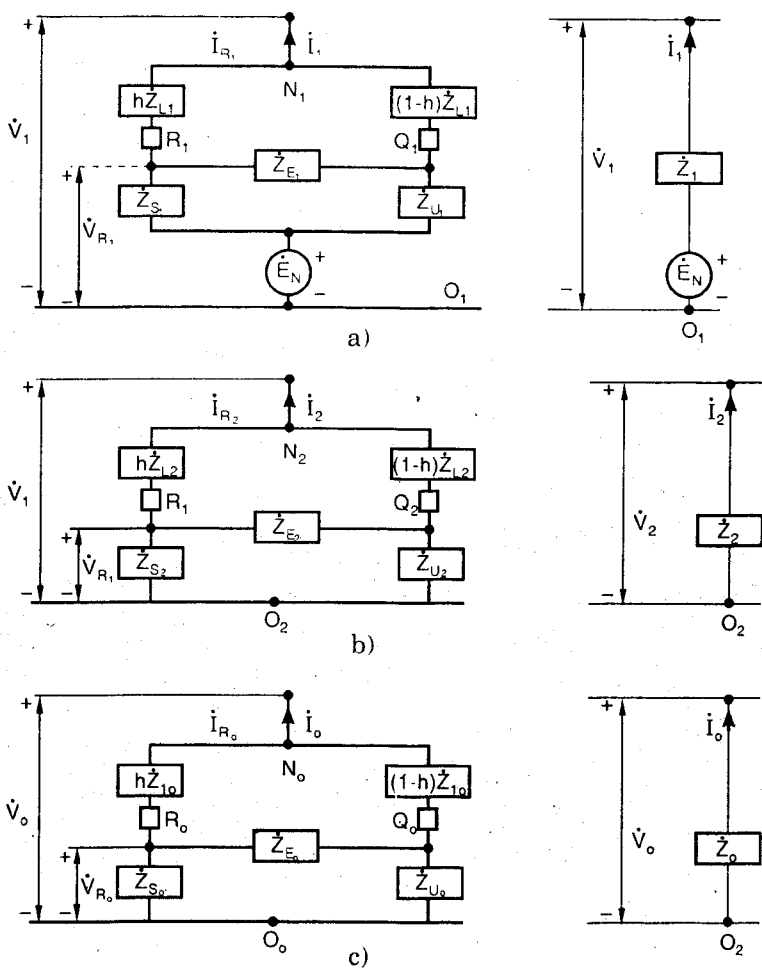
Hình 5.12: Mạng tương đương khi sự cố tại điểm N trên đường dây truyền tải R, Q



Hình 5.13: Mạng tương đương của hình 5.12

Chúng ta vẽ lại hình dưới dạng hình 5.12 với E_N là điện áp tại N trước khi xảy ra sự cố thành hình 5.13.

Các mạch thứ tự của mạng hình 5.12 khi sự cố có thể được biểu diễn như trong hình 5.14.



Hình 5.14: Sơ đồ thứ tự cho sự cố tại N

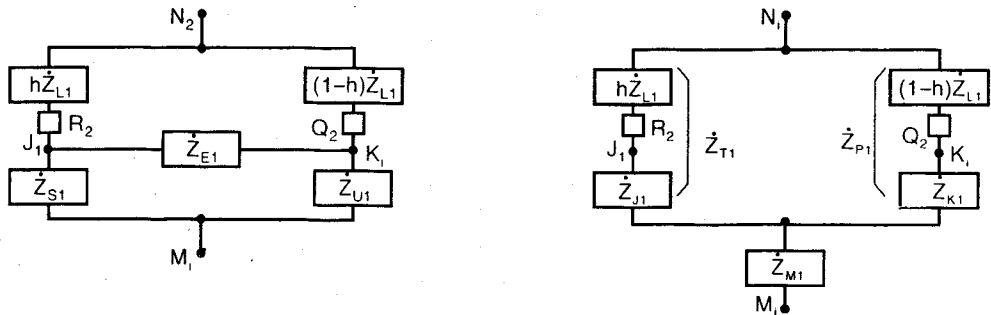
a) Mạch thứ tự thuận; b) Mạch thứ tự nghịch; c) Mạch thứ tự không

Để tính các tổng trở thứ tự, các sơ đồ tổng trở thứ tự được thu gọn nhờ phép biến đổi Δ -Y như hình 5.15, trong đó:

$$\begin{bmatrix} \dot{Z}_{M_i} \\ \dot{Z}_{J_i} \\ \dot{Z}_{K_i} \end{bmatrix} = \frac{1}{\dot{Z}_{S_i} + \dot{Z}_{U_i} + \dot{Z}_{E_i}} \begin{bmatrix} \dot{Z}_{U_i} \dot{Z}_{S_i} \\ \dot{Z}_{S_i} \dot{Z}_{E_i} \\ \dot{Z}_{E_i} \dot{Z}_{U_i} \end{bmatrix}$$

$$\dot{Z}_{T_i} = \dot{Z}_{J_i} + h\dot{Z}_{L_i}$$

$$\dot{Z}_{P_i} = \dot{Z}_{K_i} + (1-h)\dot{Z}_{L_i}$$



Hình 5.15: Sơ đồ thu gọn thứ tự theo biến đổi Δ -Y với $i = 0, 1, 2$.

Theo sơ đồ thu gọn trên, có thể tính các tổng trở thứ tự theo công thức:

$$\dot{Z}_i = \dot{Z}_{L_i} + \frac{\dot{Z}_{T_i} \dot{Z}_{P_i}}{\dot{Z}_{T_i} + \dot{Z}_{P_i}}$$

với: $i = 0, 1, 2$ - ký hiệu thứ tự không, thuận, nghịch

\dot{Z}_T - tổng trở tương đương nhánh trái; \dot{Z}_P - tổng trở tương đương nhánh phải.

Đặt hệ số phân dòng

$$\dot{C}_i = \frac{\dot{Z}_{P_i}}{\dot{Z}_{P_i} + \dot{Z}_{T_i}}; \quad \dot{Z}_{iC} = \dot{Z}_i - \dot{C}_i h \dot{Z}_{L_i}; \quad \dot{Z}_{N_i} = \dot{Z}_N + \dot{C}_i h \dot{Z}_{L_i}$$

với \dot{Z}_N là tổng trở chạm, $i = 0, 1, 2$.

Giá trị dòng và áp trên đường dây ứng với từng trường hợp ngắn mạch cụ thể được tóm tắt dưới đây:

1- Ngắn mạch ba pha đối xứng

Tính toán dòng và áp ngắn mạch đối xứng ba pha theo sơ đồ thứ tự thuận hình 5.13, chúng ta có kết quả cho ở bảng 5.2.

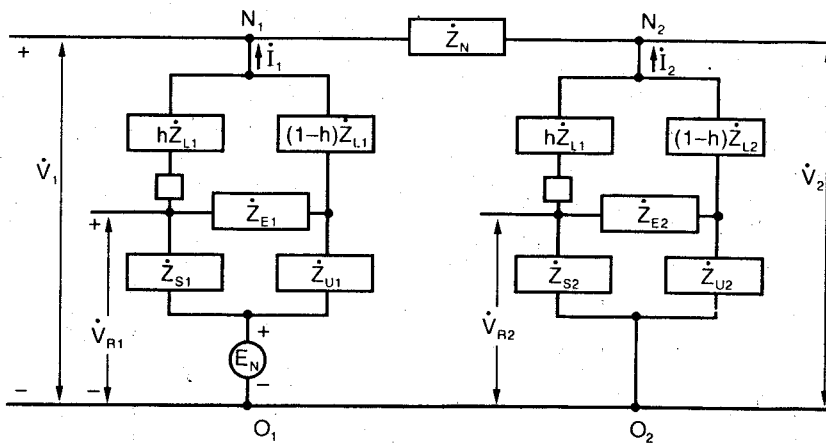
$$K = \frac{1}{\dot{I}_1} = \frac{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_N}{\dot{E}_N}$$

Bảng 5.2: Giá trị dòng và áp khi ngắn mạch ba pha

Đại lượng	Giá trị tại N	Giá trị tại R
$K\dot{I}_1$	0	0
$K\dot{I}_1$	1	\dot{C}_1
$K\dot{I}_2$	0	0
$K\dot{I}_a$	1	\dot{C}_1
$K\dot{I}_b$	a^2	$a^2\dot{C}_1$
$K\dot{I}_c$	a	$a\dot{C}_1$
$K\dot{V}_0$	0	0
$K\dot{V}_1$	\dot{Z}_N	\dot{Z}_{N1}
$K\dot{V}_2$	0	0
$K\dot{V}_a$	\dot{Z}_N	\dot{Z}_{N1}
$K\dot{V}_b$	$a^2\dot{Z}_N$	$a^2\dot{Z}_{N1}$
$K\dot{V}_c$	$a\dot{Z}_N$	$a\dot{Z}_{N1}$
$K\dot{V}_{ab}$	$(1-a^2)\dot{Z}_N$	$(1-a^2)\dot{Z}_{N1}$
$K\dot{V}_{bc}$	$(a^2-a)\dot{Z}_N$	$(a^2-a)\dot{Z}_{N1}$
$K\dot{V}_{ca}$	$(a-1)\dot{Z}_N$	$(a-1)\dot{Z}_{N1}$

2- Ngắn mạch hai pha b và c qua tổng trở chạm \dot{Z}_N

Sơ đồ liên kết thứ tự khi ngắn mạch hai pha cho ở hình 5.16.



Hình 5.16: Sơ đồ liên kết thứ tự khi ngắn mạch hai pha

Kết quả tính toán các dòng và áp khi ngắn mạch cho ở bảng 5.3.

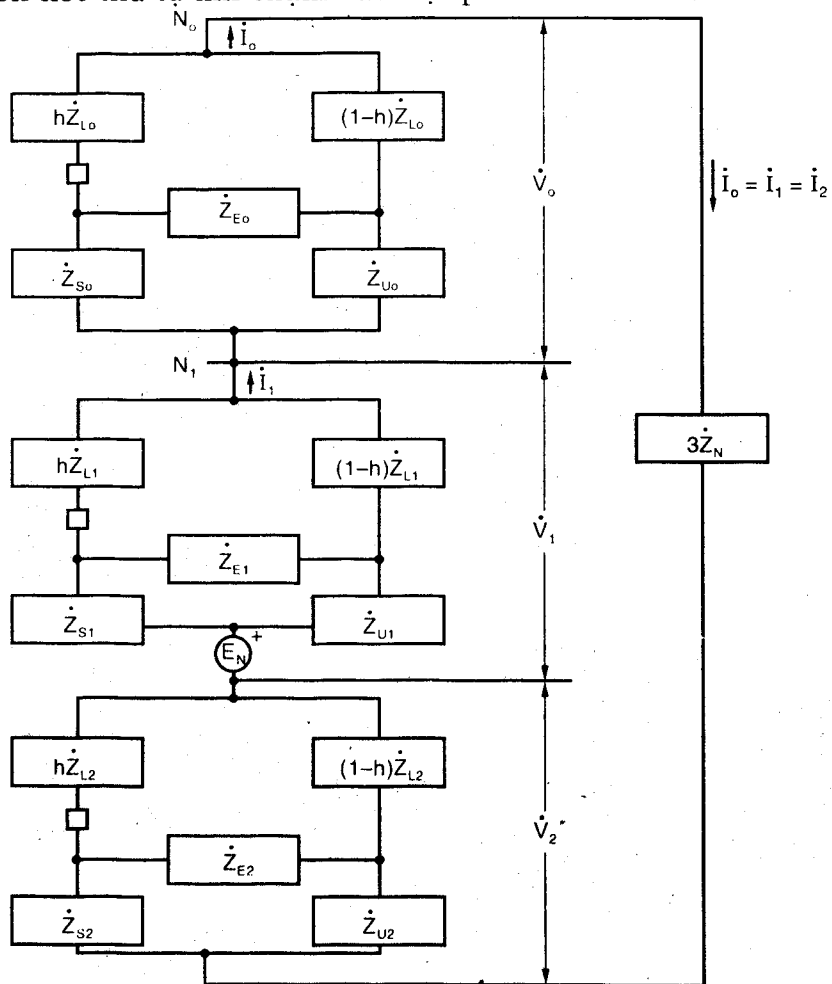
$$K = \frac{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_N}{\dot{E}_N} = \frac{1}{\dot{I}_1}$$

Bảng 5.3: Giá trị dòng và áp khi ngắn mạch hai pha b và c

Đại lượng	Giá trị tại N	Giá trị tại R
$K\dot{I}_0$	0	0
$K\dot{I}_1$	1	\dot{C}_1
$K\dot{I}_2$	-1	$-\dot{C}_2$
$K\dot{I}_u$	0	$\dot{C}_1 - \dot{C}_2$
$K\dot{I}_h$	$a^2 - a$	$a^2\dot{C}_1 - a\dot{C}_2$
$K\dot{I}_r$	$a - a^2$	$a\dot{C}_1 - a^2\dot{C}_2$
$K\dot{V}_0$	0	0
$K\dot{V}_1$	$\dot{Z}_N + \dot{Z}_2$	$\dot{Z}_{N1} + \dot{Z}_2$
$K\dot{V}_2$	\dot{Z}_2	\dot{Z}_{2C}
$K\dot{V}_u$	$\dot{Z}_N + 2\dot{Z}_2$	$\dot{Z}_{N1} + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_{2C}$
$K\dot{V}_b$	$a^2\dot{Z}_N - \dot{Z}_2$	$a^2(\dot{Z}_{N1} + \dot{Z}_2) + a\dot{Z}_{2C}$
$K\dot{V}_r$	$a\dot{Z}_N - \dot{Z}_2$	$a(\dot{Z}_{N1} + \dot{Z}_2) + a^2\dot{Z}_{2C}$

3) Ngắn mạch một pha chạm đất

Sơ đồ liên kết thứ tự khi chạm đất một pha cho ở hình 5.17.



Hình 5.17: Sơ đồ liên kết thứ tự khi chạm đất một pha

Kết quả tính toán các dòng và áp khi ngắn mạch cho ở bảng 5.4.

$$K = \frac{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + 3\dot{Z}_N}{\dot{E}_N}; \quad d_0 = 1 - a^2 = \sqrt{3}\angle 30^\circ$$

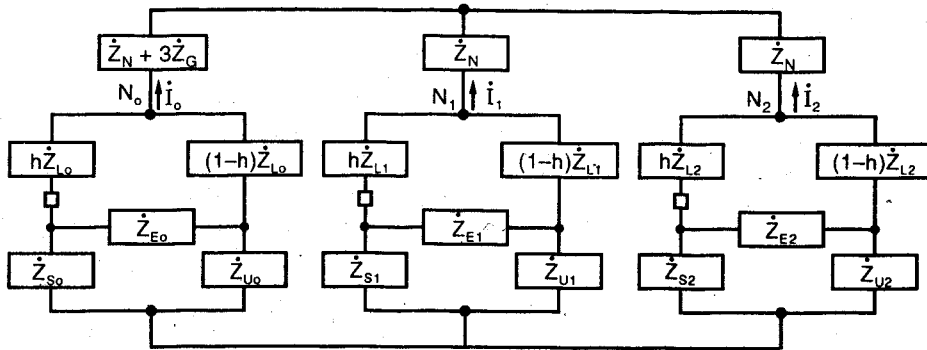
$$d_1 = a - 1 = \sqrt{3}\angle 150^\circ; \quad d_2 = a^2 - a = \sqrt{3}\angle -90^\circ$$

Bảng 5.4: Giá trị dòng và áp khi ngắn mạch pha a chạm đất

Đại lượng	Giá trị tại N	Giá trị tại R
KI_0	1	\dot{C}_0
KI_1	1	\dot{C}_1
KI_2	1	\dot{C}_2
KI_a	3	$\dot{C}_0 + \dot{C}_1 + \dot{C}_2$
KI_b	0	$\dot{C}_0 + a^2\dot{C}_1 + a\dot{C}_2$
KI_c	0	$\dot{C}_0 + a\dot{C}_1 + a^2\dot{C}_2$
KV_0	$-\dot{Z}_0$	$-\dot{Z}_{0C}$
KV_1	$3\dot{Z}_N + \dot{Z}_0 + \dot{Z}_2$	$(\dot{Z}_{N_0} + \dot{Z}_{N_1} + \dot{Z}_{N_2}) + \dot{Z}_{0C} + \dot{Z}_{2C}$
KV_2	$-\dot{Z}_2$	$-\dot{Z}_{2C}$
KV_a	$3\dot{Z}_N$	$(\dot{Z}_{N_0} + \dot{Z}_{N_1} + \dot{Z}_{N_2})$
KV_b	$3a^2\dot{Z}_N - d_0\dot{Z}_0 + d_2\dot{Z}_2$	$a^2(\dot{Z}_{N_0} + \dot{Z}_{N_1} + \dot{Z}_{N_2}) - d_0\dot{Z}_{0C} + d_2\dot{Z}_{2C}$
KV_c	$3a\dot{Z}_N + d_0\dot{Z}_0 - d_2\dot{Z}_2$	$a(\dot{Z}_{N_0} + \dot{Z}_{N_1} + \dot{Z}_{N_2}) + d_1\dot{Z}_{0C} - d_2\dot{Z}_{2C}$

4- Ngắn mạch hai pha chạm đất

Sơ đồ biểu diễn liên kết thứ tự khi chạm đất hai pha cho ở hình 5.18.



Hình 5.18: Sơ đồ liên kết thứ tự khi chạm đất hai pha

Kết quả tính toán các dòng và áp khi ngắn mạch cho ở bảng 5.5.

$$\dot{Z}_{2X} = \dot{Z}_N + \dot{Z}_2; \quad \dot{Z}_{1X} = \dot{Z}_N + \dot{Z}_1; \quad \dot{Z}_{0X} = \dot{Z}_N + \dot{Z}_0 + 3\dot{Z}_G$$

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}_N}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_N + \frac{(\dot{Z}_2 + \dot{Z}_N)(\dot{Z}_0 + \dot{Z}_N + 3\dot{Z}_G)}{(\dot{Z}_2 + \dot{Z}_N + \dot{Z}_0 + \dot{Z}_N + 3\dot{Z}_G)}} = \frac{\dot{E}_N(\dot{Z}_{2X} + \dot{Z}_{0X})}{\sum_{0,1,2} \dot{Z}_{0X}\dot{Z}_{1X}}$$

$$K = \frac{\dot{Z}_{2X} + \dot{Z}_{0X}}{\dot{I}_1}$$

Bảng 5.5: Giá trị dòng và áp khi ngắn mạch hai pha b và c chạm đất

Đại lượng	Giá trị tại N	Giá trị tại R
KI_o	$-Z_{2X}$	$-\dot{C}_o \dot{Z}_{2X}$
KI_1	$\dot{Z}_{2X} + \dot{Z}_{oX}$	$\dot{C}_1(\dot{Z}_{2X} + \dot{Z}_{oX})$
KI_2	$-Z_{oX}$	$-\dot{C}_2 \dot{Z}_{oX}$
KI_a	0	$(\dot{C}_1 - \dot{C}_o)\dot{Z}_{2X} + (\dot{C}_1 - \dot{C}_2)\dot{Z}_{oX}$
KI_b	$-d_o \dot{Z}_{2X} - d_2 \dot{Z}_{oX}$	$(a^2 \dot{C}_1 - \dot{C}_o)\dot{Z}_{2X} + (a^2 \dot{C}_1 - a \dot{C}_2)\dot{Z}_{oX}$
KI_c	$d_1 \dot{Z}_{2X} - d_2 \dot{Z}_{oX}$	$(a \dot{C}_1 - \dot{C}_o)\dot{Z}_{2X} + (a \dot{C}_1 - a^2 \dot{C}_2)\dot{Z}_{oX}$
KV_o	$\dot{Z}_o \dot{Z}_{2X}$	$\dot{Z}_{oC} \dot{Z}_{2X}$
KV_1	$\dot{Z}_N(\dot{Z}_{2X} + \dot{Z}_{oX}) + \dot{Z}_{2X} \dot{Z}_{oX}$	$\dot{Z}_{N1}(\dot{Z}_{2X} + \dot{Z}_{oX}) + \dot{Z}_{2X} \dot{Z}_{oX}$
KV_2	$\dot{Z}_2 \dot{Z}_{oX}$	$\dot{Z}_{2C} \dot{Z}_{oX}$
KV_σ	$(\dot{Z}_N + \dot{Z}_o)\dot{Z}_{2X} + (\dot{Z}_N + \dot{Z}_2)\dot{Z}_{oX} + \dot{Z}_{2X} \dot{Z}_{oX}$	Thay Z_N bởi Z_{N1}
KV_b	$(a^2 \dot{Z}_N + \dot{Z}_o)\dot{Z}_{2X} + (a^2 \dot{Z}_N + a \dot{Z}_2)\dot{Z}_{oX} + a^2 \dot{Z}_{2X} \dot{Z}_{oX}$	Thay Z_2 bởi Z_{2C}
KV_c	$(a \dot{Z}_N + \dot{Z}_o)\dot{Z}_{2X} + (a \dot{Z}_N + a^2 \dot{Z}_2)\dot{Z}_{oX} + a \dot{Z}_{2X} \dot{Z}_{oX}$	Thay Z_o bởi Z_{oC}

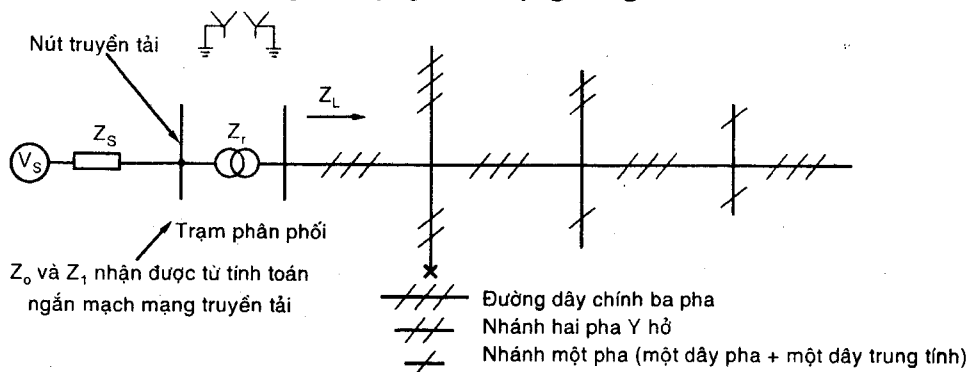
5.2 TÍNH TOÁN NGẮN MẠCH TRONG MẠNG PHÂN PHỐI

5.2.1 Tính toán dòng ngắn mạch đường dây phân phối hình tia

Ở các chương trước, chúng ta đã tìm hiểu cách tính toán dòng sự cố trong mạng truyền tải. Trong phần này, chúng ta chỉ khảo sát đường dây phân phối hình tia, với giả sử rằng dòng sự cố tại đầu nguồn của hệ thống phân phối hình tia đã được tính toán theo phương pháp tổng quát ở các chương trước. Tuy nhiên, có vài vấn đề phát sinh khi tính toán dòng sự cố dọc theo đường dây hình tia từ mạng lưới. Các vấn đề này sẽ được xem xét dưới đây. Các khái niệm thông thường nhận được ở các chương trình trước sẽ áp dụng cho đường dây hình tia.

Khảo sát hệ thống phân phối hình tia như trên hình 5.19, xuất phát từ một nút truyền tải (phía cao máy biến áp trạm phân phối). Để xác định tổng trở Thevenin từ điểm ngắn mạch trên mạng phân phối, một cách đơn giản, chúng ta chỉ cần thêm các tổng trở có giá trị tăng dần vào tổng trở tương đương Thevenin của nút truyền tải khi vị trí sự cố di chuyển ra khỏi trạm trung gian dọc theo đường dây phân phối ba pha. Việc tính toán sự cố của mạng truyền tải đã cho biết các dòng sự cố khi sự cố xảy ra phía cao áp của trạm biến áp phân phối. Do hệ thống phân phối là hình tia, nên dễ dàng xác định tổng trở Thevenin của nó cũng như dòng sự cố tại bất cứ điểm nào dọc theo mạch hình tia.

Thông thường tổ đấu dây ở trạm biến áp phân phối trung gian ở Việt Nam được sử dụng nhiều nhất là $Y_{nối\ đất}/Y_{nối\ đất}$, được biểu diễn trên hình 5.19. Các tổ đấu dây khác có thể được thực hiện, nhưng tổ trên là thông dụng nhất. Nối vào thanh các phía hạ áp của trạm phân phối là một đường dây phân phối ba pha hình tia. Nếu phía hạ của trạm trung gian được nối Y có trung tính nối đất, thì dây trung tính gần như được kéo dọc theo các dây pha, tạo thành một hệ thống nối Y bốn dây. Trong nhiều trường hợp, dây trung tính có thể có một hay hai cỡ dây nhỏ hơn dây pha. Điều này hoàn toàn có thể vì tải gần như cân bằng làm cho dây trung tính tải dòng rất nhỏ. Dây trung tính được nối đất ít nhất là tại các máy biến áp phân phối và đôi khi tại các cột trong hệ thống có trung tính nối đất lặp lại. Như vậy hệ thống nối đất tạo thành một đường trở về trung tính (thứ tự không) của dây trung tính và đất song song. Tổng trở của đường trở về này (tổng trở thứ tự không) trong hệ thống nối đất lặp lại rất khó xác định chính xác và các kết quả thực nghiệm thường sử dụng ước lượng tổng trở đất.



Hình 5.19: Trạm phân phối trung gian và đường dây phân phối hình tia

Các nhánh rẽ ở hình 5.19 có thể là các nhánh ba pha nhưng thường là một pha. Nếu được cung cấp từ một nguồn nối Y có trung tính nối đất, các nhánh có thể là hai pha, sao hở ba dây hay một pha, hai dây (một dây pha + một dây trung tính) với tất cả tải thường nối dây với trung tính.

5.2.2 Sự cố trên đường dây phân phối chính

Mạch chính là đường dây ba pha. Như vậy, các sự cố dọc theo đường dây chính có thể là một trong bốn dạng ngắn mạch thông thường: ngắn mạch ba pha ($N^{(3)}$), ngắn mạch hai pha chạm đất ($N^{(1,1)}$), ngắn mạch một pha chạm đất ($N^{(1)}$) và hai pha chạm nhau ($N^{(2)}$).

1- Ngắn mạch ba pha

Trong chương 2 đã trình bày mạch tương đương và cách tính dòng điện khi ngắn mạch ba pha. Chúng ta tính tổng trở thứ tự thuận tới điểm ngắn mạch:

$$Z_1 = Z_{S1} + Z_{T1} + Z_{L1}, \text{ đvtd} \tag{5.45}$$

với Z_{S1} là tổng trở tương đương Thevenin thứ tự thuận từ điểm nút truyền tải (đầu nguồn đường dây phân phối) nhìn về hệ thống.

Giá trị này được tính từ dòng điện ngắn mạch tại nút này trên mạng truyền tải hoặc từ giá trị công suất ngắn mạch tại nút truyền tải này và có thể dùng (2.16) để xác định Z_{S1}^* hoặc từ ma trận tổng trở nút của mạng truyền tải.

Z_{L1} - tổng trở đường dây phân phối hình tia

Là một hàm phụ thuộc khoảng cách h từ trạm trung gian đến chỗ sự cố, được tính gần đúng như sau trong trường hợp đường dây có chuyển vị hoàn toàn:

$$Z_{L1} = h z_{L1} \Omega \quad (5.46)$$

với z_{L1} là tổng trở trên đơn vị đường dây của đường dây phân phối chính.

Tổng trở cơ bản:

$$Z_{cb} = \frac{V_{cb-pha}^2}{S_{cb-1pha}} = \frac{V_{cb-dây}^2}{S_{cb-3pha}}, \Omega \quad (5.47)$$

Tổng trở đường dây trong đơn vị tương đối:

$$Z_{L1}^* = \frac{Z_{L1}}{Z_{cb}} dvtđ \quad (5.48)$$

Tổng trở chạm Z_N cần được tính cho dòng chạm thường lấy điện trở chạm từ 30 đến 40(Ω) đối với tình trạng sự cố cực tiểu và 0(Ω) đối với tình trạng sự cố cực đại. Khi dùng các giá trị lớn hơn, ta dùng công thức:

$$Z_N^* = \begin{cases} 0 & (\text{dvtđ}) \text{ cho sự cố cực đại} \\ R_N & (\text{dvtđ}) \text{ cho sự cố cực tiểu} \\ Z_{cb} & \end{cases} \quad (5.49)$$

ở đây R_N là điện trở chạm phát sinh hồ quang tính theo (Ω).

Từ đây, ta tính được dòng sự cố là:

$$I_a^* = \frac{V_N^*}{Z_1^* + Z_N^*} = \frac{V_N^*}{Z_{S1}^* + Z_{T1}^* + Z_{L1}^* + Z_N^*}, dvtđ \quad (5.50)$$

Điện áp tương đương Thevenin V_N là giá trị điện áp trước sự cố tại điểm sự cố, thường không được biết chính xác và được chọn trong khoảng 1 và 1,1 với giá trị 1,05 là giá trị hợp lý. Góc pha của V_N thường được chọn là 0.

2- Ngắn mạch hai pha chạm đất

Theo sơ đồ thứ tự liên kết khi hai pha chạm đất như hình 5.15 với tổng trở thứ tự thuận và nghịch của các phần tử bằng nhau, ngoại trừ máy phát.

Tổng trở thứ tự không Z_{L0} của đường dây rất khó xác định chính xác đối với hệ thống có trung tính nối đất lặp lại, nhưng thường lớn hơn tổng trở thứ tự thuận Z_{L1} . Nếu chúng ta đặt:

$$Z_{L0} = k_0 Z_{L1} \quad (5.51)$$

Với k_0 phụ thuộc vào kích cỡ dây trung tính so với dây pha, tổng trở đất và dòng điện phân chia giữa dây trung tính và đất. Nếu đất dẫn điện hoàn toàn thì có thể cho $\dot{Z}_{L_0} = \dot{Z}_{L_1}$. Nếu đất dẫn điện kém thì k_0 phụ thuộc hoàn toàn tổng trở dây trung tính. Hầu hết các trường hợp sẽ rơi vào hai trường hợp trên, và như vậy k_0 phải được ước tính. Morrison ước tính giá trị k_0 vào khoảng 3,8 đến 4,2 với trung bình là 4. Khoảng giá trị có thể xảy ra của k_0 được cho ở bảng 5.7. Trong trường hợp không biết chính xác có thể chọn $k_0 = 4$.

Góc pha của \dot{Z}_{L_0} và \dot{Z}_{L_1} thường được cho là bằng nhau, mặc dù điều này không chính xác lắm.

Bảng 5.6: Giá trị k_0

Tình trạng dây trung tính và đất	k_0
1	Đất dẫn điện hoàn toàn
3,8 - 4,2	Tổng trở đất hữu hạn
4	Dây trung tính cùng cỡ dây pha
4,6	Dây trung tính một cỡ (nhỏ hơn dây pha)
4,9	Dây trung tính hai cỡ (nhỏ hơn dây pha)

Dùng (5.51) ta có thể tính tổng trở thứ không tổng cộng đến vị trí sự cố theo sơ đồ mạch thứ tự không của máy biến áp phụ thuộc vào tổ đấu dây (H.21).

Tổng trở chạm Z_N giữa các dây chạm và Z_G giữa pha chạm với đất được chọn tùy ý, hay dựa theo dữ kiện có được từ các loại ngắn mạch tiêu biểu. Đặt $Z_N = 0$ và Z_G tính theo (5.49).

3- Ngắn mạch hai pha không chạm đất

Sơ đồ liên kết nối mạng thứ tự cho ngắn mạch hai pha không chạm đất như hình 4.12. Giá trị tổng trở thứ tự thuận và nghịch và tổng trở chạm \dot{Z}_N tương tự như các dạng ngắn mạch khác.

4- Ngắn mạch một pha chạm đất

Sơ đồ kết nối các mạng thứ tự cho ở hình 4.8. Các tổng trở thứ tự như ở phần ngắn mạch hai pha chạm đất.

5- Tóm tắt các sự cố trên đường dây chính

Sử dụng các phương trình nhận được trong chương 2, 3, 4 đối với các kiểu sự cố, có thể xây dựng một bảng liệt kê các công thức tính sự cố trên đường dây chính. Ở đây, chúng ta chỉ quan tâm đến việc xác định giá trị dòng sự cố cực đại và cực tiểu, tức là các giá trị tương ứng với điều kiện nguồn phát cực đại và cực tiểu. Do giá trị dòng sự cố hai pha chạm đất luôn nằm giữa giá trị cực đại và giá trị cực tiểu nên có thể được bỏ qua không tính trong bảng. Bảng 5.7 tóm tắt các kết quả của sự cố ba pha, sự cố hai pha không chạm đất và sự cố một pha chạm đất. Thông thường, sự cố ba pha có giá trị rất lớn, tuy nhiên chạm đất một pha

với $Z_{S1} = Z_N = 0$ và $k_o = 1$ cũng có cùng biên độ với dòng chạm ba pha. Các trường hợp này thỉnh thoảng xảy ra.

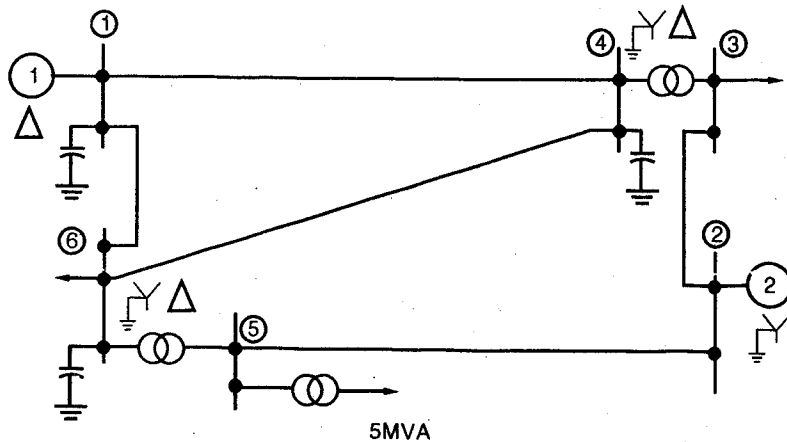
Bảng 5.7: Dòng sự cố trên đường dây phân phối hình tia

Sự cố	Công thức tính dòng ngắn mạch	Tổ đấu dây trạm nguồn (phía cao)
Ba pha	$I_a = \frac{V_N}{Z_{S1} + Z_{T1} + Z_{L1} + Z_N}$	Tam giác hay hình sao nối đất
Hai pha chạm nhau	$I_b = -I_c = \frac{-j\sqrt{3}V_N}{2(Z_{S1} + Z_{T1} + Z_{L1}) + Z_N}$	Tam giác hay hình sao nối đất
Một pha chạm đất	$I_a = 0$	Tam giác
Một pha chạm đất	$I_a = \frac{3V_N}{2Z_{S1} + Z_{S0} + 3Z_{T1} + (2 + k_o)Z_{L1} + 3Z_N}$	Sao nối đất.

Các công thức bảng trên được cho khi trung tính phía Y của máy biến áp trung gian được nối đất trực tiếp. Nếu trung tính phía Y của máy biến áp nối đất qua tổng trở Z_{gT} thì trong công thức tính dòng sự cố pha a chạm đất phải thêm vào mẫu số đại lượng Z_{gT} .

Nếu như trạm biến áp trung gian được cung cấp từ một hệ thống rất lớn, thì Z_{S1} sẽ nhỏ. Một giả thiết thông thường, khi không có dữ liệu hệ thống chính xác, thì đặt $Z_{S1} = 0$, nghĩa là tương ứng với hệ thống vô cùng lớn. Đây là giả thiết hợp lý nếu trạm biến áp trung gian nhỏ cho tổng trở Z_T rất lớn, bất chấp công suất hệ thống.

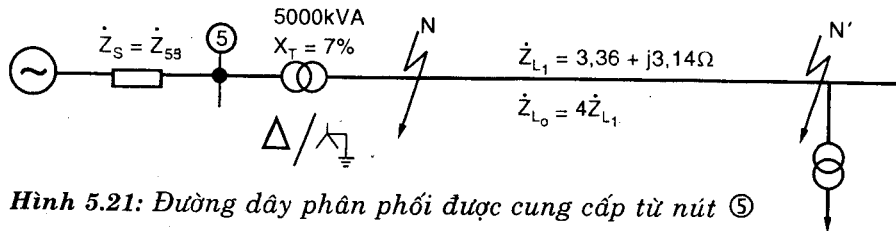
Ví dụ 5.2. Xét một mạng truyền tải có sáu nút, cung cấp cho tải tại các nút ③, ⑤ và ⑥ được biểu diễn trong hình 5.20.



Hình 5.20: Mạng truyền tải sáu nút

Giả sử rằng dựa vào ma trận tổng trở nút của mạng (các nút ③, ⑤, và ⑥ không tải), người ta xác định được tổng trở tương đương Thevenin thứ tự thuận và thứ tự nghịch khi nhìn từ nút ⑤ của mạng là $Z_{55_2} = Z_{55_1} = 0,16569 + j0,80649$ đvđ trên cơ bản 100 MVA (điện áp cơ bản bằng điện áp danh định).

Giả sử một hệ thống phân phối như hình 5.21 được cung cấp từ nút ⑤ của mạng truyền tải hình 5.20 trên qua một máy biến áp 5000 kVA (Δ/Y nối đất) có $X_T = 7\%$. Tìm các dòng ngắn mạch ba pha, hai pha không chạm đất, một pha chạm đất tại đầu đầu đường dây phân phối N' và tại đầu cuối đường dây N'' (trước máy biến áp phân phối). Biết rằng phía hệ thống phân phối có điện áp 7200V(pha)/12470V(dây), đấu Y, khoảng cách dây dẫn tương đương D_m là 127 cm. Giả sử đường dây chính là ba pha có thông số như trên hình 5.21.



Hình 5.21: Đường dây phân phối được cung cấp từ nút ⑤

Giải. Theo đề bài và dựa vào lý thuyết tính toán ngắn mạch mạng phân phối, để phục vụ cho việc tính toán ngắn mạch trong mạng phân phối, ta có thể tương đương mạng truyền tải thành một mạch nối tiếp gồm một sức điện động V_S nối tiếp một tổng trở Z_S và nối vào phía cao áp của máy biến áp trung gian của mạng phân phối. Ta được hình 5.21.

Trong hình, Z_S chính là tổng trở tương đương Thevenin nhìn từ nút ⑤ trong mạng truyền tải. Để tính toán các dòng ngắn mạch, phải xác định các tổng trở thứ tự của Z_S . Tuy nhiên, do máy biến áp trung gian có cuộn Δ phía nút ⑤ nên Z_{S_0} không có ý nghĩa trong sơ đồ thứ tự không khi tính toán dòng ngắn mạch phía hệ thống phân phối.

Chọn công suất cơ bản ba pha $S_{cb} = 5 \text{ MVA}$, các điện áp cơ bản bằng với điện áp danh định. Các thông số tính toán cần thiết trong hệ cơ bản vừa chọn:

$$Z_{cb} = \frac{V_{cb}^2}{S_{cb}} = \frac{(12,47)^2}{5 \cdot 10^6} = 31,1 (\Omega)$$

$$\dot{Z}_{S_1} = (0,16569 + j0,80649) \frac{5(\text{MVA})}{100(\text{MVA})} = 0,0083 + j0,0403 \text{ đvtd}$$

Tổng trở đường dây trong đơn vị tương đối:

$$\dot{Z}_{L_1}^* = \frac{3,36 + j3,134}{31,1} = 0,108 + j0,101 \text{ (đvtd)}$$

$$\dot{Z}_{L_0}^* = 4 \cdot \dot{Z}_{L_1}^* = 0,432 + j0,404 \text{ (đvtd)}$$

Giả sử tổng trở chạm trung gian $Z_N = 10 \Omega$

suy ra:
$$Z_N^* = \frac{10}{31,1} = 0,322 \text{ (đvtd)}$$

Tính dòng ngắn mạch:

$$\begin{aligned} \dot{i}_{Na}^{(3)} &= \frac{\dot{V}_N}{\dot{Z}_\Sigma} = \frac{\dot{V}_N}{\dot{Z}_{S_1} + \dot{Z}_{T_1} + \dot{Z}_{L_1} + \dot{Z}_N} = \\ &= \frac{1}{0,0083 + j0,0403 + j0,07 + 0,108 + j0,101 + 0,322} = 2,057 \angle -25,74^\circ \text{ đvtd} \end{aligned}$$

$$\dot{i}_{Nb}^{(2)} = \frac{-j\sqrt{3} \times \dot{V}_N}{2(\dot{Z}_{S_1} + \dot{Z}_{T_1} + \dot{Z}_{L_1}) + \dot{Z}_N} = -j \frac{\sqrt{3}}{2} \dot{i}_N^{(3)} = 2,486 \angle -127,30^\circ \text{ đvtd}$$

$$\dot{i}_{Na}^{(1)} = \frac{3\dot{V}_N}{2\dot{Z}_{S_1} + 3\dot{Z}_{T_1} + 6\dot{Z}_{L_1} + 3\dot{Z}_N} = 1,614 \angle -28,79^\circ \text{ đvtd}$$

Tính toán tương tự với các trường hợp $Z_N = 0$; $Z_N = 30 \Omega$ tại điểm ngắn mạch là đầu và cuối đường dây phân phối, kết quả dòng ngắn mạch trong đvtd được cho ở bảng 5.8.

Bảng 5.8: Kết quả dòng ngắn mạch của ví dụ 5.2

Dòng ngắn mạch	Vị trí ngắn mạch					
	Đầu đường dây phân phối			Cuối đường dây phân phối		
	$Z_N = 0$	$Z_N = 10 \Omega$	$Z_N = 30 \Omega$	$Z_N = 0$	$Z_N = 10 \Omega$	$Z_N = 30 \Omega$
N^3	$9,039 \angle -85,7^\circ$	$2,875 \angle -18,49^\circ$	$1,021 \angle -6,47^\circ$	$4,149 \angle -61,14^\circ$	$2,057 \angle -25,74^\circ$	$0,908 \angle -11,05^\circ$
N^2	$7,829 \angle -175,7^\circ$	$4,29 \angle -123,13^\circ$	$1,722 \angle -102,67^\circ$	$3,593 \angle -151,14^\circ$	$2,486 \angle -127,30^\circ$	$1,364 \angle -109,42^\circ$
N^1	$10,305 \angle -86,74^\circ$	$2,932 \angle -16,5^\circ$	$1,026 \angle -5,7^\circ$	$2,69 \angle -53,4^\circ$	$1,614 \angle -28,97^\circ$	$0,818 \angle -14,12^\circ$

Từ bảng 5.8 nhận xét rằng khi điểm ngắn mạch gần đầu đường dây phân phối, điện trở chạm đất trung gian $Z_N = 0$ thì biên độ dòng một pha chạm đất lớn hơn dòng ngắn mạch ba pha. Đối với điểm ngắn mạch cuối đường dây phân phối, dòng ngắn mạch nhỏ nhất phụ thuộc vào giá trị tương đối giữa Z_S , Z_L , Z_N .

Khi ngắn mạch phần đầu đường dây, dòng ngắn mạch hai pha có giá trị nhỏ nhất và khi $Z_N = 0$ thì giá trị này bằng $\sqrt{3}/2$ dòng ngắn mạch ba pha.

Với ví dụ trên chúng ta tìm được dòng ngắn mạch nhỏ nhất và lớn nhất tại đầu và cuối đường dây:

$$\text{Từ } I_{cb} = \frac{S_{cb}}{V_{cb}} = \frac{5 \times 10^6 / 3}{12470 / \sqrt{3}} = 231,5 \text{ A}$$

Dòng ngắn mạch cực đại:

$$\text{Tại đầu đường dây: } I = 2386 \text{ A } (N^1)$$

$$\text{Tại cuối đường dây: } I = 960 \text{ A } (N^3)$$

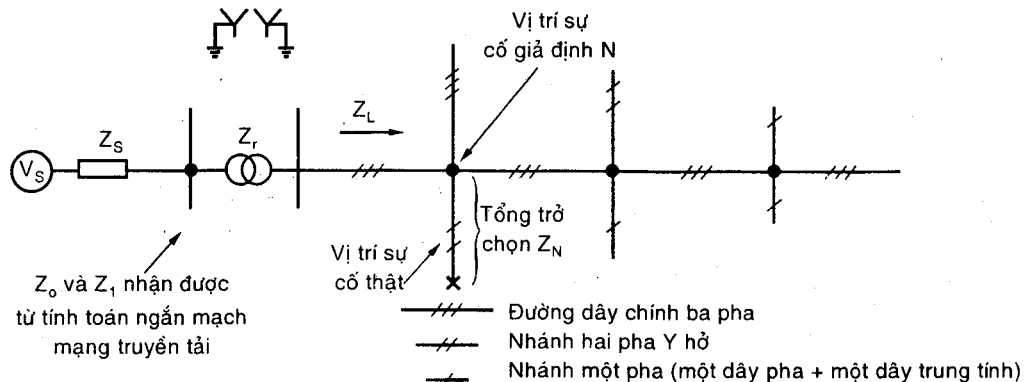
Dòng ngắn mạch cực tiểu:

$$\text{Tại đầu đường dây: } I = 236 \text{ A } (N^3)$$

$$\text{Tại cuối đường dây: } I = 189 \text{ A } (N^1)$$

5.2.3 Sự cố trên nhánh rẽ

Sự cố trên dây nhánh rẽ (một pha, hai pha) có thể dễ dàng được tính toán bằng cách coi nhánh bị sự cố như một phần của tổng trở chạm Z_N hay Z_G với vị trí sự cố N nằm trên đường dây chính tại đầu nhánh rẽ. Khái niệm này được minh họa bởi hình 5.22, trong đó tổng trở chạm giống như tổng trở nhánh rẽ đường dây. Do nhánh rẽ đường dây thường là một pha hay hai pha (Y hở) nên sự cố trên nhánh rẽ là sự cố không cân bằng một pha chạm đất hay ngắn mạch hai pha.

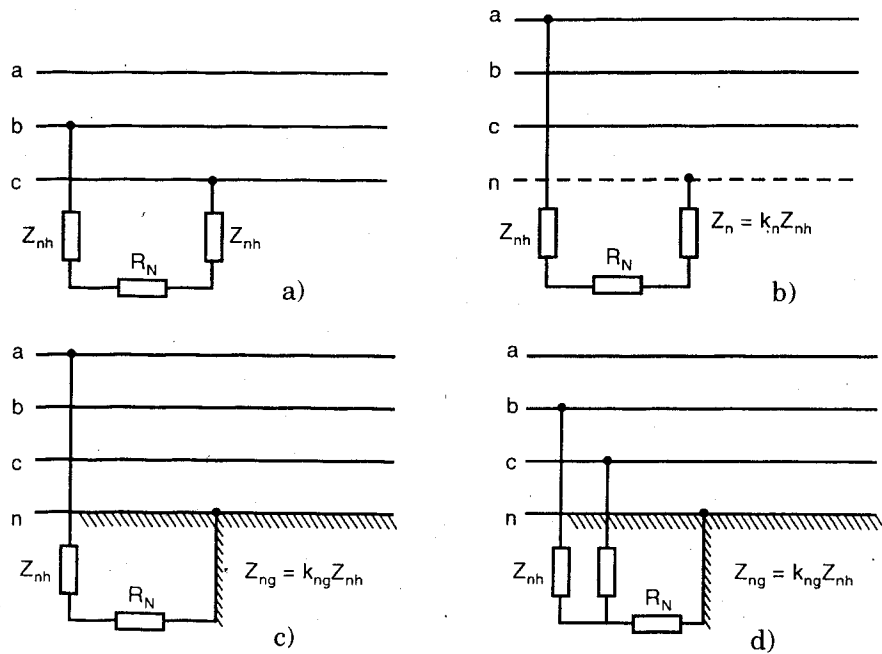


Hình 5.22: Sự cố trên nhánh rẽ

Ký hiệu các giá trị tổng trở chạm cho nhánh rẽ có sự cố không cân bằng đã được giải thích như trên hình 5.23. Ở đây 4 kiểu sự cố không cân bằng được mô tả và mỗi kiểu tương tự như sự cố hai pha không chạm đất, một pha chạm đất hay hai pha chạm đất. Đối với nhánh rẽ một pha trong hệ thống không nối đất, chỉ có thể xảy ra sự cố hai pha chạm nhau như trên hình 5.23a. Một hệ thống nối đất tại một điểm có thể có ngắn mạch một pha-trung tính; trong trường hợp này Z_N phụ thuộc vào kích cỡ dây trung tính bằng với dây pha hay nhỏ hơn. Các giá trị đối với trường hợp nhỏ hơn là giá trị trung bình.

Đối với nhánh rẽ có trung tính nối đất lặp lại, tổng trở chạm phụ thuộc vào tổng trở đất. Đối với nhánh rẽ một pha, chỉ có thể xảy ra ngắn mạch một pha chạm đất (H.5.23c), trong trường hợp này tổng trở chạm tính theo Z_o và phụ thuộc vào k_o , như bảng 5.7. Nếu nhánh rẽ là hệ thống hai pha sao hở thì có thêm sự cố hai pha chạm đất với $Z_N = Z_{L_1}$ của nhánh và Z_G là tổng trở dây trung tính - đất (H.5.23d).

Do chỉ có giá trị dòng sự cố cực đại và cực tiểu được yêu cầu, nên chỉ tính đối với sự cố một pha chạm đất và hai pha không chạm đất trên các nhánh. Một điện trở chạm (hồ quang) R_N thích hợp cũng có thể được đưa vào như là một phần của Z_N hay Z_G khi tính toán dòng sự cố cực tiểu. Do không xác định được một cách rõ ràng sự cố nào có dòng ngắn mạch bé hơn, nên cả hai sự cố trên đều phải được kiểm tra với điều kiện có và không có R_N .



Hình 5.23: Sự cố không đối xứng ở nhánh rẽ

- a) Sự cố hai pha không chạm đất (hệ thống không nối đất)
 b) Ngắn mạch một pha chạm đất (hệ thống nối đất một điểm)
 c) Ngắn mạch một pha chạm đất (hệ thống nối đất lặp lại)
 d) Ngắn mạch hai pha chạm đất (hệ thống nối đất lặp lại)

Theo hình 5.23, ta có các giá trị Z_N tương ứng như sau:

a) Ngắn mạch hai pha không chạm đất:

$$Z_N = R_N + 2Z_{nh}$$

b) Ngắn mạch một pha chạm đất (trong hệ thống nối đất một điểm):

$$Z_N = R_N + (1 + k_n)Z_{nh}$$

với

$$k_n = \begin{cases} 1 & \text{Dây trung tính cùng cỡ dây pha} \\ 1,3 & \text{Dây trung tính một cỡ} \\ 1,6 & \text{Dây trung tính hai cỡ} \end{cases}$$

c) Ngắn mạch một pha chạm đất (trong hệ thống nối đất lặp lại):

$$Z_N = R_N + (1 + k_{ng})Z_{nh}$$

với $(1 + k_{ng}) = k_o/3$

d) Ngắn mạch hai pha chạm đất (trong hệ thống nối đất lặp lại):

$$Z_N = Z_{nh}; \quad Z_G = R_N + k_{ng}Z_{nh} = R_N + \left(\frac{k_o}{3} - 1\right)Z_{nh}$$

Ví dụ 5.3. Tính dòng ngắn mạch ở cuối nhánh rẽ một pha của đường dây phân phối ví dụ 5.2 và được vẽ lại ở hình 5.22. Cho biết tổng trở của nhánh rẽ là $Z_{nh} = 4,005 + j2,58 (\Omega)$, tổng trở chạm 30Ω , $k_o = 4$.

Giải. Theo cơ bản $S_{cb} = 5\text{MVA}$; $U_{cb} = 12,4\text{kV}$, tổng trở nhánh trong *đvtd* là:

$$Z_{nh}^* = 0,129 + j0,083 \text{ đvtd}$$

Công thức tính tổng trở thứ tự từ điểm ngắn mạch giả định là:

$$Z_1 = Z_2 = Z_S + Z_T + Z_L; \quad Z_0 = Z_T + Z_{L_0}$$

Khi chạm đất một điểm:

Áp dụng sơ đồ mạng liên kết thứ tự:

$$\begin{aligned} Z_{012} &= Z_1 + Z_2 + Z_0 = 2Z_S + 3Z_T + (2 + k_0)Z_L \\ &= 2(0,1163 + j0,2113) + (0,432 + j0,403) = 0,6648 + j0,8953 \text{ (đvtd)} \end{aligned}$$

Tổng trở chạm trung gian giả định được tính theo:

$$Z_N = R_N + \frac{k_0 Z_{nh}}{3}$$

với: $R_N = 0$: $Z_N = 0,1717 + j0,1107 \text{ (đvtd)}$

$R_N = 30 \Omega$: $Z_N = 1,1363 + j0,1107 \text{ (đvtd)}$

Tìm tổng trở tương đương:

$$Z_\Sigma = Z_{012} + 3Z_N$$

với $R_N = 0$: $Z_N = 1,1799 + j1,2275 \text{ (đvtd)}$

$R_N = 30 \Omega$: $Z_\Sigma = 4,0738 + j1,2275 \text{ (đvtd)}$

Tìm được: $I_a = \frac{V_N}{Z_\Sigma}$

$$I_a = 0,5873 \text{ đvtd} = 135,97 \text{ A khi } R_N = 0$$

$$I_a = 0,2300 \text{ đvtd} = 54,41 \text{ A} \quad R_N = 30 \Omega.$$

5.3 TÍNH TOÁN NGẮN MẠCH TRONG MẠNG HẠ THẾ

Việc tính toán dòng ngắn mạch trong mạng hạ thế thường đơn giản hơn trong mạng cao thế. Các giả thiết phù hợp được dùng khi tính toán dòng sự cố. Một giả thiết quan trọng là sự cố ngắn mạch trực tiếp qua một tổng trở chạm bằng 0. Giả thiết này đơn giản hoá việc xử lý tính toán và cũng tạo nên một hệ số an toàn bởi vì giá trị tính toán sẽ tương ứng với trường hợp xấu nhất có thể xảy ra. Ngoài ra, sự cố ngắn mạch ba pha đối xứng thường được cho là kiểu sự cố gây ra dòng ngắn mạch lớn nhất. Dòng ngắn mạch thực sự thường bé hơn giá trị tính toán dòng ngắn mạch ba pha vì tổng trở chạm luôn lớn hơn không. Dòng ngắn mạch hai pha không chạm đất vào khoảng 87% dòng ngắn mạch ba pha, trong khi dòng ngắn mạch một pha chạm trung tính cũng bé hơn dòng ngắn mạch ba pha. Với một hệ thống nối đất trực tiếp, dòng ngắn mạch một pha chạm đất có thể đạt từ 60÷125% giá trị dòng ngắn mạch ba pha, tùy thuộc vào cấu trúc của mạch trung tính-đất. Tuy nhiên, ít xảy ra tình trạng dòng ngắn mạch một pha chạm đất lớn hơn dòng ngắn mạch ba pha trong các hệ thống công nghiệp và

thương mại.

Việc tính toán dòng ngắn mạch tại các vị trí khác nhau trong một mạng hạ thế phục vụ cho mục đích lựa chọn MCCBs, MCBs, cầu chì, thanh cái và cáp. Tất cả các phần tử trên phải chịu đựng được nhiệt độ và từ trường cưỡng bức gây bởi dòng ngắn mạch lớn nhất có thể. Hơn thế nữa, máy cắt và cầu chì phải cắt một cách an toàn dòng sự cố lớn nhất này.

1- Nguồn gây nên dòng sự cố

Nguồn chính gây nên dòng sự cố là hệ thống nguồn cung cấp công cộng từ các máy biến áp phân phối, các máy phát tại chỗ, động cơ đồng bộ và động cơ cảm ứng. Tất cả máy phát vận hành trong hệ thống nguồn tham gia phát dòng sự cố trong một hệ thống hạ thế. Tuy nhiên, đường dây truyền tải và đường dây phân phối đã hình thành một tổng trở giữa các máy phát nguồn công cộng và hệ thống hạ thế. Kết quả là, sự tham gia của các máy phát này đối với dòng ngắn mạch trong mạch hạ thế bị suy giảm đáng kể. Do đó, hệ thống nguồn công cộng vẫn là nguồn chính phát sinh dòng ngắn mạch. Hệ thống nguồn công cộng được biểu diễn bởi cấp ngắn mạch hay công suất ngắn mạch tại đầu vào mạng hạ thế. Giá trị tiêu biểu của công suất ngắn mạch tại $22kV$ trong khoảng $300\div 1000MVA$, và đối với $6,6kV$ thì khoảng $180\div 200MVA$. Tại $400V$, công suất ngắn mạch khoảng từ $15\div 25MVA$.

Để tính toán dòng sự cố gây bởi các máy phát tại chỗ trong hệ thống hạ thế, khi thiết bị bảo vệ như MCBs, MCCBs hay cầu chì sử dụng để ngắt dòng trong vài chu kỳ đầu của dòng điện ngắn mạch thì X_d'' của máy phát sẽ được dùng trong mô hình máy phát. Giá trị X_d'' vào khoảng $10\div 15\%$ trên định mức kVA máy phát.

Dòng sự cố phát ra từ động cơ cảm ứng được sinh ra bởi quán tính trục động cơ trong từ trường kích từ gây bởi sự cảm ứng từ stato. Do từ trường này suy giảm theo sự sụt giảm điện áp, dòng điện ngắn mạch từ một động cơ cảm ứng sẽ giảm và biến mất sau vài chu kỳ, do đó, trong tính toán ngắn mạch, động cơ cảm ứng được biểu diễn bởi chỉ một kháng trở siêu quá độ X_d'' . Giá trị đặc trưng của X_d'' là 25% trên định mức động cơ.

2- Tính toán ngắn mạch trong mạng hạ thế

Điện trở trong mạng hạ thế phải được tính đến. Khi thành lập sơ đồ tương đương để tính toán sự cố, có thể lập sơ đồ tương đương tổng trở hay thành lập riêng hai sơ đồ kháng trở và điện trở. Sau đó, tổng trở tương đương sẽ được tính từ hai giá trị kháng trở tương đương và điện trở tương đương. Khi tính toán chạm một pha trung tính lưu ý đến tổng trở đường dây về của dây trung tính.

Tính toán ngắn mạch trong mạng hạ thế, có thể thực hiện theo các bước sau:

- Lựa chọn cơ bản
- Tính toán tổng trở tương đương nhìn từ thanh cái cung cấp hạ thế về hệ thống.

$$Z_S^* = \frac{S_{cb}}{S_{NM}} \tag{5.52}$$

- Tính toán tổng trở pha tương đương từ chỗ ngắn mạch về thanh cái cung cấp hạ thế hay tủ điện hạ thế: $Z_\Sigma = R_\Sigma + jX_\Sigma$

- Tính toán tổng trở dây trung tính: $Z_{g\Sigma} = R_{g\Sigma} + jX_{g\Sigma}$

- Tính giá trị dòng ngắn mạch:

1- Khi dòng ngắn mạch chỉ được cung cấp từ thanh cái hạ thế (không có động cơ và các máy điện tại chỗ), việc tính toán ngắn mạch được thực hiện khá đơn giản, ta có các công thức tính dòng ngắn mạch sau:

Ngắn mạch ba pha đối xứng:

$$I_N^{(3)} = \frac{V_{dây} / \sqrt{3}}{\sqrt{(R_S + R_\Sigma)^2 + (X_S + X_\Sigma)^2}} \tag{5.53}$$

hay trong *dvtd*
$$I_N^{*(3)} = \frac{1}{\sqrt{(R_S^* + R_\Sigma^*)^2 + (X_S^* + X_\Sigma^*)^2}} \tag{5.54}$$

Ngắn mạch một pha chạm đất: lưu ý đến tổng trở của dây trung tính về R_g .

$$I_N^{(1)} = \frac{V_{dây} / \sqrt{3}}{\sqrt{(R_S + R_\Sigma + R_g)^2 + (X_S + X_\Sigma + X_g)^2}} \tag{5.55}$$

hay
$$I_N^{(1)} = \frac{1}{\sqrt{(R_S^* + R_\Sigma^* + R_g^*)^2 + (X_S^* + X_\Sigma^* + X_g^*)^2}} \tag{5.56}$$

Ngắn mạch hai pha:

Bỏ qua ảnh hưởng của pha không hư hỏng, có thể tính dòng sự cố như sau:

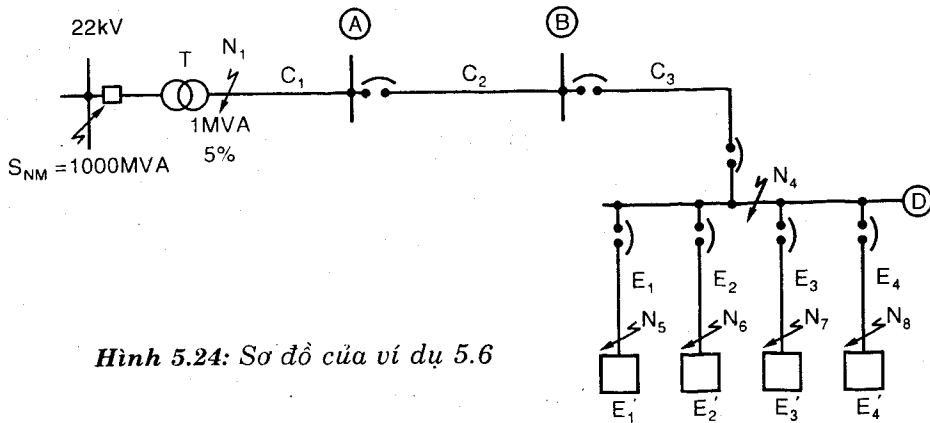
$$I_N^{(2)} = \frac{\dot{V}_{dây}}{\sqrt{(2R_S + 2R_\Sigma)^2 + (2X_S + 2X_\Sigma)^2}} \tag{5.57}$$

Có thể thấy rằng các công thức tính dòng ngắn mạch trên phù hợp với các công thức tính toán dòng ngắn mạch đã trình bày trong các chương trước, nếu ta hiểu tổng trở thứ tự không bao gồm tổng trở pha và 3 lần tổng trở dây trung tính. Nếu tổ đấu dây MBA phân phối là Δ/Y nối đất, dòng chạm đất một pha (dòng thứ tự không) chỉ chảy trở về trung tính máy biến áp phía hạ thế (không có sự tham gia của tổng trở thứ tự không nguồn công cộng).

2- Khi dòng ngắn mạch gây bởi hệ thống nguồn, máy phát tại chỗ và động cơ cảm ứng, lúc này sơ đồ tương đương mạng không đơn giản là sơ đồ hình tia như trường hợp trên nữa. Ta phải tính tổng trở tương đương Thevenin nhìn vào chỗ sự cố sau khi đã thay thế các nguồn gây ra dòng ngắn mạch bởi sức điện động nối tiếp kháng trở siêu quá độ hay tổng trở ngắn mạch thanh cái hạ thế. Trong trường hợp sơ đồ phức tạp, có thể giải bài toán ngắn mạch bằng ma trận tổng trở nút như đã trình bày ở các chương trước.

Ví dụ 5.6. Cho hệ thống hạ thế như hình 5.24 và số liệu ở bảng 5.9 dưới đây.

Coi góc tổng trở của các đoạn dây gần bằng nhau. Giá trị tổng trở cho trên mỗi đoạn dây là giá trị biên độ trên mỗi pha. Mạch dẫn đến các tủ điện E từ tủ điện D là mạch một pha (cỡ dây pha như dây trung tính).



Hình 5.24: Sơ đồ của ví dụ 5.6

Bảng 5.9: Số liệu của ví dụ 5.6

Đoạn cáp	Cỡ cáp (mm ²)	Chiều dài cáp (m)	Tổng trở (Ω)
Dây pha C ₁	2x500	10	0,0004625
Dây trung tính C ₂	1x500	10	0,000925
Pha và dây trung tính C ₂	1x300	28	0,00308
Pha và dây trung tính C ₃	1x120	2	0,0041
E ₁	1x35	8	0,0052
E ₂	1x35	14	0,0091
E ₃	1x35	21	0,01365
E ₄	1x35	31	0,02015

Tính dòng ngắn mạch ba pha tại đầu cực hạ áp máy biến áp và trước tủ điện chính A. Tính dòng ngắn mạch một pha tại trước các tủ điện phụ E₁, E₂, E₃, E₄.

Giải. Chọn công suất cơ bản: $S_{3p} = 1 \text{ MVA}$

Chọn điện áp dây cơ bản (bằng điện áp định mức hệ thống):

Phía sơ cấp máy biến áp: $V_{cb} = 22 \text{ kV}$

Phía thứ cấp máy biến áp: $V_{cb} = 0,4 \text{ kV}$

Dòng điện cơ bản phía 400 V:

$$I_{cb} = \frac{1}{\sqrt{3} \times 0,4} = 1443 \text{ A}$$

Tổng trở cơ bản phía 400 V:

$$Z_{cb} = \frac{0,4^2}{1} = 0,16 \Omega$$

Tính tổng trở các phần tử trong đơn vị tương đối:

Hệ thống nguồn:

$$Z_U^* = \frac{S_{cb}}{S_{NM}} = \frac{1}{1000} = 0,001 \text{ đvtd}$$

MBA: $Z_{TBA}^* = 5\% = 0,05 \text{ đvtd}$

Đoạn cáp C₁: $Z_{C1}^* = \frac{Z_{C1}}{Z_{cb}} = \frac{0,0004625}{0,16} = 0,002891 \text{ đvtd}$

$$Z_{gC1}^* = 2Z_{C1}^* = 0,005782 \text{ đvtd}$$

Đoạn cáp C₂: $Z_{C2}^* = \frac{Z_{C2}}{Z_{cb}} = \frac{0,00308}{0,16} = 0,01925 \text{ đvtd}$

$$Z_{gC2}^* = Z_{C2}^* = 0,01925 \text{ đvtd}$$

Đoạn cáp C₃: $Z_{C3}^* = \frac{Z_{C3}}{Z_{cb}} = \frac{0,00041}{0,16} = 0,0025625 \text{ đvtd}$

$$Z_{gC3}^* = Z_{C3}^* = 0,0025625 \text{ đvtd}$$

Các đoạn cáp một pha

Tổng trở pha đến các điểm tải:

$$Z_{E1}^* = \frac{Z_{E1}}{Z_{cb}} = \frac{0,0052}{0,16} = 0,0325 \text{ đvtd}$$

$$Z_{E2}^* = \frac{Z_{E2}}{Z_{cb}} = \frac{0,0091}{0,16} = 0,056875 \text{ đvtd}$$

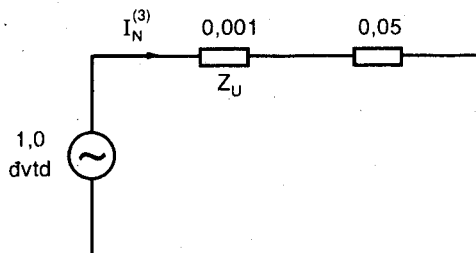
$$Z_{E3}^* = \frac{Z_{E3}}{Z_{cb}} = \frac{0,01356}{0,16} = 0,08476 \text{ đvtd}$$

$$Z_{E4}^* = \frac{Z_{E4}}{Z_{cb}} = \frac{0,02015}{0,16} = 0,126 \text{ đvtd}$$

Ngắn mạch ba pha

Tại đầu cực hạ áp máy biến áp (điểm N₁):

Sơ đồ tương đương cho ở hình 5.25:



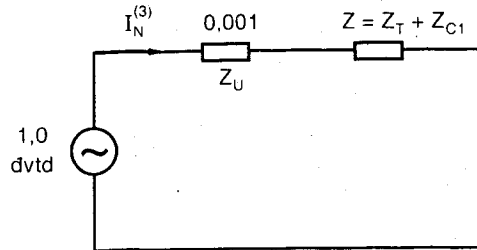
Hình 5.25: Sơ đồ tương đương một pha khi ngắn mạch tại đầu cực MBA

$$I_N^{*(3)} = \frac{1}{Z_S^* + Z_1^*} = \frac{1}{0,051} = 19,61 \text{ đvtd}$$

$$I_N = 1443 \times 19,61 = 28297 \text{ A}$$

Tại trước tủ điện chính A (điểm N_2):

Sơ đồ tương đương cho ở hình 5.26.



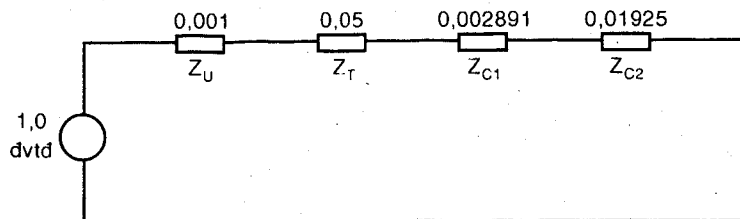
Hình 5.26: Sơ đồ tương đương một pha khi ngắn mạch tại trước tủ điện chính

$$I_N^{*(3)} = \frac{1}{Z_S^* + Z_1^*} = \frac{1}{0,001 + 0,05 + 0,002891} = 18,556 \text{ đvtd}$$

$$I_N = 1443 \times 18,556 = 26776 \text{ A}$$

Tại tủ điện B (N_3):

Sơ đồ tương đương cho ở hình 5.27.



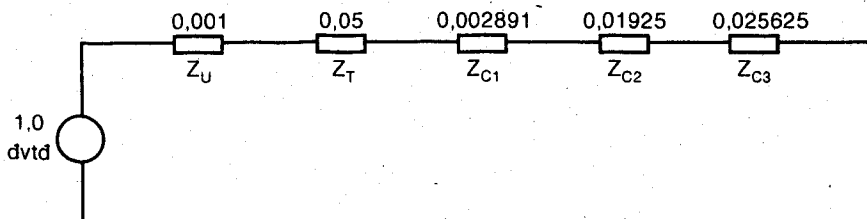
Hình 5.27: Sơ đồ tương đương khi ngắn mạch tại N_3

$$I_N^* = \frac{1}{0,001 + 0,05 + 0,002891 + 0,01925} = 13,6724 \text{ đvtd}$$

$$I_N = 1443 \times 13,6724 = 19\ 729 \text{ A}$$

Tại tủ điện D (N_4):

Sơ đồ tương đương cho ở hình 5.28.



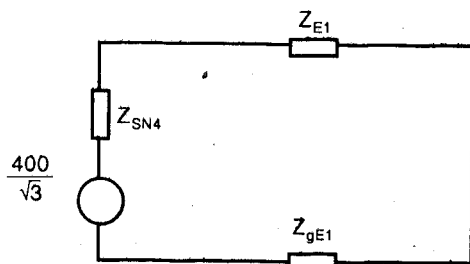
Hình 5.28: Sơ đồ tương đương khi ngắn mạch tại N_4

$$I_N^* = \frac{1}{0,001 + 0,05 + 0,002891 + 0,01925 + 0,025625} = 13,21 \text{ đvtd}$$

$$I_N = 1443 \times 13,21 = 19\,062 \text{ A}$$

Tính ngắn mạch chạm pha trung tính tại các điểm tải E_1, E_2, E_3, E_4 .

Để tính dòng chạm dây pha với dây trung tính ở tại các điểm N_5, N_6, N_7, N_8 , chúng ta cần biết tổng trở nguồn tương đương nhìn từ tử D và tổng trở dây về trung tính. Mạch tương đương tính toán cho ở hình 5.29.



Hình 5.29: Sơ đồ tương đương tính toán khi một pha chạm trung tính

Ta tìm được tổng trở tương đương nguồn nhìn từ tử D:

$$Z_{td} = \frac{V_p}{I_{N4}} = \frac{400/\sqrt{3}}{19.062} = 0,01212\Omega$$

Dòng điện ngắn mạch tại các điểm tải:

$$I_{N5} = \frac{231}{0,01212 + 0,0052 + 0,0052} = 10.258 \text{ A}$$

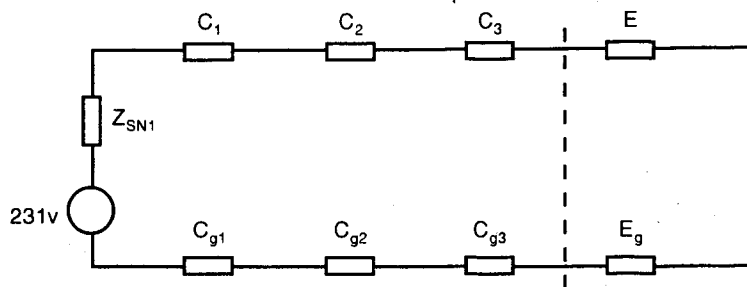
$$I_{N6} = \frac{231}{0,01212 + 0,0091 + 0,0091} = 7619 \text{ A}$$

$$I_{N7} = \frac{231}{0,01212 + 0,01365 + 0,01365} = 5860 \text{ A}$$

$$I_{N8} = \frac{231}{0,01212 + 0,0205 + 0,0205} = 4407 \text{ A}$$

Theo cách tính vừa rồi, chúng ta tính dòng ngắn mạch ba pha tới đầu tử D và sau đó tính chạm một pha tại đầu mỗi tải E . Cách khác, chúng ta tính chính xác hơn khi dựa vào tương đương chạm một pha từ phía hạ máy biến áp phân phối (điểm N_1), vì lúc đó đã kể thêm ảnh hưởng của tổng trở đường về các đoạn C_1, C_2, C_3 khi chạm một pha trung tính tại các điểm N_5, N_6, N_7, N_8 .

Sơ đồ tương đương tính toán theo cách này cho ở hình 5.30.



Hình 5.30: Mạch tương đương khi một pha chạm trung tính

Trong sơ đồ với:

$$Z_{SN1} = \frac{V_p}{I_{N1}} = \frac{400/\sqrt{3}}{28,297} = 0,00817\Omega$$

Tổng tổng trở các cáp C_1, C_2, C_3 đường đi và về:

$$Z_{\Sigma} = 0,0004625 + 0,000925 + 2(0,00308 + 0,00041) = 0,008368 \Omega$$

Như vậy dòng sự cố trên từng nhánh tải được tính theo:

$$\begin{aligned} I_{N_E} &= \frac{231}{Z_{UN1} + Z_{\Sigma} + 2Z_E} \\ &= \frac{231}{0,008170 + 0,008368 + 2Z_E} = \frac{231}{0,016538 + 2Z_E} \end{aligned}$$

$$\text{Kết quả tính: } I_{N_5} = \frac{231}{0,016538 + 2 \times 0,0052} = 8575A$$

$$I_{N_6} = 6649A$$

$$I_{N_7} = 5269A$$

$$I_{N_8} = 4064A$$

PHẦN 2

ỔN ĐỊNH TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN



KHÁI NIỆM CHUNG

6.1 KHÁI NIỆM, GIẢ THIẾT, MỤC TIÊU

Hệ thống điện (HTĐ) là tập hợp các phần tử phát, dẫn, phân phối có mối quan hệ tương tác lẫn nhau rất phức tạp, tồn tại vô số các nhiễu tác động lên hệ thống. Hệ thống phải đảm bảo được tính ổn định khi có tác động của những nhiễu này.

Ổn định hệ thống điện là khả năng trở lại vận hành bình thường hoặc ổn định sau khi chịu tác động nhiễu. Đây là điều kiện thiết yếu để hệ thống có thể tồn tại và vận hành. Như ở chế độ xác lập chẳng hạn, để tồn tại cần phải có sự cân bằng công suất trong hệ (khi đó các thông số của hệ mới giữ không đổi) và đồng thời phải duy trì được độ lệch nhỏ của các thông số dưới những kích động ngẫu nhiên nhỏ (làm các thông số này lệch khỏi các giá trị tại điểm cân bằng). Hoặc do tác động của những thao tác đóng cắt, hệ thống điện cần phải chuyển từ chế độ xác lập này sang chế độ xác lập mới.

Hậu quả của mất ổn định

Khi hệ thống mất ổn định có thể phải cắt hàng loạt các tổ máy, các phụ tải, có thể làm tan rã hệ thống và gây thiệt hại nghiêm trọng cho nền kinh tế. Do đó cần nghiên cứu ổn định trong khi thiết kế và vận hành hệ thống nhằm đảm bảo:

- Ổn định trong mọi tình huống vận hành bình thường và sau sự cố
- Có thể vận hành bình thường trong mọi tình huống thao tác vận hành và kích động của sự cố.

Giả thiết đặt ra khi nghiên cứu ổn định

Để nghiên cứu quá trình quá độ cần thiết lập các mô hình toán. Trong khuôn khổ của sách này chỉ nghiên cứu các mô hình toán được xây dựng trên một số giả thiết như sau:

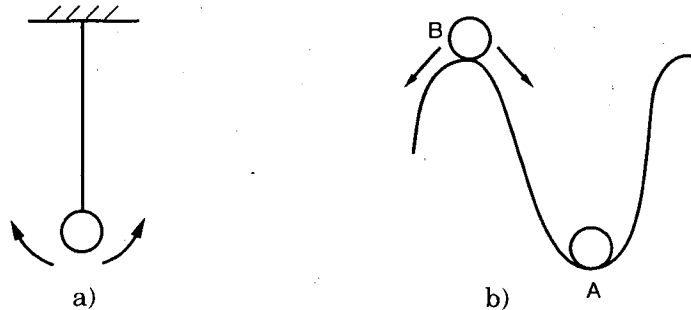
- Bỏ qua tác dụng của điện trở đường dây và máy phát (thực ra R có tác dụng cản dương lên dao động rôto)

- Có thể bỏ qua tác dụng của cuộn cảm
- Tốc độ của rôto thay đổi không đáng kể, nên mọi thông số cấu trúc lưới điện được coi là không đổi
- E'_q được coi là không đổi (bỏ qua ảnh hưởng của TĐK)
- Tải được mô hình hóa như một tổng trở cố định
- Công suất cơ được coi là không đổi.

6.1.1 Ổn định động và tĩnh

Ổn định tĩnh là khả năng của hệ thống sau những kích động nhỏ (nhiều nhỏ) phục hồi được chế độ ban đầu.

Nếu liên tưởng đến ổn định của hai hệ sau ta có thể hiểu thêm về khái niệm ổn định tĩnh. Ở hệ 1 (H.6.1a) vị trí cân bằng của con lắc là ổn định



Hình 6.1: Minh họa ổn định của hai hệ cơ học

Giả sử nếu như có những nhiễu nhỏ (thường xuyên hiện hữu trong không gian) thì con lắc sẽ dao động, tuy nhiên do lực cản không khí, dao động tắt dần và con lắc sẽ trở về vị trí ban đầu.

Tương tự như vậy, vị trí A của hệ 2 (H.6.1b) sẽ ổn định. Tuy nhiên vị trí B là vị trí giả sử cân bằng nhưng không ổn định. Lý do là chỉ cần nhiễu nhỏ (gió nhẹ) thì hòn bi sẽ rời khỏi điểm B.

Hệ thống điện, như trên đã nói, ở chế độ xác lập khi có điều kiện cân bằng công suất sẽ có các thông số không thay đổi hoặc chỉ biến thiên nhỏ xung quanh các giá trị ban đầu. Tuy nhiên, trong hệ thống khi vận hành có rất nhiều tác động nhỏ, ngẫu nhiên, ví dụ như sự thay đổi của công suất phụ tải. Hệ thống khi ấy vẫn phải duy trì được độ lệch nhỏ hoặc trở về các trị ban đầu của các thông số chế độ. Tính chất này chính là tính ổn định tĩnh của hệ.

Ổn định động của hệ thống: là khả năng của hệ phục hồi được trạng thái ban đầu hoặc gần với trạng thái ban đầu sau những kích động lớn (nhiều lớn).

Như trên đã nói nếu có thể chuyển được sang chế độ xác lập mới thì hệ sẽ có tính ổn định động. Các kích động lớn ở đây có thể được hiểu như:

- Ngắn mạch trên các phần tử của lưới điện
- Đóng cắt các phần tử lưới điện.

- Tăng giảm tải đột ngột.

Giả sử như có một máy phát điện đang phát công suất P_o nay do nhu cầu cần phải tăng ngay công suất lên P_1 . Ở thời điểm này sẽ có sự tăng đột ngột công suất cơ $\Delta P = P_1 - P_o$ nên máy phát quay nhanh lên. Nếu sự tăng tải này đảm bảo cho máy phát theo thời gian hãm tốc lại và trở về vị trí cân bằng ổn định mới thì ta nói hệ có tính ổn định động. Ngược lại, nếu máy phát liên tục tăng tốc, nó sẽ rời khỏi đồng bộ và bắt buộc phải được cắt ra khỏi lưới, khi ấy hệ mất ổn định động.

6.1.2 Phương trình chuyển động rôto

Chuyển động quay tương đối rôto của máy phát điện đồng bộ (bỏ qua ảnh hưởng của momen cản) được viết:

$$\frac{Jd\Omega}{dt} = M_T - M \quad (6.1)$$

với: J - momen quán tính của máy phát, $kg.m^2$

M_T, M - momen quay của tuabin và máy phát

Ω - vận tốc góc rôto (cơ), rad/s ; t - thời gian, s .

Hằng số quán tính H (s hoặc $MW.s/MVA$) được định nghĩa là động năng ($MW.s$) tích lũy trong rôto khi tốc độ quay đạt trị số định mức tính trong lượng công suất cơ bản:

$$H = \frac{J\Omega_o^2}{2S_{cb}}; \quad (\Omega_o - \text{vận tốc đồng bộ}) \quad (6.2)$$

Phương trình trên trở thành:

$$\frac{2H}{\Omega_o^2} S_{cb} \frac{d\Omega}{dt} = M_T - M \quad (6.3)$$

Hằng số thời gian quán tính T_J là $J\Omega_o^2/S_{cb}$ nên $T_J = 2H$. Khi đó phương trình được viết lại là:

$$\frac{T_J}{\Omega_o^2} S_{cb} \frac{d\Omega}{dt} = M_T - M \quad (6.4)$$

Biến đổi phương trình:

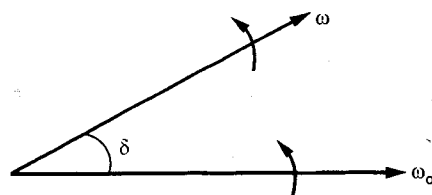
$$\frac{T_J}{\Omega_o} \frac{d\Omega}{dt} = \frac{M_T - M}{S_{cb}/\Omega_o} \quad (6.5)$$

Lưu ý là $M_{cb} = S_{cb}/\Omega_o$ và biểu diễn momen trong hệ đơn vị tương đối cho ra:

$$\frac{T_J}{\Omega_o/m_p} \frac{d(\Omega/m_p)}{dt} = \frac{T_J}{\omega_o} \frac{d\omega}{dt} = M_T - M \quad (6.6)$$

ở đây: ω - vận tốc góc, rad điện/s; m_p - số cặp cực.

Góc lệch (điện) tương đối giữa một trục đồng bộ quay với tốc độ không đổi ω_0 và trục rôto máy phát là δ . Nếu hai trục này quay cùng với tốc độ đồng bộ thì δ không thay đổi (H.6.2)



Hình 6.2: Góc lệch δ

Góc δ được tính như sau:

$$\delta = \omega t - \omega_0 t + \delta_0 \quad (6.7)$$

Vậy
$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{d\Delta\omega}{dt} \quad (6.8)$$

(6.6) được viết lại là:

$$\frac{T_J}{\omega_0} \frac{d^2\delta}{dt^2} = M_T - M \quad (6.9)$$

Có thể coi tốc độ biến thiên của góc lệch $\frac{d\delta}{dt}$ trong quá trình quá độ nhỏ hơn nhiều so với Ω_0 nên một cách gần đúng: $P \approx \Omega_0 M$ và vì $\Omega_0 = 1$.

Như vậy (6.9) có thể viết lại:

$$\frac{T_J}{\omega_0} \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_T - P \quad (6.10)$$

Lưu ý là trong (6.10) công suất được thể hiện trong hệ đơn vị tương đối. Nếu công suất thể hiện ở hệ đơn vị có tên thì:

$$\frac{T_J}{\omega_0} S_{cb} \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_T - P \quad (6.11)$$

Nếu tính đến ảnh hưởng của momen cản và nếu T_J thể hiện bằng đơn vị rad thì do $\omega_0 = 314\text{s}^{-1}$ và $t(\text{rad}) = \omega_0 t(\text{s})$ nên:

$$\frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{1}{T_J} (M_T - M - K_D \Delta\omega) \quad (6.12)$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \Delta\omega \quad (6.13)$$

hoặc:
$$T_J \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_T - P - K_D \frac{d\delta}{dt} \quad (6.14)$$

với K_D là hệ số cản.

Nếu trong hệ thống có nhiều máy phát điện thì góc δ của phương trình nêu trên cho mỗi máy phát i là góc lệch tương đối giữa trục rôto của máy phát i và trục tuyệt đối giả tưởng nào đó quay với tốc độ đồng bộ.

Dòng điện do nút i phát ra là:

$$I_i = \sum_{j=1}^{N_1} I_{ij} \tag{6.15}$$

với N_1 là số nút trong hệ thống

Có thể viết (6.15) theo điện thế tại các nút:

$$\begin{aligned} Y_{11} \dot{U}_1 - Y_{12} \dot{U}_2 - \dots - Y_{1N_1} \dot{U}_{N_1} &= I_1 \\ \vdots & \\ -Y_{N_1} \dot{U}_1 - Y_{N_2} \dot{U}_2 - \dots + Y_{N_1 N_1} \dot{U}_{N_1} &= I_{N_1} \end{aligned} \tag{6.16}$$

Dùng thuật toán khử Gauss loại bỏ các nút tải, chỉ giữ lại các nút phát, ta có hệ phương trình sau:

$$\begin{aligned} Y'_{11} \dot{E}_1 - Y'_{12} \dot{E}_2 - \dots - Y'_{1N} \dot{E}_N &= I_1 \\ \vdots & \\ -Y'_{N1} \dot{E}_1 - Y'_{N2} \dot{E}_2 - \dots + Y'_{NN} \dot{E}_N &= I_N \end{aligned} \tag{6.17}$$

với: N - số nút phát trong hệ.

Kết quả là ta có ma trận tổng dẫn đẳng trị của lưới mới chỉ có các nút nguồn dùng cho mô hình khảo sát ổn định hệ.

Công suất phát từ nút i :

$$S_i = \dot{E}_i \dot{I}_i^* \text{ với } \dot{E}_i = E_i < \delta_i \tag{6.18}$$

Công suất điện từ được tính như sau:

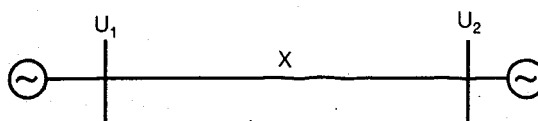
$$\begin{aligned} P &= E_i^2 |Y_{ii}| \sin \alpha_{ii} + \sum_{j=1, j \neq i}^N E_i E_j |Y_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j - \alpha_{ij}) \\ Q &= E_i^2 |Y_{ii}| \cos \alpha_{ii} - \sum_{j=1, j \neq i}^N E_i E_j |Y_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j - \alpha_{ij}) \end{aligned} \tag{6.19}$$

với: $E_{i(j)}$ - sức điện động máy phát (nhà máy) thứ $i(j)$. Thường trong khảo sát ổn định lấy sức điện động quá độ (coi như không thay đổi ở thời gian đầu của quá trình quá độ).

$|Y_{ii}|$ và $(\alpha_{ii} - 90^\circ)$ - biên độ và góc của tổng dẫn riêng xác định dòng điện do sức điện động của nhánh i khi sức điện động ở các nhánh còn lại bằng 0

$|Y_{ij}|$ và $(\alpha_{ij} - 90^\circ)$ - biên độ và góc của tổng dẫn tương hỗ xác định dòng điện trên nhánh i do sức điện động của nhánh j gây nên còn các sức điện động trên các nhánh còn lại bằng 0.

Xét 1 đường dây có nối hai thanh cái có điện áp \dot{U}_1, \dot{U}_2 không đổi (H.6.3).



Hình 6.3: Hệ thống điện có hai máy tương đương

Công suất truyền tải trên dây theo điện áp hai đầu dây là:

$$P = \frac{U_1 U_2}{X} \sin \delta$$

với δ là góc lệch pha giữa U_1 và U_2 .

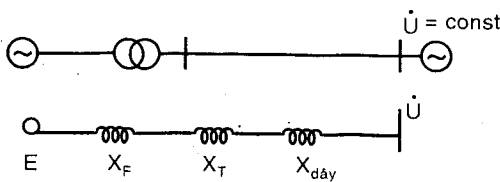
Giới hạn tối đa truyền tải công suất trên dây tương ứng:

$$\frac{U_1 U_2}{X} \text{ và như vậy phụ thuộc vào điện áp, vào tổng trở dây.}$$

Xét một hệ thống gồm một máy phát nối với đường dây vào hệ thống có công suất vô cùng lớn (thanh cái hệ thống có modul và góc pha của điện áp không hề thay đổi) (H.6.4). Ta gọi hệ thống điện như vậy là đơn giản nhất (6.19) được viết như sau:

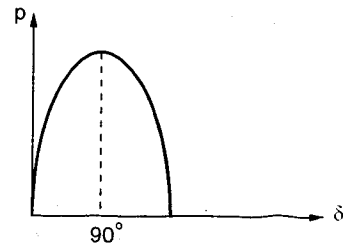
$$P = \frac{EU}{X_\Sigma} \sin \delta \quad (6.20)$$

(6.20) tương ứng với đường cong công suất - góc (H.6.5), ở đây $X_\Sigma = X_F + X_T + X_{\text{dây}}$.



Hình 6.4

Hệ thống điện đơn giản và sơ đồ tương đương



Hình 6.5

Đường đặc tính công suất góc

Ví dụ 6.1. Cho một đường dây truyền tải ngắn và điện áp đầu gửi U_1 bằng với điện áp đầu nhận U_2 . Xác định tỷ số X/R sao cho công suất lớn nhất được truyền qua dây ở trạng thái ổn định tĩnh.

Giải. Có:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 + I(\cos \varphi - j \sin \varphi)(R + jX) = \dot{U}_2 + (IR \cos \varphi + IX \sin \varphi) + j(IX \cos \varphi - IR \sin \varphi)$$

\Rightarrow với φ - góc lệch giữa \dot{U}_2 và \dot{I} , coi $\dot{U}_2 = U_2 \angle 0^\circ$, có:

$$R(U_1 \cos \delta) = (U_2 + IR \cos \varphi + IX \sin \varphi)R$$

$$X(U_1 \sin \delta) = (IX \cos \varphi - IR \sin \varphi)X$$

Lưu ý là: $Z^2 = R^2 + X^2$, ta có:

$$U_1(R \cos \delta + X \sin \delta) = RU_2 + IZ^2 \cos \varphi$$

$$\Rightarrow I \cos \varphi = \frac{U_1}{Z^2}(R \cos \delta + X \sin \delta) - \frac{RU_2}{Z^2}$$

Công suất cuối đường dây:

$$P_2 = U_2 I \cos \varphi = \frac{U_2 U_1}{Z^2}(R \cos \delta + X \sin \delta) - \frac{RU_2^2}{Z^2}$$

$$\text{Đặt } \operatorname{tg} \beta = \frac{X}{R} \Rightarrow P_2 = \frac{U_2 U_1}{|Z|} \cos(\beta - \delta) - \frac{R U_2^2}{Z^2}$$

Khi công suất truyền tải max thì $\delta = \beta$, nên:

$$P_{2\max} = \frac{U_2 U_1}{\sqrt{R^2 + X^2}} - \frac{R U_2^2}{R^2 + X^2} \text{ và } \frac{dP_{2(\max)}}{dX} = 0$$

$$\text{Do đó } \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 (R^2 + X^2) = 4R^2$$

$$\text{và vì } U_2 = U_1 \Rightarrow \frac{X}{R} = \sqrt{3}$$

Ví dụ 6.2. Tìm giới hạn công suất của hệ máy phát ($X_d = 0,5$) nối với hệ vô cùng lớn có điện áp và modul là $U = 1 \angle 0$ qua đường dây với $X = 1$. Modul điện áp đầu ra của máy phát là 1,2.

$$\text{Giải. Dòng chạy trên dây là: } \dot{I} = \frac{\dot{U}_F - \dot{U}}{jX} = \frac{1,2 \angle \alpha - 1,0}{j1}$$

Ở đây α - góc của vectơ điện áp máy phát \dot{U}_F với vectơ điện áp thanh cái hệ thống \dot{U} . Sức điện động máy phát được xác định:

$$\begin{aligned} \dot{E} = \dot{U}_F + j\dot{I}X_d &= 1,2 \angle \alpha + j0,5 \frac{1,2 \angle \alpha - 1,0}{j1} \\ &= 1,8 \angle \alpha - 0,5 = (1,8 \cos \alpha - 0,5) + j1,8 \sin \alpha \end{aligned}$$

Khi $\delta = 90^\circ$, công suất max sẽ được truyền ứng với vectơ sức điện động $E \angle 90^\circ$.

Như vậy góc α ở chế độ giới hạn được tính:

$$1,8 \cos \alpha - 0,5 = 0 \Rightarrow \alpha = 73,87^\circ$$

$$\text{và } \dot{U}_F = 1,2 \angle 73,87^\circ = 0,332 + j1,152$$

Tương ứng với dòng:

$$\dot{I} = \frac{0,332 + j1,152 - 1,0}{j1} = 1,152 + j0,668$$

$$\Rightarrow \dot{E} = 0,332 + j1,152 + j0,5(1,152 + j0,668) = -0,002 + j1,728 \approx 1,728 \angle 90^\circ$$

Vậy giới hạn truyền công suất là:

$$P_{\max} = \frac{1,728 \times 1}{1 + 0,5} = 1,152$$

ỔN ĐỊNH TĨNH HỆ THỐNG ĐIỆN

7.1 TIÊU CHUẨN NĂNG LƯỢNG

7.1.1 Định nghĩa ổn định theo năng lượng

Một hệ ở chế độ xác lập khi có sự cân bằng giữa năng lượng phát và tiêu thụ. Mỗi chế độ xác lập sẽ tương thích với các thông số xác định trạng thái hệ. Nếu có nhiễu (kích động) làm các thông số này thay đổi theo hướng khuyếch đại thì hệ sẽ không ổn định. Điều này xảy ra khi năng lượng phát lớn hơn năng lượng tiêu tán. Tiêu chuẩn năng lượng về ổn định hệ được mô tả qua bất đẳng thức sau:

$$\frac{\Delta W}{\Delta \Pi} < 0 \quad (7.1)$$

với: $\Delta \Pi$ - gia số thông số

ΔW - năng lượng dư và $\Delta W = \Delta W_F - \Delta W_t$

$\Delta W_F, \Delta W_t$ - số gia năng lượng phát và tiêu tán.

Quay trở lại hệ thống điện trên hình 6.4, theo tiêu chuẩn năng lượng thì hệ sẽ ổn định nếu:

$$\frac{\Delta P_T - \Delta P(\delta)}{\Delta \delta} < 0$$

Tham số trạng thái ở đây là góc δ , năng lượng phát là công suất cơ P_T (công suất tuabin) còn năng lượng tiêu tán chính là công suất máy phát đổ về hệ thống. Do chấp nhận giả thiết công suất P_T không đổi nên biểu thức trên được viết lại:

$$\frac{-\Delta P(\delta)}{\Delta \delta} < 0 \Leftrightarrow \frac{dP}{d\delta} > 0 \quad (7.2)$$

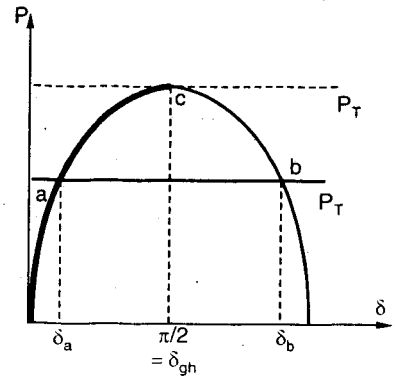
Có thể kiểm định (7.2) bằng cách lập luận từ hình 7.1 sau:

Giả sử lúc đầu hệ thống ở chế độ xác lập (điểm a) tương ứng với góc δ_a . Do kích động nào đó δ_a tăng lên một lượng thì do $P > P_T$ nên rôto sẽ bị hãm lại, hệ

quả là góc δ quay về trị δ_a . Ngược lại, khi δ giảm thì do $P < P_T$ nên rôto sẽ tăng tốc và δ về lại trị δ_a . Vậy điểm a là điểm cân bằng và ổn định.

Tại điểm b, giả sử nếu góc δ tăng lên tới trị $\delta_b + \Delta\delta$ thì do $P < P_T$ nên rôto sẽ tăng tốc và kết quả là δ tiếp tục tăng lên. Như vậy điểm b là điểm cân bằng nhưng không ổn định.

Nếu hệ thống làm việc tại điểm c thì, giả sử góc δ_c tăng tới $\delta_c + \Delta\delta$, khi đó do $P < P_T$ nên góc δ tiếp tục tăng. Còn nếu giả sử δ_c giảm đi một lượng $\Delta\delta$, do $P_T > P$ nên góc δ sẽ tăng và quay về trị δ_c . Như vậy điểm c là điểm giới hạn ổn định.



Hình 7.1: Miền làm việc ổn định của hệ thống điện đơn giản (đậm)

Đại lượng $C_{Eq} = \left. \frac{\partial P_{Eq}}{\partial \delta} \right|_{\delta=\delta_0}$ được gọi là hệ số công suất đồng bộ. Chỉ số E_q ở đây tương ứng với công suất được tính theo E_q và tương ứng với trường hợp máy phát không có tự động điều chỉnh kích từ

Góc δ_{gh} tương ứng với điểm c cho thấy công suất cơ sẽ cắt công suất điện từ tại một điểm duy nhất và do vậy với hệ thống đã cho thì không thể nâng công suất cơ lên được nữa vì sẽ không tồn tại chế độ làm việc của hệ. Công suất điện từ tại điểm c là: $P_{gh} = P_{max}$

Miền làm việc ổn định của hệ tương ứng với nửa bên trái của đường cong trên (từ góc $0 \rightarrow \pi/2$)

Hệ số dự trữ ổn định được định nghĩa là tỷ số:

$$K_{dtEq} = \frac{P_{gh} - P_T}{P_T} 100\% \tag{7.3}$$

Nếu cần tính đến ảnh hưởng của những nhiễu nhỏ lên sự thay đổi từ thông thì cần lưu ý là dòng cảm ứng rôto tắt dần khi từ thông phần ứng thâm nhập vào cuộn cản (siêu quá độ) và sau đó mới vào cuộn rôto (quá độ). Mặt khác, khi liên quan tới thời gian dao động rôto, có thể cho rằng từ thông móc vòng không thay đổi và thích ứng với E'_d và E'_q . Công suất điện từ được tính theo sdd quá độ:

$$P_{E'} = \frac{E'_q U}{X'_{d\Sigma}} \sin \delta + \frac{E'_d U}{X'_{q\Sigma}} \cos \delta - \frac{U^2}{2} \frac{X'_{q\Sigma} - X'_{d\Sigma}}{X'_{q\Sigma} X'_{d\Sigma}} \sin 2\delta \tag{7.4}$$

hoặc
$$P_{E'} = \frac{E'_q U}{X'_{d\Sigma}} \sin \delta - \frac{U^2}{2} \frac{X_d - X'_d}{X_{d\Sigma} X'_{d\Sigma}} \sin 2\delta$$

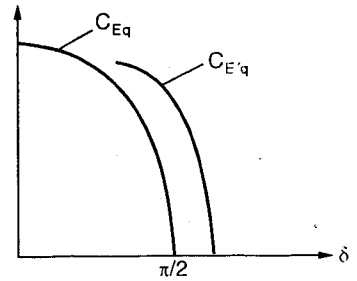
với: $X'_{d\Sigma} = X'_d + X_l + X_T$; $X'_{q\Sigma} = X'_q + X_l + X_T$; $X_{d\Sigma} = X_d + X_l + X_T$

trong đó X_l, X_T là điện kháng đường dây và máy biến áp.

Hệ số công suất đồng bộ $C_{E'q} = \frac{\partial P_{E'q}}{\partial \delta}$ có dạng như hình 7.2. Nhận thấy tại $\delta = 90^\circ$: $C_{E_q} = 0$ còn $C_{E'q} > 0$, nghĩa là $C_{E'q}$ lớn hơn C_{E_q}

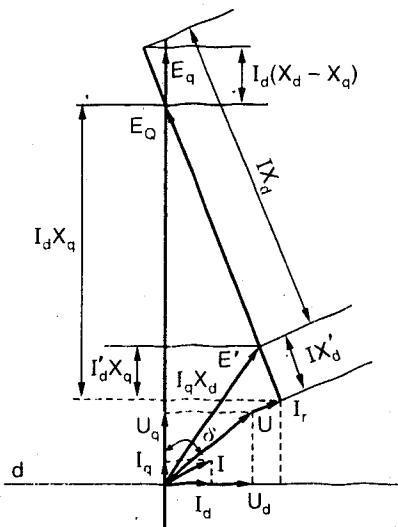
Trong tính toán thực tế, có thể bỏ qua thành phần $\sin 2\delta$ của (7.4) và tiếp nhận $E'_q = E'$, do đó:

$$P_{E'} = \frac{E'U}{X_{d\Sigma}} \sin \delta \tag{7.4a}$$



Hình 7.2: Hệ số công suất đồng bộ

7.1.2 Xét máy phát cực lồi



Hình 7.3

Họa đồ vectơ máy cực lồi

Xét hệ đơn giản như trên hình 6.4. Tương ứng với họa đồ vectơ trên hình 7.3 sẽ có E_Q - sdd giả tưởng sau điện kháng X_q .

Mối quan hệ giữa E_Q và E_q là:

$$\dot{E}_Q = \dot{E}_q - \dot{I}_d(X_d - X_q)$$

Ký hiệu:

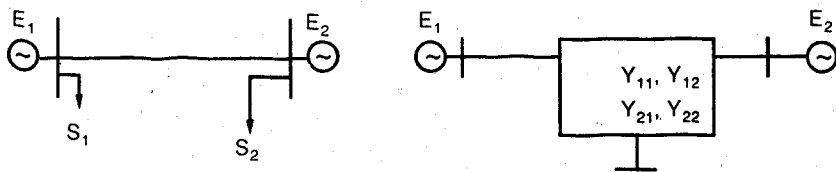
$$X_{d\Sigma} = X_d + X_l + X_T; \quad X_{q\Sigma} = X_q + X_l + X_T$$

Phương trình công suất là:

$$P = \frac{E_q U}{X_{d\Sigma}} \sin \delta + \frac{U^2}{2} \frac{X_{d\Sigma} - X_{q\Sigma}}{X_{d\Sigma} X_{q\Sigma}} \sin 2\delta \tag{7.5}$$

Giá trị của $\frac{dP}{d\delta} = 0$ đạt được khi góc nhỏ hơn 90° do thành phần $\sin 2\delta$

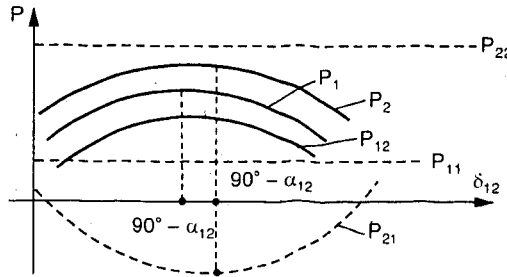
7.1.3 Xét hệ thống có hai máy: tải được coi là tuyến tính



Hình 7.4a: Sơ đồ mạng điện và sơ đồ thay thế của mạng điện gồm hai máy phát

$$\begin{aligned} P_1 &= E_1^2 Y_{11} \sin \alpha_{11} + E_1 E_2 Y_{12} \sin(\delta_{12} - \alpha_{12}) = P_{11} + P_{12} \\ Q_1 &= E_1^2 Y_{11} \cos \alpha_{11} - E_1 E_2 Y_{12} \cos(\delta_{12} - \alpha_{12}) \\ P_2 &= E_2^2 Y_{22} \sin \alpha_{22} - E_1 E_2 Y_{12} \sin(\delta_{12} + \alpha_{12}) = P_{22} + P_{21} \\ Q_2 &= E_2^2 Y_{22} \cos \alpha_{22} - E_1 E_2 Y_{12} \cos(\delta_{12} + \alpha_{12}) \end{aligned} \tag{7.6}$$

Công suất của hai nhà máy có sự liên quan chặt chẽ với nhau (H.7.4)



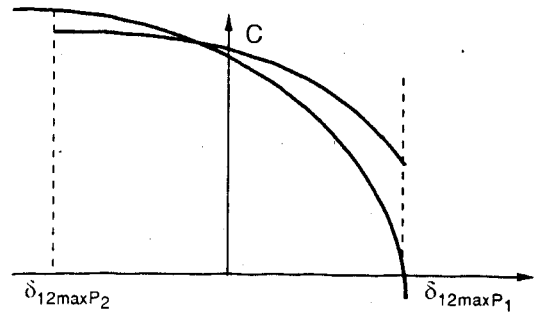
Hình 7.4b: Đường công suất góc của hệ hai máy

Thường thì α_{12} âm nên P_1 đạt trị max khi $\delta_{12} < 90^\circ$; P_2 đạt min khi $\delta_{12} > 90^\circ$.

Các hệ số công suất đồng bộ không đồng thời bằng 0 và:

$$\frac{dP_1}{d\delta_{12}} > 0 \text{ và } \frac{dP_2}{d\delta_{21}} = -\frac{dP_2}{d\delta_{12}} > 0$$

Hai giá trị đạo hàm trên có thể dương ngay cả khi P_1 âm. Miền làm việc ổn định có được khi $\delta_{12maxP_2} < \delta_{12} < \delta_{12maxP_1}$ với δ_{12maxP_1} - giá trị góc δ_{12} làm P_1 đạt cực đại và δ_{12maxP_2} - giá trị góc δ_{12} làm P_2 đạt cực đại. Nghĩa là miền làm việc ổn định của hệ mở rộng ra (H.7.5)

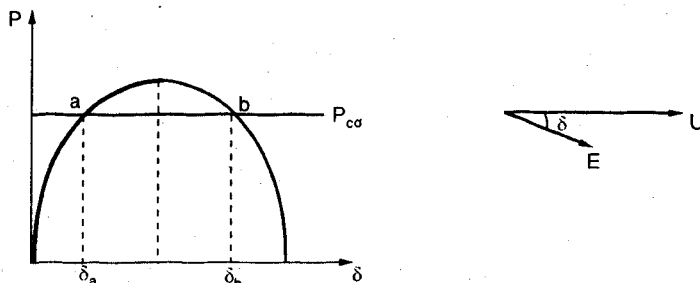


Hình 7.5: Hệ số C của hệ hai máy

7.1.4 Ổn định tĩnh động cơ

1- Động cơ đồng bộ

Xét động cơ đồng bộ được nối kết vào thanh cái điện áp không đổi U . Hình 7.6 mô tả đường đặc tính công suất góc của động cơ (δ - góc giữa vectơ sức điện động E và điện áp U). $P_{cơ}$ - công suất tải trên trục động cơ. Xét điểm làm việc tại a: nếu góc δ_a tăng thêm trị $\Delta\delta$ thì do công suất điện từ lớn hơn công suất cơ nên động cơ quay nhanh lên, kết quả là góc giảm dần về δ_a . Ngược lại, nếu δ_a giảm một trị $\Delta\delta$ thì do công suất điện từ nhỏ hơn công suất cơ, động cơ quay chậm lại và do đó góc tăng lên về lại δ_a . Lập luận tương tự cho trường hợp b, nhận thấy là điểm b không phải là điểm làm việc ổn định.



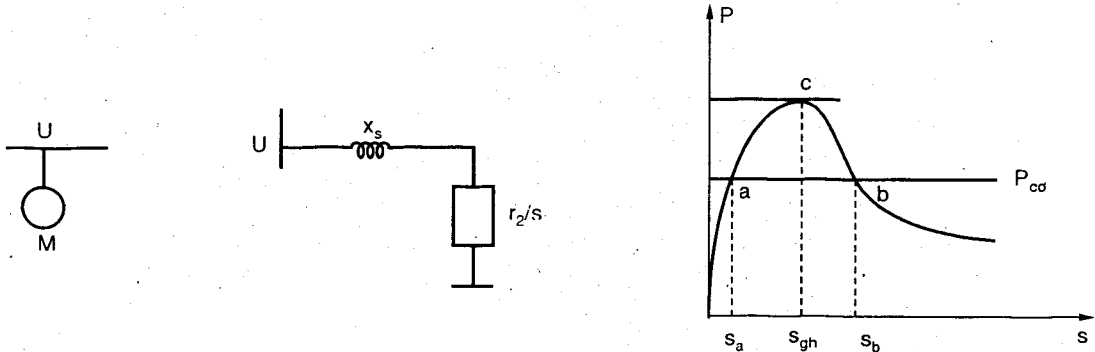
Hình 7.6: Ổn định tĩnh động cơ đồng bộ (đậm)

Như vậy tiêu chuẩn năng lượng ở đây là:

$$\frac{dP}{d\delta} > 0 \quad (7.7)$$

2. Động cơ không đồng bộ

Xem xét trường hợp đơn giản nhất khi động cơ không đồng bộ được cấp điện bởi thanh cái có điện áp không đổi (thanh cái nối với hệ có công suất lớn gấp nhiều lần so với công suất động cơ). Hình 7.7 biểu diễn các đường đặc tuyến của động cơ.



Hình 7.7: Đặc tuyến động cơ không đồng bộ

Trên hình 7.7, s là độ trượt. Xét trường hợp hệ đang vận hành ở chế độ thích ứng với điểm a . Giả sử vì lý do nào đó độ trượt tăng thêm trị Δs , do năng lượng cung cấp bên ngoài (công suất điện từ P) lớn hơn năng lượng tiêu tán ($P_{cơ}$) nên động cơ quay nhanh lên và do đó độ trượt s giảm về lại s_a . Ngược lại, nếu s_a giảm một lượng Δs , do $P_{cơ} > P$ nên động cơ quay chậm lại, độ trượt tăng lên và về lại s_a . Như vậy a là điểm làm việc ổn định.

Nếu động cơ làm việc ở chế độ nặng nhất ứng với điểm c (khi đường công suất điện từ tiếp xúc với đường công suất cơ tại một điểm), ta có ranh giới của ổn định. Độ trượt tại c là độ trượt tới hạn (s_{gh}).

Tiêu chuẩn năng lượng áp dụng khi hệ ổn định và khi coi $P_{cơ(s)} = \text{const}$ là:

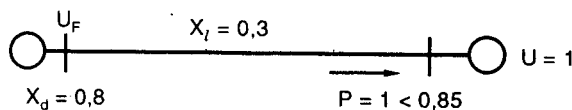
$$\frac{dP}{ds} > 0 \quad (7.8)$$

Công suất P được tính là:
$$P = \frac{Ur_2s}{r_2^2 + x_s^2s^2}$$

Như vậy điểm c tương ứng với $\frac{dP}{ds} = 0$ và do đó có:
$$s_{gh} = \frac{r_2}{x_s}$$

Công suất tiêu thụ max của động cơ là:
$$P_{\max} = \frac{U^2}{2x_s} \quad (7.9)$$

Ví dụ 7.1. Cho hệ thống điện đơn giản như trên hình vẽ 7.8. Xác định độ dự trữ ổn định nếu biết hiện tại máy phát cực ẩn đang phát công suất là $1 < 0,85$ (hệ đơn vị tương đối).



Hình 7.8: Ví dụ 7.1

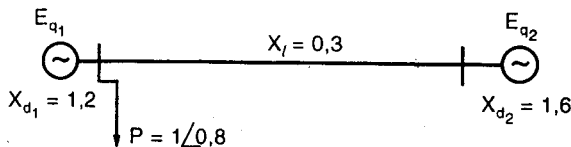
Giải. Có $X_{\Sigma} = X_d + X_l = 1,1$

$$\begin{aligned} \text{Sức điện động máy phát là: } E_q &= \sqrt{\left(U + \frac{QX}{U}\right)^2 + \left(\frac{PX}{U}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(1 + \frac{1,1 \times 0,62}{1}\right)^2 + \left(\frac{1 \times 1,1}{1}\right)^2} = \sqrt{2,83 + 1,21} = 2,01 \end{aligned}$$

Vậy công suất max truyền trên dây là:

$$P_{\max} = \frac{E_q \cdot U}{X_{\Sigma}} = \frac{2,01 \times 1,0}{1,1} = 1,83 \Rightarrow K_{E_q} = \frac{1,83 - 1}{1,0} 100\% = 83\%$$

Ví dụ 7.2. Cho hệ gồm 2 máy phát



Hình 7.9: Ví dụ 7.2

Tìm chế độ giới hạn ổn định tĩnh. Cho biết tải ở thanh cái máy phát 1 được thay thế bởi tổng trở cố định:

$$Z_t = R_t + jX_t = \frac{U_t^2}{S_t^2} (P_t - jQX_t) = 0,64 + j0,48$$

với U_t là điện áp định mức tải.

Ta có hệ phương trình sau:

$$P_1 = \frac{E_{q1}^2 \sin \alpha_{11}}{|Z_{11}|} + \frac{E_{q1} E_{q2} \sin(\delta_1 - \delta_2 - \alpha_{12})}{|Z_{12}|}$$

$$P_2 = \frac{E_{q2}^2 \sin \alpha_{22}}{|Z_{22}|} - \frac{E_{q1} E_{q2} \sin(\delta_1 - \delta_2 + \alpha_{12})}{|Z_{12}|}$$

$$P_1 + P_2 - P = 0; \quad Q_1 + Q_2 - Q = 0$$

với: $Z_{11} = jX_1 + \frac{jX_2 Z_t}{jX_2 + Z_t} = |Z_{11}| \exp\left(\frac{\pi}{2} - \alpha_{11}\right)$; trong đó $X_1 = X_{d1}$; $X_2 = X_{d2} + X_l$

$$= j1,2 + \frac{j1,8(0,64 + j0,48)}{j1,8 + 0,64 + j0,46} = 0,37 + j1,683 = 1,723 \angle 77,6^\circ; \quad \alpha_{11} = 12,4^\circ$$

$$Z_{12} = jX_1 + jX_2 + \frac{jX_1 jX_2}{Z_t} = |Z_{12}| \exp\left(\frac{\pi}{2} - \alpha_{12}\right)$$

$$= j1,2 + j1,8 + \frac{j1,2 \cdot j1,8}{0,64 + j0,48} = -2,16 + j4,62 = 5,1 \angle 115,06^\circ; \quad \alpha_{12} = -25,06^\circ$$

$$Z_{22} = j1,8 + \frac{j1,2 \cdot (0,64 + j0,48)}{j1,2 + 0,64 + j0,48} = 0,285 + j2,252 = 2,27 \angle 82,79^\circ; \quad \alpha_{22} = 7,2^\circ$$

$$P_1 \text{ đạt trị lớn nhất khi: } \frac{dP_1}{d\delta_{12}} = 0 \Leftrightarrow \frac{E_{q1} E_{q2} \cos(\delta_{12} - \alpha_{12})}{|Z_{12}|} = 0$$

$$\text{Do } \alpha_{12} = -25,06^\circ \text{ nên: } \delta_{12 \max P_1} = 90 - 25,06 = 64,99^\circ$$

$$P_2 \text{ đạt trị lớn nhất khi: } \frac{dP_2}{d\delta_{12}} = 0 \Leftrightarrow \delta_{12 \max P_2} = -90 + 25,06 = -64,94^\circ$$

Ví dụ 7.3. Cho động cơ đấu nối vào thanh cái có điện áp không đổi như trên hình 7.7.

$R_2 = 0,019$; $X_s = 0,227$. Công suất cơ là 0,9 khi $U = 1$. Tìm điện áp giới hạn. Tính hệ số dự trữ ổn định.

$$\text{Giải. Độ trượt giới hạn là: } s_{gh} = \frac{R_2}{X_s} = \frac{0,019}{0,227} = 0,084$$

$$\text{Tương ứng với công suất max: } P_{\max} = \frac{U^2 \cdot s_{gh}}{2R_2} = \frac{U^2 \cdot 0,084}{0,019}$$

Khi điện áp bằng điện áp giới hạn U_{gh} thì đường đặc tuyến P tiếp xúc với đường thẳng $P_{cơ}$ tại một điểm duy nhất.

$$P_{cơ} = P_{\max} = 0,9 = \frac{U^2 \cdot 0,084}{0,019} \Rightarrow U = 0,63$$

$$K_{đtU} = \frac{1 - 0,63}{1} 100\% = 37\%$$

7.2 PHƯƠNG PHÁP DAO ĐỘNG BÉ

7.2.1 Phương pháp dao động bé

Một hệ thống động thường được mô tả bởi hệ phương trình vi phân sau:

$$\dot{x} = f(x_1, x_2, \dots, x_n, u_1, u_2, \dots, u_r, t)$$

với x - vectơ trạng thái; u - vectơ đầu vào hệ (được hiểu ở đây là nhiễu).

Khai triển phương trình trên vào chuỗi Taylor và bỏ qua các đạo hàm bậc cao

$$\Delta \dot{x}_i = \frac{\partial f_i}{\partial x_1} \Delta x_1 + \dots + \frac{\partial f_i}{\partial x_n} \Delta x_n + \frac{\partial f_i}{\partial u_1} \Delta u_1 + \dots + \frac{\partial f_i}{\partial u_r} \Delta u_r$$

hay viết dưới dạng ma trận: $\Delta \dot{x} = A \Delta x + B \Delta u$

khi $\Delta u = 0$, có phương trình mô tả chuyển động tự do: $\Delta \dot{x} = A \Delta x$

Giá trị riêng của ma trận thường được gán bởi các trị của tham số λ khi không có lời giải tầm thường cho phương trình: $A \Phi = \lambda \Phi$

$$A = [n \times n]$$

$$\Phi = [n \times 1]$$

Tìm giá trị riêng của $A\Phi = \lambda\Phi$ theo phương trình: $(A - \lambda I)\Phi = 0$

Khi nghiệm là không tầm thường thì: $\det(A - \lambda I) = 0$

Việc khai triển định thức cho ra phương trình đặc trưng, m nghiệm của $\lambda = \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ gọi là trị riêng của A .

Ma trận Φ, Ψ được gọi là modul phải và trái nếu:

$$\Phi = [\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n]; \Psi = [\varphi_1^T, \varphi_2^T, \dots, \varphi_n^T]^T$$

với: Φ_i - vectơ riêng phải của A ; φ_i - vectơ riêng trái của A và thỏa:

$$A\Phi_i = \lambda_i\Phi_i; \Psi_i A = \Psi_i\lambda_i$$

Mối quan hệ giữa Φ và Ψ là $\Phi = \Psi^{-1}$.

Lời giải của phương trình này là: $\Delta x_i(t) = \Phi_{i1}c_1 e^{\lambda_1 t} + \dots + \Phi_{in}c_n e^{\lambda_n t}$

với: $c_i = \varphi_i \Delta x(0)$

Quan hệ giữa nghiệm phương trình đặc trưng và ổn định:

- Khi nghiệm là thực sẽ có trạng thái phi dao động. Nếu nghiệm là thực dương thích ứng với mất ổn định phi chu kỳ

- Khi nghiệm là phức thì chúng sẽ xuất hiện dưới dạng cặp liên hiệp và sẽ có trạng thái dao động. Nếu nghiệm có phần thực dương sẽ cho ra mất ổn định dao động

7.2.2 Phương pháp dao động bé áp dụng trong hệ thống điện

Xét phương trình vi phân mô tả quá trình quá độ với ảnh hưởng của cuộn cảm thể hiện qua momen cản:

$$T_J \frac{d^2\delta}{dt^2} + K_D \frac{d\delta}{dt} = P_T - P \tag{7.10}$$

với các phân tử được viết trong hệ đơn vị tương đối. Nếu như thời gian và hằng số quán tính thể hiện là giây thì T_J cần phải được nhân với $1/\omega_0$.

Nếu khai triển tuyến tính (7.10) xung quanh điểm cân bằng và chỉ lấy đạo hàm bậc nhất:

$$\begin{aligned} T_J \frac{d^2(\delta_0 + \Delta\delta)}{dt^2} + K_D \frac{d(\delta_0 + \Delta\delta)}{dt} &= P_T - [P(\delta_0) + \frac{\partial P}{\partial \delta} \Delta\delta] \\ \Leftrightarrow T_J \frac{d^2\Delta\delta}{dt^2} + K_D \frac{d\Delta\delta}{dt} &= -\frac{\partial P}{\partial \delta} \Delta\delta \end{aligned} \tag{7.11}$$

Đặt $p = \frac{d}{dt}$, phương trình đặc trưng sẽ là: $T_J p^2 + K_D p + C = 0$

và
$$p_{1,2} = \frac{-K_D \pm \sqrt{K_D^2 - 4T_J C}}{2T_J} = \frac{-K_D}{2T_J} \mp \sqrt{\frac{C}{T_J} + \left(\frac{K_D}{2T_J}\right)^2} = \alpha \mp j\beta$$

Lời giải của (7.11) là: $\Delta\delta(t) = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t}$. Ở đây giả sử chỉ xét $K_D > 0$.

Các trường hợp sau có thể xảy ra:

1- Khi $C \left(\frac{\partial P}{\partial \delta} \right)$ - hệ số công suất đồng bộ) lớn hơn 0 có thể có các trường hợp sau

$\frac{C}{T_J} < \alpha^2$: p_1 và p_2 - thực âm và $\Delta\delta(t)$ sẽ có dạng tắt dần không chu kỳ

$\frac{C}{T_J} > \alpha^2$: p_1 và p_2 - nghiệm phức có phần thực âm và $\Delta\delta(t)$ tắt dần theo thời

gian với tần số dao động β . Như vậy khi δ_0 tăng dần lên thì C giảm xuống đồng thời β tăng lên và dao động chậm hơn

2- Khi $C < 0$

Phương trình đặc trưng luôn có một nghiệm thực dương và do vậy $\Delta\delta(t)$ sẽ tăng dần theo thời gian và hệ thống mất ổn định.

3- Khi $C = 0$: phương trình đặc trưng có một nghiệm = 0, còn nghiệm kia là $-\frac{K_D}{T_J}$

Nhắc lại phương pháp đánh giá theo ổn định của Liapunov dựa trên việc khảo sát hệ phương trình vi phân đã tuyến tính hóa: Nếu hệ thống chuyển động theo hệ phương trình vi phân đã tuyến tính hóa có ổn định tiệm cận thì hệ thống ban đầu cũng có ổn định tiệm cận và ngược lại; các trường hợp khác (cụ thể là khi có một nghiệm thực bằng 0 và các nghiệm còn lại có phần thực âm) thì cần phải có các nghiên cứu bổ sung mới có thể kết luận về tính ổn định của hệ.

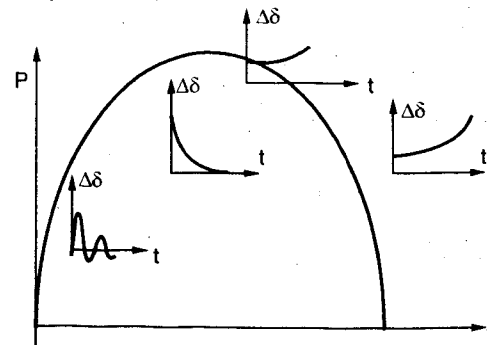
Sự biến thiên của $\Delta\delta(t)$ cho các trường hợp nêu trên sẽ được biểu diễn trên hình 7.10.

Phương pháp dao động bé cho ta biết được đặc tính diễn biến quá trình quá độ. Nó cho ta biết nếu hệ ổn định (hoặc mất ổn định) thì dưới dạng nào: chu kỳ, phi chu kỳ v.v...

a) Phương pháp dao động bé cho hệ thống điện hai máy phát và phụ tải là tổng trở cố định

Xét tải là một tổng trở cố định

Tuyến tính hóa phương trình chuyển động của hai máy phát và bỏ qua đạo hàm từ bậc hai trở lên:



Hình 7.10: Biến thiên $\Delta\delta(t)$

$$T_{J1} \frac{d^2 \delta_1}{dt^2} + \frac{\partial P_1}{\partial \delta_{12}} \Delta \delta_{12} = 0; \quad T_{J2} \frac{d^2 \delta_2}{dt^2} + \frac{\partial P_2}{\partial \delta_{12}} \Delta \delta_{12} = 0$$

với $\delta_{12} = \delta_1 - \delta_2$

Trừ 2 phương trình trên với nhau:

$$\frac{d^2 \Delta \delta_{12}}{dt^2} + \left(\frac{1}{T_{J1}} \frac{\partial P_1}{\partial \delta_{12}} - \frac{1}{T_{J2}} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_{12}} \right) \Delta \delta_{12} = 0$$

Đặt $p = \frac{d}{dt}$. Phương trình đặc trưng có dạng:

$$p^2 + \left(\frac{1}{T_{J1}} \frac{\partial P_1}{\partial \delta_{12}} - \frac{1}{T_{J2}} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_{12}} \right) = 0 \tag{7.12}$$

Điều kiện ổn định của phương trình đặc trưng trên là hệ số tự do (7.23):

$$\frac{1}{T_{J1}} \frac{\partial P_1}{\partial \delta_{12}} - \frac{1}{T_{J2}} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_{12}} > 0 \tag{7.13a}$$

Thay thế $\frac{\partial P_1}{\partial \delta_{12}}$ và $\frac{\partial P_2}{\partial \delta_{12}}$ vào (7.13a) cho ra

$$\frac{1}{T_{J1}} E_1 E_2 |Y_{12}| \cos(\delta_{12} - \alpha_{12}) + \frac{E_1 E_2}{T_{J2}} |Y_{12}| \cos(\delta_{12} + \alpha_{12}) > 0 \tag{7.13b}$$

Nếu bỏ qua α_{12} (thường có trị số nhỏ) thì (7.13b) sẽ tương đương:

$$E_1 E_2 Y_{12} \cos \delta_{12} > 0 \Leftrightarrow \frac{dP_1}{d\delta_{12}} > 0 \text{ và } \frac{dP_2}{d\delta_{12}} < 0$$

Nghĩa là trùng với tiêu chuẩn thực dụng

b) Ổn định hệ thống điện có cấu trúc phức tạp

Ở đây ta chỉ xét tới mô hình phụ tải hệ thống được thay bằng tổng trở cố định. Bằng kỹ thuật khử các nút phụ tải để cho trong hệ chỉ có các nút phát, ta có phương trình công suất góc của nút phát thứ i :

$$P_i = E_i^2 |Y_{ii}| \sin \alpha_{ii} + \sum_{j=1, i \neq j}^n E_i E_j |Y_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j - \alpha_{ij}); \quad i = 1, \dots, n$$

Lưu ý là ở đây cần chọn một nút phát nào đó là nút cân bằng (có góc pha được gán bằng 0) (ví dụ nút n chẳng hạn)

Ta có hệ phương trình chuyển động sau khi tuyến tính hóa:

$$\begin{aligned} T_{J1} \frac{d^2 \Delta \delta_1}{dt^2} + \frac{\partial P_1}{\partial \delta_{1n}} \Delta \delta_{1n} + \dots + \frac{\partial P_1}{\partial \delta_{n-1n}} \Delta \delta_{n-1n} &= 0 \\ \vdots & \\ \vdots & \\ T_{Jn} \frac{d^2 \Delta \delta_n}{dt^2} + \frac{\partial P_n}{\partial \delta_{1n}} \Delta \delta_{1n} + \dots + \frac{\partial P_n}{\partial \delta_{n-1n}} \Delta \delta_{n-1n} &= 0 \end{aligned} \tag{7.14}$$

Chia hai vế cho phương trình (7.14) cho T_{Ji} và sau đó trừ đi phương trình cuối:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 \Delta \delta_{1n}}{dt^2} + b_{11} \Delta \delta_{1n} + \dots + b_{1n-1} \Delta \delta_{n-1,n} &= 0 \\ \vdots & \\ \vdots & \\ \frac{d^2 \Delta \delta_{n-1n}}{dt^2} + b_{n-1} \Delta \delta_{1n} + \dots + b_{n-1n-1} \Delta \delta_{n-1,n} &= 0 \end{aligned}$$

với
$$b_{ij} = \frac{1}{T_{Ji}} \frac{\partial P_i}{\partial \delta_{jn}} - \frac{1}{T_{Jn}} \frac{\partial P_n}{\partial \delta_{jn}}$$

đặt $p = \frac{d}{dt}$, ta có phương trình đặc trưng được viết dưới dạng:

$$\begin{vmatrix} (p^2 + b_{11}) & b_{12} & \dots & b_{1n-1} \\ b_{21} & p^2 + b_{22} & \dots & b_{2n-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n-1,1} & \dots & \dots & p^2 + b_{n-1n-1} \end{vmatrix} = 0 \quad (7.15)$$

Khai triển định thức trên sẽ cho ra phương trình đặc trưng với bậc chẵn

Nếu trong phương trình chuyển động rôto có tính đến momen cản hoặc ảnh hưởng của quá độ điện từ, đa thức đặc trưng có dạng:

$$a_0 p^m + a_1 p^{m-1} + \dots + a_m = 0 \quad (7.16)$$

$$\Delta \delta(t) = A_1 e^{p_1 t} + \dots + A_m e^{p_m t}$$

p_i là nghiệm của (7.16).

Khảo sát dấu của nghiệm của đa thức (7.16) sẽ cho biết ổn định của hệ thống

Theo phương pháp xấp xỉ bậc nhất Lyapunov thì nếu tất cả các nghiệm của (7.16) đều có phần thực âm thì hệ sẽ ổn định tiệm cận; ngược lại, chỉ cần có một nghiệm có phần thực dương thì hệ sẽ không ổn định.

Với hệ nhiều máy, phương trình đặc trưng sẽ có bậc rất lớn, do đó cần những kỹ thuật riêng được sử dụng rộng rãi trên một số công trình là: thuật toán AESOPS (analysis of Essentially Spontaneous Oscillation in Power System), PEALS (Program for Eigenvalue Analysis of Large System), MAM (Modified Arnoldi method).

Thuật toán AESOPS

Thuật toán này được dựa trên cơ sở khai triển tuyến tính phương trình chuyển động:

$$T_J \frac{d\Delta\omega}{dt} = \Delta M_T - \Delta M - K_D \Delta\omega = \Delta M_T - (C\Delta\delta + K_D \Delta\omega)$$

Lấy biến đổi Laplace cho ra:

$$T_J s \Delta\omega = \Delta M_T - (C(s) \frac{\Delta\omega}{s} + K_D(s) \Delta\omega)$$

Như vậy
$$\Delta M_T = (T_J s + K_D(s) + \frac{C(s)}{s}) \Delta \omega \tag{7.17}$$

Khi biểu thức trong ngoặc của vế phải bằng 0 thì các giá trị đặc trưng (s) trị riêng làm cho ΔM_T bằng 0 và $\Delta \omega \neq 0$. Thuật toán AESOPS được sử dụng để xác định các trị riêng hệ từ biểu thức sau:

$$(T_J s + K_D(s) + \frac{C(s)}{s}) = 0 \tag{7.17a}$$

Thủ tục lặp:

ΔM_T bằng 0 được xác định theo phương pháp Newton. Từ (7.17) có:

$$\frac{\partial \Delta M_T}{\partial s} = (T_J + \frac{\partial K_D(s)}{\partial s} + \frac{1}{s} \frac{\partial C(s)}{\partial s} - \frac{C(s)}{s^2}) \Delta \omega$$

Gần tới trị riêng của hệ, từ (7.17a) có: $\frac{C(s)}{s^2} + \frac{K_D(s)}{s} = -T_J$

và nếu bỏ qua $K_D(s)$ thì $-T_J \approx C(s)/s^2$, đồng thời nếu coi hai đạo hàm riêng của K_D và C theo s là nhỏ và có thể bỏ qua thì: $\frac{\partial \Delta M_T}{\partial s} = 2T_J \Delta \omega$

và do đó tại bước lặp thứ k :

$$s_{k+1} = s_k - \frac{\Delta M_T(s)}{\frac{\partial \Delta M_T}{\partial s} \Big|_{s=s_k}} = s_k - \left(\frac{\Delta M_T(s)}{2T_J \Delta \omega} \right)_{s=s_k}$$

Nếu coi sự thay đổi tốc độ xấp xỉ là 1 thì

$$s_{k+1} = s_k - \left(\frac{\Delta M_T(s)}{2T_J} \right)_{s=s_k} \tag{7.18}$$

Với hệ nhiều máy có thể đề xuất khái niệm momen quán tính tương đương:

$$T_{Je} = \sum_{i=1}^N T_{Ji} |\Delta \omega|^2$$

với N là số máy phát trong hệ.

Khi đó (7.18) trở thành: $s_{k+1} = s_k - \left(\frac{\Delta M_T(s)}{2T_{Je}} \right)_{s=s_k}$

Việc áp dụng thuật toán AESOPS đòi hỏi phải tính toán momen cần thiết để giữ sự thay đổi tốc độ của máy phát quan tâm gần tới 1 (hệ đơn vị tương đối)

7.2.3 Một vài tiêu chuẩn khảo sát dấu của (7.16)

1- Tiêu chuẩn Hurwitz

Ta thành lập ma trận Hurwitz:

$$\begin{array}{ccccc|c}
 a_1 & a_3 & a_5 \dots 0 & 0 & 0 & \\
 a_0 & a_2 & a_4 \dots 0 & 0 & 0 & \\
 0 & a_1 & a_3 \dots 0 & 0 & 0 & \\
 0 & a_0 & a_2 \dots 0 & 0 & 0 & \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \\
 0 & 0 & 0 \dots 0 & a_{m-1} & 0 & \\
 0 & 0 & 0 \dots 0 & a_{m-2} & a_m &
 \end{array} \quad (7.19)$$

Các định thức Hurwitz:

$$\Delta_1 = a_1; \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix}; \quad \Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix}$$

Tiêu chuẩn Hurwitz được phát biểu là: Hệ thống sẽ ổn định nếu tất cả các hệ số của phương trình đặc trưng và các định thức Hurwitz đều dương (luôn quy ước là $a_0 > 0$). Việc đảm bảo dấu dương của các định thức Hurwitz đồng nghĩa với việc các nghiệm của đa thức đặc trưng đều có phần thực âm.

Tiêu chuẩn Hurwitz áp dụng rất tốt cho phương trình đặc trưng có bậc thấp.

2- Tiêu chuẩn Rauss

Tiêu chuẩn Rauss tiện lợi hơn cho các phương trình có bậc cao hơn (≤ 7)

Bảng Rauss (bảng 7.1) được thành lập với $(m+1)$ cột. Ở hàng đầu là các hệ số với chỉ số chẵn của đa thức đặc trưng. Các phần tử của cột thứ hai - chỉ số lẻ. Còn các phần tử của các hàng tiếp theo được tính như sau:

$$C_{ki} = \frac{C_{1,i-1}C_{k+i,i-2} - C_{1,i-2}C_{k+1,i-1}}{C_{1,i-1}} = C_{k+1,i-2} - \lambda_{i-2}C_{k+1,i-1} \quad (7.20)$$

$$\lambda_{i-2} = \frac{C_{1,i-2}}{C_{1,i-1}}, i \geq 3$$

với: k - số thứ tự cột; i - số thứ tự hàng.

Yêu cầu ổn định theo Rauss là: Để hệ thống ổn định thì điều kiện cần và đủ sao cho các hệ số cột đầu tiên phải dương.

Số lần đổi dấu trong cột đầu tiên thích ứng với số nghiệm của đa thức đặc trưng nằm ở bên nửa mặt phẳng phải (có phần thực dương).

Bảng 7.1

Hàng	λ_{i-2}	cột 1	cột 2	cột 3
1		$C_{11} = a_0$	$C_{21} = a_2$	$C_{31} = a_4$
2		$C_{12} = a_1$	$C_{22} = a_3$	$C_{32} = a_5$
3	$\lambda_1 = a_0/a_1$	$C_{13} = a_2 - \lambda_1 a_3$	$C_{23} = a_4 - \lambda_1 a_5$
4	$\lambda_2 = a_1/C_{13}$	$C_{14} = a_3 - \lambda_2 C_{23}$	$C_{24} = a_5 - \lambda_2 C_{33}$

c) Tiêu chuẩn Mikhailov

Có thể viết đa thức đặc trưng dưới dạng sau:

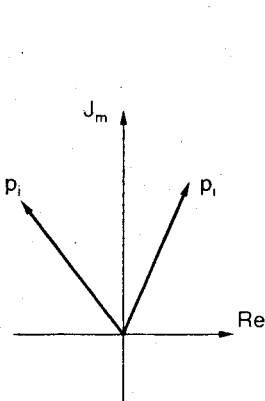
$$D(p) = a_0(p - p_1)(p - p_2)...(p - p_m) \tag{7.21}$$

với p_i là nghiệm của $D(p) = 0$.

Mỗi nghiệm này thích ứng với một điểm trên mặt phẳng phức (H.7.11).

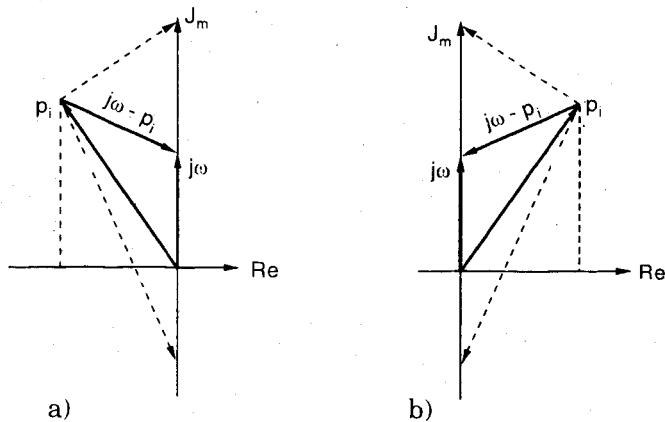
Như vậy $p - p_i$ là hiệu của hai vectơ p và p_i . Nếu đặt $p = j\omega$ thì đuôi của vectơ $p - p_i$ sẽ nằm trên trục ảo (H.7.12).

Khi ω biến thiên từ $-\infty$ tới $+\infty$ thì $p - p_i$ sẽ quét một góc $+\pi$ (nếu p_i có phần thực âm) và $-\pi$ nếu p_i có phần thực dương.



Hình 7.11

Nghiệm p_i của đa thức



Hình 7.12

Hiệu $(p - p_i)$ trên mặt phẳng phức khi ω biến thiên
a) p_i có phần thực âm; b) p_i có phần thực dương

Nếu mọi nghiệm của đa thức đặc trưng đều nằm bên trái mặt phẳng phức thì:

$$\begin{aligned} \Delta \arg D(j\omega) &= m\pi \\ -\infty \leq \omega \leq \infty \end{aligned} \tag{7.22}$$

Nếu tồn tại k nghiệm nằm bên phải mặt phẳng phức thì:

$$\begin{aligned} \Delta \arg D(j\omega) &= (m - k)\pi - k\pi = (m - 2k)\pi \\ -\infty \leq \omega \leq \infty \end{aligned}$$

Để cho hệ ổn định cần thiết phải thực thi điều kiện (7.22)

Việc xây dựng họa đồ $D(j\omega)$ được tính toán nhờ trợ giúp của máy tính và rất tiện dụng cho phương trình đặc trưng bậc cao.

Ví dụ 7.4. Cho hệ thống điện đơn giản: $E_q = 2,01$; $X_\Sigma = X_d + X_{dây} = 1,1$; $T_J = 8s$

Máy phát đang phát công suất $P = 1$

Khảo sát đặc tính ổn định tại điểm vận hành

Công suất phát là bao nhiêu sẽ thay đổi đặc tính chuyển động giả sử $K_D = 30$.

Giải. Có phương trình sau ở chế độ xác lập: $P_{max} = 1,83$

$$P_{max} \sin \delta_o = 1 = 1,83 \sin \delta_o \Rightarrow \delta_o = 0,578 \text{ rad}$$

$$C = P_{max} \cos \delta_o = 1,53$$

Phương trình chuyển động rôto với hằng số thời gian và thời gian thể hiện là giây được viết như sau:

$$T_J d^2 \delta / dt^2 = \omega_o (P_T - P) - K_D (d\delta / dt) \text{ với } K_D = \frac{K_D}{\omega_o} = 0,096$$

$$\text{Đa thức đặc trưng là: } T_J p^2 + K_D p + \omega_o C = 0$$

$$\text{Nghiệm của đa thức là: } p_{1,2} = -\frac{K_D}{2T_J} \mp \sqrt{-\frac{\omega_o C}{T_J} + \left(\frac{K_D}{2T_J}\right)^2}$$

Tại điểm vận hành có nghiệm là: $-0,006 \mp j7,75 \text{ (rad/s)}$. Như vậy hệ là ổn định và có dạng dao động tắt dần.

Điểm thay đổi đặc tính chuyển động (từ chu kỳ sang phi chu kỳ) tương ứng với:

$$\frac{\omega_o C}{T_J} = \left(\frac{K_D}{2T_J}\right)^2$$

Giá trị C này tương ứng với góc δ gần tới 90°

Do vậy công suất phát sẽ là: $P = P_{max} \sin \delta \approx 1,83$

Ví dụ 7.5. Cho máy phát với $X_d = 1,2$ nối vào hệ vô cùng lớn với điện áp có modul và góc pha là $1\angle 0^\circ$ qua biến thế và đường dây với $X_\Sigma = 0,6$. Điện áp máy phát khi không tải là $1,2$ và $T_J / \omega_o = 0,025 \text{ s}^2 / \text{rad}$. Tính tần số dao động tự nhiên nếu máy phát chất tải 50%, 80% công suất của giới hạn truyền.

Giải

a) *Khi tải công suất 50% công suất max:* Có $E_q = 1,2$; $U = 1$

Góc δ_o ứng với công suất này là: $\sin \delta_o = \frac{P_T}{P_{max}} = 0,5 \Rightarrow \delta_o = 30^\circ$

$$\text{Do đó: } \left. \frac{\partial P}{\partial \delta} \right|_{\delta_o=30^\circ} = \frac{1,2 \times 1}{1,2 + 0,6} \cos \delta_o = 0,577$$

Nghiệm của phương trình đặc trưng là:

$$p = \pm j \sqrt{\frac{0,577}{T_J}} = 4,76 \text{ rad/s} = 0,758 \text{ Hz}$$

b) *Khi tải công suất 80%:* $\delta_o = 53,1^\circ$ và $\left. \frac{\partial P}{\partial \delta} \right|_{\delta_o=53,1^\circ} = 0,4$

$$p = \pm j 3,96 \Rightarrow \text{tần số dao động là } 0,63 \text{ Hz}$$

Ví dụ 7.6. Kiểm tra ổn định và xác định số nghiệm nằm bên phải mặt phẳng phức của hệ thống điện có phương trình đặc trưng là:

$$D(p) = p^5 + 6p^4 + 10p^3 + 5p + 8 = 0$$

Giải. Áp dụng tiêu chuẩn Rauss bằng cách lập bảng:

Hàng	λ_{i-2}	1	2	3	4
1	-	$C_{11} = 1$	$C_{21} = 10$	$C_{31} = 5$	0
2	-	$C_{12} = 6$	$C_{22} = 0$	$C_{32} = 8$	0
3	$\lambda_1 = 1/6$	$C_{13} = 10$	$C_{23} = 22/6$	$C_{33} = 0$	0
4	$\lambda_2 = 6/10$	$C_{14} = -22/10$	$C_{24} = 8$	$C_{34} = 0$	0
5	$\lambda_3 = -100/22$	$C_{15} = 40,03$	$C_{25} = 0$	0	0
6	$\lambda_4 = -0,05$	$C_{16} = 8$	0	0	0

Như vậy hệ không ổn định và có 1 nghiệm nằm bên phải mặt phẳng phức

Ví dụ 7.7. Cho hệ thống đơn giản

Phân tích ổn định của hệ bằng tiêu chuẩn Mikhailov nếu tính đến quá trình quá độ điện từ trong cuộn kích của máy phát, biết rằng $T_{do} = 5s$; $T_J = 17s$; $x_d = 0,7$; $x'_d = 0,3$; $x_{d\dot{y}} = 0,5$. Máy phát đang có công suất 0,9 ứng với $E_q = 1,27$

Giải. Quá trình quá độ điện từ được biểu diễn: $E_{qe} = E_q + T_{do} \frac{d}{dt} E'_q$

với E_{qe} là sức điện động cường bức.

Phương trình mô tả quá trình quá độ là: $T_J p^2 \delta = P_T - P$

$$E_{qe} = E_q + T_{do} p E'_q$$

Để góc được thể hiện là rad, thời gian và các hằng số thời gian ở giây, thì trong phương trình chuyển động rôto, T_J cần được chia cho ω_0 :

$$T_J = \frac{1}{2\pi f} T_J = \frac{17}{314} = 0,054$$

Tuyến tính hóa hệ trên theo E_q và δ ta có:

$$\begin{cases} T_J p^2 \Delta\delta + \left(\frac{\partial P}{\partial \delta}\right) \Delta\delta + \left(\frac{\partial P}{\partial E_q}\right) \Delta E_q = 0 \\ T_{do} p \left(\frac{\partial E'_q}{\partial \delta}\right) \Delta\delta + \Delta E_q + T_{do} p \left(\frac{\partial E'_q}{\partial E_q}\right) \Delta E_q = 0 \end{cases}$$

có
$$\frac{\partial E'_q}{\partial E_q} = \frac{x'_d \Sigma}{x_d \Sigma} = \frac{0,3 + 0,5}{0,7 + 0,5} = 0,67$$

Hệ phương trình được viết lại như sau:

$$\begin{vmatrix} T_J p^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial \delta}\right) & \left(\frac{\partial P}{\partial E_q}\right) \\ T_{do} p \left(\frac{\partial E'_q}{\partial \delta}\right) & 1 + T_{do} p \left(\frac{\partial E'_q}{\partial E_q}\right) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \Delta\delta \\ \Delta E_q \end{vmatrix} = 0$$

1- Xác định công suất max và góc ban đầu:

$$P_{\max} = \frac{E_q U}{X_{d\Sigma}} = \frac{1,27.1}{1,2} = 1,06; \quad \delta_o = 58^\circ$$

2- Xác định các hệ số của phương trình đặc trưng:

$$\frac{\partial P}{\partial \delta} = \frac{E_q U}{X_{d\Sigma}} \cos \delta_o = 0,56$$

$$\frac{\partial P}{\partial E_q} = \frac{U}{X_{d\Sigma}} \sin \delta_o = 0,71$$

Mối quan hệ giữa E'_q và E_q , δ như sau:

$$E'_q = E_q \frac{x'_{d\Sigma}}{x_{d\Sigma}} + U \frac{x_d - x'_d}{x_{d\Sigma}} \cos \delta$$

Do đó:
$$\frac{\partial E'_q}{\partial \delta} = -U \frac{x_d - x'_d}{x_{d\Sigma}} \sin \delta = -0,28$$

Thay thế vào ma trận trên và lấy định thức, ta có:

$$0,181p^3 + 0,036p^2 + 2,87p + 0,375 = 0$$

Tách ra phần thực và ảo: $U(\omega) = 0,375 - 0,036\omega^2$

$$V(\omega) = 2,87\omega - 0,181\omega^3$$

Thay đổi ω có:

ω	0	2	3	3,5	4	5	∞
$U(\omega)$	0,375	0,231	0,051	-0,066	-0,021	-0,525	$-\infty$
$V(\omega)$	0	4,292	3,723	2,284	-0,014	-8,275	$-\infty$

Như vậy $\Delta \arg D(j\omega) = 3 \frac{\pi}{2}$ khi ω thay đổi từ $0 \rightarrow \infty$. Vậy hệ ổn định.

Ví dụ 7.8. Cho hệ sau: $f = 60\text{Hz}$

Máy phát: $U_F = 1 \angle 36^\circ$; $x'_d = 0,3$; $P = 0,9$; $Q = 0,3$; $K_D = 10$; $T_J = 7s$

Hệ thống: $U = 0,995 \angle 0^\circ$

Biến thế: $X_T = 0,15$

Đường dây: $x = 0,5$

Khảo sát hành vi của hệ nếu cho một nhiễu nhỏ tương ứng với $\Delta \delta = 0,0873$.

Giải. Dòng điện của máy phát là (nếu lấy điện áp thanh cái máy phát làm chuẩn):

$$\dot{I} = \frac{0,9 - j0,3}{1} = 0,9 - j0,3$$

Sức điện động quá độ là: $\dot{E}' = U_F + jX'_d \dot{I} = 1,123 \angle 49,92^\circ$

Hệ số đồng bộ: $C = \frac{E' U}{X_\Sigma} \cos \delta_o = \frac{1,123 \times 0,995}{0,3 + 0,15 + 0,5} \cos 49,92^\circ = 0,757$

Hệ phương trình chuyển động rôto lưu ý là ở đây $\Delta\omega = \frac{\Delta\omega \text{ rad/s}}{\omega_o \text{ rad/s}}$:

$$\frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{1}{T_J} (M_T - M - K_D \Delta\omega); \quad \frac{d\delta}{dt} = \omega_o \Delta\omega$$

Tuyến tính hóa hệ trên:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \Delta\omega \\ \Delta\delta \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -\frac{K_D}{T_J} & -\frac{C}{T_J} \\ \omega_o & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\omega \\ \Delta\delta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \frac{\Delta M_T}{T_J} \\ &= \begin{bmatrix} -0,143K_D - \lambda & -0,108 \\ 377 & -\lambda \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\omega \\ \Delta\delta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,143 \\ 0 \end{bmatrix} \Delta M_T \end{aligned}$$

Các trị riêng của ma trận:

$$\begin{vmatrix} -0,143K_D - \lambda & -0,108 \\ 377 & -\lambda \end{vmatrix} = 0 \Leftrightarrow \lambda^2 + 0,143K_D\lambda + 40,79 = 0$$

Trị riêng là: $\lambda_1, \lambda_2 = -0,714 \pm j6,35$

Tần số cản: $\omega_d = 40,79 \sqrt{1 - \frac{(0,143K_D)^2}{4 \cdot 40,79}} \text{ rad/s} = 1,0101 \text{ Hz}$

Vectơ riêng bên phải: $(A - \lambda I)\Phi = 0$

hay:
$$\begin{bmatrix} -1,43 - \lambda_i & -0,108 \\ 377 & -\lambda_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Phi_{1i} \\ \Phi_{2i} \end{bmatrix} = 0$$

Đặt giá trị $\lambda_1 = -0,714 + j6,35$:

có:
$$\begin{aligned} (0,714 + j0,635)\Phi_{11} - 0,108\Phi_{21} &= 0 \\ \Rightarrow 377\Phi_{11} + (0,714 - j6,35)\Phi_{21} &= 0 \end{aligned}$$

Kết quả là: $\Phi_{21} = 1; \Phi_{11} = -0,0019 + j0,0168$

Tương tự cho $\lambda_2 = -0,714 - j6,35$ sẽ cho ra:

$$\Phi_{22} = 1; \Phi_{12} = -0,0019 - j0,0168$$

Ma trận modul phải là:
$$\Phi = \begin{bmatrix} -0,0019 + j0,0168 & -0,0019 - j0,0168 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Ma trận modul trái:
$$\Psi = \Phi^{-1} = \begin{bmatrix} -j29,76 & 0,5 - j0,056 \\ j29,76 & 0,5 + j0,056 \end{bmatrix}$$

với $\Delta\delta(0) = 0,0873; \Delta\omega(0) = 0$

$$\begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Psi_{11} & \Psi_{12} \\ \Psi_{21} & \Psi_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\omega(0) \\ \Delta\delta(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,0436 - j0,0049 \\ 0,0436 + j0,0049 \end{bmatrix}$$

Như vậy sự thay đổi tốc độ và góc theo thời gian sẽ là:

$$\Delta\omega(t) = \Phi_{11}c_1e^{\lambda_1 t} + \Phi_{12}c_2e^{\lambda_2 t} = -0,0015e^{-0,714t} \sin(6,35t)$$

$$\Delta\delta(t) = 0,08e^{-0,714t} \cos(6,35t - 0,0112) \text{ rad}$$

Như vậy khi có nhiễu nhỏ, tốc độ và góc quay của hệ sẽ tắt dần theo thời gian dưới dạng chu kỳ.

ỔN ĐỊNH ĐỘNG

Các nhiễu lớn trong hệ thống điện thường xảy ra là: ngắn mạch, đóng cắt các phần tử trong lưới điện, tăng giảm tải đột ngột. Hệ thống điện khi ấy cần phải chuyển từ chế độ xác lập ban đầu sang một chế độ xác lập mới (chuyển từ điểm cân bằng này sang điểm cân bằng khác). Trong khảo sát ổn định động thường sử dụng (7.4a).

8.1 PHƯƠNG PHÁP ĐIỆN TÍCH

Xét hệ thống điện đơn giản với phương trình chuyển động rôto:

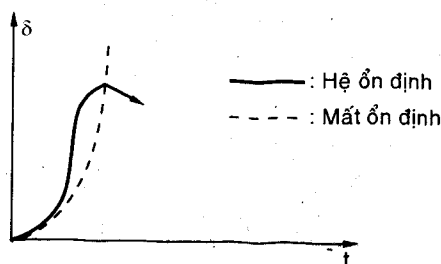
$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{1}{T_J} (P_T - P) = \frac{P_a}{T_J} \quad (8.1)$$

với P_a được gọi là công suất tăng tốc.

Nhân hai vế phương trình trên với $2(d\delta/dt)$ và lấy tích phân sẽ cho ra:

$$\frac{d\delta}{dt} = \left(\frac{2}{T_J} \int_{\delta_0}^{\delta} P_a d\delta \right)^{1/2}$$

Hệ thống sẽ ổn định nếu tại một thời điểm nào có $d\delta/dt = 0$ và mất ổn định nếu $d\delta/dt > 0$ trong một khoảng thời gian đủ lớn (H.8.1):



Hình 8.1: Thay đổi góc theo thời gian

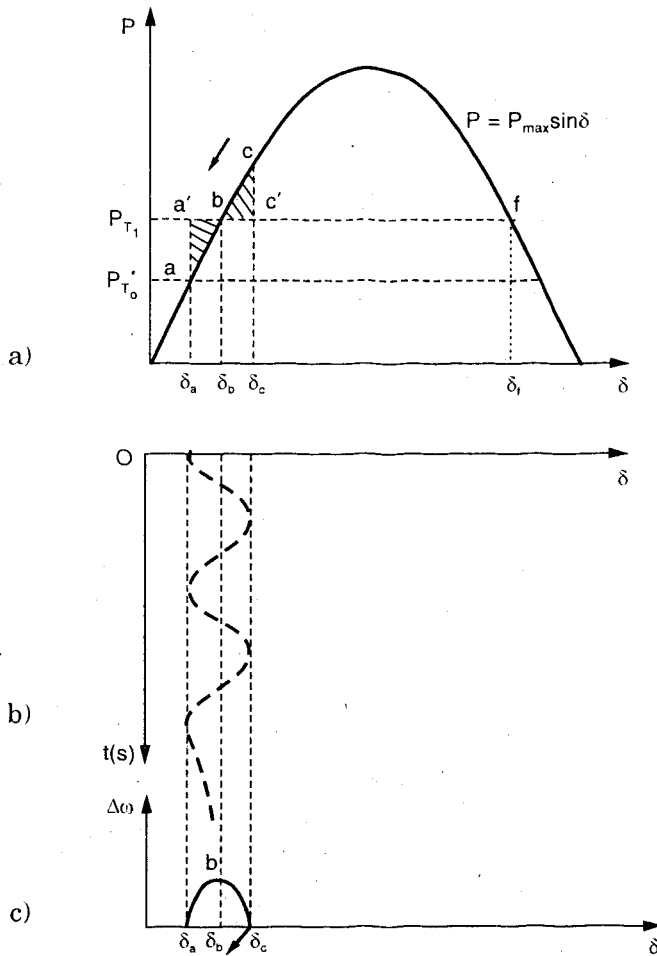
Như vậy hai điều kiện sau là tương đương:

$$\frac{d\delta}{dt} = 0 \Leftrightarrow \int_{\delta_0}^{\delta} P_a d\delta \quad (8.1a)$$

Hệ thống ổn định nếu diện tích dưới P_a giảm tới 0 tại một giá trị nào đó của δ (hay diện tích tăng tốc phải bằng diện tích hãm tốc) nghĩa là phần diện tích dương bằng phần diện tích âm.

Sau đây sẽ khảo sát một vài áp dụng của tiêu chuẩn diện tích

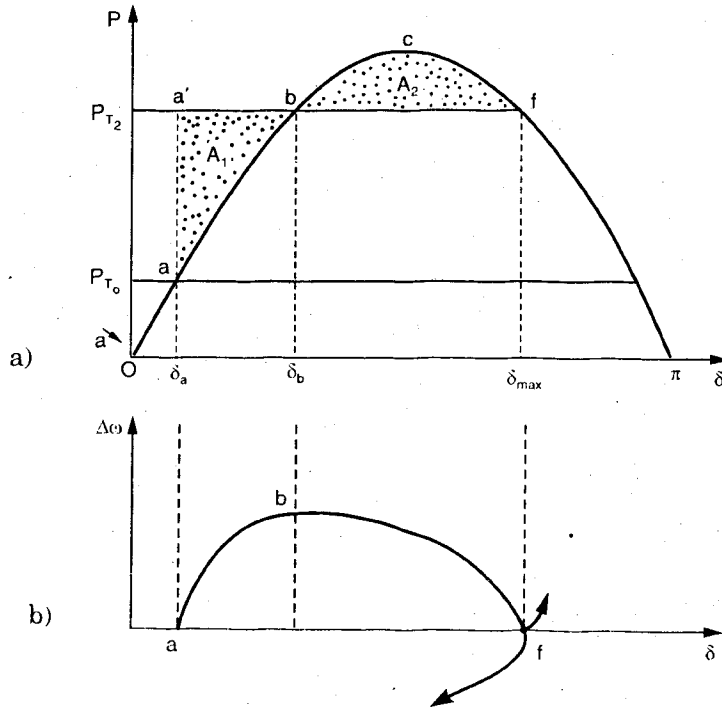
8.1.1 Tăng công suất cơ đột ngột trên máy phát



Hình 8.2: Diện tích tăng tốc và hãm tốc khi có ổn định

Xét công suất cơ tăng đột ngột từ P_{T0} tới P_{T1} (H.8.2):

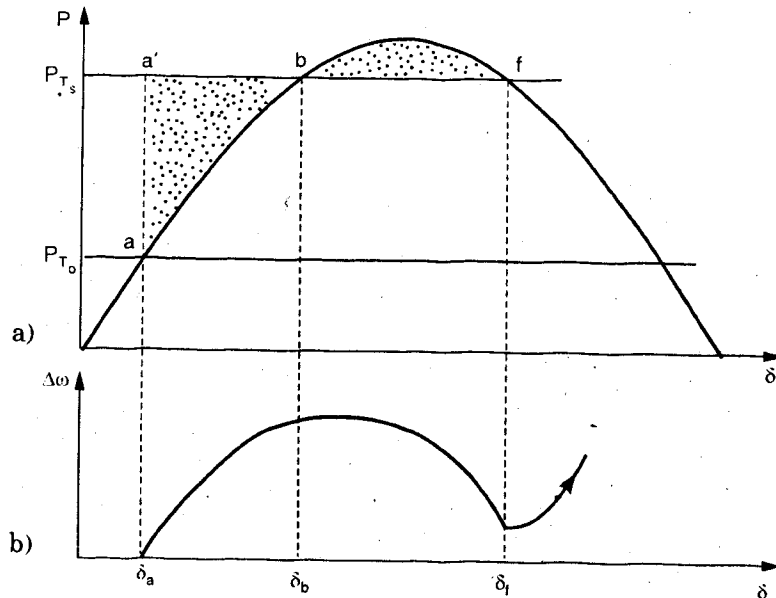
Tại điểm a do $P_{T1} - P > 0$ nên rôto tăng tốc và tốc độ ω lớn hơn tốc độ đồng bộ. Tại điểm b tuy có sự cân bằng công suất, tuy nhiên do $\omega > \omega_0$ nên góc tiếp tục tăng. Sau điểm b thì $P_a < 0$ và bắt đầu quá trình hãm tốc. Tại c, khi toàn bộ động năng tích lũy trong quá trình tăng tốc đã tiêu tán hết thì tốc độ bằng đồng bộ: $S_{aab} = S_{bcc}$. Do tại c không có sự cân bằng công suất nên máy phát tiếp tục giảm tốc ($\Delta\omega < 0$) (H.8.2c), hay góc δ bắt đầu giảm (quĩ đạo theo mũi tên trên hình 8.2). Sau một vài dao động, do ma sát, góc sẽ đạt giá trị δ_b và máy phát làm việc ở điểm cân bằng mới là điểm b (H.8.3b).



Hình 8.3: Diện tích tăng tốc và giảm tốc trường hợp giới hạn ổn định

Nếu tăng công suất cơ tới giá trị P_{T2} sao cho $S_{tt} = S_{htmax}$ (tức S_{bef}) như trên hình 8.3: thì tại f , do diện tích tăng tốc S_{tt} bằng với diện tích hãm tốc S_{HT} (S_{bef}) nên $\omega = \omega_0$ và do đó có sự cân bằng công suất nên điểm f sẽ là điểm làm việc mới. Tuy nhiên như đã khẳng định ở chương 7, f là điểm làm việc không ổn định. Chỉ cần có nhiễu nhỏ tác động là δ sẽ thay đổi và không quay về trị ban đầu là δ_f . Trường hợp này là ranh giới ổn định.

Nếu trên hình 8.2 ký hiệu S_{bef} là diện tích hãm tốc lớn nhất có thể S_{htmax} thì khi $S_{tt} < S_{htmax}$ sẽ có ổn định. Ở trường hợp tương ứng với hình 8.3 ta có: $S_{tt} = S_{htmax}$



Hình 8.4: $S_{tt} > S_{htmax}$ trường hợp mất ổn định

Nếu giả sử công suất cơ tăng tới P_{T3} sao cho: $S_{tt} > S_{htmax}$ (H.8.4a), khi đó tại f , do năng lượng tích lũy trong quá trình tăng tốc vẫn chưa tiêu tán hết nên ω_0 vẫn lớn hơn ω và quỹ đạo theo mũi tên (H.8.4b).

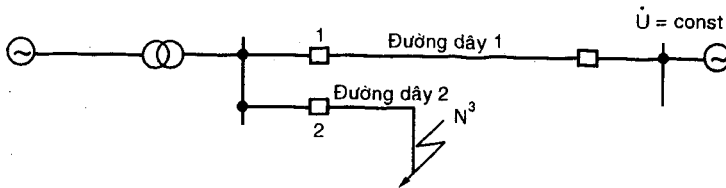
Khi đó $P < P_{T3}$ nên rôto tiếp tục tăng tốc và hệ mất ổn định

Vậy điều kiện ổn định là:

$$S_{tt} = S_{ht}$$

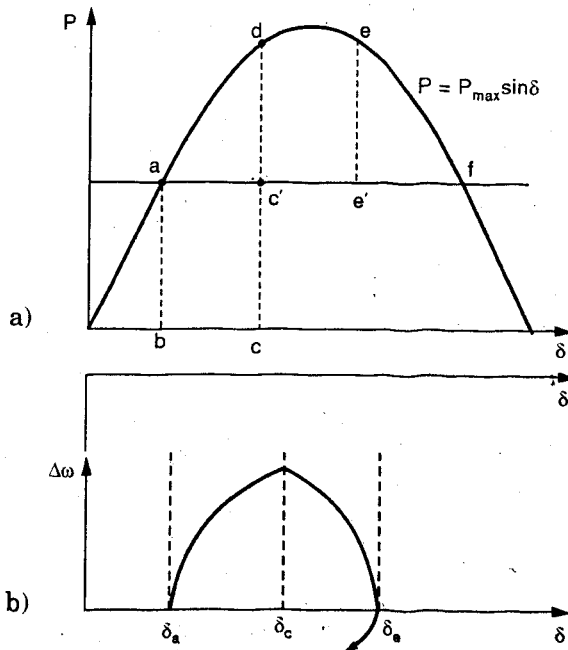
8.1.2 Ảnh hưởng thời gian cắt ngắn mạch

Xét hệ thống điện hình 8.5:



Hình 8.5: Sơ đồ cho khảo sát ảnh hưởng thời gian cắt ngắn mạch của máy cắt 2

Giả sử trước khi xảy ra ngắn mạch ba pha thì đường dây 2 đang ở tình trạng không tải và đường đặc tính công suất góc tương ứng trên hình 8.6a. Ngắn mạch ba pha xảy ra đầu đường dây 2 nên có thể coi công suất điện từ giảm tới giá trị 0 (điểm b trên hình 8.6) và rôto bắt đầu tăng tốc. Tại c, máy cắt tác động cắt ngắn mạch và tại điểm d đường đặc tính công suất góc trở lại như trước khi có ngắn mạch. Tuy nhiên, tại d tốc độ của máy phát vẫn lớn hơn đồng bộ nên δ tiếp tục tăng. Song do $P_a < 0$ nên rôto bắt đầu quá trình hãm tốc (H.8.6b). Tại e, động năng tích lũy trong quá trình hãm tốc đã tiêu tán hết: $S_{tt} = S_{ht}$ và $\omega = \omega_0$. Tuy nhiên ở đây chưa có sự cân bằng công suất và $P_a < 0$ nên tốc độ tiếp tục giảm, δ giảm và trở về điểm a.



Hình 8.6: Ngắn mạch ba pha đầu đường dây 2

Nếu giả sử cắt tại góc δ_{cgh} (góc cắt giới hạn) sao cho: $S_{tt} = S_{htmax}$ (H.8.7) thì lập luận tương tự mục 1 sẽ cho ra tình trạng ranh giới ổn định. Nếu cắt trễ hơn nữa (ứng với góc cắt lớn hơn δ_{cgh}) thì hệ sẽ mất ổn định. Xác định δ_{cgh} có thể từ phương trình sau:

$$\int_{\delta_a}^{\delta_{cgh}} (P_T - P) d\delta = \int_{\delta_{cgh}}^{\delta_f} (P - P_T) d\delta$$

Lưu ý là $\delta_f = \pi - \delta_a$ và thường được ký hiệu là δ_{max} và trong khoảng từ δ_a đến δ_{cgh} thì $P = 0$ nên:

$$\begin{aligned} \cos \delta_{cgh} &= \frac{P_T}{P_{max}} (\delta_f - \delta_a) + \cos \delta_f \\ \delta_{cgh} &= \arccos[(\pi - 2\delta_a) \sin \delta_a - \cos \delta_a] \end{aligned} \quad (8.2)$$

8.1.3 Cắt một đường dây trong hai đường dây vận hành song song

Ở chế độ ban đầu, khi hai đường dây vận hành song song, phương trình công suất góc là:

$$P^I = \frac{E'U}{X'_d + \frac{X_{L1}X_{L2}}{X_{L1} + X_{L2}}} \sin \delta = P_{Max}^I \sin \delta$$

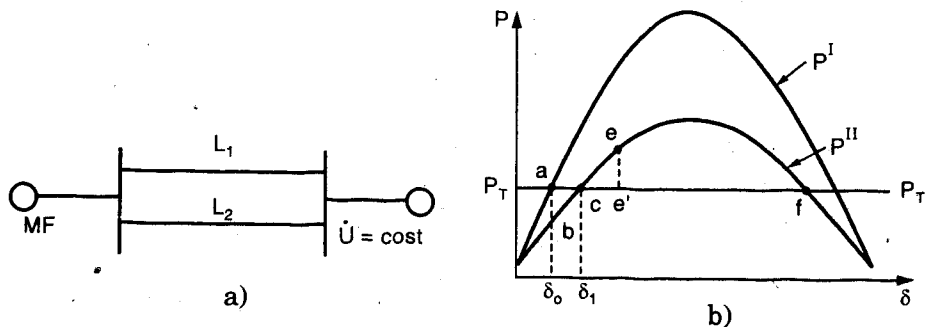
với: X'_d, E' - điện kháng và sức điện động quá độ của máy phát

X_{L1}, X_{L2} - điện kháng của đường dây 1 và 2.

Sau khi cắt một đường dây (ví dụ, số 2), đặc tuyến công suất góc là:

$$P^{II} = \frac{E'U}{X'_d + X_{L1}} \sin \delta = P_{max}^{II} \sin \delta$$

Đường cong công suất góc được thể hiện trên hình 8.8.



Hình 8.8: Cắt một đường dây trong hai đường dây vận hành song song

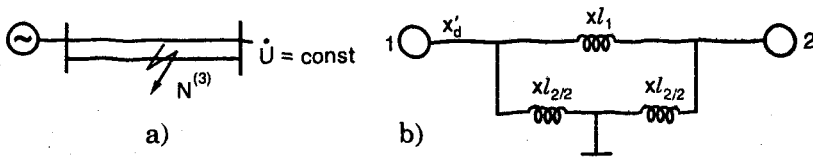
Tại điểm b do có công suất cơ lớn hơn công suất điện từ nên rôto bắt đầu quá trình tăng tốc. Tại điểm e có diện tích tăng tốc bằng với diện tích hãm tốc ($A_2 = A_1$) và $\omega = \omega_0$. Tuy nhiên do công suất điện từ lớn hơn công suất cơ nên tiếp tục giảm tốc, δ giảm và trở về trị δ_1 (tương ứng với điểm c)

Nếu điểm e trùng với điểm f, ta có trường hợp giới hạn ổn định và góc tại f là:

$$\delta_f = \delta_{\max} = \pi - \delta_1$$

8.1.4 Ngắn mạch trên một trong hai dây vận hành song song

Giả sử ngắn mạch ba pha giữa đường dây (H.8.9a), sơ đồ thay thế và được cho trên hình 8.9b.



Hình 8.9: Ngắn mạch trên một trong hai đường dây vận hành song song (vị trí ngắn mạch ở giữa đường dây)

Trong sơ đồ trên, x_{l1} , x_{l2} là điện kháng của mỗi đường dây

Ma trận tổng dẫn là:

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{x'_d} & 0 & \frac{1}{x'_d} \\ 0 & -\left(\frac{1}{x_{l2}/2} + \frac{1}{x_{l1}}\right) & \frac{1}{x_{l1}} \\ \frac{1}{x'_d} & \frac{1}{x_{l1}} & -\left(\frac{1}{x'_d} + \frac{1}{x_{l2}/2} + \frac{1}{x_{l1}}\right) \end{bmatrix}$$

Khử nút ③ cho ra tổng dẫn mới Y_{new} được tính từ tổng dẫn cũ Y_{old} :

$$Y_{12new} = Y_{12old} - \frac{Y_{13}Y_{32}}{Y_{33}} = 0 - j \frac{\frac{1}{x'_d} \cdot \frac{1}{x_{l1}}}{-\left(\frac{1}{x'_d} + \frac{1}{x_{l2}} + \frac{1}{x_{l1}}\right)} = -j \frac{\frac{x_{l2}}{2}}{\frac{x_{l2}}{2} \cdot x_{l1} + x'_d \cdot x_{l1} + x'_d \frac{x_{l2}}{2}}$$

Do vậy: $X_{12}^{II} = j(x_{l1} + x'_d + \frac{x'_d x_{l1}}{x_{l2}/2})$ (điện kháng tương hỗ trong khi có sự cố)

Có thể dùng biến đổi Y- Δ áp dụng để cho ra kết quả trên

Đặc tuyến công suất trước sự cố:

$$P^I = \frac{E'U}{X_{12}} \sin \delta = P_{\max}^I \sin \delta = \frac{E'U}{x'_d + \frac{x_{l1} \cdot x_{l2}}{x_{l1} + x_{l2}}} \cdot \sin \delta$$

Trong khi có sự cố, công suất điện từ được tính:

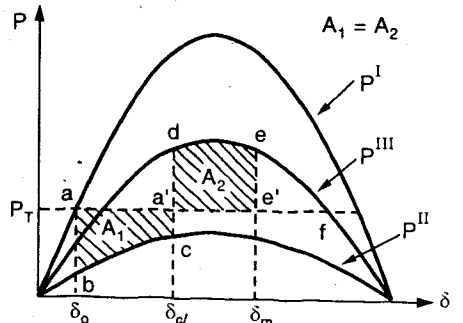
$$P^{II} = \frac{E'U}{X_{12}^{II}} \sin \delta = P_{\max}^{II} \sin \delta$$

Sau khi cắt sự cố (thời điểm ứng với δ_c), hệ thống còn một đường dây vận hành:

$$P^{III} = \frac{E'U}{x'_d + x_{l1}} \sin \delta = P_{\max}^{III} \sin \delta$$

Diện tích tăng tốc $S_{abcc'}$ bằng diện tích hãm tốc $S_{c'dee'}$ tại e, nhưng do công suất điện từ lớn hơn công suất tuabin nên tốc độ giảm dưới tốc độ đồng bộ, góc δ giảm và quỹ đạo trở về phía điểm g (H.8.10).

Nếu điểm e trùng với f thì ta có giới hạn ổn định. Nếu cho tới tận điểm f mà vẫn chưa có cân bằng diện tích tăng tốc và diện tích hãm tốc thì sẽ không có ổn định. Để xác định góc cắt giới hạn (δ_{cgh}) tiêu chuẩn diện tích được áp dụng:



Hình 8.10: Đường cong công suất góc khi ngắn mạch ở giữa một trong hai dây vận hành song song

$$\int_{\delta_o}^{\delta_{cgh}} (P_T - P_{\max}^{II} \sin \delta) d\delta = \int_{\delta_{cgh}}^{\delta_f} (P_{\max}^{III} \sin \delta - P_T) d\delta$$

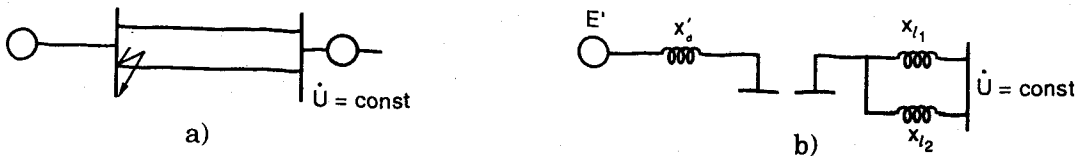
$$\Rightarrow P_T \delta \Big|_{\delta_o}^{\delta_{cgh}} + P_{\max}^{II} \cos \delta \Big|_{\delta_o}^{\delta_{cgh}} + P_{\max}^{III} \cos \delta \Big|_{\delta_{cgh}}^{\delta_f} + P_T \delta \Big|_{\delta_{cgh}}^{\delta_f} = 0$$

$$\Rightarrow \cos \delta_{cgh} = \frac{P_T(\delta_f - \delta_o) - P_{\max}^{II} \cos \delta_o + P_{\max}^{III} \cos \delta_f}{P_{\max}^{III} - P_{\max}^{II}} \tag{8.3}$$

Nếu góc thể hiện ở độ điện thì:

$$\Rightarrow \cos \delta_{cgh} = \frac{\frac{\pi}{180} P_T(\delta_f - \delta_o) - P_{\max}^{II} \cos \delta_o + P_{\max}^{III} \cos \delta_f}{P_{\max}^{III} - P_{\max}^{II}} \tag{8.4}$$

Xét trường hợp khi ngắn mạch ba pha xảy ra ở đầu một trong hai đường dây (H.8.11a) và sơ đồ tương đương được biểu diễn trên hình 8.11b.



Hình 8.11: Sơ đồ tương đương khi có ngắn mạch ba pha đầu một trong hai dây vận hành song song

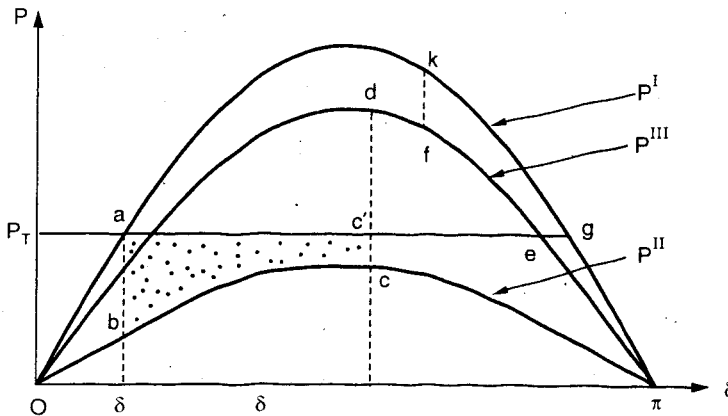
Như vậy khi có ngắn mạch, công suất truyền vào hệ là 0 và do đó công thức xác định góc cắt giới hạn là:

$$\Rightarrow \cos \delta_{cgh} = \frac{P_T(\delta_f - \delta_o) + P_{\max}^{III} \cos \delta_f}{P_{\max}^{III}}$$

Ta nhận thấy là công thức trên trùng với (8.2)

8.1.5 Ảnh hưởng của tự đóng lại

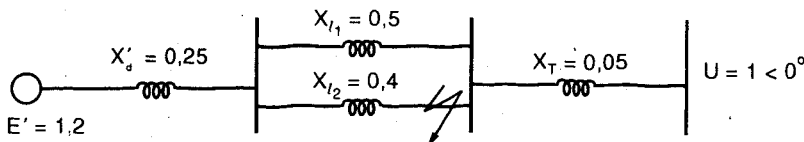
Xét ví dụ như ở trường hợp có ngắn mạch một pha trên một trong dây vận hành song song. Trong khi có ngắn mạch, công suất điện từ là P^{II} và sau khi có ngắn mạch là P^{III} . Giả sử rằng do cắt trễ nên $S_{abcc'} > S_{dec}$ (H.8.12). Như vậy hệ sẽ mất ổn định. Nếu có trang bị tự đóng lại thì ở điểm f sẽ phục hồi lại P^I (tại điểm K trên đường P^I).



Hình 8.12: Ảnh hưởng của tự đóng lại

Kết quả là diện tích hãm tốc max tăng lên và $S_{c'dfkg} > S_{abcc'}$. Khi đó hệ sẽ ổn định.

Ví dụ 8.1. Cho hệ có sơ đồ thay thế như hình 8.13.



Hình 8.13: Sơ đồ ví dụ 8.1

Trước sự cố $N^{(3)}$ máy phát phát công suất bằng 1. Tìm góc cắt giới hạn.

Giải: 1- Trước sự cố: $X_I = 0,25 + \frac{0,5 \times 0,4}{0,5 + 0,4} + 0,05 = 0,522$

Công suất điện từ: $P^I = \frac{1,2 \times 1}{0,522} \sin \delta = 2,3 \sin \delta$

Góc δ_o là: $\delta_o = \arcsin \frac{1}{2,3} = 25,77^\circ = 0,45(rad)$

2- Trong sự cố: $P^{II} = 0$

3- Sau sự cố: $X_{III} = 0,25 + 0,5 + 0,05 = 0,8$

Công suất điện từ được tính:

$$P^{III} = \frac{1,2 \times 1,0}{0,8} \sin \delta = 1,5 \sin \delta$$

$$\delta_{\max} = \pi - \arcsin \frac{1}{1,5} = 2,41 \quad (\delta_{\max} = \delta_f \text{ trên hình 8.10})$$

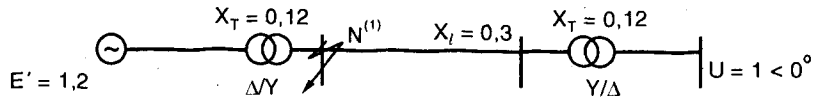
Diện tích tăng tốc: $A_1 = P_T (\delta_{cgh} - \delta_0) = \delta_{cgh} - 0,45$

Diện tích hãm tốc:

$$A_2 = \int_{\delta_{cgh}}^{\delta_{\max}} (P^{III} - P_T) d\delta = -1,5 \cos \delta \Big|_{\delta_{cgh}}^{\delta_{\max}} - (2,41 - \delta_{cgh}) = 1,5 \cos \delta_{cgh} + \delta_{cgh} - 1,293$$

$$\text{Cho } A_1 = A_2 \Rightarrow \delta_{cgh} = 55,8^\circ.$$

Ví dụ 8.2. Cho hệ thống như ở hình 8.14.



Hình 8.15: Sơ đồ ví dụ 8.2

Máy phát có tham số: $X_d' = 0,25$; $X_{2F} = 0,15$; $X_{OF} = 0,09$. Đường dây có điện kháng thứ tự 0 bằng ba lần điện kháng thứ tự thuận.

Trước ngắn mạch đang phát công suất là 1. Nếu biết cắt ở góc 60° , hãy tính góc tự đóng lại giới hạn.

1- Trước sự cố:

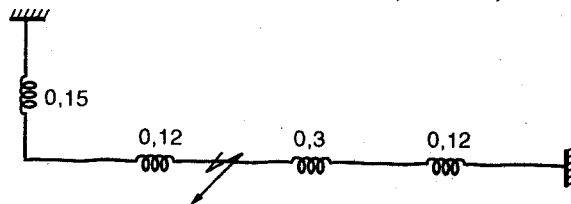
$$P^I = \frac{1,2 \times 1}{0,25 + 0,12 + 0,3 + 0,12} \sin \delta = 1,52 \sin \delta \Rightarrow \delta_0 = 41,13^\circ = 0,72 \text{ rad}$$

2- Trong khi có sự cố

$$P^{II} = \frac{1,2 \times 1}{X_{12-II}} \sin \delta$$

Để xác định X_{12-II} cần xác định tổng trở các thứ tự.

Sơ đồ thứ tự nghịch: $X_{2\Sigma} = (0,15 + 0,12) // (0,12 + 0,3) = 0,16$

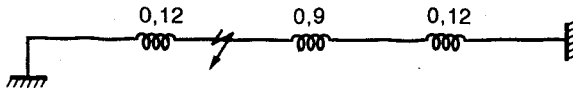


Hình 8.15: Sơ đồ thứ tự nghịch

Sơ đồ thứ tự 0:

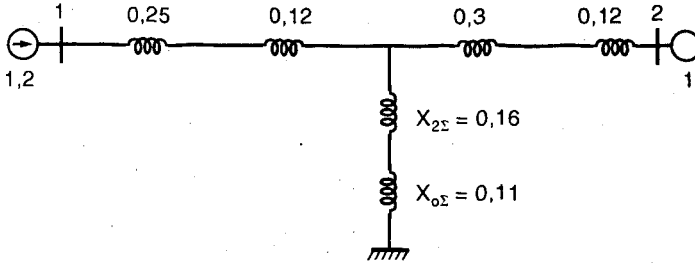
Điện kháng thứ tự 0 của đường dây là $3X_1 = 0,9$

$$X_{0\Sigma} = 0,12 // (0,9 + 0,12) = 0,11$$



Hình 8.16: Sơ đồ thứ tự 0

Sơ đồ tương đương được biểu diễn tương ứng với một $N^{(3)}$ tùy nhiên vị trí ngắn mạch xảy ra sau một X_{Δ} . Ở đây $X_{\Delta} = X_{o\Sigma} + X_{2\Sigma}$ (H.8.19).



Hình 8.17: Sơ đồ phức hợp khi chạm đất một pha đầu đường dây

Tổng trở truyền được xác định

$$X_{12II} = (0,25 + 0,12) + (0,3 + 0,12) + \frac{(0,25 + 0,12)(0,3 + 0,12)}{0,16 + 0,11}$$

$$= 0,37 + 0,42 + \frac{0,37 \times 0,42}{0,27} = 0,37 + 0,42 + 0,58 = 1,36$$

$$P^{II} = \frac{1,2 \times 1}{1,36} \sin \delta = 0,88 \sin \delta.$$

Sau khi cắt ngắn mạch $P^{III} = 0$

Góc tự đóng lại giới hạn được xác định:

$$\int_{\delta_0}^{\delta_c} (1 - 0,88 \sin \delta) d\delta + \int_{\delta_c}^{\delta_{TDL}} (1 - 0) d\delta = \int_{\delta_{TDL}}^{\delta_{max}} (1,52 \sin \delta - 1) d\delta$$

$$\Leftrightarrow \delta \Big|_{\delta_0}^{\delta_c} + 0,88 \cos \delta \Big|_{\delta_0}^{\delta_c} + \delta \Big|_{\delta_c}^{\delta_{TDL}} = -\delta \Big|_{\delta_{TDL}}^{\delta_{max}} - 1,52 \cos \delta \Big|_{\delta_{TDL}}^{\delta_{max}}$$

Ở đây $\delta_c = 60^\circ = 1,05 \text{ rad}$; $\delta_{max} = \pi - \delta_0 = 2,42 \text{ rad}$

$$\Rightarrow (1,05 - 0,72) + 0,88 (0,5 - 0,75) + (\delta_{TDL} - 1,05)$$

$$+ 1,52 (-0,75 - \cos \delta_{TDL}) + (\delta_{max} - \delta_{TDL}) = 0$$

$$-0,72 + 0,44 - 0,66 - 1,14 - 1,52 \cos \delta_{TDL} + 2,42 = 0$$

$$\Rightarrow \delta_{TDL} = \arccos \frac{0,34}{1,52} \Rightarrow \delta_{TDL} = 77,07^\circ$$

8.2 CÁC PHƯƠNG PHÁP TÍCH PHÂN SỐ

Cho phương trình vi phân: $\frac{dx}{dt} = f(x, t)$

Giải phương trình trên tìm $x(t)$ được tiến hành nhờ các phương pháp tích phân số.

8.2.1 Phương pháp Euler

Cho phương trình vi phân: $\frac{dx}{dt} = f(x, t)$

Tại $x = x_0; t = t_0$, lấy tiếp tuyến của đường cong $x(t)$ cho ra:

$$\left. \frac{dx}{dt} \right|_{x=x_0} = f(x, t) \Rightarrow \Delta x = \left. \frac{dx}{dt} \right|_{x=x_0} \cdot \Delta t$$

Trị của x tại $t_1 = t_0 + \Delta t$ là: $x_1 = x_0 + \Delta x = x_0 + \left. \frac{dx}{dt} \right|_{x=x_0} \cdot \Delta t$

Thay đổi Δt và xác định x_2 ứng với $t_2 = t_1 + \Delta t$: $x_2 = x_1 + \left. \frac{dx}{dt} \right|_{x=x_1} \cdot \Delta t$

Cần lưu ý tới hiệu ứng lan truyền sai số. Một sai số nhỏ ở những bước đầu có thể trở nên đáng kể ở những bước sau.

8.2.2 Phương pháp Runge - Kutta (R - K)

a) R - K bậc 2

$$x_1 = x_0 + \Delta x = x_0 + \frac{k_1 + k_2}{2}$$

với: $k_1 = f(x_0, t_0)\Delta t$; $k_2 = f(x_0 + k_1, t_0 + \Delta t)\Delta t$

b) R - K bậc 4

$$x_{n+1} = x_n + \frac{1}{6}(k_1 + k_2 + 2k_3 + k_4)$$

với: $k_1 = f(x_n, t_n)\Delta t$

$$k_2 = f\left(x_n + \frac{k_1}{2}, t_n + \frac{\Delta t}{2}\right)\Delta t$$

$$k_3 = f\left(x_n + \frac{k_2}{2}, t_n + \frac{\Delta t}{2}\right)\Delta t$$

$$k_4 = f(x_n + k_3, t_n + \Delta t)\Delta t$$

Như vậy $\Delta x = \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)$

k_1 - độ dốc (Slope) ở đầu bước

k_2 - xấp xỉ bậc 1 của độ dốc ở giữa bước

k_3 - xấp xỉ bậc 2 của độ dốc ở giữa bước

k_4 - độ dốc ở cuối bước

8.2.3 Phương pháp phân đoạn liên tiếp

Đây là phương pháp tích phân số đơn giản song cho lời giải với mức sai số chấp nhận được. Xét phương trình: $\frac{T_J d^2 \delta}{dt^2} = P_T - P$

Có thể khảo sát quá trình quá độ theo những phân đoạn thời gian nhỏ bằng nhau $\Delta t(0,02 - 0,1s)$. Trong mỗi phân đoạn thời gian này vế phải của phương trình (dư thừa công suất) được coi như không đổi

Ở thời điểm xảy ra nhiễu lớn (thời điểm đầu của quá trình quá độ) sẽ có sự không cân bằng công suất $\Delta P_o = P_{ao}$. Các điều kiện ban đầu là $(d\delta/dt)_{t=0} = 0$ và $\delta = \delta_o$. Sự gia tăng góc ở phân đoạn 1 được tính từ kết quả lấy tích phân của phương trình chuyển động rôto:

$$\Delta\delta_1 = \frac{\Delta t^2 \cdot \Delta P_o}{2T_J} \tag{8.5}$$

Góc ở cuối phân đoạn 1 là: $\delta_1 = \delta_o + \Delta\delta_1$

Điều kiện ban đầu của phân đoạn 2 là:

$$\Delta P_1 = P_T - P_{max} \sin\delta_1$$

với P_{max} công suất điện từ max trong quá trình quá độ và tốc độ ban đầu là:

$$\left(\frac{d\delta}{dt}\right)_1 = \frac{\Delta t(\Delta P_o + \Delta P_1)}{2T_J}$$

Tốc độ này thu được từ phân đoạn 1

Sự gia tăng góc ở phân đoạn 2 là:

$$\Delta\delta_2 = \frac{\Delta t^2 \Delta P_1}{T_J} + \left(\frac{\Delta t \cdot d\delta}{dt}\right)_1$$

hay

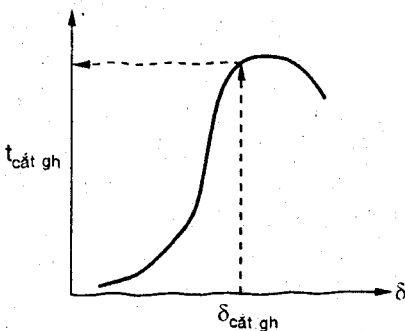
$$\Delta\delta_2 = \Delta\delta_1 + \frac{\Delta t^2 \Delta P_1}{T_J}$$

Lập luận tương tự cho phân đoạn thứ k:

$$\Delta\delta_k = \Delta\delta_{k-1} + \frac{\Delta t^2 \Delta P_{k-1}}{T_J} = \Delta\delta_{k-1} + K\Delta P_{k-1} \tag{8.6}$$

với

$$K = \frac{\Delta t^2}{T_J}$$



Hình 8.18

Xác định thời gian cắt giới hạn

Nếu tại phân đoạn thứ l nào đó xảy ra sự chuyển dịch từ đường đặc tính công suất góc 1 sang đường đặc tính 2 (ví dụ như từ tình trạng ngắn mạch chuyển sang sau ngắn mạch do tác động máy cắt) thì gia tăng góc sẽ được tính là:

$$\Delta\delta_l = \Delta\delta_{l-1} + \frac{K(\Delta P_{l-1}^1 + \Delta P_{l-1}^2)}{2} \tag{8.7}$$

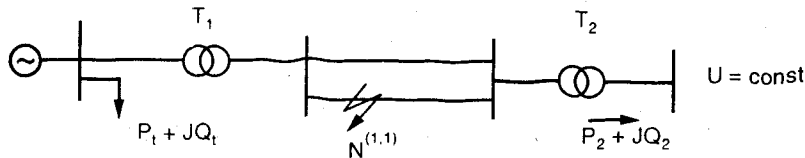
với $\Delta P_{l-1}^1, \Delta P_{l-1}^2$ là gia tăng công suất tương ứng với đường đặc tính 1 và 2.

Lưu ý là các công thức trên được tính trong hệ đơn vị tương đối. Nếu T_J và Δt thể hiện bằng giây (s), δ và $\Delta\delta$ thể hiện là độ thì hằng số K được tính là:

$$K = \frac{18000\Delta t^2}{T_J} \quad (f = 50\text{Hz})$$

Biểu diễn $\delta = f(t)$ trên hình vẽ ta có thể thấy được liệu hệ có ổn định hay không. Cũng từ $\delta = f(t)$ có thể xác định được thời gian cắt giới hạn khi đã biết góc cắt giới hạn từ phương pháp diện tích.

Ví dụ 8.3. Cho hệ thống sau



Hình 8.19: Sơ đồ ví dụ 8.3

Ở chế độ trước sự cố, $P_2 = 225 \text{ MW}$; $\cos\varphi = 0,9$.

Điện áp hệ thống $U = 118 \text{ kV} \angle 0 = \text{const}$

Tham số các phần tử trong hệ thống như sau:

- Máy phát: $S_{dm} = 400 \text{ MVA}$; $U_{dm} = 10,5 \text{ kV}$; $\cos\varphi_{dm} = 0,85$

- $X'_d = 0,235$; $X_2 = 0,164$; $T_J = 7 \text{ s}$

- T_1 : $S_{dm} = 360 \text{ MVA}$; $U_N = 12\%$; $K_{T1} = \frac{10,5}{248}$

- T_2 : $S_{dm} = 340 \text{ MVA}$; $U_N = 12\%$; $K_{T2} = \frac{220}{121}$

- Đường dây (2 mạch): $l = 255 \text{ km}$; $xl = 0,4 \text{ } \Omega/\text{km}$; $X_{ol} = 3x_1 = 1,2 \text{ } \Omega/\text{km}$

- Phụ tải: $P_t = 50 \text{ MW}$; $\cos\varphi_{dm} = 0,85$.

Tổng trở thứ tự nghịch của tải bằng 0,35 tổng trở thứ tự thuận.

Xác định thời gian cắt giới hạn ngắn mạch.

Giải. Chọn $S_{cb} = 255 \text{ MVA}$; $U_{cb} = 215 \text{ kV}$ trên bậc 220 kV

$$U = \frac{U}{U_{cb}} K_{T2} = \frac{118}{215} \cdot \frac{220}{121} = 1$$

Công suất Q_2, P_2 trong hệ đơn vị tương đối là:

$$P_2 = \frac{225}{255} = 0,882; \quad Q_2 = P_2 \tan\varphi = 0,882 \times 0,483 = 0,427$$

$$(\varphi = \arccos 0,9 = 25,8^\circ)$$

Công suất của tải: $P_t = \frac{50}{255} = 0,196$

$$Q_t = P_t \tan\varphi_t = 0,196 \times 0,62 = 0,122$$

Đường dây: $X_l = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \times 255 \times \frac{255}{215^2} = 0,281$

Máy phát: $T_J = T_J \times \frac{S_{dm}}{S_{cb}} = 7 \times \frac{400}{255} = 10,98(s)$

$$X'_d = 0,235 \frac{10,5^2 \times 255}{400 \times 215^2} \left(\frac{248}{10,5}\right)^2 = 0,199$$

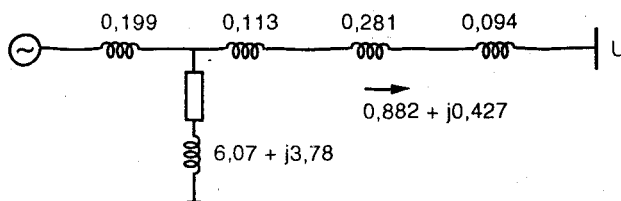
$$X_{2F} = 0,164 \times \frac{10,5^2 \times 255}{400 \times 215^2} \left(\frac{248}{10,5}\right)^2 = 0,139$$

Biến thế:

$$X_{T1} = \frac{12}{100} \cdot \frac{255}{360} \cdot \frac{248^2}{215^2} = 0,113 = \frac{U_N}{100} \cdot \frac{S_{cb}}{S_{dm}} \cdot \frac{U_{dmc}^2}{U_{cb}^2}$$

$$X_{T2} = X_{T1} = \frac{12}{100} \cdot \frac{255}{340} \cdot \frac{220^2}{215^2} = 0,094$$

Sơ đồ thay thế:



Hình 8.20: Sơ đồ thay thế

$$U_t = U_F = \sqrt{\left(1 + \frac{0,427 \cdot (0,094 + 0,281 + 0,113)}{1}\right)^2 + \left(\frac{0,882 \times 0,488}{1}\right)^2} = \sqrt{1,209^2 + 0,431^2} = 1,284$$

$$\text{tg} \delta_F = \frac{0,431}{1,209} = 0,356; \quad \delta_F = 19,6^\circ$$

Ở đây: $Z_t = \frac{U_t^2}{S_t^2} (P_t + jQ_t) = \frac{1,284^2}{0,196^2 + 0,122^2} (0,196 + j0,122) = 6,07 + j3,78$

Tổn thất công suất phản kháng trên lưới cho đến thanh cái máy phát:

$$\Delta Q = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U^2} X_{l\Sigma}$$

với: $X_{l\Sigma} = 0,094 + 0,281 + 0,113 = 0,488$

$$\Delta Q = \frac{0,882^2 + 0,427^2}{1^2} \times 0,488 = 0,469$$

$$S_1 = S_t + S_2 + j\Delta Q = 0,196 + j0,122 + 0,882 + j0,427 + j0,469 = 1,078 + j1,018$$

Sức điện động quá độ là:

$$E' = \sqrt{\left(1,284 + \frac{1,018 \times 0,199}{1,284}\right)^2 + \left(\frac{1,078 \times 0,199}{1,284}\right)^2} = \sqrt{1,442^2 + 0,167^2} = 1,452$$

$$\text{tg}(\widehat{E'U_F}) = 0,116 \Rightarrow (\widehat{E'U_F}) = 6,6^\circ$$

$$\Rightarrow \text{Góc giữa } E' \text{ và } U \text{ là: } \delta = 19,6 + 6,6 = 26,2^\circ$$

Xác định tổng trở riêng và tương hỗ ở chế độ ban đầu:

$$Z_{11}^I = jX'_d + \frac{jX_{l\Sigma} \cdot Z_t}{jX_{l\Sigma} + Z_t} = j0,199 + \frac{j0,488 \cdot (6,07 + j3,78)}{j0,488 + 6,07 + j3,78}$$

$$= 0,027 + j 0,669 = 0,67 \angle 87,7^\circ$$

$$Y_{11}^I = \frac{1}{Z_{11}^I} = \frac{1}{0,67 \angle 87,7^\circ} = 1,49 \angle -87,7^\circ \Rightarrow \alpha_{11}^I = 2,3^\circ$$

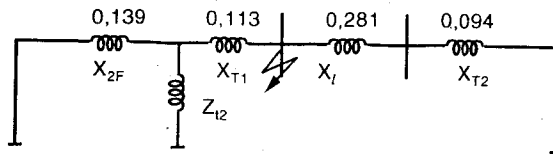
$$Z_{12}^I = jX'_d + jX_{l\Sigma} + \frac{jX'_d \cdot jX_{l\Sigma}}{Z_t} = j0,199 + j0,488 + \frac{j0,199 \times j0,488}{6,07 + j3,78}$$

$$= -0,012 + j0,694 = 0,694 \angle 91^\circ$$

$$Y_{12}^I = \frac{1}{0,694 \angle 91^\circ} = 1,44 \angle -91^\circ \Rightarrow \alpha_{12}^I = -1^\circ$$

Khi có ngắn mạch, các sơ đồ và tổng trở các thứ tự là:

Sơ đồ thứ tự nghịch:



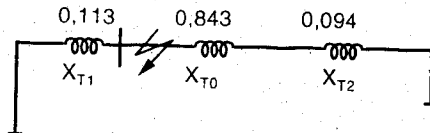
Hình 8.21: Sơ đồ thứ tự nghịch

Với phụ tải, tổng trở thứ tự nghịch bằng 0,35 của tổng trở thứ tự thuận

$$\Rightarrow Z_{t2} = 2,12 + j1,32$$

$$Z_{2\Sigma} = [(jX_{F2} // Z_{t2}) + jX_{T1}] // [jX_l + jX_{T2}] = 0,003 + j0,149$$

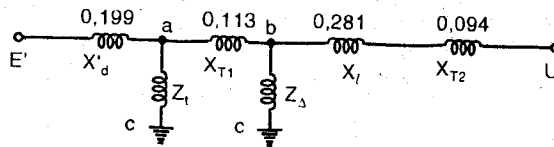
Sơ đồ thứ tự không:



Hình 8.22: Sơ đồ thứ tự 0

$$Z_{0\Sigma} = jX_{T1} // (jX_{l0} + jX_{T2}) = j0,101$$

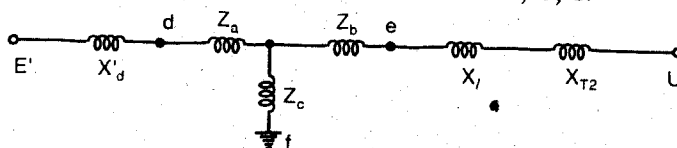
Sơ đồ thay thế khi có ngắn mạch:



Hình 8.23: Sơ đồ phức hợp

Với $Z_\Delta = Z_{2\Sigma} // Z_{0\Sigma} = j0,06$

Biến đổi Δ với ba đỉnh a, b, c thành Y với đỉnh d, e, f:



Hình 8.24: Biến đổi sơ đồ hình 8.23

$$Z_{11}^{II} = Z_c // (Z_b + jX_l + jX_{T2}) + (jX'_d + Z_a) = 0,003 + j 0,362 = 0,362 < 89,5^\circ$$

$$\Rightarrow Y_{11}^{II} = 2,763 < -89,5^\circ; \alpha_{11}^{II} = 0,5^\circ$$

$$Z_{12}^{II} = (jX'_d + Z_a) + (Z_b + jX_l + jX_{T2}) + \frac{(jX'_d + Z_a)(Z_b + jX_l + jX_{T2})}{Z_c}$$

$$= -0,028 + j 2,654 = 2,654 < 90,6^\circ$$

$$Y_{12}^{II} = 0,377 < -90,6^\circ \Rightarrow \alpha_{12}^{II} = -0,6^\circ$$

Ở chế độ sau sự cố khi cắt đường dây có sự cố:

$$Y_{11}^{II} = 1,083 < -86,1^\circ; \alpha_{11}^{II} = 3,9^\circ$$

$$Y_{12}^{II} = 1,021 < -91,1^\circ; \alpha_{12}^{II} = -1,1^\circ$$

Ở chế độ ban đầu, đặc tính công suất:

$$P^I = E'^2 |Y_{11}^I| \sin \alpha_{11}^I + E'U |Y_{12}^I| \sin(\delta - \alpha_{12}^I)$$

$$= 1,45^2 \times 1,49 \sin 2,3^\circ + 1,45 \times 1 \times 1,44 \sin(\delta + 1^\circ)$$

$$= 0,126 + 2,09 \sin(\delta + 1^\circ)$$

$$P_{\max}^I = 0,126 + 2,09 = 2,216$$

Ở chế độ sự cố:

$$P^{II} = 1,45^2 \times 2,763 \sin 0,5^\circ + 1,45 \times 1 \times 0,377 \sin(\delta + 0,6^\circ)$$

$$= 0,051 + 0,547 \sin(\delta + 0,6^\circ)$$

$$\Rightarrow P_{\max}^{II} = 0,051 + 0,547 = 0,598$$

Ở chế độ sau sự cố:

$$P^{III} = 1,45^2 \times 1,083 \sin 3,9^\circ + 1,45 \times 1 \times 1,021 \sin(\delta + 1,1^\circ)$$

$$= 0,155 + 1,483 \sin(\delta + 1,1^\circ)$$

$$\Rightarrow P_{\max}^{III} = 0,155 + 1,483 = 1,638$$

Từ việc cân bằng diện tích có thể xác định góc cắt giới hạn một cách gần đúng theo công thức:

$$\cos \delta_{cgh} = \frac{P_T(\delta_{\max} - \delta_o) + P_{\max}^{III} \cos \delta_{\max} - P_{\max}^{II} \cos \delta_o}{P_{\max}^{III} - P_{\max}^{II}}$$

$$\delta_{\max} = \pi - \arcsin \frac{P_T}{P_{\max}^{III}} = 138,8^\circ \Rightarrow \delta_{cgh} = 70^\circ$$

Để xác định thời gian cắt giới hạn, cần xây đặc tuyến $\delta = f(t)$. Áp dụng phương pháp phân đoạn liên tiếp với $\Delta t = 0,05s$

$$\text{Đặt: } K = \frac{360 f_o \Delta t^2}{T_J} = \frac{360 \times 50 \times 0,05^2}{10,98} = 4,1$$

Phân đoạn 1: 0 – 0,05s:

$$P_{(0)}^{II} = 1,452^2 \times 2,763 \times \sin 0,5^\circ + 1,452 \times 1 \times 0,377 \sin(26,2^\circ + 0,6^\circ)$$

$$= 0,051 + 0,547 \times 0,451 = 0,297$$

$$Pa_{(0)} = P_T - P_{(0)}^{II} = 1,078 - 0,297 = 0,781$$

$$\Delta\delta_{(1)} = \frac{KPa_{(0)}}{2} = \frac{4,1 \cdot 0,781}{2} = 1,6^\circ$$

$$\delta_{(1)} = \delta_{(0)} + \Delta\delta_{(1)} = 26,2 + 1,6 = 27,8^\circ$$

Phân đoạn 2: (0,05 – 0,1 s):

$$P_{(1)}^{II} = 0,051 + 0,547 \sin(27,8^\circ + 0,6^\circ) = 0,311$$

$$Pa_{(1)} = 1,078 - 0,311 = 0,767$$

$$\Delta\delta_{(2)} = 1,6 + 4,1 \times 0,767 = 4,74^\circ$$

$$\delta_{(2)} = 27,8 + 4,74 = 32,54^\circ$$

Bảng sau thể hiện kết quả cho các phân đoạn sau:

t (s)	δ°	P	Pa	$\Delta\delta$
0	26,2	0,297	0,781	1,6
0,05	27,8	0,311	0,767	4,74
0,1	32,54	0,35	0,728	7,72
0,15	40,26	0,409	0,669	10,47
0,2	50,73	0,478	0,6	12,93
0,25	63,66	0,543	0,535	15,12
0,3	78,78			

Tương ứng với góc cắt 70° , vẽ đường cong $\delta=f(t)$ xác định thời gian cắt là 0,27(s).

ỔN ĐỊNH ĐIỆN ÁP

9.1 KHÁI NIỆM

9.1.1 Ổn định điện áp

Ổn định điện áp là khả năng của hệ thống duy trì mức điện áp chấp nhận tại các nút sau khi có nhiễu.

Sụp đổ điện áp (từ loạt sự cố nghiêm trọng của một số hệ thống điện) có những kịch bản sau:

- Khi có một số máy phát lớn gần tâm tải bị hỏng, dẫn tới một số đường dây siêu cao bị quá tải nên làm cho nguồn Q bị giới hạn tối đa.
- Khi mất một số đường dây, các đường dây còn lại bị quá tải, tổn thất Q trên đường dây tăng và dẫn tới nhu cầu tải cao trong hệ.

Đặc trưng của sụp đổ điện áp:

- Tăng tải, nhiễu lớn... là những hiện tượng ban đầu. Hệ thống không có khả năng đáp ứng nhu cầu Q. Sụp đổ điện áp thường thể hiện qua sự giảm dần điện áp. Thời gian sụp đổ có thể vài phút.

- Sụp đổ điện áp chịu ảnh hưởng lớn của tình trạng và đặc tuyến của hệ, ví dụ như: khoảng cách lớn về điện giữa tải và nguồn phát; điều chỉnh phân áp dưới tải do điện áp hạ thấp; các đặc tuyến bất lợi của tải; phối hợp không tốt giữa điều khiển và hệ thống bảo vệ.

- Sụp đổ điện áp có thể do ảnh hưởng của tụ mắc shunt.

Phân tích ổn định điện áp

Phân tích ổn định điện áp thường dẫn tới khảo sát hai khía cạnh:

- Chỉ số gần tới mất ổn định điện áp: hệ còn cách bao xa tới giới hạn về ổn định điện áp?
- Cơ cấu mất ổn định điện áp:

Nguyên nhân và cách thức của sự mất ổn định. Vùng yếu nhất về điện áp ở đâu? Biện pháp nào để cải thiện ổn định điện áp?

Ổn định điện áp thường được xem xét như bài toán ổn định tĩnh cho các phần tử tĩnh trong hệ thống. Khả năng truyền tải Q từ nơi sản xuất tới nơi tiêu thụ trong vận hành tĩnh là khía cạnh chính của ổn định điện áp.

Mất ổn định điện áp tạo ra sự giảm (tăng) áp một cách không ngừng và thường xảy ra dưới dạng không chu kỳ

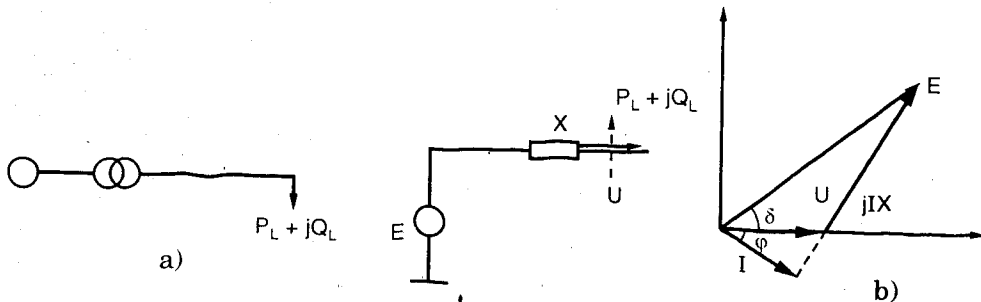
Mất ổn định điện áp có thể xảy ra trong khoảng từ vài giây cho tới hàng chục phút. Có thể chia làm hai loại: ổn định quá độ (thời gian tới khoảng 10 giây) và ổn định lâu dài (tới vài phút). Những năm gần đây loại thứ hai gây chú ý hơn cả trong lưới phân phối.

Do vậy ở đây sẽ chỉ xem xét tới loại thứ hai

Ổn định điện áp thường liên quan tới tải và còn được gọi là ổn định phụ tải

9.1.2 Các đường cong P-U và Q-U

Xét hệ trên hình 9.1a và sơ đồ thay thế trên hình 9.1b:



Hình 9.1: Hệ gồm máy phát tải, sơ đồ thay thế và họa đồ vectơ điện áp

$$\left. \begin{aligned} P_L(U) &= UI \cos \varphi = U \frac{IX \cos \varphi}{X} = \frac{EU \sin \delta}{X} \\ Q_L(U) &= UI \sin \varphi = U \frac{IX \sin \varphi}{X} = \frac{EU}{X} \cos \delta - \frac{U^2}{X} \end{aligned} \right\} \quad (9.1)$$

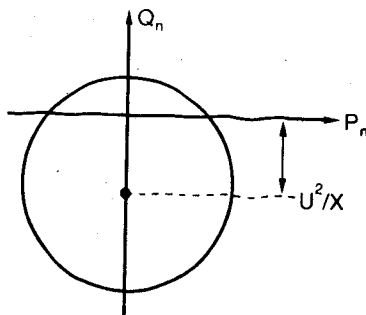
Do $\cos^2 \delta + \sin^2 \delta = 1$ nên (9.1) trở thành:

$$\left(\frac{EU}{X}\right)^2 = P_L(U)^2 + \left[Q_L(U) + \frac{U^2}{X}\right]^2 \quad (9.2)$$

Phương trình này có tính đến đặc tính tĩnh tải theo điện áp.

Nếu công suất không phụ thuộc vào điện áp và bằng công suất khi điện áp bằng định mức: $P_L(U) = P_n$; $Q_L(U) = Q_n$ thì biểu thức (9.2) được viết lại như sau:

$$\left(\frac{EU}{X}\right)^2 = P_n^2 + \left[Q_n + \frac{U^2}{X}\right]^2 \quad (9.3)$$



Hình 9.2: Mối quan hệ P-Q cho mỗi giá trị U

với mỗi giá trị U thì (9.3) biểu diễn một hình tròn trên mặt phẳng P - Q (H.9.2)

Tăng dần các trị của U sẽ cho ta họ các đường tròn dịch chuyển dần xuống dưới. Đường bao các vòng tròn này có dạng như trên hình 9.3.

Mỗi điểm bên trong đường bao sẽ là giao của hai vòng tròn (điểm A) và tương ứng với hai trị điện áp. Còn mỗi điểm B trên đường bao sẽ là nghiệm của (9.3) tương ứng với một trị của U .

Do vậy (9.3) có thể viết lại: Tìm P_n, Q_n sao cho (9.3) chỉ có một nghiệm U duy nhất:

$$\left(\frac{U^2}{X}\right)^2 + (2Q_n - \frac{E^2}{X})\left(\frac{U^2}{X}\right) + (P_n^2 + Q_n^2) = 0 \tag{9.4}$$

(9.4) có nghiệm duy nhất khi:

$$(2Q_n - \frac{E^2}{X})^2 - 4(P_n^2 + Q_n^2) = 0 \Rightarrow Q_n = \frac{E^2}{4X} - \frac{P_n^2}{E^2/X} \tag{9.5}$$

Đây là phương trình của parabol ngược theo P_n và có trị max $Q_{nmax} = E^2/4X$ tại $P_n = 0$ (H.9.3). Mỗi điểm bên trong đường parabol tương ứng với 2 trị điện áp là nghiệm đồng thời của hai phương trình dạng (9.3), trong khi mỗi điểm trên đường bao tương ứng với một trị U duy nhất thỏa (9.3). Không thể tải một lượng công suất (P_n, Q_n) ngoài parabol này.

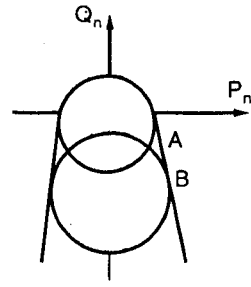
Khi đường đặc tính tĩnh có dạng: $Q = (U/U_n)^2 Q_n$ thì sẽ cho mở phía trên (tương ứng với $P_n = 0$). Đặc biệt, khi cả P và Q đều phụ thuộc vào U dưới dạng hàm bậc hai của U thì không có giới hạn cho P_n và Q_n . Lúc này tải được biểu diễn bởi $Y = G_n + jB_n$:

$$P_L = \frac{P_n}{\left(\frac{U}{U_n}\right)^2} = \frac{\left(\frac{P_n}{U_n}\right)^2}{U^2} = G_n U^2$$

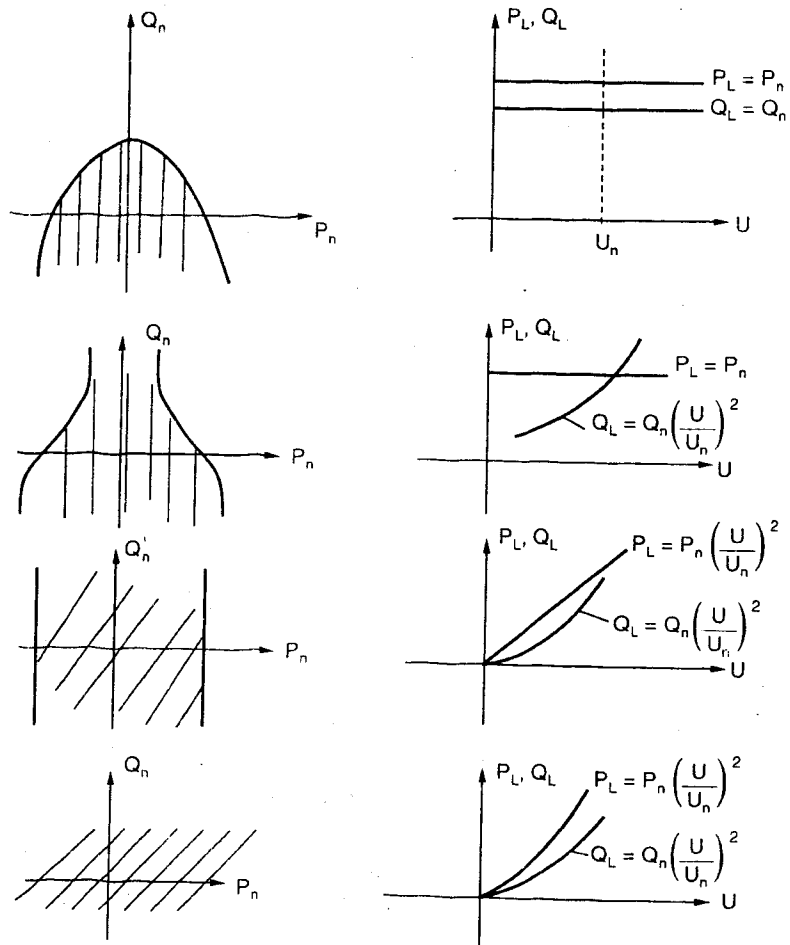
$$Q_L = \frac{Q_n}{\left(\frac{U}{U_n}\right)^2} = \frac{\left(\frac{Q_n}{U_n}\right)^2}{U^2} = B_n U^2$$

Như vậy với bất kỳ trị nào của G_n, B_n khi thế P_n và Q_n vào (9.2) luôn tính được điện áp:

$$U = \frac{E}{\sqrt{(G_n X)^2 + (B_n X + 1)^2}} \tag{9.6}$$



Hình 9.3: Quan hệ P-Q khi thay đổi U

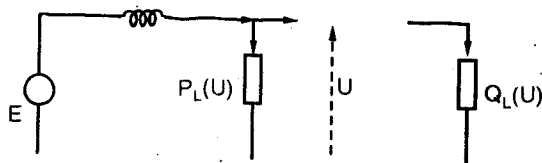


Hình 9.4: P_n và Q_n khi thay đổi đặc tính tải

9.2 CÁC TIÊU CHUẨN ỔN ĐỊNH

9.2.1 $\frac{d\Delta Q}{U}$

Tiêu chuẩn này thể hiện khả năng của hệ cung cấp công suất Q với công suất P đã cho. Khảo sát hệ thống sau:



Hình 9.5: Mạch tương đương cho xác định đặc tuyến công suất phản kháng

Ta có công suất được nguồn cung cấp là:

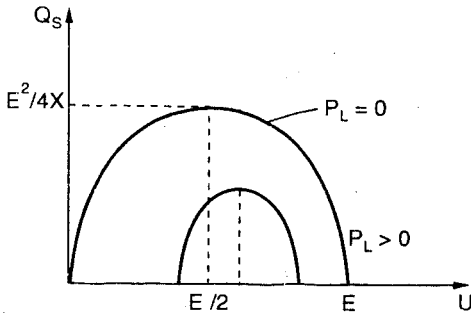
$$P_L = P_s = \left(\frac{EU}{X}\right) \sin\delta \quad \text{và} \quad Q_s = \left(\frac{EU}{X}\right) \cos\delta - \frac{U^2}{X}$$

Lưu ý là $\sin^2\delta + \cos^2\delta = 1$, khi đó (9.3) trở thành:

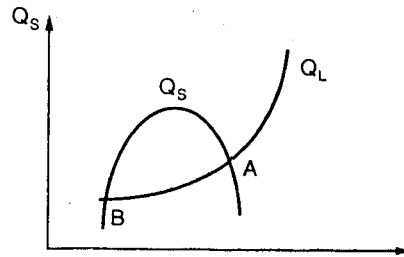
$$\left(\frac{EU}{X}\right)^2 = P_L(U) + \left[Q_s(U) + \frac{U^2}{X}\right]^2$$

từ đó:
$$Q_s = \sqrt{\left[\frac{EU}{X}\right]^2 - [P_L(U)]^2} - \frac{U^2}{X} \tag{9.7}$$

Hình 9.6 biểu diễn Q theo U . Khi $P_L(U) =$ không đổi theo U , (9.7) biểu diễn hình parabol ngược. Khi $P_L = 0$, Q_s đạt trị $\max \frac{E^2}{4X}$ tại $U = \frac{E}{2}$.



Hình 9.6: Đặc tuyến $Q_s(U)$



Hình 9.7: Q_s và Q_L

Biểu diễn hai đặc tuyến Q_s và Q_L trên cùng hệ trục tọa độ như trên hình 9.7 và tiến hành khảo sát 2 điểm A và B. Giả sử có sự giảm áp ΔU , khi đó tại A, $Q_L(U)$ sẽ nhỏ hơn Q_s , do vậy điện áp sẽ được tăng lên và trở về A. Ngược lại, tại B thì Q_L sẽ lớn hơn Q_s , điện áp tiếp tục giảm và không trở về vị trí B. Lập luận tương tự cho trường hợp điện áp tăng thêm ΔU . Như vậy có thể kết luận là điểm A là ổn định còn điểm B thì không.

Tiêu chuẩn ổn định sẽ được phát biểu là:

$$\frac{d(Q_s - Q_L)}{dU} < 0 \Leftrightarrow \frac{dQ_s}{dU} < \frac{dQ_L}{dU} \tag{9.8}$$

Bằng cách khai triển $\Delta Q_s, \Delta P_L$ theo ΔU và $\Delta \delta$ và sử dụng các phép biến đổi trung gian sẽ xác định được dQ_s/dU :

$$\frac{dQ_s}{dU} = \frac{E}{X \cos \delta} - \left(\frac{2U}{X} + \frac{dP_L}{dU} \tan \delta\right)$$

Và tiêu chuẩn ổn định sẽ trở thành:

$$\frac{dQ_L}{dU} > \frac{E}{X \cos \delta} - \left(\frac{2U}{X} + \frac{dP_L}{dU} \tan \delta\right) \tag{9.9}$$

Các đạo hàm; $dQ_L/dU, dP_L/dU$ được tính từ các đường đặc tuyến tĩnh của tải.

Trong hệ nhiều máy, khó có thể rút được công thức cho dQ_s/dU . Bằng cách sử dụng các chương trình tính trào lưu công suất và thay đổi các giá trị điện áp U có thể thu được đặc tuyến $Q_s(U)$ khi coi nút tải như nút PV.

9.2.2 Tiêu chuẩn $\frac{dE}{dU}$

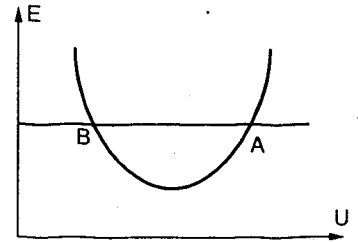
Từ (9.2) có thể biểu diễn E theo điện áp U như sau:

$$E(U) = \sqrt{\left(U + \frac{Q_L(U)X}{U}\right)^2 + \left(\frac{P_L(U)X}{U}\right)^2} \quad (9.10)$$

Đường cong biểu diễn mối quan hệ giữa $E = f(U)$ có dạng ở hình 9.8.

Mỗi trị $E(U)$ cho ra hai nghiệm U của phương trình (9.10)

Xét điểm A khi có sự thay đổi của U , giả sử là sdd E giữ không đổi. Nếu U giảm một lượng ΔU , sdd E sẽ lớn hơn $E(U)$ và cường bức U trở về trị ban đầu. Tương tự khi U tăng thêm ΔU , sdd nguồn sẽ nhỏ hơn trị sdd yêu cầu để duy trì U , do vậy điện áp bắt buộc phải trở về trị ban đầu. Như vậy, có thể kết luận là điểm A là ổn định. Lập luận tương tự cho điểm B cho thấy nó không ổn định.



Hình 9.8: $E = f(U)$

Như vậy tiêu chuẩn ổn định là: $\frac{dE}{dU} > 0$ (9.11)

Việc xây dựng $E = f(U)$ được thực hiện như sau: với mỗi U , theo đặc tuyến tĩnh có thể tìm được P_L và Q_L và từ đó xác định E . Tuy nhiên trong hệ nhiều máy, tiêu chuẩn này không tiện lợi bằng (9.10) khi sử dụng chương trình phân bố công suất. Lý do là trong hệ nhiều máy phát, để khảo sát nút tải (cho trước P, Q , ẩn là U, δ) thì sự tăng điện áp để tính (9.11) bắt buộc xuất phát từ nút phát. Do có nhiều nút phát trong hệ thống nên cần phải tính phân bố công suất nhiều lần.

9.2.3 Tiêu chuẩn $\frac{dQ_G}{dQ_L}$

Gọi Q_G là công suất phản kháng cung cấp cho tải Q_L và cho lưới I^2X với công thức là:

$$Q_G = \frac{E^2}{X} - \frac{EU}{X} \cos \delta \quad (9.12)$$

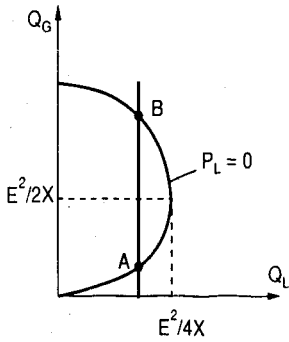
Kết hợp với (9.1) cho ra:

$$Q_G(U) = \frac{E^2}{X} - \frac{U^2}{X} - Q_L(U) \quad (9.13)$$

Kết hợp với (9.2) và sau một số biến đổi cho ra:

$$Q_L(U) = -\frac{Q_G^2(U)}{E^2/X} + Q_G(U) - \frac{P_L^2(U)}{E^2/X} \quad (9.14)$$

Khi $P_L(U) = \text{const}$ thì mối quan hệ giữa $Q_L = f(Q_G)$ được biểu diễn trên hình 9.9. Nhận thấy là đỉnh các parabol cùng nằm trên trục song song trục hoành, ứng với $Q_G = E^2/2X$. Đỉnh cực điểm Q_L ứng với các đỉnh trên hình 9.3 và 9.6.



Hình 9.9: $Q_G = f(Q_L)$

Yết điểm A và B trên hình 9.9. Tại A giả sử có một sự tăng ΔQ_L , khi đó Q_G cũng sẽ tăng lên. Ngược lại, khi Q_L giảm đi một lượng ΔQ_L thì Q_G cũng sẽ giảm xuống. Vậy điểm A là ổn định. Tại điểm B, khi tăng tải ΔQ_L thì Q_G lại giảm xuống và ngược lại khi giảm tải thì Q_G lại tăng lên. Như vậy điểm B là không ổn định.

Tiêu chuẩn ổn định là:

$$\frac{dQ_G}{dQ_L} > 0 \tag{9.15}$$

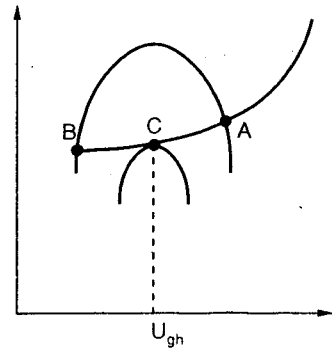
Việc sử dụng chương trình tính phân bố công suất mang lại cho (9.15) ưu điểm rõ rệt. (9.15) được tính như tỷ số giữa sự gia tăng của tổng các công suất Q sinh ra bởi các nút phát với sự gia tăng của công suất phản kháng của nút tải đang khảo sát

9.3 SỤP ĐỔ ĐIỆN ÁP

Trên hình 9.10 biểu diễn điểm đặc biệt C, khi Q_s và Q_L cắt nhau tại một điểm. Tọa độ của điểm này thích ứng với công suất giới hạn và điện áp giới hạn.

Ảnh hưởng của sự tăng tải

Khi phụ tải tăng, theo (9.7) thì Q_s sẽ giảm và Q_L tăng. Điểm A trên hình 9.7 sẽ dịch về trị điện áp nhỏ hơn, điểm B sẽ dời về phía điện áp lớn hơn. Kết quả là hai điểm này gặp nhau tại C. Tại điểm này chỉ cần một sự tăng Q_L rất nhỏ kéo theo một sự thiếu hụt công suất phản kháng và dẫn tới giảm U . Điều này dẫn tới gia tăng sự thiếu hụt công suất và điện áp tiếp tục giảm. Hiện tượng này gọi là sụp đổ điện áp. Cần phân biệt hiện tượng này với sụp đổ điện áp từng phần khi có sự tăng tải mạnh dẫn tới điện áp giảm tới trị nhỏ hơn ngưỡng cho phép. Tuy nhiên, sụp đổ điện áp từng phần không được coi là mất ổn định điện áp.



Hình 9.10: Điểm cân bằng và giới hạn của đặc tuyến phát và tải Q

Trên quan điểm an ninh hệ thống điện, đánh giá các giá trị công suất và điện áp giới hạn là cần thiết. Tuy nhiên khó có thể tìm công thức chung cho việc xác định điện áp giới hạn do đặc tuyến phi tuyến, do đó đề xuất công thức lập đơn sau đây. Để làm điều này cần tiếp nhận 3 giả thiết sau:

1- Khi tăng tải thì hệ số công suất không thay đổi, nghĩa là:

$$\frac{P_n(t)}{P_o} = \frac{Q_n(t)}{Q_o} = \xi$$

Ở đây P_n, Q_n là các trị định mức của nhu cầu tải tại thời điểm t ; P_o, Q_o là các trị ban đầu. Như vậy ξ là hệ số tăng tải.

2- Đặc tuyến tải tổng hợp công nghiệp được biểu diễn như sau:

$$\frac{Q_L}{Q_n} = a_2 \left(\frac{U}{U_n}\right)^2 - a_1 \left(\frac{U}{U_n}\right) + a_o; \quad \frac{P_L}{P_n} = b_1 \left(\frac{U}{U_n}\right) \quad (9.16)$$

3- Thành phần tải là không đổi nên có thể coi các hệ số của (9.16) là không đổi.

Kết hợp điều kiện $P_n(t)/P_o = Q_n(t)/Q_o = \xi$ và (9.16) có:

$$Q_L = \xi \{ \alpha_2 U^2 - \alpha_1 U + \alpha_o \}; \quad P_L = \xi \beta_1 U \quad (9.17)$$

$$\text{với: } \alpha_2 = \frac{Q_o}{U_n^2} a_2; \quad \alpha_1 = \frac{Q_o}{U_n} a_1; \quad \alpha_o = Q_o a_o; \quad \beta_1 = \frac{P_o}{U_n} b_1$$

Kết hợp với (9.7) cho ra:

$$Q_s(U) = U \sqrt{\left(\frac{E}{X}\right)^2 - \xi^2 \beta_1^2} - \frac{U^2}{X} \quad (9.18)$$

Lưu ý là tại điểm C (ứng với điện áp U_{cr}) có hai đường cong tiếp xúc nhau, do đó cùng giá trị Q và cùng tiếp tuyến nên:

$$Q_s(U_{cr}) = Q_L(U_{cr})$$

$$\left. \frac{dQ_s}{dU} \right|_{U=U_{cr}} = \left. \frac{dQ_L}{dU} \right|_{U=U_{cr}}$$

Kết hợp với (9.17) và (9.18) và sau khi biến đổi sẽ cho ra (9.19) và (9.20)

Có thể giải (9.19) và (9.20) theo phương pháp lập đơn:

$$U_{cr} = \frac{\sqrt{\left(\frac{E}{\beta_1 X}\right)^2 - \xi_{cr}^2} + \frac{\alpha_1}{\beta_1} \xi_{cr}}{2 \frac{\alpha_2}{\beta_1} \xi_{cr} + \frac{2}{\beta_1 X}} \quad (9.19)$$

$$\xi_{cr} = \frac{1}{\frac{\alpha_o X}{U_{cr}^2} - \alpha_2 X} \quad (9.20)$$

Ảnh hưởng thay đổi tham số mạng điện

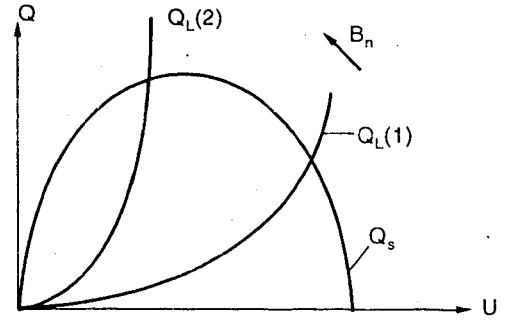
Trong công thức (9.7), khi X thay đổi thì Q_s sẽ thay đổi và có thể gây mất ổn định điện áp.

Ảnh hưởng của đặc tính tải

Ta xét trường hợp khi P_L được biểu diễn bằng $G_n U^2$ và $Q_L = B_n U^2$ và thế vào (9.7) cho ra:

$$Q_s = U \left\{ \sqrt{\left(\frac{E}{X}\right)^2 - (G_n U)^2} - \frac{U}{X} \right\} \quad (9.21)$$

Sự thay đổi của Q_s và $Q_L = B_n U^2$ được biểu diễn trên hình 9.11. Các đường cong Q_s đều xuất phát từ gốc tọa độ. Điểm này là một điểm cân bằng của Q . Nhận thấy là mọi điểm giao nhau của hai đường cong đều thỏa tiêu chuẩn ổn định (9.8), nghĩa là, nếu tải được biểu diễn bởi tổng dẫn không đổi thì vấn đề sụp đổ điện áp không xảy ra.

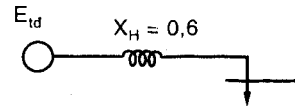


Hình 9.11: Khi tải biểu diễn bởi tổng dẫn cố định

Ảnh hưởng của điều chỉnh điện áp

Trong các công thức (9.7) thể hiện ảnh hưởng của X rất rõ. Giá trị X phụ thuộc vào khả năng điều chỉnh điện áp. Nếu máy phát có khả năng giữ được điện áp trên đầu ra không đổi thì điện kháng của nó không đi vào X . Ngược lại, khi đó cần bổ sung X máy phát vào và giá trị max của Q_s sẽ giảm xuống và kéo theo là công suất giới hạn.

Ví dụ 9.1. Cho sơ đồ hệ như trên hình 9.12:



Đường đặc tính tĩnh của tải tổng hợp theo U được cho trong bảng sau:

Hình 9.12: Sơ đồ cho ví dụ 9.1

U.	P.	Q.	U.	P*	Q.
1,0	1,0	1,0	0,8	0,9	0,86
0,9	0,95	0,87	0,7	0,88	0,9

Biết rằng khi điện áp là định mức thì công suất của tải là $P_0 = 0,9$ và $Q_0 = 0,7$. Kiểm tra ổn định của hệ.

Giải. Sức điện động tương đương là:

$$E_{td} = \sqrt{\left(U + \frac{Q_L X_H}{U}\right)^2 + \left(\frac{P_L X_H}{U}\right)^2}$$

với $P_L = 0,9P^*$, $Q_L = 0,7Q^*$ tương ứng với các giá trị điện áp khác nhau trên nút phụ tải.

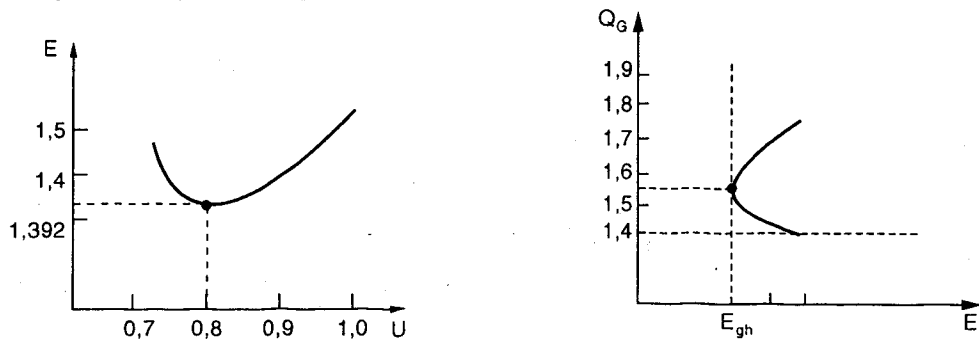
Công suất phản kháng cấp bởi hệ thống:

$$Q_G = Q_L + \Delta Q \text{ với } \Delta Q = \frac{P_L^2 + Q_L^2}{U^2}$$

Thay đổi giá trị U sẽ cho ra bảng kết quả tính sau:

U	1	0,9	0,8	0,7
$P_L = P \times 0,9$	0,9	0,855	0,81	0,792
$Q_L = 0,7 \times Q$	0,7	0,609	0,602	0,63
$\frac{Q_L X_H}{U}$	0,42	0,406	0,452	0,54
$U + \frac{Q_L X_H}{U}$	1,42	1,306	1,252	1,24
$\frac{P_L X_H}{U}$	0,54	0,57	0,608	0,679
E_{td}	1,519	1,425	1,392	1,414
$P_L^2 + Q_L^2 = A$	1,3	1,102	1,018	1,024
$\frac{A}{U^2} X_H$	0,78	0,816	0,954	1,254
$Q_G = Q_L + \Delta Q$	1,48	1,425	1,556	1,884

Đặc tuyến $E = f(U)$ và $Q_G = f(U)$ được biểu diễn là:



Hình 9.13: Kết quả của ví dụ 9.1

Vậy $E_{tdgh} = 1,392$.

Ví dụ 9.2. Cho một trạm có đặc tính tải là (kV, MVA):

$$P_L = 0,682\xi U; \quad Q_L = \xi(0,0122U^2 - 4,318U + 460)$$

Trạm được lấy điện từ hệ có $X_H = 1,686 \Omega$ qua đường dây có $X_{dây} = 3,4\Omega$. Điện kháng máy biến áp trên trạm là: $X_T = 12,25\Omega$. Khảo sát ổn định của hệ khi thanh cái điện áp của hệ thay đổi từ trị $124 kV$ tới $100 kV$.

Giải. Khi điện áp là $124 kV$ thì:

$$U_{cr} = \frac{\sqrt{110,072 - \xi_{cr}^2} + 6,331\xi_{cr}}{0,03578\xi_{cr} + 0,16917}; \quad \xi_{cr} = \frac{1}{\frac{7971,8}{U_{cr}^2} - 0,21143}$$

Sau một số lần lặp kết quả cho ra là: $U_{cr} = 82,5 kV$, $\xi_{cr} = 1,042$. Độ dự trữ ổn định là $((110-82,5)/110)100\% = 25\%$

Bảng sau cho kết quả khi thay đổi trị điện áp thanh cái hệ E từ 120 tới $100 kV$:

$E, (kV)$	$U_{cr}, (kV)$	ξ_{cr}	Độ dự trữ, %
120	79,28	0,95	28
115	75,27	0,84	31
110	71,29	0,65	35
105	67,35	0,65	38,8
100	63,5	0,57	42,3

Ví dụ 9.3. Giả sử trong ví dụ 9.2 với đặc tuyến tải thay đổi (thay đổi độ dốc đặc tuyến tải $Q_L(U)$), khảo sát ổn định của hệ.

Giải. Kết quả tính toán được cho trong bảng sau:

α_2	$U_{cr}, (kV)$	ξ_{cr}	Độ dự trữ k, %
0,015	78,7	0,97	28
0,017	75,5	0,91	31
0,019	73,3	0,87	33
0,02	72,3	0,85	34
0,025	68	0,77	38

CÁC BIỆN PHÁP NÂNG CAO TÍNH ỔN ĐỊNH

10.1 CÁC BIỆN PHÁP CẢI THIỆN ỔN ĐỊNH

Các biện pháp về thiết kế

- Chọn kích cỡ, vị trí các thiết bị bù cần được nghiên cứu tỉ mỉ để tránh sụp đổ điện áp. Tiêu chuẩn thiết kế dựa trên sụt áp cho phép trong điều kiện sự cố thường không thỏa mãn nhìn từ tiêu chuẩn về ổn định điện áp.

Bù nhuyến (SVC): Bằng cách điều khiển nhanh điện áp và thay đổi công suất phản kháng bộ SVC góp phần nâng cao tính ổn định động hệ

Hệ thống kích từ tốc độ cao

Việc tăng nhanh kích từ máy phát làm tăng điện áp máy phát và giảm tăng tốc rôto. Việc sử dụng phối hợp với các bộ điều khiển kích từ như power system stabilizer (PSS) giảm hiện tượng dao động

PSS: Chức năng của PSS là làm giảm hiện tượng dao động máy phát. Các tín hiệu đầu vào có thể là tốc độ, tần số, hay tích phân công suất.

- Dùng các bộ tự động điều chỉnh điện áp phía điện áp cao của máy biến áp nâng áp sẽ ảnh hưởng tốt tới ổn định điện áp. Các bộ điều áp dưới tải dùng kỹ thuật vi xử lý cho sự thay đổi rộng các đặc tuyến tải. Ví dụ như việc giảm điện áp trạm cung cấp chủ yếu cho tải dân dụng sẽ có tác dụng làm giảm tải, ngược lại nếu cấp điện cho tải công nghiệp - khi tăng áp sẽ không ảnh hưởng nhiều tới tải, song lại tăng công suất phát từ tụ điện gắn tại tải.

Sử dụng tự động sa thải tải theo điện áp. Biện pháp này ngăn chặn hiện tượng sụp đổ hệ thống tổng thể. Sơ đồ sa thải cần được thiết kế để có thể phân biệt được các điều kiện sự cố, sụt áp thoáng qua, giảm áp dẫn tới sụp đổ điện áp.

Cắt nhanh sự cố

Việc cắt nhanh sự cố làm giảm lượng động năng tích lũy trong quá trình tăng tốc và do đó làm tăng cơ hội ổn định hệ thống khi có nhiễu lớn. Do sự phát triển công nghệ, các máy cắt hiện đại có thể cắt trong vòng vài chu kỳ, thậm chí một

chu kỳ đầu sau khi có sự cố.

Giảm điện kháng lưới truyền tải

Việc giảm cảm kháng lưới truyền tải sẽ giúp nâng cao khả năng truyền tải chế độ sau sự cố, cụ thể là nâng cao công suất truyền tải sau sự cố, tăng diện tích hãm tốc max. Điều này được thực hiện nhờ bù dọc. Tuy nhiên, khi có sự cố cần nối tắt bộ tụ và sau khi có sự cố cần đóng trở lại bộ tụ một cách nhanh chóng. Việc đóng nhanh bộ tụ gặp một số trở ngại do tốc độ của các cầu dao đổi nối ở những năm trước đây. Ngày nay nhờ sử dụng điện trở phi tuyến ôxyt chì (zinc), việc tái đóng bộ tụ có thể gần như tức thời.

Hãm động

Hãm động được coi như tạo một tải nhân tạo trên máy phát và do đó giảm được sự tăng tốc của rôto. Một trong các dạng của hãm động là các điện trở mắc shunt, chúng được đóng vào sau 0,5s sau khi sự cố. Ví dụ như bộ điện trở 240 kV có công suất khoảng 1400MW tây bắc Thái bình dương. Các bộ hãm này hiện nay thường được áp dụng cho các máy phát thủy điện, vì các máy này có khả năng chịu được các cú sốc bất ngờ do đóng bộ hãm

Máy cắt đơn cực

Các sự cố trên đường dây truyền tải thường gặp là loại một pha, hai pha. Sử dụng máy cắt đơn cực cho phép tiếp tục truyền tải một lượng công suất nào đó trên các pha lành lặn, do đó góp phần nâng cao ổn định của hệ.

Các biện pháp về vận hành

Cần có sự phân chia công suất nguồn Q hợp lý để có thể có một độ dự trữ tương hợp về ổn định điện áp.

Dự trữ nóng công suất phản kháng cần được đảm bảo nhờ kích từ và các tụ bù ngang.

Nhân viên điều phối cần nhận biết đúng các triệu chứng mất ổn định và có biện pháp kịp thời điều khiển Q, cắt tải...

10.2 VÍ DỤ VỀ MỘT VÀI SỰ CỐ GÂY MẤT ỔN ĐỊNH

Ví dụ minh họa: Sự cố 2/7/1996 tại Mỹ

Sự cố này đã cắt điện của 2,24 triệu khách hàng với tổng công suất cắt là 12000 MW và chỉ có thể phục hồi chế độ bình thường sau 6 giờ.

Vào lúc 14h 24' 37" xuất hiện ngắn mạch một pha trên đường dây nối nhà máy nhiệt điện Jim Bridger và trạm Kimport dài 400 km, 345 kV. Thời gian cắt ngắn mạch là 0,05s, tuy nhiên lại cắt dư đường dây song song Jim Bridger - Coshen. Do quá tải đường dây còn lại (Jim Bridger - Borah) nên tự động ngắt hai tổ máy mỗi tổ 250 MW trên nhà máy nhiệt điện nói trên. Đồng thời trên hai trạm Coshen và Borah đã nối tắt các tụ điện, còn ở trên Kimport đưa vào hoạt động tụ bù 175 Mvar. Bảo vệ khoảng cách với tự đóng lại không thành công đã cắt dư đường dây 230 kV Round Up - Lagrand 2 s sau đó. Kết quả là điện áp giảm.

14h 25' 06" điện áp xấu đi ở hai bang Oregon và IO và kéo theo cắt 7 đường dây 230 kV, 01 đường dây 115 kV, cắt ba tổ máy 26 MV, 5 tổ máy thủy điện ở trung tâm đường dây truyền tải từ California đi Oregon.

14h 25' 11" tăng đột ngột tải Q từ California vào Oregon (từ 400 tới 2000 Mvar). Hai đường dây 500 kV liên lạc California - Oregon bị ngắt (bảo vệ khoảng cách tác động không đúng), kéo theo sự phân chia hệ thống điện liên kết thành 5 phần cô lập.

Ngày 3/7/1996: cũng có sự cố tương tự trên đường dây 345kV Jim Bridger - Kimport cũng tại chỗ như ngày hôm trước (hai ngày sau người ta mới phát hiện được vị trí sự cố). Role cũng tác động nhầm, cắt đường dây song song 345 kV. Và cũng giống ngày hôm trước, tự động cắt hai tổ máy 500 MW. Để hạ thấp nguy hiểm quá tải rôto máy phát thủy điện Brownlee, nhân viên trực hạ thấp kích từ máy phát. Thao tác sai này dẫn tới giảm dữ dội điện áp trên trạm (tới 205 kV), bắt đầu quá trình dao động điện áp, lặp lại sự cố như ngày hôm trước.

Các chuyên gia Mỹ trong tường trình cho Tổng thống đã phân tích như sau:

Lưu tâm tới việc lắp đặt tự động sa thải tải theo điện áp, Hiệp hội Độ tin cậy Cấp điện Mỹ đưa vấn đề liên quan tới sụp đổ điện áp.

Đề nghị thực thi các phần mềm kiểm soát theo thời thực độ tin cậy chế độ điện áp và Q và đề xuất lời khuyên cho điều độ ngăn chặn sụp đổ điện áp.

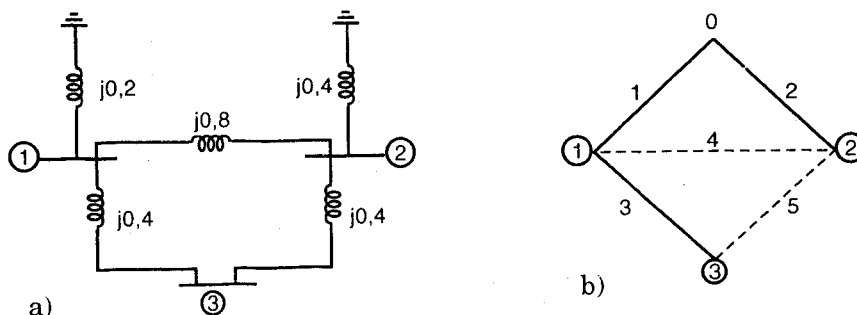
Đẩy mạnh việc huấn luyện và đào tạo các nhân viên điều độ, vì họ đã hành động chưa đúng như: không tách role tác động nhầm trên nhiệt điện Jim Bridger dẫn tới sự cố tiếp ngày hôm sau (3/7), nhân viên trực thủy điện Brownlee còn lệnh giảm tải Q cho các máy phát; không một nhân viên điều độ nào thử có ý định ngắt tải vào ngày 2/7/96 khi phát hiện sự cố lưới 345 kV.

PHẦN PHỤ LỤC

Phụ lục 1

GIẢI BẰNG PHẦN MỀM MATLAB VÍ DỤ 2.11

Xây dựng ma trận tổng trở nút cho sơ đồ hình P.1.



Hình P.1: Sơ đồ hình vẽ cho bài phụ lục 1

Giải: 1. Chọn nút chuẩn là đất (nút 0). Bắt đầu với các nhánh được nối với nút chuẩn. Nối nhánh 1 có $z_{10} = j0,2$ giữa nút $q = 1$ và nút 0, được ma trận 1×1 theo luật 1 như sau:

$$[\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(1)}]^1 = [z_{10}] = [j0,2]$$

2. Thêm nhánh 2-0, $z_{20} = j0,4$ giữa nút mới $q = 2$ và nút 0 theo luật 2, được ma trận:

$$[\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(2)}]^2 = \begin{bmatrix} j0,2 & 0 \\ 0 & z_{20} \end{bmatrix} = j \begin{bmatrix} 0,2 & 0 \\ 0 & 0,4 \end{bmatrix}$$

3. Tiếp theo, thêm vào nhánh 3-1 có $z_{31} = j0,4$ giữa nút mới $q = 3$ và nút $p = 1$, được ma trận 3×3 . Ma trận được tính theo luật 3 như sau:

$$[\mathbf{Z}_{\text{nút}}^{(3)}]^3 = \begin{bmatrix} j0,2 & 0 & j0,2 \\ 0 & j0,4 & 0 \\ j0,2 & 0 & j0,2 + z_{31} \end{bmatrix}$$

4. Thêm vào nhánh 1-2 có $z_{1-2} = j0,8$ giữa nút $p = 1$ và $q = 2$. Ma trận mới không thay đổi số phần tử và được ma trận sau bởi luật 4:

$$[\Delta \mathbf{Z}_{1-2}] = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{11} - \dot{Z}_{12} \\ \dot{Z}_{21} - \dot{Z}_{22} \\ \dot{Z}_{31} - \dot{Z}_{32} \end{bmatrix} = j \begin{bmatrix} 0,2 \\ -0,4 \\ 0,2 \end{bmatrix}$$

$$\dot{Z}_{44} = \dot{Z}_{11} + \dot{Z}_{22} + \dot{z}_{12} - 2\dot{Z}_{12} = j1,4$$

với

$$\text{và } \frac{1}{Z_{44}} [\Delta \dot{Z}_{1-2}] \cdot [\Delta \dot{Z}_{1-2}]^T = \frac{1}{j1,4} \begin{bmatrix} -j0,2 \\ j0,4 \\ -j0,2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -j0,2 & j0,4 & -j0,2 \end{bmatrix}$$

$$= j \begin{bmatrix} 0,02857 & -0,05714 & 0,02857 \\ -0,05714 & 0,11428 & -0,05714 \\ 0,02857 & -0,05714 & 0,02857 \end{bmatrix}$$

$$[Z_{\text{nút}}^{(3)}]^4 = [Z_{\text{nút}}^{(3)}]^3 - \frac{1}{Z_{44}} [\Delta Z_{1-2}] [\Delta Z_{1-2}]^T = j \begin{bmatrix} 0,17143 & 0,05714 & 0,17143 \\ 0,05714 & 0,28571 & 0,05714 \\ 0,17143 & 0,05714 & 0,57143 \end{bmatrix}$$

5. Cuối cùng, thêm nhánh 2-3 có $z_{2-3} = j0,4$ giữa nút $p = 2$ và $q = 3$, tương tự như bước 4, được ma trận tổng trở nút của mạng:

$$[\Delta Z_{2-3}] = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{13} - \dot{Z}_{12} \\ \dot{Z}_{23} - \dot{Z}_{22} \\ \dot{Z}_{33} - \dot{Z}_{32} \end{bmatrix} = j \begin{bmatrix} 0,11429 \\ -0,22857 \\ 0,51429 \end{bmatrix}$$

$$\dot{Z}_{44} = \dot{Z}_{33} + \dot{Z}_{22} + \dot{z}_{32} - 2\dot{Z}_{32} = j1,14$$

$$\frac{1}{Z_{44}} [\Delta Z_{2-3}] [\Delta Z_{2-3}]^T = j \begin{bmatrix} 0,01143 & -0,02286 & 0,05143 \\ -0,02286 & 0,04571 & -0,10286 \\ 0,05143 & -0,10286 & 0,238143 \end{bmatrix}$$

$$[Z_{\text{nút}}] = [Z_{\text{nút}}^{(3)}]^5 = [Z_{\text{nút}}^{(3)}]^4 - \frac{1}{Z_{44}} [\Delta Z_{2-3}] [\Delta Z_{2-3}]^T = j \begin{bmatrix} 0,16 & 0,08 & 0,12 \\ 0,08 & 0,24 & 0,16 \\ 0,12 & 0,16 & 0,34 \end{bmatrix}$$

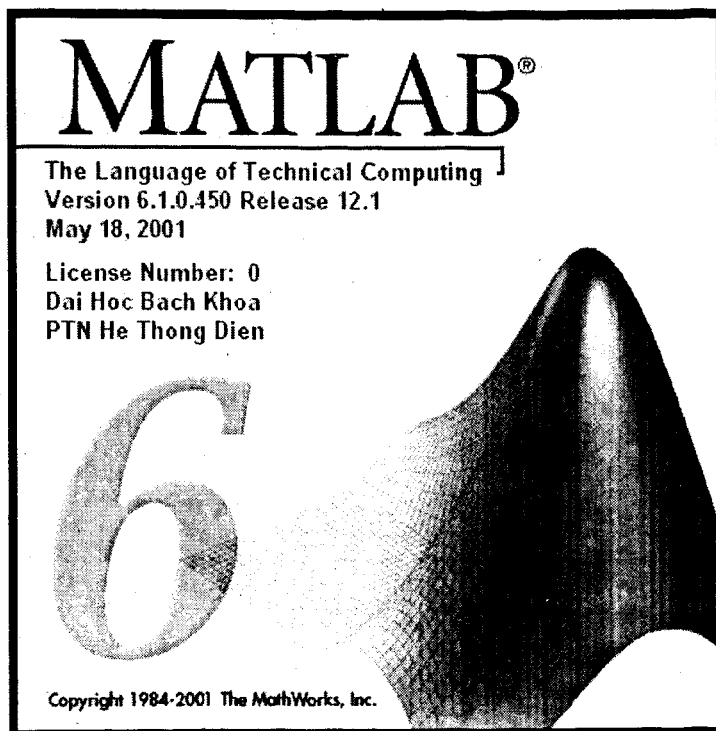
Ngoài cách tính toán bằng tay ở trên, để xác định ma trận tổng trở $Z_{\text{nút}}$ phức tạp hơn phục vụ cho việc tính toán dòng điện ngắn mạch, chúng ta có thể xây dựng một chương trình dựa theo thuật toán đã trình bày với phần mềm **MATLAB**. Để giải quyết vấn đề này ta tiến hành các bước sau:

Bước 1. Nhấp đôi vào biểu tượng **MATLAB**

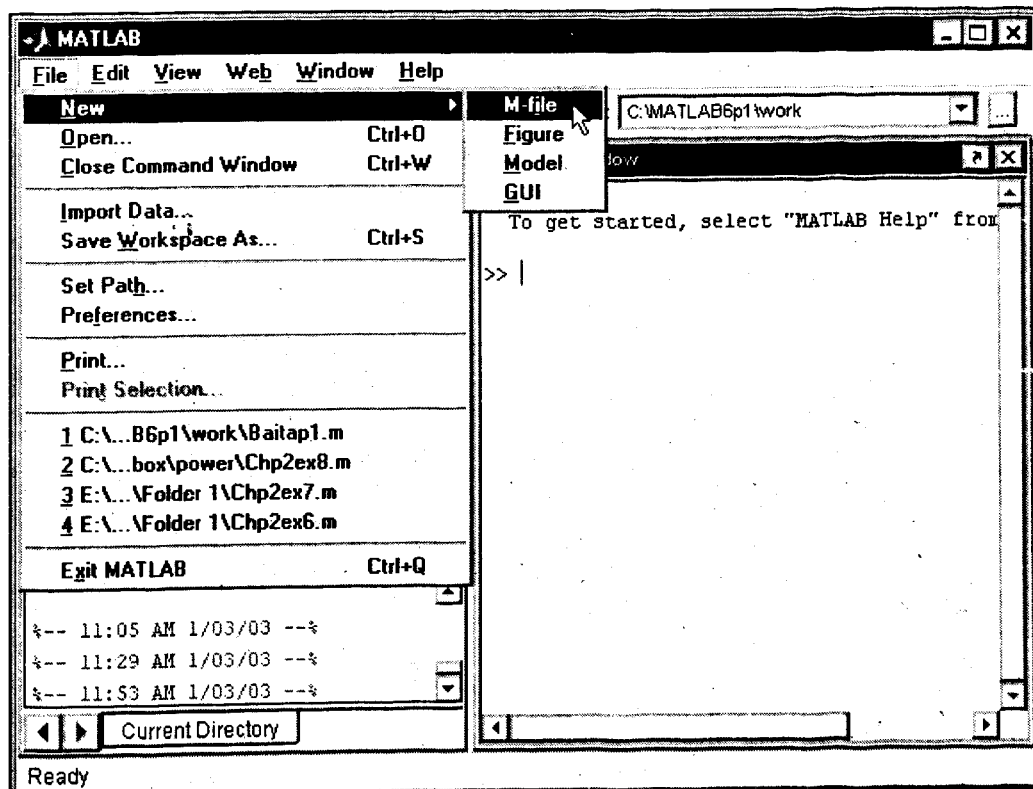



trên desktop để khởi động Matlab.

Bước 2. Trình tự các cửa sổ của Matlab hiện ra như sau:

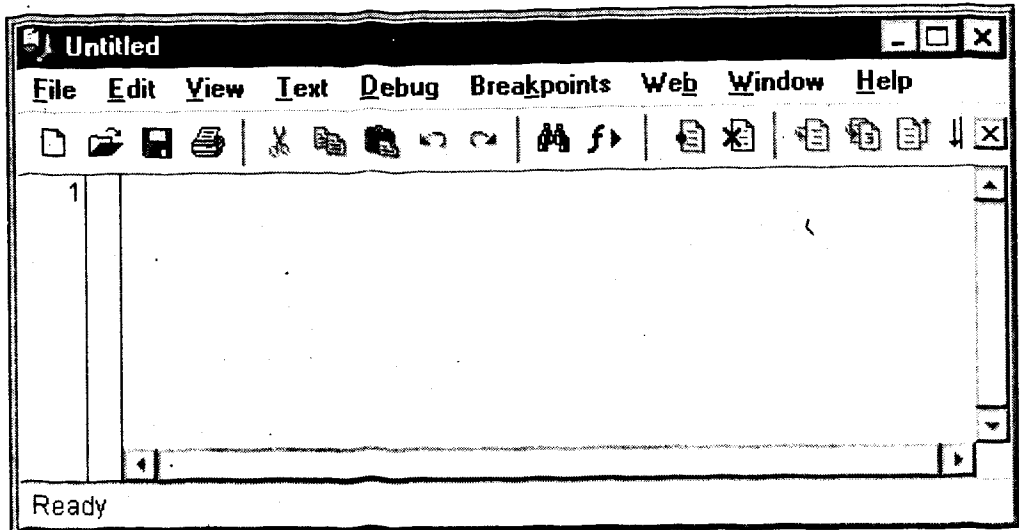


Bước 3. Vào File chọn New, sau đó chọn M-file để mở cửa sổ soạn thảo chương trình

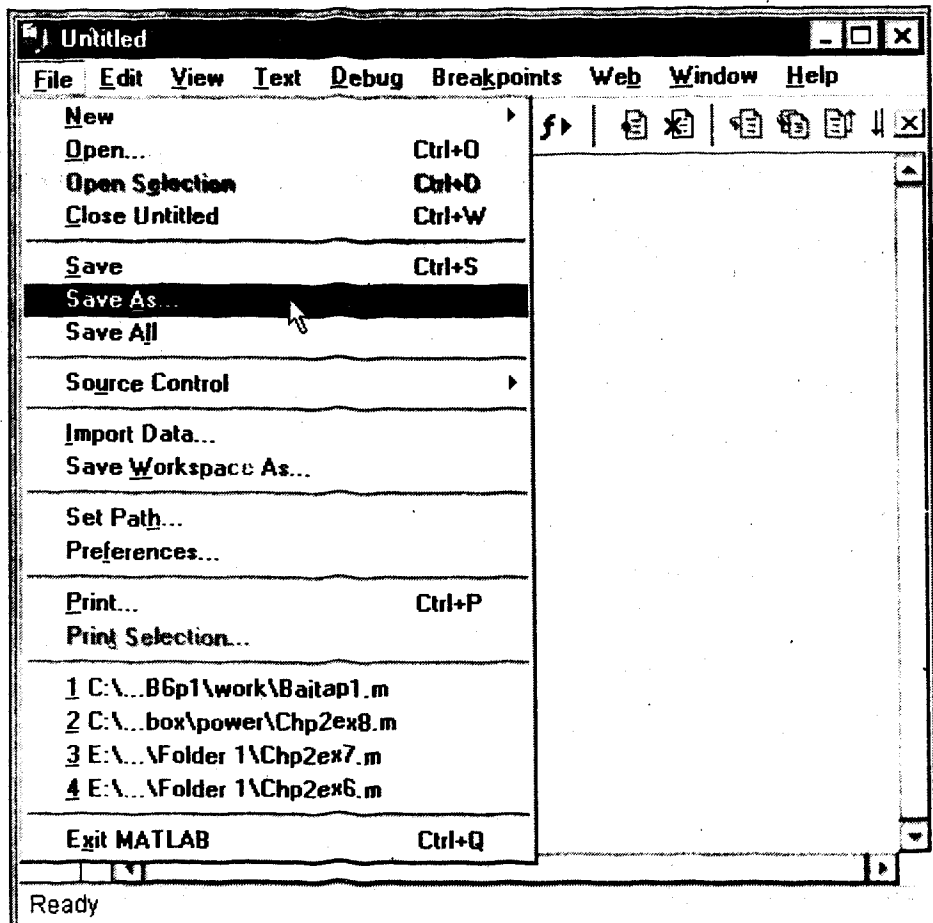



Mặt khác, ta cũng có thể nhấp vào biểu tượng New  trên thanh công cụ của cửa sổ màn hình nền MATLAB. Kết quả cũng sẽ tương tự như trên.

Bước 4. Đây là cửa sổ soạn thảo chương trình

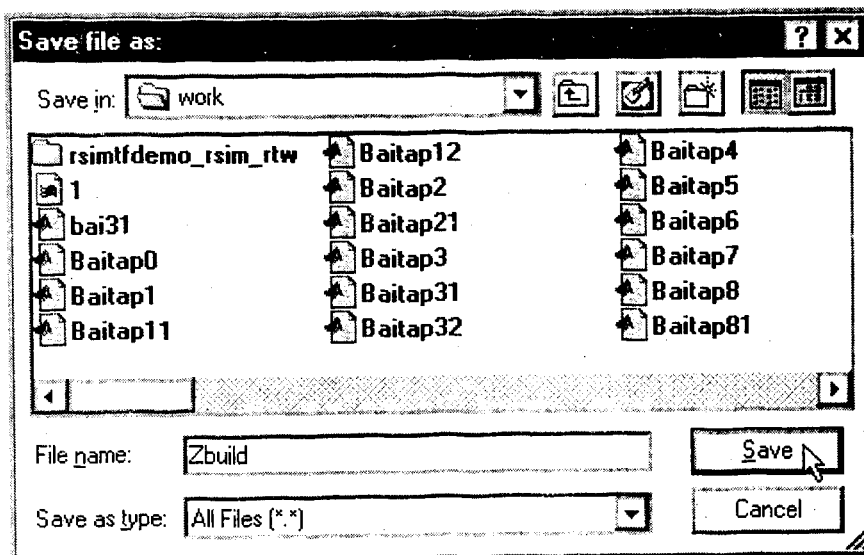


Bước 5. Lưu đoạn chương trình bằng cách: chọn File, sau đó chọn Save As



Mặt khác, bạn cũng có thể nhấp vào biểu tượng Save  trên thanh công cụ của cửa sổ màn hình nền của MATLAB và kết quả sẽ tương tự như trên.

Bước 6. Cửa sổ Save file as hiện ra như sau:



Lưu đoạn chương trình này với tên Zbuild.m

***Chú ý:** Tất cả các chương trình để có thể thực thi được, yêu cầu phải lưu nó ở thư mục **work** của MATLAB.

Bước 7. Sau đó, gõ đoạn chương trình sau vào cửa sổ soạn thảo chương trình:

```
% CHUONG TRINH TINH TOAN MA TRAN TONG TRO Z NUT
function [Zbus] = zbuild(linedata)
nl = linedata(:,1); nr = linedata(:,2); R = linedata(:,3);
X = linedata(:,4);
nbr = length(linedata(:,1)); nbus = max(max(nl), max(nr));
for k = 1:nbr
    if R(k) == inf | X(k) == inf
        R(k) = 99999999; X(k) = 99999999;
    else, end
end

ZB = R + j*X;
Zbus = zeros(nbus, nbus);
tree = 0;
```

```

% Moi

% Them mot nhanh tu mot nut moi den nut chuan 0

for I = 1:nbr
    ntree(I) = 1;
    if nl(I) == 0 | nr(I) == 0
        if nl(I) == 0 n = nr(I);
        elseif nr(I) == 0 n = nl(I);
        end
        if abs(Zbus(n, n)) == 0 Zbus(n,n) = ZB(I); tree = tree+1; % Moi
        else Zbus(n,n) = Zbus(n,n)*ZB(I)/(Zbus(n,n) + ZB(I));
        end
        ntree(I) = 2;
    else, end
end

% Them mot nhanh tu nut moi den mot nut dang ton tai

while tree < nbus % Moi

for n = 1:nbus
    nadd = 1;
    if abs(Zbus(n,n)) == 0
        for I = 1:nbr
            if nadd == 1;
                if nl(I) == n | nr(I) == n
                    if nl(I) == n k = nr(I);
                    elseif nr(I) == n k = nl(I);
                    end
                    if abs(Zbus(k,k)) ~ = 0
                        for m = 1:nbus
                            if m ~ = n
                                Zbus(m,n) = Zbus(m,k);
                                Zbus(n,m) = Zbus(m,k);
                            else, end
                        end
                    end
                    Zbus(n,n) = Zbus(k,k)+ZB(I); tree = tree+1; % Moi
                end
            end
        end
    end
end

```

```

                nadd = 2; ntree(I) = 2;
            else, end
        else, end
    else, end
end
else, end
end
end % Moi

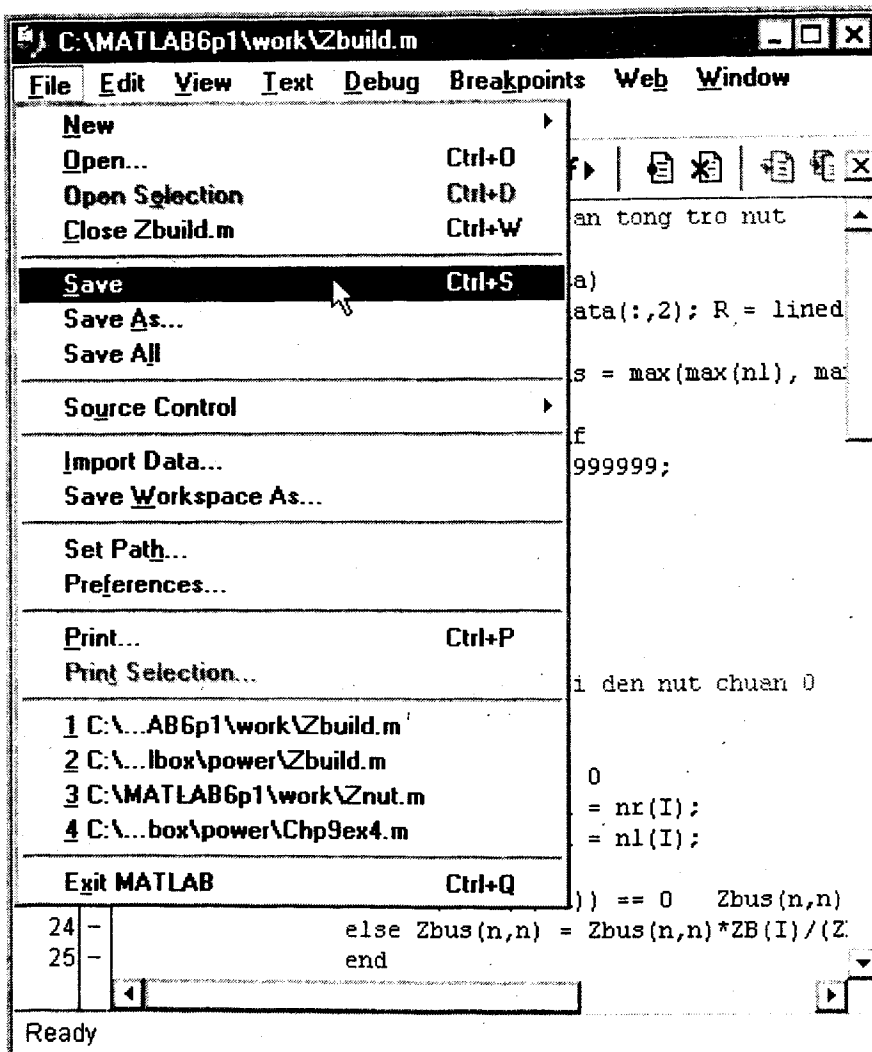
% Them mot nhanh lien ket giua 2 nut cu


for n = 1:nbus
    for I = 1:nbr
        if ntree(I) == 1
            if nl(I) == n | nr(I) == n
                if nl(I) == n k = nr(I);
                elseif nr(I) == n k = nl(I);
                end
                DM = Zbus(n,n) + Zbus(k,k) + ZB(I) - 2*Zbus(n,k);
                for jj = 1:nbus
                    AP = Zbus(jj,n) - Zbus(jj,k);
                    for kk = 1:nbus
                        AT = Zbus(n,kk) - Zbus(k, kk);
                        DELZ(jj,kk) = AP*AT/DM;
                    end
                end
                Zbus = Zbus - DELZ;
                ntree(I) = 2;
            else, end
        else, end
    end
end
end

```

* **Chú ý:** Các dòng chữ phía sau dấu “%” có ý nghĩa giải thích sẽ không ảnh hưởng đến quá trình thực thi của chương trình cũng như cách thể hiện kết quả của chương trình.

Bước 8. Chọn File/Save để lưu lại chương trình lần cuối.



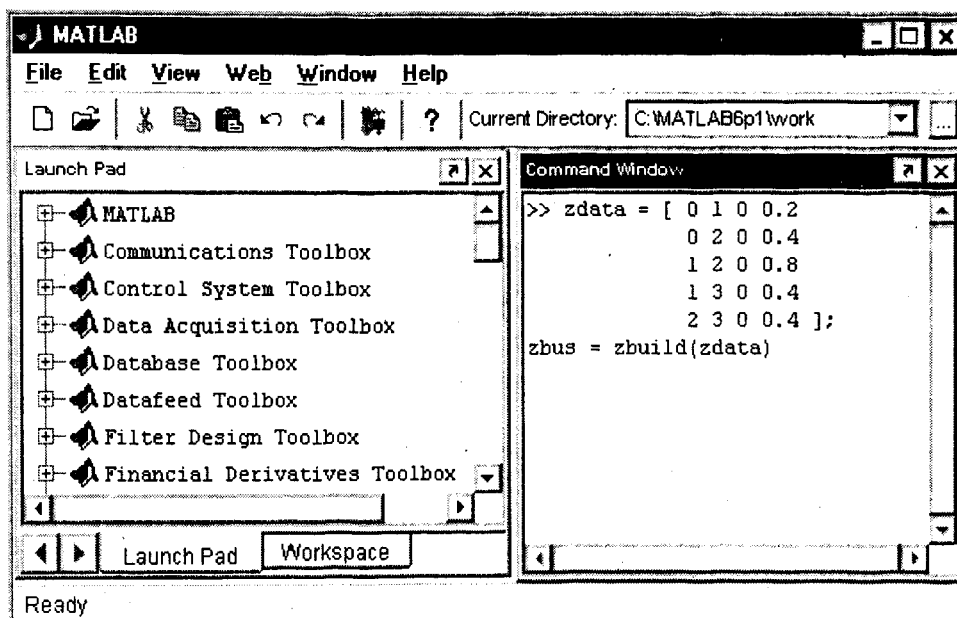
Mặt khác, bạn cũng có thể nhấp vào biểu tượng Save  trên thanh công cụ của cửa sổ màn hình nền của MATLAB và kết quả sẽ tương tự như trên để lưu chương trình lại lần cuối.

Bước 9. Chuyển sang cửa sổ chính của Matlab để chạy chương trình. Gõ các dòng lệnh sau vào cửa sổ Command Window.

```

zdata = [    0 1 0 0.2
           0 2 0 0.4
           1 2 0 0.8
           1 3 0 0.4
           2 3 0 0.4 ];
zbus = zbuild(zdata)
  
```


Khi ấy, ta có:



Chú ý: Trong dữ liệu đưa vào **zdata** là một ma trận $n \times 4$ bao gồm:

- n là số phần tử của sơ đồ.
- 4 cột tương ứng như sau:

Cột 1 và 2: là số nút của các phần tử

Cột 3 và 4: là điện trở và điện kháng trong đơn vị tương đối tương ứng của các phần tử

Bước 10. Cuối cùng, kết quả tính toán được là:

```
zbus =
 0 + 0.1600i  0 + 0.0800i  0 + 0.1200i
 0 + 0.0800i  0 + 0.2400i  0 + 0.1600i
 0 + 0.1200i  0 + 0.1600i  0 + 0.3400i
```

Kết quả này được hiển thị trong cửa sổ **Command Window**

Nhận xét: Kết quả mà chương trình tính được hoàn toàn đúng với kết quả được tiến hành tính bằng tay.

GIẢI BẰNG PHẦN MỀM MATLAB VÍ DỤ 2.6

Cho một sơ đồ đơn tuyến của một hệ thống đơn giản 3 nút như hình P.2. Mỗi máy phát được thay thế bằng một sức điện động sau một điện kháng quá độ, tổng trở sự cố $Z_f = 0,16$ (đvtđ).

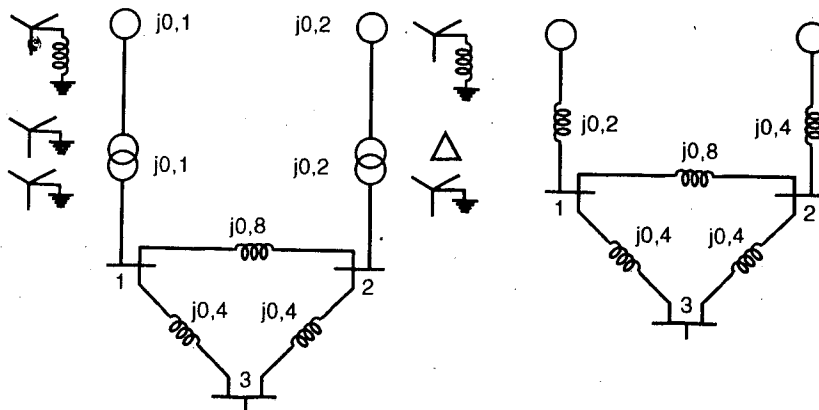
Tất cả các tổng trở được biểu diễn trong đvtđ với $S_{cb} = 100$ MVA, và để đơn giản, các điện trở được bỏ qua.

Giả sử:

- i) Các tụ điện mắc nhánh rẽ được bỏ qua và hệ thống được xem như không tải.
- ii) Tất cả các máy phát đang làm việc ở điện áp và tần số định mức.

Xác định dòng ngắn mạch ba pha, điện áp nút và dòng điện nhánh trong suốt quá trình xảy ra sự cố tương ứng với các trường hợp sau.

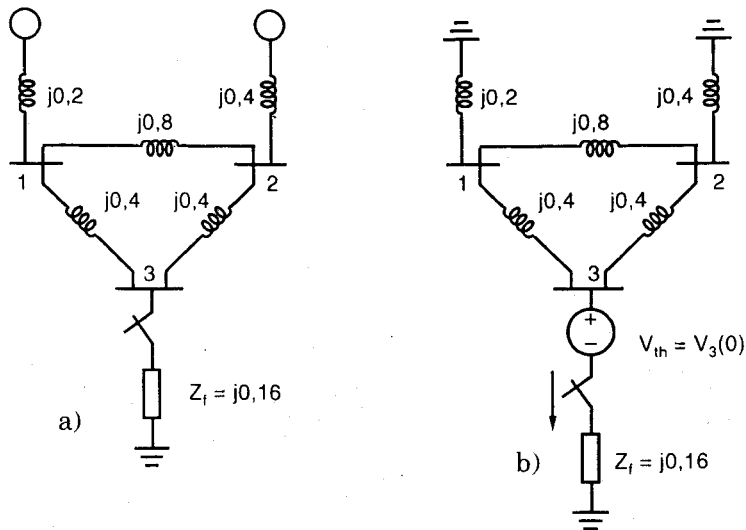
- a) Tại nút ③.
- b) Tại nút ②.
- c) Tại nút ①.



Hình P.2: Sơ đồ tổng trở của một hệ thống điện đơn giản cho bài phụ lục 2

Giải. a) Sự cố tại nút ③

Sự cố được giả lập bởi một công tắc nối tổng trở sự cố tại nút ③ như hình P.3a. Theo lý thuyết Thevenin, sự thay đổi trạng thái trong mạng gây bởi nhánh tổng trở sự cố cũng tương đương như khi thêm vào nguồn áp $V_3(0)$ và nối tắt các nguồn áp khác như trên hình P.3b.



Hình P.3: a) Sơ đồ tổng trở cho sự cố tại nút ③
b) Sơ đồ tương đương Thevenin

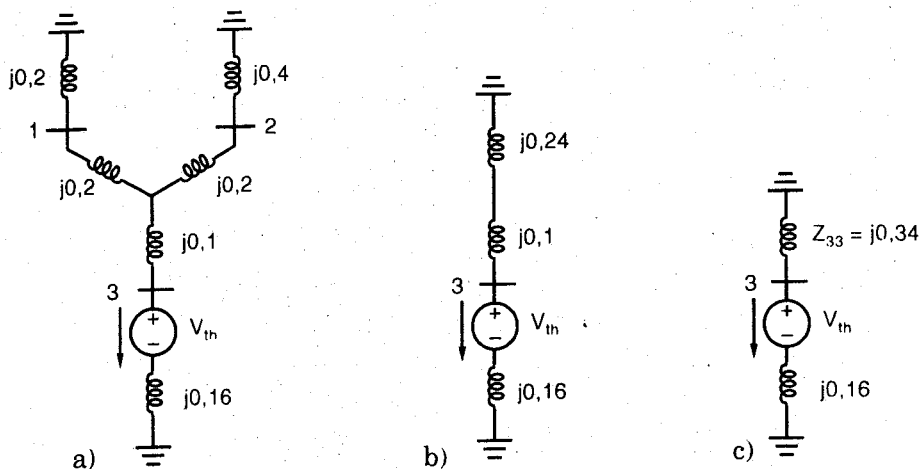
Theo hình P.3b, dòng sự cố tại nút ③ là:
$$I_N^{(3)} = \frac{\dot{V}_3(0)}{\dot{Z}_{33} + \dot{Z}_N} \quad (1)$$

Với $\dot{V}_3(0)$ là điện áp Thevenin hay điện áp nút ③ trước sự cố. Giá trị điện áp nút này có thể nhận được từ kết quả tính toán phân bố công suất. Trong bài này, do bỏ qua tải và điện áp máy phát được giả thiết bằng định mức, nên tất cả điện áp nút trước sự cố đều bằng 1,0 đvtd, nghĩa là:

$$V_1^*(0) = V_2^*(0) = V_3^*(0) = 1 \text{ đvtd}$$

Z_{33} là tổng trở Thevenin nhìn từ nút sự cố.

Để tìm tổng trở Thevenin, ta biến đổi hình ba mạch $\Delta(1, 2, 3)$ thành dạng Y tương ứng như hình P.4a.



Hình P.4: Đơn giản sơ đồ tương đương Thevenin

$$Z_{1s}^* = Z_{2s}^* = \frac{(j0,4)(j0,8)}{j1,6} = j0,2; \quad Z_{3s}^* = \frac{(j0,4)(j0,4)}{j1,6} = j0,1$$

Kết hợp hai nhánh song song, ta được tổng trở Thevenin: (hình P.4c)

$$Z_{33}^* = \frac{(j0,4)(j0,6)}{j0,4 + j0,6} + j0,1 = j0,34 \text{ đvtd}$$

Từ hình 3 và công thức (1), cường độ dòng điện ngắn mạch ba pha tại nút ③ là:

$$I_{N3}^{(3)*} = \frac{V_3(0)}{Z_{33}^* + Z_N} = \frac{1,0}{j0,34 + j0,16} = -j2,0 \text{ đvtd}$$

Theo hình 3a, dòng điện đi qua hai máy phát là:

$$I_{G1}^* = \frac{j0,6}{j0,4 + j0,6} I_{N3}^{(3)*} = -j1,2 \text{ đvtd.}$$

$$I_{G2}^* = \frac{j0,4}{j0,4 + j0,6} I_{N3}^{(3)*} = -j0,8 \text{ đvtd.}$$

Sự thay đổi điện áp nút là:

$$\Delta V_1^* = 0 - (j0,2)(-j1,2) = -0,24 \text{ đvtd}$$

$$\Delta V_2^* = 0 - (j0,4)(-j0,8) = -0,32 \text{ đvtd}$$

$$\Delta V_3^* = (j0,16)(-j2) - 1,0 = -0,68 \text{ đvtd}$$

Giá trị điện áp nút khi xảy ra sự cố chính là xếp chồng của điện áp nút trước sự cố và độ thay đổi điện áp nút do nguồn áp tương đương nối với nút sự cố:

$$V_{1N}^* = \dot{V}_1(0) + \Delta \dot{V}_1 = 0,76 \text{ đvtd}$$

$$V_{2N}^* = \dot{V}_2(0) + \Delta \dot{V}_2 = 0,68 \text{ đvtd}$$

$$V_{3N}^* = \dot{V}_3(0) + \Delta \dot{V}_3 = 0,32 \text{ đvtd}$$

Cường độ dòng điện nhánh khi xảy ra ngắn mạch:

$$I_{12N}^* = \frac{\dot{V}_{1N} - \dot{V}_{2N}}{\dot{Z}_{12}} = -j0,1 \text{ đvtd}$$

$$I_{13N}^* = \frac{\dot{V}_{1N} - \dot{V}_{3N}}{\dot{Z}_{13}} = -j1,1 \text{ đvtd}$$

$$I_{23N}^* = \frac{\dot{V}_{2N} - \dot{V}_{3N}}{\dot{Z}_{23}} = -j0,9 \text{ đvtd}$$

b) Sự cố tại nút ②

Tính toán hoàn toàn tương tự, ta có các kết quả cho trên hình P.5:

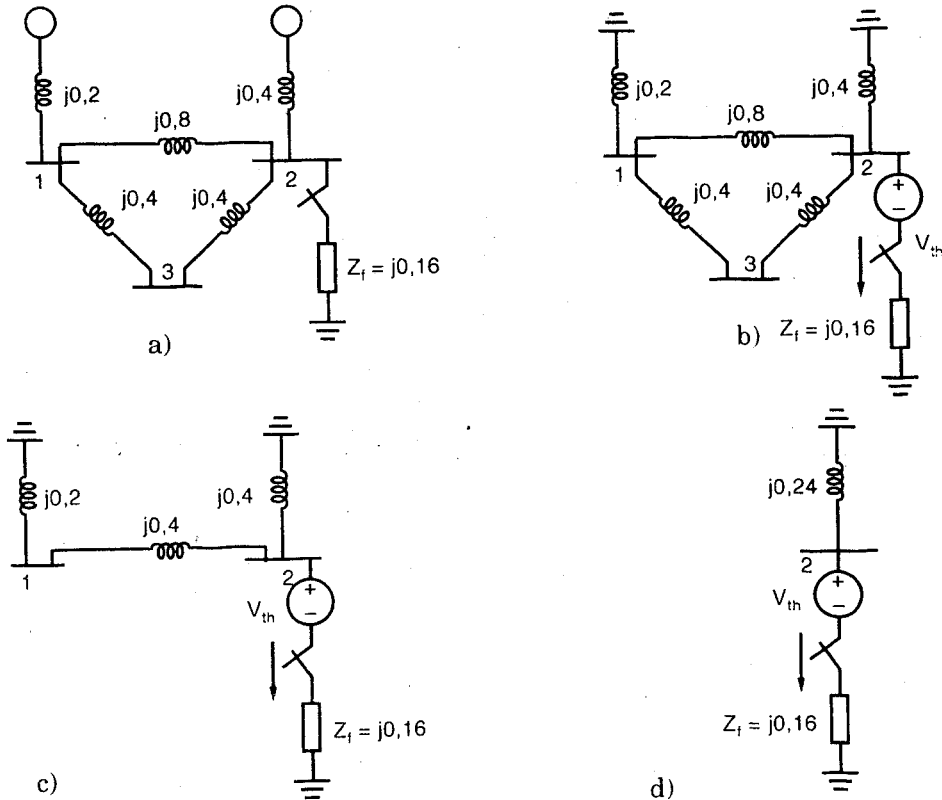
Cường độ dòng điện ngắn mạch ba pha tại nút ② là:

$$I_{N2}^{(3)*} = \frac{\dot{V}_2(0)}{\dot{Z}_{22} + \dot{Z}_N} = \frac{1,0}{j0,24 + j0,16} = -j2,5 \text{ đvtd}$$

Dòng điện đi qua hai máy phát là:

$$I_{G1}^* = \frac{j0,4}{j0,4 + j0,6} I_{N2}^{(3)*} = -j1,0 \text{ đvtd}$$

$$I_{G2}^* = \frac{j0,6}{j0,4 + j0,6} I_{N2}^{(3)*} = -j1,5 \text{ đvtd}$$



Hình P.5: a) Sơ đồ tổng trở cho sự cố tại nút ②

b) Sơ đồ tương đương Thevenin

c), d) Đơn giản hóa sơ đồ tương đương Thevenin

Sự thay đổi điện áp nút là:

$$\Delta V_1^* = 0 - (j0,2)(I_{G1}^*) = 0 - (j0,2)(-j1,0) = -0,2 \text{ đvtd}$$

$$\Delta V_2^* = 0 - (j0,4)(I_{G2}^*) = 0 - (j0,4)(-j1,5) = -0,6 \text{ đvtd}$$

$$\Delta V_3^* = \Delta V_1^* - (j0,4)\left(\frac{I_{G1}^*}{2}\right) = -0,2 - (j0,4)\left(\frac{-j0,1}{2}\right) = -0,4 \text{ đvtd}$$

Điện áp nút lúc xảy ra sự cố nhận được theo nguyên lý xếp chồng:

$$V_{1N}^* = V_1(0) + \Delta V_1^* = 1,0 - 0,2 = 0,8 \text{ đvtd}$$

$$V_{2N}^* = V_2(0) + \Delta V_2^* = 1,0 - 0,6 = 0,4 \text{ đvtd}$$

$$V_{3N}^* = V_3(0) + \Delta V_3^* = 1,0 - 0,4 = 0,6 \text{ đvtd}$$

Cường độ dòng điện nhánh khi xảy ra ngắn mạch:

$$I_{N12}^* = \frac{\dot{V}_{N1} - \dot{V}_{N2}}{\dot{Z}_{12}} = \frac{0,8 - 0,4}{j0,8} = -j0,5 \text{ đvtd}$$

$$I_{N13}^* = \frac{\dot{V}_{N1} - \dot{V}_{N3}}{\dot{Z}_{13}} = \frac{0,8 - 0,6}{j0,4} = -j0,5 \text{ đvtd}$$

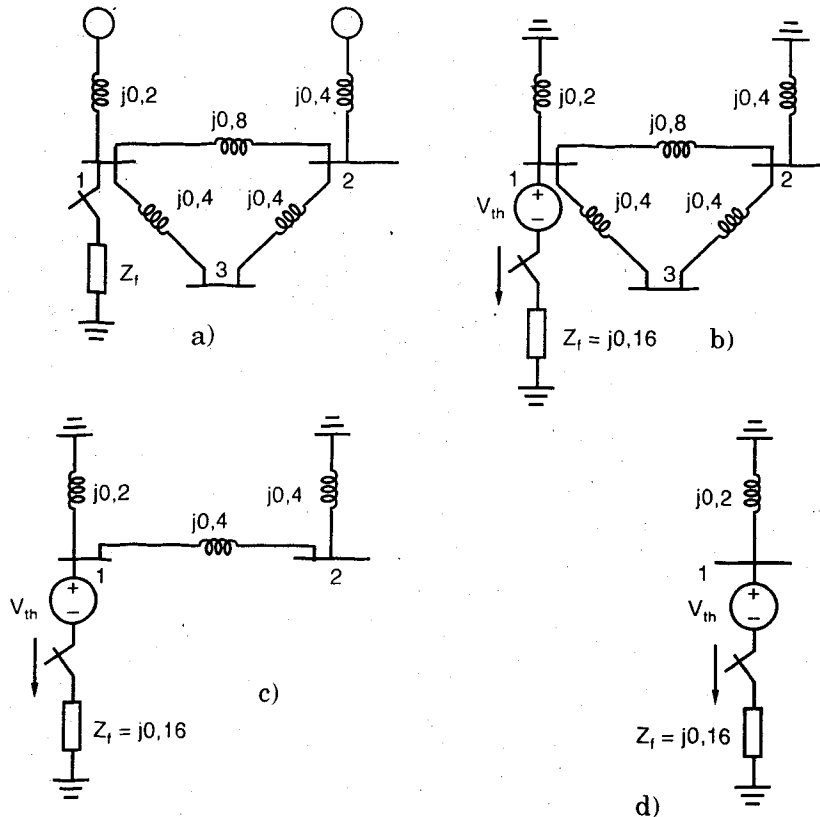
$$I_{N32}^* = \frac{\dot{V}_{N3} - \dot{V}_{N2}}{\dot{Z}_{32}} = \frac{0,6 - 0,4}{j0,4} = -j0,5 \text{ đvtd}$$

c) Sự cố tại nút ①

Tính toán hoàn toàn tương tự, ta có các kết quả trên hình P.6:

Cường độ dòng điện ngắn mạch ba pha tại nút ① là:

$$I_{N1}^{(3)*} = \frac{\dot{V}_1(0)}{\dot{Z}_{11} + \dot{Z}_N} = \frac{1,0}{j0,16 + j0,16} = -j3,125 \text{ đvtd}$$



Hình P.6: a) Sơ đồ tổng trở cho sự cố tại nút ①

b) Sơ đồ tương đương Thevenin

c), d) Đơn giản sơ đồ tương đương Thevenin

Dòng điện đi qua hai máy phát là:

$$I_{G1}^* = \frac{j0,8}{j0,8 + j0,2} I_{N1}^{(3)*} = -j2,5 \text{ đvtd}$$

$$I_{G2}^* = \frac{j0,2}{j0,8 + j0,2} I_{N1}^{(3)*} = -j0,625 \text{ đvtd}$$

Sự thay đổi điện áp nút là:

$$\Delta V_1^* = 0 - (j0,2)(I_{G1}^*) = 0 - (j0,2)(-j2,5) = -0,5 \text{ đvtd}$$

$$\Delta V_2^* = 0 - (j0,4)(I_{G2}^*) = 0 - (j0,4)(-j0,625) = -0,25 \text{ đvtd}$$

$$\Delta V_3^* = \Delta V_1^* - (j0,4)\left(\frac{I_{G1}^*}{2}\right) = -0,5 - (j0,4)\left(\frac{-j0,625}{2}\right) = -0,375 \text{ đvtd}$$

Điện áp nút lúc xảy ra sự cố nhận được theo nguyên lý xếp chồng:

$$V_{1N}^* = V_1^*(0) + \Delta V_1^* = 1,0 - 0,5 = 0,5 \text{ đvtd}$$

$$V_{2N}^* = V_2^*(0) + \Delta V_2^* = 1,0 - 0,25 = 0,75 \text{ đvtd}$$

$$V_{3N}^* = V_3^*(0) + \Delta V_3^* = 1,0 - 0,375 = 0,625 \text{ đvtd}$$

Cường độ dòng điện nhánh khi xảy ra ngắn mạch:

$$I_{N12}^* = \frac{\dot{V}_{N1} - \dot{V}_{N2}}{\dot{Z}_{12}} = \frac{0,75 - 0,5}{j0,8} = -j0,3125 \text{ đvtd}$$

$$I_{N13}^* = \frac{\dot{V}_{N1} - \dot{V}_{N3}}{\dot{Z}_{13}} = \frac{0,625 - 0,5}{j0,4} = -j0,3125 \text{ đvtd}$$

$$I_{N32}^* = \frac{\dot{V}_{N3} - \dot{V}_{N2}}{\dot{Z}_{32}} = \frac{0,75 - 0,625}{j0,4} = -j0,3125 \text{ đvtd}$$

Ngoài cách tính toán bằng tay ở trên, để tính toán dòng điện ngắn mạch, chúng ta có thể xây dựng một chương trình với phần mềm **MATLAB**. Để giải quyết vấn đề này ta tiến hành các bước sau:

1. Tiến hành các bước tương tự như bài trong phụ lục 1 để mở cửa sổ soạn thảo chương trình.

2. Chép đoạn mã chương trình sau đây vào cửa sổ soạn thảo chương trình và lưu lại với tên chương trình là **symfault.m**

CHƯƠNG TRÌNH symfault ĐƯỢC VIẾT NHAM MỤC ĐÍCH
CHO VIỆC PHÂN TÍCH SỰ CỐ NGẮN MẠCH CÂN BANG BA PHA
CỦA MỘT SỐ ĐỒ HỆ THỐNG ĐIỆN

ĐẦU VÀO CỦA CHƯƠNG TRÌNH LÀ:

- Mô tả tran trong tro Zbus
- Vị trí nút bị sự cố
- Va trong tro su co Zi
- Điện áp nút trước sự cố là kết quả của bài toán phân bố công suất
(Nếu giá trị này không được khai báo, chương trình tự động gán cho nó giá trị là 1 (đvtd)).

ĐẦU RA CỦA CHƯƠNG TRÌNH LÀ:

-Giá trị tổng công do dòng điện su có ngan máy (ba pha đối xứng)

-Giá trị điện áp nút sau khi xảy ra sự cố

-Giá trị công do dòng điện trên các nhánh

function symfaul(zdata, Zbus, V)

nl = zdata(:,1); nr = zdata(:,2); R = zdata(:,3);

X = zdata(:,4);

nc = length(zdata(1,:));

if nc > 4

BC = zdata(:,5);

elseif nc == 4, BC = zeros(length(zdata(:,1)), 1);

end

ZB = R + j*X;

nbr = length(zdata(:,1)); nbus = max(max(nl), max(nr));

if exist('V') == 1

if length(V) == nbus

V0 = V;

else, end

else, V0 = ones(nbus, 1) + j*zeros(nbus, 1);

end

fprintf('\nPHAN TICH NGAN MACH DOI XUNG CAN BANG BA PHA\n')

ff = 999;

while ff > 0

nf = input('NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO, SAU DO NHAN ENTER DE TIEP TUC-> ');

while nf <= 0 | nf > nbus

fprintf('NUT NHAP VI TRI BI SU CO PHAI GIUA 1 VA & %g \n', nbus)

nf = input('NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO-> ');

end

fprintf('\nNHAP VAO TONG TRO SU CO NGAN MACH Zf = R + j*X O')

Zf = input('DANG SO PHUJC. Zf = ');

fprintf(' \n')

fprintf('SU CO NGAN MACH DOI XUNG TAI NUT %g\n', nf)

If = V0(nf)/(Zf + Zbus(nf, nf));

Ifm = abs>If); Ifmang = angle>If)*180/pi;

fprintf('TONG CUONG DO DONG NGAN MACH = %8.4f dvtđ \n\n', Ifm)

%fprintf(' p.u. \n\n', Ifm)


```
fprintf('GIA TRI DIEN AP NUT KHI XAY RA NGAN MACH TRONG (dvtvd)\n\n')
fprintf(' Nut Bien do Goc\n')
fprintf(' So Dien ap Do\n')
```

```
for n = 1:nbus
    if n == nf
        Vf(nf) = V0(nf)*Zf/(Zf + Zbus(nf,nf)); Vfm = abs(Vf(nf)); angv = angle(Vf(nf))*180/pi;
    else, Vf(n) = V0(n) - V0(n)*Zbus(n,nf)/(Zf + Zbus(nf,nf));
        Vfm = abs(Vf(n)); angv = angle(Vf(n))*180/pi;
    end
    fprintf(' %4g', n), fprintf('%13.4f', Vfm), fprintf('%13.4f\n', angv)
end

fprintf(' \n')
```

```
fprintf('GIA TRI CUONG DO DONG DIEN NHANH CHO VI TRI XAY RA SU CO NGAN MACH TAI NUT
%g\n\n', nf)
fprintf(' Tu To Bien do Goc\n')
fprintf(' Nut Nut Dong dien Do\n')
```

```
for n = 1:nbus
    %Ign = 0;
    for I = 1:nbr
        if nl(I) == n | nr(I) == n
            if nl(I) == n k = nr(I);
            elseif nr(I) == n k = nl(I);
            end
            if k == 0
                Ink = (V0(n) - Vf(n))/ZB(I);
                Inkm = abs(Ink); th = angle(Ink);
                %if th <= 0
                if real(Ink) > 0
                    fprintf(' G '), fprintf('%7g',n), fprintf('%12.4f', Inkm)
                    fprintf('%12.4f\n', th*180/pi)
                elseif real(Ink) == 0 & imag(Ink) < 0
                    fprintf(' G '), fprintf('%7g',n), fprintf('%12.4f', Inkm)
                    fprintf('%12.4f\n', th*180/pi)
                end
            end
        end
    end
end
```

```

        else, end
    Ign = Ink;
    elseif k ~ = 0
    Ink = (Vf(n) - Vf(k))/ZB(I)+BC(I)*Vf(n);
    %Ink = (Vf(n) - Vf(k))/ZB(I);
    Inkm = abs(Ink); th = angle(Ink);
    %Ign = Ign+Ink;
    %if th <= 0
    if real(Ink) > 0
        fprintf('%7g', n), fprintf('%10g', k),
        fprintf('%12.4f', Inkm), fprintf('%12.4f\n', th*180/pi)
    elseif real(Ink) == 0 & imag(Ink) < 0
        fprintf('%7g', n), fprintf('%10g', k),
        fprintf('%12.4f', Inkm), fprintf('%12.4f\n', th*180/pi)
    else, end
    else, end
end

if n == nf
fprintf('%7g',n), fprintf(' F'), fprintf('%12.4f', Ifm)
fprintf('%12.4f\n', Ifmang)
else, end
end

resp = 0;
while strcmp(resp, 'n')~= 1 & strcmp(resp, 'N')~= 1 & strcmp(resp, 'y')~= 1 & strcmp(resp, 'Y')~= 1
resp = input('Nhap vào một vị trí xây ra ngàn mạch mới? Nhan "y" or "n" tuong ung voi dong y va khong dong y ->');
if strcmp(resp, 'n')~= 1 & strcmp(resp, 'N')~= 1 & strcmp(resp, 'y')~= 1 & strcmp(resp, 'Y')~= 1
fprintf('\n Nhap vào không đúng, vui lòng nhập lại!\n'), end
end
if resp == 'y' | resp == 'Y'
nf = 999;
else ff = 0; end
end % end for while

```

Chú ý: Để có thể thực thi được chương trình này, đòi hỏi phải có chương trình tính toán ma trận tổng trở Z nút có tên là **zbuild** của bài trong phụ lục 1.

3. Chuyển sang cửa sổ **Command windows** để thực thi chương trình theo sự hướng dẫn của chương trình.

Chú ý: Các dòng và ký tự được in đậm và nghiêng là các dòng và ký tự mà người sử dụng phải nhập vào.

```
>> zdata = [0 1 0 0.2
0 2 0 0.4
1 2 0 0.8
1 3 0 0.4
2 3 0 0.4];
>> Zbus = zbuild(zdata)
```

Zbus =

```
0 + 0.1600i 0 + 0.0800i 0 + 0.1200i
0 + 0.0800i 0 + 0.2400i 0 + 0.1600i
0 + 0.1200i 0 + 0.1600i 0 + 0.3400i
```

```
>> symfault(zdata, Zbus)
```

NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO, SAU DO NHAN ENTER DE TIEP TUC-> 3

NHAP VAO TONG TRO SU CO NGAN MACH $Z_f = R + j \cdot X$ O DANG SO PHUC. $Z_f = j \cdot 0.16$

SU CO NGAN MACH DOI XUNG TAI NUT 3

TONG CUONG DO DONG NGAN MACH = 2.0000 dvtđ

GIA TRI DIEN AP NUT KHI XAY RA NGAN MACH TRONG (dvtđ)

```
Nut Bien do Goc
So Dien ap Do
1 0.7600 0.0000
2 0.6800 0.0000
3 0.3200 0.0000
```

GIA TRI CUONG DO DONG DIEN NHANH CHO VI TRI XAY RA SU CO NGAN MACH TAI NUT 3

```
Tu Den Bien do Goc
Nut Nut Dong dien Do
```

G 1 1.2000 -90.0000

1 2 0.1000 -90.0000

1 3 1.1000 -90.0000

G 2 0.8000 -90.0000

2 3 0.9000 -90.0000

3 F 2.0000 -90.0000

Chú ý: F: tương ứng với vị trí xảy ra sự cố

G: tương ứng với nút chuẩn (đất)

Nhap vào một vị trí xảy ra ngắn mạch mới? Nhan 'y' or 'n' tương ứng với dòng y và không dòng y -> 'y'

NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO, SAU DO NHAN ENTER DE TIEP TUC-> 2

NHAP VAO TONG TRO SU CO NGAN MACH $Z_f = R + j \cdot X$ O DANG SO PHUC. $Z_f = j \cdot 0.16$

SU CO NGAN MACH DOI XUNG TAI NUT 2

TONG CUONG DO DONG NGAN MACH = 2.5000 dvtđ

GIA TRI DIEN AP NUT KHI XAY RA NGAN MACH TRONG (dvtđ)

Nut Bien do Goc

So Dien ap Do

1 0.8000 0.0000

2 0.4000 0.0000

3 0.6000 0.0000

GIA TRI CUONG DO DONG DIEN NHANH CHO VI TRI XAY RA SU CO NGAN MACH TAI NUT 2

Tu Den Bien do Goc

Nut Nut Dong dien Do

G 1 1.0000 -90.0000

1 2 0.5000 -90.0000

1 3 0.5000 -90.0000

G 2 1.5000 -90.0000

2 F 2.5000 -90.0000

3 2 0.5000 -90.0000

Nhap vào một vị trí xảy ra ngắn mạch mới? Nhan 'y' or 'n' tương ứng với dòng y và không dòng y -> 'y'

NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO, SAU DO NHAN ENTER DE TIEP TUC-> 1

NHAP VAO TONG TRO SU CO NGAN MACH $Z_f = R + j \cdot X$ O DANG SO PHUC. $Z_f = j \cdot 0.16$

SU CO NGAN MACH DOI XUNG TAI NUT 1

TONG CUONG DO DONG NGAN MACH = 3.1250 dvtđ

GIA TRI DIEN AP NUT KHI XAY RA NGAN MACH TRONG (dvtđ)

Nut Bien do Goc

So Dien ap Do

1 0.5000 0.0000

2 0.7500 0.0000

3 0.6250 0.0000

GIA TRI CUONG DO DONG DIEN NHANH CHO VI TRI XAY RA SU CO NGAN MACH TAI NUT 1

Tu To Bien do Goc

Nut Nut Dong dien Do

G 1 2.5000 -90.0000

1 F 3.1250 -90.0000

G 2 0.6250 -90.0000

2 1 0.3125 -90.0000

2 3 0.3125 -90.0000

3 1 0.3125 -90.0000

Nhap vao mot vi tri xay ra ngan mach moi? Nhan 'y' or 'n' tuong ung voi dong y va khong dong y -> 'n'

>>

Nhận xét: Các kết quả tính toán từ chương trình hoàn toàn đúng với các kết quả tính toán bằng tay.

Phụ lục 3

Cho một sơ đồ hệ thống điện như hình P.7 tương ứng với các số liệu như sau:

- G_1, G_2 : 66,6 MVA; 11 kV; $X_1 = X_2 = X'_d = 0,26$; $X_0 = 0,1$
 T_1, T_2 : 75 MVA; 11/145 kV $\pm 10\%$; $X_T = 0,125$
 G_3, G_4, G_5, G_6 : 75 MVA; 11,8 kV; $X_1 = X_2 = X'_d = 0,111$; $X_0 = 0,074$
 T_7, T_8, T_9, T_{10} : 75 MVA; 11,8/145 kV $\pm 10\%$; $X_T = 0,125$
 $T_{11}, T_{12}, T_{13}, T_{14}, T_{15}$: 60 MVA; 132/33 kV; $X_T = 0,125$
 T_3, T_4 : 30 MVA; 132/33 kV; $X_T = 0,1$
 T_5, T_6 : 45 MVA; 132/11 kV; $X_T = 0,125$
 T_{16}, T_{17} : 120 MVA; 275/135/11 kV; $X_{CT} = 0,15$; $X_{CH} = 0,35$; $X_{TH} = 0,25$

Công suất ngắn mạch tại thanh cái 275 kV là 7500 MVA.

Đường dây: Các thông số đường dây được cho ở công suất 100 MVA, điện áp 132 kV.

$$\frac{Z_0}{Z_1} = 2,5$$

Tính dòng ngắn mạch tại các nút ①, ⑥, ⑩, ③, ④ tương ứng với các trường hợp sự cố:

- Ngắn mạch ba pha
- Ngắn mạch một pha chạm đất
- Ngắn mạch hai pha
- Ngắn mạch hai pha chạm đất

Đường dây	z_1		Chiều dài l (km)	Z_1 (dvtđ)		Z_0 (dvtđ)	
	r	x		R	X	R	X
D_1	0,00091	0,00239	80,5	0,073	0,192	0,183	0,481
D_2	0,00091	0,00239	96,6	0,088	0,231	0,220	0,577
D_3	0,00091	0,00239	160,9	0,146	0,385	0,366	0,961
$D_{4A,B}$	0,00091	0,00239	48,3	0,044	0,115	0,110	0,289
$D_{7A,B}$	0,00091	0,00239	24,1	0,022	0,058	0,055	0,144
D_5	0,00039	0,00221	32,2	0,013	0,071	0,031	0,178
D_6	0,00039	0,00221	48,3	0,019	0,107	0,047	0,267

Giải. Chọn công suất cơ bản là $S_{cb} = 100 \text{ MVA}$.

Chọn điện áp cơ bản cho các đường dây là $U_{cb} = 132 \text{ kV}$.

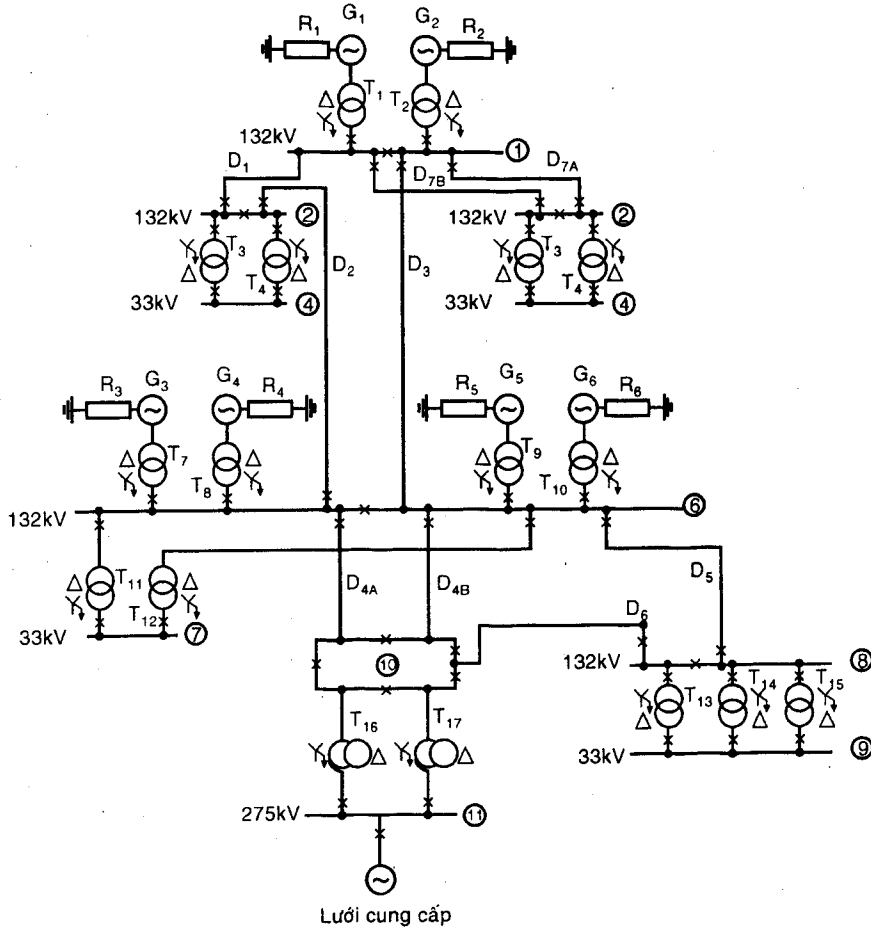
Theo tỷ số máy biến áp, suy ra điện áp cơ bản về phía các nguồn phát là:

$$G_1, G_2: V_{cb} = \frac{11}{145} \times 132 = 10 \text{ kV}$$

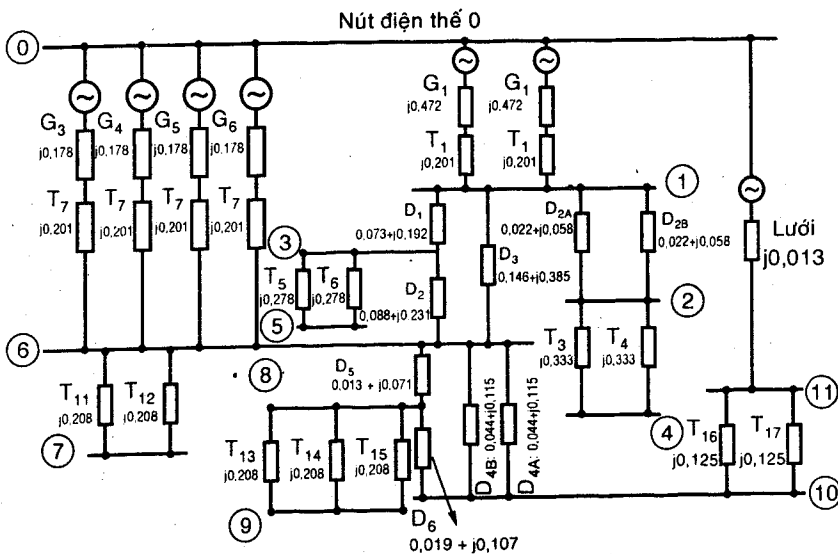
$$G_3, G_4, G_5, G_6: V_{cb} = \frac{11,8}{145} \times 132 = 11 \text{ kV}$$

Lưới cung cấp: $V_{cb} = \frac{275}{132} \times 132 = 275kV$

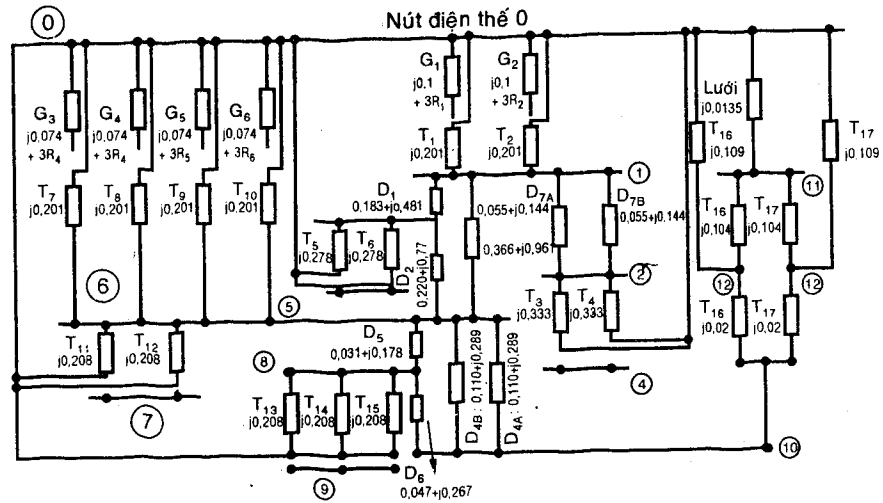
Tính lại các tổng trở trong hệ *đvtd* mới, ta được các sơ đồ thứ tự thuận và thứ tự không của hệ thống như hình P.8 và hình P.9



Hình P.7: Sơ đồ hình vẽ cho bài toán



Hình P.8: Sơ đồ thay thế thứ tự thuận



Hình P.9: Sơ đồ thay thế thứ tự không

Từ các sơ đồ thứ tự, suy ra các tổng trở nhánh trong hệ đơn vị tương đối như sau:

Trong sơ đồ thứ tự thuận

$$\dot{Z}_{0-1} = \frac{1}{2}(j0,201 + j0,472) = j0,337$$

$$\dot{Z}_{0-6} = \frac{1}{4}(j0,201 + j0,178) = j0,09457$$

$$\dot{Z}_{0-11} = j0,013$$

$$\dot{Z}_{1-2} = \frac{1}{2}(0,022 + j0,058) = 0,011 + j0,029$$

$$\dot{Z}_{1-3} = 0,073 + j0,192$$

$$\dot{Z}_{1-6} = 0,146 + j0,385$$

$$\dot{Z}_{2-4} = \frac{1}{2}(j0,333) = j0,165$$

$$\dot{Z}_{3-5} = \frac{1}{2}(j0,278) = j0,139$$

$$\dot{Z}_{3-6} = (0,088 + j0,231)$$

$$\dot{Z}_{6-7} = \frac{1}{2}(j0,208) = j0,104$$

$$\dot{Z}_{6-8} = 0,013 + j0,071$$

$$\dot{Z}_{6-10} = \frac{1}{2}(0,022 + j0,058) = 0,011 + j0,029$$

$$\dot{Z}_{8-9} = \frac{1}{3}(j0,208) = j0,069$$

$$\dot{Z}_{8-10} = 0,019 + j0,107$$

$$\dot{Z}_{10-11} = \frac{1}{2}(j0,125) = j0,063$$

Trong sơ đồ thứ tự không

$$\dot{Z}_{0-1} = \frac{1}{2}(j0,201) = j0,101$$

$$\dot{Z}_{0-2} = \frac{1}{2}(j0,333) = j0,165$$

$$\dot{Z}_{0-3} = \frac{1}{2}(j0,278) = j0,139$$

$$\dot{Z}_{0-6} = j0,034$$

$$\dot{Z}_{0-8} = j0,069$$

$$\dot{Z}_{10-12} = \frac{1}{2}(j0,02) = j0,01$$

$$\dot{Z}_{11-12} = \frac{1}{2}(j0,104) = j0,052$$

$$\dot{Z}_{0-12} = \frac{1}{2}(j0,190) = j0,095$$

$$\dot{Z}_{0-10} = j0,122$$

$$\dot{Z}_{11-10} = j0,071$$

$$\dot{Z}_{0-11} = j0,013$$

$$\dot{Z}_{1-2} = 0,028 + j0,072$$

$$\dot{Z}_{1-3} = 0,183 + j0,481$$

$$\dot{Z}_{1-6} = 0,306 + j0,961$$

$$\dot{Z}_{3-6} = 0,220 + j0,577$$

$$\dot{Z}_{6-8} = 0,031 + j0,178$$

$$\dot{Z}_{6-10} = 0,055 + j0,145$$

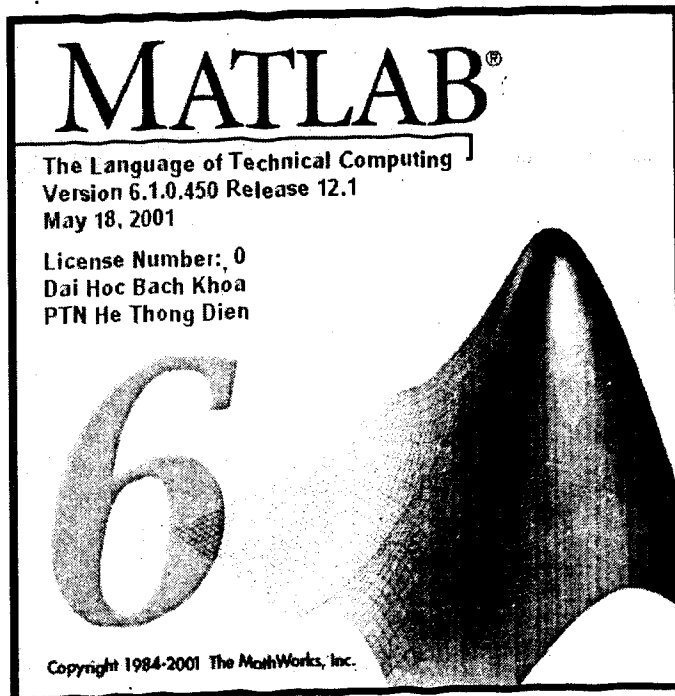
$$\dot{Z}_{8-10} = 0,048 + j0,268$$

$$\dot{Z}_{10-11} = j0,071$$

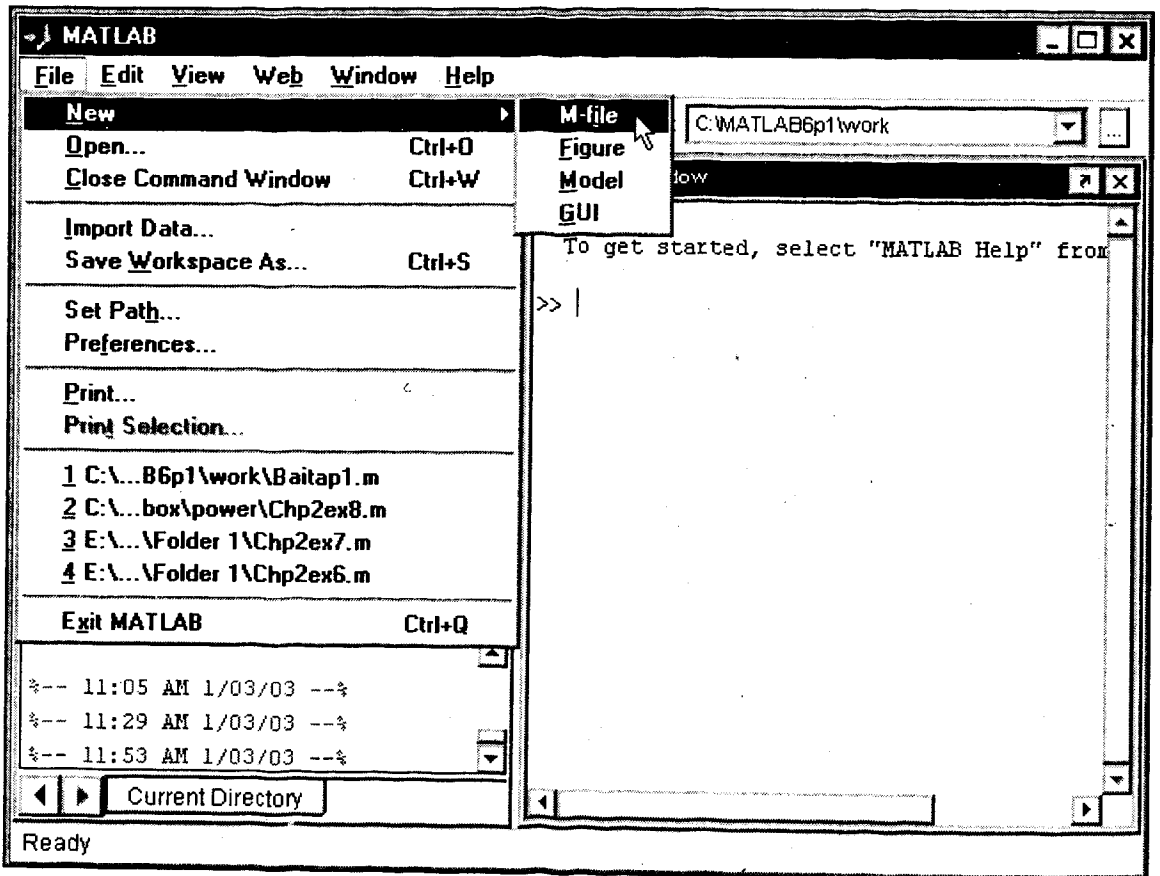
Từ các dữ liệu vừa tính toán ở trên, lời giải của bài toán này hoàn toàn có thể tiến hành bằng tay, tuy nhiên khá phức tạp và tốn nhiều thời gian. Để khắc phục các khuyết điểm này, lời giải được cung cấp ở đây là một chương trình dựa trên phần mềm MATLAB. Cụ thể, ta có thể tiến hành các bước sau:


Bước 1. Nhấp đôi vào biểu tượng MATLAB 6.1  trên desktop để khởi động Matlab.

Bước 2. Trình tự các cửa sổ của Matlab hiện ra như sau:

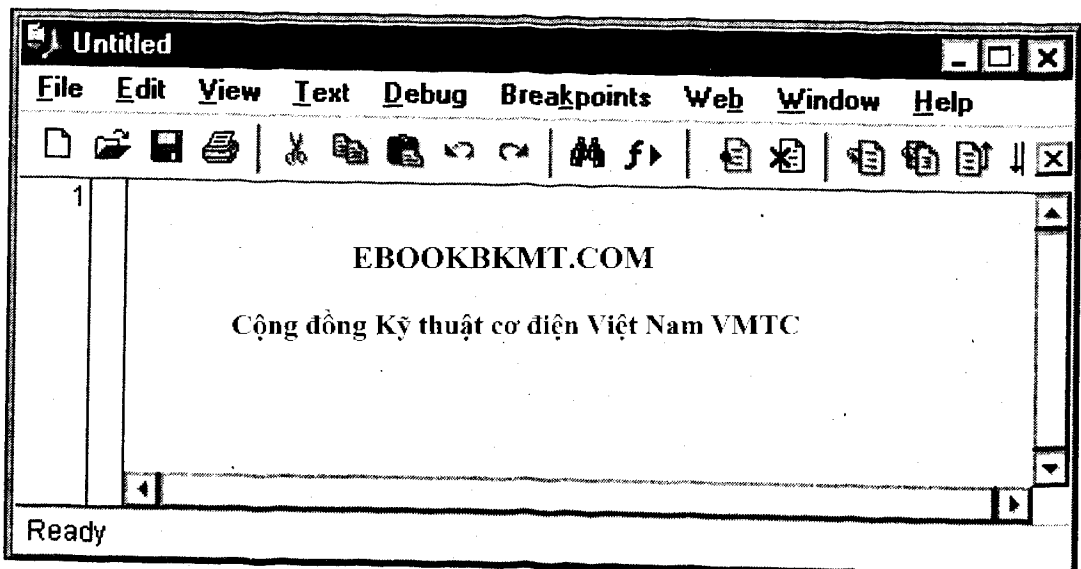


Bước 3. Vào File chọn New, sau đó chọn M-file để mở cửa sổ soạn thảo chương trình

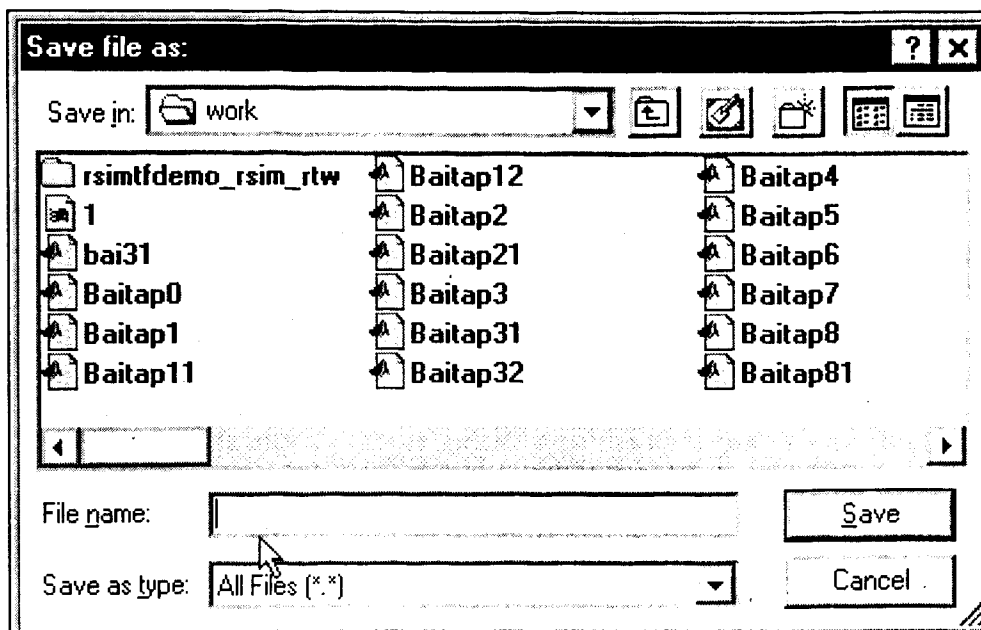



Mặt khác, ta cũng có thể nhấp vào biểu tượng New  trên thanh công cụ của cửa sổ màn hình nền MATLAB. Kết quả cũng sẽ tương tự như trên.

Bước 4. Đây là cửa sổ soạn thảo chương trình

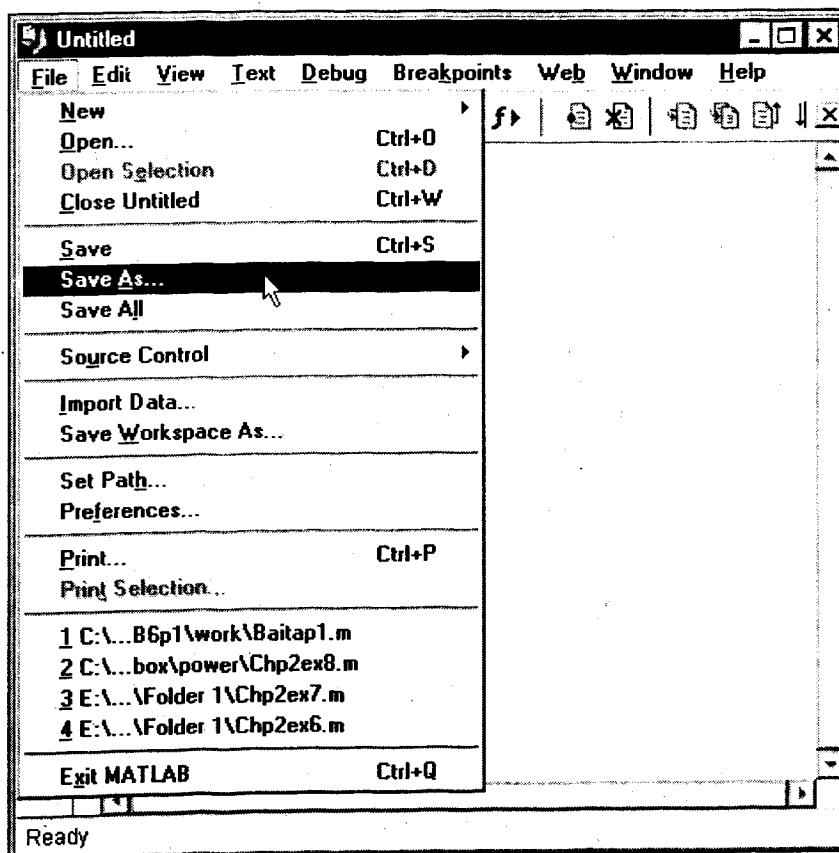


Bước 5. Lưu các đoạn chương trình bằng cách: chọn File, sau đó chọn Save As



Mặt khác, bạn cũng có thể nhấp vào biểu tượng Save  trên thanh công cụ của cửa sổ màn hình nền của MATLAB và kết quả sẽ là tương tự như trên.

Bước 6. Cửa sổ Save file as hiện ra như sau:



Lưu lại các đoạn chương trình này với các tên **Zbuild.m**, **symfault.m**, **dlgfault**, **llfault** và **lgfault** tương ứng với các chức năng tính toán tương ứng như sau:

Zbuild.m thành lập ma trận tổng trở Z nút
symfault.m tính toán ngắn mạch ba pha đối xứng
dlgfault.m tính toán ngắn mạch hai pha chạm đất
llfault.m tính toán ngắn mạch hai pha
lgfault tính toán ngắn mạch một pha chạm đất

Chú ý:

Tất cả các chương trình, để có thể thực thi được, yêu cầu phải được lưu nó ở thư mục **work** của **MATLAB**.

Bước 7. Gõ các đoạn mã chương trình sau vào cửa sổ soạn thảo chương trình:

Mã đoạn chương trình **Zbuild.m**

```
% CHUONG TRINH TINH TOAN MA TRAN TONG TRO Z
NUT

function [Zbus] = zbuild(linedata)
nl = linedata(:,1); nr = linedata(:,2); R = linedata(:,3);
X = linedata(:,4);
nbr = length(linedata(:,1)); nbus = max(max(nl), max(nr));
for k = 1:nbr
    if R(k) == inf | X(k) == inf
        R(k) = 99999999; X(k) = 99999999;
    else, end
end

ZB = R + j*X;
Zbus = zeros(nbus, nbus);
tree = 0;

% Moi

% Them mot nhanh tu mot nut moi den nut chuan 0

for l = 1:nbr
    ntree(l) = 1;
    if nl(l) == 0 | nr(l) == 0
        if nl(l) == 0 n = nr(l);
```

```

elseif nr(I) == 0 n = nl(I);
end
    if abs(Zbus(n, n)) == 0 Zbus(n,n) = ZB(I); tree = tree+1; % Moi
    else Zbus(n,n) = Zbus(n,n)*ZB(I)/(Zbus(n,n) + ZB(I));
    end
    ntree(I) = 2;
else, end
end

```

% Them mot nhanh tu nut moi den mot nut dang ton tai

while tree < nbus % Moi

```

for n = 1:nbus
    nadd = 1;
    if abs(Zbus(n,n)) == 0
        for I = 1:nbr
            if nadd == 1;
                if nl(I) == n | nr(I) == n
                    if nl(I) == n k = nr(I);
                    elseif nr(I) == n k = nl(I);
                    end
                    if abs(Zbus(k,k)) ~ = 0
                        for m = 1:nbus
                            if m ~ = n
                                Zbus(m,n) = Zbus(m,k);
                                Zbus(n,m) = Zbus(m,k);
                            else, end
                        end
                        Zbus(n,n) = Zbus(k,k) + ZB(I); tree = tree+1; %
                    end
                end
            end
            nadd = 2; ntree(I) = 2;
        else, end
    else, end
end
end
else, end
end
end

```

```

end % Moi

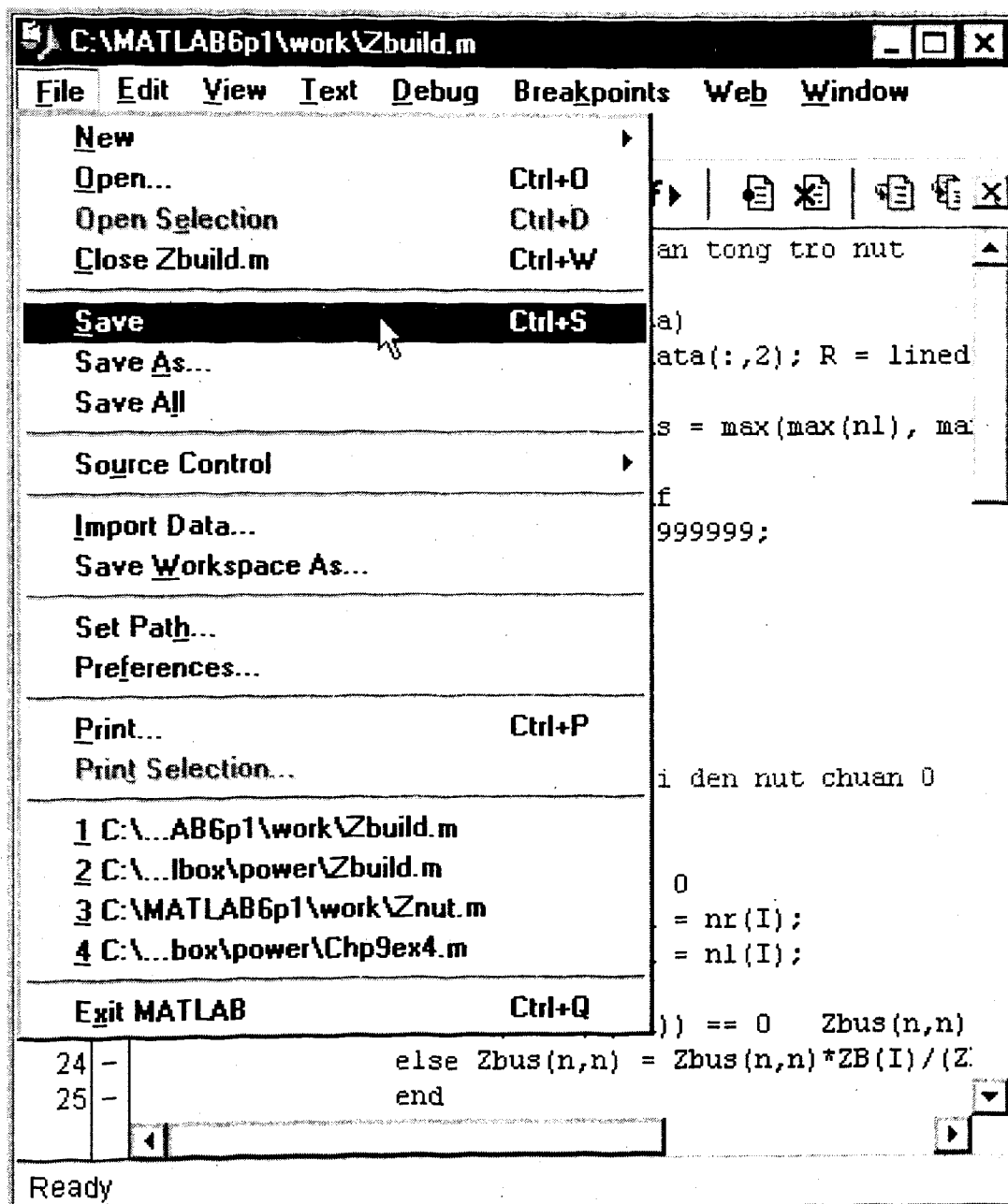
% Them mot nhanh lien ket giua 2 nut cu


for n = 1:nbus
    for I = 1:nbr
        if ntree(I) == 1
            if nl(I) == n | nr(I) == n
                if nl(I) == n k = nr(I);
                elseif nr(I) == n k = nl(I);
                end
            DM = Zbus(n,n) + Zbus(k,k) + ZB(I) - 2*Zbus(n,k);
            for jj = 1:nbus
                AP = Zbus(jj,n) - Zbus(jj,k);
                for kk = 1:nbus
                    AT = Zbus(n,kk) - Zbus(k, kk);
                    DELZ(jj,kk) = AP*AT/DM;
                end
            end
            Zbus = Zbus - DELZ;
            ntree(I) = 2;
        else,end
    else,end
end
end
end

```

Chú ý: Các dòng chữ phía sau dấu “%” có ý nghĩa giải thích sẽ không ảnh hưởng đến quá trình thực thi của chương trình cũng như cách thể hiện kết quả của chương trình.

Bước 8. Chọn File/Save để lưu lại chương trình lần cuối.



Mặt khác, bạn cũng có thể nhấp vào biểu tượng Save  trên thanh công cụ của cửa sổ màn hình nền của MATLAB và kết quả sẽ tương tự như trên để lưu chương trình lại lần cuối.

Tiếp tục thực hiện lại bước thứ 7 cho các đoạn mã chương trình khác:

Mã đoạn chương trình symfault.m

CHUONG TRINH symfault DUOC VIET NHAM MUC DICH CHO
 VIEC PHAN TICH SU CO NGAN MACH CAN BANG BA PHA
 CUA MOT SO DO HE THONG DIEN

DAU VAO CUA CHUONG TRINH LA:

- Mot ma tran tong tro Zbus
- Vi tri nut bi su co
- Va tong tro su co Zf
- Dien ap nut truoc su co la ket qua cua bai toan phan bo cong suat
 (Neu gia tri nay khong duoc khai bao, chuong trinh tu dong gan cho no gia tri la 1 (dvtđ))

DAU RA CUA CHUONG TRINH LA:

- Gia tri tong cuong do dong dien su co ngan mach(ba pha doi xung)
- Gia tri dien ap nut sau khi xay ra su co
- Gia tri cuong do dong dien tren cac nhanh

```
function symfaul(zdata, Zbus, V)
```

```
nl = zdata(:,1); nr = zdata(:,2); R = zdata(:,3);
X = zdata(:,4);
nc = length(zdata(1,:));
    if nc > 4
        BC = zdata(:,5);
    elseif nc == 4, BC = zeros(length(zdata(:,1)), 1);
    end
ZB = R + j*X;
nbr = length(zdata(:,1)); nbus = max(max(nl), max(nr));
if exist('V') == 1
    if length(V) == nbus
        V0 = V;
    else, end
```



```

else, V0 = ones(nbus, 1) + j*zeros(nbus, 1);
end
fprintf('\PHAN TICH NGAN MACH DOI XUNG CAN BANG BA PHA\n')
ff = 999;
while ff > 0
nf = input('NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO, SAU DO NHAN ENTER DE TIEP TUC-> ');
    while nf <= 0 | nf > nbus
        fprintf('NUT NHAP VI TRI BI SU CO PHAI GIUA 1 VA & %g \n', nbus)
        nf = input('NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO-> ');
    end
    fprintf('\nNHAP VAO TONG TRO SU CO NGAN MACH Zf = R + j*X O ')
    Zf = input('DANG SO PHUC. Zf = ');
    fprintf(' \n')
    fprintf('SU CO NGAN MACH DOI XUNG TAI NUT %g\n', nf)

    If = V0(nf)/(Zf + Zbus(nf, nf));
    Ifm = abs(If); Ifmang = angle(If)*180/pi;
    fprintf('TONG CUONG DO DONG NGAN MACH = %8.4f dvtđ \n\n', Ifm)
    %fprintf(' p.u. \n\n', Ifm)
    fprintf('GIA TRI DIEN AP NUT KHI XAY RA NGAN MACH TRONG (dvtđ)\n\n')
    fprintf(' Nut Bien do Goc\n')
    fprintf(' So Dien ap Do\n')

    for n = 1:nbus
        if n == nf
            Vf(nf) = V0(nf)*Zf/(Zf + Zbus(nf,nf)); Vfm = abs(Vf(nf)); angv = angle(Vf(nf))*180/pi;
        else, Vf(n) = V0(n) - V0(n)*Zbus(n,nf)/(Zf + Zbus(nf,nf));
            Vfm = abs(Vf(n)); angv = angle(Vf(n))*180/pi;
        end
        fprintf(' %4g', n), fprintf('%13.4f', Vfm), fprintf('%13.4f\n', angv)
    end

    fprintf(' \n')

    fprintf('GIA TRI CUONG DO DONG DIEN NHANH CHO VI TRI XAY RA SU CO NGAN MACH TAI NUT
    %g\n\n', nf)
    fprintf(' Tu To Bien do Goc\n')

```

```
fprintf(' Nut Nut Dong dien Do\n')
```

```
for n = 1:nbus
```

```
    %Ign = 0;
```

```
    for I = 1:nbr
```

```
        if nl(I) == n | nr(I) == n
```

```
            if nl(I) == n k = nr(I);
```

```
            elseif nr(I) == n k = nl(I);
```

```
            end
```

```
                if k == 0
```

```
                    Ink = (V0(n) - Vf(n))/ZB(I);
```

```
                    Inkm = abs(Ink); th = angle(Ink);
```

```
                    %if th <= 0
```

```
                    if real(Ink) > 0
```

```
                        fprintf(' G '), fprintf('%7g',n), fprintf('%12.4f', Inkm)
```

```
                        fprintf('%12.4f\n', th*180/pi)
```

```
                    elseif real(Ink) == 0 & imag(Ink) < 0
```

```
                        fprintf(' G '), fprintf('%7g',n), fprintf('%12.4f', Inkm)
```

```
                        fprintf('%12.4f\n', th*180/pi)
```

```
                    else, end
```

```
                Ign = Ink;
```

```
            elseif k ~= 0
```

```
                Ink = (Vf(n) - Vf(k))/ZB(I)+BC(I)*Vf(n);
```

```
                %Ink = (Vf(n) - Vf(k))/ZB(I);
```

```
                Inkm = abs(Ink); th = angle(Ink);
```

```
                %Ign = Ign+Ink;
```

```
                %if th <= 0
```

```
                if real(Ink) > 0
```

```
                    fprintf('%7g', n), fprintf('%10g', k),
```

```
                    fprintf('%12.4f', Inkm), fprintf('%12.4f\n', th*180/pi)
```

```
                elseif real(Ink) == 0 & imag(Ink) < 0
```

```
                    fprintf('%7g', n), fprintf('%10g', k),
```

```
                    fprintf('%12.4f', Inkm), fprintf('%12.4f\n', th*180/pi)
```

```
                else, end
```

```
            else, end
```

```
        else, end
```

```
    end
```

```

if n == nf
fprintf('%7g',n), fprintf(' F'), fprintf('%12.4f', Ifm)
fprintf('%12.4f\n', Ifmang)
else, end
end
    resp = 0;
    while strcmp(resp, 'n')~= 1 & strcmp(resp, 'N')~= 1 & strcmp(resp, 'y')~= 1 & strcmp(resp, 'Y')~= 1
resp = input('Nhap vao mot vi tri xay ra ngan mach moi? Nhan "y" or "n" tuong ung voi dong y va khong dong y -> ');
    if strcmp(resp, 'n')~= 1 & strcmp(resp, 'N')~= 1 & strcmp(resp, 'y')~= 1 & strcmp(resp, 'Y')~= 1
fprintf('\n Nhap vao khong dung, vui long nhap lai\n\n'), end
    end
    if resp == 'y' | resp == 'Y'
    nf = 999;
    else ff = 0; end
end % end for while

```

Mã đoạn chương trình **dlgfault.m**

CHUONG TRINH dlgfault DUOC VIET NHAM MUC DICH CHO
VIEC PHAN TICH SU CO HAI PHA CHAM DAT TRONG
MOT SO DO HE THONG DIEN

DAU VAO CUA CHUONG TRINH LA:

- Cac ma tran tong tro thu tu thuan, nghich va khong Zbus1, Zbus2 va Zbus0
- Vi tri nut bi su co
- Va tong tro su co Zi
- Dien ap nut truoc su co la ket qua cua bai toan phan bo cong suat
(Neu gia tri nay khong duoc khai bao, chuong trinh tu dong gan cho no gia tri la 1 (dvtđ))

DAU RA CUA CHUONG TRINH LA:

- Gia tri tong cuong do dong dien su co hai pha cham dat
- Gia tri dien ap nut sau khi xay ra su co
- Gia tri cuong do dong dien tren cac nhanh

```
function dlgfault(zdata0, Zbus0, zdata1, Zbus1, zdata2, Zbus2, V)
```

```

if exist('zdata2') ~= 1
zdata2 = zdata1;
else, end
if exist('Zbus2') ~= 1
Zbus2 = Zbus1;
else, end

nl = zdata1(:,1); nr = zdata1(:,2);
nl0 = zdata0(:,1); nr0 = zdata0(:,2);
nbr = length(zdata1(:,1)); nbus = max(max(nl), max(nr));
nbr0 = length(zdata0(:,1));
R0 = zdata0(:,3); X0 = zdata0(:,4);
R1 = zdata1(:,3); X1 = zdata1(:,4);
R2 = zdata2(:,3); X2 = zdata2(:,4);

for k = 1:nbr0
    if R0(k) == inf | X0(k) == inf
        R0(k) = 999999999; X0(k) = 999999999;
    else, end
end
ZB1 = R1 + j*X1; ZB0 = R0 + j*X0;
ZB2 = R2 + j*X2;

if exist('V') == 1
    if length(V) == nbus
        V0 = V;
    else, end
else, V0 = ones(nbus, 1) + j*zeros(nbus, 1);
end

fprintf('\nPHAN TICH SU CO HAI PHA CHAM DAT \n')
ff = 999;
while ff > 0
    nf = input('NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO. -> ');
    while nf <= 0 | nf > nbus
        fprintf('VI TRI NUT BI SU CO PHAI GIUA 1 & %g \n', nbus)
        nf = input('NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO. -> ');
    end
end

```

```

end
fprintf('\nNHAP VAO TONG TRO SU CO Zf = R + j*X O ')
Zf = input('DANG SO PHUC. Zf = ');
fprintf('\n')
fprintf('SU CO HAI PHA CHAM DAT TAI NUT. %g\n', nf)
a = cos(2*pi/3)+j*sin(2*pi/3);
sctm = [1 1 1; 1 a^2 a; 1 a a^2];

Z11 = Zbus2(nf, nf)*(Zbus0(nf, nf)+ 3*Zf)/(Zbus2(nf, nf)+Zbus0(nf, nf)+3*Zf);
Ia1 = V0(nf)/(Zbus1(nf,nf)+Z11);
Ia2 = -(V0(nf) - Zbus1(nf, nf)*Ia1)/Zbus2(nf,nf);
Ia0 = -(V0(nf) - Zbus1(nf, nf)*Ia1)/(Zbus0(nf,nf)+3*Zf);
I012 = [Ia0; Ia1; Ia2];
Ifabc = sctm*I012; Ifabcm = abs(Ifabc);
Ift = Ifabc(2)+Ifabc(3);
Ifitm = abs(Ift);

fprintf('TONG CUONG DO DONG DIEN SU CO = %9.4f dvtđ \n\n', Ifitm)
fprintf('GIA TRI DIEN AP NUT KHI XAY RA SU CO TRONG dvtđ \n\n')
fprintf(' So -----Bien do dien ap----- \n')
fprintf(' Nut Pha a Pha b Pha c \n')

for n = 1:nbus
Vf0(n) = 0 - Zbus0(n, nf)*Ia0;
Vf1(n) = V0(n) - Zbus1(n, nf)*Ia1;
Vf2(n) = 0 - Zbus2(n, nf)*Ia2;
Vabc = sctm*[Vf0(n); Vf1(n); Vf2(n)];
Va(n) = Vabc(1); Vb(n) = Vabc(2); Vc(n) = Vabc(3);
fprintf(' %5g',n)
fprintf(' %11.4f, abs(Va(n)),fprintf(' %11.4f, abs(Vb(n)))
fprintf(' %11.4f\n', abs(Vc(n)))
end
fprintf('\n')
fprintf('GIA TRI CUONG DO DONG DEN NHANH CHO SU CO TAI NUT %g\n\n', nf)
fprintf(' Tu Den -----Bien do dong dien nhanh---- \n')
fprintf(' nut nut Pha a Pha b Pha c \n')
for n = 1:nbus
for I = 1:nbr

```

```

if nl(I) == n | nr(I) == n
    if nl(I) == n k = nr(I);
    elseif nr(I) == n k = nl(I);
    end
    if k ~ = 0
        Ink1(n, k) = (Vf1(n) - Vf1(k))/ZB1(I);
        Ink2(n, k) = (Vf2(n) - Vf2(k))/ZB2(I);
    else, end
else, end
end
for I = 1:nbr0
    if nl0(I) == n | nr0(I) == n
        if nl0(I) == n k = nr0(I);
        elseif nr0(I) == n k = nl0(I);
        end
        if k ~ = 0
            Ink0(n, k) = (Vf0(n) - Vf0(k))/ZB0(I);
        else, end
    else, end
end
for I = 1:nbr
    if nl(I) == n | nr(I) == n
        if nl(I) == n k = nr(I);
        elseif nr(I) == n k = nl(I);
        end
        if k ~ = 0
            Inkabc = sctm*[Ink0(n, k); Ink1(n, k); Ink2(n, k)];
            Inkabcn = abs(Inkabc); th = angle(Inkabc);
            if real(Inkabc(2)) < 0
                fprintf('%7g', n), fprintf('%10g', k),
                fprintf(' %11.4f, abs(Inkabc(1))), fprintf(' %11.4f, abs(Inkabc(2)))
                fprintf(' %11.4f\n', abs(Inkabc(3)))
            elseif real(Inkabc(2)) == 0 & imag(Inkabc(2)) > 0
                fprintf('%7g', n), fprintf('%10g', k),
                fprintf(' %11.4f, abs(Inkabc(1))), fprintf(' %11.4f, abs(Inkabc(2)))
                fprintf(' %11.4f\n', abs(Inkabc(3)))
            else, end
        else, end
    end
end

```

```

        else, end
    end
    if n == nf
        fprintf('%7g',n), fprintf(' F'),
        fprintf(' %11.4f', Ifabcm(1)), fprintf(' %11.4f', Ifabcm(2))
        fprintf(' %11.4f\n', Ifabcm(3))
    else, end
end
resp = 0;
while strcmp(resp, 'n')~= 1 & strcmp(resp, 'N')~= 1 & strcmp(resp, 'y')~= 1 & strcmp(resp, 'Y')~= 1
    resp = input('NHAP VAO NUT SU CO KHAC? NHAP "y" HOAC "n" -> ');
    if strcmp(resp, 'n')~= 1 & strcmp(resp, 'N')~= 1 & strcmp(resp, 'y')~= 1 & strcmp(resp, 'Y')~= 1
        fprintf('\n NHAP SAI, VUI LONG NHAP LAI \n\n'), end
    end
    if resp == 'y' | resp == 'Y'
        nf = 999;
    else ff = 0; end
end % end for while

```

Mã đoạn chương trình **llfault.m**

CHUONG TRINH llfault DUOC VIET NHAM MUC DICH CHO VIEC
PHAN TICH SU CO NGAN MACH HAI PHA TRONG MOT SO DO HE THONG DIEN

DAU VAO CUA CHUONG TRINH LA:

- Cac ma tran tong tro thu tu thuan, nghich va khong Zbus1, Zbus2 va Zbus0
- Vi tri nut bi su co
- Va tong tro su co Zf
- Dien ap nut truoc su co la ket qua cua bai toan phan bo cong suat
(Neu gia tri nay khong duoc khai bao, chuong trinh tu dong gan cho no gia tri la 1 (dvtđ))

DAU RA CUA CHUONG TRINH LA:

- Gia tri tong cuong do dong dien su co ngan mach hai pha
- Gia tri dien ap nut sau khi xay ra su co
- Gia tri cuong do dong dien tren cac nhanh

```

function llfault(zdata1, Zbus1, zdata2, Zbus2, V)
if exist('zdata2') ~= 1

```

```

zdata2 = zdata1;
else, end
if exist('Zbus2') ~= 1
Zbus2 = Zbus1;
else, end

nl = zdata1(:,1); nr = zdata1(:,2);
R1 = zdata1(:,3); X1 = zdata1(:,4);
R2 = zdata2(:,3); X2 = zdata2(:,4);
ZB1 = R1 + j*X1; ZB2 = R2 + j*X2;
nbr = length(zdata1(:,1)); nbus = max(max(nl), max(nr));
if exist('V') == 1
    if length(V) == nbus
        V0 = V;
    else, end
else, V0 = ones(nbus, 1) + j*zeros(nbus, 1);
end
fprintf('\nPHAN TICH SU CO NGAN MACH HAI PHA \n')
ff = 999;
while ff > 0
nf = input('NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO. -> ');
while nf <= 0 | nf > nbus
    fprintf('VI TRI NUT BI SU CO PHAI GIUA 1 & %g \n', nbus)
    nf = input('NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO. -> ');
end
fprintf('\nNHAP VAO TONG TRO SU CO Zf = R + j*X O ')
Zf = input('DANG SO PHUC. Zf = ');
fprintf(' \n')
fprintf('SU CO NGAN MACH 2 TAI NUT. %g\n', nf)
a = cos(2*pi/3)+j*sin(2*pi/3);
sctm = [1 1 1; 1 a^2 a; 1 a a^2];
Ia0 = 0;
Ia1 = V0(nf)/(Zbus1(nf,nf)+Zbus2(nf, nf)+Zf); Ia2 = -Ia1;
I012 = [Ia0; Ia1; Ia2];
Ifabc = sctm*I012;
Ifabcm = abs(Ifabc);
fprintf('TONG CUONG DO DONG DIEN SU CO = %9.4f dvtd\n\n', Ifabcm(2))
fprintf('GIA TRI DIEN AP NUT KHI XAY RA SU CO TRONG dvtd \n\n')

```



```

                else, end
            else, end
        else, end
    end
    if n == nf
        fprintf('%7g',n), fprintf(' F'),
        fprintf(' %11.4f', Ifabcm(1)), fprintf(' %11.4f', Ifabcm(2))
        fprintf(' %11.4f\n', Ifabcm(3))
    else, end
end
resp = 0;
while strcmp(resp, 'n')~= 1 & strcmp(resp, 'N')~= 1 & strcmp(resp, 'y')~= 1 & strcmp(resp, 'Y')~= 1
    resp = input('NHAP VAO NUT SU CO KHAC? NHAP "y" HOAC "n" -> ');
    if strcmp(resp, 'n')~= 1 & strcmp(resp, 'N')~= 1 & strcmp(resp, 'y')~= 1 & strcmp(resp, 'Y')~= 1
        fprintf("\n NHAP SAI, VUI LONG NHAP LAI \n\n"), end
    end
    if resp == 'y' | resp == 'Y'
        nf = 999;
    else ff = 0; end
end % end for while

```

Mã đoạn chương trình **lgfault.m**

CHUONG TRINH lgfault DUOC VIET NHAM MUC DICH CHO VIEC
PHAN TICH SU CO MOT PHA CHAM DAT TRONG MOT SO DO HE THONG DIEN

DAU VAO CUA CHUONG TRINH LA:

- Cac ma tran tong tro thu tu thuan, nghich va khong Zbus1, Zbus2 va Zbus0
- Vi tri nut bi su co
- Va tong tro su co Zf
- Dien ap nut truooc su co la ket qua cua bai toan phan bo cong suat
(Neu gia tri nay khong duoc khai bao, chuong trinh tu dong gan cho no gia tri la 1 (dvtđ))

DAU RA CUA CHUONG TRINH LA:

- Gia tri tong cuong do dong dien su co 1 cham dat
- Gia tri dien ap nut sau khi xay ra su co
- Gia tri cuong do dong dien tren cac nhanh

```

function lgfault(zdata0, Zbus0, zdata1, Zbus1, zdata2, Zbus2, V)
if exist('zdata2') ~= 1
zdata2 = zdata1;
else, end
if exist('Zbus2') ~= 1
Zbus2 = Zbus1;
else, end
nl = zdata1(:,1); nr = zdata1(:,2);
nl0 = zdata0(:,1); nr0 = zdata0(:,2);
nbr = length(zdata1(:,1)); nbus = max(max(nl), max(nr));
nbr0 = length(zdata0(:,1));
R0 = zdata0(:,3); X0 = zdata0(:,4);
R1 = zdata1(:,3); X1 = zdata1(:,4);
R2 = zdata1(:,3); X2 = zdata1(:,4);
for k = 1:nbr0
    if R0(k) == inf | X0(k) == inf
        R0(k) = 99999999; X0(k) = 99999999;
    else, end
end
ZB1 = R1 + j*X1; ZB0 = R0 + j*X0;
ZB2 = R2 + j*X2;
if exist('V') == 1
    if length(V) == nbus
        V0 = V;
    else, end
else, V0 = ones(nbus, 1) + j*zeros(nbus, 1);
end
fprintf('\nPHAN TICH SU CO MOT PHA CHAM DAT \n')
ff = 999;
while ff > 0
    nf = input('NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO. -> ');
    while nf <= 0 | nf > nbus
        fprintf('VI TRI NUT BI SU CO PHAI GIUA 1 & %g \n', nbus)
        nf = input('NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO. -> ');
    end
    fprintf('\nNHAP VAO TONG TRO SU CO Zf = R + j*X O ')
    Zf = input('DANG SO PHUC. Zf = ');
    fprintf('\n')

```

```

fprintf('SU CO MOT PHA CHAM DAT TAI NUT. %g\n', nf)
a = cos(2*pi/3)+j*sin(2*pi/3);
sctm = [1 1 1; 1 a^2 a; 1 a a^2];
Ia0 = V0(nf)/(Zbus1(nf,nf)+Zbus2(nf, nf)+ Zbus0(nf, nf)+3*Zf); Ia1 = Ia0; Ia2 = Ia0;
I012 = [Ia0; Ia1; Ia2];
Ifabc = sctm*I012;
Ifabcm = abs(Ifabc);
fprintf('TONG CUONG DO DONG DIEN SU CO = %9.4f dvtvd\n\n', Ifabcm(1))
fprintf('GIA TRI DIEN AP NUT KHI XAY RA SU CO TRONG dvtvd \n\n')
fprintf(' So -----Bien do dien ap----- \n')
fprintf(' Nut. Pha a Pha b Pha c \n')

for n = 1:nbus
Vf0(n) = 0 - Zbus0(n, nf)*Ia0;
Vf1(n) = V0(n) - Zbus1(n, nf)*Ia1;
Vf2(n) = 0 - Zbus2(n, nf)*Ia2;
Vabc = sctm*[Vf0(n); Vf1(n); Vf2(n)];
Va(n) = Vabc(1); Vb(n) = Vabc(2); Vc(n) = Vabc(3);
fprintf(' %5g',n)
fprintf(' %11.4f', abs(Va(n))),fprintf(' %11.4f', abs(Vb(n)))
fprintf(' %11.4f\n', abs(Vc(n)))
end
fprintf(' \n')
fprintf('GIA TRI CUONG DO DONG DEN NHANH CHO SU CO TAI NUT. %g\n\n', nf)
fprintf(' Tu Den -----Bien do dong dien nhanh---- \n')
fprintf(' Nut Nut Pha a Pha b Pha c \n')
for n = 1:nbus
    for I = 1:nbr
        if nl(I) == n | nr(I) == n
            if nl(I) == n k = nr(I);
            elseif nr(I) == n k = nl(I);
            end
            if k ~= 0
                Ink1(n, k) = (Vf1(n) - Vf1(k)) / Zb1(I);
                Ink2(n, k) = (Vf2(n) - Vf2(k)) / Zb2(I);
            else, end
        else, end
    end
end
for I = 1:nbr0

```

```

if nl0(I) == n | nr0(I) == n
    if nl0(I) == n k = nr0(I);
    elseif nr0(I) == n k = nl0(I);
    end
    if k ~ = 0
        Ink0(n, k) = (Vf0(n) - Vf0(k))/ZB0(I);
    else, end
else, end
end
for I = 1:nbr
    if nl(I) == n | nr(I) == n
        if nl(I) == n k = nr(I);
        elseif nr(I) == n k = nl(I);
        end
        if k ~ = 0
            Inkabc = sctm*[Ink0(n, k); Ink1(n, k); Ink2(n, k)];
            Inkabcm = abs(Inkabc); th = angle(Inkabc);
            if real(Inkabcm(1)) > 0
                fprintf('%7g', n), fprintf('%10g', k),
                fprintf(' %11.4f', abs(Inkabcm(1))), fprintf(' %11.4f', abs(Inkabcm(2)))
                fprintf(' %11.4f\n', abs(Inkabcm(3)))
            elseif real(Inkabcm(1)) = 0 & imag(Inkabcm(1)) < 0
                fprintf('%7g', n), fprintf('%10g', k),
                fprintf(' %11.4f', abs(Inkabcm(1))), fprintf(' %11.4f', abs(Inkabcm(2)))
                fprintf(' %11.4f\n', abs(Inkabcm(3)))
            else, end
        else, end
    else, end
end
if n == nf
    fprintf('%7g', n), fprintf(' F'),
    fprintf(' %11.4f', Ifabcm(1)), fprintf(' %11.4f', Ifabcm(2))
    fprintf(' %11.4f\n', Ifabcm(3))
else, end
end
resp = 0;
while strcmp(resp, 'n') ~ = 1 & strcmp(resp, 'N') ~ = 1 & strcmp(resp, 'y') ~ = 1 & strcmp(resp, 'Y') ~ = 1
    resp = input('NHAP VAO NUT SU CO KHAC? NHAP "y" HOAC "n" -> ');

```

```

if strcmp(resp, 'n')~= 1 & strcmp(resp, 'N')~= 1 & strcmp(resp, 'y')~= 1 & strcmp(resp, 'Y')~= 1
fprintf('\n NHAP SAI, VUI LONG NHAP LAI \n\n'), end
end
if resp == 'y' | resp == 'Y'
nf = 999;
else ff = 0; end
end % end for while

```

Bước 9. Chuyển sang cửa sổ **Command Window** của MATLAB để thực thi chương trình.

Chú ý: Các dòng lệnh và các ký tự được in đậm và nghiêng là các dòng và ký tự do người thực thi chương trình nhập vào.

Chú ý: Trong dữ liệu đưa vào, **zdata** là một ma trận $n \times 4$ bao gồm:

- n là số phần tử của sơ đồ.
- 4 cột tương ứng như sau:

Cột 1 và 2: là số nút của các phần tử

Cột 3 và 4: là điện trở và điện kháng trong đơn vị tương đối tương ứng của các phần tử

Bước 10. Cuối cùng, kết quả tính toán được là:

Trường hợp ngắn mạch ba pha cân bằng:

```

>> z1 = [0 1 0 0.337
         0 6 0 0.09475
         0 11 0 0.013
         1 2 0.110 0.029
         1 3 0.073 0.192
         1 6 0.146 0.385
         2 4 0 0.065
         3 5 0 0.139
         3 6 0.088 0.231
         6 7 0 0.104
         6 8 0.013 0.071
         6 10 0.022 0.058
         8 9 0 0.069
         8 10 0.019 0.107
         10 11 0 0.063];
>> z0 = [0 1 0 0.101
         0 2 0 0.166
         0 3 0 0.139

```

```

0 6 0 0.034
0 8 0 0.069
0 10 0 0.122
0 11 0 0.013
1 2 0.280 0.072
1 3 0.183 0.481
1 6 0.306 0.961
2 4 inf inf
3 5 inf inf
3 6 0.220 0.577
6 7 inf inf
6 8 0.031 0.178
6 10 0.055 0.145
8 9 inf inf
8 10 0.048 0.268
10 11 0 0.071];

```

```

>> z2 = z1;
>> Z1 = zbuild(z1);
>> Z0 = zbuild(z0);
>> Z2 = Z1;
>> symfault(z1,Z1)

```

NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO, SAU DO NHAN ENTER DE TIEP TUC-> 1

NHAP VAO TONG TRO SU CO NGAN MACH $Z_f = R + j \cdot X$ O DANG SO PHUC. $Z_f = j \cdot 0.1$

SU CO NGAN MACH DOI XUNG TAI NUT 1

TONG CUONG DO DONG NGAN MACH = 4.0042 dvtđ

GIA TRI DIEN AP NUT KHI XAY RA NGAN MACH TRONG (dvtđ)

Nut	Bien do	Goc
So	Dien ap	Do
1	0.4004	5.8112
2	0.4004	5.8112
3	0.6179	1.1425
4	0.4004	5.8112
5	0.6179	1.1425
6	0.8820	-1.4174

7	0.8820	-1.4174
8	0.9004	-1.4085
9	0.9004	-1.4085
10	0.9281	-1.3865
11	0.9877	-0.2228

GIA TRI CUONG DO DONG DIEN NHANH CHO VI TRI XAY RA SU CO NGAN MACH TAI NUT 1

Tu	To	Bien do	Goc
Nut	Nut	Dong dien	Do
1	F	4.0042	-84.1888
2	1	0.0000	75.2308
3	1	1.0768	-76.5139
G	6	1.2695	-79.5504
6	1	1.1836	-76.5837
6	3	1.0768	-76.5139
8	6	0.2549	-80.6051
10	6	0.7432	-70.0244
10	8	0.2549	-80.6051
G	11	0.9948	-72.7211
11	10	0.9948	-72.7211

Nhap vao mot vi tri xay ra ngan mach moi? Nhan 'y' or 'n' tuong ung voi dong y va khong dong y -> 'y'

NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO, SAU DO NHAN ENTER DE TIEP TUC-> 6

NHAP VAO TONG TRO SU CO NGAN MACH $Z_f = R + j \cdot X$ O DANG SO PHUC. $Z_f = j \cdot 0.1$

SU CO NGAN MACH DOI XUNG TAI NUT 6

TONG CUONG DO DONG NGAN MACH = 6.7372 dvtđ

GIA TRI DIEN AP NUT KHI XAY RA NGAN MACH TRONG (dvtđ)

Nut	Bien do	Goc
So	Dien ap	Do
1	0.7989	-1.4583
2	0.7989	-1.4583
3	0.7419	-0.3945
4	0.7989	-1.4583
5	0.7419	-0.3945

6	0.6737	1.1275
7	0.6737	1.1275
8	0.7221	0.1091
9	0.7221	0.1091
10	0.7955	-1.1614
11	0.9650	-0.1638

GIA TRI CUONG DO DONG DIEN NHANH CHO VI TRI XAY RA SU CO NGAN MACH TAI NUT 6

Tu	To	Bien do	Goc
Nut	Nut	Dong dien	Do
G	1	0.6005	-84.2342
1	3	0.2861	-84.1976
1	6	0.3145	-84.2674
3	6	0.2861	-84.1976
6	7	0.0000	-90.0000
6	8	0.6923	86.6195
6	F	6.7372	-88.8725
8	10	0.6923	86.6195
10	6	2.0183	-82.7997
G	11	2.7018	-85.4964
11	10	2.7018	-85.4964

Nhap vao mot vi tri xay ra ngan mach moi: Nhan 'y' or 'n' tuong ung voi dong y va khong dong y -> 'y'

NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO, SAU DO NHAN ENTER DE TIEP TUC-> 10

NHAP VAO TONG TRO SU CO NGAN MACH $Z_f = R + j \cdot X$ O DANG SO PHUC. $Z_f = j \cdot 0.1$

SU CO NGAN MACH DOI XUNG TAI NUT 10

TONG CUONG DO DONG NGAN MACH = 6.7824 dvtđ

GIA TRI DIEN AP NUT KHI XAY RA NGAN MACH TRONG (dvtđ)

Nut	Bien do	Goc
So	Dien ap	Do
1	0.8753	-1.7941
2	0.8753	-1.7941
3	0.8384	-1.5007
4	0.8753	-1.7941

5	0.8384	-1.5007
6	0.7940	-1.1093
7	0.7940	-1.1093
8	0.7477	-0.3748
9	0.7477	-0.3748
10	0.6782	0.8885
11	0.9450	0.1091

GIA TRI CUONG DO DONG DIEN NHANH CHO VI TRI XAY RA SU CO NGAN MACH TAI NUT 10

Tu	To	Bien do	Goc
Nut	Nut	Dong dien	Do
G	1	0.3800	-77.6438
1	3	0.1810	-77.6072
1	6	0.1990	-77.6770
3	6	0.1810	-77.6072
G	6	2.1817	-85.7354
6	10	1.9112	-81.8408
8	6	0.6556	87.5785
10	8	0.6556	87.5785
10	11	4.2370	88.1283
10	F	6.7824	-89.1115

Nhap vao mot vi tri xay ra ngan mach moi? Nhan 'y' or 'n' tuong ung voi dong y va khong dong y -> 'y'

NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO, SAU DO NHAN ENTER DE TIEP TUC-> 3

NHAP VAO TONG TRO SU CO NGAN MACH $Z_f = R + j \cdot X$ O DANG SO PHUC. $Z_f = j \cdot 0.1$

SU CO NGAN MACH DOI XUNG TAI NUT 3

TONG CUONG DO DONG NGAN MACH = 3.5982 dvtđ

GIA TRI DIEN AP NUT KHI XAY RA NGAN MACH TRONG (dvtđ)

Nut	Bien do	Goc
So	Dien ap	Do
1	0.6567	-1.0725
2	0.6567	-1.0725
3	0.3598	9.7067

4	0.6567	-1.0725
5	0.3598	9.7067
6	0.8644	-1.5421
7	0.8644	-1.5421
8	0.8855	-1.5463
9	0.8855	-1.5463
10	0.9173	-1.5416
11	0.9858	-0.2453

GIA TRI CUONG DO DONG DIEN NHANH CHO VI TRI XAY RA SU CO NGAN MACH TAI NUT 3

Tu	To	Bien do	Goc
Nut	Nut	Dong dien	Do
G	1	1.0198	-87.9504
1	3	1.5120	-82.7695
3	5	0.0000	75.9638
3	F	3.5982	-80.2933
G	6	1.4552	-80.2870
6	1	0.5048	-72.2579
6	3	2.0886	-78.5010
8	6	0.2922	-81.3417
10	6	0.8519	-70.7610
10	8	0.2922	-81.3417
G	11	1.1403	-73.4576
11	10	1.1403	-73.4576

Nhap vao mot vi tri xay ra ngan mach moi? Nhan 'y' or 'n' tuong ung voi dong y va khong dong y -> 'y'

NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO, SAU DO NHAN ENTER DE TIEP TUC-> 4

NHAP VAO TONG TRO SU CO NGAN MACH $Z_f = R + j * X$ O DANG SO PHUC. $Z_f = 0$

SU CO NGAN MACH DOI XUNG TAI NUT 4

TONG CUONG DO DONG NGAN MACH = 3.6017 dvtđ

GIA TRI DIEN AP NUT KHI XAY RA NGAN MACH TRONG (dvtđ)

Nut	Bien do	Goc
So	Dien ap	Do
1	0.5211	-20.3236
2	0.2341	29.1610

3	0.6915	-10.5072
4	0.0000	0.0000
5	0.6915	-10.5072
6	0.9121	-3.7837
7	0.9121	-3.7837
8	0.9270	-3.3328
9	0.9270	-3.3328
10	0.9494	-2.6734
11	0.9912	-0.4379

GIA TRI CUONG DO DONG DIEN NHANH CHO VI TRI XAY RA SU CO NGAN MACH TAI NUT 4

Tu	To	Bien do	Goc
Nut	Nut	Dong dien	Do
G	1	1.6095	-70.5054
1	2	3.6017	-60.8390
2	4	3.6017	-60.8390
3	1	0.9685	-53.1641
4	F	3.6017	-60.8390
G	6	1.1419	-56.2006
6	1	1.0646	-53.2339
6	3	0.9685	-53.1641
8	6	0.2293	-57.2553
10	6	0.6685	-46.6746
10	8	0.2293	-57.2553
G	11	0.8948	-49.3712
11	10	0.8948	-49.3712

Nhap vao mot vi tri xay ra ngan mach moi? Nhan 'y' or 'n' tuong ung voi dong y va khong dong y -> 'n'
>>

Trường hợp ngắn mạch một pha chạm đất:

>> $lgfault(z0, Z0, z1, Z1, z2, Z2)$

PHAN TICH SU CO MOT PHA CHAM DAT

NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO. -> 1

NHAP VAO TONG TRO SU CO $Z_f = R + j*X$ O DANG SO PHUC. $Z_f = j*0.1$

SU CO MOT PHA CHAM DAT TAI NUT. 1

TONG CUONG DO DONG DIEN SU CO = 4.4899 dvtđ

GIA TRI DIEN AP NUT KHI XAY RA SU CO TRONG dvtđ

So	-----Bien do dien ap-----		
Nut.	Pha a	Pha b	Pha c
1	0.4490	0.9504	0.9400
2	0.5165	0.9657	0.8737
3	0.6950	0.9519	0.9368
4	0.5165	0.9657	0.8737
5	0.6950	0.9519	0.9368
6	0.9084	0.9737	0.9865
7	0.9084	0.9737	0.9865
8	0.9246	0.9754	0.9891
9	0.9246	0.9754	0.9891
10	0.9454	0.9802	0.9940
11	0.9906	0.9966	0.9989

GIA TRI CUONG DO DONG DEN NHANH CHO SU CO TAI NUT. 1

Tu Den	-----Bien do dong dien nhanh-----			
Nut	Nut	Pha a	Pha b	Pha c
1	F	4.4899	0.0000	0.0000
2	1	0.2832	0.2832	0.2832
3	1	0.9705	0.2369	0.2369
6	1	0.9848	0.3424	0.3424
6	3	0.8303	0.3771	0.3771
8	6	0.2037	0.0822	0.0822
10	6	0.5715	0.2618	0.2618
10	8	0.1909	0.0949	0.0949
11	10	0.7533	0.3622	0.3622

NHAP VAO NUT SU CO KHAC? NHAP 'y' HOAC 'n' -> 'y'

NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO. -> 6

NHAP VAO TONG TRO SU CO $Z_f = R + j \cdot X$ O DANG SO PHUC. $Z_f = j \cdot 0.1$

SU CO MOT PHA CHAM DAT TAI NUT. 6

TONG CUONG DO DONG DIEN SU CO = 7.1162 dvtđ

GIA TRI DIEN AP NUT KHI XAY RA SU CO TRONG dvtđ

So -----Bien do dien ap-----			
Nut.	Pha a	Pha b	Pha c
1	0.8531	0.9632	0.9745
2	0.8571	0.9626	0.9716
3	0.8086	0.9624	0.9615
4	0.8571	0.9626	0.9716
5	0.8086	0.9624	0.9615
6	0.7116	0.9751	0.9711
7	0.7116	0.9751	0.9711
8	0.7884	0.9637	0.9596
9	0.7884	0.9637	0.9596
10	0.8417	0.9702	0.9745
11	0.9731	0.9946	0.9954

GIA TRI CUONG DO DONG DEN NHANH CHO SU CO TAI NUT. 6

Tu Den -----Bien do dong dien nhanh----				
Nut	Nut	Pha a	Pha b	Pha c
1	3	0.2093	0.0931	0.0931
1	6	0.2741	0.0587	0.0587
2	1	0.0142	0.0142	0.0142
3	6	0.2803	0.0259	0.0259
6	8	0.7238	0.0333	0.0333
6	F	7.1162	0.0000	0.0000
8	10	0.4945	0.2367	0.2367
10	6	1.7082	0.4251	0.4251
11	10	2.0752	0.7791	0.7791

NHAP VAO NUT SU CO KHAC? NHAP 'y' HOAC 'n' -> 'y'

NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO. -> 10

NHAP VAO TONG TRO SU CO $Z_f = R + j \cdot X$ O DANG SO PHUC. $Z_f = j \cdot 0.1$

SU CO MOT PHA CHAM DAT TAI NUT. 10

TONG CUONG DO DONG DIEN SU CO = 6.9731 dvtđ

GIA TRI DIEN AP NUT KHI XAY RA SU CO TRONG dvtđ

So -----Bien do dien ap-----

Nut.	Pha a	Pha b	Pha c
1	0.9133	0.9719	0.9877
2	0.9143	0.9715	0.9872
3	0.8871	0.9687	0.9802
4	0.9143	0.9715	0.9872
5	0.8871	0.9687	0.9802
6	0.8448	0.9709	0.9750
7	0.8448	0.9709	0.9750
8	0.8111	0.9667	0.9667
9	0.8111	0.9667	0.9667
10	0.6973	0.9853	0.9872
11	0.9495	0.9968	0.9970

GIA TRI CUONG DO DONG DEN NHANH CHO SU CO TAI NUT. 10

Tu Den -----Bien do dong dien nhanh-----

Nut	Nut	Pha a	Pha b	Pha c
1	3	0.1258	0.0604	0.0604
1	6	0.1489	0.0559	0.0559
2	1	0.0035	0.0035	0.0035
3	6	0.1427	0.0439	0.0439
6	10	1.7504	0.2205	0.2205
8	6	0.4615	0.2126	0.2126
8	10	0.6924	0.0350	0.0350
10	11	3.8838	0.4729	0.4729
10	F	6.9731	0.0000	0.0000

NHAP VAO NUT SU CO KHAC? NHAP 'y' HOAC 'n' -> 'y'

NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO. -> 3

NHAP VAO TONG TRO SU CO $Z_f = R + j \cdot X$ O DANG SO PHUC. $Z_f = j \cdot 0.1$

SU CO MOT PHA CHAM DAT TAI NUT. 3

TONG CUONG DO DONG DIEN SU CO = 3.9912 dvtđ

GIA TRI DIEN AP NUT KHI XAY RA SU CO TRONG dvtđ

So -----Bien do dien ap-----			
Nut.	Pha a	Pha b	Pha c
1	0.7288	0.9522	0.9474
2	0.7421	0.9501	0.9388
3	0.3991	0.9813	0.9195
4	0.7421	0.9501	0.9388
5	0.3991	0.9813	0.9195
6	0.8939	0.9735	0.9828
7	0.8939	0.9735	0.9828
8	0.9134	0.9739	0.9860
9	0.9134	0.9739	0.9860
10	0.9370	0.9789	0.9919
11	0.9892	0.9963	0.9986

GIA TRI CUONG DO DONG DEN NHANH CHO SU CO TAI NUT. 3

Tu Den -----Bien do dong dien nhanh----				
Nut	Nut	Pha a	Pha b	Pha c
1	3	1.3289	0.3546	0.3546
2	1	0.0473	0.0473	0.0473
3	F	3.9912	0.0000	0.0000
6	1	0.3850	0.1750	0.1750
6	3	1.7411	0.5778	0.5778
8	6	0.2374	0.0871	0.0871
10	6	0.6560	0.2891	0.2891
10	8	0.2168	0.1073	0.1073
11	10	0.8589	0.4061	0.4061

NHAP VAO NUT SU CO KHAC? NHAP 'y' HOAC 'n' -> 'y'

NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO. -> 4

NHAP VAO TONG TRO SU CO $Z_f = R + j \cdot X$ O DANG SO PHUC. $Z_f = 0$

SU CO MOT PHA CHAM DAT TAI NUT. 4

TONG CUONG DO DONG DIEN SU CO = 0.0000 dvtđ

GIA TRI DIEN AP NUT KHI XAY RA SU CO TRONG dvtđ

So -----Bien do dien ap-----

Nut.	Pha a	Pha b	Pha c
1	1.0000	1.0000	1.0000
2	1.0000	1.0000	1.0000
3	1.0000	1.0000	1.0000
4	0.0000	1.7321	1.7321
5	1.0000	1.0000	1.0000
6	1.0000	1.0000	1.0000
7	1.0000	1.0000	1.0000
8	1.0000	1.0000	1.0000
9	1.0000	1.0000	1.0000
10	1.0000	1.0000	1.0000
11	1.0000	1.0000	1.0000

GIA TRI CUONG DO DONG DEN NHANH CHO SU CO TAI NUT. 4

Tu	Den	----Bien do dong dien nhanh----		
Nut	Nut	Pha a	Pha b	Pha c
1	2	0.0000	0.0000	0.0000
2	4	0.0000	0.0000	0.0000
3	1	0.0000	0.0000	0.0000
4	F	0.0000	0.0000	0.0000
6	1	0.0000	0.0000	0.0000
6	3	0.0000	0.0000	0.0000
8	6	0.0000	0.0000	0.0000
10	6	0.0000	0.0000	0.0000
10	8	0.0000	0.0000	0.0000
11	10	0.0000	0.0000	0.0000

NHAP VAO NUT SU CO KHAC? NHAP 'y' HOAC 'n' -> 'n'

Trường hợp ngắn mạch hai pha:

>> $llfault(z1,Z1,z2,Z2)$

PHAN TICH SU CO NGAN MACH HAI PHA

NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO. -> I

NHAP VAO TONG TRO SU CO $Z_f = R + j*X$ O DANG SO PHUC. $Z_f = j*0.1$

SU CO NGAN MACH 2 TAI NUT. 1

TONG CUONG DO DONG DIEN SU CO = 4.3289 dvtđ

GIA TRI DIEN AP NUT KHI XAY RA SU CO TRONG dvtđ

So	-----Bien do dien ap-----		
Nut	Pha a	Pha b	Pha c
1	1.0000	0.5191	0.5694
2	1.0000	0.5191	0.5694
3	1.0000	0.6723	0.6765
4	1.0000	0.5191	0.5694
5	1.0000	0.6723	0.6765
6	1.0000	0.9074	0.8773
7	1.0000	0.9074	0.8773
8	1.0000	0.9235	0.8942
9	1.0000	0.9235	0.8942
10	1.0000	0.9481	0.9200
11	1.0000	0.9908	0.9863

GIA TRI CUONG DO DONG DEN NHANH CHO SU CO TAI NUT. 1

Tu	Den	-----Bien do dong dien----		
Nut	Nut	Pha a	Pha b	Pha c
1	F	0.0000	4.3289	4.3289
3	1	0.0000	1.1641	1.1641
6	1	0.0000	1.2796	1.2796
6	3	0.0000	1.1641	1.1641
8	6	0.0000	0.2756	0.2756
10	6	0.0000	0.8034	0.8034
10	8	0.0000	0.2756	0.2756
11	10	0.0000	1.0755	1.0755

NHAP VAO NUT SU CO KHAC? NHAP 'y' HOAC 'n' -> 'y'

NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO. -> 6

NHAP VAO TONG TRO SU CO $Z_f = R + j \cdot X$ O DANG SO PHUC. $Z_f = j \cdot 0.1$

SU CO NGAN MACH 2 TAI NUT. 6

TONG CUONG DO DONG DIEN SU CO = 8.7972 dvtđ

GIA TRI DIEN AP NUT KHI XAY RA SU CO TRONG dvtđ

So -----Bien do dien ap-----

Nut	Pha a	Pha b	Pha c
1	1.0000	0.8026	0.7653
2	1.0000	0.8026	0.7653
3	1.0000	0.7349	0.7211
4	1.0000	0.8026	0.7653
5	1.0000	0.7349	0.7211
6	1.0000	0.6561	0.6757
7	1.0000	0.6561	0.6757
8	1.0000	0.7107	0.7081
9	1.0000	0.7107	0.7081
10	1.0000	0.7956	0.7652
11	1.0000	0.9628	0.9586

GIA TRI CUONG DO DONG DEN NHANH CHO SU CO TAI NUT. 6

Tu Den ----Bien do dong dien----

Nut	Nut	Pha a	Pha b	Pha c
1	3	0.0000	0.3736	0.3736
1	6	0.0000	0.4106	0.4106
3	6	0.0000	0.3736	0.3736
6	F	0.0000	8.7972	8.7972
8	6	0.0000	0.9039	0.9039
10	6	0.0000	2.6354	2.6354
10	8	0.0000	0.9039	0.9039
11	10	0.0000	3.5279	3.5279

NHAP VAO NUT SU CO KHAC? NHAP 'y' HOAC 'n' -> 'y'

NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO. -> 10

NHAP VAO TONG TRO SU CO $Z_f = R + j \cdot X$ O DANG SO PHUC. $Z_f = j \cdot 0.1$

SU CO NGAN MACH 2 TAI NUT. 10

TONG CUONG DO DONG DIEN SU CO = 8.8869 dvtđ

GIA TRI DIEN AP NUT KHI XAY RA SU CO TRONG dvtđ

So	-----Bien do dien ap-----		
Nut	Pha a	Pha b	Pha c
1	1.0000	0.8843	0.8412
2	1.0000	0.8843	0.8412
3	1.0000	0.8422	0.8052
4	1.0000	0.8843	0.8412
5	1.0000	0.8422	0.8052
6	1.0000	0.7925	0.7639
7	1.0000	0.7925	0.7639
8	1.0000	0.7389	0.7265
9	1.0000	0.7389	0.7265
10	1.0000	0.6611	0.6767
11	1.0000	0.9373	0.9392

GIA TRI CUONG DO DONG DEN NHANH CHO SU CO TAI NUT. 10

Tu	Den	-----Bien do dong dien----		
Nut	Nut	Pha a	Pha b	Pha c
1	3	0.0000	0.2372	0.2372
1	6	0.0000	0.2607	0.2607
3	6	0.0000	0.2372	0.2372
6	8	0.0000	0.8590	0.8590
6	10	0.0000	2.5043	2.5043
8	10	0.0000	0.8590	0.8590
10	F	0.0000	8.8869	8.8869
11	10	0.0000	5.5517	5.5517

NHAP VAO NUT SU CO KHAC? NHAP 'y' HOAC 'n' -> 'y'

NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO. -> 3

NHAP VAO TONG TRO SU CO $Z_f = R + j \cdot X$ O DANG SO PHUC. $Z_f = j \cdot 0.1$

SU CO NGAN MACH 2 TAI NUT. 3

TONG CUONG DO DONG DIEN SU CO = 3.7852 dvtđ

GIA TRI DIEN AP NUT KHI XAY RA SU CO TRONG dvtđ

So -----Bien do dien ap-----

Nut	Pha a	Pha b	Pha c
1	1.0000	0.7296	0.6928
2	1.0000	0.7296	0.6928
3	1.0000	0.4970	0.5697
4	1.0000	0.7296	0.6928
5	1.0000	0.4970	0.5697
6	1.0000	0.8971	0.8634
7	1.0000	0.8971	0.8634
8	1.0000	0.9151	0.8821
9	1.0000	0.9151	0.8821
10	1.0000	0.9423	0.9108
11	1.0000	0.9898	0.9847

GIA TRI CUONG DO DONG DEN NHANH CHO SU CO TAI NUT. 3

Tu Den -----Bien do dong dien----

Nut	Nut	Pha a	Pha b	Pha c
1	3	0.0000	1.5906	1.5906
3	F	0.0000	3.7852	3.7852
6	1	0.0000	0.5310	0.5310
6	3	0.0000	2.1972	2.1972
8	6	0.0000	0.3074	0.3074
10	6	0.0000	0.8962	0.8962
10	8	0.0000	0.3074	0.3074
11	10	0.0000	1.1996	1.1996

NHAP VAO NUT SU CO KHAC? NHAP 'y' HOAC 'n' -> 'y'

NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO. -> 4

NHAP VAO TONG TRO SU CO $Z_f = R + j \cdot X$ O DANG SO PHUC. $Z_f = 0$

SU CO NGAN MACH 2 TAI NUT. 4

TONG CUONG DO DONG DIEN SU CO = 3.1192 dvtd

GIA TRI DIEN AP NUT KHI XAY RA SU CO TRONG dvtd

So -----Bien do dien ap-----

Nut Pha a Pha b Pha c

1	1.0000	0.7813	0.5449
2	1.0000	0.4385	0.6244
3	1.0000	0.8473	0.7067
4	1.0000	0.5000	0.5000
5	1.0000	0.8473	0.7067
6	1.0000	0.9623	0.9065
7	1.0000	0.9623	0.9065
8	1.0000	0.9701	0.9207
9	1.0000	0.9701	0.9207
10	1.0000	0.9820	0.9422
11	1.0000	0.9967	0.9901

GIA TRI CUONG DO DONG DEN NHANH CHO SU CO TAI NUT. 4

Tu Den	-----Bien do dong dien----			
Nut	Nut	Pha a	Pha b	Pha c
1	2	0.0000	3.1192	3.1192
2	4	0.0000	3.1192	3.1192
3	1	0.0000	0.8388	0.8388
4	F	0.0000	3.1192	3.1192
6	1	0.0000	0.9220	0.9220
6	3	0.0000	0.8388	0.8388
8	6	0.0000	0.1986	0.1986
10	6	0.0000	0.5789	0.5789
10	8	0.0000	0.1986	0.1986
11	10	0.0000	0.7750	0.7750

NHAP VAO NUT SU CO KHAC? NHAP 'y' HOAC 'n' -> 'n'

Trường hợp ngắn mạch hai pha chạm đất:

>> *dlgfault(z0,Z0,z1,Z1,z2,Z2)*

PHAN TICH SU CO HAI PHA CHAM DAT

NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO. -> I

NHAP VAO TONG TRO SU CO $Z_f = R + j \cdot X$ O DANG SO PHUC. $Z_f = j \cdot 0.1$

SU CO HAI PHA CHAM DAT TAI NUT. 1

TONG CUONG DO DONG DIEN SU CO = 3.3847 dvtđ

GIA TRI DIEN AP NUT KHI XAY RA SU CO TRONG dvtđ

So -----Bien do dien ap-----

Nut	Pha a	Pha b	Pha c
1	0.9088	0.3385	0.3385
2	0.8586	0.3894	0.3894
3	0.9072	0.5526	0.5187
4	0.8586	0.3894	0.3894
5	0.9072	0.5526	0.5187
6	0.9689	0.8707	0.8270
7	0.9689	0.8707	0.8270
8	0.9723	0.8938	0.8524
9	0.9723	0.8938	0.8524
10	0.9800	0.9270	0.8899
11	0.9966	0.9871	0.9812

GIA TRI CUONG DO DONG DEN NHANH CHO SU CO TAI NUT 1

Tu Den ----Bien do dong dien nhanh----

nut	nut	Pha a	Pha b	Pha c
1	F	0.0000	5.8150	6.1691
2	1	0.2135	0.2135	0.2135
3	1	0.1786	1.5378	1.6035
6	1	0.2581	1.6882	1.7454
6	3	0.2843	1.5426	1.5691
8	6	0.0620	0.3657	0.3722
10	6	0.1974	1.0627	1.0845
10	8	0.0715	0.3638	0.3719
11	10	0.2731	1.4215	1.4510

NHAP VAO NUT SU CO KHAC? NHAP 'y' HOAC 'n' -> 'y'

NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO. -> 6

NHAP VAO TONG TRO SU CO $Z_f = R + j \cdot X$ O DANG SO PHUC. $Z_f = j \cdot 0.1$

SU CO HAI PHA CHAM DAT TAI NUT. 6

TONG CUONG DO DONG DIEN SU CO = 4.2990 dvtđ

GIA TRI DIEN AP NUT KHI XAY RA SU CO TRONG dvtđ

So -----Bien do dien ap-----

Nut	Pha a	Pha b	Pha c
1	0.9603	0.6435	0.5231
2	0.9579	0.6451	0.5254
3	0.9510	0.5394	0.4636
4	0.9579	0.6451	0.5254
5	0.9510	0.5394	0.4636
6	0.9660	0.4299	0.4299
7	0.9660	0.4299	0.4299
8	0.9505	0.5040	0.4537
9	0.9505	0.5040	0.4537
10	0.9651	0.6240	0.5215
11	0.9939	0.9239	0.9129

GIA TRI CUONG DO DONG DEN NHANH CHO SU CO TAI NUT 6

Tu Den -----Bien do dong dien nhanh----

nut	nut	Pha a	Pha b	Pha c
1	3	0.0562	0.7604	0.7580
1	6	0.0354	0.8376	0.8348
2	1	0.0086	0.0086	0.0086
3	6	0.0156	0.7664	0.7584
6	F	0.0000	17.8788	18.0992
8	6	0.0201	1.8563	1.8397
10	6	0.2568	5.3638	5.3655
10	8	0.1430	1.8303	1.8434
11	10	0.4707	7.1674	7.1791

NHAP VAO NUT SU CO KHAC? NHAP 'y' HOAC 'n' -> 'y'

NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO. -> 10

NHAP VAO TONG TRO SU CO $Z_f = R + j \cdot X$ O DANG SO PHUC. $Z_f = j \cdot 0.1$

SU CO HAI PHA CHAM DAT TAI NUT. 10

TONG CUONG DO DONG DIEN SU CO = 4.1777 dvtđ

GIA TRI DIEN AP NUT KHI XAY RA SU CO TRONG dvtđ

So -----Bien do dien ap-----

Nut	Pha a	Pha b	Pha c
1	0.9750	0.7785	0.6692

2	0.9744	0.7790	0.6696
3	0.9680	0.7023	0.5974
4	0.9744	0.7790	0.6696
5	0.9680	0.7023	0.5974
6	0.9661	0.6139	0.5187
7	0.9661	0.6139	0.5187
8	0.9578	0.5337	0.4693
9	0.9578	0.5337	0.4693
10	0.9832	0.4178	0.4178
11	0.9963	0.8679	0.8668

GIA TRI CUONG DO DONG DEN NHANH CHO SU CO TAI NUT 10

Tu Den ----Bien do dong dien nhanh----

nut	nut	Pha a	Pha b	Pha c
1	3	0.0362	0.4874	0.4871
1	6	0.0335	0.5370	0.5347
2	1	0.0021	0.0021	0.0021
3	6	0.0263	0.4902	0.4854
6	8	0.1274	1.7590	1.7702
6	10	0.1321	5.1719	5.1496
8	10	0.0209	1.7858	1.7660
10	F	0.0000	18.2812	18.4384
11	10	0.2833	11.3882	11.4932

NHAP VAO NUT SU CO KHAC? NHAP 'y' HOAC 'n' -> 'y'

NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO. -> 3

NHAP VAO TONG TRO SU CO $Z_f = R + j \cdot X$ O DANG SO PHUC. $Z_f = j \cdot 0.1$

SU CO HAI PHA CHAM DAT TAI NUT. 3

TONG CUONG DO DONG DIEN SU CO = 3.0948 dvtđ

GIA TRI DIEN AP NUT KHI XAY RA SU CO TRONG dvtđ

So -----Bien do dien ap-----

Nut	Pha a	Pha b	Pha c
1	0.9151	0.6455	0.5572
2	0.9051	0.6511	0.5665
3	0.9183	0.3095	0.3095
4	0.9051	0.6511	0.5665
5	0.9183	0.3095	0.3095

6	0.9647	0.8630	0.8126
7	0.9647	0.8630	0.8126
8	0.9676	0.8883	0.8405
9	0.9676	0.8883	0.8405
10	0.9765	0.9231	0.8813
11	0.9960	0.9863	0.9797

GIA TRI CUONG DO DONG DEN NHANH CHO SU CO TAI NUT 3

Tu Den -----Bien do dong dien nhanh-----

nut	nut	Pha a	Pha b	Pha c
1	3	0.2749	2.0284	2.0830
2	1	0.0367	0.0367	0.0367
3	F	0.0000	4.7587	5.3260
6	1	0.1357	0.6650	0.6934
6	3	0.4480	2.7727	2.8804
8	6	0.0675	0.3892	0.4002
10	6	0.2242	1.1260	1.1677
10	8	0.0832	0.3843	0.4009
11	10	0.3149	1.5040	1.5628

NHAP VAO NUT SU CO KHAC? NHAP 'y' HOAC 'n' -> 'y'

NHAP VAO VI TRI NUT BI SU CO. -> 4

NHAP VAO TONG TRO SU CO $Z_f = R + j \cdot X$ O DANG SO PHUC. $Z_f = 0$

SU CO HAI PHA CHAM DAT TAI NUT. 4

TONG CUONG DO DONG DIEN SU CO = 0.0000 dvtd

GIA TRI DIEN AP NUT KHI XAY RA SU CO TRONG dvtd

So -----Bien do dien ap-----

Nut	Pha a	Pha b	Pha c
1	1.0000	0.7813	0.5449
2	1.0000	0.4385	0.6244
3	1.0000	0.8473	0.7067
4	1.5000	0.0000	0.0000
5	1.0000	0.8473	0.7067
6	1.0000	0.9623	0.9065
7	1.0000	0.9623	0.9065
8	1.0000	0.9701	0.9207
9	1.0000	0.9701	0.9207

10 1.0000 0.9820 0.9422
 11 1.0000 0.9967 0.9901

GIA TRI CUONG DO DONG DEN NHANH CHO SU CO TAI NUT 4

Tu Den -----Bien do dong dien nhanh-----

nut	nut	Pha a	Pha b	Pha c
1	2	0.0000	3.1192	3.1192
2	4	0.0000	3.1192	3.1192
3	1	0.0000	0.8388	0.8388
4	F	0.0000	3.1192	3.1192
6	1	0.0000	0.9220	0.9220
6	3	0.0000	0.8388	0.8388
8	6	0.0000	0.1986	0.1986
10	6	0.0000	0.5789	0.5789
10	8	0.0000	0.1986	0.1986
11	10	0.0000	0.7750	0.7750

NHAP VAO NUT SU CO KHAC? NHAP 'y' HOAC 'n' -> 'n'

>>

Tất cả các kết quả này được hiển thị trong cửa sổ **Command Window** của **MATLAB**.

Tài liệu tham khảo

1. CIRGE, *Application guide on protection of complex transmission network configurations*, 1991.
2. J. Arrillage and C. D. Arrol, *Computer analysis of Power System*, 1990.
3. T. T. Nguyen, W. Derek Humpage, *Computer applications in power*, The university of Western Australia, 1995.
4. Lã Văn Út, *Phân tích và điều khiển ổn định hệ thống điện*, Hà Nội, 2000.
5. Praha Kunder, *Power system stability and control*, UC.Graw. Hill, 1994.
6. Jan Machowski, *Power system dynamics and stability*, John Wiley and sons, 1997.
7. Peter W. Sawyer, *Power system dynamics and stability*, Prentice Hall, 1998.
8. John J. Grainger, *Power system analysis*, Mc.Graw - Hill, 1994.
9. Arthur R. Bergen, *Power system analysis*, Prentice Hall, 2000.
10. Hadi Saadat, *Power system analysis*, Mc.Graw - Hill, 1999.
11. P. M. Anderson, *Power System Protection*, Mc.Graw - Hill, 1999.
12. Teo Chang Yu, *Principles and design of low voltage system*, Singapore, 1999.
13. Gec Alsthom, *Protective relays - Application Guide*, 1995.
14. Venhicob, *Quá trình quá độ điện cơ trong hệ thống điện*, Moscow, 1978.
15. Kriukob, *Quá trình quá độ điện từ trong hệ thống điện*, Moscow, 2000.
16. Richard Roeper, *Short circuit currents in three phase system*, John Wiley and Sons, 1985.

NGẮN MẠCH VÀ ỔN ĐỊNH TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

Nguyễn Hoàng Việt (Chủ biên), Phan Thị Thanh Bình

NHÀ XUẤT BẢN
ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP HỒ CHÍ MINH
KP 6, P. Linh Trung, Q. Thủ Đức, TPHCM
Số 3 Công trường Quốc tế, Q.3, TPHCM
ĐT: 38239172, 38239170
Fax: 38239172; Email: vnuhp@vnuhcm.edu.vn



Chịu trách nhiệm xuất bản

TS HUỖNH BÁ LÂN

Tổ chức bản thảo và chịu trách nhiệm về tác quyền

HIỆU TRƯỞNG TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA – ĐHQG TPHCM

Biên tập

PHẠM THỊ ANH TÚ

Sửa bản in

TRẦN VĂN THẮNG

Trình bày bìa

TRƯƠNG NGỌC TUẤN

In tái bản 500 cuốn, khổ 19 x 27 cm

Số đăng ký KHXB: 191-2010/CXB/253-08/ĐHQG-TPHCM

Quyết định xuất bản số: 68/QĐ-ĐHQG-TPHCM/TB

ngày 07/01/2011 của Nhà xuất bản ĐHQG TPHCM

In tại Xưởng in Đại học Bách khoa - ĐHQG TP.HCM

Nộp lưu chiếu tháng 3 năm 2011.