

Bảng 7.2 : Công thức dòng và áp lúc ngắn mạch 3 pha chạm đất tại nút p

Thành phần 3 pha			Thành phần đối xứng		
$I_{p(F)}^{a,b,c} = \frac{E_{p(0)}}{Z_F + Z_{pp}^{(1)}}$	1		$I_{p(F)}^{0,1,2} = \frac{\sqrt{3}E_{p(0)}}{Z_F + Z_{pp}^{(1)}}$	0	
	a^2			1	
	a			0	
$E_{p(F)}^{a,b,c} = \frac{Z_F E_{p(0)}}{Z_F + Z_{pp}^{(1)}}$	1		$E_{p(F)}^{0,1,2} = \frac{\sqrt{3} Z_F E_{p(0)}}{Z_F + Z_{pp}^{(1)}}$	0	
	a^2			1	
	a			0	
$E_{i(F)}^{a,b,c} = \left(E_{i(0)} - \frac{Z_{ip}^{(1)} E_{p(0)}}{Z_F + Z_{pp}^{(1)}} \right)$ $i \neq p$	1		$E_{i(F)}^{0,1,2} = \sqrt{3} \left(E_{i(0)} - \frac{Z_{ip}^{(1)} E_{p(0)}}{Z_F + Z_{pp}^{(1)}} \right)$ $i \neq p$	0	
	a^2			1	
	a			0	

7.3.3. Ngắn mạch 1 pha chạm đất.

$$Y_F^{0,1,2} = \frac{Y_F}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.24)$$

Ma trận tổng dẫn ngắn mạch 1 pha chạm đất ở pha a thu được từ bảng 7.1.

Dòng ngắn mạch và điện áp nút thu được bằng cách thay thế $Y_F^{0,1,2}$ từ phương trình (7.24) vào trong (7.16), (7.18) và (7.20). Dòng ngắn mạch tại nút p là:

$$\begin{bmatrix} I_{p(F)}^{(0)} \\ I_{p(F)}^{(1)} \\ I_{p(F)}^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{Y_F}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 + Z_{pp}^{(0)} \frac{Y_F}{3} & Z_{pp}^{(0)} \frac{Y_F}{3} & Z_{pp}^{(0)} \frac{Y_F}{3} \\ Z_{pp}^{(1)} \frac{Y_F}{3} & 1 + Z_{pp}^{(1)} \frac{Y_F}{3} & Z_{pp}^{(1)} \frac{Y_F}{3} \\ Z_{pp}^{(1)} \frac{Y_F}{3} & Z_{pp}^{(1)} \frac{Y_F}{3} & 1 + Z_{pp}^{(2)} \frac{Y_F}{3} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix}$$

Biến đổi đơn giản ta có:

$$\begin{bmatrix} I_{p(F)}^{(0)} \\ I_{p(F)}^{(1)} \\ I_{p(F)}^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{3}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3Z_F} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7.25)$$

Thành phần pha của dòng ngắn mạch tại nút p có thể thu được bằng cách nhân cả hai vế của phương trình (7.25) bởi T_s . Dòng thu được là:

$$\begin{bmatrix} I_{p(F)}^a \\ I_{p(F)}^v \\ I_{p(F)}^c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{3}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3Z_F} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Điện áp ngắn mạch tại nút p là:

$$\begin{bmatrix} E_{p(F)}^{(0)} \\ E_{p(F)}^{(1)} \\ E_{p(F)}^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 1 + Z_{pp}^{(0)} \frac{Y_F}{3} & Z_{pp}^{(0)} \frac{Y_F}{3} & Z_{pp}^{(0)} \frac{Y_F}{3} \\ Z_{pp}^{(1)} \frac{Y_F}{3} & 1 + Z_{pp}^{(1)} \frac{Y_F}{3} & Z_{pp}^{(1)} \frac{Y_F}{3} \\ Z_{pp}^{(1)} \frac{Y_F}{3} & Z_{pp}^{(1)} \frac{Y_F}{3} & 1 + Z_{pp}^{(2)} \frac{Y_F}{3} \end{pmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix}$$

Biến đổi đơn giản ta có:

$$\begin{bmatrix} E_{p(F)}^{(0)} \\ E_{p(F)}^{(1)} \\ E_{p(F)}^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{3}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3Z_F} \begin{bmatrix} -Z_{pp}^{(0)} \\ Z_{pp}^{(0)} + Z_{pp}^{(1)} + 3Z_F \\ -Z_{pp}^{(1)} \end{bmatrix}$$

Thành phần pha của điện áp ngắn mạch.

$$\begin{bmatrix} E_{p(F)}^{(0)} \\ E_{p(F)}^{(1)} \\ E_{p(F)}^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{3Z_F}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3Z_F} \\ a^2 - \frac{Z_{pp}^{(0)} - Z_{pp}^{(1)}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3Z_F} \\ a - \frac{Z_{pp}^{(0)} - Z_{pp}^{(1)}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3Z_F} \end{bmatrix}$$

Điện áp tại các nút khác nút p là:

$$\begin{bmatrix} E_{i(F)}^{(0)} \\ E_{i(F)}^{(1)} \\ E_{i(F)}^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_{ip}^{(0)} & & \\ & Z_{ip}^{(1)} & \\ & & Z_{ip}^{(2)} \end{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3Z_F} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Biến đổi đơn giản ta có:

$$\begin{bmatrix} E_{i(F)}^{(0)} \\ E_{i(F)}^{(1)} \\ E_{i(F)}^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix} - \frac{\sqrt{3}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3Z_F} \begin{bmatrix} Z_{ip}^{(0)} \\ Z_{ip}^{(1)} \\ Z_{ip}^{(2)} \end{bmatrix}$$

Các thành phần pha là:

$$\begin{bmatrix} E_{i(F)}^a \\ E_{i(F)}^b \\ E_{i(F)}^c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix} - \frac{1}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3Z_F} \begin{bmatrix} Z_{ip}^{(0)} + 2Z_{ip}^{(1)} \\ Z_{ip}^{(0)} - Z_{ip}^{(1)} \\ Z_{ip}^{(0)} - Z_{ip}^{(1)} \end{bmatrix}$$

Các công thức thu được trong các mục trên tổng kết trong bảng 7.3. Điện áp của một pha đối với đất xem như một đơn vị so với gốc qui chiếu. Công thức trong bảng 7.2 bao gồm điện áp một pha đối với đất, nó có thể xem như một đơn vị. Dòng lúc ngắn mạch trong các nhánh của mạng điện có thể tính toán từ công thức (7.21).

Bảng 7.3 : Công thức dòng và áp ngắn mạch 1 pha chạm đất (pha a) tại nút p

Thành phần 3 pha	Thành phần đối xứng
$I_{p(F)}^{a,b,c} = \frac{3E_{p(0)}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3Z_F}$	$I_{p(F)}^{0,1,2} = \frac{\sqrt{3}E_{p(0)}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3Z_F}$
$E_{p(F)}^{a,b,c} = E_{p(0)}$	$E_{p(F)}^{0,1,2} = \frac{\sqrt{3}E_{p(0)}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3Z_F}$
$E_{i(F)}^{a,b,c} = E_{i(0)}$	$E_{i(F)}^{0,1,2} = E_{i(0)}$

7.4. TÍNH TOÁN NGẮN MẠCH BẰNG CÁCH DÙNG $Z_{\text{VÒNG}}$

Dòng và áp lúc ngắn mạch có thể tính toán bằng cách dùng ma trận tổng trở vòng cho hệ thống đơn giản trình bày trong hình 7.2. Dòng điện vòng của hệ thống điện đơn giản là bằng 0 trước lúc ngắn mạch không chú ý đến tất cả các dòng nút. Đó là cần thiết vì vậy kết quả tính toán dòng điện vòng trong từng dạng ngắn mạch để xác định dòng và áp ngắn mạch. Tính toán ngắn mạch có thể thực hiện được bằng cách tính theo hệ thống 3 pha hoặc là tính theo các thành phần đối xứng. Phương pháp sau đây sẽ biểu diễn bằng cách dùng hệ thống 3 pha.

Số nhánh của hệ thống 3 pha đơn giản bằng số nhánh của mạng điện cộng với số máy phát tương ứng. Số nút bằng số nút n cộng với đất, nghĩa là bằng n+1. Số nhánh cây hay số vòng cơ bản của hệ thống đơn giản là:

$$l_n = (e + e_q) - (n + 1) + 1$$

Hay

$$l_n = e + e_q + n$$

Với e là số nhánh của hệ thống 3 pha và e_q là số máy phát tương ứng 3 pha.

Ngắn mạch tại nút p tương ứng với cộng thêm một nhánh cây từ nút đó đến đất.
Dùng để diễn tả hệ thống trong hình 7.3, điện áp lúc ngắn mạch là:

$$\vec{E}_{Nuit(F)}^{a,b,c} = \vec{E}_{Nuit(0)}^{a,b,c} + \overline{\Delta E}_{Nuit}^{a,b,c} \quad (7.26)$$

Trong đó vector $\overline{\Delta E}_{Nuit}^{a,b,c}$ biểu diễn thay đổi trong điện áp nút thu được từ điện áp nút nguồn $E_{p(0)}^{a,b,c}$ lúc ngắn mạch.

Phương trình đặt tính của mạng điện trong dạng vòng như sau.

$$\vec{E}_{Voing}^{a,b,c} = Z_{Voing}^{a,b,c} \cdot \vec{I}_{Voing}^{a,b,c}$$

Cho hệ thống ngắn mạch trình bày trong hình 7.3, vector điện áp vòng đã biết là:

$$\vec{E}_{Voing}^{a,b,c} = \begin{bmatrix} 0 \\ \dots \\ 0 \\ E_{p(0)}^{a,b,c} \end{bmatrix}$$

Kích thước của ma trận tổng trở vòng, nó bao gồm cả vòng ngắn mạch là $3(l_n + 1) \times 3(l_n + 1)$. Vevơ dòng điện vòng chưa biết trong ngắn mạch là:

$$\vec{I}_{Voing(F)}^{a,b,c} = \begin{bmatrix} I_{1(F)}^{a,b,c} \\ \dots \\ I_{l_n(F)}^{a,b,c} \\ I_{L(F)}^{a,b,c} \end{bmatrix}$$

Trong đó $I_{L(F)}^{a,b,c}$ là dòng điện liên kết với vòng ngắn mạch. Dòng điện vòng có thể tính toán từ.

$$\vec{I}_{Voing(F)}^{a,b,c} = (Z_{Voing}^{a,b,c})^{-1} \vec{E}_{Voing}^{a,b,c}$$

Dòng điện trong tất cả các nhánh của mạng điện lúc ngắn mạch có thể tính như sau:

$$\vec{I}_{(F)}^{a,b,c} = C \vec{I}_{Voing(F)}^{a,b,c} \quad (7.27)$$

Với C là ma trận vòng hướng cơ bản trên 3 pha. Vector dòng có thể phân chia như sau:

$$\vec{I}_{(F)}^{a,b,c} = \begin{bmatrix} I_{b(F)}^{a,b,c} \\ I_{l(F)}^{a,b,c} \end{bmatrix}$$

Với $\vec{I}_{b(F)}^{a,b,c}$: Là vector dòng điện trong nhánh bù cây

$\vec{I}_{l(F)}^{a,b,c}$: Là vector dòng điện trong nhánh cây

Do đó vector điện áp thay đổi là:

$$\overline{\Delta E}_{Nút}^{a,b,c} = K^t [Z_{bb}^{a,b,c}] \cdot \vec{I}_{b(F)}^{a,b,c}$$

Với K là ma trận đường dẫn - nhánh bù cây cơ bản trên 3 pha.

$[Z_{bb}^{a,b,c}]$: Là ma trận tổng trở gốc đối với nhánh bù cây

Điện áp nút lúc ngắn mạch thu được bằng cách cộng thêm điện áp thay đổi với điện áp trước lúc ngắn mạch. Phương trình (7.26) trở thành.

$$\vec{E}_{Nút(F)}^{a,b,c} = \vec{E}_{Nút(0)}^{a,b,c} + K^t [Z_{bb}^{a,b,c}] \cdot \vec{I}_{b(F)}^{a,b,c} \quad (7.28)$$

Dòng tại nút ngắn mạch là giống như dòng trong vòng phụ là $I_{L(F)}^{a,b,c}$. Phương pháp có thể là một công việc biểu diễn tính toán ngắn mạch tại nhiều vị trí trong hệ thống bằng cách cộng thêm các nhánh cây, tại mỗi thời điểm, giữa nút ngắn mạch với đất. Yêu cầu hình thành và nghịch đảo ma trận tổng trở vòng cho mỗi vị trí ngắn mạch khác nhau. Phép toán ma trận cần thiết đòi hỏi cung cấp dữ liệu ngắn mạch cho một số lớn vị trí vì vậy nó tốn rất nhiều thời gian.

Phương pháp từng bước, mỗi nhánh cây đồng thời được cộng thêm vào giữa mỗi nút và đất, yêu cầu hình thành ma trận tổng trở vòng đơn và chỉ nghịch đảo một ma trận con. Trong phương pháp này, dòng điện trong vòng phụ là thay đổi ứng với từng vị trí ngắn mạch khác nhau. Dòng điện pha được xem như là liên kết trong vòng phụ với nút ngắn mạch p nó phụ thuộc vào dạng ngắn mạch. Xem dòng điện pha là một đơn vị, dòng điện trong vòng phụ thứ p là:

Đối với ngắn mạch 3 pha.

$$I_{L_p(F)}^{a,b,c} = \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix}$$

Đối với ngắn mạch 1 pha chạm đất (trên pha a).

$$I_{L_p(F)}^{a,b,c} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Đối với ngắn mạch hai pha (giữa pha b và pha c).

$$I_{L_p(F)}^{a,b,c} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

Dòng trong tất cả các vòng phụ khác là xem như bằng 0.

Vector điện áp, dòng điện và ma trận tổng trở vòng trong phương trình biểu diễn cho toàn mạng điện, bao gồm vòng phụ có thể phân chia như sau:

$$\begin{bmatrix} \vec{E}_L^{a,b,c} \\ \vec{E}_{L(F)}^{a,b,c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{Z}_L^{a,b,c} & \mathbf{Z}_M^{a,b,c} \\ (\mathbf{Z}_M^{a,b,c})^t & \mathbf{Z}_A^{a,b,c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{I}_L^{a,b,c} \\ \vec{I}_{L(F)}^{a,b,c} \end{bmatrix} \quad (7.29)$$

Trong phương trình (7.29) vector $\vec{E}_L^{a,b,c}$ và $\vec{I}_L^{a,b,c}$ được xem như là các vector dòng điện và điện áp vòng trong hệ thống đơn giản và $\vec{E}_{L(F)}^{a,b,c}$ và $\vec{I}_{L(F)}^{a,b,c}$ được xem như là các vector dòng điện và điện áp vòng phụ.

Vector $\vec{I}_L^{a,b,c}$ có thể tính toán cho ngắn mạch tại nút p từ phương trình (7.29) bằng cách xem dòng điện trong vòng phụ là:

$$\vec{I}_{L(F)}^{a,b,c} = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \vec{I}_{Lp(F)}^{a,b,c} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (7.30)$$

Trong đó $\vec{I}_{Lp(F)}^{a,b,c}$ được xem như vector dòng 3 pha của vòng phụ thứ p. Từ phương trình (7.29) ta có.

$$\mathbf{Z}_L^{a,b,c} \cdot \vec{I}_L^{a,b,c} + \mathbf{Z}_M^{a,b,c} \cdot \vec{I}_{L(F)}^{a,b,c} = \vec{E}_L^{a,b,c} \quad (7.31)$$

Từ $\vec{E}_L^{a,b,c} = 0$ phương trình (7.31) trở thành.

$$\mathbf{Z}_L^{a,b,c} \cdot \vec{I}_L^{a,b,c} + \mathbf{Z}_M^{a,b,c} \cdot \vec{I}_{L(F)}^{a,b,c} = 0$$

Đối với hệ thống đơn giản dòng điện vòng tìm được là:

$$\vec{I}_L^{a,b,c} = -(\mathbf{Z}_L^{a,b,c})^{-1} \mathbf{Z}_M^{a,b,c} \cdot \vec{I}_{L(F)}^{a,b,c} \quad (7.32)$$

Điện áp vòng phụ từ phương trình (7.29) là:

$$\vec{E}_{L(F)}^{a,b,c} = (\mathbf{Z}_M^{a,b,c})^t \vec{I}_L^{a,b,c} + \mathbf{Z}_A^{a,b,c} \cdot \vec{I}_{L(F)}^{a,b,c}$$

Thế $\vec{I}_L^{a,b,c}$ vào trong phương trình từ (7.32) ta có .

$$\vec{E}_{L(F)}^{a,b,c} = \left\{ \mathbf{Z}_A^{a,b,c} - (\mathbf{Z}_M^{a,b,c})^t (\mathbf{Z}_L^{a,b,c})^{-1} \mathbf{Z}_M^{a,b,c} \right\} \vec{I}_{L(F)}^{a,b,c} \quad (7.33)$$

Phương trình (7.33) xác định nguồn điện áp vòng phụ, từ dòng điện vòng phụ tính bởi phương trình (7.30).

Thực tế xác định dòng ngắn mạch với nguồn điện áp trong vòng phụ thứ p $\vec{E}_{p(0)}^{a,b,c}$ phải bằng điện áp nút thứ p trước ngắn mạch. Tính toán nguồn điện áp của vòng phụ thứ p $\vec{E}_{Lp(F)}^{a,b,c}$ thu được từ phương trình (7.33) dùng tương đương để tính toán dòng điện. Dòng ngắn mạch thực tế tại nút p là:

Đối với pha a:

$$I_{Lp(F)}^a \text{ (thực tế)} = I_{Lp(F)}^a \text{ (tương đương)} \frac{E_{p(0)}^a}{E_{Lp(F)}^a}$$

Đối với pha b:

$$I_{Lp(F)}^b \text{ (thực tế)} = I_{Lp(F)}^b \text{ (tương đương)} \frac{E_{p(0)}^b}{E_{Lp(F)}^b}$$

.....
Dòng điện vòng $\bar{I}_L^{a,b,c}$ của hệ thống đơn giản có thể thu được từ phương trình (7.32) dùng dòng điện vòng hiện tại. Dòng nhánh bù cây có thể tính toán từ phương trình (7.27) và điện áp nút, sau đó có thể xác định từ phương trình (7.28).

Trong phương trình (7.33) xem dòng điện vòng phụ $\bar{I}_{Lp}^{a,b,c}$ trong các nhánh cây phụ kết nối các nút của mạng điện với đất và vì vậy nó được xem là dòng nút. Điện áp vòng phụ $\bar{E}_{L(F)}^{a,b,c}$ là điện áp nút thu được từ dòng điện hiện tại. Trong phương trình (7.33).

$$Z_A^{a,b,c} - (Z_M^{a,b,c})^t (Z_L^{a,b,c})^{-1} Z_M^{a,b,c} = Z_{Nút}^{a,b,c}$$

Vì vậy trong phương pháp ma trận tổng trở vòng dùng để xác định ma trận tổng trở nút cho tính toán ngắn mạch.

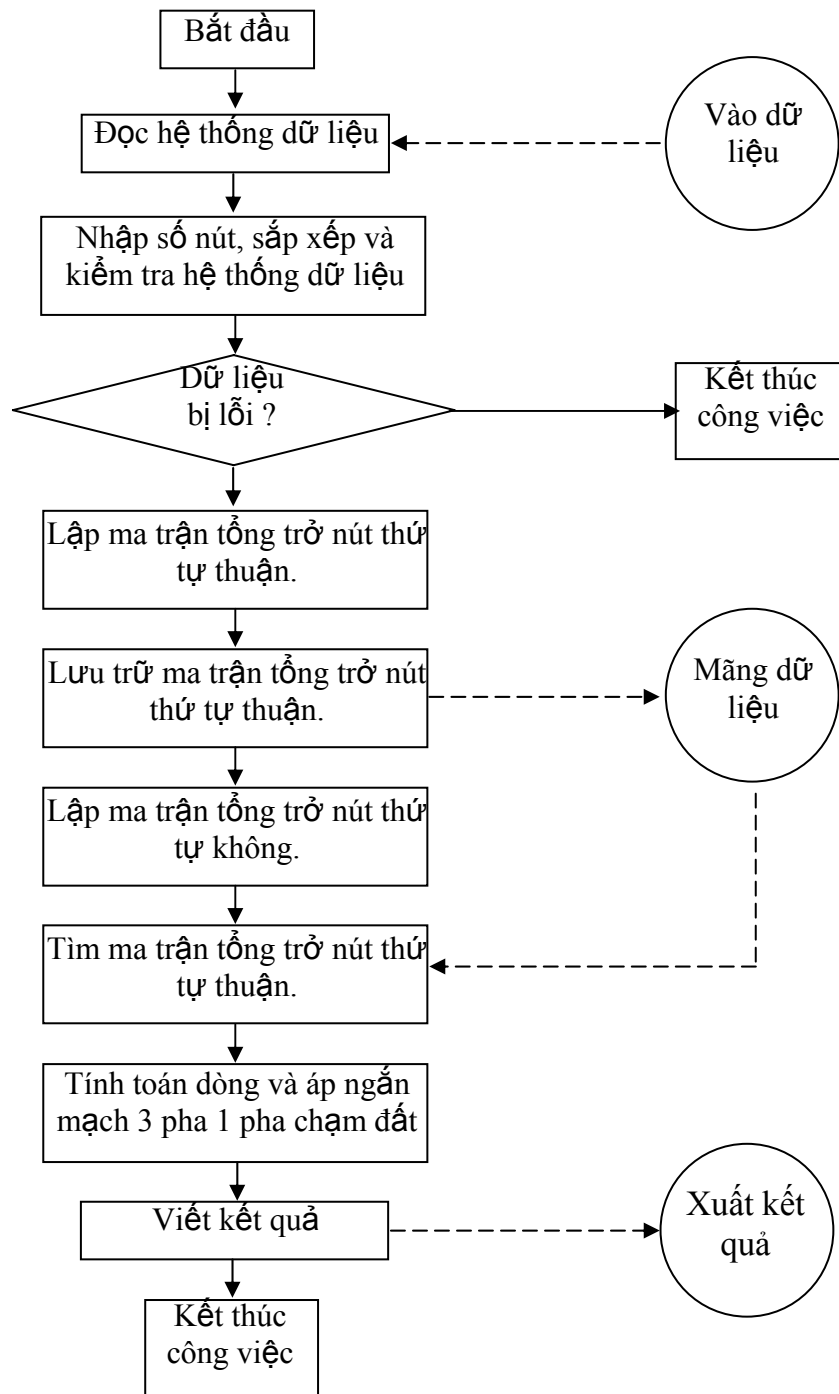
7.5. CHƯƠNG TRÌNH MÔ TẢ TÍNH TOÁN NGẮN MẠCH

Phần lớn nghiên cứu ngắn mạch là chỉ cần tính cho ngắn mạch 3 pha và 1 pha chạm đất. Tính ngắn mạch trong hệ thống điện là nhằm mục đích tính toán những sự cố, dùng ma trận tổng trở nút thứ tự thuận và thứ tự không biểu diễn như mục 7.3 và hệ thống điện đơn giản trình bày trong mục 7.2.

Dữ liệu nhập vào diễn tả hệ thống lý thuyết để thành lập nguồn năng lượng và các biến đổi trung gian. Dữ liệu cho máy phát, bộ tụ, số điểm nối và điện kháng thứ tự thuận thứ tự không. Về lý thuyết 1 pha gồm 2 thành phần, thành phần thứ nhất là cho mỗi một điểm nối dọc theo chiều dài đường dây là một điện kháng đường dây, thành phần thứ hai của đường dây là điện kháng tương hỗ đòi hỏi giữa hai dây với nhau. Máy biến áp về lý thuyết được xem như một điểm nối tại mỗi trạm với số cuộn dây, sự kết nối và điện kháng thứ tự thuận thứ tự không của nó.

Chương trình tính toán đầu tiên gán cho một dãy số nút và sắp xếp hệ thống dữ liệu cho thuận lợi, hình thành các ma trận tổng trở nút thứ tự thuận, thứ tự không. Kiểm tra và biểu diễn dữ liệu trong mỗi pha. Tiếp theo, thiết lập các ma trận tổng trở nút thứ tự thuận, thứ tự không. Ma trận được lưu trữ tạm thời trong vùng nhớ phụ để cung cấp cho chương trình tính tiếp theo. Sau đó các ma trận tổng trở nút thứ tự thuận và thứ tự không được gọi ra để dùng trong tính toán ngắn mạch. Từ ma trận đối xứng chỉ lưu trữ các thành phần trên đường chéo. Chương trình tính ngắn mạch thứ tự từng bước được trình bày trong hình 7.6.

Sơ đồ thuật toán tính toán ngắn mạch trong hệ thống điện:



Hình 7.6 : Sơ đồ thuật toán tính toán ngắn mạch trong hệ thống điện