

CHƯƠNG 6

TRÀO LƯU CÔNG SUẤT

6.1. GIỚI THIỆU:

Nhiệm vụ của giải tích mạng là tính toán các thông số chế độ làm việc, chủ yếu là dòng và áp tại mọi nút của mạng điện. Việc xác định các thông số chế độ mạng điện rất có ý nghĩa khi thiết kế, vận hành và điều khiển hệ thống điện.

Một số lớn các thuật toán được đề xuất trong 20 năm trở lại đây. Trong chương này ta giới thiệu các phương pháp đó trên các khía cạnh như: Dễ chương trình hóa, tốc độ giải, độ chính xác....

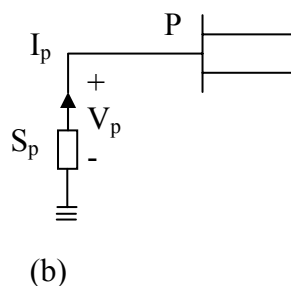
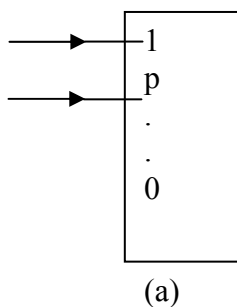
Việc tính toán dòng công suất phải được tiến hành từng bước và hiệu chỉnh dần. Bên cạnh mục đích xác định trạng thái tĩnh thì việc tính toán dòng công suất còn là một phần của các chương trình về tối ưu và ổn định. Trước khi có sự xuất hiện của máy tính số, việc tính toán dòng công suất được tiến hành bằng thiết bị phân tích mạng. Từ năm 1956, khi xuất hiện máy tính số đầu tiên thì phương pháp tính dòng công suất ứng dụng máy tính số được đề xuất và dần dần được thay thế các thiết bị phân tích mạng. Ngày nay các thiết bị phân tích mạng không còn được dùng nữa.

6.2. THIẾT LẬP CÔNG THỨC GIẢI TÍCH.

Giả sử mạng truyền tải là mạng 3 pha đối xứng và được biểu diễn bằng mạng nối tiếp dương như trên hình 6.1a. Các phần tử của mạng được liên kết với nhau nên ma trận tổng dẫn nút $Y_{\text{Nút}}$ có thể xác định từ sơ đồ.

Theo sơ đồ 6.1a ta có:

$$I_{\text{Nút}} = Y_{\text{Nút}} \cdot V_{\text{Nút}} \quad (6.1)$$



Hình 6.1 : Sơ đồ đa cổng của đường dây truyền tải

$Y_{\text{Nút}}$ là một ma trận thưa và đối xứng. Tại các cổng của mạng có các nguồn công suất hay điện áp. Chính các nguồn này tại các cổng làm cho áp và dòng liên hệ phi tuyến với nhau theo (6.1) chúng ta có thể xác định được công suất tác dụng và phản kháng bơm vào mạng (quy ước công suất dương khi có chiều bơm vào mạng) dưới dạng hàm phi tuyến của V_p và I_p . Ta có thể hình dung nguồn công suất bơm vào mạng nối ngang qua cổng tại đầu dương của nguồn bơm như hình 6.1b.

Phân loại các nút:

- Nút P-Q là nút mà công suất tác dụng P và công suất phản kháng Q là cố định, như nút P ở 6.1 chẳng hạn

$$V_p I_p = S_p^{SP} + jQ_p^{SP} = (P_{GP}^{SP} - P_{LP}^{SP}) + j(Q_{GP}^{SP} - Q_{LP}^{SP}) \quad (6.2)$$

Với $V_p = e_p + jf_p$

Chỉ số GP và LP ứng với công suất nguồn phát và công suất tiêu thụ ở P. S cho biết công suất cố định (hay áp đặt).

- Nút P-V tương tự là nút có công suất tác dụng P cố định và độ lớn điện áp được giữ không đổi bằng cách phát công suất phản kháng. Với nút này ta có:

$$\operatorname{Re}[V_p I_p^*] = P_p^{SP} = P_{GP}^{SP} - P_{LP}^{SP} \quad (6.3)$$

$$|V_p| = \sqrt{(e_p^2 + f_p^2)} = |V_p|^{SP} \quad (6.4)$$

- Nút V-q (nút hệ thống) rõ ràng ở nút này điện áp và góc pha là không đổi. Việc đưa ra khái niệm nút hệ thống là cần thiết vì tổn thất I^2R trong hệ thống là không xác định trước được nên không thể cố định công suất tác dụng ở tất cả các nút. Nhìn chung nút hệ thống có nguồn công suất lớn nhất. Do đó người ta đưa ra nút điều khiển điện áp nói chung là nó có công suất phát lớn nhất. Ở nút này công suất tác dụng P_s (s ký hiệu nút hệ thống) là không cố định và được tính toán cuối cùng. Vì chúng ta cũng cần một pha làm chuẩn trong hệ thống, góc pha của nút hệ thống được chọn làm chuẩn thường ở mức zero radian. Điện áp phức V cố định còn P_s và Q_s được xác định sau khi giải xong trào lưu công suất ở các nút.

6.3. CÁC PHƯƠNG PHÁP GIẢI QUYẾT TRÀO LƯU CÔNG SUẤT:

Theo lý thuyết thì có hai phương pháp tồn tại đó là phương pháp sử dụng ma trận $Y_{\text{Nút}}$ và phương pháp sử dụng ma trận $Z_{\text{Nút}}$. Về bản chất cả hai phương pháp đều sử dụng các vòng lặp. Xét về lịch sử phương pháp thì phương pháp $Y_{\text{Nút}}$ đưa ra trước vì ma trận $Y_{\text{Nút}}$ dễ tính và lập trình, thậm chí ngày nay nó vẫn sử dụng với hệ thống không lớn lắm, phương pháp này gọi là phương pháp Gauss-Seidel. Đồng thời phương pháp Newton cũng được đưa ra phương pháp này có ưu điểm hơn về mặt hội tụ. Sau khi cách loại trừ trật tự tối ưu và kỹ thuật lập trình ma trận vectơ thưa làm cho tốc độ tính toán và số lượng lưu trữ ít hơn, thì phương pháp Newton trở nên rất phổ biến. Ngày nay với hệ thống lớn tới 200 nút hay hơn nữa thì phương pháp này luôn được dùng. Phương pháp dùng ma trận $Z_{\text{Nút}}$ với các vòng lặp Gauss-Seidel cũng có tính hội tụ như phương pháp Newton nhưng ma trận $Z_{\text{Nút}}$ là ma trận đầy đủ nên cần bộ nhớ hơn để cất giữ chúng, đó là hạn chế chính của phương pháp này.

Trong chương này chúng ta chỉ giới thiệu nguyên lý của các phương pháp, còn các phương pháp đặc biệt như: Sử lý ma trận thưa, sắp xếp tối ưu phép khử, lược đồ, không được đề cập đến.

6.4. ĐỘ LỆCH VÀ TIÊU CHUẨN HỘI TỤ.

Phép giải trào lưu công suất được coi là chính xác khi thỏa mãn điều kiện từ (6.2) đến (6.4) mà chủ yếu là phải đảm bảo chính xác (6.4), hai tiêu chuẩn hội tụ phổ biến là:

- Mức độ công suất tính toán ở nút nào đó theo V_p và I_p ở bên trái đẳng thức (6.2) đến (6.4) phù hợp tương ứng với giá trị cho sẵn ở bên phải. Sự sai khác này gọi là độ lệch công suất nút.

- Độ lệch điện áp nút giữa 2 vòng lặp kế tiếp nhau.

Sau đây ta xét từng tiêu chuẩn cụ thể:

+ Tiêu chuẩn độ lệch công suất nút:

Từ (6.1) và (6.2) ta có

$$\Delta S_p = S_p^{SP} - V_p I_p^* = P_p^{SP} + jQ_p^{SP} - V_p \sum_{q=1}^n Y_{pq}^* V_q^* \quad (6.5)$$

Tách phần thực và phần ảo của (6.5) ta được độ lệch công suất tác dụng và độ lệch công suất phản kháng thích hợp cho cả (6.2) và (6.3). Biểu diễn trong tọa độ vuông góc như sau: Ta sử dụng ký hiệu sau:

$$V_p = e_p + jf_p = |V_p| \angle \theta_p$$

$$Y_{pq} = G_{pq} + jB_{pq}$$

$$\theta_{pq} = \theta_p - \theta_q$$

Với từng nút P - V hay P - Q

Dạng tọa độ vuông góc:

$$\Delta P_p = P_p^{SP} - \text{Re}[(e_p + jf_p) \sum_{q=1}^n (G_{pq} - jB_{pq})(e_q - jf_q)] \quad (6.6a)$$

Dạng tọa độ cực:

$$\Delta P_p = P_p^{SP} - |V_p| \left[\sum_{q=1}^n (G_{pq} \cos \theta_{pq} + B_{pq} \sin \theta_{pq}) |V_q| \right] \quad (6.6b)$$

Với từng nút P - Q

Dạng tọa độ vuông góc:

$$\Delta Q_p = Q_p^{SP} - \text{Im}[(e_p + jf_p) \sum_{q=1}^n (G_{pq} - jB_{pq})(e_q - jf_q)] \quad (6.7a)$$

Dạng tọa độ cực:

$$\Delta Q_p = Q_p^{SP} - |V_p| \left[\sum_{q=1}^n (G_{pq} \sin \theta_{pq} - B_{pq} \cos \theta_{pq}) |V_q| \right] \quad (6.7b)$$

Tiêu chuẩn hội tụ chung nhất được dùng trong thực tế là:

$$\Delta P_p \leq C_p \text{ cho tất cả nút P - V và P - Q}$$

$$\Delta Q_p \leq C_q \text{ cho tất cả nút P - Q}$$

Giá trị C_p và C_q được chọn từ 0,01 - 10 MVA hay MVAR tùy theo trường hợp.

+ Tiêu chuẩn độ lệch điện áp:

Gọi số bước lặp là k, độ lệch điện áp giữa hai vòng lặp k và k + 1 là:

$$|\Delta V_p| = |V^{(k+1)} - V^{(k)}| \text{ cho tất cả các nút P - Q}$$

Tiêu chuẩn hội tụ là:

$$\Delta V_p \leq C_v \text{ cho tất cả các nút P - Q}$$

Giá trị C_v từ 0,01 đến 0,0001

6.5. PHƯƠNG PHÁP GAUSS - SEIDEL SỬ DỤNG MA TRẬN $Y_{\text{NÚT}}$:

Để dễ hiểu phương pháp này ta giả thiết tất cả các nút là nút P-Q trừ nút hệ thống V - q. Vì điện áp của nút hệ thống hoàn toàn đã biết nên không có vòng lặp nào tính cho nút này. Ta chọn nút hệ thống là nút cân bằng. Do đó V_q ($q \neq s$) coi là áp của nút q so với nút s (kí hiệu nút s là nút hệ thống). Với tất cả các nút, trừ nút thứ s là nút hệ thống ta rút ra được từ (6.1) và (6.2):

$$I_p = \frac{S_p^*}{V_p^*} = \sum_{q=1}^n Y_{pq} V_q \quad p=1,2,\dots,n; p \neq s \quad (6.8)$$

Tách Y_{pq} , V_p trong Σ ra rồi chuyển về ta được:

$$V_p = \frac{1}{Y_{pp}} \left(\frac{S_p^*}{V_p^*} - \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^n Y_{pq} V_q \right) \quad p=1,2,\dots,n; p \neq s \quad (6.9)$$

Các vòng lặp của phương trình Gauss - Seidel được thành lập như sau:

$$\begin{aligned} V_1^{(k+1)} &= \frac{1}{Y_{11}} \left[\frac{P_1 - jQ_1}{V_1^{(k)*}} - Y_{12} V_2^{(k)} - Y_{13} V_3^{(k)} \dots - Y_{1s} V_s^{(k)} \dots - Y_{1n} V_n^{(k)} \right] \\ V_2^{(k+1)} &= \frac{1}{Y_{22}} \left[\frac{P_2 - jQ_2}{V_2^{(k)*}} - Y_{21} V_1^{(k+1)} \dots - Y_{2s} V_s^{(k)} \dots - Y_{2n} V_n^{(k)} \right] \\ V_p^{(k+1)} &= \frac{1}{Y_{pp}} \left[\frac{P_p - jQ_p}{V_p^{(k)*}} - Y_{p1} V_1^{(k+1)} \dots - Y_{pp-1} V_{p-1}^{(k)} - Y_{pp+1} V_{p+1}^{(k)} \dots - Y_{ps} V_s^{(k)} \dots - Y_{pn} V_n^{(k)} \right] \\ V_n^{(k+1)} &= \frac{1}{Y_{nn}} \left[\frac{P_n - jQ_n}{V_n^{(k)*}} - Y_{n1} V_1^{(k+1)} \dots - Y_{ns} V_s^{(k)} \dots - Y_{nn-1} V_{n-1}^{(k+1)} \right] \end{aligned} \quad (6.10)$$

Hay viết dưới dạng tổng quát là:

$$V_p^{(k+1)} = \left[\left(- \sum_{q=1}^{p-1} Y_{pq} V_q^{(k+1)} - \sum_{q=p}^n Y_{pq} V_q^{(k)} \right) + \frac{S_p^*}{V_p^{(k)*}} \right] \cdot \frac{1}{Y_{pp}}$$

Ma trận $Y_{\text{Nút}}$ là ma trận thu được khi ta xóa đi hàng s và cột s ở ma trận $Y_{\text{Nút}}$. Và $V_{\text{Nút}}$, $I_{\text{Nút}}$ cũng có được bằng cách xóa đi phần tử s. Ta viết lại ma trận $Y_{\text{Nút}}$ bằng cách gồm các phần tử đường chéo, ma trận gồm các phần tử tam giác dưới đường chéo, ma trận gồm các phần tử tam giác trên đường chéo.

$$Y_{\text{Nút}} = D - L - W \quad (6.11)$$

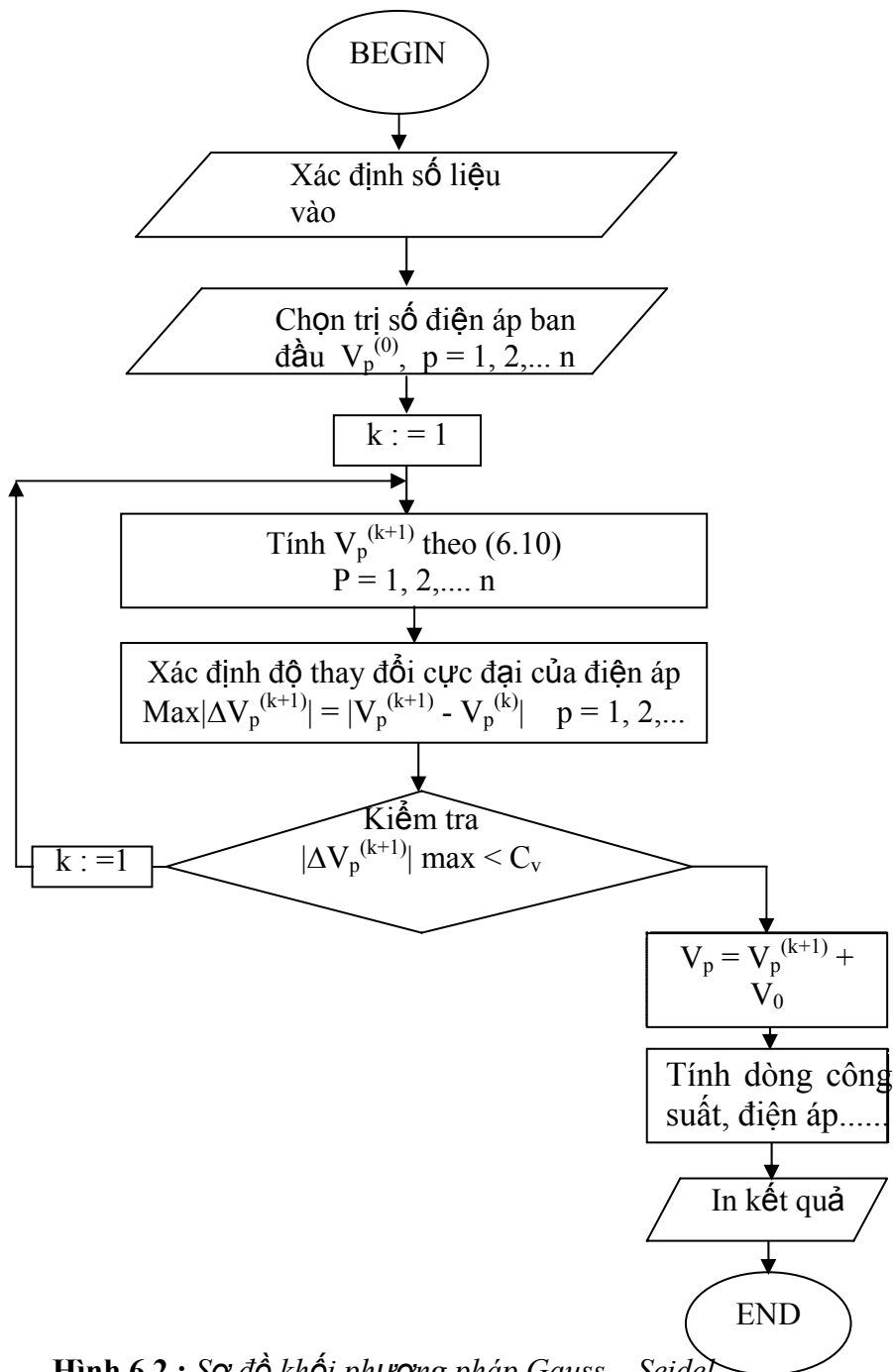
Với:

$$\underline{D} = \begin{bmatrix} X & & \\ & X & \\ \underline{O} & & X \end{bmatrix} \quad \underline{W} = \begin{bmatrix} O & & \\ & O & \\ \underline{O} & & O \end{bmatrix} \quad \underline{L} = \begin{bmatrix} O & & \\ & O & \\ \underline{X} & & O \end{bmatrix}$$

Vậy các vòng lặp được viết gọn lại như sau:

$$V_{nút}^{(k+1)} = D^{-1} [L.V_{nút}^{(k+1)} + W.V_{nút}^{(k)} + Y_{Nút}(V_{nút}^{(k)} \cdot V_S)]$$

$$\text{Với: } Y_{Nút}(V_{nút}^{(k)}, V_S) = \begin{bmatrix} \frac{P_1 - jQ_1}{V_1^{(k)*}} - Y_{1S}V_S \\ \frac{P_p - jQ_p}{V_p^{(k)*}} - Y_{ps}V_S \\ \frac{P_n - jQ_n}{V_n^{(k)*}} - Y_{ns}V_S \end{bmatrix} \quad (6.12)$$



Hình 6.2 : Sơ đồ khối phương pháp Gauss _ Seidel

Kiểm tra hội tụ như sau:

$$\text{Max} |V_p^{(k+1)} - V_p^{(k)}| < C_v \quad (6.13)$$

Thông thường tại bước đầu tiên ta lấy trị số ban đầu $V_p^{(0)}$ bằng điện áp định mức của mạng điện và chỉ gồm phần thực. Như vậy thuật toán lặp Gauss - Seidel đối với (6.10) được mô tả như hình 6.2.

- + Xác định Y_{pq}, Y_{qp} , với $p = 1 \dots n$; $q = 1 \dots n$
- + Chọn giá trị ban đầu tại các nút: $V_p^{(0)}$ ($p = 1 \dots n$). Thường lấy $V_p^{(0)} = U_{dm}$.
- + Tính giá trị ở bước 1 theo (6.10). Quá trình tính theo vòng tròn, nghĩa là giá trị điện áp tại nút p ở bước $k+1$ được tính qua giá trị điện áp tại bước $k+1$ của tất cả các nút còn lại $p - 1, p - 2, \dots, 1$ và điện áp tại bước k của các nút $p + 1, p + 2, \dots, n$.
- + Tính lặp với k tăng dần
- + Kiểm tra điều kiện dừng. $\text{Max} |\Delta V_p^{(k+1)}| < C_v$. Nếu sai thì trở về bước 3, nếu đúng thì tiếp tục tính toán các đại lượng khác như công suất trên đường dây, điện áp, ... và dừng.

Lý thuyết chứng minh rằng phương pháp Gauss - Seidel hội tụ khi modul trị riêng lớn nhất của $Y_{Nút}$ nhỏ hơn 1.

Ưu điểm chính của phương pháp Gauss - Seidel là đơn giản, dễ lập trình, tốn bộ nhớ (do ma trận $Y_{Nút}$ dễ thành lập) và khối lượng tính toán tại mỗi bước lặp cũng ít.

Nhược điểm của phương pháp là tốc độ hội tụ chậm, do đó cần có phương pháp nâng cao tốc độ hội tụ. Điều này được xét đến trong phần sau.

6.5.1. Tính toán nút P-V:

Ở nút P-V sự tính toán có khác vì công suất phản kháng Q chưa biết nhưng độ lớn điện áp được giữ ở V_p^{sp} . Mặt khác thiết bị chỉ phát giới hạn công suất phản kháng trong khoảng từ Q_p^{\min} đến Q_p^{\max} ở nút P-V công suất Q_p^{sp} được thay bằng Q_p^{cal} .

Với: $Q_p^{cal} = \text{Im}(V_p \cdot I_p^*)$

$$\begin{aligned} &= \text{Im}(V_p \sum_{q=1}^n Y_{pq} V_q^*) \\ &= \text{Im} \left[(e_p + jf_p) \sum_{q=1}^n (G_{pq} - jB_{pq})(e_q - jf_q) \right] \\ &= -e_p^2 B_{pp} - f_p^2 B_{pp} - \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^n e_p (e_q B_{pq} + f_q B_{pq}) + \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^n f_p (e_q B_{pq} - f_q B_{pq}) \end{aligned} \quad (6.14)$$

Phía bên phải (6.14) là giá trị mới nhất của điện áp tính toán và tính được Q_p^{cal} thay vào (6.10) ta tính được giá trị mới của điện áp $V_p^{(k+1)}$. Vì điện áp ở nút này có độ lớn không đổi $|V_p|^{sp}$ nên phần thực và ảo của $V_p^{(k+1)}$ phải được điều chỉnh để thỏa mãn điều kiện này trong khi giữ góc pha như sau:

$$\delta_p^{(k+1)} = \tan^{-1} \frac{f_p^{(k+1)}}{e_p^{(k+1)}} \quad (6.15)$$

$$V_{p(m\ddot{a}i)}^{(k+1)} = |V_p^{sp}| \cos \delta_p^{(k+1)} + j |V_p^{sp}| \sin \delta_p^{(k+1)} = e_{p(m\ddot{a}i)}^{(k+1)} + j f_{p(m\ddot{a}i)}^{(k+1)} \quad (6.16)$$

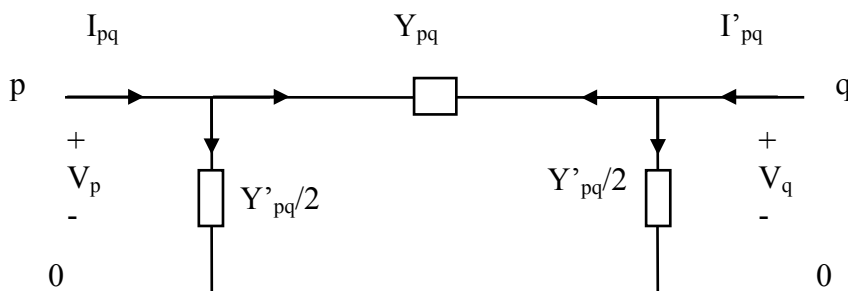
Các giá trị này được dùng cho các tính toán tiếp theo. So sánh công suất phản kháng tính được và giới hạn của nó.

Nếu $Q_p^{cal} > Q_p^{max}$ đặt $Q_p^{cal} = Q_p^{max}$, nếu $Q_p^{cal} < Q_p^{min}$ đặt $Q_p^{cal} = Q_p^{min}$

Tính như tính với nút P - Q và không điều chỉnh điện áp. Nếu trong tính toán tiếp theo Q_p^{cal} giảm xuống trong phạm vi giới hạn thì tính toán như nút P - V

6.5.2. Tính toán dòng chạy trên đường dây và công suất nút hệ thống:

Sau khi các phép tính về vòng lặp hội tụ. Dòng chạy trên đường dây và công suất nút hệ thống được tính như sau:



Hình 6.3 : Sơ đồ π của đường dây truyền tải

Xét đường dây nối từ nút p đến nút q có tổng dẫn nối tiếp và Y_{pq} và tổng dẫn rò là Y'_{pq} , dòng điện đường dây được xác định:

$$I_{pq} = (V_p - V_q)Y_{pq} + V_p Y'_{pq} / 2$$

Dòng công suất chảy từ p đến q là:

$$P_{pq} + jQ_{pq} = V_p [(V_p - V_q)^* Y_{pq} + V_p^* Y'_{pq} / 2] \quad (6.17)$$

Dòng công suất chảy từ q đến p là:

$$P_{qp} + jQ_{qp} = V_q [(V_q - V_p)^* Y_{pq} + V_q^* Y'_{pq} / 2] \quad (6.18)$$

Tổng thất công suất đường dây sẽ bằng tổng đại số của $P_{pq} + jQ_{pq}$ và $P_{qp} + jQ_{qp}$

Công suất nút hệ thống được tính bằng tổng các dòng công suất chảy trên các đường dây có đầu nối với nút hệ thống:

6.5.3. Tăng tốc độ hội tụ:

Phương pháp sử dụng vòng lặp $Y_{Nút}$ hội tụ chậm bởi vì trong hệ thống lớn mỗi nút thường có dây nối đến 3 hay 4 nút khác. Kết quả là làm cho tiến trình lặp yếu đi việc cải thiện điện áp ở một nút sẽ ảnh hưởng đến các nút nối trực tiếp vào nó. Vì vậy kỹ thuật tăng tốc được sử dụng để nâng cao tốc độ hội tụ.

Phương pháp phổ biến nhất là SOR (Successive - over - relaxation) phương pháp giảm dư quá hạn liên tiếp.

Nội dung phương pháp là cứ sau mỗi vòng lặp thì sẽ hiệu chỉnh điện áp trên các nút P - Q bằng cách sau:

$$\Delta V_p^{(k+1)} = \alpha (V_{p(tên)}^{(k+1)} - V_p^{(k)}) \quad (6.19)$$

Và $V_p^{(k+1)}$ là:

$$V_p^{(k+1)} = V_p^{(k)} + \Delta V_p^{(k+1)} \quad (6.20)$$

Hệ số α gọi là hệ số tăng tốc được xác định theo kinh nghiệm ở giữa 1 và 2, thường $(1 < \alpha < 2)$.

Nếu a chọn hợp lý thì tốc độ hội tụ tăng mạnh, nhìn chung giá trị thực của a là từ 1,4 đến 1,6. Nếu a là số phức thì phần thực và phần ảo của điện áp được tăng tốc riêng biệt:

$$\Delta V_p^{(k+1)} = \alpha \operatorname{Re}[V_{p(\text{tên})}^{(k+1)} - V_p^{(k)}] + j\beta \operatorname{Im}[V_{p(\text{tên})}^{(k+1)} - V_p^{(k)}] \quad (2.21)$$

$$\text{Và } V_p^{(k+1)} = V_p^{(k)} + \Delta V_p^{(k+1)} \quad (6.22)$$

Với a và b đều là số thực:

6.5.4. Ưu và nhược điểm của phương pháp dùng $Y_{\text{Nút}}$:

Ma trận $Y_{\text{Nút}}$ khá dễ thành lập và phương pháp giải là trực tiếp nên lập trình trở nên đơn giản. Bộ nhớ được dùng để lưu trữ các phần tử khác không nằm trên đường chéo chính. Sau khi sử dụng tính đối xứng của $Y_{\text{Nút}}$ thì việc tính toán và lưu trữ cũng gọn hơn. Vì trong hệ thống mỗi nút nối đến 3 hay 4 nút khác nên mỗi vòng lặp cho từng nút sẽ dùng đến sự lưu trữ các nút này, do đó phép tính sẽ tăng lên rất nhiều. Số phép tính trong mỗi bước lặp tỉ lệ với số nút n , nếu số nút là n thì số phép tính là n^2 . Với hệ thống có 200 nút hay hơn nữa phương pháp này tỏ ra kém hiệu quả và rất khó hội tụ nếu có ảnh hưởng của điều kiện nào đó chẳng hạn có mặt của tụ nối tiếp (tụ bù dọc) so với phương pháp Newton.

6.6. PHƯƠNG PHÁP SỬ DỤNG MA TRẬN $Z_{\text{NÚT}}$:

Để giải thích về phương pháp này đầu tiên ta giả thiết không có nút P-V các nút đều là P - Q (gồm n nút) và một nút cân bằng (chọn nút cân bằng là nút hệ thống). Trường hợp có tồn tại nút P - V sẽ xét ở phần 6.6.3:

Giả thiết các thông số của mạng tuyến tính khi đó có thể xem nguồn dòng ở nút thứ p là J_p là tổ hợp tuyến tính của dòng điện gây ra bởi điện áp V_p và điện áp ở các nút khác V_q ($q = 1 \dots n, q \neq p$). Đây là nguyên lý xếp chồng của mạng điện.

$$Y_{\text{Nút}} \cdot V_{\text{Nút}} = I_{\text{Nút}}$$

$Y_{\text{Nút}}, V_{\text{Nút}}, I_{\text{Nút}}$ có ý nghĩa như (6.1)

Nhiệm vụ của chúng ta là tìm $V_{\text{Nút}}$. Để tìm $V_{\text{Nút}}$ có thể dùng phương pháp khử liên tiếp hay phương pháp Crame nhưng các phương pháp này rất cồng kềnh khi n lớn. Ở đây ta đề cập đến phương pháp ma trận.

Do $Y_{\text{Nút}}$ là ma trận vuông, đối xứng và không suy biến nên ta có:

$$V_{\text{Nút}} = Y_{\text{Nút}}^{-1} \cdot I_{\text{Nút}}$$

$Y_{\text{Nút}}^{-1} = Z_{\text{Nút}}$: Gọi là ma trận tổng trở nút của mạng điện. Do đó ta có thể viết:

$$V_{\text{Nút}} = Z_{\text{Nút}} \cdot I_{\text{Nút}}$$

$Z_{\text{Nút}}$ có thể xác định theo ba cách sau:

+ Xác định từ $Y_{\text{Nút}}^{-1}$: Phương pháp này có thể dùng được khi n bé bằng cách dùng ma trận phần phụ đại số của $Y_{\text{Nút}}$. Khi n lớn có thể dùng thuật toán lặp, công thức của thuật toán lặp xác định ma trận nghịch đảo tại bước thứ k là:

$$Y_{\text{Nút}}^{-1}[k] = Y_{\text{Nút}}^{-1}[k-1] + Y_{\text{Nút}}^{-1}[k-1](I - Y_{\text{Nút}} Y_{\text{Nút}}^{-1}[k-1])$$

Với $Y_{\text{Nút}}^{-1}[k-1]$: Là ma trận nghịch đảo gần đúng của $Y_{\text{Nút}}^{-1}[k-1]$ và I là ma trận đơn vị. Có thể lấy $Y_{\text{Nút}}^{-1}[0]$ là ma trận đường chéo suy ra từ $Y_{\text{Nút}}$ bằng cách giữ lại các phần tử trên đường chéo chính. Quá trình lặp dừng lại khi $Y_{\text{Nút}}^{-1}[k] \cdot Y_{\text{Nút}} \approx I$.

+ Xác định từ sơ đồ mạng:

Vì $Z_{\text{Nút}}$ cũng có ý nghĩa vật lý như $Y_{\text{Nút}}$ do đó ta cũng có thể thiết lập từ sơ đồ:

Z_{pp} : Là tổng dẫn đầu vào nhìn từ nút i đến nút cân bằng khi ở mọi nút k có $I_k = 0$, $k \neq p$.

Z_{pq} , $p \neq q$ là tổng trở tương hỗ giữa nút p và nút q .

+ Khi có sự trợ giúp của máy tính điện tử thì $Z_{Nút}$ được xác định theo phương pháp mở rộng dần sơ đồ như sau:

Chọn vài phần tử của mạng để dễ lập $Z_{Nút}$ theo cách 2 ở trên. Sau đó mở rộng dần sơ đồ cho đến khi đủ n nút:

Phương pháp này thường được sử dụng khi giải tích mạng có cấu trúc thay đổi và bài toán được chương trình hóa.

Qua đây ta thấy việc xác định $Z_{Nút}$ từ sơ đồ khó hơn so với việc xác định $Y_{Nút}$ từ sơ đồ. Bây giờ ta xét từng phương pháp lập cụ thể sau khi đã xác định được $Z_{Nút}$.

6.6.1. Phương pháp thừa số zero:

Xét ma trận $Y_{Nút}$ ta bỏ đi hàng, cột ứng với nút hệ thống ta có ma trận $Y_{Nút}$ từ (6.12) bỏ đi các ký hiệu vòng lặp ta được:

$$Y_{Nút} \cdot V_{Nút} = g(I_{Nút}, V_s)$$

Lấy nghịch đảo $Y_{Nút}$ ta có:

$$Y_{Nút}^{-1} = Z_{Nút}$$

$$V_{Nút}^{(k+1)} = Z_{Nút} g(I_{Nút}^{(k)}, V_s)$$

Các vòng lặp theo phương pháp Gauss - Seidel:

$$V_{Nút}^{(k+1)} = Z_{Nút} I_{Nút}^{(k)}$$

Viết rộng ra các vòng lặp là:

$$\begin{bmatrix} V_1^{(k+1)} \\ \vdots \\ V_n^{(k+1)} \end{bmatrix} = Z_{Nút} \begin{bmatrix} \frac{P_1 - jQ_1}{V_1^{(k)}} - Y_{1s} V_s \\ \vdots \\ \frac{P_n - jQ_n}{V_n^{(k)}} - Y_{ns} V_s \end{bmatrix} \quad (6.26)$$

Ma trận $Z_{Nút}$ có được khi nghịch đảo $Y_{Nút}$ bằng tiến trình phần tử hóa ba góc.

Theo phương pháp cũ $V_p^{(k)}$ ($p = 1, 2 \dots n$, $p \neq s$) ở phía bên phải (6.26) được thay bằng $V_p^{(k+1)}$ và phải giải phương trình bậc 2 điều này sẽ gặp khó khăn nếu căn bậc 2 của Δ là số âm. Chúng ta sẽ xây dựng thuật toán tính lặp với ma trận $Z_{Nút}$ có sẵn.

Quá trình tính lặp dừng lại khi $\text{Max}|V_p^{(k+1)} - V_p^{(k)}| < C_v$

6.6.2. Phương pháp sử dụng ma trận $Z_{Nút}$:

Để tiện lợi ta đưa phương trình nút hệ thống vào ma trận $V_{Nút} = Z_{Nút} \cdot I_{Nút}$ và sắp xếp lại như sau:

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ \vdots \\ \dots \\ V_n \\ V_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & \vdots & \\ Z_a & \vdots & Z_b \\ \dots & \dots & \dots \\ Z_b^T & \vdots & Z_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ I_n \\ I_s \end{bmatrix} \quad (6.27)$$

Vì V_s biết trước nên ta tìm I_s từ $(n-1)$ phương trình đầu như sau: Rút từ (6.27) và chuyển về nghịch đảo Z_d ta có:

$$I_s = -Z_d^{-1} Z_b^T I_{Nút} + Z_d^{-1} V_s \quad (6.28)$$

Với: $I_{Nút}^T = (I_1, I_2, \dots, I_s, I_{s+1}, \dots, I_n)$

Thế vào phần còn lại của (6.27) ta được:

$$\begin{aligned} V_{Nút} &= (Z_a - Z_b Z_d^{-1} Z_b^T) I_{Nút} + Z_b Z_d^{-1} V_s \\ &= Z_{Nút} I_{Nút} + b V_s \end{aligned} \quad (6.29)$$

Với: $b = Z_b Z_d^{-1}$ và $Z_{Nút} = (Z_a - Z_b Z_d^{-1} Z_b^T)$

Chú ý rằng $Z_{Nút} \neq \bar{Z}_{Nút}$

Từ 6.29 ta thành lập các vòng lặp Gauss - Seidel như sau:

$$V_p^{(k+1)} = \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq s}}^{p-1} \bar{Z}_{pq} \left(\frac{S_q^*}{V_q^{*(k+1)}} \right) + \sum_{\substack{q=p \\ q \neq s}}^n \bar{Z}_{pq} \left(\frac{S_q^*}{V_q^{*(k)}} \right) + b_p V_s \quad p=1, 2, \dots, n; p \neq s \quad (6.30)$$

Quá trình lặp dừng lại khi:

$$\text{Max} |V_p^{(k+1)} - V_p^{(k)}| < C_v \quad p=1, 2, \dots, n.$$

Ta thấy phương pháp này hội tụ nhanh hơn phương pháp thừa số Zero vì ngay tại bước lặp k+1 các nút p được điều chỉnh bằng điện áp tại các nút p-1, p-2, ..., 1 tại bước k+1 này.

6.6.3. Phương pháp sử dụng ma trận Z với nút hệ thống làm chuẩn:

Trong phương pháp này, tất cả tổng trở mạch rẽ được bỏ đi và ảnh hưởng của nó được thay thế bằng dòng bơm thích hợp và nhánh nối đất hở mạch.

Vì điện áp nút hệ thống đã biết nên tất cả (n - 1) nút còn lại với nút nối đất làm chuẩn, điện áp được tính như sau:

$$V_{Nút} = Z_{BS} \cdot I_{Nút} + h V_s \quad (6.31)$$

Với $h^T = (1, \dots, 1)$

Để thể hiện tổng dẫn mạch rẽ tại nút p là Y_p , ta bơm vào mạng dòng âm nên dòng điện bơm vào mạng thực tế là:

$$I_p = \frac{S_p^*}{V_p^*} - Y_p V_p \quad (6.32)$$

Biết I_p thành lập vòng lặp Gauss - Seidel tính V_p rút từ (6.31) như sau:

$$V_p^{(k+1)} = \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq s}}^{p-1} \bar{Z}_{pq} I_q^{(k+1)} + \sum_{\substack{q=p \\ q \neq s}}^n \bar{Z}_{pq} I_q^{(k)} + V_s \quad p=1, 2, \dots, n; p \neq s \quad (6.33)$$

$$\text{Với} \quad I_q = \frac{S_q^*}{V_q^*} - Y_q V_q$$

6.6.4. Phương pháp tính luôn cả nút điều khiển áp:

Nếu đưa luôn các nút điều khiển áp vào tiến trình tính toán thì làm tương tự như phương pháp ma trận $Y_{Nút}$. Trong tính toán dòng điện nút ta thay Q_p^{cal} bằng Q_p^{sp} (giá trị phỏng đoán). Điện áp của nút được ước chừng nhờ sử dụng giá trị Q ở trên, phần thực và phần ảo của nó được điều chỉnh thỏa mãn độ lớn điện áp và giữ cho góc pha không đổi. Sử dụng giá trị giới hạn của Q để chuyển từ nút P-V sang nút P-Q hay ngược lại khi vượt quá giới hạn.

6.6.5. Hội tụ và hiệu quả tính toán:

Nếu tất cả các nút đều là nút P-Q thì có thể tính toán ma trận $Z_{\text{Nút}}$ một cách trực tiếp là suông sẻ, vì dòng điện của mỗi nút đều ảnh hưởng đến tất cả các nút khác thông qua ma trận $Z_{\text{Nút}}$ gần như đầy đủ hội tụ nhanh vào 8 đến 20 vòng lặp so với một số lớn vòng lặp theo phương pháp vòng lặp $Y_{\text{Nút}}$.

Trở ngại lớn nhất của phương pháp là cần phải cất giữ ma trận $Z_{\text{Nút}}$ đầy đủ, thậm chí khi đã sử dụng tính đối xứng của nó cũng cần hơn n^2 biến (gồm cả phần thực và phần ảo của ma trận $Z_{\text{Nút}}$) được cất giữ. Vì vậy cách giải bị hạn chế sử dụng. Khi sử dụng bộ nhớ phụ như đĩa hay băng từ thì thời gian tính toán lại gia tăng, trong trường hợp đó phương pháp ma trận $Z_{\text{Nút}}$ ít hiệu dụng. Phương pháp này chủ yếu dùng cho các bài toán về tối ưu hóa việc truyền công suất khi có trợ giúp của nhiều máy tính. Sử dụng nó trực tiếp trong phần điều độ công suất tối ưu.

6.7. PHƯƠNG PHÁP NEWTON:

Phương pháp này sử dụng phương pháp nổi tiếng của Newton - Raphson để giải phương trình phi tuyến một biến:

Nhắc lại tinh thần chủ yếu của phương pháp newton như sau :

Nếu $f(x) = 0$ là phương trình phi tuyến thì khai triển $f(x)$ theo giá trị đầu $x^{(0)}$ như sau:

$$f(x^{(0)}) + (x - x^{(0)}) f'(x^{(0)}) + \frac{(x - x^{(0)})^2}{2} f''(x^{(0)}) + \dots = 0 \quad (6.34)$$

Bỏ qua số hạng bậc cao chỉ giữ lại phần tuyến tính ta có:

$$f(x^{(0)}) + (x - x^{(0)}) f'(x^{(0)}) = 0 \quad (6.35)$$

Giải (6.35) bằng phương pháp lặp như sau:

$$\text{Thay } x = x^{(1)} \text{ ta được: } x^{(1)} = x^{(0)} - \frac{f(x^{(0)})}{f'(x^{(0)})} \quad (6.36)$$

Tiếp tục khai triển tại $x^{(1)}$ rồi tính $x^{(1)}$ cứ như thế $x^{(k+1)}$

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} - \frac{f(x^{(k)})}{f'(x^{(k)})} \quad (6.37)$$

Đây là công thức lặp Newton. Khi mở rộng công thức (6.37) cho hàm nhiều biến thì ta có phương pháp Newton - Raphson. Phương pháp này mới là phương pháp ma trận được ứng dụng trong giải tích mạng. Với trường hợp giả thiết có n phương trình phi tuyến n biến, ta có phương trình như sau:

$$F(x) = 0; \quad f_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6.38)$$

$$\text{Vậy: } x^{(k+1)} = x^{(k)} - [F'(x^{(k)})]^{-1} \cdot F(x^{(k)}) \quad (6.39)$$

Trong đó $F'(x)$ là ma trận Jacobien của $F(x)$:

$$F'(x) = \left[\frac{\partial f_i}{\partial x_j} \right] = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & & & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n}{\partial x_2} & \dots & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad (6.40)$$

Các vòng lặp của (6.39) được chia ra làm hai phần: Phần hiệu chỉnh và phần gồm khối các phương trình tuyến tính.

Đặt $J^{(k)} = F'(X^{(k)})$ thì phương trình (6.39) tương đương với hệ sau:

$$-F(X^{(k)}) = -J^{(k)}\Delta X^{(k)} \quad (6.41a)$$

$$-X^{(k+1)} = X^{(k)} + \Delta X^{(k)} \quad (6.41b)$$

Phương pháp Newton có đặc tính hội tụ bậc 2 và diện mạo hội tụ không giống các phương pháp khác. Trờ ngại của nó là phỏng đoán ban đầu phải gần với lời giải đề cho phương pháp hội tụ. Với hệ thống điện, điều này không nghiêm trọng lắm vì ta kinh nghiệm có thể đưa ra phỏng đoán tốt.

6.7.1. Giải quyết trào lưu công suất:

Xét phương trình hệ thống (6.1) dưới dạng mở rộng:

$$I_p = \sum_{q=1}^n Y_{pq} V_q \quad p = 1, 2, \dots, n \quad (6.42)$$

Liên hợp hóa và nhân (6.42) với V_p ta có:

$$V_p I_p^* = S_p = V_p \sum_{q=1}^n Y_{pq}^* V_q^* \quad (6.43)$$

Tách phần thực và phần ảo ra:

$$P_p = \operatorname{Re} \left[V_p \sum_{q=1}^n Y_{pq}^* V_q^* \right] \quad p = 1, 2, \dots, n \quad (6.44)$$

$$Q_p = \operatorname{Im} \left[V_p \sum_{q=1}^n Y_{pq}^* V_q^* \right] \quad p = 1, 2, \dots, n \quad (6.45)$$

6.7.2. Phương pháp độ lệch công suất ở trong tọa độ cực:

Phương pháp Newton sử dụng độ lệch công suất trong tọa độ cực được sử dụng rộng rãi trong tính toán trào lưu công suất phương pháp tọa độ vuông góc kém hiệu quả nên không xét ở đây, trong phần này ta kí hiệu:

$$V_p = |V_p| \angle(\theta_p)$$

$$q_{pq} = q_p - q_q$$

$$Y_{pq} = G_{pq} + jB_{pq}$$

Do đó (6.44) và (6.45) biểu diễn trong tọa độ cực như sau:

$$P_p - |V_p| \sum_{q=1}^n [(G_{pq} \cos \theta_{pq} + B_{pq} \sin \theta_{pq}) |V_q|] = 0 \quad (6.46)$$

$$Q_p - |V_p| \sum_{q=1}^n [(G_{pq} \sin \theta_{pq} - B_{pq} \cos \theta_{pq}) |V_q|] = 0 \quad p = 1, 2, \dots, n \quad (6.47)$$

Giả thiết n là tổng số nút của mạng điện, nút thứ $n+1$ là nút cân bằng, số nút P-Q là n_1 , P-V là n_2 và 1 nút hệ thống vì vậy $n = n_1 + n_2 + 1$.

Nhiệm vụ của chúng ta là tìm độ lớn điện áp chưa biết $|V|$ (n_1 số) đối với nút P-Q và góc pha chưa biết ($n_1 + n_2$ số) ở cả nút P-V và P-Q. Coi X là vector biến (gồm cả ẩn $|V|$ và q), và vector Y là vector các biến đã biết [thì X gồm $2(n_1 + n_2)$ phần tử và Y gồm $2n_1 + 2n_2 + 2$ phần tử].

$$X = \begin{bmatrix} |V| & \text{ở nút } i \\ \theta & \text{ở nút } i \end{bmatrix} \quad ; \quad Y = \begin{bmatrix} V_s \\ \theta_s \\ P_p^{sp} \\ Q_p^{sp} \\ P_p^{sp} \\ |V|^{sp} \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} \text{ở nút } s \\ \text{ở nút } i \\ \text{ở nút } P-Q \\ \text{ở nút } P-V \end{matrix}$$

Từ hệ phương trình (6.46) và (6.47) ta chọn số phương trình bằng số biến của X từ đó đưa dạng phương trình trào lưu công suất phi tuyến $F(X,Y) = 0$ về dạng $F(X) = 0$ bằng cách khử đi các biến đã biết của Y.

Chúng ta có dạng $F(x)$ như sau:

$$F(X) = \begin{bmatrix} 2.46 & \text{Chờ ở nút } P-Q \text{ và } P-V \text{ với } P_p = P_p^{sp} \\ 2.47 & \text{chờ ở nút } P-Q \text{ với } Q_p = Q_p^{sp} \end{bmatrix} = 0 \quad (6.48)$$

Cuối cùng ta có $2n_1 + 1n_2$ phương trình vừa bằng số biến của X.

Các phương trình này viết lại dưới dạng ma trận:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = 0 \quad (6.49)$$

$$\text{Với } \Delta P_p = P_p^{sp} - |V_p| \left(\sum_{q=1}^n (G_{pq} \cos \theta_{pq} + B_{pq} \sin \theta_{pq}) |V_q| \right) \quad (6.50a)$$

$$\Delta Q_p = Q_p^{sp} - |V_p| \left(\sum_{q=1}^n (G_{pq} \sin \theta_{pq} - B_{pq} \cos \theta_{pq}) |V_q| \right) \quad (6.50b)$$

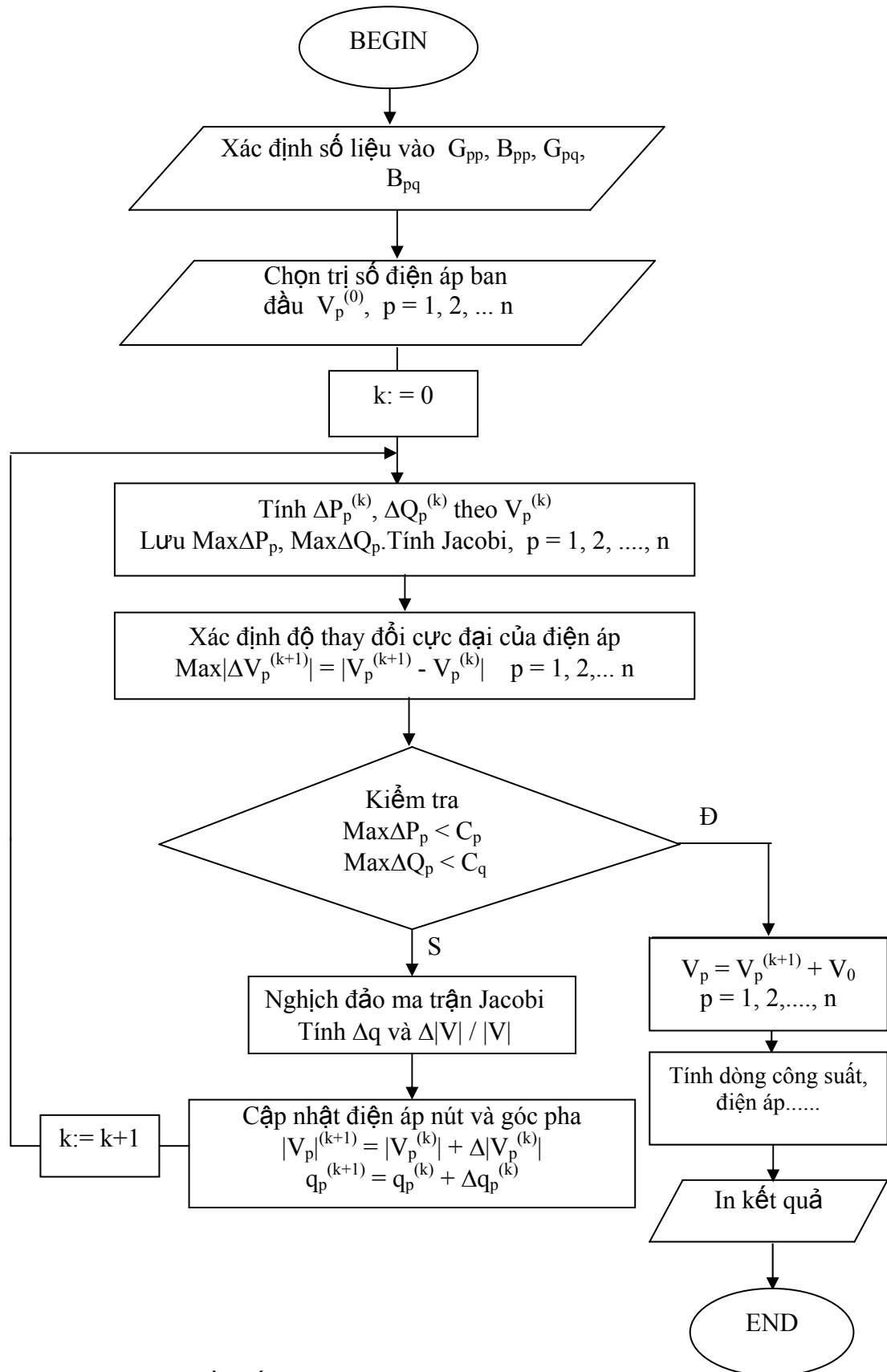
$p = 1, 2, \dots, n; p \neq s, p \neq \text{nút } P-V$

Viết dưới dạng công thức Newton phương trình (6.41a)

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix}_{(k)} = \begin{bmatrix} H & N \\ M & L \end{bmatrix}_{(k)} \times \begin{bmatrix} \frac{\Delta \theta}{|V|} \\ \frac{\Delta |V|}{|V|} \end{bmatrix}_{(k)} \quad (6.51)$$

Δq là vectơ con gia số của góc pha tại các nút P-Q và P-V.

Sơ đồ khối thuật toán Newton - Raphson trong tọa độ cực được trình bày trong hình dưới đây.



Hình 6.4 : Sơ đồ khối thuật toán Newton - Raphson trong tọa độ cực