

## PHÁT TRIỂN PHẦN MỀM MÔ PHỎNG HỆ THỐNG ĐIỆN SMART\_SIMULATOR

Trình Phương Thao<sup>1</sup>, Phạm Viết Tiệp<sup>1</sup>, Quách Tuấn Anh<sup>2</sup>, Nguyễn Văn Thịnh<sup>2</sup>,  
Nguyễn Hữu Thịnh<sup>3</sup>, Vũ Văn Thuấn<sup>3</sup>, Quách Tiến Dũng<sup>4</sup>, Trần Trí Dũng<sup>5</sup>, Nguyễn Văn Sơn<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Ban Kỹ thuật EVN-NPC, <sup>2</sup>Ban Kỹ thuật EVN-HPC, <sup>3</sup>Công ty cao thế 110 kV EVN-SPC,  
<sup>4</sup>EVN-NLDC, <sup>5</sup>Kỹ sư tư vấn độc lập

### 1. GIỚI THIỆU & TÓM TẮT

Smart\_Simulator (gọi tắt S\_S) là phần mềm mô phỏng, phân tích, đánh giá chế độ xác lập (CĐXL) hệ thống điện. “Smart\_Simulator” kết hợp thuật toán Gauss-Seidel với thuật toán Newton-Rapson. Quá trình kết hợp này được khởi động bằng thuật toán Gauss-Seidel với một số bước lặp nhất định, nhằm tìm kiếm tập nghiệm ban đầu  $V_i^{(0)}; \delta_i^{(0)}$  tốt nhất cho thuật toán Newton-Rapson, mô phỏng tự động chuyển tiếp qua thuật toán Newton-Rapson. Kết quả là quá trình mô phỏng được tăng tốc, đảm bảo mô phỏng thành công, vì thế gọi là “Smart\_Simulator”. Hiện tại, S\_S đang được sử dụng để mô phỏng, phân tích, tính toán tổn thất điện năng, chẩn đoán tình trạng vận hành và đánh giá phát triển lưới 110 kV (có tính đến HTĐ 500, 220 kV liên quan) của EVN-NPC, EVN-HPC, EVN-SPC. S\_S cũng đang được dùng để mô phỏng, phân tích, tính toán tổn thất điện năng, đánh giá vận hành và đánh giá phát triển lưới phân phối trung áp của các Công ty điện lực thuộc EVN-NPC, EVN-HPC. Ngoài ra S\_S còn có thể dùng cho mục đích đào tạo kỹ sư nghiên cứu, vận hành HTĐ, vận hành lưới phân phối trung áp. S\_S được lập trình trong môi trường VBA & Excel vì thế giao diện Input & Output rất đơn giản, rõ ràng và thân thiện.

### 2. CỐT LÕI S\_S

Mô phỏng CĐXL là tìm giá trị điện áp và góc pha tương đối của điện áp các nút khi cho biết cấu trúc HTĐ, công suất nguồn phát điện và công suất phụ tải tại các nút.

Gọi công suất hữu công và công suất vô công nguồn phát điện tại nút  $i$  lần lượt là  $P_{Gi}$  và  $Q_{Gi}$ ; công suất phụ tải hữu công tại nút  $i$  là  $P_{Li}$  và phụ tải vô công  $Q_{Li}$ . Khi đó công suất hữu công thực bơm vào nút  $i$  là các dữ liệu cho trước  $P_{i,inj}$

$$P_{i,inj} = P_{Gi} - P_{Li} \quad i = 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

Gọi công suất *tính toán bơm* vào nút  $i$  là  $P_{i, calc}$ . Khi đó, sai lệch giữa giá trị công suất hữu công *thực bơm* vào nút  $i$  và giá trị công suất hữu công tính toán tại nút  $i$  sẽ là

$$\Delta P_i = P_{i, inj} - P_{i, calc} = P_{Gi} - P_{Li} - P_{i, calc} \quad i = 2, 3, , i, \dots n \quad (2)$$

Tương tự, sự sai lệch giữa giá trị công suất vô công *thực bơm* vào nút  $i$  và giá trị công suất vô công tính toán tại nút  $i$  sẽ là

$$Q_i = Q_{i, inj} - Q_{i, calc} = Q_{Gi} - Q_{Li} - Q_{i, calc} \quad i = 2, 3, , i, \dots n \quad (3)$$

Điều kiện cân bằng công suất hữu công  $P$  và công suất vô công  $Q$  các nút hệ thống điện (HTĐ) là:

$$\Delta P_i(\vec{V}) = 0 ; \quad \Delta Q_i(\vec{V}) = 0 \quad i = 2, 3, , i, \dots n \quad (4)$$

Trong đó  $\Delta P_i(\vec{V})$  và  $\Delta Q_i(\vec{V})$  lần lượt là sai lệch công suất hữu công  $P$  và vô công  $Q$  tại nút  $i$  phụ thuộc tập vecto điện áp nút  $\vec{V} = \{V_2, V_3, \dots, V_i, \dots, V_n\}$ ;  $n$  là số nút HTĐ.

Trong mô phỏng CĐXL, các nút HTĐ được phân loại thành các loại nút khác nhau để có cách xử lý khác nhau. Dưới đây là các phân loại nút:

**Nút phụ tải:** Các nút này không nối với nguồn phát điện, vì thế công suất hữu công  $P_{Gi}$  và vô công  $Q_{Gi}$  bằng zero. Phụ tải hữu công  $-P_{Li}$  và phụ tải vô công  $-Q_{Li}$  mang dấu âm để phù hợp với quy ước công suất đi ra khỏi nút mang dấu âm. Đôi khi ta cũng gọi loại nút này là nút P-Q. Mô phỏng CĐXL là tìm mô đun điện áp  $|V_i|$  và góc lệch điện áp  $\delta_i$  của các nút này.

**Nút kiểm soát điện áp:** Đây là các nút nối với nguồn phát điện. Do đó, công suất phát vào nút được kiểm soát qua tua bin, trong khi điện áp được kiểm soát qua hệ thống kích thích của máy phát điện. Vì thế, ta có thể cho rằng các nút này công suất phát  $P_{Gi}$  và mô đun điện áp  $|V_i|$  giữ không đổi. Đôi khi ta cũng gọi loại nút này là nút P-V. Cần lưu ý rằng, máy phát điện phát công suất vô công  $Q_{Gi}$  tùy thuộc vào cấu hình lưới điện và không thể xác định trước. Với nút P-V, biến cần tìm là góc  $\delta_i$  của điện áp nút.

**Nút cân bằng:** thường nút này được quy định là nút số 1 và là nút nối với nguồn phát điện để làm nhiệm vụ cân bằng công suất trong HTĐ. Nút này được xem là có góc lệch pha lấy làm chuẩn (tham chiếu) để đo góc lệch pha cho tất cả các nút khác. Do sự khác biệt góc giữa hai nguồn điện áp quyết định dòng công suất hữu công & vô công giữa hai nút, nên góc đặc biệt của nút cân bằng không quan trọng, vì thế góc lệch của nút này thường chọn là  $0^\circ$ . Ngoài ra, giả thiết mô đun điện áp của nút này là cho biết.

Mục đích của mô phỏng CĐXL là xác định các giá trị mô đun điện áp  $|V_i|$  và góc lệch điện áp  $\delta_i$  trong biểu thức (0) sao cho hai sai lệch  $\Delta P_i$  và  $\Delta Q_i$  nhỏ nhất. Tuy nhiên, vì rằng tất cả giá trị mô đun điện áp  $|V_i|$  và góc lệch điện áp  $\delta_i$  của các nút là không biết trước (trừ nút 1 là nút cân bằng cho trước), nên phải dùng một thủ tục tính lặp để ước tính giá trị mô đun điện áp  $|V_i|$  và góc lệch điện áp  $\delta_i$  nhằm xác định sai lệch  $\Delta P_i$  và

$\Delta Q_i$ . Quá trình tính lặp sẽ làm giảm dần  $\Delta P_i$  và  $\Delta Q_i$  cho tới khi các giá trị này nhỏ hơn một sai lệch mong muốn. Khi đó, ta nói quá trình mô phỏng CĐXL hội tụ.

Smart\_Simulator có ba lựa chọn mô phỏng tùy theo thuật toán giải hệ  $2(n-1)$

phương trình phi tuyến  $\Delta P_i(\vec{V}) = 0$ ;  $\Delta Q_i(\vec{V}) = 0$ : (A) thuật toán Gauss-Seidel: (B) thuật toán Newton-Rapson và (C) “Smart\_Simulator” kết hợp thuật toán Gauss-Seidel với thuật toán Newton-Rapson. Quá trình kết hợp này được khởi động bằng thuật toán Gauss-Seidel với một số bước lặp nhất định, nhằm tìm kiếm tập nghiệm ban đầu khả thi tốt nhất cho thuật toán Newton-Rapson, mô phỏng tự động chuyển tiếp qua thuật toán Newton-Rapson. Kết quả là quá trình mô phỏng được tăng tốc, đảm bảo mô phỏng thành công, vì thế gọi là “Smart\_Simulator”.

## 2.A. Mô phỏng theo Gauss-Seidel trong “S\_S”

Biểu thức công suất phức *tính toán bơm* vào nút  $i$  được tính theo (5)

$$P_{i,calc} - jQ_{i,calc} = V_i^* \sum_{k=1}^n Y_{ik} V_k = V_i^* [Y_{i1} V_1 + Y_{i2} V_2 + \dots + Y_{ii} V_i + \dots + Y_{in} V_n] \quad (5)$$

Trong đó vec tơ  $V_i^*$  là liên hợp của vector điện áp  $V_i$ ;  $Y_{ik}$  là điện dẫn tương hỗ giữa nút  $i$  và vút  $k$ . Các đại lượng phức tương ứng của nút  $i$  trong (5) là điện áp, điện dẫn riêng, điện dẫn tương hỗ lần lượt có giá trị như sau (trong S\_S có chương trình con tính ma trận điện dẫn [Y]).

$$V_i = |V_i| \angle \delta_i = |V_i| (\cos \delta_i + j \sin \delta_i) \quad (i)$$

$$Y_{ii} = |Y_{ii}| \angle \theta_{ii} = |Y_{ii}| (\cos \theta_{ii} + j \sin \theta_{ii}) + G_{ii} + jB_{ii} \quad (ii)$$

$$Y_{ij} = |Y_{ij}| \angle \theta_{ij} = |Y_{ij}| (\cos \theta_{ij} + j \sin \theta_{ij}) + G_{ij} + jB_{ij} \quad (iii)$$

Vì mong muốn tìm  $\vec{V} = \{V_2, V_3, \dots, V_i, \dots, V_n\}$  để  $P_{i,cal} - jQ_{i,cal} = P_{i,inj} - jQ_{i,inj}$  từ (5) ta có

$$P_{i,inj} - jQ_{i,inj} = V_i^* \sum_{k=1}^n Y_{ik} V_k = V_i^* [Y_{i1} V_1 + Y_{i2} V_2 + \dots + Y_{ii} V_i + \dots + Y_{in} V_n] \quad (6)$$

Trong (6), vế trái  $P_{i,inj} - jQ_{i,inj}$  là công suất hữu công, vô công thực bơm vào nút  $i$  là các dữ liệu cho trước. Sắp xếp lại biểu thức (6) ta có thể tính vecto điện áp nút  $i$   $V_i$  khi biết giá trị công suất hữu công và công suất vô công bơm vào nút  $i$   $P_{i,inj}$  và  $Q_{i,inj}$ .

$$V_i = \frac{1}{Y_{ii}} \left[ \frac{P_{i,inj} - jQ_{i,inj}}{V_i^*} - Y_{i1} V_1 - Y_{i2} V_2 - \dots - Y_{in} V_n \right] \quad (7)$$

“S\_S” dùng (7) để tính tập vectơ điện áp nút  $\vec{V} = \{V_2, V_3, \dots, V_i, \dots, V_n\}$ . Giá trị môđun và góc pha điện áp sau mỗi bước tính lặp được dùng để tính các giá trị công suất tính toán theo (5), từ đó tính sai lệch công suất theo (2) và (3). *Quá trình tính lặp sẽ làm giảm dần  $\Delta P_i$  và  $\Delta Q_i$  cho tới khi các giá trị này nhỏ hơn một sai lệch mong muốn để kết thúc quá trình mô phỏng CĐXL.* Để tăng nhanh quá trình mô phỏng, tính điện áp các nút theo (6) được nhân với một hằng số  $\lambda$  được gọi là hệ số gia tốc (acceleration factor). Giá trị hằng số  $\lambda$  thường trong khoảng 1.2 đến 1.4. Khi đó, giá trị điện áp gia tốc của nút  $i$ , ở bước tính lặp thứ  $k$  tính theo (8)

$$V_{i,acc}^{(k)} = (1 - \lambda)V_{i,acc}^{(k-1)} + \lambda V_i^{(k)} = V_{i,acc}^{(k-1)} + \lambda \{V_i^{(k)} - V_{i,acc}^{(k-1)}\} \quad (8)$$

## 2.B. Mô phỏng Newton-Rapson trong “S\_S”

Ta xét một HTĐ có  $n$  nút, trong đó số nút loại P-Q là  $n_p$  và số nút loại P-V là  $n_g$  để có  $n = n_p + n_g + 1$  với nút số 1 là nút cân bằng.

Trong “S\_S”, cách tiếp cận mô phỏng CĐXL theo phương pháp Newton-Rapson tương tự như giải hệ phương trình phi tuyến dùng phương pháp Newton-Rapson tức là tại mỗi bước tính lặp, ta phải lập một ma trận Jacobian và giải hệ phương trình điều chỉnh để tìm các giá trị hệ số hiệu chỉnh cho các biến. Quá trình hiệu chỉnh, tính lặp tiếp tục cho đến khi tìm được giá trị các biến thỏa mãn hệ phương trình phi tuyến cần giải.

Đối với mô phỏng CĐXL, hệ phương trình tuyến tính điều chỉnh để tìm các giá trị hệ số hiệu chỉnh cho các biến điện áp nút là môđun điện áp  $|V_i|$  và góc lệch điện áp  $\delta_i$  dưới dạng ma trận:

$$J \begin{bmatrix} \Delta \delta_2 \\ \vdots \\ \Delta \delta_n \\ \frac{\Delta |V_2|}{|V_2|} \\ \vdots \\ \frac{\Delta |V_{1+n_o}|}{|V_{1+n_o}|} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \vdots \\ \Delta P_n \\ \Delta Q_2 \\ \vdots \\ \Delta Q_{1+n_o} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Trong đó  $J$  là ma trận Jacobian;  $\Delta \delta_i$   $i = 2, 3, \dots, n$  là giá trị hệ số hiệu chỉnh góc lệch điện áp  $\delta_i$  và  $\frac{\Delta |V_i|}{|V_i|}$  là giá trị hệ số hiệu chỉnh môđun điện áp  $|V_i|$ ;

$\Delta P_i, \Delta Q_i$   $i = 2, 3, \dots, n$  lần lượt là sai lệch công suất hữu công, vô công tại nút  $i$  tính theo (2) và (3).

Trong “S\_S”, giải hệ phương trình tuyến tính điều chỉnh (9) để tìm các giá trị hệ số hiệu chỉnh  $\Delta \delta^{(0)}$  và  $\Delta |V|^{(0)} / |V|^{(0)}$  được thực hiện theo phép nghịch đảo ma trận  $[J]^{-1}$

$$\begin{bmatrix} \frac{\Delta \delta}{|\Delta V|/|V|} \end{bmatrix} = [J]^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\Delta P}{\Delta Q} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Ma trận J gồm bốn ma trận con.

$$J = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{bmatrix}$$

Kích thước hay cấp ma trận Jacobian là ma trận vuông  $(n + n_p - 1) \times (n + n_p - 1)$ . Kích thước của các ma trận con lần lượt là  $J_{11}$ :  $(n - 1) \times (n - 1)$ ,  $J_{12}$ :  $(n - 1) \times n_p$ ,  $J_{21}$ :  $n_p \times (n - 1)$  và  $J_{22}$ :  $n_p \times n_p$ . Các phần tử ma trận con là các giá trị đạo hàm riêng của hàm  $P_i$ ,  $Q_i$  theo các biến góc lệch điện áp  $\delta_i$  và mô đun điện áp  $|V_i|$ . Các phần tử ma trận Jacobian cho trong bảng 1.

$$J_{11} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} \dots \frac{\partial P_2}{\partial \delta_n} \\ \vdots \ddots \vdots \\ \frac{\partial P_n}{\partial \delta_2} \dots \frac{\partial P_n}{\partial \delta_n} \end{bmatrix}$$

Bảng 1.1. Các phần tử ma trận  $J_{11}$

$$J_{12} = \begin{bmatrix} |V_2| \frac{\partial P_2}{\partial |V_2|} \dots |V_{1+n_o}| \frac{\partial P_2}{\partial |V_{1+n_o}|} \\ \vdots \ddots \vdots \\ |V_2| \frac{\partial P_n}{\partial |V_2|} \dots |V_{1+n_o}| \frac{\partial P_n}{\partial |V_{1+n_o}|} \end{bmatrix}$$

Bảng 1.2. Các phần tử ma trận  $J_{12}$

$$J_{21} = \begin{bmatrix} \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} \dots \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_n} \\ \vdots \ddots \vdots \\ \frac{\partial Q_{1+n_o}}{\partial \delta_2} \dots \frac{\partial Q_{1+n_o}}{\partial \delta_n} \end{bmatrix}$$

Bảng 1.3. Các phần tử ma trận  $J_{21}$

$$J_{22} = \begin{bmatrix} |V_2| \frac{\partial Q_2}{\partial |V_2|} \dots |V_{1+n_o}| \frac{\partial Q_2}{\partial |V_{1+n_o}|} \\ \vdots \ddots \vdots \\ |V_2| \frac{\partial Q_{1+n_o}}{\partial |V_2|} \dots |V_{1+n_o}| \frac{\partial Q_{1+n_o}}{\partial |V_{1+n_o}|} \end{bmatrix}$$

Bảng 1.4. Các phần tử ma trận  $J_{22}$

Bảng 1. Các phần tử ma trận Jacobian

Để xác lập biểu thức tính giá trị các đạo hàm riêng trong bảng 1, từ biểu thức công suất phức tính toán bơm vào nút  $i$  tính theo (5) biến đổi và sắp xếp lại theo phần thực  $P_i$ , và phần ảo  $Q_i$ .

$$P_i = |V_i|^2 G_{ii} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n |Y_{ik} V_i V_k| \cos(\theta_{ik} + \theta_k + \theta_i) \quad (11)$$

$$Q_i = |V_i|^2 B_{ii} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n |Y_{ik} V_i V_k| \sin(\theta_{ik} + \delta_k + \delta_i) \quad (12)$$

Các biểu thức (11) và (12) dùng để xác định biểu thức tính đạo hàm riêng trong bảng 1 là các phần tử ma trận Jacobian.

#### *Thành lập ma trận Jacobian*

Các biểu thức (11) và (12) được dùng để tính giá trị các phần tử các ma trận con.

##### *B.1. Lập ma trận $J_{11}$*

Ma trận con  $J_{11}$  có dạng sau:

$$J = \begin{bmatrix} L_{22} & \cdots & L_{2n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ L_{n21} & \cdots & L_{nn} \end{bmatrix}$$

Từ bảng 1.1 thấy rằng các  $L_{ik}$  là đạo hàm riêng của  $P_i$  đối với  $\delta_k$ . Đạo hàm riêng của  $P_i$  theo (11) với  $k \neq i$  sẽ là:

$$L_{ik} = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_k} = -|Y_{ik} V_i V_k| \sin(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i), \quad i \neq k \quad (13)$$

Tương tự, đạo hàm riêng của  $P_i$  theo (11) với  $k = i$  sẽ là:

$$L_{ii} = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n -|Y_{ik} V_i V_k| \sin(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i)$$

So sánh biểu thức trên với (12) ta có thể viết:

$$L_{ii} = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -Q_i - |V_i|^2 B_{ii} \quad (14)$$

##### *B.2. Lập ma trận $J_{21}$*

Ma trận con  $J_{21}$  có dạng sau:

$$J_{21} = \begin{bmatrix} M_{22} & \cdots & M_{2n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{n_0 2} & \cdots & M_{n_0 n} \end{bmatrix}$$

Từ bảng 1.3 thấy rằng các phần tử của  $J_{2l}$  là đạo hàm riêng của  $Q$  đối với  $\delta$ . Từ (12) ta có:

$$M_{ik} = \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_k} = -|Y_{ik} V_i V_k| \cos(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i), \quad i \neq k \quad (15)$$

Tương tự, đạo hàm riêng của  $Q_i$  với  $k = i$  sẽ là:

$$M_{ii} = \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n -|Y_{ik} V_i V_k| \cos(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i) = P_i - |V_i|^2 G_{ii} \quad (16)$$

### B.3. Lập ma trận $J_{12}$

Ma trận con  $J_{12}$  có dạng sau:

$$J_{12} = \begin{bmatrix} N_{22} \cdots N_{2n_o} \\ \vdots \quad \ddots \quad \vdots \\ N_{n_2} \cdots N_{nn_o} \end{bmatrix}$$

Từ bảng 1.2 thấy rằng các phần tử của  $J_{12}$  là đạo hàm riêng của  $P$  đối với môđun điện áp  $|V|$ . Với  $i \neq k$ , từ (11) ta có:

$$N_{ik} = |V_k| \frac{\partial P_i}{\partial |V_k|} = |Y_{ik} V_i V_k| \cos(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i) = -M_{ik}, \quad i \neq k \quad (17)$$

Với  $k = i$  ta có:

$$\begin{aligned} N_{ii} &= |V_i| \frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = |V_i| \left[ 2|V_i| G_{ii} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n |Y_{ik} V_k| \cos(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i) \right] \\ &= 2|V_i|^2 G_{ii} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n |Y_{ik} V_i V_k| \cos(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i) = 2|V_i|^2 G_{ii} + M_{ii} \end{aligned} \quad (18)$$

### B.4. Lập ma trận $J_{22}$

Ma trận con  $J_{22}$  có dạng sau:

$$J_{22} = \begin{bmatrix} O_{22} \cdots O_{2n_o} \\ \vdots \quad \ddots \quad \vdots \\ O_{n_o 2} \cdots O_{n_o n_o} \end{bmatrix}$$

Từ bảng 1.4 thấy rằng các phần tử của  $J_{22}$  là đạo hàm riêng của  $Q$  đối với môđun điện áp  $|V|$ . Với  $i \neq k$ , từ (12) ta có:

$$O_{ik} = |V_i| \frac{\partial Q_i}{\partial |V_k|} = |V_i| |Y_{ik} V_i V_k| \sin(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i) = L_{ik}, \quad i \neq k \quad (19)$$

Với  $k = i$ , ta có:

$$\begin{aligned} O_{ii} &= |V_i| \frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = |V_i| \left[ 2|V_i| B_{ii} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n |Y_{ik} V_i V_k| \sin(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i) \right] \\ &= 2|V_i|^2 B_{ii} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n |Y_{ik} V_i V_k| \sin(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i) = 2|V_i|^2 B_{ii} - L_{ii} \end{aligned} \quad (20)$$

Như vậy, một khi các ma trận con  $J_{11}$  và  $J_{21}$  đã được tính thì việc lập các ma trận con  $J_{12}$  và  $J_{22}$  là khá dễ dàng. Thật vậy,  $J_{12}$  có thể được lập từ  $J_{11}$  nhờ (17) và (18);  $J_{22}$  có thể được lập từ  $J_{21}$  nhờ (19) và (20). Điều này rất có ý nghĩa về tiết kiệm thời gian tính toán đối với các HTĐ lớn.

*Các bước mô phỏng CDXL theo phương pháp Newton-Raphson trong “S\_S”:*

Bước 1: Chọn giá trị ban đầu môđun điện áp  $|V|^{(0)}$  của tất cả  $n_p$  nút loại P-Q và  $n - 1$  góc pha ban đầu  $\delta^{(0)}$  của tất cả các nút trừ nút cân bằng. Bước 1 rất quan trọng, bởi vì nếu các giá trị ban đầu chọn không phù hợp, cách xa giá trị thực của vectơ điện áp nút  $\vec{V} = \{V_2, V_3, \dots, V_i, \dots, V_n\}$  sẽ không thực hiện được bước 5, không tìm được các giá trị hệ số hiệu chỉnh  $\Delta \delta^{(0)}$  và  $\Delta |V|^{(0)} / |V|^{(0)}$  tính theo (10). Khi đó ta nói rằng mô phỏng không hội tụ. “Smart\_Simulator” chính là giải pháp để đảm bảo rằng nếu không có sai sót về dữ liệu của HTĐ, mô phỏng sẽ thành công. Xin xem phần “C. Mô phỏng Smart\_Simulator trong “S\_S” ở phía dưới.

Bước 2: Dùng các giá trị ban đầu  $|V|^{(0)}$  và  $\delta^{(0)}$  thay vào (11) để tính  $(n - 1)$  công suất hữu công bơm vào  $P_{calc}^{(0)}$  và các sai lệch công suất hữu công  $\Delta P^{(0)}$ .

Bước 3: Dùng các giá trị ban đầu  $|V|^{(0)}$  và  $\delta^{(0)}$  thay vào (12) để tính  $n_p$  công suất vô công bơm vào  $Q_{calc}^{(0)}$  và các sai lệch công suất hữu công  $\Delta Q^{(0)}$ .

Bước 4: Dùng các giá trị ban đầu  $|V|^{(0)}$  và  $\delta^{(0)}$  để thành lập ma trận Jacobian  $[J^{(0)}]$  tính theo các biểu thức từ (13), (14), (19), (20).

Bước 5: Tính ma trận nghịch đảo  $[J]^{-1}$  để tìm các giá trị hệ số hiệu chỉnh  $\Delta \delta^{(0)}$  và  $\Delta |V|^{(0)} / |V|^{(0)}$  tính theo (10). Ma trận  $[J]$  và ma trận nghịch đảo  $[J]^{-1}$  có thể được dùng trong nhiều bước tính lặp liên tiếp mà không cần tính lại. Nói cách khác, bước 4 và bước 5 chỉ phải tính lại sau một số lần tính lặp. Vì thế tiết kiệm thời gian mô phỏng rất đáng kể.

Bước 6: Hiệu chỉnh, cập nhật góc pha và môđun điện áp tính theo:

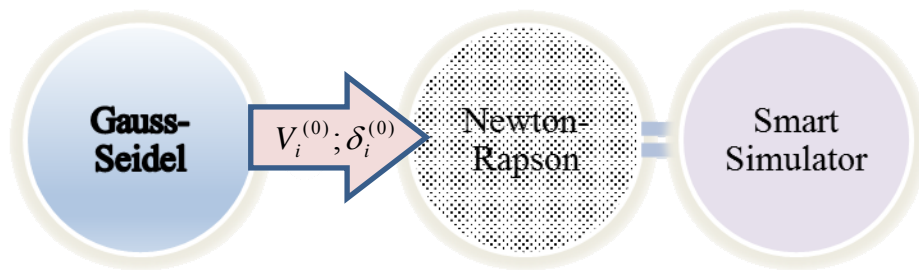
$$\delta^{(1)} = \delta^{(0)} + \Delta \delta^{(0)} \quad (21)$$



$$|V|^{(1)} = |V|^{(0)} \left[ 1 + \frac{\Delta |V|^{(0)}}{|V|^{(0)}} \right] \quad (22)$$

Bước 7: Kiểm tra nếu tất cả các sai lệch công suất  $\Delta P$ ,  $\Delta Q$  bé hơn một sai lệch nhỏ cho trước, quá trình mô phỏng kết thúc. Nếu không, trở lại bước 1 để bắt đầu một bước tính lặp tiếp theo với các giá trị cập nhật góc pha và môđun điện áp tính theo (21) và (22).

## 2.C. Mô phỏng Smart\_Simulator trong “S\_S”

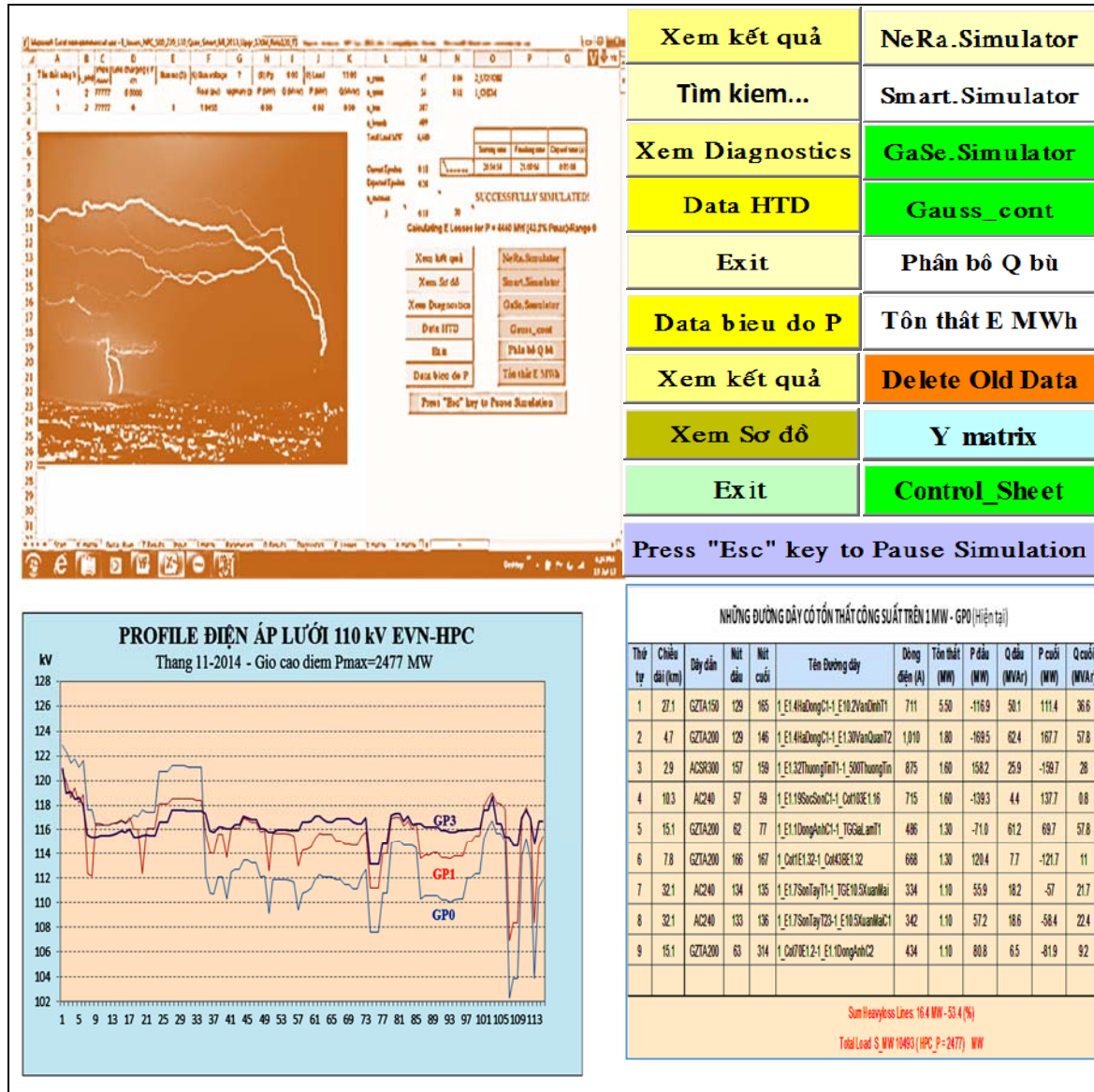


Hình 1: “Smart\_Simulator” kết hợp mô phỏng Gauss-Seidel & Newton-Rapson

“Smart\_Simulator” kết hợp thuật toán Gauss-Seidel với thuật toán Newton-Rapson. Quá trình kết hợp này được khởi động bằng thuật toán Gauss-Seidel với một số bước lặp nhất định, nhằm tìm kiếm tập nghiệm ban đầu  $V_i^{(0)}; \delta_i^{(0)}$  tốt nhất cho thuật toán Newton-Rapson, mô phỏng tự động chuyển tiếp qua thuật toán Newton-Rapson. Kết quả là quá trình mô phỏng được tăng tốc, đảm bảo mô phỏng thành công, vì thế gọi là “Smart\_Simulator, xem hình 1.

## 2.D. Các chức năng chính trong “S\_S”

S\_S được lập trình trong môi trường VBA & Excel vì thế giao diện Input & Output rất đơn giản, rõ ràng và thân thiện. Các nút điều khiển kích hoạt các chức năng được đặt trong từng trang, tương tác giữa các trang và các kết quả mô phỏng được trình bày trong bảng hoặc biểu đồ Excel (xem hình 2). S\_S rất dễ dàng cập nhật, mở rộng chương trình theo yêu cầu tùy biến.



Hình 2: Các nút kích hoạt chức năng mô phỏng, tính toán & kết quả mô phỏng được trình bày trong bảng hoặc biểu đồ Excel.

## 2.D.1. Chẩn đoán & Đánh giá & Giám sát chế độ vận hành HTĐ

*Chẩn đoán:*

S<sub>S</sub> có những chương trình con để chẩn đoán, đánh giá các phần tử hoặc các tham số vận hành ở trạng thái tới hạn: đường dây quá tải, đường dây tổn thất công suất lớn nhất, MBA quá tải, điện áp nút thấp nhất... Qua hàng loạt mô phỏng với giả thiết sự cố một trong các đường dây truyền tải 500 kV ta có thể chẩn đoán xem HTĐ có an toàn tĩnh (static security) hay không theo chuẩn N-1 (**N-1 checking**). Với chức năng mô phỏng, việc phân tích, đánh giá hiệu quả **FACTS** (tự bù dọc, bù ngang) rất dễ dàng.