

## Thuật toán định vị sự cố trên đường dây truyền tải rẽ nhánh không biết trước thông số đường dây

Fault Location Algorithm for Three-Terminal Transmission Line with unknown Line Parameters

*Nguyễn Xuân Vinh<sup>1,2</sup>, Nguyễn Xuân Tùng<sup>1\*</sup>, Nguyễn Đức Huy<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, Số 1, Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

<sup>2</sup> Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long, No. 73, Nguyễn Huệ, Vĩnh Long, Việt Nam

Đến Tòa soạn: 20-6-2016; chấp nhận đăng: 28-02-2017

### Tóm tắt

Bài báo này trình bày thuật toán xác định vị trí sự cố trên đường dây truyền tải có rẽ nhánh. Thuật toán sử dụng tín hiệu điện áp và dòng điện đo lường từ các đầu đường dây và không yêu cầu biết trước thông số đường dây khi tính toán định vị sự cố. Về cơ bản, thuật toán bao gồm hai bước: xác định thông số của các phân đoạn đường dây và tính toán định vị sự cố. Thuật toán có thể áp dụng cho cả đường dây rẽ nhánh đồng nhất hoặc không đồng nhất về chủng loại dây. Thuật toán dựa trên cơ sở toán học vững chắc, tính chính xác và hiệu quả của thuật toán đã được kiểm chứng thông qua các kết quả mô phỏng sử dụng Simulink/Matlab.

Từ khóa: Định vị sự cố, đường dây truyền tải rẽ nhánh, thành phần thứ tự thuận, thông số đường dây.

### Abstract

This paper presents an algorithm used to locate fault on three-terminal transmission lines. The algorithm utilizes voltage and current data measured at line terminals and does not require any line parameter for determining fault location. Proposed algorithm consists of two steps: determining the line parameters and locating the fault. The algorithm can apply for homogeneous or non-homogeneous tapped lines. Presented algorithm has a solid mathematical basis, the accuracy and efficiency of the algorithm was well validated through results of simulation in Simulink/Matlab.

Keywords: Fault location, three-terminal transmission lines, positive sequential components, line parameters.

### 1. Đặt vấn đề

Trên lưới truyền tải điện có thể gặp một số đoạn đường dây có rẽ nhánh, lý do của việc rẽ nhánh các đường dây có thể do yêu cầu đầu nối cấp điện cho phụ tải ở giữa đường dây hoặc có các nhà máy điện nhỏ đầu nối lên lưới. Việc xuất hiện các đường dây rẽ nhánh này gây nhiều khó khăn cho công tác định vị sự cố và thiết kế các hệ thống rơle bảo vệ. Trong những năm vừa qua đã có một số bài báo được công bố liên quan đến bài toán định vị sự cố xảy ra trên đường dây truyền tải có rẽ nhánh như được tổng kết ở phần tiếp sau.

Tài liệu [1], [2] đề xuất thuật toán mới cho bài toán định vị sự cố xảy ra trên đường dây truyền tải rẽ nhánh sử dụng tín hiệu điện áp và dòng điện đo lường từ đầu cuối của mỗi phân đoạn đường dây. Tài liệu [1], [2] cũng đã đề xuất thuật toán đồng bộ tín hiệu đo lường và xác định chính xác phân đoạn đường dây xảy ra sự cố. Kết quả định vị sự cố không bị ảnh hưởng bởi thông số nguồn phát và thuật toán có thể áp dụng cho đường dây truyền tải có nhiều đường dây rẽ nhánh, tuy

nhiên thuật toán yêu cầu phải có thông số của tất cả các phân đoạn đường dây.

Tài liệu [3]–[6] trình bày thuật toán định vị sự cố cho đường dây rẽ nhánh có 3 đầu cuối sử dụng tín hiệu điện áp và dòng điện đo lường từ 3 đầu cuối. Kết quả định vị sự cố cho thấy thuật toán không bị ảnh hưởng bởi điện trở sự cố, thông số nguồn phát, cấu hình đường dây, sai số thiết bị biến đổi; và thuật toán sử dụng thành phần xếp chồng của tín hiệu đo lường vì thế kết quả định vị không bị ảnh hưởng bởi dòng điện của tải, tuy nhiên thuật toán yêu cầu thông số của các phân đoạn đường dây.

Tài liệu [7] trình bày thuật toán áp dụng định vị sự cố xảy ra trên đường dây truyền tải rẽ nhánh có nhiều đầu cuối. Thuật toán định vị sự cố chỉ sử dụng tín hiệu điện áp đo lường đồng bộ từ các đầu cuối, vì thế kết quả định vị không bị ảnh hưởng bởi sai số của máy biến dòng điện; và thuật toán có thể áp dụng để định vị sự cố xảy ra trên đường dây hoán vị hoặc không hoán vị, tuy nhiên thuật toán yêu cầu phải có thông số đường dây cũng như tổng trở của các nguồn phát.

Tài liệu [8], [9] trình bày thuật toán áp dụng định vị sự cố xảy ra trên đường dây truyền tải có nhiều đầu cuối. Thuật toán sử dụng thành phần thứ tự thuận trước

Địa chỉ liên hệ: Tel.: (+84) 988.463.317  
Email: tunghtd@gmail.com

sự cố và trong sự cố của điện áp và dòng điện đo lường đồng bộ từ các đầu cuối của đường dây để xác định tổng trở nguồn phát, kết hợp với tổng trở đường dây thành lập ma trận tổng trở của lưới điện từ đó áp dụng thuật toán lặp để xác định vị trí sự cố. Thuật toán có thể áp dụng để định vị sự cố cho tất cả các loại sự cố, kết quả định vị không bị ảnh hưởng bởi điện trở ngắn mạch, tuy nhiên thuật toán yêu cầu phải có thông số đường dây là dữ liệu đầu vào của thuật toán.

Tài liệu [10] trình bày thuật toán định vị sự cố cho đường dây rẽ nhánh chỉ sử dụng tín hiệu dòng điện đo lường đồng bộ từ 3 đầu cuối của đường dây rẽ nhánh và tín hiệu điện áp của 1 đầu cuối. Tuy nhiên, thuật toán yêu cầu phải có dữ liệu về thông số đường dây và thuật toán phân loại sự cố.

Có thể thấy rằng các nghiên cứu về định vị sự cố với đường dây rẽ nhánh là khá đa dạng, tuy nhiên điểm bất lợi của các thuật toán là đều yêu cầu phải biết chính xác thông số các đoạn đường dây. Trong thực tế thông số của đường dây không thể biết được chính xác do không có các thiết bị đo, kiểm tra khi xây dựng xong đường dây.

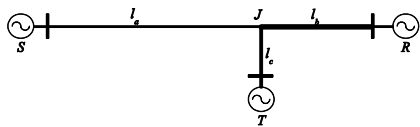
Để khắc phục nhược điểm trên, bài báo này đề xuất thuật toán định vị sự cố cho đường dây truyền tải rẽ nhánh không yêu cầu sử dụng tới thông số đường dây. Do không sử dụng tới thông số đường dây nên thuật toán hoàn toàn có thể áp dụng cho đường dây đồng nhất hoặc không đồng nhất.

Thuật toán sử dụng thành phần thứ tự thuận của tín hiệu điện áp và dòng điện vì thế có thể áp dụng để định vị sự cố cho tất cả các loại sự cố – thành phần thứ tự thuận tồn tại trong tất cả các loại sự cố – và để trình bày được đơn giản ký hiệu “1” cho thành phần thứ tự thuận được lược bỏ.

**2. Thuật toán**

**2.1 Xác định thông số đường dây**

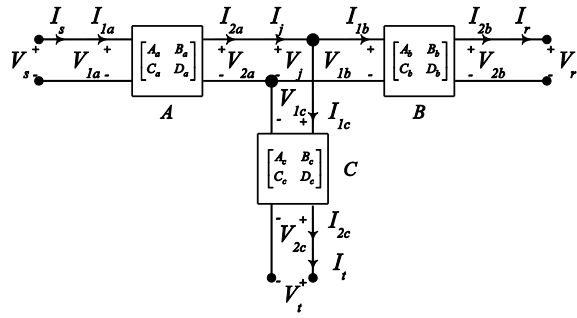
Xét đường dây truyền tải rẽ nhánh như Hình 1, trong đó mỗi phân đoạn SJ có chiều dài  $l_a$ , RJ có chiều dài  $l_b$ , TJ có chiều dài  $l_c$ .



**Hình 1.** Đường dây truyền tải rẽ nhánh

Áp dụng lý thuyết mạng hai cửa [11] cho đường dây trên được mô hình tương đương như Hình 2:

Trong đó:  $Z_{ca}=x_1+i.x_2$ ,  $Z_{cb}=x_3+i.x_4$ ,  $Z_{cc}=x_5+i.x_6$ ,  $\gamma_a=x_7+i.x_8$ ,  $\gamma_b=x_9+i.x_{10}$ ,  $\gamma_c=x_{11}+i.x_{12}$  tổng trở đặc tính, hằng số truyền sóng của phân đoạn SJ, RJ và TJ.



**Hình 2.** Mô hình mạng 2 cửa đường dây rẽ nhánh

Trong đó:

$$\begin{cases} A_a = ch(\gamma_a l_a) = D_a; \\ B_a = Z_{ca} sh(\gamma_a l_a); C_a = sh(\gamma_a l_a) / Z_{ca} \\ A_b = ch(\gamma_b l_b) = D_b; \\ B_b = Z_{cb} sh(\gamma_b l_b); C_b = sh(\gamma_b l_b) / Z_{cb} \\ A_c = ch(\gamma_c l_c) = D_c; \\ B_c = Z_{cc} sh(\gamma_c l_c); C_c = sh(\gamma_c l_c) / Z_{cc} \end{cases} \quad (1)$$

Thuật toán đề xuất hệ phương trình sau để xác định thông số đường dây:

$$\begin{cases} PT1 := V_{s1} - f_{V_{s1}}(V_{r1}, I_{r1}, V_{t1}, I_{t1}) = 0 \\ PT2 := V_{r1} - f_{V_{r1}}(V_{t1}, I_{t1}, V_{s1}, I_{s1}) = 0 \\ PT3 := V_{t1} - f_{V_{t1}}(V_{s1}, I_{s1}, V_{r1}, I_{r1}) = 0 \\ PT4 := V_{fs1} - V_{fr1} = 0 \\ PT5 := V_{fr2} - V_{fts2} = 0 \\ PT6 := V_{fs3} - V_{fsr3} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Trong đó:  $i=1,2,3$  là sự cố 1, 2, 3;  $d_a, d_b, d_c$  là khoảng cách từ đầu S, R và T đến vị trí sự cố F;

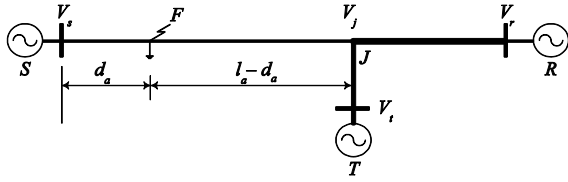
$V_{si}, I_{si}, V_{ri}, I_{ri}, V_{ti}, I_{ti}$  là điện áp và dòng điện trước sự cố tại điểm S, R, T;

$V_{sfi}, I_{sfi}, V_{rfi}, I_{rfi}, V_{tfi}, I_{tfi}$  là điện áp và dòng điện trong sự cố tại điểm S, R, T;

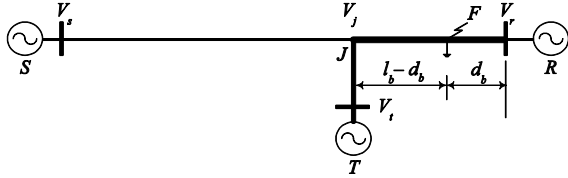
$V_{fs}, I_{fs}, V_{fr}, I_{fr}, V_{ft}, I_{ft}$  là điện áp và dòng điện tại điểm sự cố F xác định dựa vào điện áp và dòng điện đo lường trong sự cố từ đầu S, R, T;

$V_{ftr}, I_{ftr}, V_{fts}, I_{fts}, V_{fsr}, I_{fsr}$  là điện áp và dòng điện tại điểm sự cố F xác định dựa vào điện áp và dòng điện trong sự cố ở điểm nối J.

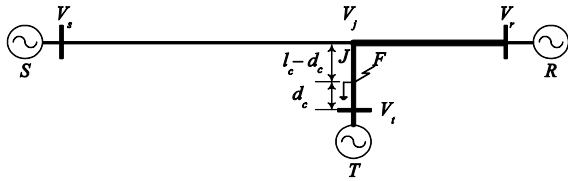
Đường dây 3 đầu cuối như Hình 3, Hình 4, Hình 5 và mô hình tương đương mạng hai cửa như Hình 6, Hình 7, Hình 8 được sử dụng để minh họa cho thuật toán xác định thông số đường dây.



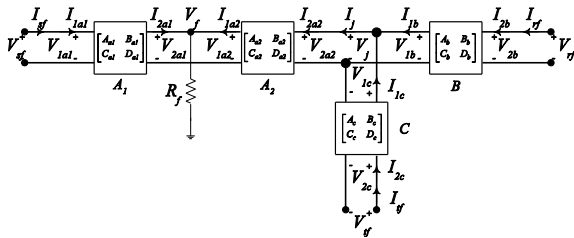
Hình 3. Sự cố trên phân đoạn SJ



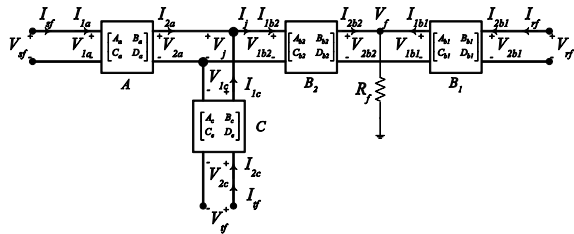
Hình 4. Sự cố trên phân đoạn RJ



Hình 5. Sự cố xảy ra trên phân đoạn TJ



Hình 6. Mô hình mạng 2 cửa khi sự cố ngắn mạch trên phân đoạn SJ



Hình 7. Mô hình mạng 2 cửa khi sự cố ngắn mạch trên RJ

Trong đó:

$$\begin{cases} A_{a1} = ch(\gamma_a d_a) = D_{a1}; \\ B_{a1} = Z_{ca} sh(\gamma_a d_a); C_{a1} = sh(\gamma_a d_a) / Z_{ca} \end{cases} \quad (3)$$

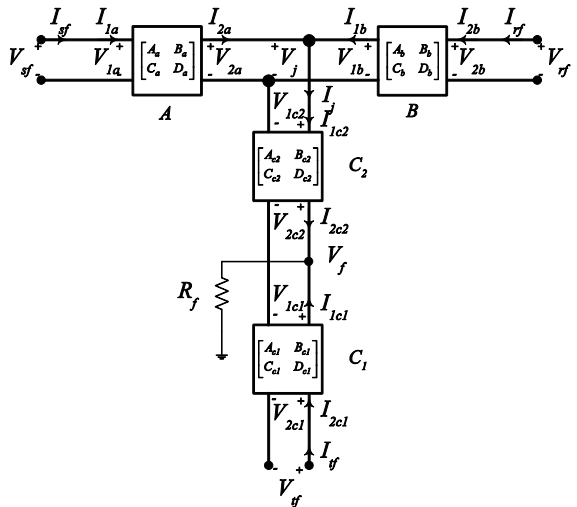
$$\begin{cases} A_{a2} = ch(\gamma_a (l_a - d_a)) = D_{a2}; \\ B_{a2} = Z_{ca} sh(\gamma_a (l_a - d_a)); \\ C_{a2} = sh(\gamma_a (l_a - d_a)) / Z_{ca} \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} A_{b1} = ch(\gamma_b d_b) = D_{b1}; \\ B_{b1} = Z_{cb} sh(\gamma_b d_b); C_{b1} = sh(\gamma_b d_b) / Z_{cb} \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} A_{b2} = ch(\gamma_b (l_b - d_b)) = D_{b2}; \\ B_{b2} = Z_{cb} sh(\gamma_b (l_b - d_b)); \\ C_{b2} = sh(\gamma_b (l_b - d_b)) / Z_{cb} \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} A_{c1} = ch(\gamma_c d_c) = D_{c1}; \\ B_{c1} = Z_{cc} sh(\gamma_c d_c); C_{c1} = sh(\gamma_c d_c) / Z_{cc} \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} A_{c2} = ch(\gamma_c (l_c - d_c)) = D_{c2}; \\ B_{c2} = Z_{cc} sh(\gamma_c (l_c - d_c)); \\ C_{c2} = sh(\gamma_c (l_c - d_c)) / Z_{cc} \end{cases} \quad (8)$$



Hình 8. Mô hình mạng 2 cửa khi sự cố ngắn mạch trên phân đoạn TJ

Dữ liệu đầu vào giải thuật xác định thông số đường dây, bao gồm: 3 bản ghi sự cố  $F_1, F_2, F_3$  xảy ra trên các phân đoạn SJ, RJ, TJ thuộc đường dây rẽ nhánh.

• **Thành lập phương trình PTI**

Áp dụng [11] cho mạng 2 cửa A, B, C Hình 2:

$$\begin{bmatrix} V_{1a} \\ I_{1a} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_a & B_a \\ C_a & D_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{2a} \\ I_{2a} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\begin{bmatrix} V_{1b} \\ I_{1b} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_b & B_b \\ C_b & D_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{2b} \\ I_{2b} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} V_{1c} \\ I_{1c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_c & B_c \\ C_c & D_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{2c} \\ I_{2c} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Xác định  $I_{1b}$  từ Hình 2, được:

$$I_{lb} = I_j - I_{lc} = I_j - (C_c \cdot V_{2c} + D_c \cdot I_{2c}) \quad (12)$$

Xác định  $I_{lb}$  từ phương trình (10):

$$I_{lb} = C_b \cdot V_{2b} + D_b \cdot I_{2b} \quad (13)$$

Xác định  $I_j$  bằng cách kết hợp (12) và (13):

$$I_j = C_b \cdot V_{2b} + D_b \cdot I_{2b} + C_c \cdot V_{2c} + D_c \cdot I_{2c} \quad (14)$$

Kết hợp phương trình (14) và (10):

$$\begin{bmatrix} V_{lb} \\ I_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_b & B_b & 0 & 0 \\ C_b & D_b & C_c & D_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{2b} \\ I_{2b} \\ V_{2c} \\ I_{2c} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Từ Hình 2 có  $I_j = I_{2a}$  và  $V_{lb} = V_{2a}$  thế vào phương trình (15):

$$\begin{bmatrix} V_{2a} \\ I_{2a} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_b & B_b & 0 & 0 \\ C_b & D_b & C_c & D_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{2b} \\ I_{2b} \\ V_{2c} \\ I_{2c} \end{bmatrix} \quad (16)$$

Thế (16) vào phương trình (9):

$$\begin{bmatrix} V_{1a} \\ I_{1a} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_a & B_a \\ C_a & D_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_b & B_b & 0 & 0 \\ C_b & D_b & C_c & D_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{2b} \\ I_{2b} \\ V_{2c} \\ I_{2c} \end{bmatrix} \quad (17)$$

Từ Hình 2, được:

$$\begin{cases} V_{1a} = V_s; & V_{2b} = V_r; & V_{2c} = V_t \\ I_{1a} = I_s; & I_{2b} = I_r; & I_{2c} = I_t \end{cases} \quad (18)$$

Thế (18) vào phương trình (17):

$$\begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_a & B_a \\ C_a & D_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_b & B_b & 0 & 0 \\ C_b & D_b & C_c & D_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_r \\ I_r \\ V_t \\ I_t \end{bmatrix} \quad (19)$$

Áp dụng phương trình (19) xác định  $f_{V_{st}}$ :

$$f_{V_{st}} = (A_a A_b + B_a C_b) V_{r1} + (A_a B_b + B_a D_b) I_{r1} + \dots + B_a C_c V_{t1} + B_a D_c I_{t1} \quad (20)$$

Thế (20) vào phương trình (2):

$$PT1 := V_{st} - [(A_a A_b + B_a C_b) V_{r1} + \dots + (A_a B_b + B_a D_b) I_{r1} + \dots + B_a C_c V_{t1} + B_a D_c I_{t1}] = 0 \quad (21)$$

• **Thành lập phương trình PT2**

Áp dụng phân tích tương tự trường hợp thành lập phương trình PT1:

$$PT2 := V_{r1} - [(A_b A_c + B_b C_c) V_{t1} + \dots + (A_b B_c + B_b D_c) I_{t1} + \dots + C_a B_b V_{st} - B_b D_a I_{st}] = 0 \quad (22)$$

• **Thành lập phương trình PT3**

Áp dụng phân tích tương tự trường hợp thành lập phương trình PT1:

$$PT3 := V_{t1} - [(A_a A_c + B_c C_a) V_{st} + \dots - (A_c B_a + B_c D_a) I_{st} + \dots + C_b B_c V_{r1} + B_c D_b I_{r1}] = 0 \quad (23)$$

• **Thành lập phương trình PT4**

Từ Hình 6 xác định  $V_{1b}$  và  $I_{1b}$ :

$$\begin{bmatrix} V_{1b} \\ -I_{1b} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_b & B_b \\ C_b & D_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{2b} \\ -I_{2b} \end{bmatrix} \quad (24)$$

$$\Rightarrow -I_{1b} = C_b \cdot V_{2b} - D_b \cdot I_{2b} \quad (25)$$

Từ Hình 6 xác định  $V_{1c}$  và  $I_{1c}$ :

$$\begin{bmatrix} V_{1c} \\ -I_{1c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_c & B_c \\ C_c & D_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{2c} \\ -I_{2c} \end{bmatrix} \quad (26)$$

$$\Rightarrow -I_{1c} = C_c \cdot V_{2c} - D_c \cdot I_{2c} \quad (27)$$

Từ Hình 6 xác định  $I_j$ :

$$-I_j = -I_{1b} - I_{1c} \quad (28)$$

Thế (25) và (27) vào phương trình (28):

$$-I_j = C_b \cdot V_{1b} - D_b \cdot I_{1b} + C_c \cdot V_{2c} - D_c \cdot I_{2c} \quad (29)$$

Kết hợp phương trình (24) và (29):

$$\begin{bmatrix} V_{1b} \\ -I_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_b & -B_b & 0 & 0 \\ C_b & -D_b & C_c & -D_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{2b} \\ I_{2b} \\ V_{2c} \\ I_{2c} \end{bmatrix} \quad (30)$$

Từ Hình 6 xác định  $V_{1a2}$  và  $I_{1a2}$ :

$$\begin{bmatrix} V_{1a2} \\ -I_{1a2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{a2} & B_{a2} \\ C_{a2} & D_{a2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{2a2} \\ -I_{2a2} \end{bmatrix} \quad (31)$$

Từ Hình 6, được:

$$V_{2a2} = V_{1b}; -I_{2a2} = -I_j; \quad (32)$$

Thế (30) và (32) vào phương trình (31):

$$\begin{bmatrix} V_{1a2} \\ -I_{1a2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{a2} & B_{a2} \\ C_{a2} & D_{a2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_b & -B_b & 0 & 0 \\ C_b & -D_b & C_c & -D_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{2b} \\ I_{2b} \\ V_{2c} \\ I_{2c} \end{bmatrix} \quad (33)$$

Từ Hình 6, được:

$$V_{2b} = V_r; I_{2b} = I_r; V_{2c} = V_t; I_{2c} = I_t; \quad (34)$$

Thế (34) vào phương trình (33), được phương trình xác định điện áp  $V_{frt}$  và  $I_{frt}$  dòng điện tại điểm sự cố  $F$  sử dụng điện áp và dòng điện trong sự cố đo lường từ đầu  $R, T$ :

$$\begin{bmatrix} V_{frt} \\ -I_{frt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{a2} & B_{a2} \\ C_{a2} & D_{a2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_b & -B_b & 0 & 0 \\ C_b & -D_b & C_c & -D_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{rf} \\ I_{rf} \\ V_{tf} \\ I_{tf} \end{bmatrix} \quad (35)$$

Áp dụng lý thuyết mạng 2 cửa và kết hợp với Hình 6, được phương trình xác định điện áp  $V_{fs}$  và dòng điện  $I_{fs}$  tại điểm sự cố  $F$  sử dụng điện áp và dòng điện đầu  $S$ :

$$\begin{bmatrix} V_{fs} \\ I_{fs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{a1} & -B_{a1} \\ -C_{a1} & A_{a1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{sf} \\ I_{sf} \end{bmatrix} \quad (36)$$

Áp dụng phương trình (35) xác định  $V_{frt1}$ :

$$V_{frt1} = (A_{a2} \cdot A_b + B_{a2} \cdot C_b) V_{rt1} - (A_{a2} \cdot B_b \dots - B_{a2} \cdot D_b) I_{rt1} + B_{a2} \cdot C_c \cdot V_{tt1} - B_{a2} \cdot D_c \cdot I_{tt1} \quad (37)$$

Áp dụng phương trình (36) xác định  $V_{fs1}$ :

$$V_{fs1} = A_{a1} \cdot V_{sf1} - B_{a1} \cdot I_{sf1} \quad (38)$$

Kết hợp (37) và (38), được:

$$PT4 := (A_{a1} \cdot V_{sf1} - B_{a1} \cdot I_{sf1}) \dots - [(A_{a2} \cdot A_b + B_{a2} \cdot C_b) V_{rt1} - (A_{a2} \cdot B_b \dots - B_{a2} \cdot D_b) I_{rt1} + B_{a2} \cdot C_c \cdot V_{tt1} - B_{a2} \cdot D_c \cdot I_{tt1}] = 0 \quad (39)$$

• **Thành lập phương trình PT5**

Áp dụng phân tích tương tự trường hợp thành lập phương trình PT4 kết hợp Hình 7:

$$PT5 := (A_{b1} \cdot V_{rt2} - B_{b1} \cdot I_{rt2}) - [(A_{b2} \cdot A_c + B_{b2} \cdot C_c) V_{tt2} - (A_{b2} \cdot B_c \dots + B_{b2} \cdot D_c) I_{tt2} + B_{b2} \cdot C_a \cdot V_{st2} - B_{b2} \cdot D_a \cdot I_{st2}] = 0 \quad (40)$$

• **Thành lập phương trình PT6**

Áp dụng phân tích tương tự trường hợp thành lập phương trình PT4 kết hợp Hình 8:

$$PT6 := (A_{c1} \cdot V_{rt3} - B_{c1} \cdot I_{rt3}) - [(A_{c2} \cdot A_c + B_{c2} \cdot C_a) V_{st3} - (A_{c2} \cdot B_a \dots + B_{c2} \cdot D_a) I_{st3} + B_{c2} \cdot C_b \cdot V_{rt3} - B_{c2} \cdot D_b \cdot I_{rt3}] = 0 \quad (41)$$

Tách phần thực và phần ảo phương trình (2) được hệ phương trình 12 biến  $x_1, x_2, \dots, x_{12}$ :

$$\begin{cases} f_1(x_1, x_2, \dots, x_{12}) = \text{real}(PT1) \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_{12}) = \text{imag}(PT1) \\ f_3(x_1, x_2, \dots, x_{12}) = \text{real}(PT2) \\ f_4(x_1, x_2, \dots, x_{12}) = \text{imag}(PT2) \\ \dots \\ f_{12}(x_1, x_2, \dots, x_{12}) = \text{imag}(PT6) \end{cases} \quad (42)$$

Hệ phương trình (42) là hệ phương trình phi tuyến, có 12 biến thực, sử dụng phần mềm MATLAB và phương pháp số tìm kiếm trong miền tin cậy với giá trị  $1e-5$  được chọn là giá trị nghiệm ban đầu của 12 biến, được:

$$\begin{cases} Z_{ca} = x_1 + i \cdot x_2; Z_{cb} = x_3 + i \cdot x_4; Z_{cc} = x_5 + i \cdot x_6 \\ \gamma_a = x_7 + i \cdot x_8; \gamma_b = x_9 + i \cdot x_{10}; \gamma_c = x_{11} + i \cdot x_{12} \end{cases} \quad (43)$$

## 2.2 Xác định vị trí sự cố

Khi có sự cố xảy ra, vì không thể biết trước vị trí sự cố xảy ra ở phân đoạn nào của đường dây rẽ nhánh, giải thuật định vị sự cố giả thiết có 3 vị trí sự cố: sự cố xảy ra trên phân đoạn  $SJ$  như Hình 3, sự cố xảy ra trên phân đoạn  $RJ$  như Hình 4, sự cố xảy ra trên phân đoạn  $TJ$  như Hình 5. Giả thiết này dẫn đến 3 chương trình con để xác định vị trí sự cố, vì thế có 3 vị trí sự cố. Vị trí sự cố chính xác được xác định sử dụng chương trình con thứ 4.

### 2.2.1 Chương trình con 1: Giả thiết sự cố xảy ra trên phân đoạn $SJ$ như Hình 3

$|V_{fs}|$  biên độ điện áp tại điểm sự cố xác định sử dụng điện áp và dòng điện đo lường từ đầu  $S$  phải bằng với  $|V_{frt}|$  biên độ điện áp tại điểm sự cố xác định sử

dụng điện áp và dòng điện tại điểm nối  $J$ , kết hợp phương trình (39), được:

$$EQ1 := \left| A_{a1} \cdot V_{sf} - B_{a1} \cdot I_{sf} \right| \dots - \left| (A_{a2} \cdot A_b + B_{a2} \cdot C_b) V_{rf} - (A_{a2} \cdot B_b \dots - B_{a2} \cdot D_b) I_{rf} + B_{a2} \cdot C_c \cdot V_{sf} - B_{a2} \cdot D_c \cdot I_{sf} \right| = 0 \quad (44)$$

2.2.2 Chương trình con 2: Giả thiết sự cố xảy ra trên phân đoạn RJ như Hình 4

$|V_{fr}|$  biên độ điện áp tại điểm sự cố xác định sử dụng điện áp và dòng điện đo lường từ đầu R phải bằng với  $|V_{fs}|$  biên độ điện áp tại điểm sự cố xác định sử dụng điện áp và dòng điện tại điểm nối J, kết hợp phương trình (40), được:

$$EQ2 := \left| A_{b1} \cdot V_{rf} - B_{b1} \cdot I_{rf} \right| \dots - \left| (A_{b2} \cdot A_c + B_{b2} \cdot C_c) V_{sf} - (A_{b2} \cdot B_c \dots + B_{b2} \cdot D_c) I_{sf} + B_{b2} \cdot C_a \cdot V_{sf} - B_{b2} \cdot D_a \cdot I_{sf} \right| = 0 \quad (45)$$

2.2.3 Chương trình con 3: Giả thiết sự cố xảy ra trên phân đoạn TJ như Hình 5

$|V_{ft}|$  biên độ điện áp tại điểm sự cố xác định sử dụng điện áp và dòng điện đo lường từ đầu T phải bằng với  $|V_{fsr}|$  biên độ điện áp tại điểm sự cố xác định sử dụng điện áp và dòng điện tại điểm nối J, kết hợp phương trình (41), được:

$$EQ3 := \left| A_{c1} \cdot V_{sf} - B_{c1} \cdot I_{sf} \right| \dots - \left| (A_{c2} \cdot A_a + B_{c2} \cdot C_a) V_{sf} - (A_{c2} \cdot B_a \dots + B_{c2} \cdot D_a) I_{sf} + B_{c2} \cdot C_b \cdot V_{sf} - B_{c2} \cdot D_b \cdot I_{sf} \right| = 0 \quad (46)$$

2.2.4 Chương trình con 4: Xác định vị trí sự cố

Phương trình (44) là phương trình phi tuyến một biến thực  $d$ , sử dụng phần mềm MATLAB với phương pháp số tìm kiếm lát cắt vàng trong khoảng  $[0..l_a]$ , được nghiệm  $d_a$  chính là vị trí sự cố xảy ra trên phân đoạn SJ.

Áp dụng phân tích tương tự đối với phương trình (45) với biến là  $d$  trong khoảng  $[0..l_b]$  và được nghiệm là  $d_b$  chính là vị trí sự cố xảy ra trên phân đoạn RJ; và phương trình (46) với biến là  $d$  trong khoảng  $[0..l_c]$  và được nghiệm là  $d_c$  chính là vị trí sự cố xảy ra trên phân đoạn TJ.

Áp dụng điều kiện sau để chọn vị trí sự cố chính xác  $d$ :

$$\begin{cases} fval(EQ1) \leq fval(EQ2) \\ v\mu \quad fval(EQ1) \leq fval(EQ3) \end{cases} \rightarrow d = d_a$$

$$N\ddot{O}u \begin{cases} fval(EQ2) \leq fval(EQ3) \\ v\mu \quad fval(EQ2) \leq fval(EQ1) \end{cases} \rightarrow d = d_b \quad (47)$$

$$\begin{cases} fval(EQ3) \leq fval(EQ1) \\ v\mu \quad fval(EQ3) \leq fval(EQ2) \end{cases} \rightarrow d = d_c$$

Trong đó:  $fval(EQ1)$ ,  $fval(EQ2)$ ,  $fval(EQ3)$  là giá trị của phương trình EQ1, EQ2, EQ3 khi thế giá trị  $d_a, d_b, d_c$  một cách tương ứng.

### 3. Kết quả mô phỏng

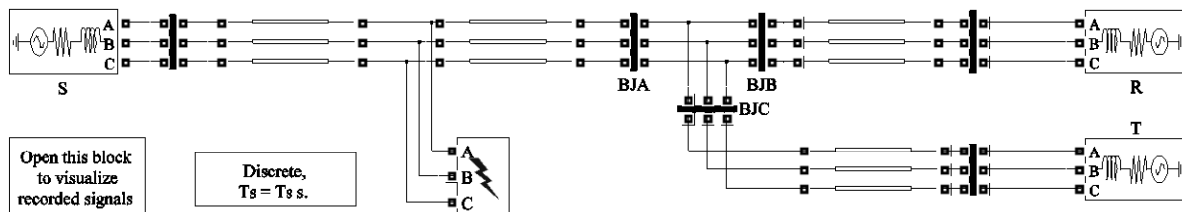
Mô hình đường dây rẽ nhánh như Hình 9 được sử dụng để minh họa cho thuật toán của bài báo, chiều dài phân đoạn SJ length  $l_a=45km$ , phân đoạn RJ  $l_b=30km$ , phân đoạn TJ  $l_c=35km$ , được mô phỏng trong môi trường Simulink của phần mềm Matlab. Thông số của mô hình đường dây rẽ nhánh được cho như trong Bảng 1, Bảng 2, Bảng 3, Bảng 4.

Bảng 1. Thông số nguồn

Nguồn	Điện áp (KV)	X/R	Pha (°)
S	230	10	5
R, T	235	10	0

Bảng 2. Thông số phân đoạn SJ

Thông số	Thứ tự thuận	Thứ tự nghịch
R ( $\Omega/km$ )	0.01143	0.24665
L (H/km)	0.00086839	0.0030886
C (F/km)	1.3426e-008	8.5885e-009



Hình 9. Mô hình mô phỏng đường dây rẽ nhánh

**Bảng 3.** Thông số phân đoạn RJ

Thông số	Thứ tự thuận	Thứ tự nghịch
R ( $\Omega$ /km)	0.0571	1.2333
L (H/km)	0.0017	0.0062
C (F/km)	1.3426e-008	8.5885e-009

**Bảng 4.** Thông số phân đoạn TJ

Thông số	Thứ tự thuận	Thứ tự nghịch
R ( $\Omega$ /km)	0.0229	0.4933
L (H/km)	0.0043	0.0154
C (F/km)	1.3426e-008	8.5885e-009

**Bảng 5.** Kết quả mô phỏng, sự cố xảy ra trên SJ

Thứ tự	Vị trí sự cố chính xác (km)	Vị trí sự cố tính toán (km)	Sai số (%)
1	5	4.9950	0.0111
2	12	11.9966	0.0076
3	15	14.9973	0.0061
4	17	16.9978	0.0049
5	20	19.9983	0.0037
6	23	22.9989	0.0024
7	27	26.9997	0.0006
8	32	32.0007	0.0016
9	39	39.0023	0.0051
10	41	41.0027	0.0061

Kết quả mô phỏng xác định vị trí sự cố thể hiện ở Bảng 5 với sai số nhỏ hơn 0.01% với phân đoạn đường dây có chiều dài  $l = 45\text{km}$ .

#### 4. Kết luận

Bài này trình bày thuật toán cải tiến các thuật toán [1]–[10] áp dụng định vị sự cố xảy ra trên đường dây truyền tải rẽ nhánh. Thuật toán không yêu cầu thông số đường dây và chỉ sử dụng thành phần thứ tự thuận của tín hiệu đo lường vì thế có thể áp dụng để định vị cho mọi loại sự cố và không yêu cầu thuật toán phân loại sự cố. Thuật toán sử dụng phương pháp phân bố điện áp từ hai phía đến điểm sự cố vì thế kết quả định vị sự cố không bị ảnh hưởng trong trường hợp tín hiệu không được đồng bộ hoàn hảo. Kết quả mô phỏng khi có sự cố xảy ra trên đường dây truyền tải rẽ nhánh có sai số định vị sự cố nhỏ hơn 0.01% cho thấy tính chính xác, hiệu quả của thuật toán.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] Abe Masayuki, Nobuo Otsuzuki, Tokuo Emura, Masayasu Takeuchi (1995) Development of A New Fault Location System for Multi-Terminal Single Transmission Lines, Power Delivery, IEEE Transactions, 10(1), (1995) 159 – 168.
- [2] Girgis Adly A., G. H. David, William L. Peterson (1992) A New Fault Location Technique for Two- and Three-Terminal Lines, Transactions on Power Delivery, 7(1), (1992) 98 – 107.
- [3] Aggarwal R. K., D. V. Coury, A. T. Johns, A. Kalam (1993) A Practical Approach to Accurate Fault Location on Extra High Voltage Teed Feeders, IEEE Transactions on Power Delivery, 8(3), (1993) 874–883.
- [4] Lin Ying-hong, Chih-wen Liu, Chi-shan Yu (2002) A New Fault Locator for Three-Terminal Transmission Lines—Using Two-Terminal Synchronized Voltage and Current Phasors, IEEE Transactions on Power Delivery, 17(2), (2002) 452–459.
- [5] Lin Tzu-chiao, Pei-yin Lin, Chih-wen Liu (2014) An Algorithm for Locating Faults in Three-Terminal Multisection Nonhomogeneous Transmission Lines using Synchrophasor Measurements, IEEE Transactions On Smart Grid, 5(1), (2014) 38–50.
- [6] Liu Chih-wen, Kai-ping Lien, Ching-shan Chen, Joe-air Jiang (2008) A Universal Fault Location Technique for N-Terminal ( $N \geq 3$ ) Transmission Lines, IEEE Transactions On Power Delivery, 23(3), (2008) 1366–1373.
- [7] Brahma S. M. (2005) Fault Location Scheme for a Multi-Terminal Transmission Line using Synchronized Voltage measurements, IEEE Transactions on Power Delivery, 20(2), (2005) 1325–1331.
- [8] Brahma Sukumar M. (2006) New Fault-Location Method for a Single Multiterminal Transmission Line Using Synchronized Phasor Measurements, IEEE Transactions on Power Delivery, 21(3), (2006) 1148–1153.
- [9] Jiang Quanyuan, Bo Wang, Xingpeng Li (2014) An Efficient PMU-Based Fault-Location Technique for Multiterminal Transmission Lines, IEEE Transactions On Power Delivery, 29(4), (2014) 1675–1682.
- [10] Izykowski Jan, Eugeniusz Rosolowski, Murari Mohan Saha, Marek Fulczyk, Przemyslaw Balcerek (2007) A Fault-Location Method for Application with Current Differential Relays of Three-Terminal Lines, IEEE Transactions on Power Delivery, 22(4), (2007) 2099–2107.
- [11] John Bird (2010) Electrical Circuit Theory and Technology, Fourth. Elsevier Ltd.