

PHÂN TÍCH HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ SỰ CỐ BẰNG PHƯƠNG PHÁP SÓNG LAN TRUYỀN CHO ĐƯỜNG DÂY TRUYỀN TẢI ĐIỆN 500KV ĐỐC SỎI - ĐÀ NẴNG

ANALYZE THE FAULT LOCATING SYSTEM BY TRAVELING WAVE METHOD FOR 500KV DOC SOI - DA NANG TRANSMISSION LINE

Lê Kim Hùng¹, Vũ Phan Huân², Trương Thanh Trường³

¹Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng; lekimhung@dut.udn.vn.

²Công ty TNHH MTV Thị nghiệm Điện miền Trung; vuphanhuan@gmail.com

³Công ty Truyền tải Điện 2; thanhtruong1181@gmail.com

Tóm tắt - Bài báo sử dụng phần mềm Matlab-Simulink để phân tích, đánh giá phương pháp sóng lan truyền sóng kiểu D, áp dụng cho đường dây truyền tải điện 500 kV Đốc Sỏi - Đà Nẵng có chiều dài 100 km. Đầu tiên, các tín hiệu điện áp pha A, B, C ở hai đầu đường dây được thu thập bằng biến điện áp CVT. Sau đó, nhóm tác giả lấy mẫu với tần số 10 MHz cho thành phần alpha của điện áp (Va) các pha thông qua phép biến đổi Clarke. Tiếp đến, lọc các mẫu này bằng cách trích xuất hệ số chi tiết bậc 1 (Cd1) bằng công cụ Wavelet họ Daubechies 4. Cuối cùng là tính toán khoảng cách sự cố trong các trường hợp mô phỏng sự cố trên đường dây với điện trở sự cố (10, 20, 30 Ω), phụ tải thay đổi, và sử dụng tụ bù dọc. Kết quả thu được của bài báo đã giải quyết tốt vấn đề mà phương pháp tổng trở hiện tại chưa đáp ứng được, đó là xác định nhanh chóng, chính xác vị trí sự cố trên đường dây truyền tải điện với sai số không quá ± 84 m.

Từ khóa - sóng lan truyền; biến đổi Clarke; truyền tải điện; định vị sự cố; Matlab Simulink.

1. Đặt vấn đề

Lưới điện truyền tải là các đường dây có chiều dài tương đối lớn, đi qua địa hình phức tạp, cho nên việc xác định chính xác vị trí sự cố giúp giảm được thời gian ngừng vận hành của đường dây để khắc phục sự cố và giảm chi phí vận hành đường dây khi xử lý sự cố. Trong thực tế vận hành, các sự cố trên lưới thường thoáng qua nên việc xác định chính xác vị trí sự cố sẽ giúp cho đơn vị quản lý thực hiện các giải pháp ngăn ngừa như thay thế các chuỗi sứ bị phóng điện, cắt tia các cây cao ngoài hành lang có thể vi phạm khoảng cách khi có tác động của gió....

Hiện nay, việc xác định điểm sự cố sử dụng phổ biến nhất là thuật toán tổng trở đo được từ một đầu đường dây. Tuy nhiên, thuật toán này chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố như: sai số thiết bị đo lường về dòng điện (CT) và điện áp (VT), ảnh hưởng của điện trở sự cố đến vùng làm việc của role khoảng cách, ảnh hưởng của thiết bị bù, ảnh hưởng của thông số đường dây, ảnh hưởng của cấu hình cột điện, ... [1], [2], [3]. Mặc dầu các hãng sản xuất đã đưa ra nhiều giải pháp để khắc phục như sử dụng hệ số bù chạm đất k_E , bù tác dụng tương hỗ của đường dây song song k_M , trì hoãn thời gian tác động khi đường dây có lắp tụ bù, đo tổng trở toàn đường dây khi không tải,... nhưng sai số về vị trí sự cố vẫn rất lớn, gây khó khăn cho việc tìm kiếm và khắc phục sự cố.

Thông kê thực tế một số sự cố sử dụng thuật toán tổng trở của role Siemens 7SA tại TBA 500kV Đốc Sỏi cho đường dây mạch kép 220kV Đốc Sỏi/276-Tam Kỳ/272, Đốc Sỏi/277-Tam Kỳ/271, đường dây 500kV Đốc Sỏi/574-Đà Nẵng/576 như Bảng 1 cho thấy sai số định vị còn khá lớn.

Abstract - This article uses Matlab-Simulink software to analyze and evaluate type D wave travelling propagation method, which is applied to 500 kV Doc Soi - Da Nang transmission line with the length of 100 km. Firstly, the voltage signals of phase A, B, and C at the two terminals are collected by the CVT voltage transformer. Then, we sample them with the 10 MHz frequency for the alpha component of the phase voltage (Va) through Clarke's transformation. Next, we filter these samples by extracting the first detail coefficient (Cd1) using the Daubechies 4 Wavelet tool. Finally, the incident distance calculation in the case of fault simulations on the transmission line such as fault resistors (10, 20, or 30 Ω), changeover loads, and vertical compensation capacitors is calculated. The results of the article solve the problem that the impedance method can not. That is to quickly and accurately determine the position of the fault on the transmission line with the error not exceeding ± 84 meters.

Key words - travelling wave; Clarke's transformation; transmission grid; fault location; Matlab Simulink.

Bảng 1. Kết quả xác định vị trí sự cố trên role khoảng cách và tìm kiếm thực tế tại TBA 500kV Đốc Sỏi

Đường dây	Thời điểm sự cố	L (km)	m_{tt} (km)	m (km)
Đốc Sỏi/276-Tam Kỳ/272	01/12/2016	42,58	33,1 5,671	35,08 7,5
Đốc Sỏi/277-Tam Kỳ/271	01/12/2016	42,58	30,1 6,129	35,08 7,5
Đốc Sỏi/574-Đà Nẵng/576	03/12/2016	108,6	108,6 53,88	62,42 46,11

Trong đó, L là chiều dài đường dây, m_{tt} là vị trí sự cố hiển thị trên role tại TBA Đốc Sỏi và TBA đối diện, và m là vị trí sự cố thực tìm thấy trên đường dây.

Nhằm khắc phục nhược điểm phương pháp định vị sự cố của role bảo vệ đang sử dụng phổ biến trên lưới điện, bài báo trình bày các phương pháp định vị sự cố bằng sóng lan truyền. Trên cơ sở đó, nhóm tác giả thực hiện phân tích, đánh giá cấp chính xác phương pháp kiểu D ứng dụng cho đường dây 500kV Đốc Sỏi – Đà Nẵng bằng phần mềm Matlab Simulink để đưa ra kết luận của bài viết.

2. Định vị sự cố bằng phương pháp sóng lan truyền trên đường dây tải điện

Thuật toán sóng lan truyền dựa trên nguyên lý quá độ điện khi xảy ra sự cố trên đường dây truyền tải điện. Sóng sự cố lan truyền gần với tốc độ ánh sáng, chạy dọc theo đường dây hướng về vị trí đặt thiết bị định vị và thiết bị định vị sự cố sẽ nhận biết sóng đến để gán nhãn thời gian tương ứng. Tùy thuộc vào phương pháp đo được sử dụng

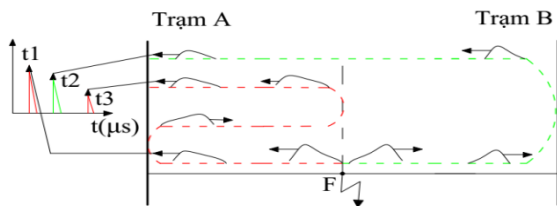
mà bộ định vị điểm sự cố chia thành 05 phương pháp A, B, C, D và E, có thể tóm tắt như sau.

Phương pháp A: Bộ định vị điểm sự cố kiểu A thực hiện phép đo ở một phía của đường dây, khoảng cách đến điểm sự cố được phân tích bằng cách xác định độ lệch thời gian giữa sóng đầu tiên tạo ra tại vị trí sự cố đến trạm A (t_1) và sóng phản xạ tiếp theo từ vị trí sự cố về A (t_3), như Hình 1. Khoảng cách d đến vị trí sự cố F được xác định tại trạm A theo công thức [4]:

$$d = \frac{t_3 - t_1}{2} \times v \quad (1)$$

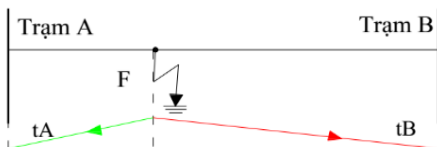
Trong đó, v là vận tốc truyền sóng trên đường dây (m/s).

Sai số của phương pháp chịu ảnh hưởng bởi thời gian ngắn mạch và phát sinh hồ quang tại điểm sự cố, nếu thời gian tồn tại quá ngắn thì sẽ khó có sóng phản xạ lần hai từ điểm sự cố.



Hình 1. Bộ định vị sự cố loại A

Phương pháp B: Bộ định vị điểm sự cố kiểu B dựa vào kết quả thực hiện phép đo cả hai đầu đường dây, sóng sự cố từ điểm F chạy về cả hai đầu trạm A và B như Hình 2. Sự xuất hiện của đợt sóng đầu tiên vài micro giây đến một đầu kích hoạt bộ hẹn giờ. Bộ đếm thời gian bị tắt ở đầu kích hoạt khi tín hiệu từ thiết bị được cài đặt ở đầu đối diện được gửi đi, khi sóng phát ra từ vị trí sự cố được phát hiện trong thiết bị.

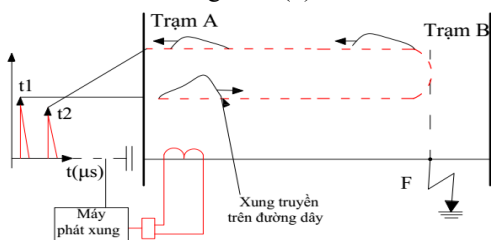


Hình 2. Bộ định vị sự cố loại B

Việc tính toán khoảng cách vị trí sự cố cũng tương tự như phương pháp đo kiểu D (sẽ được trình bày dưới đây).

Sai số của phương pháp là phải tính toán đến sự chậm trễ liên quan đến việc truyền tín hiệu từ trạm đối diện đến trạm kích hoạt làm dừng bộ hẹn giờ.

Phương pháp C: Bộ định vị loại C thực hiện các phép đo ở một phía của đường dây. Bộ định vị gửi một xung đến vị trí mà xảy ra sự cố tại F, khoảng cách đến vị trí sự cố được tính bằng khoảng thời gian giữa thời điểm gửi xung (t_1) và thời gian sóng phản xạ từ vị trí sự cố về trạm A (t_2) thể hiện ở Hình 3, và công thức (2) [4]:



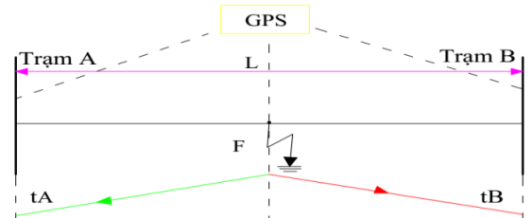
Hình 3. Bộ định vị sự cố loại C

$$d = \frac{t_2 - t_1}{2} \times v \quad (2)$$

Phương pháp này thực hiện ghép nối máy phát xung vào đường dây gặp rất nhiều khó khăn và tốn kém chi phí.

Phương pháp D: Khác với phương pháp B, phương pháp định vị kiểu D yêu cầu đồng bộ thời gian của thiết bị được lắp trên hai đầu, bộ định vị sự cố xác định thời điểm sóng đầu tiên tới trạm A (t_A) và trạm B (t_B), xem Hình 4.

Khoảng cách d đến vị trí sự cố F tính từ Trạm A được xác định theo công thức [4]:



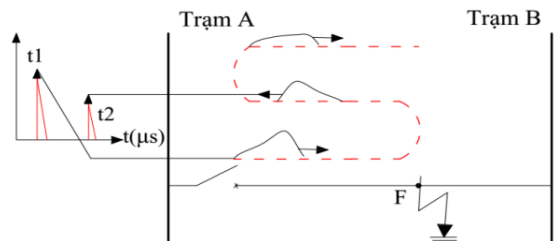
Hình 4. Bộ định vị sự cố loại D

$$d = \frac{L + (t_A - t_B) \times v}{2} \quad (3)$$

Trong đó, L là chiều dài toàn bộ đường dây (nối từ trạm A đến trạm B) (m).

Phương pháp D có độ chính xác cao (ngay cả đường dây có bù dọc và đường dây song song, ngay cả khi mất kênh thông tin). Tuy nhiên, khi đường dây bị tuột lèo thì phương pháp D không xác định được vị trí sự cố.

Phương pháp E: Bộ định vị kiểu E thực hiện phép đo ở một phía của đường dây, với mục đích sử dụng sóng gây ra bởi máy cắt trên đường dây. Điện áp trong các pha khi có lệnh chuyển mạch của máy cắt có một sự thay đổi biên độ và pha khác nhau, kết quả từ việc chuyển đổi mỗi cực trong một khoảng thời gian khác nhau. Khoảng thời gian giữa xung thứ nhất khởi tạo bởi máy cắt đóng (t_1) và xung phản xạ từ mạch vòng của điểm sự cố về trạm A (t_2) được cho ở Hình 5, dùng làm cơ sở để tính toán cho khoảng cách đến điểm sự cố [4]:



Hình 5. Bộ định vị sự cố loại E

$$d = \frac{t_2 - t_1}{2} \times v \quad (4)$$

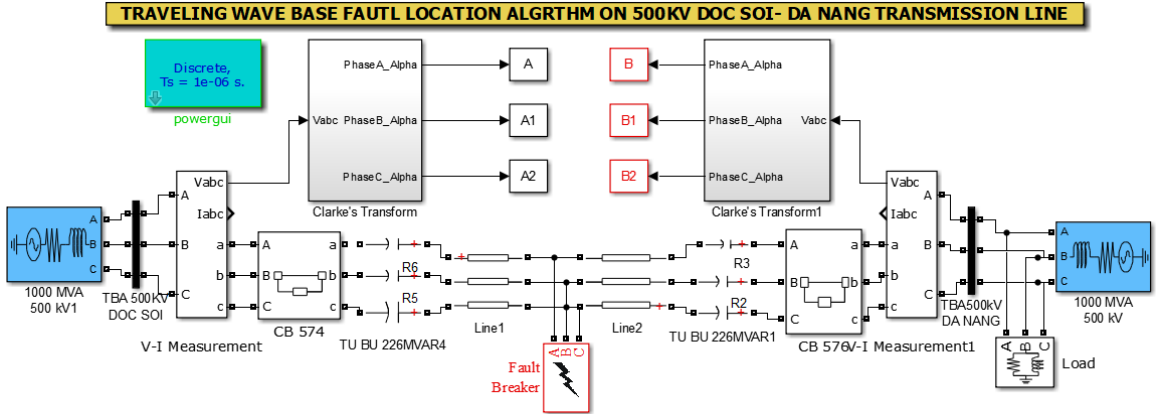
Bộ định vị kiểu E có thể được sử dụng để phát hiện vị trí của dây dẫn bị tuột lèo hoặc đứt.

Nhận xét: Mỗi phương pháp định vị sự cố có ưu, nhược điểm và phạm vi ứng dụng riêng, với kiểu D đáp ứng rất tốt yêu cầu về độ chính xác và tin cậy, kiểu E có khả năng định vị sự cố trong trường hợp sự cố tuột lèo hoặc đứt dây, kiểu A đơn giản nhất nhưng độ tin cậy của nó phụ thuộc vào kiểu dáng khác nhau của sự cố như hồ quang và các đường dây bên cạnh, còn kiểu C cho độ chính xác cao

nhưng phải sử dụng thiết bị phát xung, gây khó khăn cho việc vận hành và ghép nối vào hệ thống điện. Hầu hết các sự cố trên lưới điện truyền tải là do khách quan như thời tiết, dây điều của trẻ em, cây ngoài hành lang đổ vào đường dây, sét đánh vòng hoặc cảm ứng vào dây dẫn, ... cho nên phương pháp kiểu D được nhóm tác giả đề xuất áp dụng, phân tích.

3. Xây dựng mô hình đường dây để đánh giá phương pháp định vị sự cố bằng sóng lan truyền

Để đánh giá tính ưu việt của phương pháp, nhóm tác giả sử dụng phần mềm Matlab-Simulink mô phỏng cho đường dây truyền tải, điển hình là đường dây đường dây 500kV Dốc Sỏi/574 - Đà Nẵng/576 (Hình 6).



Hình 6. Mô hình mô phỏng phương pháp định vị sự cố bằng sóng lan truyền cho đường dây 500kV Dốc Sỏi/574 - Đà Nẵng/576

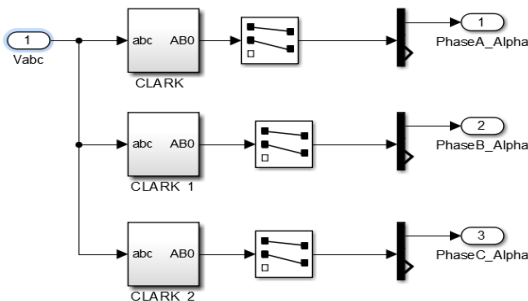
a. Đường dây truyền tải: đường dây 3 pha thông số rải, như Bảng 2.

Bảng 2. Thông số mô phỏng

Đường dây	Phụ tải	Tụ bù dọc
$L = 100 \text{ km}$ $RL1 = 0,021725 \Omega/\text{km}$ $RL0 = 0,19444 \Omega/\text{km}$ $LL1 = 3,949e^{-4} \text{ H/km}$ $LL0 = 10,072e^{-4} \text{ H/km}$ $CL1 = 29e^{-9} \text{ F/km}$ $CL0 = 11,103 e^{-9} \text{ F/km}$	Bình thường $P = 500 \text{ MW}$, $Q = 50 \text{ Mvar}$, tải cao gấp 2 lần tải bình thường	226 Mvar

b. Khối đo lường dòng điện và điện áp 3 pha: sử dụng tín hiệu điện áp để đưa vào bộ phận biến đổi tín hiệu sóng.

c. Khối thu thập biến đổi tín hiệu sóng: Để thu thập giá trị tức thời của tín hiệu sóng truyền khi có sự cố từ hai đầu đường dây, ta có thể sử dụng tín hiệu sóng dòng điện hoặc sóng điện áp. Bài báo sử dụng sóng điện áp để phân tích, tính toán thông qua phép biến đổi Clarke như Hình 7.



Hình 7. Khối biến đổi Clarke's

Xét phương trình xác định thành phần Clarke của điện áp [5]:

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & -1 & -1 \\ 1 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} \quad (5)$$

Nếu điện áp bằng nhau chạy qua dây dẫn A, B, C và quay trở lại điểm nối đất thì chỉ có điện áp V_0 (zero) được tính toán ở hàng trên cùng của (5). Nếu tất cả điện áp chạy qua pha A và trả về một nửa trên B và C, thì chỉ có điện áp V_α (alpha) tính toán ở hàng giữa (5). Nếu tất cả điện áp chạy qua pha B và trả về C thì chỉ có điện áp V_β (beta) được kích thích và được hiển thị ở cột dưới cùng (5). Như vậy, thành phần V_0 chỉ hoạt động khi có chạm đất, thành phần V_α hoạt động tốt cho cả sự cố pha - đất và pha - pha, thành phần V_β thích hợp cho sự cố pha - pha. Cho nên, bài báo sử dụng 3 bộ thành phần điện áp V_α cho pha A, pha B và pha C để tính toán trong các trường hợp sự cố [5]:

$$\begin{bmatrix} V_\alpha^A \\ V_\beta^A \\ V_0^A \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_\alpha^B \\ V_\beta^B \\ V_0^B \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} -1 & 2 & -1 \\ -\sqrt{3} & 0 & \sqrt{3} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} V_\alpha^C \\ V_\beta^C \\ V_0^C \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} -1 & -1 & 2 \\ \sqrt{3} & \sqrt{3} & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix}$$

Tín hiệu điện áp V_α^A , V_β^A , V_0^A từ cả hai đầu đường dây được chuyển đến bộ lấy mẫu, với tần số lấy mẫu rất cao $1.e^{-7}$. Các tên gọi A, A1, A2 tương ứng với pha A, B, C của phía đầu Dốc Sỏi và tên gọi B, B1, B2 tương ứng với pha A, B, C của phía đầu Đà Nẵng.

Sau đó sử dụng công cụ phân tích sóng Wavelet với họ Wavelet Daubechies 4 bằng Matlab Code:

```
%sử dụng bộ lọc phân tích sóng Daubechies4 wavelet
[Lo_D,Hi_D] = wfilters('db4','d');
%Bộ lọc tái tạo
```

```

[Lo_R,Hi_R] = wfilters('db4','r');
%phan tich tin hieu song thanh 4 muc 'db4'
[ca,la] = wavedec(A,4,Lo_D,Hi_D);
% trích xuất hệ số chi tiết ở mức 4 từ wavelet đầu A
% cấu trúc phân tích [c,l]
[cd1A, cd2A, cd3A, cd4A] = detcoef(ca,la,[1 2 3 4]);
% hình (1); in(tin hieu); vitri('tin hieu goc')
figure (1); plot (cd1A); title('BUS A');
[cb,lb] = wavedec(B,4,Lo_D,Hi_D);
% trích xuất hệ số chi tiết ở mức 4 từ wavelet đầu B
% cấu trúc phân tích [c,l]
[cd1B, cd2B, cd3B, cd4B] = detcoef(cb,lb,[1 2 3 4]);
% hình (1); in(tin hieu); vitri('tin hieu goc')
figure (2); plot (cd1B); title('BUS B');

```

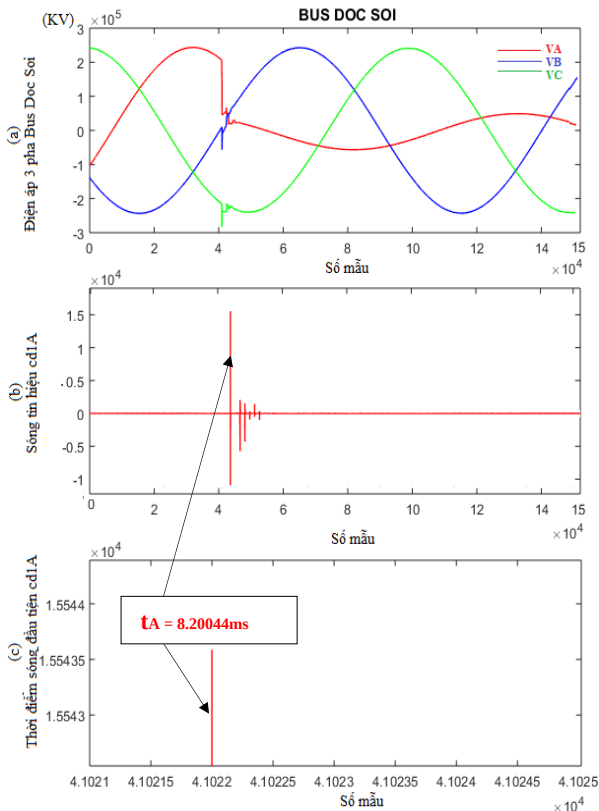
d. Khởi sự cố ba pha: tạo dạng sự cố 01 pha, 02 pha, 03 pha, ...

e. Thuật toán tính toán xác định vị trí sự cố: được trình bày tại công thức (3).

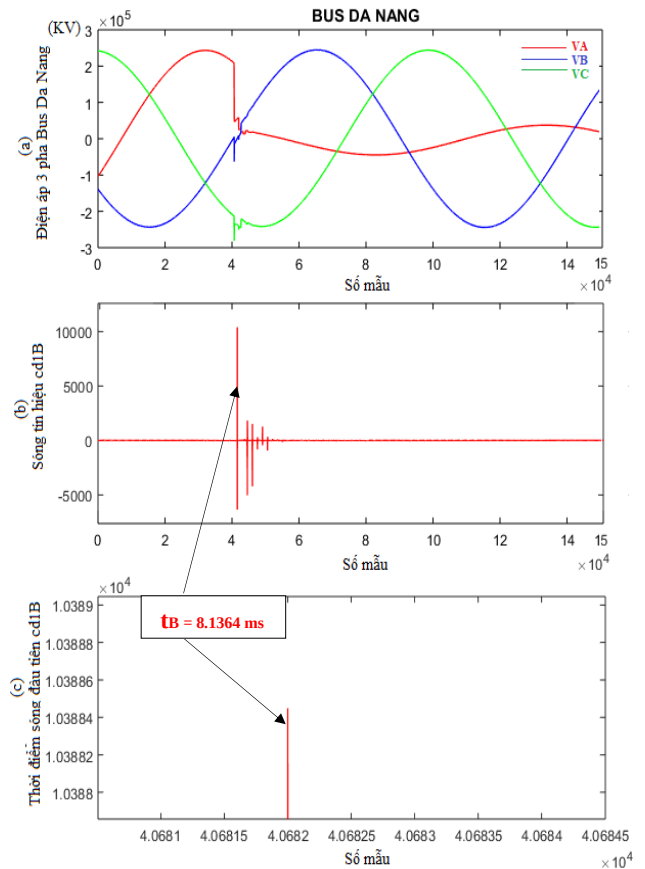
4. Kết quả mô phỏng

Thời gian mô phỏng $t = 0,03$ s, thời gian lấy mẫu $t = 1e^{-7}$, $t = 0,008$ s là thời điểm tạo sự cố và 15×10^4 số mẫu thu được tương ứng.

Xét trường hợp sự cố 01 pha với điện trở $R_F = 10 \Omega$ cách Trạm Dốc Sỏi 60 km với thông số như Bảng 2, thì sóng truyền về hai đầu sau khi sử dụng công cụ Wavelet để phân tích, ta xác định được thời điểm và độ lớn của sóng tín hiệu cd1A, cd1B có dạng như Hình 8, Hình 9.



Hình 8. Xác định tín hiệu sóng truyền về đầu Dốc Sỏi: (a) Tín hiệu đo lường điện áp 3 pha; (b) Tín hiệu cd1A của điện áp pha A sau phân tích bằng Wavelet; (c) Thời điểm sóng đầu tiên truyền từ điểm sự cố



Hình 9. Xác định tín hiệu sóng truyền về đầu Đà Nẵng: (a) Tín hiệu đo lường điện áp 3 pha; (b) Tín hiệu cd1A của điện áp pha A sau phân tích bằng Wavelet; (c) Thời điểm sóng đầu tiên truyền từ điểm sự cố

Tính toán xác định vị trí sự cố:

+ Theo Hình 8c, thời gian sóng truyền về đầu Dốc Sỏi của sóng đầu tiên là:

$$t_A = (4,01021 \times 10^4 \times 0,03) / 15 \times 10^4 = 0,00820044 \text{ s}$$

+ Theo Hình 9c, thời gian sóng truyền về đầu Đà Nẵng của sóng đầu tiên là:

$$t_B = (4,0682 \times 10^4 \times 0,03) / 15 \times 10^4 = 0,0081364 \text{ s}$$

+ Theo tài liệu [6], ta có vận tốc truyền sóng trên đường dây truyền tải:

$$v = \frac{1}{\sqrt{L_{L1} \times C_{L1}}} = \frac{1}{\sqrt{3,949e^{-4} \times 29e^{-9}}} = 295499,9 \text{ km/s}$$

+ Vị trí sự cố tính từ đầu Dốc Sỏi theo công thức (3):

$$m_A = \frac{1}{2} \times [L + (t_A - t_B) \times v]$$

$$m_A = \frac{1}{2} \times [100 + (0,0082044 - 0,0081364) \times 295499,9]$$

$$m_A = 60,047(\text{km})$$

Tương tự, mô phỏng lần lượt cho các trường hợp sự cố AG, BC, ABC ứng với điện trở sự cố R_F thay đổi 10, 20, 30 Ω ở chế độ phụ tải bình thường, phụ tải tải cao, có tụ và không có tụ, ta có kết quả như Bảng 3.

Bảng 3. Kết quả mô phỏng tính toán áp dụng cho đường dây 500kV Dốc Sỏi/574- Đà Nẵng/576

Khoảng cách thực, km	RF (Ω)	Dạng sự cố			Phụ tải		Tụ bù dọc	
		AG (km)	BC (km)	ABC (km)	500 MW, 50 MVAR	1000 MW, 100 MVAR	226 MVAR	0 MVAR
5	10, 20, 30	5,084	5,084	5,084	5,084	5,084	5,084	5,084
15	10, 20, 30	14,983	14,983	14,983	14,983	14,983	14,983	14,983
25	10, 20, 30	25,03	25,03	25,03	25,03	25,03	25,03	25,03
35	10, 20, 30	34,929	34,929	34,929	34,929	34,929	34,929	34,929
45	10, 20, 30	44,976	44,976	44,976	44,976	44,976	44,976	44,976
50	10, 20, 30	50	50	50	50	50	50	50
55	10, 20, 30	55,023	55,023	55,023	55,023	55,023	55,023	55,023
60	10, 20, 30	60,047	60,047	60,047	60,047	60,047	60,047	60,047
65	10, 20, 30	65,07	65,07	65,07	65,07	65,07	65,07	65,07
75	10, 20, 30	74,969	74,969	74,969	74,969	74,969	74,969	74,969
85	10, 20, 30	85,016	85,016	85,016	85,016	85,016	85,016	85,016
95	10, 20, 30	94,915	94,915	94,915	94,915	94,915	94,915	94,915

Nhận xét: Định vị sự cố bằng phương pháp sóng lan truyền kiểu D cho đường dây 500kV, cần có thông tin về chiều dài đường dây, vận tốc truyền sóng và thời gian chênh lệch của xung tín hiệu đầu tiên truyền đến hai đầu đường dây để tính toán điểm sự cố. Kết quả thu được của Bảng 3 có sai số lớn nhất 84 m, sai số nhỏ nhất bằng 0 m khi sự cố giữa đường dây.

5. Kết luận

Bài báo đã thực hiện mô phỏng, đánh giá sai số của hệ thống định vị sự cố bằng phương pháp sóng lan truyền kiểu D trong các điều kiện vận hành khác nhau của hệ thống như điện trở sự cố, dạng ngắn mạch, tụ bù dọc, phụ tải, ... và cho ra kết quả có độ chính xác cao hơn rất nhiều so với phương pháp tổng trở ứng dụng trong role bảo vệ truyền thống. Dựa trên cơ sở đó, nhóm tác giả đề xuất lựa chọn sử dụng bộ định vị sự cố SFL2000 của hãng Kinkei với tần số lấy mẫu 10 MHz, thiết bị đồng bộ GPS GNSS của hãng Puruno, hệ thống mạng WAN liên kết tất cả các đơn vị trực thuộc và từng trạm biến áp của Tổng Công ty Truyền tải điện NPT với tốc độ 1 Gbit/s, và máy tính chủ được lắp đặt tại đơn vị điều hành xử lý sự cố. Hiệu quả mang lại sau khi

đưa vào vận hành, hệ thống định vị sự cố đề xuất sẽ đóng vai trò vô cùng to lớn trong việc giảm thiểu thời gian mất điện cũng như nâng cao độ tin cậy vận hành hệ thống điện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Trần Đình Long, *Bảo vệ các hệ thống điện*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2007.

[2] Dipl.-Ing. Ulrich Klapper, Dr. Michael Krüger, Dipl.-Ing. Wolfgang Wurzer, *Measurement of Line Impedances and Mutual Coupling of Parallellines, Relay Protection and Substation Automation of Modern EHV Power Systems*, Moscow – Cheboksary, 2007.

[3] Le Kim Hung, Vu Phan Huan, “An ANFIS Based Approach to Improve the Fault Location on 110 kV Transmission Line Dak Mil – Dak Nong”, *International Journal of Computer Science Issues*, Vol. 11, Issue 3, No. 1, 2014.

[4] Gale P. F., Taylor P. V., Naidoo P., Hitchin C., Clowes D., *Travelling Wave Fault Locator Experience on Eskom's TransmissionNetwork*, Seventh International Conference on Developments in Power System Protection (IEE) April 2001, pp. 327–330.

[5] Edmund O. Schweitzer, III, Armando Guzmán, Mangapathirao V. Mynam, Veselin Skendzic, and Bogdan Kasztenny Locating Faults by the Traveling Waves They Launch, *Schweitzer Engineering Laboratories* (2014), Inc.

[6] Võ Viết Đan, *Giáo trình kỹ thuật điện cao áp*, NXB Hà Nội, 1972.

(BBT nhận bài: 10/05/2018, hoàn tất thủ tục phản biện: 25/05/2018)