

DOI:10.22144/ctu.jvn.2022.069

ỨNG DỤNG MATLAB APP DESIGNER THIẾT KẾ CHƯƠNG TRÌNH MÔ PHỎNG ĐỊNH VỊ SỰ CỐ TRÊN ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN DỰA TRÊN CÁC PHƯƠNG PHÁP TỔNG TRỞ

Ngô Minh Khoa^{1*}, Mai Vũ Cường², Huỳnh Quốc Cường² và Nguyễn Trương Tấn Hiếu²

¹Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Quy Nhơn

²Sinh viên ngành Kỹ thuật điện - Điện tử K41, Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Quy Nhơn

*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Ngô Minh Khoa (email: ngominhkhhoa@gnu.edu.vn)

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 07/02/2022

Ngày nhận bài sửa: 14/03/2022

Ngày duyệt đăng: 22/03/2022

Title:

Using Matlab App Designer to design the fault location program on the power transmission lines based on impedance methods

Từ khóa:

Điện trở sự cố, định vị sự cố, nhận dạng sự cố, phương pháp tổng trở, sự cố ngắn mạch

Keywords:

Fault resistance, fault location, fault identification, impedance method, short circuit

ABSTRACT

The Matlab App Designer was used to design the fault location simulation program for power transmission lines. The impedance-based methods are applied to determine the fault location on the transmission line via the voltage and current measurements at the single and double ends of the line. This program can be applied to several voltage level transmission lines, and it can be used to simulate four fault types with different fault locations and resistances along the line. Moreover, the program is packed to the *.exe file, so it can be installed into any computer without the Matlab software. The simulation results of the 220 kV and 110 kV transmission lines are studied to investigate the performance of the designed program. The simulation results showed that the program works effectively and correctly.

TÓM TẮT

Matlab App Designer được ứng dụng trong nghiên cứu để thiết kế chương trình mô phỏng định vị sự cố trên đường dây tải điện. Các phương pháp được sử dụng để xác định vị trí sự cố dựa trên các phương pháp tổng trở. Các phương pháp đó sử dụng dữ liệu đo lường điện áp và dòng điện từ một và hai đầu đường dây. Chương trình được thiết kế trong bài báo này mang tính tổng quát cao, có thể áp dụng cho nhiều đường dây cấp điện áp khác nhau, khảo sát toàn diện cho bốn dạng sự cố ngắn mạch tại các vị trí và tổng trở sự cố thay đổi dọc theo chiều dài đường dây. Ngoài ra, chương trình mô phỏng được đóng gói thành file chạy *.exe nên có thể cài đặt ở bất kỳ máy tính mà không cần thiết phải có phần mềm Matlab để tiến hành mô phỏng. Trường hợp nghiên cứu đối với đường dây cấp điện áp 220 kV và 110 kV được áp dụng để khảo sát và đánh giá chương trình đã thiết kế. Các kết quả mô phỏng đã cho thấy được chương trình làm việc hiệu quả và chính xác.

1. GIỚI THIỆU

Trong quá trình vận hành hệ thống điện, ngắn mạch là một dạng sự cố không mong muốn xảy ra, không thể dự đoán trước và được gây ra bởi nhiều

nguyên nhân khác nhau (Hùng & Huấn, 2021; Saha et al., 2009). Sự cố này rất nguy hiểm trong hệ thống điện vì có thể gây ra những hậu quả rất nghiêm trọng. Hơn nữa, với đặc điểm trải dài trên diện rộng

và đi qua nhiều vùng đồi núi với mật độ giông sét cao nên đường dây truyền tải điện là một phần tử chịu nhiều sự cố ngắn mạch nhất trong hệ thống điện (IEEE Standard, 2014; Mosavi & Tabatabaei, 2016). Vì đặc điểm địa hình đồi núi phức tạp nên việc phát hiện và định vị chính xác sự cố trên đường dây tải điện sẽ góp phần tạo ra điều kiện nhanh chóng và thuận lợi hơn trong công tác tìm kiếm và khắc phục sự cố qua đó giúp giảm thiểu thời gian gián đoạn cung cấp điện, nâng cao độ tin cậy của hệ thống điện. Nếu không phát hiện, bảo vệ và khắc phục kịp thời các sự cố ngắn mạch thì nó có thể gây ra những hậu quả nghiêm trọng đối với hệ thống điện (Maner & Lavand, 2018). Do đó, xác định được vị trí sự cố trên đường dây tải điện ngày càng cần thiết và cấp bách, giúp nhanh chóng xác định vị trí sự cố để đưa ra kết quả chính xác nhằm rút ngắn thời gian cắt điện, sửa chữa và tiết kiệm chi phí nhân công (Reis et al., 2021).

Để xác định điểm sự cố trên đường dây truyền tải, chúng ta có thể dựa vào thông tin ghi khoảng cách điểm sự cố của bảo vệ khoảng cách, nhưng sai số thường là rất lớn. Vì vậy, chúng ta phải kết hợp rải quân, băng rừng, lội suối đi kiểm tra từng vị trí trên toàn tuyến đường dây bị sự cố. Việc xác định chính xác vị trí điểm sự cố là công việc khó khăn, tốn nhiều công sức và thời gian mà trong đó quy trình xác định sự cố trên đường dây được áp dụng tại các công ty truyền tải điện chủ yếu là sử dụng role bảo vệ khoảng cách hoặc bảo vệ so lệch. Trong đó, các phương pháp truyền thống xác định vị trí sự cố có độ sai số lớn, một khi có sự cố xảy ra như sự cố thoáng qua hoặc duy trì, biện pháp xử lý sự cố bổ sung đó cần huy động sức người để tìm kiếm vị trí sự cố (Khoa & Tung, 2018). Cách làm như vậy sẽ gây mất khá nhiều thời gian và công sức để có thể khắc phục sự cố, giúp đường dây trở lại làm việc bình thường. Do đó, các cách áp dụng đó vẫn chưa thể đáp ứng được yêu cầu khắc phục nhanh sự cố và chưa thật sự kinh tế. Từ những vấn đề được phân tích trên cho thấy rằng việc phát hiện, nhận dạng và định vị sự cố trên đường dây tải điện là việc làm cần thiết phải nghiên cứu nhằm mang lại hiệu quả cao trong quá trình vận hành hệ thống điện (Ha et al., 2003).

Có nhiều công trình nghiên cứu cho thấy với tính chất đơn giản, khối lượng tính toán ít, tích hợp vào các thiết bị phần cứng dễ dàng, các phương pháp định vị sự cố dựa trên tổng trở được áp dụng (Roostae et al., 2017; Khoa et al., 2022). Các dữ liệu đo lường điện áp, dòng điện ở một hoặc hai đầu đường dây được sử dụng để xác định vị trí ngắn mạch trên đường dây. Mặt khác, các yếu tố như

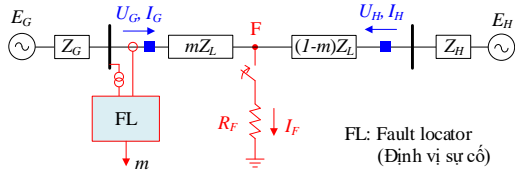
thành phần điện dung của đường dây, điện trở sự cố, chế độ xác lập trước khi xảy ra sự cố ngắn mạch,... có thể tác động đến độ chính xác của các phương pháp tổng trở cần phải được nghiên cứu khảo sát một cách toàn diện. Từ cơ sở toán học của các phương pháp định vị sự cố dựa trên tổng trở trong các công trình (Das et al., 2014; Roostae et al., 2017; Khoa et al., 2022) đã phân tích ở trên, một chương trình mô phỏng định vị sự cố mang tính tổng quát được thiết kế để có thể khảo sát nhiều trường hợp sự cố khác nhau cũng như để nghiên cứu sự ảnh hưởng của các yếu tố đến độ chính xác định vị sự cố của các phương pháp tổng trở. Matlab là một công cụ tính toán mạnh được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khoa học kỹ thuật (Gilat, 2013). Ngoài ra, App Designer là một ứng dụng mới phát triển gần đây của Matlab (Valle, 2017); nó có nhiều ưu điểm và sẽ dần được sử dụng để thay thế cho ứng dụng Guide trước đây. Vì vậy, đóng góp chính của bài báo này là nghiên cứu ứng dụng công cụ Matlab App Designer để thiết kế chương trình mô phỏng định vị sự cố trên đường dây tải điện. Chương trình mô phỏng được thiết kế với giao diện thân thiện người dùng, mang tính tổng quát và có thể chạy được trên các máy tính mà không cần cài Matlab. Ngoài ra, nó được áp dụng để nghiên cứu cho các đường dây với nhiều cấp điện áp khác nhau.

2. PHƯƠNG PHÁP TỔNG TRỞ

Nhiều phương pháp định vị sự cố dựa trên tổng trở được phát triển để xác định khoảng cách đến điểm sự cố trên đường dây truyền tải điện. Mỗi phương pháp có những yêu cầu dữ liệu đầu vào và các giả thiết nhất định (Saha et al., 2009). Các phương pháp định vị sự cố dựa trên tổng trở có những ưu điểm như khối lượng tính toán đơn giản, có khả năng ứng dụng trong thời gian thực. Vì thế, các phương pháp này vẫn đang được áp dụng trong các role khoảng cách hiện nay trong hệ thống điện. Tóm lược cơ sở lý thuyết của các phương pháp định vị sự cố dựa trên tổng trở từ dữ liệu đo lường của một và hai đầu đường dây để thiết kế chương trình mô phỏng nhằm đánh giá các phương pháp đó được mô tả dưới đây.

2.1. Phương pháp tổng trở một đầu

Mô hình của một đường dây truyền tải điện xoay chiều ba pha có hai nguồn như Hình 1 được sử dụng để thiết lập phương trình xác định vị trí sự cố của các phương pháp. Giả thiết rằng sự cố ngắn mạch xảy ra trên đường dây tại vị trí cách đầu đường dây một khoảng là m (pu). Các giá trị đo lường của điện áp sự cố và dòng điện sự cố ở đầu và cuối đường dây lần lượt là U_G, I_G và U_H, I_H .



Hình 1. Mô hình hệ thống định vị sự cố theo phương pháp tổng trở một đầu

Điện áp sự cố ở đầu đường dây U_G như trong Hình 1 được xác định như sau:

$$U_G = I_G(mZ_{L1}) + I_F R_F \quad (1)$$

Trong đó: m là khoảng cách từ đầu đường dây đến vị trí sự cố; Z_{L1} là tổng trở thứ tự thuận (TTT) của đường dây; R_F là điện trở sự cố; I_F là dòng điện sự cố; U_G và I_G là điện áp sự cố và dòng điện sự cố ở đầu đường dây, U_G và I_G phụ thuộc vào dạng sự cố và được xác định như trong Bảng 1.

Bảng 1. Các giá trị đo lường U_G, I_G và ΔI_G đối với các dạng sự cố (Das et al., 2014)

Dạng ngắn mạch	U_G	I_G	ΔI_G
AG	U_A	$I_A + KI_{G0}$	$I_A - I_{Apre}$
BG	U_B	$I_B + KI_{G0}$	$I_B - I_{Bpre}$
CG	U_C	$I_C + KI_{G0}$	$I_C - I_{Cpre}$
AB, ABG, ABCG	$U_A - U_B$	$I_A - I_B$	$(I_A - I_{Apre}) - (I_B - I_{Bpre})$
BC, BCG, ABCG	$U_B - U_C$	$I_B - I_C$	$(I_B - I_{Bpre}) - (I_C - I_{Cpre})$
CA, CAG, ABCG	$U_C - U_A$	$I_C - I_A$	$(I_C - I_{Cpre}) - (I_A - I_{Apre})$

Trong đó: $K = Z_{L0}/Z_{L1} - 1$

Trong đó: U_A, U_B, U_C lần lượt là điện áp sự cố của pha A, B và C; I_A, I_B, I_C lần lượt là dòng điện sự cố của pha A, B và C; $I_{Apre}, I_{Bpre}, I_{Cpre}$ lần lượt là dòng điện trước sự cố của pha A, B và C; I_{G0} là dòng điện thứ tự không (TTK) ở đầu đường dây; Z_{L1}, Z_{L0} là tổng trở TTT và tổng trở TTK của đường dây.

Tổng trở toàn phần (Z) từ đầu đường dây đến vị trí sự cố được đo lường bằng cách sử dụng điện áp U_G và dòng điện I_G như sau (Das et al., 2014):

$$Z = \frac{U_G}{I_G} = mZ_{L1} + R_F \frac{I_F}{I_G} \quad (2)$$

Phương trình (2) được xem là một phương trình cơ bản để phát triển các phương pháp dựa trên tổng trở từ dữ liệu đo lường của một đầu để xác định khoảng cách đến điểm sự cố. Các đại lượng chưa

biết trước trong (2) bao gồm m, R_F và I_F do đó các phương pháp định vị sự cố dựa trên tổng trở từ dữ liệu đo lường của một đầu đường dây được nghiên cứu trong bài báo này gồm phương pháp trở kháng đơn giản, phương pháp Takagi, phương pháp Takagi hiệu chỉnh và phương pháp Eriksson. Theo đó, vị trí sự cố m trong phương trình (2) sẽ được xác định từ dữ liệu đo lường dòng điện và điện áp ở một đầu đường dây (giả thiết ở phía đầu G) bởi bốn phương pháp trong bài báo này được trình bày tóm lược như Bảng 2.

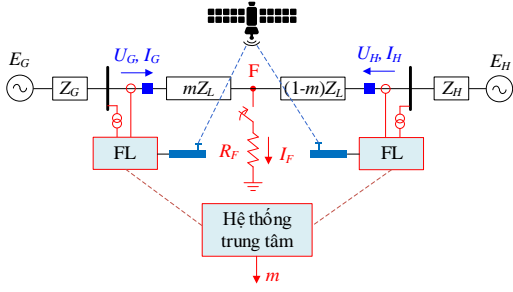
Bảng 2. Xác định vị trí sự cố m theo các phương pháp tổng trở một đầu (Das et al., 2014)

Phương pháp	Vị trí sự cố m
Trở kháng đơn giản	$m = \frac{\text{Im}(U_G/I_G)}{\text{Im}(Z_{L1})}$
Takagi	$m = \frac{\text{Im}(U_G \Delta I_G^*)}{\text{Im}(Z_{L1} I_G \Delta I_G^*)}$
Takagi hiệu chỉnh	$m = \frac{\text{Im}(3U_G I_{G0}^*)}{\text{Im}(3Z_{L1} I_G I_{G0}^*)}$
Eriksson	$m = \frac{\left(a - \frac{eb}{f}\right) \pm \sqrt{\left(a - \frac{eb}{f}\right)^2 - 4\left(c - \frac{ed}{f}\right)}}{2}$ Trong đó a, b, c, d, e và f là phần thực và phần ảo của các biểu thức tính toán từ điện áp, dòng điện, trở kháng và tổng trở nguồn được thể hiện trong Das et al. (2014).

2.2. Phương pháp tổng trở hai đầu

Phương pháp tổng trở hai đầu là một phương pháp định vị sự cố dựa trên tổng trở từ các sóng điện áp và dòng điện được ghi lại ở 2 đầu của đường dây để ước lượng khoảng cách đến điểm sự cố (Mosavi et al., 2016; Maner et al., 2018). Nguyên tắc định vị sự cố cũng tương tự như các phương pháp tổng trở một đầu chẳng hạn như sử dụng điện áp và dòng điện khi xảy ra sự cố để ước lượng tổng trở toàn phần từ vị trí đầu đường dây đến điểm sự cố. Các dữ liệu đo lường bổ sung từ phía cuối đường dây cũng được sử dụng để loại bỏ những sai số trở kháng được gây ra do điện trở sự cố, dòng điện tải hoặc sự không đồng nhất của hệ thống. Đối với phương pháp tổng trở hai đầu thì không cần sử dụng đến kết quả nhận dạng sự cố để xác định khoảng cách đến điểm sự cố (Das et al., 2014). Tuy nhiên, kênh truyền cần phải được áp dụng để truyền tín hiệu từ các thiết bị định vị sự cố (FL) tại các trạm đến hệ thống định vị sự cố trung tâm (Hình 2). Trước tiên, dữ liệu ghi lại ở các đầu được đồng bộ hóa thông qua hệ thống định vị toàn cầu. Sau đó, các dữ liệu này được thu thập và

xử lý tại hệ thống trung tâm để ước lượng khoảng cách đến điểm sự cố (Chafi & Afrakhte, 2021).



Hình 2. Mô hình hệ thống định vị sự cố theo phương pháp tổng trở hai đầu

Một trong ba thành phần đối xứng đều có thể được sử dụng để tính toán vị trí sự cố. Tuy nhiên, thành phần thứ tự nghịch (TTN) có nhiều ưu điểm hơn bởi vì nó không bị ảnh hưởng bởi dòng điện tải, tổng trở tương hồ, sự không chắc chắn của tổng trở TTK. Do đó, công trình của Das et al. (2014) đã thiết lập được biểu thức xác định khoảng cách đến điểm sự cố như sau:

$$m = \frac{U_{G2} - U_{H2} + Z_{L2} I_{H2}}{(I_{G2} + I_{H2}) Z_{L2}} \quad (3)$$

Trong đó: U_{G2} , U_{H2} lần lượt là điện áp TTN của nguồn G và H; I_{G2} , I_{H2} lần lượt là dòng điện TTN của nguồn G và H.

Ngoài ra, các đại lượng thành phần TTT của điện áp và dòng điện khi bị sự cố ở hai đầu đường dây cũng có thể được sử dụng để xác định khoảng cách đến điểm sự cố:

$$m = \frac{U_{G1} - U_{H1} + Z_{L1} I_{H1}}{(I_{G1} + I_{H1}) Z_{L1}} \quad (4)$$

Trong đó: U_{G1} , U_{H1} lần lượt là điện áp TTT của nguồn G và H; I_{G1} , I_{H1} lần lượt là dòng điện TTT của nguồn G và H.

Trong hai phương trình (3) và (4) thì các thành phần TTT và TTN của điện áp và dòng điện ở hai đầu đường dây sẽ được tính toán từ điện áp và dòng điện ba pha của mỗi đầu tương ứng. Chúng được xác

định dựa theo cơ sở của phương pháp các thành phần đối xứng (Das, 2012), cụ thể như sau:

Thành phần TTT và TTN của điện áp và dòng điện ở nguồn G là:

$$\begin{bmatrix} U_{G1} \\ U_{G2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{GA} \\ U_{GB} \\ U_{GC} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} I_{G1} \\ I_{G2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{GA} \\ I_{GB} \\ I_{GC} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Thành phần TTT và TTN của điện áp và dòng điện ở nguồn H là:

$$\begin{bmatrix} U_{H1} \\ U_{H2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{HA} \\ U_{HB} \\ U_{HC} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} I_{H1} \\ I_{H2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{HA} \\ I_{HB} \\ I_{HC} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Trong đó: $a = e^{j120^\circ} = -0,5 + j0,866$; U_{GA} , U_{GB} , U_{GC} là điện áp pha A, B, C của nguồn G; U_{HA} , U_{HB} , U_{HC} là điện áp pha A, B, C của nguồn H.

3. THIẾT KẾ CHƯƠNG TRÌNH

3.1. Thuật toán chương trình

Đối với các phương pháp tổng trở, ngoài tín hiệu điện áp và dòng điện sự cố ở hai đầu đường dây thì các đại lượng khác chẳng hạn như tổng trở TTT, tổng trở TTN và chiều dài của đường dây là những thông số đầu vào cần thiết để xác định khoảng cách đến điểm sự cố (Roostae et al., 2017). Ngoài ra, tùy thuộc vào mỗi phương pháp mà một số dữ liệu cần thiết khác như dòng điện trước sự cố, tổng trở của nguồn cũng được xem là đầu vào cho giải thuật định vị sự cố. Đồng thời, dạng sự cố phải được xác định chính xác để các phương pháp này định vị đúng vị trí sự cố trên đường dây (Das et al., 2014). Do vậy, giải thuật được thiết lập nhằm nhận dạng sự cố được thể hiện như trong Giải thuật 1.

Giải thuật 1: Thuật toán nhận dạng sự cố

Khởi tạo: Dòng điện mỗi pha (I_A, I_B, I_C)
 Giá trị dòng điện khởi động I_{pickup}
 Dạng sự cố ban đầu $Type = \text{"Normal"}$

Tính toán: Dòng điện thứ tự không $I_0 = (I_A + I_B + I_C)/3$

If ($|I_A| \geq I_{pickup}$) & ($|I_B| < I_{pickup}$) & ($|I_C| < I_{pickup}$) & ($|I_0| \geq I_{pickup}$)
Then $Type = \text{"AG"}$

If ($|I_A| < I_{pickup}$) & ($|I_B| \geq I_{pickup}$) & ($|I_C| < I_{pickup}$) & ($|I_0| \geq I_{pickup}$)
Then $Type = \text{"BG"}$

If ($|I_A| < I_{pickup}$) & ($|I_B| < I_{pickup}$) & ($|I_C| \geq I_{pickup}$) & ($|I_0| \geq I_{pickup}$)
Then $Type = \text{"CG"}$

If ($|I_A| \geq I_{pickup}$) & ($|I_B| \geq I_{pickup}$) & ($|I_C| < I_{pickup}$) & ($|I_0| \geq I_{pickup}$)
Then $Type = \text{"ABG"}$

If ($|I_A| < I_{pickup}$) & ($|I_B| \geq I_{pickup}$) & ($|I_C| \geq I_{pickup}$) & ($|I_0| \geq I_{pickup}$)
Then $Type = \text{"BCG"}$

If ($|I_A| \geq I_{pickup}$) & ($|I_B| < I_{pickup}$) & ($|I_C| \geq I_{pickup}$) & ($|I_0| \geq I_{pickup}$)
Then $Type = \text{"CAG"}$

If ($|I_A| \geq I_{pickup}$) & ($|I_B| \geq I_{pickup}$) & ($|I_C| < I_{pickup}$) & ($|I_0| < I_{pickup}$)
Then $Type = \text{"AB"}$

If ($|I_A| < I_{pickup}$) & ($|I_B| \geq I_{pickup}$) & ($|I_C| \geq I_{pickup}$) & ($|I_0| < I_{pickup}$)
Then $Type = \text{"BC"}$

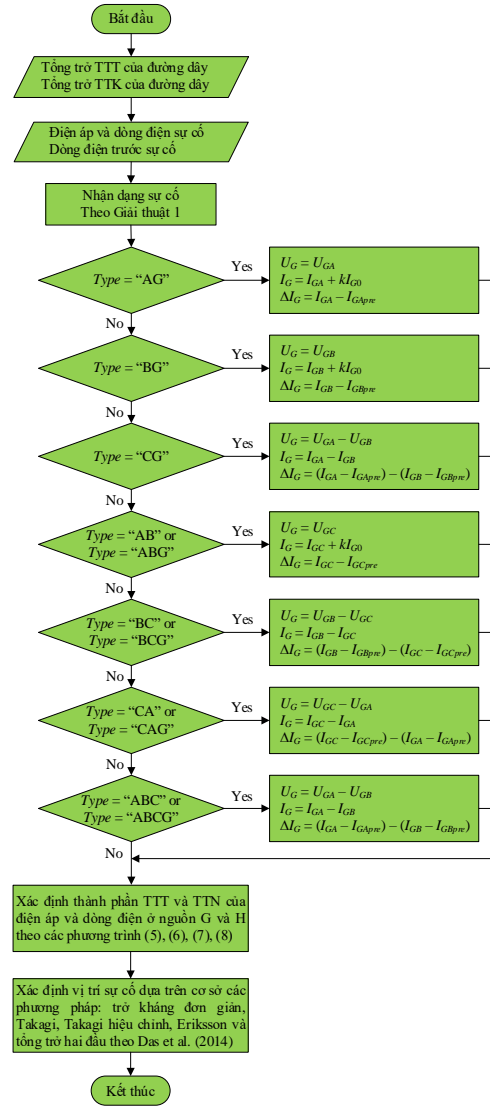
If ($|I_A| \geq I_{pickup}$) & ($|I_B| < I_{pickup}$) & ($|I_C| \geq I_{pickup}$) & ($|I_0| < I_{pickup}$)
Then $Type = \text{"CA"}$

If ($|I_A| \geq I_{pickup}$) & ($|I_B| \geq I_{pickup}$) & ($|I_C| \geq I_{pickup}$)
Then $Type = \text{"ABC"}$

Việc nhận dạng sự cố được thực hiện dựa trên cơ sở so sánh giá trị dòng điện lúc bị sự cố ngắn mạch của từng pha và dòng điện thứ tự không với ngưỡng dòng điện khởi động để xác định pha bị sự cố. Nếu pha nào bị sự cố thì dòng điện ngắn mạch trên pha đó sẽ vượt quá ngưỡng dòng điện khởi động. Nếu dòng điện thứ tự không lúc bị sự cố vượt ngưỡng khởi động thì sự cố đó thuộc sự cố ngắn mạch có tiếp đất. Chẳng hạn như nếu thỏa mãn các điều kiện ($|I_A| \geq I_{pickup}$) & ($|I_B| < I_{pickup}$) & ($|I_C| < I_{pickup}$) & ($|I_0| \geq I_{pickup}$) thì dạng sự cố là ngắn mạch một pha AG, nghĩa là $Type = \text{"AG"}$. Bài báo áp dụng cơ sở này để đề xuất phương pháp nhận dạng tất cả các dạng sự cố ngắn mạch trong hệ thống điện và phương pháp đề xuất đó được thể hiện chi tiết bởi các câu lệnh IF ... THEN như trong Giải thuật 1.

Từ các dữ liệu đầu vào bao gồm thông số của đường dây, thông số nguồn, dữ liệu đo lường điện áp và dòng điện lúc sự cố ở hai đầu đường dây, chương trình sẽ nhận dạng sự cố và tính toán các giá trị điện áp $U_G, I_G, \Delta I_G$ tương ứng với dạng sự cố đó theo Bảng 1. Sau đó, các phương trình xác định vị trí m được tiếp tục sử dụng như tổng hợp trong Bảng 2 đối với các phương pháp tổng trở một đầu và phương trình (3) và (4) đối với phương pháp tổng

trở hai đầu để xác định m . Dựa trên cơ sở đó, lưu đồ thuật toán định vị sự cố trên đường dây được đề xuất dựa trên các phương pháp tổng trở như Hình 3.



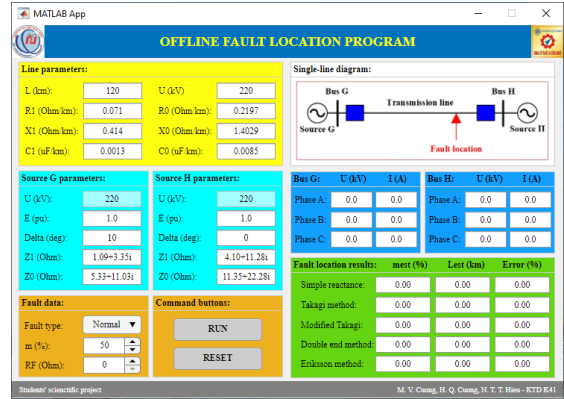
Hình 3. Lưu đồ thuật toán định vị sự cố theo phương pháp tổng trở

3.2. Ứng dụng Matlab App Designer

Giao diện chương trình cho phép nhập và chỉnh sửa các thông số mong muốn khi cho chạy mô phỏng thuận tiện và thân thiện với người dùng. Một tính năng mới được tích hợp trong Matlab 2021a là ứng dụng Matlab App Designer được sử dụng để thiết kế giao diện hiệu quả hơn so với Guide. App Designer là một phần của gói cơ bản của Matlab, nó cho phép thiết kế giao diện người dùng thuận tiện hơn với các thao tác kéo và thả các đối tượng lên giao diện cần thiết kế. Các thao tác và qui trình được

nhúng vào ngôn ngữ lập trình của Matlab. Sau đó, các ứng dụng có thể được thiết lập và đưa vào sử dụng trên bất kỳ máy tính mà không cần thiết phải cài đặt Matlab. Giao diện chương trình được thiết kế như Hình 4. Trên giao diện chính, các thông số của hệ thống có thể thay đổi như: thông số của đường dây (chiều dài, điện trở TTT, điện kháng TTT, điện dung TTT, điện trở TTK, điện kháng TTK và điện dung TTK), thông số nguồn (điện áp định mức, nguồn sức điện động, góc pha, tổng trở TTT và tổng trở TTK), các thông tin của dạng sự cố (dạng sự cố, vị trí ngắn mạch tính theo phần trăm chiều dài đường dây và điện trở sự cố tính theo đơn vị Ohm).

Trên giao diện Hình 4, các thông số đầu vào bao gồm: thông số đường dây, thông số của hai nguồn và thông số đối với điểm sự cố ngắn mạch trên đường dây. Cụ thể các thông số này là: (i) *Thông số của đường dây*: có thể đặt thông số của đường dây gồm chiều dài đường dây (L), cấp điện áp của đường dây (U), tổng trở TTT (R_1, X_1, C_1) và TTK (R_0, X_0, C_0); (ii) *Thông số của nguồn G và H*: đặt thông số nguồn gồm điện áp định mức U (kV), nguồn sức điện động E (pu), góc lệch pha δ (độ), tổng trở TTT Z_1 (Ω) và tổng trở TTK Z_0 (Ω); (iii) *Thông số sự cố*: chọn dạng ngắn mạch, vị trí xảy ra sự cố cách đầu đường dây một khoảng m (tính theo phần trăm chiều dài đường dây nằm trong phạm vi từ 0 đến 100%), điện trở ngắn mạch R_f (Ω); (iv) *Các nút lệnh*: nút RUN sẽ chạy và cho ra kết quả hiển thị trên giao diện bao gồm: kết quả điện áp, dòng điện ở 2 đầu đường dây và kết quả định vị sự cố của các phương pháp, nút RESET sẽ xóa các ô kết quả tính toán để trở về trạng thái bình thường; (v) *Kết quả đo lường*: điện áp và dòng điện tại hai đầu đường dây được tính toán và thể hiện dưới dạng module của từng pha. Điều này giúp chúng ta dễ dàng quan sát được phản ứng của hệ thống đối với từng dạng ngắn mạch khác nhau; (vi) *Kết quả định vị sự cố*: một khi ngắn mạch xảy ra, các kết quả điện áp, dòng điện và thông số đường dây được sử dụng như là đầu vào để thực hiện các phương pháp định vị sự cố dựa trên tổng trở. Từ đó, chúng sẽ xác định được vị trí sự cố tính theo phần trăm chiều dài đường dây, m_{est} tính theo phần trăm so với chiều dài đường dây, vị trí sự cố L_{est} tính theo đơn vị ki-lô-mét và sai số của phương pháp *Error* tính theo phần trăm. Giá trị sai số *error* được xác định theo công thức như trong công trình của Khoa et al. (2022). Ngoài ra, trên giao diện chương trình, sơ đồ một sợi của hệ thống đường dây truyền tải có hai nguồn ở hai đầu cũng được thể hiện để người dùng có thể dễ dàng khảo sát, phân tích và đánh giá kết quả mô phỏng một cách trực quan.



Hình 4. Giao diện chương trình

3.3. Đóng gói chương trình

Chương trình ở trên được thiết kế trên phần mềm Matlab, là một phần mềm lớn và đòi hỏi dung lượng cài đặt trên máy tính khá nhiều. Điều này sẽ gây bất tiện cho việc thực thi chương trình đã thiết kế. Do vậy, trong bài báo này, công cụ hỗ trợ Deploytool của Matlab được ứng dụng để đóng gói chương trình định vị sự cố đã thiết kế. Chúng ta chỉ cần gõ cú pháp của nó trong cửa sổ Command của Matlab thì sẽ hiện ra hộp thoại của công cụ. Trên giao diện đó, người dùng chỉ cần lựa chọn file chương trình chính, còn các file đi kèm chương trình chính sẽ tự động được đưa vào để thực hiện quá trình đóng gói thành file *.exe. Sau khi quá trình đóng gói chương trình hoàn tất, kết quả đầu ra sẽ là file cài đặt chương trình có đuôi *.exe. File cài đặt này hoàn toàn giống với các chương trình khác, nghĩa là muốn sử dụng được chương trình trên bất kỳ một máy tính nào thì trước tiên ta phải cài đặt nó bằng cách nhấp đôi chuột vào file *.exe. Sau đó, quá trình cài đặt sẽ được tiến hành cho đến khi hoàn tất thì biểu tượng của chương trình sẽ xuất hiện trên Desktop của máy tính. Nếu người dùng muốn sử dụng thì mở chương trình lên và thực hiện các quá trình mô phỏng. Một số thông tin cơ bản của chương trình bao gồm: *Tên chương trình*: Offline Fault Location Program; *File cài đặt*: Install.exe; *Dung lượng*: 4148 kB; *Đặc điểm nổi bật*: có thao tác cài đặt nhanh gọn và đơn giản, có giao diện thiết kế rất thân thiện và dễ dàng sử dụng, có thể chạy được trên mọi máy tính mà không cần có phần mềm Matlab, là một công cụ hữu ích hỗ trợ tốt trong công tác đào tạo và nghiên cứu khoa học. Sau khi đóng gói chương trình xong, chúng ta có thể dễ dàng copy file cài đặt Install.exe vào bất kỳ máy tính khác để tiến hành cài đặt như một ứng dụng thông thường.

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.1. Trường hợp 1

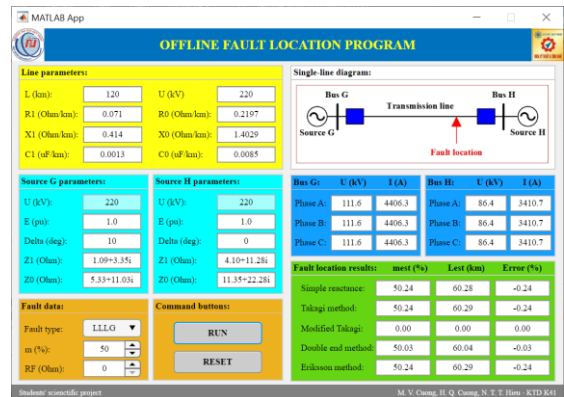
Trong trường hợp này, để đánh giá hiệu quả của các phương pháp định vị sự cố dựa trên tổng trở trong chương trình mô phỏng đã thiết kế, một mô hình đường dây ba pha trên không 220 kV được áp dụng để kiểm chứng chương trình. Đường dây sử dụng trong trường hợp này được giả lập với các thông số theo dạng mô hình hình Pi bao gồm: chiều dài $L = 120$ km với tổng trở TTT và TTK trên một ki-lô-mét là $Z_1 = 0,071 + j0,414 \Omega/\text{km}$ và $Z_0 = 0,2197 + j1,4029 \Omega/\text{km}$. Bên cạnh, điện dung shunt TTT và TTK của nó lần lượt là $C_1 = 0,0013 \mu\text{F}/\text{km}$; $C_0 = 0,0085 \mu\text{F}/\text{km}$. Hai nguồn ở hai đầu đường dây được mô hình hóa dưới dạng nguồn áp không đổi nối tiếp với tổng trở riêng của nó. Tần số định mức của hệ thống là 50 Hz và điện áp định mức là 220 kV. Hai nguồn này lần lượt được ký hiệu là nguồn G và nguồn H. Trong đó, giá trị điện áp của nguồn G là $E_G = 1,0 \angle 10,0^\circ$ pu; tổng trở TTT và TTK của nó là $Z_{G1} = 1,09 + j3,35 \Omega$ và $Z_{G0} = 5,33 + j11,03 \Omega$. Tương tự, giá trị điện áp của nguồn H là $E_H = 1,00 \angle 0,0^\circ$ pu; tổng trở TTT và TTK của nó là $Z_{H1} = 4,10 + j11,28 \Omega$ và $Z_{H0} = 11,35 + j22,28 \Omega$. Góc công suất được định nghĩa bởi sự lệch pha giữa điện áp nguồn G ở đầu đường dây E_G và điện áp nguồn H ở cuối đường dây E_H . Trong nghiên cứu này, góc công suất được thiết lập ban đầu bằng 10° để đại diện cho chế độ xác lập bình thường trước sự cố của hệ thống.

Sau khi nhập các thông số như trên vào chương trình, ta thực hiện các chức năng tính toán trào lưu công suất ở chế độ bình thường và chức năng định vị sự cố ứng với 4 dạng ngắn mạch bao gồm: ngắn mạch ba pha (LLLG), ngắn mạch hai pha chạm đất (LLG), ngắn mạch hai pha (LL) và ngắn mạch một pha (LG). Các kết quả điện áp, dòng điện và kết quả định vị sự cố sẽ được tính toán và hiển thị lên giao diện của chương trình.

Các kết quả mô phỏng cho trường hợp khi xuất hiện bốn dạng ngắn mạch trực tiếp với điện trở sự cố $R_F = 0 \Omega$ lần lượt tại các vị trí 50, 60, 70 và 80% chiều dài đường dây. Theo cơ sở của các phương pháp tổng trở đã được tổng hợp trong Bảng 2 và phương trình (2), kết quả định vị sự cố của mỗi phương pháp có thể phụ thuộc vào giá trị điện trở sự cố R_F và vị trí sự cố thực tế trên đường dây. Bởi vì khi ngắn mạch thông qua điện trở sự cố RF sẽ làm cho giá trị điện áp U_G và dòng điện I_G bị thay đổi, điều này dẫn đến việc xác định tổng trở từ giá trị điện áp U_G và I_G sẽ có thể bao hàm phần điện trở sự cố R_F . Do vậy, dẫn đến kết quả định vị có thể bị sai lệch. Tuy nhiên, sự sai lệch này nhiều hay ít còn phụ

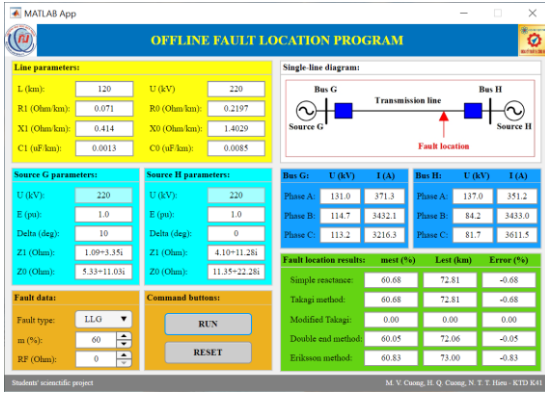
thuộc vào mỗi phương pháp định vị sự cố dựa trên tổng trở. Bên cạnh, mặc dù đối với cùng một sự cố ngắn mạch nhất định nhưng kết quả định vị sự cố của các phương pháp cũng có thể có giá trị chênh lệch nhau. Điều này là bởi vì mỗi phương pháp có cách xác định vị trí sự cố m khác nhau như trong Bảng 2 đối với các phương pháp tổng trở một đầu và công thức (3), (4) đối với phương pháp tổng trở hai đầu. Một số kết quả mô phỏng từ chương trình đối với bốn trường hợp cố ngắn mạch khác nhau như sau:

Trường hợp đầu tiên là khi xuất hiện ngắn mạch ba pha (LLLG) với điện trở sự cố $R_F = 0 \Omega$ tại vị trí cách đầu đường dây 50%, kết quả định vị sự cố của các phương pháp trở kháng đơn giản, phương pháp Takagi, phương pháp Eriksson và phương pháp hai đầu lần lượt là 50,24, 50,24, 50,24 và 50,03% được thể hiện như Hình 5. Như vậy, vị trí sự cố tính theo đơn vị ki-lô-mét cũng sẽ được xác định và hiển thị ở các ô bên cạnh lần lượt là 60,28, 60,28, 60,28 và 60,04 km. Ngoài ra, các giá trị sai số so với vị trí sự cố thực tế được tính toán từ chương trình và hiển thị lên giao diện.



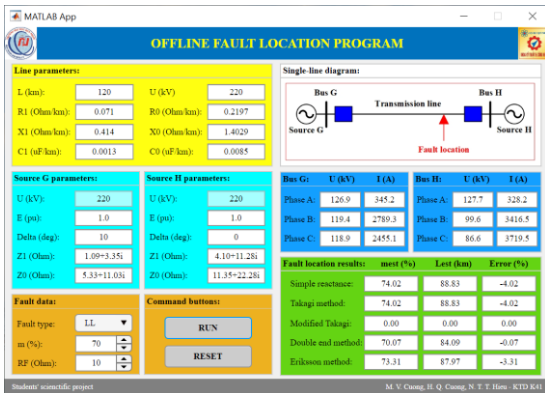
Hình 5. Kết quả đối với ngắn mạch ba pha tại 50% chiều dài đường dây

Trường hợp thứ hai là xét ngắn mạch hai pha chạm đất (LLG) tại vị trí 60% chiều dài đường dây với giá trị điện trở sự cố $R_F = 0 \Omega$, các kết quả điện áp, dòng điện và kết quả định vị sự cố của các phương pháp tổng trở được tính toán và hiển thị trên Hình 6. Kết quả này cho thấy phương pháp trở kháng đơn giản và phương pháp Takagi cho ra kết quả vị trí ngắn mạch tại 60,68%, phương pháp Eriksson cho ra kết quả vị trí sự cố tại 60,83% và phương pháp tổng trở hai đầu cho ra kết quả vị trí sự cố tại 60,05%. Các kết quả này so với vị trí sự cố thực tế có độ chênh lệch khá nhỏ.



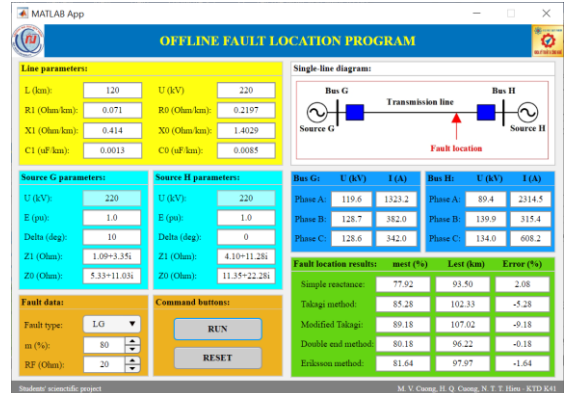
Hình 6. Kết quả của ngắn mạch hai pha chạm đất tại 60% chiều dài đường dây

Trường hợp nghiên cứu thứ ba là giả thiết ngắn mạch hai pha (LL) tại vị trí cách đầu đường dây 70% chiều dài đường dây với điện trở sự cố $R_F = 10 \Omega$, các kết quả xác định vị trí sự cố của các phương pháp lần lượt là: 74,02% (phương pháp trở kháng đơn giản), 74,02% (phương pháp Takagi), 73,31% (phương pháp Eriksson) và 70,07% (phương pháp tổng trở hai đầu). Vì ngắn mạch gián tiếp thông qua điện trở sự cố $R_F = 10 \Omega$ nên nó đã ảnh hưởng đến độ chính xác của các phương pháp trong việc định vị sự cố trên đường dây tải điện.



Hình 7. Kết quả đối với ngắn mạch hai pha tại 70% chiều dài đường dây

Trường hợp nghiên cứu thứ tư là ngắn mạch một pha chạm đất tại vị trí cách đầu đường dây 80% chiều dài đường dây với điện trở sự cố $R_F = 20 \Omega$. Các kết quả mô phỏng của trường hợp này được thể hiện trên giao diện của chương trình như Hình 8. Vị trí sự cố được xác định từ các phương pháp: phương pháp trở kháng đơn giản là 77,92%, phương pháp Takagi là 85,28%, phương pháp Takagi hiệu chỉnh là 89,18%, phương pháp Eriksson là 81,64% và phương pháp tổng trở hai đầu là 80,18%.



Hình 8. Kết quả đối với ngắn mạch một pha tại 80% chiều dài đường dây

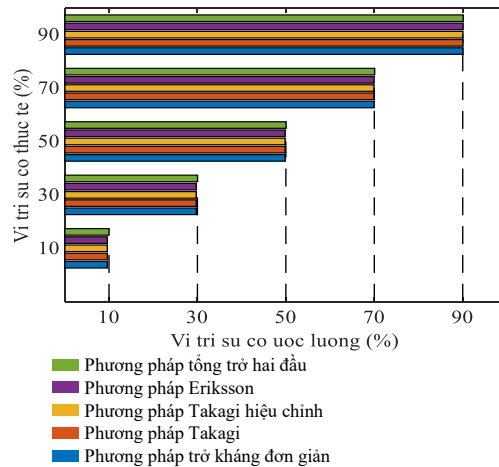
Các kết quả mô phỏng ở trên cho thấy rằng việc thay đổi dạng ngắn mạch, vị trí sự cố và điện trở sự cố đã kiểm chứng được hiệu quả của chương trình cũng như đánh giá sai số giữa các phương pháp định vị sự cố dựa trên tổng trở. Như vậy, từ chương trình mô phỏng này, người dùng hoàn toàn có thể vận dụng nó để nghiên cứu cho các hệ thống khác bằng cách thay đổi thông số đường dây, thông số nguồn. Ngoài ra, các dạng sự cố, vị trí sự cố và điện trở sự cố cũng được thiết lập dễ dàng để kiểm chứng hiệu quả định vị sự cố giữa các phương pháp đã được tích hợp trong chương trình mô phỏng.

4.2. Trường hợp 2

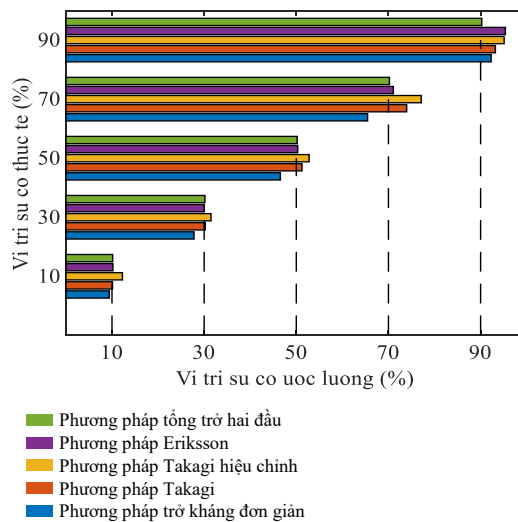
Trường hợp này, chương trình mô phỏng được áp dụng đối với đường dây thực tế 110 kV Vĩnh Sơn - Hoài Nhơn thuộc lưới điện 110 kV tỉnh Bình Định. Đường dây này kết nối từ nhà máy thủy điện Vĩnh Sơn 2x33 MW đến thành phố 110 kV của trạm biến áp 220 kV Hoài Nhơn. Đường dây sử dụng loại dây dẫn ACPK185/29 có chiều dài 45,92 km với các thông số TTT: $R_1 = 0,1591 \Omega/\text{km}$; $X_1 = 0,391 \Omega/\text{km}$; $C_1 = 0,0021 \mu\text{F}/\text{km}$ và thông số TTK: $R_0 = 0,3182 \Omega/\text{km}$; $X_0 = 1,173 \Omega/\text{km}$; $C_0 = 0,0078 \mu\text{F}/\text{km}$. Các dữ liệu đầu vào được nhập vào chương trình mô phỏng để nghiên cứu khả năng định vị sự cố của các phương pháp đồng thời đánh giá hiệu quả của chương trình. Trong trường hợp này, các kết quả mô phỏng đối với sự cố ngắn mạch một pha lần lượt với điện trở sự cố R_F bằng 0Ω và 30Ω . Giả sử vị trí ngắn mạch thực tế xảy ra tại các vị trí 10, 30, 50, 70 và 90% chiều dài đường dây. Khi đó, kết quả mô phỏng từ chương trình được lưu lại và tổng hợp dưới dạng biểu đồ hình cột nằm ngang như Hình 9. Trong Hình 9, trục hoành thể hiện vị trí sự cố ước lượng và trục tung thể hiện vị trí sự cố thực tế xảy ra trên đường dây. Hình 9(a) thể hiện kết quả định vị sự cố khi xuất hiện ngắn mạch một pha trực tiếp (tức $R_F =$

0 Ω) tại các vị trí như đã giả thiết. Bởi vì $R_F = 0 \Omega$ nên các phương pháp đã định vị chính xác vị trí sự cố với sai số nhỏ. Kết quả mô phỏng của trường hợp ngắn mạch một pha thông qua điện trở sự cố $R_F = 30 \Omega$ cũng được thể hiện dưới dạng biểu đồ hình cột

nằm ngang như Hình 9(b). Hình 9(b) cho thấy rằng điện trở sự cố ảnh hưởng đến khả năng định vị sự cố của các phương pháp tổng trở một đầu nhưng nó không ảnh hưởng đến khả năng định vị sự cố phương pháp tổng trở hai đầu.



(a) Điện trở $R_F = 0 \Omega$



(b) Điện trở $R_F = 30 \Omega$

Hình 9. Kết quả định vị sự cố đối với đường dây thực tế 110 kV Vĩnh Sơn - Hoài Nhơn

5. KẾT LUẬN

Công cụ App Designer của Matlab được nghiên cứu ứng dụng để thiết kế chương trình mô phỏng định vị sự cố trên đường dây tải điện. Trong chương trình này, cơ sở các phương pháp tổng trở trong công trình của Das et al. (2014) được lập trình để xác định vị trí sự cố từ các giá trị đo lường điện áp và dòng điện ở một và hai đầu đường dây tải điện. Các kết quả mô phỏng đã thể hiện hiệu quả định vị sự cố trên

đường dây tải điện của các phương pháp dựa trên tổng trở. Ngoài ra, chương trình mô phỏng này có giao diện thân thiện và dễ dàng sử dụng. Chương trình có thể áp dụng được cho nhiều đường dây có cấp điện áp khác nhau. Bên cạnh, các thông số đo lường ở hai đầu đường dây, các kết quả định vị sự cố đối với bốn dạng ngắn mạch tại các vị trí và điện trở sự cố khác nhau được khảo sát một cách toàn diện trong chương trình mô phỏng.

Hướng phát triển trong tương lai của là nghiên cứu các phương pháp định vị sự cố trên các đường dây truyền tải dựa trên các phương pháp truyền sóng, mạng nơron để tích hợp vào trong chương trình mô phỏng. Ngoài ra, bài báo này có thể mở rộng theo hướng nghiên cứu định vị sự cố đối với đường dây có dạng hình T.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Chafi, Z. S., & Afrakhte, H. (2021). Wide area fault location on transmission systems using synchronized/unsynchronized voltage/current measurements. *Electric Power Systems Research, 197*(2021), 107285. DOI: 10.1016/j.epsr.2021.107285
- Das, S., Santoso, S., Gaikwad, A., & Patel, M. (2014). Impedance-based fault location in transmission networks: Theory and application. *IEEE Access, 2*, 537–557. DOI: 10.1109/ACCESS.2014.2323353
- Das, J. C. (2012) *Power System Analysis Short-Circuit Load Flow and Harmonics* (2nd ed.). CRC Press, Taylor & Francis Group (Chapter 2).
- Gilat, A. (2013). *MATLAB® An Introduction with Applications (Fifth Edition)*. Wiley.
- Ha, H. X., Zhang, B. H., & Lv, Z. L. (2003). A novel principle of single-ended fault location technique for EHV transmission lines. *IEEE Transactions on Power Delivery, 18*(4), 1147–1151. DOI: 10.1109/TPWRD.2003.817505
- Hùng, L. K., & Huân, V. P. (2021). *Role kỹ thuật số bảo vệ hệ thống điện*. NXB Khoa học và Kỹ thuật.
- IEEE Standard. (2014). *C37.114-2014 - IEEE Guide for Determining Fault Location on AC Transmission and Distribution Lines*. IEEE Standard. DOI: 10.1109/IEEESTD.2015.7024095
- Khoa, N. M., & Tung, D. D. (2018). Locating fault on transmission line with static var compensator based on phasor measurement unit. *Energies, 11*(9), 2380. DOI: 10.3390/en11092380
- Khoa, N. M., Cuong, M. V., Cuong, H. Q., & Hieu, N. T. (2022). Performance Comparison of Impedance-Based Fault Location Methods for Transmission Line. *International Journal of Electrical and Electronic Engineering & Telecommunications, 11*(3), 234–241. DOI: 10.18178/ijetc.11.3.234-241
- Maner, A. S., & Lavand, S. (2018). Accurate Fault Location Estimation of High Voltage Transmission Line Using Disturbance Record. *International Conference on Power, Energy, Control and Transmission Systems*. Chennai, India. DOI: 10.1109/ICPECTS.2018.8521637
- Mosavi, M. R., & Tabatabaei, A. (2016). Traveling-wave fault location techniques in power system based on wavelet analysis and neural network using GPS timing. *Wireless Personal Communications, 86*(2), 835–850. DOI: 10.1007/s11277-015-2958-1
- Reis, R. L., Lopes, F. V., Neves, W. L., Fernandes Jr, D., Ribeiro, C. M., & Cunha, G. A. (2021). An improved single-ended correlation-based fault location technique using traveling waves. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems Research, 132*(2021), 107167. DOI: 10.1016/j.ijepes.2021.107167
- Roostae, S., Thomas, M. S., & Mehruz, S. (2017). Experimental studies on impedance based fault location for long transmission lines. *Protection and Control of Modern Power Systems, 2*(1), 1–9. DOI: 10.1186/s41601-017-0048-y
- Saha, M. M., Izykowski, J. J., & Rosolowski, E. (2009). *Fault Location on Power Networks*. Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-886-5>
- Valle, J. M. G., García, J. C. C., & Cadaval, E. R. (2017). Electric vehicle monitoring system by using MATLAB/App Designer. 2017 International Young Engineers Forum (YEF-ECE). Costa da Caparica, Portugal. <https://doi.org/10.1109/YEF-ECE.2017.7935642>

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Quy Nhơn đối với đề tài nghiên cứu khoa học có mã số S2021.732.33.