

**NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH TRUYỀN SÓNG TRÊN ĐƯỜNG DÂY TRUYỀN TẢI  
ĐIỆN SỬ DỤNG MATLAB-SIMULINK**  
A STUDY ON SIGNAL PROCESSING TECHNOLOGY IN POWER TRANSMISSION  
LINE USING MATLAB-SIMULINK

**Dương Hòa An, Nguyễn Thị Thanh Thủy**

Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên

**TÓM TẮT**

Bài báo này trình bày quá trình truyền sóng trên đường dây truyền tải điện trong chế độ xác lập và chế độ sự cố, khảo sát và mô phỏng trực quan trên matlab – simulink. Dựa trên quá trình truyền sóng để xác định các thông số của đường dây và tải, cũng như nhận dạng sự cố. Nội dung bài báo cho thấy những ứng dụng của khảo sát sóng lan truyền trên đường dây tải điện.

Từ khoá: Truyền sóng trên đường dây tải điện.

**ABSTRACT**

This paper presents signal processing technology in power transmission in model established and fault, survey and simulation on matlab – simulink. This paper based on the signal processing technology to determine the parameters of the line, load and identify fault. The paper shows application of processing technology on transmission lines.

Keyword: signal processing technology, fault location.

**Ký hiệu**

Ký hiệu	Ý nghĩa	Đơn vị
$R_0$	Điện trở trên một đơn vị chiều dài đường dây	$\Omega/\text{km}$
$L_0$	Điện cảm trên một đơn vị chiều dài đường dây	$\text{H}/\text{km}$
$H_0$	Điện dung trên một đơn vị chiều dài đường dây	$\text{F}/\text{km}$
$G_0$	Điện dẫn trên một đơn vị chiều dài đường dây	$\text{S}/\text{km}$
$V_{\text{ref}}$	Sóng tín hiệu điện áp phản hồi	V
$V_{\text{inc}}$	Sóng tín hiệu điện áp một chiều có biên độ $V_{\text{inc}}$ (sóng tới)	V

**1. Mở đầu**

Đường dây truyền tải điện là một trong những khâu rất quan trọng trong việc đảm bảo sự liên lạc giữa các nguồn điện và các hộ tiêu thụ điện. Tốc độ phát triển nhanh chóng của hệ thống điện trong vài thập kỷ qua cũng đã dẫn đến một sự tăng nhanh về số lượng các đường dây truyền tải ở các cấp

điện áp cũng như tổng chiều dài của toàn hệ thống

Role khoảng cách với các thuật toán dùng tổng trở đo đầu đường dây thường được dùng để xác định khoảng cách từ nơi đặt thiết bị bảo vệ đến vị trí xảy ra sự cố. Tuy nhiên ảnh hưởng của sai số thông số trở kháng đường dây đến độ chính xác của phép tính toán dòng ngắn mạch và điện áp, các cài đặt của role khoảng cách và quá dòng và thời gian loại trừ sự cố của các đường dây có độ dài và vị trí lỗi khác nhau. Độ chính xác của tính toán vị trí sự cố cũng bị ảnh hưởng.

Trở kháng đường của dây truyền tải được sử dụng để tính toán dòng ngắn mạch và cài đặt thông số cho role bảo vệ khoảng cách đó thường là kết quả của các chương trình tính toán dựa trên hằng số. Do có nhiều yếu tố ảnh hưởng nên các kết quả có thể bị sai lệch (ví dụ: kiểu dây dẫn, độ rung và võng của dây dẫn, vỏ bọc cáp, điện trở suất). Các giá trị trở kháng thực tế đo được của mạch vòng sự cố là cách tốt nhất để đảm bảo cho việc các role khoảng cách và quá dòng được cài đặt đúng.

Hiện nay một phương pháp mới đang được quan tâm phát triển là các giải pháp dựa trên việc phân tích sóng phản hồi khi ta chủ động phát một xung điện áp vào đầu đường dây truyền tải điện, hay còn gọi là các phương pháp TDR - *Time Domain Reflectometry*. Ý tưởng của phương pháp này là sử dụng một mạch phát xung (điện áp/dòng điện) vào đầu đường dây truyền tải điện. Về lý thuyết ta có thể phát xung ngay khi đường dây đang đóng điện, tuy nhiên người ta thường dùng phương pháp này sau khi các thiết bị bảo vệ đã tác động và cắt nguồn điện của đường dây. Sau khi có xung được phát vào đường dây, ta tiến hành ghi lại các tín hiệu phản hồi. Dựa trên việc phân tích tín hiệu phản hồi mà ta có thể xác định được một số thông số của đường dây, cũng như điểm sự cố và của tải cuối đường dây. Phương pháp này có nhiều ưu điểm so với các phương pháp tổng trở hay phát hiện xung sự cố do sử dụng thiết bị ở một đầu nên không cần phải đồng bộ về thời gian. Thời gian sóng phản hồi dài gấp đôi (do cần lan truyền thuận trước khi phản hồi ngược trở lại) nên sai lệch tương đối về thời gian cũng nhỏ hơn.

Nội dung bài báo với kết quả mô phỏng trên matlab- simulink cho thấy hình dạng của sóng trên đường dây truyền tải trong những trường hợp tải RL, RC, R ở chế độ xác lập cũng như ở chế độ sự cố

## 2. Lý thuyết đường dây dài:

Khi xét đường dây dài ở chế độ truyền sóng, nếu bỏ qua thành phần điện trở của đường dây, ta có các thông số truyền sóng được xác định như sau:

### a) Tổng trở sóng

Theo [1] ta có tổng trở sóng và hệ số truyền sóng  $\gamma$  của đường dây được tính như sau:

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z_0}{Y_0}} = \sqrt{\frac{R_0 + j\omega L_0}{G_0 + j\omega C_0}} = Z_0 e^{j\theta} \quad (1)$$

$Z_c$  nói lên quan hệ giữa sóng điện áp và sóng dòng điện nên gọi là tổng trở sóng của đường dây

### b) Hệ số truyền sóng $\gamma$ :

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{ZY} \quad (2)$$

$\gamma$  đặc trưng cho quá trình truyền sóng trên đường dây.

Trong đó:

$\alpha$  nep/km - gọi là hệ số tắt tức là tốc độ giảm của biên độ nep/km .

$\beta$  rad/km - hệ số pha nói lên độ biên thiên góc pha của sóng khi truyền dọc đường dây.

$$\text{Vận tốc truyền sóng là : } v_p = \frac{\omega}{\beta} \quad (3)$$

### c) Điện áp :

Khi biết điện áp  $U_1$  và dòng điện  $I_1$  đầu đường dây chúng ta có thể xác định dòng điện và điện áp tại khoảng cách  $x$  bất kỳ:

$$\begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}_1 \cdot ch\gamma x - Z_c \cdot \dot{I}_1 sh\gamma x \\ \dot{I}(x) = -\frac{\dot{U}_1}{Z_c} sh\gamma x + \dot{I}_1 ch\gamma x \end{cases} \quad (4)$$

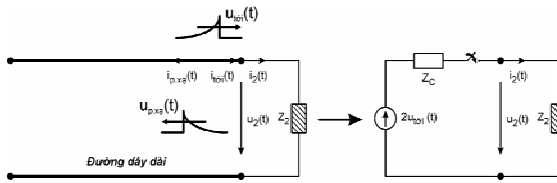
Khi biết điện áp  $U_1$  và dòng điện  $I_1$  cuối đường dây chúng ta có thể xác định dòng điện và điện áp tại khoảng cách  $x$  bất kỳ:

$$\begin{cases} \dot{U}(x') = \dot{U}_1 \cdot ch\gamma x' - Z_c \cdot \dot{I}_1 sh\gamma x' \\ \dot{I}(x') = -\frac{\dot{U}_1}{Z_c} sh\gamma x' + \dot{I}_1 ch\gamma x' \end{cases} \quad (5)$$

$$Ch\gamma x = \frac{e^{\gamma x} + e^{-\gamma x}}{2} \quad Sh\gamma x = \frac{e^{\gamma x} - e^{-\gamma x}}{2}$$

## 3. Truyền sóng điện từ trên đường dây tải điện trong chế độ xác lập

Giả sử ở 1 thời điểm  $t=0$  ta đóng vào đầu đường dây một nguồn áp  $u(t)$ . Khi đó không gian dọc đường dây sẽ thành lập một trường điện từ. Sóng điện từ sẽ chuyển động từ đầu đường dây tới cuối đường dây. Nếu coi đường dây là không tiêu tán nên vận tốc sóng nên vận tốc sóng không phụ thuộc vào tần số và hệ số tắt bằng không nên toàn bộ phổ tần sẽ truyền đi với vận tốc như nhau và không bị suy giảm. Tức là một sóng dòng và một sóng áp truyền từ đầu đến cuối đường dây không bị méo. Sóng chạy từ đầu đến cuối đường dây gọi là sóng thuận. Đến cuối đường dây sẽ bị phản xạ trở lại gọi là sóng ngược.

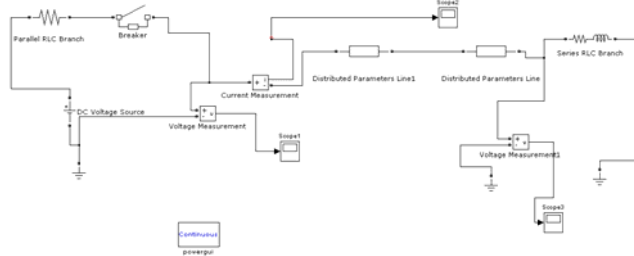


Hình 1: Mô hình Petersen tương đương để giải bài toán truyền sóng

Nếu gọi  $\alpha, \beta$  là hệ số khúc xạ và phản xạ theo [3] ta có:

$$\alpha = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad \text{và} \quad \beta = \frac{V_{ref}}{V_{inc}} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (6)$$

Mô phỏng trên matlab: Với đường dây có thông số: Chiều dài đường dây:  $l=500\text{km}$ ;  $R_0=0.01273 \Omega/\text{km}$ ;  $L_0=0.01273 \cdot 10^{-3} \text{H}/\text{km}$ ;  $C_0=12,74 \cdot 10^{-9} \text{F}/\text{km}$ .



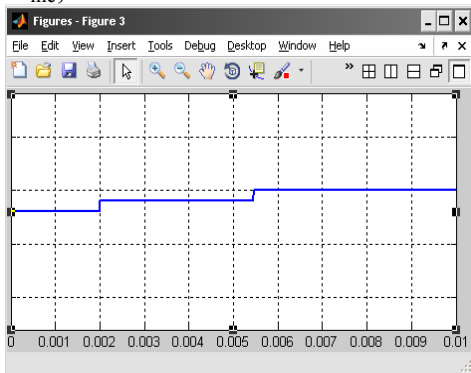
Hình 2.: Mô hình mô phỏng xác định các thành phần sóng lan truyền và phản xạ trên đường dây một pha không có sự cố ở giữa đường dây

### 3.1 Khi hở mạch: $Z_2 = \infty$

Ta có:  $\alpha=2$

$\beta=1$   $V_{ref}=V_{inc}$ ; Phản xạ dương toàn phần Sóng tới bằng với sóng phản xạ

Tín hiệu điện áp đo được đầu đường dây  $V=2V_{inc}$ ;

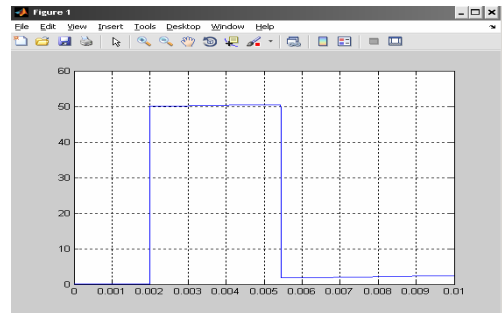


Hình 3 Mô phỏng dạng sóng trên matlab- simulink khi hở mạch

### 3.2 Khi ngắn mạch: $Z_2 = 0$

Ta có:  $Z_L = \infty$ ;  $\alpha=0$ ;  $V_{khúc\ xạ}=0$ ;

$\beta=-1$   $V_{ref}=-V_{inc}$ ; Phản xạ âm toàn phần



Hình 3 Mô phỏng dạng sóng trên matlab- simulink khi ngắn mạch

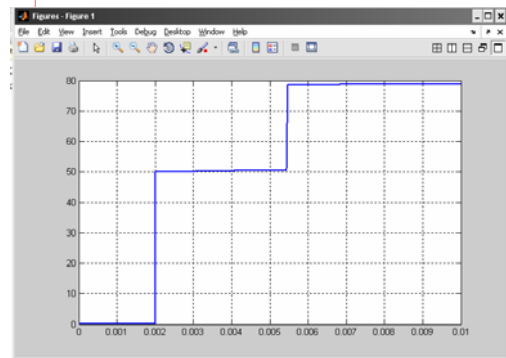
### 3.3 Đường dây không có sự cố, tải cuối đường dây là tải thuần trở:

Theo (1.6) ta có điện áp đầu đường dây khi sóng phản xạ quay về thay đổi một lượng:

$$V_{ref} = \rho \cdot V_{inc} = \frac{R_t - Z_0}{R_t + Z_0} \cdot V_{inc} \quad (7)$$

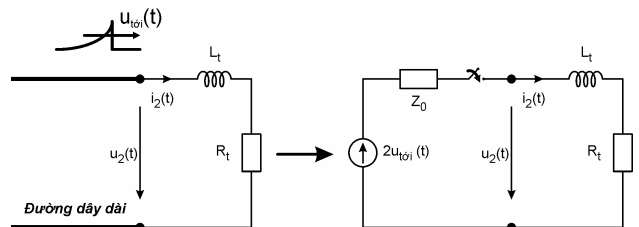
Thời gian từ lúc bắt đầu đóng nguồn vào đường dây cho đến khi có sóng phản hồi là:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{2 \cdot l}{v} \quad (8)$$



Hình 4 Mô phỏng dạng sóng trên matlab- simulink khi tải thuần trở

### 3.4 Khi tải là R nối tiếp L:



Hình 5: Mô hình Petersen tương đương của mạch Giải mạch hình 5 ta có tín hiệu điện áp đo được ở đầu đường dây khi có phản xạ về:

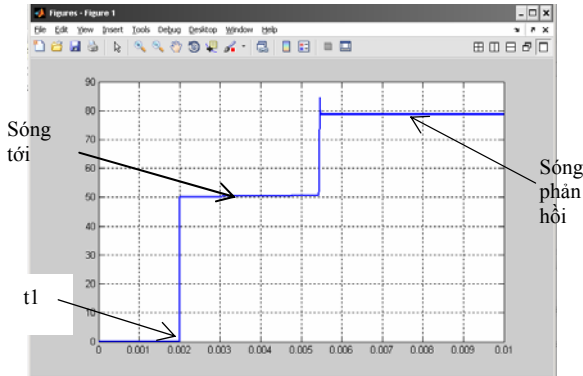
$$V_{rd}(t) = 2V_{inc} \left[ \frac{R}{R + Z_1} + \frac{Z_1}{R + Z_1} * e^{-\frac{t}{T}} \right] \quad (9)$$

Trong đó :  $T = \frac{L}{R + Z_1}$  là hằng số thời gian.

$$\alpha = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} \text{ là hằng số khúc xạ}$$

Khi  $t=0$  ta có  $V_{rd}(0) = 2V_{inc}$

Khi  $t = \infty$  ta có  $V_{rd}(\infty) = 2.V_{inc} \left[ \frac{R}{R + Z_1} \right]$



Hình 6 Mô phỏng dạng sóng trên matlab- simulink khi tải R nối tiếp L

Thời điểm  $t_1$  lúc bắt đầu phát xung sóng tới  
 Thời điểm  $t_2$  lúc bắt đầu đo được sóng phản xạ. Nếu biết được chính xác  $t_1, t_2$ , chiều dài đường dây  $l$ , theo 1.8 suy ra vận tốc truyền sóng trên đường dây tải điện :

$$v = \frac{2 \cdot l}{\Delta t} \quad (10)$$

### 3.5 Khi tải là R song song L :

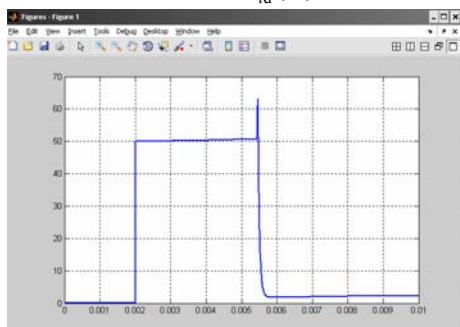
Tương tự như trên ta có : tín hiệu điện áp đo được ở đầu đường dây khi có phản xạ về :

$$V_{rd}(t) = 2.V_{inc} \left[ \frac{R}{R + Z_1} * e^{-\frac{t}{T}} \right] \quad (11)$$

Trong đó :  $T = \frac{R + Z_1}{R + Z_1} . L$

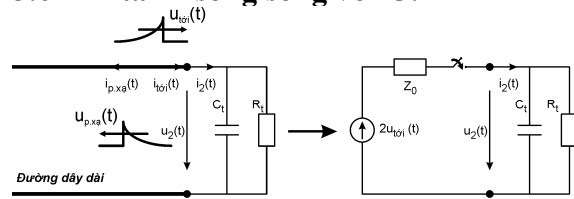
Khi  $t=0$  ta có  $V_{rd}(0) = 2.V_{inc} \left[ \frac{R}{R + Z_1} \right]$

Khi  $t = \infty$  ta có  $V_{rd}(\infty) = 0$



Hình 6 Mô phỏng dạng sóng trên matlab- simulink khi tải R song song L

### 3.6 Khi tải R song song với C:



Hình 7: Mô hình Petersen tương đương của mạch R song song C

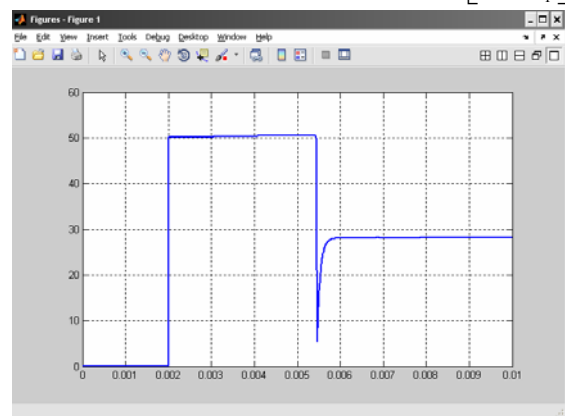
Giải mạch hình 7 ta có

$$V_{rd}(t) = 2.V_{inc} \left[ \frac{R}{R + Z_1} * (1 - e^{-\frac{t}{T}}) \right] \quad (12)$$

Trong đó:  $T = \frac{R * Z_1}{R + Z_1} . C$  là hằng số thời gian.

Khi  $t=0$  ta có  $V_{rd}(0) = 0$

Khi  $t = \infty$  ta có  $V_{rd}(\infty) = 2.V_{inc} \left[ \frac{R}{R + Z_1} \right]$



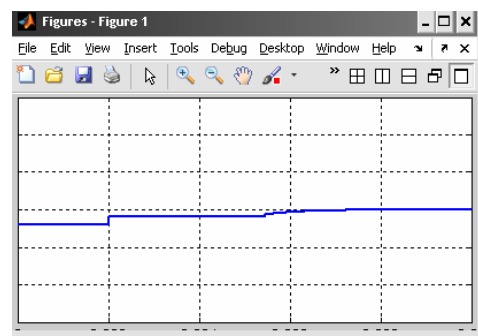
Hình 8 Mô phỏng dạng sóng trên matlab- simulink khi tải R song song C

### 3.7 Khi R nối tiếp C

Tương tự ta có :

$$V_{rd}(t) = V_{inc} \left[ 2 - \frac{2.R}{R + Z_1} * e^{-\frac{t}{T}} \right] \quad (1.13)$$

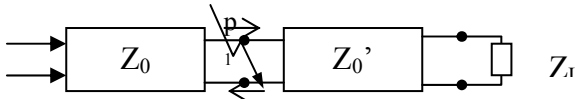
Trong đó  $T = (R + Z_1) . C$



Hình 9 Mô phỏng dạng sóng trên matlab- simulink khi tải R song song C

#### 4. Truyền sóng điện từ trên đường dây tải điện trong chế độ sự cố :

Khi có sự cố ở giữa đường dây như hình 10



Hình 10 Mô phỏng dạng sóng trên matlab- simulink khi tải R song song C

Lúc này sóng chạy từ đầu đường dây tới vị trí sự cố sẽ phản xạ quay lại. Nếu đường dây không bị đứt sẽ có sóng khúc xạ đi tới cuối đường dây và có phản xạ ngược lại.

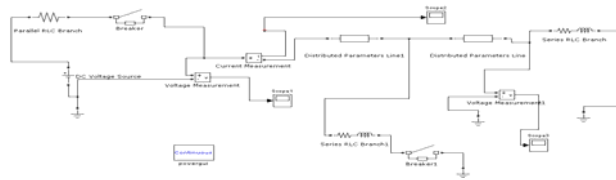
Hệ số phản xạ tại vị trí sự cố :

$$p_1 = \frac{Z_0' - Z_0}{Z_0' + Z_0} \quad (14)$$

Hệ số phản xạ cuối đường dây:

$$p_2 = \frac{Z_L - Z_0'}{Z_L + Z_0'} \quad (15)$$

Mô phỏng trên matlab :



Hình 11.: Mô hình mô phỏng xác định các thành phần sóng lan truyền và phản xạ trên đường dây một pha khi có sự cố ở giữa đường dây.

a) Đường dây có sự cố ngắn mạch thuần trở  
Theo [3] ta có, khi sóng lan truyền từ đầu đường dây tới điểm sự cố, ta có một thành phần phản xạ quay lại đầu đường dây với độ lớn là

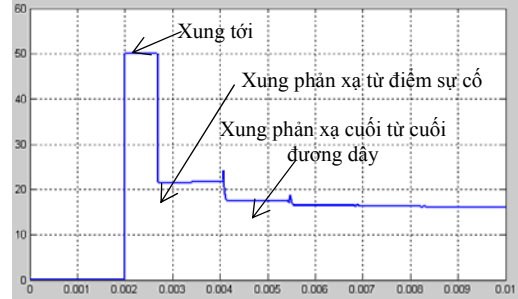
$$V_{ref1} = \rho V_{inc} = \frac{-Z_0}{2R_{fault} + Z_0} \cdot V_{inc} \quad (16)$$

Đồng thời có một thành phần khúc xạ vào phần đường dây phía sau với độ lớn tăng  $(1 + \rho)$

lần:  $V_{inc2} = (1 + \rho)V_{inc}$  (17)

Thành phần khúc xạ này lan truyền tới cuối đường dây, khi đập vào tải cuối đường dây sẽ tạo thành một sóng phản xạ theo như các công đã trình bày ở trên. Thành phần phản xạ này khi gặp điểm sự cố lại tiếp tục gây ra các hiện tượng phản xạ và khúc xạ. Thành phần khúc xạ sẽ đi vào phần đường dây phía trước sự cố và lan truyền về đầu đường dây. Theo công thức (17), thành phần khúc xạ qua điểm sự cố sẽ tăng lên  $(1 + \rho)$

lần nên tổng cộng lại, so với trường hợp không có điểm sự cố, biên độ của thành phần phản xạ được điều chỉnh tăng  $(1 + \rho)^2$  lần. Minh họa cho trường hợp này được thể hiện trên hình 12.



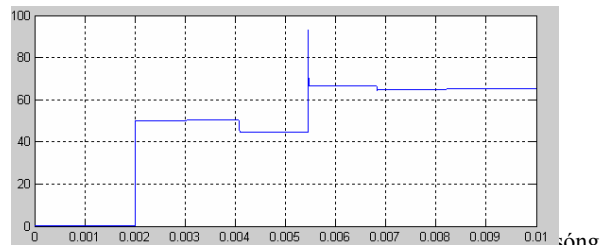
Hình 12.: Mô hình mô phỏng xác định các thành phần sóng lan truyền và phản xạ trên đường dây một pha khi có sự cố ở giữa đường dây.

Nếu trường hợp ngắn mạch pha tại một vị trí nào đó. Khi biết thời điểm  $t_1$  lúc bắt đầu phát xung sóng tới, và  $t_2$  thời điểm bắt đầu có sóng phản xạ như hình 12, vận tốc truyền sóng trên đường dây tải điện được tính qua công thức (10) khi đường dây không có sự cố :

Khi đó vị trí sự cố được xác định :

$$l = \frac{v \cdot \Delta t}{2}$$

b) Đường dây có sự cố ngắn mạch R-L:



Hình 13.: Đồ thị minh họa sóng lan truyền và phản xạ trên đường dây một pha khi có sự cố ở giữa đường dây

#### Kết luận

Qua kết quả mô phỏng trên Matlab Simulink ta có thể thấy được dạng của sóng tới và sóng phản xạ trên đường dây, thời điểm sóng phản xạ trên đường dây không có sự cố và trên đường dây có sự cố. Từ các thông số đó có thể xác định được thông số của đường dây truyền tải cũng như vị trí sự cố một cách chính xác.

Việc xác định chính xác các thông số của đường dây là rất cần thiết để cài đặt chính xác các rơle cho bảo vệ đường dây.

Trong bài báo đường dây truyền tải điện xét đến là đường dây dài không tiêu tán. Do đó

chưa xét tới ảnh hưởng của điện trở đường dây tới độ chính xác của kết quả tính toán, đây là vấn đề cần được nghiên cứu tiếp.

### Tài liệu tham khảo

- [1] Trần Bách (2004), *Lưới điện & Hệ thống điện tập 1 & 2*, Nxb Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [2] Khắc Lãi (2009) “*Cơ sở lý thuyết mạch tập 2*”, Nxb Đại học Thái Nguyên.
- [3] Trần Văn Tớp (2007), “*Kỹ thuật cao áp*”, Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật.
- [4] Đỗ Xuân Khôi (1998), “*Tính toán phân tích hệ thống điện*”, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [5] Nguyễn Bình Thành (1978), “*Giáo trình Cơ sở kỹ thuật điện 1,2*”, NXB ĐHBK Hà Nội.
- [6] Trần Hoài Linh (2011), “*Ứng dụng Wavelet daubechies trong phát hiện thời điểm sự cố ngắn mạch trên đường dây dài*”, Hội nghị toàn quốc về Điều khiển và Tự động hóa (VCCA).
- [7] Thành Lương (2013), “*Công nghệ định vị sự cố*”, Tạp chí Khoa học Công nghệ Điện, số 4.
- [8] Trần Đình Long (2000),” *Bảo vệ các hệ thống điện*”, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.