

MÔ PHỎNG CẢM BIẾN THỤ ĐỘNG KHÔNG DÂY DẠNG SÓNG ÂM BỀ MẶT SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN KẾT HỢP MÔ HÌNH HÓA TRONG MATLAB /SIMULINK

SIMULATION OF PASSIVE WIRELESS SURFACE ACOUSTIC WAVE SENSOR USING FINITE ELEMENT METHOD COMBINED MODELING IN MATLAB/SIMULINK

Nguyễn Thu Hà^{1,2}, Trịnh Văn Thái¹,
Cung Thành Long¹, Hoàng Sĩ Hồng^{1,*}

TÓM TẮT

Nghiên cứu này sử dụng kết hợp hai phần mềm Ansys và Matlab/Simulink để mô phỏng hoàn chỉnh cảm biến thụ động không dây dạng sóng âm bề mặt loại dòng trễ một cổng (SAW RDL). Mô hình sử dụng bộ chuyển đổi kỹ thuật số (IDT) và ba bộ phản xạ đặt trên đế LiNbO3. Trong đó, các khoảng cách giữa IDT và bộ phản xạ 1 là 201µm bằng khoảng cách giữa bộ phản xạ 1 và phản xạ 2, khoảng cách giữa phản xạ 2 và phản xạ 3 là 64,32µm, điện áp đặt vào IDT có tần số 433MHz. Kết quả mô phỏng trên Ansys bao gồm biên độ, độ dài sóng và thời gian trễ của sóng phản xạ được đưa vào xây dựng mô hình tính toán góc trễ pha của tín hiệu phản xạ trên Matlab/Simulink từ đó tính ra biểu thức tan lượng giác góc lệch pha giữa tín hiệu phát từ bộ đọc và sóng hồi đáp từ cảm biến SAW.

Từ khoá: Cảm biến thụ động không dây dạng sóng âm bề mặt, góc dịch pha, bộ phản xạ, thiết bị đọc, mô phỏng SAW.

ABSTRACT

This study uses a combining of two types of software are Ansys and Matlab/Simulink to completely simulate a passive wireless sensor of reflective delay line one-port (SAW RDL). We use the interdigital transducer (IDT) with a bi-directional structure and three reflectors put on LiNbO3 substrate. In which, the distance between IDT and the first reflector is 201µm and equal to the distance of the second and the third reflector, and the distance from the second to the third reflector is 64.32µm. The simulation results on Ansys as amplitude, wavelength, and the time delay of reflected waves are used to build a model to calculate the phase delay of reflected signal on Matlab/Simulink, from which we calculate the tan trigonometric of the phase delay between the signal emitted from the reader and the response waves.

Keywords: Passive wireless SAW, phase shift, reflector, reader, SAW simulation.

¹Trường Điện - Điện tử, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

² Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: hong.hoangsy@hust.edu.vn

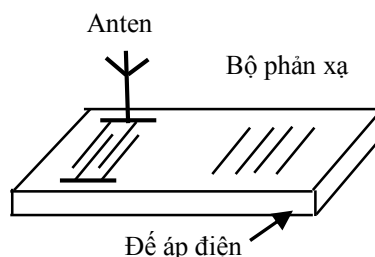
Ngày nhận bài: 03/7/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 10/8/2022

Ngày chấp nhận đăng: 29/8/2022

1. GIỚI THIỆU

Cảm biến thụ động không dây dạng sóng âm bề mặt hiện đang được sử dụng trong nhiều lĩnh vực như hàng không vũ trụ [1], y sinh [2], quan trắc môi trường [3], công nghiệp ô tô [4], truyền tải điện năng [5],... bởi các ưu điểm như giá thành rẻ, không cần cấp nguồn, kích thước nhỏ gọn và được chế tạo trên các tinh thể áp điện có độ ổn định cao nên cảm biến này rất phù hợp khi sử dụng trong các môi trường khắc nghiệt. Hiện nay rất nhiều khía cạnh của cảm biến này được nghiên cứu như ứng dụng đo các đại lượng vật lý [5, 6] hay trong các hệ thống nhận dạng không dây (thẻ ID) [7, 8]. Sự kết hợp của cảm biến SAW với kỹ thuật thẩm vấn không dây của cảm biến thụ động được kết nối bởi tần số sóng vô tuyến mở ra một hướng mới trong các vấn đề xây dựng, cải tiến, liên kết của thiết bị phát tín hiệu thẩm vấn.



Hình 1. Sơ đồ cấu trúc của SAW RDL

Trong các loại cảm biến sóng âm bề mặt, SAW RDL được sử dụng rộng rãi với vai trò là cảm biến hoặc ứng dụng trong các thẻ nhận dạng (SAW ID tag) bởi chúng có ưu điểm dễ dàng cung cấp thời gian trễ cần thiết để triệt tiêu các tiếng vọng từ môi trường, đường truyền được sử dụng hai lần nên kích thước chip nhỏ hơn. Trong các thẻ nhận dạng, yêu cầu mỗi thẻ được mã hóa một mã duy nhất, SAW RDL đáp ứng được yêu cầu này bằng cách sắp xếp các bộ phản xạ sao cho mỗi vị trí của bộ phản xạ tạo thành một mã [9]. Ngoài ra, SAW RDL có lợi thế hơn bởi khả năng xây dựng một hệ thống đa cảm biến với các phương pháp mã hóa khác nhau [10, 11]. Các SAW RDL giải mã thông tin

theo thời gian trễ hoặc thay đổi pha của tín hiệu phản xạ so với tín hiệu thấm vấn. Cấu trúc của SAW RDL bao gồm một IDT có gắn anten để thu/phát tín hiệu và các bộ phản xạ đặt trên để áp điện, mô tả trên hình 1.

Trong các ứng dụng của SAW ở vai trò là cảm biến, khi đo các đại lượng vật lý như nhiệt độ, áp suất, biến dạng... thay đổi sẽ ảnh hưởng đến sự lan truyền của sóng âm bề mặt. Chẳng hạn, nếu cảm biến bị đốt nóng, kéo căng hay nén thì chiều dài của đế và hệ số đàn hồi của nó sẽ thay đổi. Các thay đổi này gây ra các biến đổi về vận tốc và độ trễ pha của sóng. Gọi y là sự thay đổi của đại lượng vật lý làm thay đổi thời gian trễ τ của sóng phản xạ, trong một xấp xỉ tuyến tính (khai triển bậc nhất của chuỗi Taylor mở rộng) [12] ta có:

$$\tau(y_0 + \Delta y) = \tau(y_0)[1 + S_y \Delta y] \tag{1}$$

Thời gian trễ của phản xạ thứ nhất và phản xạ thứ 2 là:

$$\Delta\tau_{2-1} = (\tau_2(y) - \tau_1(y)) - (\tau_2(y_0) - \tau_1(y_0)) \tag{2}$$

Từ (1) ta có:

$$\Delta\tau_{2-1} = [\tau_2(y_0) \cdot S_{y,2}^{\tau} - \tau_1(y_0) \cdot S_{y,1}^{\tau}] \cdot \Delta y \tag{3}$$

$$\Delta\varphi_{2-1} = [\varphi_2(y_0) \cdot S_{y,2}^{\tau} - \varphi_1(y_0) \cdot S_{y,1}^{\tau}] \cdot \Delta y \tag{4}$$

Trong đó τ_i và φ_i tương ứng là thời gian trễ và góc pha của sóng phản xạ từ các bộ phản xạ thứ i, S_y^{τ} là độ nhạy của τ theo đại lượng y, được tính như sau [13]:

$$S_y^{\tau} = \frac{1}{\tau} \cdot \frac{\partial \tau}{\partial y} \tag{5}$$

$S_{y,2}^{\tau}$ và $S_{y,1}^{\tau}$ là độ nhạy với sóng phản xạ trên vật liệu đế trong cùng điều kiện là như nhau và bằng S_y^{τ} , thay trở lại (3) và (4) ta có:

$$\Delta\tau_{2-1} = (\tau_2 - \tau_1) \cdot S_y^{\tau} \cdot \Delta y \tag{6}$$

$$\Delta\varphi_{2-1} = 2\pi f \cdot \Delta\tau_{2-1} = 2\pi \cdot f \cdot \Delta\tau \cdot S_y^{\tau} \cdot \Delta y \tag{7}$$

Với $\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1$ và tích $f \cdot \Delta\tau$ là số bước sóng (khoảng cách) giữa hai bộ phản xạ. Để đo các đại lượng vật lý, bài toán quay đưa về đo thời gian trễ hoặc góc trễ pha của các tín hiệu phản xạ.

Để thiết kế tối ưu hóa một cảm biến đòi hỏi một quá trình lâu dài, bao gồm cả thời gian và chi phí tài chính. Do đó, việc mô phỏng mô hình cấu trúc ngoài tác dụng giảm số lần thử nghiệm, cải thiện năng suất sản xuất thiết bị còn để tối ưu hóa đặc tính cảm biến mang lại hiệu quả hơn trong quá trình nghiên cứu và chế tạo. Các mô phỏng cảm biến SAW đã được thực hiện trước đây bởi nhiều tác giả [14, 15], tuy nhiên việc mô phỏng anten và thiết bị đọc rất phức tạp. Các thiết bị SAW có thể được mô phỏng theo nhiều phương pháp khác nhau như phần tử hữu hạn (Finite Element Method - FEM), mạch tương đương và ghép cặp chế độ riêng, trong đó phương pháp mô phỏng FEM cung cấp cái nhìn sâu sắc về hiện tượng vật lý của thiết bị này với các phần mềm đã được nhiều tác giả sử dụng là Asys, Comsol [16, 17], để đánh giá các đặc tính lan truyền sóng trên vật liệu đế, sự phụ thuộc của độ nhạy của cảm biến vào tần số hoạt động, thực hiện các yêu cầu đo lường các đại lượng vật lý. Tuy nhiên, đối với SAW không dây thụ

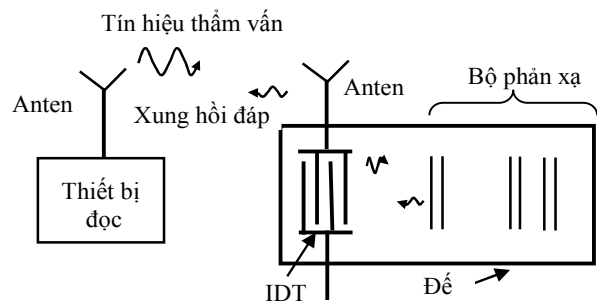
động quá trình mô phỏng khá phức tạp do tín hiệu gửi đi từ bộ đọc tới cảm biến và tín hiệu phản hồi trở về có độ trễ pha và để có thông tin đo lường cần xác định góc lệch pha của hai tín hiệu này. Hiện nay, có một số phương pháp mô phỏng FEM chủ yếu sử dụng phần mềm Matlab với các điều kiện giả lập ngẫu nhiên, chưa có sự phụ thuộc của thời gian trễ τ vào cấu trúc của cảm biến, điều này giới hạn việc khắc độ các thông tin đo theo góc lệch pha của tín hiệu truyền và sóng hồi đáp.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đề xuất phương pháp sử dụng kết hợp hai phần mềm là Matlab và Ansys để mô phỏng hoàn chỉnh cảm biến không dây thụ động SAW. Trên cơ sở kết quả thu được từ cấu trúc được mô phỏng trên Ansys, nhóm tác giả xây dựng mô hình thiết bị đọc và tính góc pha của tín hiệu hồi đáp trên Matlab.

Nội dung tiếp theo của bài báo được trình bày trong 4 phần: phần 2 mô phỏng SAW RDL trên Matlab, quá trình mô phỏng SAW RDL trên Ansys được trình bày trong phần 3, phần 4 là kết quả và thảo luận, các kết luận và khuyến nghị được đưa ra trong phần 5 của bài báo.

2. MÔ PHỎNG SAW RDL TRÊN MATLAB

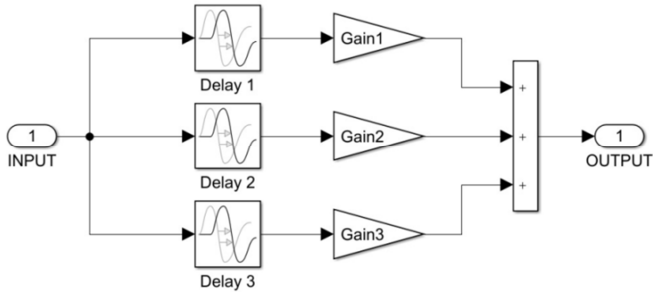
Thiết bị SAW RDL có sơ đồ khối như hình 2, bao gồm thiết bị đọc và thành phần cảm biến, cả hai thiết bị đều gắn anten thu/phát. Sau khi phát xung thấm vấn, thiết bị đọc chuyển sang chế độ nhận. Anten gắn trên IDT thu tín hiệu thấm vấn từ thiết bị đọc, tại vị trí đặt IDT trên đế xảy ra hiệu ứng áp điện nghịch gây nên biến dạng đàn hồi, năng lượng điện biến đổi thành năng lượng cơ dưới dạng các dao động cơ. Các dao động cơ này lan truyền trên bề mặt đế áp điện tới các bộ phản xạ, một phần sóng bị phản xạ từ các bộ này trở lại IDT và xảy ra hiệu ứng áp điện thuận, năng lượng cơ biến đổi thành năng lượng điện và qua anten truyền lại tới thiết bị đọc. Các sóng phản xạ này mang thông tin về đo lường hay vị trí các thẻ nhận dạng.



Hình 2. Sơ đồ khối của thiết bị SAW RDL

Trong các ứng dụng của SAW RDL, phép đo thời gian trễ (công thức 6) hoặc phép đo góc lệch pha (công thức 7) của các tín hiệu phản xạ được thực hiện. Các phép đo góc lệch pha cho kết quả có độ chính xác cao, do vậy nhóm tác giả xây dựng mô hình SAW RDL trên Matlab/Simulink với cấu trúc có ba bộ phản xạ thể hiện quá trình nhận sóng hồi đáp từ các bộ phản xạ và phân tích ra góc lệch pha của các tín hiệu. Các thông số đầu vào gồm biên độ lớn nhất, thời gian trễ và độ dài các sóng phản xạ, sơ đồ cấu trúc mô tả trên hình 3.

Giả sử tín hiệu thăm vấn tới IDT của cảm biến (Input) là $u(t) = 2 \cdot \cos(\omega t)$ (V), sóng âm được tạo ra và lan truyền tới ba bộ phản xạ và phần xạ trở lại IDT, các sóng này bị suy hao về biên độ và trễ pha, khi đó sóng đầu ra (Output) của cảm biến thu được như công thức 8.

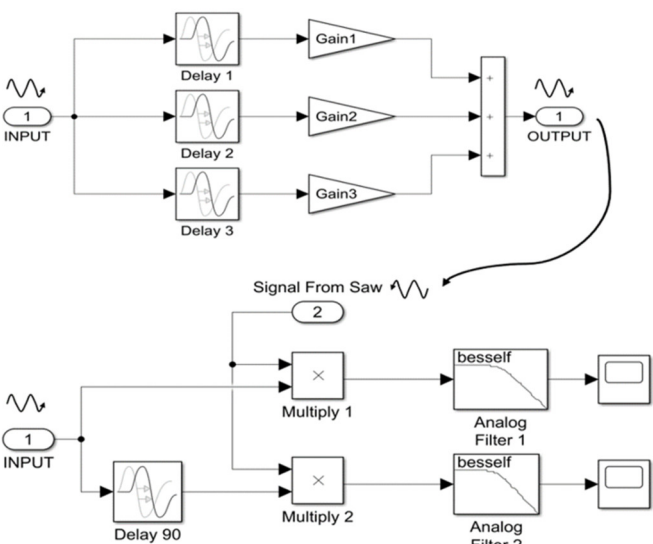


Hình 3. Sơ đồ cấu trúc của SAW RDL trên Matlab/Simulink

$$\sum_{i=1}^n A_i * 2 * \cos(\omega * (t - \tau_i)) * \prod(t - \tau_i) \tag{8}$$

Trong đó:

- A_i là hệ số suy hao biên độ của các sóng phản hồi về từ các bộ phản xạ thứ i tương ứng.
- τ_i là thời gian trễ tương ứng với bộ phản xạ thứ i .



Hình 4. Sơ đồ khối tính toán để tính toán độ trễ pha của SAW

Các tín hiệu phản xạ sẽ được giải điều chế bởi bộ giải điều chế đồng pha vuông góc, thể hiện trên hai nhánh trên sơ đồ hình 4:

- Nhánh thứ nhất: tín hiệu đầu vào và đầu ra của cảm biến đi qua khối nhân, sau đó cho đi qua bộ lọc thông thấp thứ 1 để loại bỏ sóng hài bậc cao
- Nhánh thứ hai: tín hiệu đầu vào bị dịch pha đi 90 độ và tín hiệu đầu ra của cảm biến đi qua khối nhân, sau đó cho đi qua bộ lọc thông thấp thứ 2 để loại bỏ sóng hài bậc cao

Thông tin từ sóng phản xạ được thiết bị đọc tính toán ra góc lệch pha của các tín hiệu trả về, giá trị về góc pha được dùng cho thao tác khắc độ thang đo cho giá trị các đại lượng vật lý đo. Một số tác giả đã thực hiện mô phỏng trên Matlab với các thuật toán khác nhau, tuy nhiên các tham số đầu vào được giả lập cho mô phỏng. Trong nghiên cứu này,

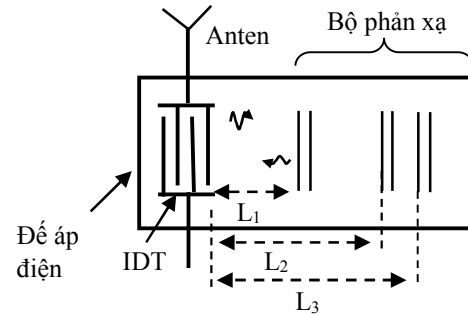
để có tham số đầu vào (Input) gồm biên độ, thời gian trễ τ_i của các tín hiệu phản xạ cho quá trình mô phỏng Matlab/Simulink, tác giả xây dựng một cấu trúc mô phỏng FEM của SAW RDL trên phần mềm Ansys, các kết quả thu được sẽ đưa đến đầu vào cho mô hình Matlab.

3. MÔ PHỎNG SAW RDL TRÊN ANSYS

Với sơ đồ cấu trúc SAW hình 5, gồm IDT loại hai hướng có 50 cặp điện cực và ba bộ phản xạ. So với các vật liệu áp điện khác, YZ- LiNbO3 có hệ số biến đổi điện cơ lớn, suy hao nhỏ ở tần số cao [18], tín hiệu sinh ra sẽ có biên độ lớn hơn nên được tác giả sử dụng trong mô phỏng. Tần số thiết kế là 433Mhz, vận tốc sóng lan truyền trên bề mặt để YZ- LiNbO3 là 3480 (m/s) nên bước sóng λ là [19]:

$$\lambda = \frac{v}{f} = 8,04(\mu m) \tag{9}$$

trong đó $\lambda = 4 * d$ (μm) do đó mỗi điện cực IDT có độ rộng $d = 2,01$ (μm). YZ-LiNbO3 có khối lượng riêng $\rho = 2697(kg/m^3)$, hệ số ma trận đàn hồi trình bày trong bảng 1. Khoảng cách giữa IDT và bộ phản xạ, $L_1 = L_2 = 25\lambda$, $L_3 = 8\lambda$.



Hình 5. Cấu trúc SAW RDL mô phỏng trên Ansys

Bảng 1. Hệ số ma trận đàn hồi (GPa) của YZ-LiNbO3

c_{11}	c_{12}	c_{13}	c_{33}	c_{44}	c_{14}	c_{15}
203	53	75	45	60	9	4,7

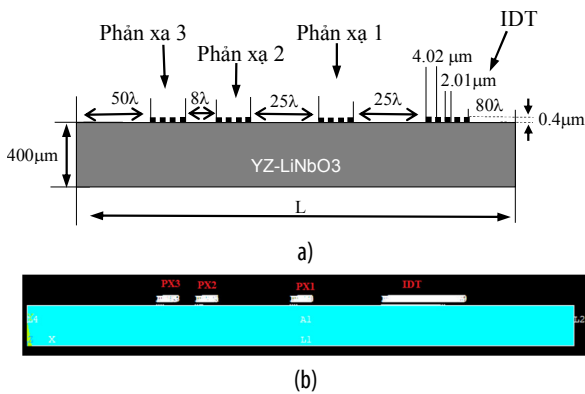
Để chọn vật liệu cho IDT và thanh phản xạ trong các cảm biến SAW cần xét một số tính chất như độ bám dính bề mặt, điểm sôi, điện trở và giá thành. Để đạt được hiệu quả của IDT và để thì độ bám dính của vật liệu trên đế áp điện cũng cần được lựa chọn phù hợp. Ngoài ra, với điện áp đặt vào IDT, nếu vật liệu có điện trở thấp thì điện trường sinh ra và biến đổi thành sóng âm sẽ lớn hơn [18]. Bảng 2 mô tả tính chất của một số vật liệu có thể dùng làm IDT.

Bảng 2. Tính chất của một số vật liệu làm IDT

Vật liệu	Độ dính bề mặt	Điện trở	Điểm sôi	Giá
(Tên)	(Chất lượng)	($\mu\Omega - cm$)	(K)	(Chất lượng)
Đồng	Tốt	1,7	3200	Thấp
Nhôm	Tốt	2,65	2792	Thấp
Vàng	Yếu	2,2	3129	Cao
Tungsten	Trung bình	5,0	5828	Trung bình
Titanium	Tốt	50	3560	Trung bình

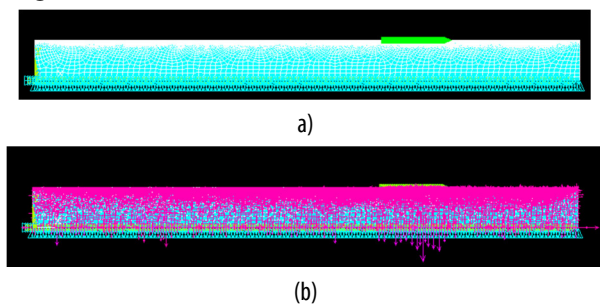
Khi chế tạo cảm biến với số lượng ít, nhôm (Al) là sự lựa chọn khá tốt vì có độ bám dính cao, giá thành thấp và điện trở tương đối nhỏ. Trong nghiên cứu này tác giả sử dụng nhôm cho IDT và các thanh phản xạ.

Khoảng cách từ biên trái đến bộ phản xạ 3 và từ biên phải tới IDT lần lượt là 50λ và 80λ đảm bảo các phản xạ từ biên không ảnh hưởng tương các sóng phản xạ. Hình 6a mô tả mặt cắt của SAW. Độ dày h của thanh IDT và thanh của bộ phản xạ 1 là $0,4\mu\text{m}$ đảm bảo tỉ số h/λ (%) = 5 (%) [20], để tăng sóng phản xạ thứ 2 và 3 thì độ dày các thanh của hai bộ này là $h_1 = 0,645$ (μm) tương ứng với tỉ số $h_1/\lambda \approx 8$ (%). Vị trí đặt IDT và các bộ phản xạ trên để áp điện khi mô phỏng trên Ansys như hình 6b.



Hình 6. (a) kích thước của IDT và các bộ phản xạ, (b) cấu trúc của cảm biến khi mô phỏng Ansys

Hình 7a là mô hình sau chia lưới, đặt tải và đặt điều kiện biên. Để giảm thời gian mô phỏng thì phần đế ở vị trí IDT và bộ phản xạ cần thể hiện quá trình lan truyền sóng nên được chia 40 phần tử trên một bước sóng, các vị trí khác đưa chia từ 10 đến 20 phần tử. Tổng số phần tử chia lưới là 54325, điện áp xoay chiều đặt vào IDT là: $u(t) = 2 \cdot \cos(2\pi \cdot 433 \cdot 10^6 \cdot t)$ (V), thời gian đặt là $50e^{-9}$ (s), thời gian giải là 0,4 (μs). Hình 7b mô tả sau khi hoàn thành quá trình giải.

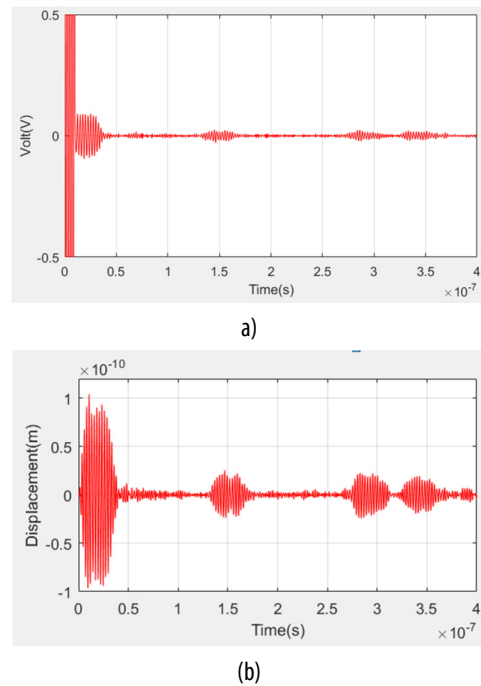


Hình 7. (a) Mô hình sau khi chia lưới và đặt điện áp, (b) mô hình sau khi giải

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Hình 8a là sóng điện áp sinh ra do hiệu ứng áp điện thuận khi các sóng cơ phản xạ lại IDT, các giá trị gồm biên độ lớn nhất, thời điểm đạt biên độ lớn nhất và độ dài của các sóng điện áp phản xạ được thống kê trên bảng 4, trong đó $Gain_i$ (V) là các giá trị lớn nhất của tín hiệu phản xạ tại thời điểm τ_i , l_i là độ dài các sóng phản xạ (với $i = 1 \div 3$). Nếu

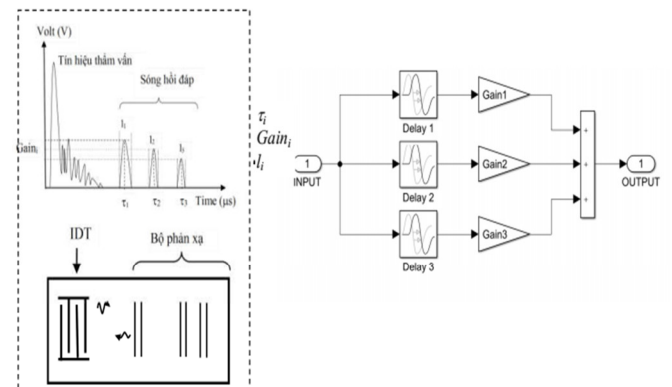
các bộ phản xạ có độ dày các thanh phản xạ bằng nhau bằng độ dày của IDT thì biên độ 3 sóng phản xạ sẽ giảm dần do việc suy giảm sóng trong quá trình lan truyền, tuy nhiên nhóm tác giả đặt độ dày bộ phản xạ 2 và 3 tăng lên - tỷ số h_1/λ xấp xỉ 0,08 nên sóng phản xạ 2 và 3 có biên độ khá rõ nét. Với cấu trúc thực hiện, khoảng cách giữa IDT và bộ phản xạ 1 là 25λ bằng khoảng cách giữa phản xạ 1 và phản xạ 2, khoảng cách giữa phản xạ 2 và 3 là 8λ , tại thời điểm đạt các biên độ lớn nhất của sóng phản xạ trên hình 6a với sóng phản xạ 1 là 0,1452 (μs), đỉnh phản xạ 1 tại 0,2838μs và hiệu $\tau_2 - \tau_1 = 0,1386$ (μs), $\tau_3 - \tau_2 = 0,49$ (μs), thông số chi tiết của các đáp ứng này mô tả trên bảng 3



Hình 8. (a) Điện áp sinh ra bởi các phản xạ đến IDT; (b) Sóng cơ phản xạ lại IDT

Bảng 3. Bảng thống kê các kết quả từ mô phỏng Ansys cho cấu trúc SAW RDL một cổng

Thông số	Gain ₁ (V)	Gain ₂ (V)	Gain ₃ (V)	τ ₁ (μs)	τ ₂ (μs)	τ ₃ (μs)	l ₁ (μs)	l ₂ (μs)	l ₃ (μs)
Giá trị	0,0248	0,0239	0,0216	0,1452	0,2838	0,3332	0,0334	0,031	0,03



Hình 9. Kết hợp mô phỏng trên Ansys và Matlab cho thiết bị SAW RDL

Trong miền thời gian, tín hiệu đầu ra của hệ thống là tích chập của tín hiệu đầu vào với đáp ứng xung của hệ thống. Do vậy, các kết quả nhận được từ mô phỏng Ansys được sử dụng xây dựng mô hình trên Matlab - hình 9.

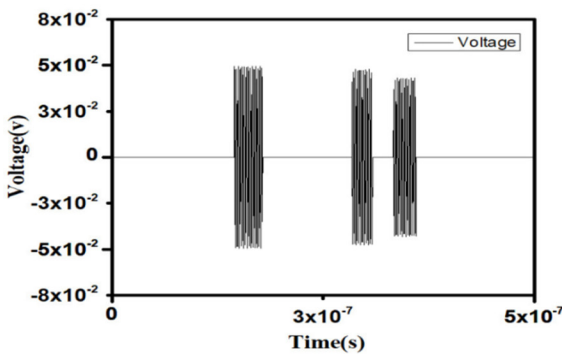
Với các bộ thông số của ba bộ phản xạ từ mô phỏng Ansys đưa đến đầu vào Input, tín hiệu đầu ra tại Output trên mô hình Matlab là một chuỗi các sóng trong đó biên độ tín hiệu bị suy giảm và trễ pha, mô tả như trên hình 10. Tín hiệu đặt vào IDT của cảm biến là:

$$u(t) = 2 * \cos(2\pi * 433 * 10^6 * t) \quad (V) \quad (10)$$

Trên sơ đồ khối tính độ trễ pha của SAW- hình 4, tín hiệu nhận được được chia thành hai thành phần: thành phần đồng pha nhánh 1 ($S_{in-phase}$) và thành phần vuông pha nhánh 2 ($S_{Qua-phase}$). Tan lượng giác của các góc trễ của các bộ phản xạ tương ứng được tính cụ thể như dưới đây.

Nhân phương trình (10) với phương trình (8), ta có:

$$S_{in-phase} = 2 * \cos(\omega * t) * \sum_{i=1}^3 2 * A_i * \cos(\omega * (t - \tau_i)) * \prod(t - \tau_i) = 4 * A_i * \sum_{i=1}^3 \prod(t - \tau_i) * \frac{1}{2} * \begin{bmatrix} \cos(\omega * t + \omega * (t - \tau_i)) \\ + \cos(\omega \tau_i) \end{bmatrix} \quad (11)$$



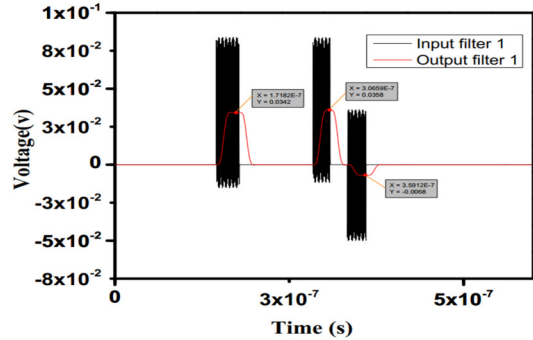
Hình 10. Tín hiệu ra của SAW tại Output

• Dịch pha phương trình (10) đi 90° sau đó nhân cho phương trình (8) ta có:

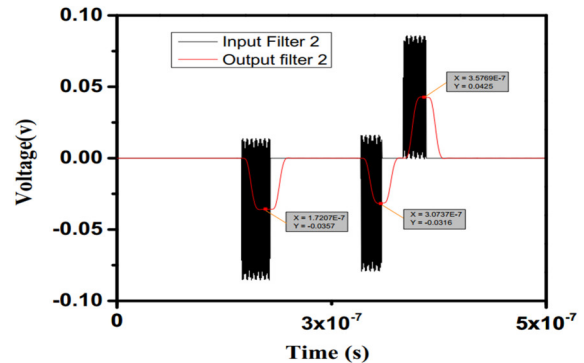
$$S_{Qua-phase} = 2 * \cos\left(\omega * t - \frac{\pi}{2}\right) * \sum_{i=1}^3 2 * A_i * \cos(\omega * (t - \tau_i)) * \prod(t - \tau_i) = 4 * A_i * \sum_{i=1}^3 \prod(t - \tau_i) * \frac{1}{2} * \begin{bmatrix} \cos\left(\omega * t - \frac{\pi}{2} + \omega * (t - \tau_i)\right) \\ + \cos\left(\omega \tau_i - \frac{\pi}{2}\right) \end{bmatrix} \quad (12)$$

• Các tín hiệu đầu ra của bộ nhận được đưa vào hai bộ lọc thông thấp, do vậy thành phần chứa $2 * \omega * t$ bậc cao sẽ bị loại bỏ, khi đó phương trình (11) và (12) trở thành:

$$S_{in-phase} = \sum_{i=1}^3 C_i * \prod(t - \tau_i) * \cos(\omega \tau_i) \\ S_{Qua-phase} = \sum_{i=1}^3 C_i * \prod(t - \tau_i) * \sin(\omega \tau_i) \\ \text{với } C_i = 2 * A_i \\ \text{do đó} \\ \frac{S_{in-phase}}{S_{Qua-phase}} = \frac{\sum_{i=1}^3 C_i * \prod(t - \tau_i) * \cos(\omega \tau_i)}{\sum_{i=1}^3 C_i * \prod(t - \tau_i) * \sin(\omega \tau_i)} = \sum_{i=1}^3 \tan(\omega \tau_i) \quad (13)$$



Hình 11. Tín hiệu đầu vào và đầu ra của bộ lọc thứ nhất



Hình 12. Tín hiệu đầu vào và đầu ra của bộ lọc thứ hai

Từ thông số của tín hiệu trên hình 11 và 12 ta thu được đồ thị của $S_{in-phase}$ và $S_{Qua-phase}$ từ công thức 13, tính ra được tan lượng giác của góc trễ pha của từng bộ phản xạ tương ứng.

5. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

Với xu thế sử dụng mạng cảm biến hiện nay cùng với công nghệ nhận dạng thẻ ID phát triển rộng rãi, việc một thiết bị đọc có thể đọc thông tin phản xạ từ nhiều tag cảm biến và xử lý tương quan đòi hỏi nhiều thuật toán phần mềm tương thích với tiết bị phần cứng. Bài báo này đã mô phỏng cấu trúc cảm biến SAW RDL một cổng sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn trên Ansys, đồng thời mô phỏng thành công quá trình đọc xung hồi đáp từ cảm biến trên Matlab/Simulink. Các thông số thu được từ mô phỏng FEM là biên độ sóng phản xạ G_{in} , thời gian trễ của hồi đáp τ_i và độ dài cụm sóng phản xạ l_i của mô phỏng Ansys được sử dụng làm đầu vào trong mô hình cảm biến trên Matlab/Simulink. Kết quả mô phỏng là tín hiệu dao động cosine nhận được trên Matlab được tách thành hai thành phần đồng pha và vuông pha khi giải điều chế tín hiệu và đưa qua bộ lọc thông thấp. Biểu thức tan lượng giác cho phép xác định độ lệch pha giữa tín hiệu chủ động phát ra từ bộ đọc và hồi đáp từ SAW

Trong bài báo này, chúng tôi thành công trong việc kết hợp hai phần mềm mô phỏng, thực hiện trên cấu trúc với ba bộ phản xạ. Tuy nhiên, thuật toán mới chỉ dừng lại ở biểu thức tính tan lượng giác. Trong hướng nghiên cứu tiếp theo, chúng tôi dự kiến tăng số lượng tag cảm biến và đọc về nhiều tín hiệu phản xạ đồng thời tính toán góc trễ pha theo đơn vị đo, thực hiện chi tiết việc khắc độ thang đo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. W. Wilson, et al., 2009. *Orthogonal frequency coded SAW sensors for aerospace SHM applications*. IEEE Sensors Journal, vol. 9, no. 11, pp. 1546-1556.
- [2]. F. Gruhl, B. Rapp, M. Rapp, K. Länge, 2009. *Surface acoustic wave (SAW) biosensor chip system-a promising alternative for biomedical applications*. in World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, Munich, Germany, pp. 73-76: Springer.
- [3]. K.T. Tang, et al., 2010. *An electronic-nose sensor node based on polymer-coated surface acoustic wave array for environmental monitoring*. in The 2010 International Conference on Green Circuits and Systems, 2010, pp. 118-122: IEEE.
- [4]. V. Kalinin, 2011. *Wireless physical SAW sensors for automotive applications*. in 2011 IEEE International Ultrasonics Symposium, pp. 212-221: IEEE.
- [5]. K. Stroganov, T. Kronidov, B. Luylin, V. Kalinin, V. Plessky, 2014. *SAW temperature sensors for electric power transmission lines*. in 2014 European Frequency and Time Forum (EFTF), pp. 157-159: IEEE.
- [6]. G. Bruckner, B. Wall, R. Grünwald, M. Klein, 2015. *A 600° C Wireless and Passive Temperature Sensor Based on Langasite SAW-Resonators*. in A 600° C Wireless and Passive Temperature Sensor Based on Langasite SAW-Resonators, p. 390.
- [7]. L. Reindl, W. Ruile, 1993. *Programmable reflectors for SAW-ID-tags*. in 1993 Proceedings IEEE Ultrasonics Symposium, 1993, pp. 125-130: IEEE.
- [8]. D. Malocha, N. Kozlovski, B. Santos, J. Pavlina, M. Belkerdid, T. Mears, 2009. *Ultra wide band surface acoustic wave (SAW) RF ID tag and sensor*. in MILCOM 2009-2009 IEEE Military Communications Conference, 2009, pp. 1-7: IEEE.
- [9]. W.E. Bulst, G. Fischerauer, L. Reindl, 1998. *State of the art in wireless sensing with surface acoustic waves*. in IECON'98. Proceedings of the 24th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (Cat. No. 98CH36200), vol. 4, pp. 2391-2396: IEEE.
- [10]. J. Kuypers, S. Tanaka, M. Esashi, D. Eisele, L. Reindl, 2006. *2.45 GHz passive wireless temperature monitoring system featuring parallel sensor interrogation and resolution evaluation*. in SENSORS, 2006 IEEE, 2006, pp. 773-776: IEEE.
- [11]. D. Malocha, et al., 2008. *Orthogonal frequency coded SAW sensors and RFID design principles*. in 2008 IEEE International frequency control symposium, pp. 278-283: IEEE.
- [12]. L. Reindl, G. Scholl, T. Ostertag, C. Ruppel, W.E. Bulst, F. Seifert, 1996. *AW devices as wireless passive sensors*. in 1996 IEEE Ultrasonics Symposium. Proceedings, vol. 1, pp. 363-367: IEEE.
- [13]. A. Pohl, 2000. *A review of wireless SAW sensors*. IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control, vol. 47, no. 2, pp. 317-332.
- [14]. V. Kutiš, G. Gálik, V. Královič, I. Rýger, E. Mojto, T. Lalinský, 2012. *Modelling and simulation of SAW sensor using FEM*. Procedia Engineering, vol. 48, pp. 332-337.
- [15]. N. T. Ha, P. D. Hung, H. S. Hong, N. T. Truyen, 2017. *A study of the effect of IDTs and input signals on the amplitude of propagation waves of the passive SAW structure*. in 2017 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), pp. 453-457: IEEE.
- [16]. M. H. Tran, H. H. Si, 2021. *Mô phỏng đánh giá độ chọn lọc của bộ lọc SAW có cấu trúc bất đối xứng sử dụng phương pháp FEM và mô hình mạch tương đương*. Measurement, Control, and Automation, vol. 2, no. 1, 2021.
- [17]. B. Achour, G. Attia, C. Zerrouki, N. Fourati, K. Raoof, N. Yaakoubi, 2020. *Simulation/Experiment Confrontation, an Efficient Approach for Sensitive SAW Sensors Design*. Sensors, vol. 20, no. 17, p. 4994.
- [18]. J. Kirschner, 2010. *Surface acoustic wave sensors (SAWS)*. Micromechanical systems.
- [19]. C. Campbell, 2012. *Surface acoustic wave devices and their signal processing applications*. Elsevier.
- [20]. N. T. Hà, et al., 2015. *A FEM simulation of the influence of the reflector on the response of the passive wireless SAW structure*.

AUTHORS INFORMATION

**Nguyen Thu Ha^{1,2}, Trinh Van Thai¹,
Cung Thanh Long¹, Hoang Si Hong¹**

¹School of Electrical and Electronic Engineering, Hanoi University of Science and Technology

²Hanoi University of Industry