

GIẢM NHIỀU, CẢI THIỆN PHÉP ĐO XÁC ĐỊNH VỊ TRÍ PHÓNG ĐIỆN CỤC BỘ TRONG MÁY BIẾN ÁP THEO LÝ THUYẾT THỜI GIAN ĐẾN

DENOISING, IMPROVEMENT OF MEASUREMENT OF LOCATION OF PARTIAL DISCHARGE IN POWER TRANSFORMERS USING THEORY OF ARRIVAL TIME

Nguyễn Vũ Thắng¹, Đỗ Anh Tuấn¹, Nguyễn Hoàng Nam², Hoàng Sĩ Hồng²

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên;

²Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

Tóm tắt:

Trong máy biến áp, phóng điện cục bộ (PD-*partial discharge*) là nguyên nhân chính dẫn đến phá hủy hệ thống cách điện. Vì vậy, việc xác định chính xác vị trí PD trong máy biến áp đem lại nhiều lợi ích. Do vậy, bài báo tập trung nghiên cứu nhằm cải thiện độ chính xác của các phép đo theo lý thuyết thời gian đến. Trong đó bài báo đề cập tới một mô hình thí nghiệm thực hiện quá trình phát và thu tín hiệu PD giả định theo phương pháp thời gian đến. Kết quả cho thấy có thể loại bỏ được nhiễu, nâng cao độ chính xác của phép đo thông qua việc thiết kế các phần tử trong hệ mạch thích hợp.

Từ khóa:

Phóng điện cục bộ, phương pháp thời gian đến, cải thiện độ chính xác của phép đo.

Abstract:

In the power transformer systems, partial discharge (PD) is a major reason for destroying the insulation system in power transformers. Therefore, determining accuracy the location of a PD in power transformers are necessary. In this study, we focus on improvement the accuracy of partial discharge measurements using theory of arrival time. An experiment model, which performs processes of transmitting and receiving PD signals using method of arrival time, was also referred. The results showed that noise can be eliminated and accuracy of measurement can be enhanced based on design of elements of integrated circuits.

Keywords:

Partial discharge, arrival time approach, improve measurement accuracy.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

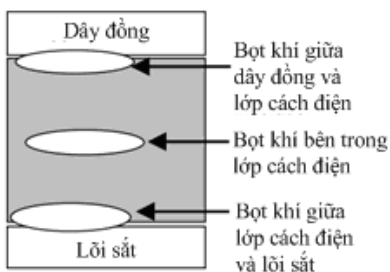
Máy biến áp lực là một thiết bị đắt tiền nhất trong mạng truyền tải điện năng, nó

chiếm tới gần 60% tổng giá thành của hệ thống. Việc hư hỏng hoặc sự cố đều gây ra những tổn thất hết sức nặng nề [1]. Tuổi thọ của máy biến áp luôn được xác định bởi tình trạng dầu và giấy cách điện của máy. Trong khi sự già hóa của cách

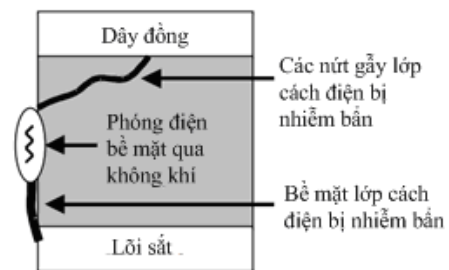
Ngày nhận bài: 30/6/2017, ngày chấp nhận đăng: 3/10/2017, phản biện: TS. Nguyễn Ngọc Trung.

điện là hiển nhiên, đặc biệt còn tăng lên khi máy biến áp phải làm việc với công suất lớn. Kết quả tạo ra sự đánh thủng cách điện và được coi như là đánh thủng cục bộ (PD-partial discharge) [2]. Do vậy, PD có thể được mô tả như một xung điện phóng điện trong một khoảng trống chứa khí hoặc trên một bề mặt điện môi của một hệ thống cách điện dạng rắn hoặc lỏng. Sự phóng điện này có thể xảy ra trong bất kỳ khoảng trống nào giữa dây dẫn đồng với vật liệu cách điện hoặc giữa

vật liệu cách điện với lõi thép hoặc ngay bên trong vật liệu cách điện cũng như trên bề mặt vật liệu cách điện. Các xung PD xuất hiện ở tần số cao và suy giảm nhanh chóng chỉ trong một khoảng cách ngắn. Sự phóng điện tạo ra những tia lửa nhỏ phát sinh trong hệ thống cách điện, làm giảm độ cách điện và có thể dẫn đến sự phá hủy hoàn toàn hệ thống cách điện [3]. Hình 1 thể hiện phóng điện cục bộ bên trong và trên bề mặt hệ thống cách điện.



a. PD xảy ra bên trong hệ thống cách điện

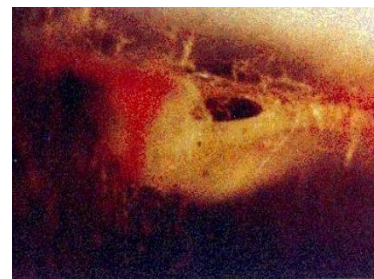


b. PD xảy ra trên bề mặt hệ thống cách điện

Hình 1. PD xảy ra bên trong và trên bề mặt hệ thống cách điện [3]

Tín hiệu PD được đặc trưng bởi các xung dòng tần số cao gắn liền với nhiễu [4]. Tùy thuộc vào tính chất và điều kiện của môi trường truyền sóng mà sóng âm có thể truyền với các vận tốc khác nhau như trong: dầu 1413 m/s, đồng 3570 m/s, sắt

5100 m/s [5]. Các nguồn PD trong máy biến áp bức xạ ra sóng âm có tần số trong dải từ vài chục kHz đến vài GHz và có thể dùng các cảm biến sóng âm để thu các tần số này. Hình 2 cho thấy tác hại của PD cho hệ thống cách điện.



Hình 2. PD gây ra trong hệ thống cách điện cao áp

Sự đo lường các phóng điện cục bộ (PD) là một sự chắc chắn và là một công cụ chẩn đoán chính xác cho sự đánh giá tình trạng cách điện của máy biến áp. Hai nhiệm vụ chính của các phép đo PD là: (i) xác định được PD, nó cung cấp bằng chứng rằng có xuất hiện PD và dạng của chúng và (ii) vị trí của PD. Nếu giải quyết được cả hai nhiệm vụ trên nó sẽ đem lại: cho phép thuận tiện trong việc lập kế hoạch bảo trì, sửa chữa, giảm thiểu chi phí, tiết kiệm được thời gian trong quá trình phân tích các rủi ro [6].

Việc phát hiện, định vị PD sử dụng tín hiệu bức xạ âm thanh, đặc biệt cải thiện được độ chính xác của các phép đo đã được giải quyết trong một số nghiên cứu [7], [8]. Trong đó tập trung giảm sự ảnh hưởng của nhiễu thông qua phép biến đổi wavelet và áp dụng việc loại trừ các băng tần số năng lượng thấp [7], hoặc có thể thông qua phép biến đổi wavelet để tạo ra một hàm ngưỡng phi tuyến mới có khả năng mềm dẻo hơn [8]. Bài báo này trình bày phương pháp xác định vị trí nguồn phóng điện cục bộ theo phương pháp thời gian đến và kết hợp với thực nghiệm nhằm cải thiện độ chính xác của phép đo.

2. XÁC ĐỊNH ĐIỂM PHÓNG ĐIỆN CỤC BỘ THEO PHƯƠNG PHÁP THỜI GIAN ĐẾN

2.1. Phương pháp thời gian đến

Phương pháp thời gian đến là phương pháp mà chỉ sử dụng thông tin thời gian đến. Thông tin thời gian đến có thể coi là ổn định hơn do thời gian truyền ít nhạy cảm hơn tới sự thay đổi của các thuộc tính trung bình của tín hiệu. Bởi vậy, phương

pháp này được sử dụng trong hầu hết các trường hợp xác định vị trí. Trong phần này chúng ta nghiên cứu và đánh giá hai phương pháp quan trọng là: phương pháp không lặp và phương pháp lặp.

2.2.1. Phương pháp không lặp

Cách tiếp cận phương pháp này là từ hệ phương trình tính khoảng cách D_i từ nguồn âm tới cảm biến thứ i như sau:

$$(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2 = v^2 (t_i - t)^2 \quad (1)$$

trong đó x_i, y_i, z_i là tọa độ của các cảm biến thứ i (đã biết) và x, y, z, t là các biến chưa biết biểu thị tọa độ vị trí nguồn âm và thời gian gốc của sự kiện.

Theo Inglada [9] tính toán được số lượng cảm biến cần sử dụng trong hệ là tối thiểu (4 cảm biến). Các tọa độ x, y, z trong điều kiện t có thể được xác định thông qua quy tắc Cramer sau khi đã tuyến tính hóa hệ phương trình (1) như sau:

$$x = \frac{M_1 + N_1 t}{D}; y = \frac{M_2 + N_2 t}{D}; z = \frac{M_3 + N_3 t}{D} \quad (2)$$

trong đó D là định thức hệ số của hệ phương trình tuyến tính. M_j và N_j (với $j = 1, 2, 3$) cũng là các định thức tương tự như D , nhưng với cột thứ j của D được thay bởi các tham số tương ứng bên vế phải của hệ phương trình tuyến tính. Thay các đại lượng được xác định trong phương trình (2) trở lại phương trình (1) để tìm ra t , sau đó thay t trở lại phương trình (2) sẽ tìm được các tọa độ x, y, z .

Một cách đề cập khác của phương pháp không lặp là phương pháp USBM (*United States Bureau of Mines*) [10], [11]. Theo

đó hệ phương trình (1) được viết lại là:

$$D_i - D_1 = v(t_i - t_1) \quad (3)$$

trong đó $i = 2, 3, \dots, m$. Bình phương và đơn giản phương trình (3), sau đó tuyến tính hóa nó bằng cách trừ phương trình thứ 2 trong hệ cho các phương trình còn lại sẽ nhận được phương trình dạng:

$$f_{i,1}x + f_{i,2}y + f_{i,3}z = h_i + g_i v^2 \quad (4)$$

trong đó:

$$f_{i,1} = 2\left(\frac{a_2}{t_2} - \frac{a_i}{t_i}\right); f_{i,2} = 2\left(\frac{b_2}{t_2} - \frac{b_i}{t_i}\right);$$

$$f_{i,3} = 2\left(\frac{c_2}{t_2} - \frac{c_i}{t_i}\right); g_i = t_2 - t_1; h_i = \frac{e_2}{t_2} - \frac{e_i}{t_i}$$

với $i = 3, 4, \dots, m$

phương trình (4) là một phương trình tuyến tính có dạng:

$$Ax = b \quad (5)$$

với

$$A = \begin{bmatrix} f_{3,1} & f_{3,2} & f_{3,3} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ f_{m,1} & f_{m,2} & f_{m,3} \end{bmatrix};$$

$$x = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}; \quad b = \begin{bmatrix} h_3 + g_3 v^2 \\ \vdots \\ h_m + g_m v^2 \end{bmatrix}$$

Như vậy, có thể nói phương pháp không lặp dễ sử dụng và tính toán bởi các hệ phương trình thực hiện đều có dạng tuyến tính. Tuy nhiên, phương pháp này không thực tế bởi để áp dụng được nó thì luôn phải giả thiết tín hiệu truyền cùng một vận tốc cho tất cả các trạm thu.

2.2.2. Phương pháp lặp

Hai phương pháp lặp rất quan trọng là phương pháp Geiger [12] và Thurber [13]. Cả hai phương pháp này đều dựa trên cơ sở các đa thức Taylor.

Với phương pháp lặp Geiger được coi là phương pháp xác định vị trí nguồn âm cổ điển và được sử dụng rộng rãi nhất, thuật toán của nó dùng để giải các bài toán phi tuyến dựa trên cơ sở các đa thức Taylor bậc nhất. Giả sử hàm $f_i(x)$ biểu diễn chức năng thời gian đến được kết hợp với cảm biến thứ i . Các biến x, y, z là các tọa độ của biến cố và t là thời gian gốc của biến cố. Khai triển Taylor bậc nhất tại một vị trí xung quanh x_0 là:

$$f_i(x) = f_i(x_0 + \delta x) =$$

$$= f_i(x_0) + \frac{\partial f_i}{\partial x} \delta x + \frac{\partial f_i}{\partial y} \delta y + \frac{\partial f_i}{\partial z} \delta z + \frac{\partial f_i}{\partial t} \delta t \quad (6)$$

trong đó:

$$x = x_0 + \delta x;$$

$$x_0 = (x_0, y_0, z_0, t_0)^T; \delta x = (\delta x, \delta y, \delta z, \delta t)^T$$

Về trái phương trình (6), $f_i(x_0 + \delta x)$ biểu diễn thời gian đến thu được tại cảm biến thứ i , nó được quy ước là *thời gian đến quan sát*. Ý nghĩa vật lý của phương trình (6) là thời gian đến quan sát được thể hiện bởi thời gian đến được tính toán $f_i(x_0)$ (đã biết) từ một vị trí gần đó và thêm một hệ số hiệu chỉnh $\frac{\partial f_i}{\partial x} \delta x + \frac{\partial f_i}{\partial y} \delta y + \frac{\partial f_i}{\partial z} \delta z + \frac{\partial f_i}{\partial t} \delta t$. Hệ số hiệu chỉnh này là một hàm của các đạo hàm riêng của các tham số. Tất cả các đạo hàm riêng của hàm thời gian đến ở đây là các đại lượng đã biết, chúng có thể được xác

định dựa trên các giải pháp thử nghiệm. Mục tiêu chính là phải tìm giá trị x_0 , điều này được thực hiện trong một quá trình thử nghiệm chỉnh. Giải pháp thử nghiệm được cập nhật tại đầu mỗi lần lặp bằng cách thêm δx đã biết như là vector hiệu chỉnh thu được từ việc lặp lại trước đó. Hiệu chỉnh vector δx đã được xây dựng và nó có thể được thêm vào giải pháp thử nghiệm trước đó để tạo thành một giải pháp thử nghiệm mới. Quá trình này được lặp lại cho đến khi các tiêu chí về lỗi được đáp ứng đầy đủ và giải pháp thử nghiệm cuối cùng được coi là nguồn thực.

Đối với phương pháp lặp Thurber sử dụng các thông tin của cả hai đạo hàm bậc nhất và bậc hai để hiệu chỉnh các vector hiệu chỉnh. Khai triển Taylor bậc hai tại một vị trí xung quanh x_0 là:

$$\begin{aligned} f_i(x) &= f_i(x_0 + \delta x) = \\ &= f_i(x_0) + g_i^T \delta x + \frac{1}{2} \delta x^T H_i \delta x \end{aligned} \quad (7)$$

trong đó: g_i^T là chuyển vị của gradient vector g_i được xác định bởi:

$$g_i^T = \nabla f_i(x) = \left(\frac{\partial f_i}{\partial x}, \frac{\partial f_i}{\partial y}, \frac{\partial f_i}{\partial z}, \frac{\partial f_i}{\partial t} \right) \quad (8)$$

và H_i là ma trận Hessian:

$$H_i = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f_i}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 f_i}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 f_i}{\partial x \partial z} & \frac{\partial^2 f_i}{\partial x \partial t} \\ \frac{\partial^2 f_i}{\partial y \partial x} & \frac{\partial^2 f_i}{\partial y^2} & \frac{\partial^2 f_i}{\partial y \partial z} & \frac{\partial^2 f_i}{\partial y \partial t} \\ \frac{\partial^2 f_i}{\partial z \partial x} & \frac{\partial^2 f_i}{\partial z \partial y} & \frac{\partial^2 f_i}{\partial z^2} & \frac{\partial^2 f_i}{\partial z \partial t} \\ \frac{\partial^2 f_i}{\partial t \partial x} & \frac{\partial^2 f_i}{\partial t \partial y} & \frac{\partial^2 f_i}{\partial t \partial z} & \frac{\partial^2 f_i}{\partial t^2} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Ý nghĩa vật lý của $f_i(x_0 + \delta x)$ và $f_i(x_0)$

trong phương trình (7) vẫn giữ nguyên như trong phương trình (6), nó là đặc trưng cho thời gian đến quan sát và tính toán tương tự. Tuy nhiên phương trình (7) là một hàm bậc hai của vector hiệu chỉnh. Với phép lấy đạo hàm riêng của phương trình và thiết lập phương trình kết quả bằng không, ta có:

$$g_i + H_i \delta x = 0 \quad (10)$$

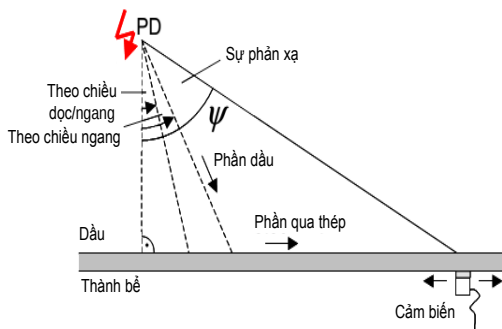
Phương pháp Thurber là quá trình chuyển đổi từ phương trình (7) thành phương trình (10). Phương trình (7) là một hàm bậc hai. Bằng việc lấy đạo hàm riêng của phương trình này sau đó cho phương trình bằng không, phương trình (10) xác định được điểm cực trị của hàm bậc hai này. Điểm cực trị này trong phương pháp Newton được coi như là vector hiệu chỉnh tối ưu cho các giải pháp thử nghiệm.

Như vậy, bản chất các phương pháp đạo hàm là sử dụng các đặc tính phi tuyến các hàm số cho các giải pháp thử nghiệm được mô tả bởi các đạo hàm để xác định vector hiệu chỉnh. Sự khác biệt giữa các phương pháp đạo hàm là dạng đặc tính phi tuyến được sử dụng. Phương pháp đạo hàm đơn giản nhất là phương pháp lặp Geiger, đặc tính phi tuyến được sử dụng bởi phương pháp này là gradient. Phương pháp lặp Thurber phức tạp hơn do sử dụng cả các đạo hàm bậc nhất và bậc hai.

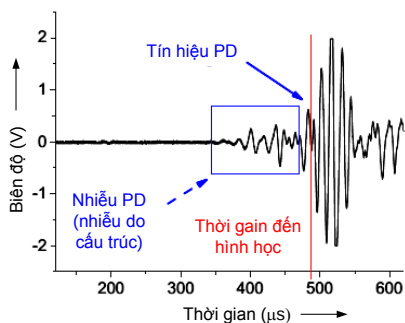
2.2. Xác định vị trí điểm phóng điện cục bộ theo phương pháp thời gian đến

Đường lan truyền từ điểm PD đến các cảm biến thu khá phức tạp, phụ thuộc vào vị trí đặt cảm biến so với vị trí nguồn PD. Tuy nhiên về cơ bản chỉ có ba đường lan

truyền chính là: đường lan truyền trực tiếp từ điểm PD qua dầu tới cảm biến, đường lan truyền do phản xạ tới cảm biến và đường lan truyền theo thành bể của biến áp tới cảm biến, như được thể hiện trên hình 3. Như vậy, tín hiệu thu được tại mỗi cảm biến sẽ là tổng của các tín hiệu theo các đường lan truyền khác nhau truyền tới với các khoảng thời gian khác nhau, do tính chất của môi trường truyền khác nhau và độ dài quãng đường truyền sóng khác nhau nên biên độ tín hiệu thu được tại các thời điểm khác nhau cũng có giá trị độ lớn khác nhau, như được thể hiện trên hình 4.

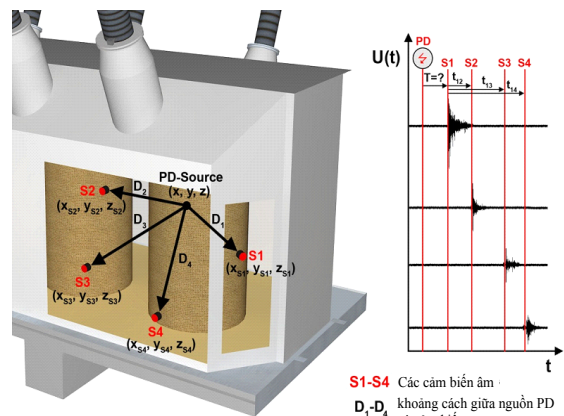


Hình 3. Minh họa cấu trúc đường dẫn: cảm biến âm không trực tiếp ở vị trí nguồn PD, do đó đường truyền dẫn có một phần của dầu (bao gồm dầu đơn thuần, có thể là các tấm ép và các bộ phận cuộn dây) và thép [6]



Hình 4. Tín hiệu PD âm thanh (điện tích 491 pC) với thời gian đến biết rõ và biết trước các cấu trúc nhiễu [6]

Thực tế cho thấy có ba cách tiếp cận để khẳng định hệ thống máy biến áp đang hoạt động có xảy ra hiện tượng phóng điện cục bộ hay không đó là: phương pháp DGA (*Dissolved Gas in oil Analysis*), UHF (*Ultra High Frequency*) và AE (*Acoustic Emission*) [5]. Tuy nhiên để định vị được vị trí của nguồn PD thì chỉ có phương pháp AE được dùng nhiều hơn cả bởi một phần lý do đã được phân tích ở trên. Ngoài ra, cảm biến AE có chi phí hợp lý hơn và dễ lắp đặt trong khi máy biến áp được kích hoạt bằng cách gắn bộ cảm biến lên thành của bể biến áp bằng cách sử dụng bộ giữ từ. Hơn nữa, cảm biến AE không ảnh hưởng bởi các nhiễu điện bên ngoài và nhiễu điện từ [2].



Hình 5. Sơ đồ kỹ thuật sự khác nhau thời gian đến (TDOA) cho vị trí phóng điện cục bộ trong máy biến áp [14]

Trong phương pháp AE thường sử dụng kỹ thuật TDOA (*Time Difference of Arrival*). Thông tin được lấy tại các cảm biến là thời gian đến của sóng lan truyền trực tiếp từ nguồn PD qua môi trường dầu tới các cảm biến tương ứng. Thời gian đến chính xác được xác định và điều kiện

cho điểm bắt đầu có thể căn cứ vào các mức năng lượng hoặc các điều kiện ngưỡng. Do khoảng cách tương đối từ nguồn PD tới các cảm biến AE khác nhau nên thời gian sóng âm truyền tới các cảm biến cũng khác nhau nên có sự chênh lệch về thời gian giữa các cảm biến. Hình 5 cho thấy hệ thống sử dụng 4 cảm biến để xác định vị trí nguồn PD và tín hiệu nhận được trên từng cảm biến.

Theo hình 5 để tìm được tọa độ vị trí điểm sự cố cần phải giải hệ phương trình phi tuyến sau:

$$(x-x_{s1})^2 + (y-y_{s1})^2 + (z-z_{s1})^2 = (vT)^2 \quad (11)$$

$$(x-x_{s2})^2 + (y-y_{s2})^2 + (z-z_{s2})^2 = [v(T+t_{12})]^2 \quad (12)$$

$$(x-x_{s3})^2 + (y-y_{s3})^2 + (z-z_{s3})^2 = [v(T+t_{13})]^2 \quad (13)$$

$$(x-x_{s4})^2 + (y-y_{s4})^2 + (z-z_{s4})^2 = [v(T+t_{14})]^2 \quad (14)$$

trong đó tọa độ x, y, z của điểm sự cố PD và thời gian gốc T của nó là chưa biết và v là vận tốc truyền sóng âm. Hệ phương trình phi tuyến trên có thể được giải với một thuật toán giải trực tiếp (không lặp) hoặc với thuật toán lặp bình phương bé nhất và kết quả phụ thuộc nhiều vào giá trị ban đầu do người sử dụng lựa chọn [14].

Như vậy, trong các phương pháp để xác định vị trí điểm PD trong hệ thống máy biến áp, độ chính xác của vị trí PD phụ thuộc vào nhiều yếu tố, trong đó phải kể đến:

- Phụ thuộc vào vị trí PD và cấu tạo máy biến áp, bởi hai yếu tố này tác động trực tiếp tới đường lan truyền của sóng âm. Đặc biệt đường lan truyền trực tiếp trong dầu làm suy giảm tín hiệu rất nhiều và làm hạn chế phép đo;

- Có nhiều đường truyền từ nguồn âm tới cảm biến (trực tiếp trong dầu, phản xạ, truyền qua thành bể biến áp), bởi năng lượng tín hiệu thu được tại cảm biến là tổng năng lượng của tất cả các đường kể trên;

- Phụ thuộc vào vị trí đặt cảm biến và tình trạng của cảm biến;

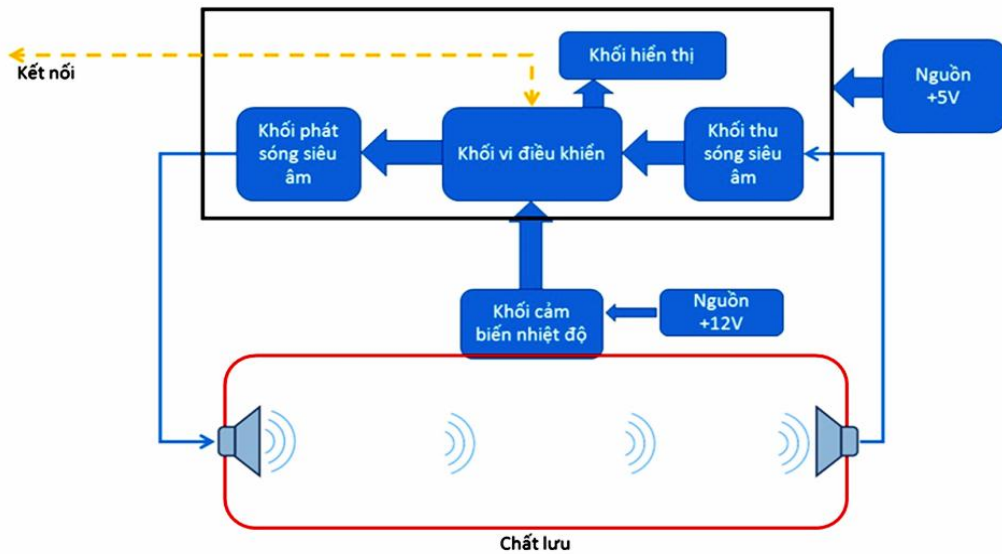
- Phụ thuộc vào chất lượng của các thiết bị đo, hệ thống phần cứng, hệ thống phần mềm và kinh nghiệm của người thực hiện...

Vì vậy việc xây dựng một thuật toán tối ưu cho từng điều kiện cụ thể là điều hết sức cần thiết. Một thí nghiệm thực tế sau đây cho ta sẽ xem xét về việc phát và thu sóng siêu âm dựa trên lý thuyết thời gian đến.

4. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

Một mô hình thí nghiệm thể hiện quá trình phát và thu sóng siêu âm được thể hiện theo sơ đồ khối hình 6.

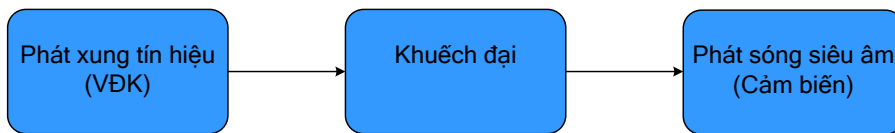
Trong phần thí nghiệm này, nhóm tác giả chỉ trình bày quá trình phát và thu nhận sóng siêu âm theo phương pháp thời gian đến trong môi trường đồng nhất là không khí và không có vật cản giữa các cảm biến.



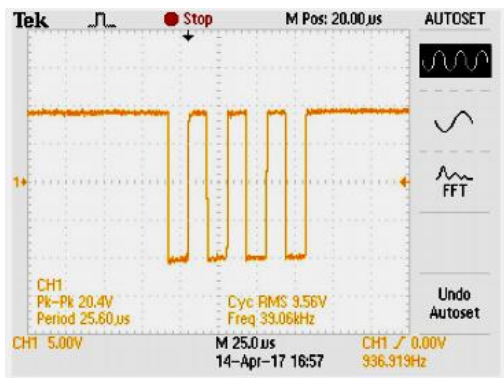
Hình 6. Mô hình hệ thống phát và thu sóng siêu âm

4.1. Sơ đồ khối phát sóng siêu âm

Sơ đồ khối phát sóng siêu âm được thể hiện trên hình 7.



Hình 7. Sơ đồ chức năng khối phát sóng siêu âm



Hình 8. Xung điện áp sau khi đi qua mạch phát sóng siêu âm

Mạch phát xung tín hiệu sử dụng vi điều khiển phát ra một chuỗi xung gồm 4 xung vuông, tần số 40 kHz sau đó được khuếch

đại với biên độ điện áp yêu cầu tại đầu ra là ± 10 V, dòng điện xấp xỉ 40 mA, tần số 40 kHz.

Sau khi thiết kế và chạy thử cho ra được tín hiệu sau mạch phát sóng siêu âm có dạng như hình 8.

4.2. Sơ đồ khối thu sóng siêu âm

Sơ đồ khối thu sóng siêu âm được thể hiện trên hình 9. Trong đó:

- Tiền khuếch đại: cấu trúc mạch điện như hình 10.

Tính điện áp đầu ra:

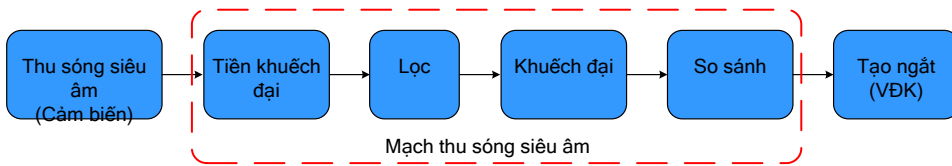
$$\begin{aligned} V_{out} &= -\frac{R_2}{R_1} V_{in} + 2,5 \text{ (V)} \\ &= -\frac{47 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega} V_{in} + 2,5 \text{ (V)} \\ &= -47 V_{in} + 2,5 \text{ (V)} \end{aligned} \quad (15)$$

Nếu đầu vào

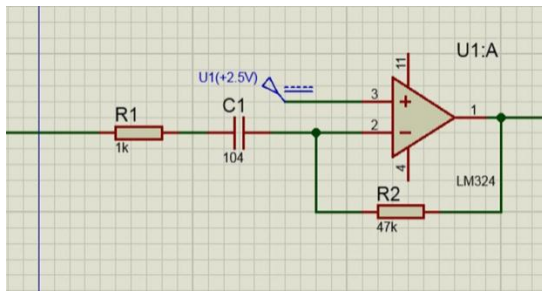
$V_{in} = 20 \cdot 10^{-3} \cdot \sin(40 \cdot 10^3 \cdot t) \text{ (V)}$, biểu thức (15) có thể được viết lại là

$$\begin{aligned} V_{out} &= -47 \left(20 \cdot 10^{-3} \cdot \sin(40 \cdot 10^3 \cdot t) \right) + 2,5 \text{ (V)} \\ &= -0,94 \sin(40000t) + 2,5 \text{ (V)} \end{aligned} \quad (16)$$

Như vậy V_{out} trong biểu thức (16) luôn nằm trong khoảng điện áp từ 0 V đến 3,5 V và thỏa mãn yêu cầu theo thiết kế.



Hình 9. Sơ đồ chức năng khối thu sóng siêu âm



Hình 10. Sơ đồ mạch tiền khuếch đại

- Bộ lọc: sử dụng bộ lọc thông dải AE-BP40S, có tần số trung tâm là 40 kHz, biên độ điện áp đầu vào tối đa 20 V, hệ số suy hao của bộ lọc là 30dB.
- Bộ khuếch đại: cấu trúc mạch điện như hình 11.

Tính điện áp đầu ra:

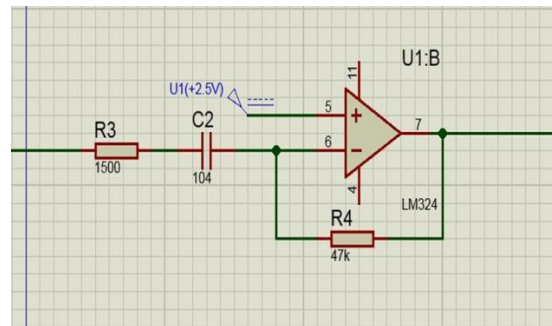
$$\begin{aligned} V_{out} &= -\frac{R_4}{R_3} V_{in} + 2,5 \text{ (V)} \\ &= -\frac{47 \text{ k}\Omega}{1,5 \text{ k}\Omega} V_{in} + 2,5 \text{ (V)} \\ &= -31,3 V_{in} + 2,5 \text{ (V)} \end{aligned} \quad (17)$$

Nếu đầu vào

$V_{in} = 29 \cdot 10^{-3} \cdot \sin(40 \cdot 10^3 \cdot t) \text{ (V)}$, biểu thức (17) có thể được viết lại là

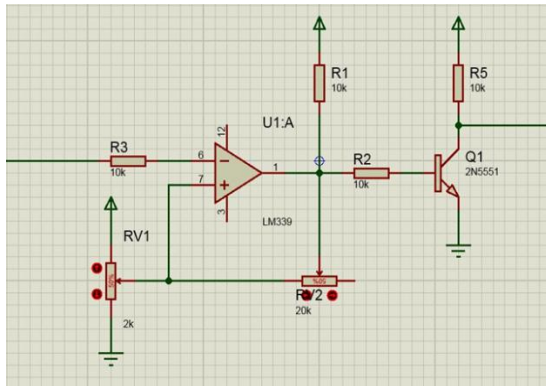
$$\begin{aligned} V_{out} &= -31,3 \left[29 \cdot 10^{-3} \cdot \sin(40 \cdot 10^3 \cdot t) \right] + 2,5 \text{ (V)} \\ &= -0,91 \sin(40000t) + 2,5 \text{ (V)} \end{aligned} \quad (18)$$

Như vậy V_{out} trong biểu thức (18) luôn nằm trong khoảng điện áp từ 0 V đến 3,5 V và thỏa mãn yêu cầu theo thiết kế.



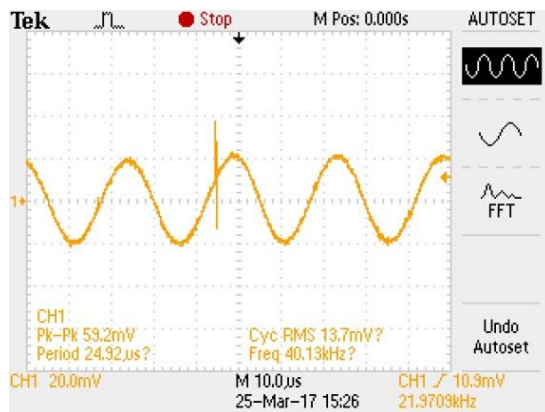
Hình 11. Sơ đồ mạch khuếch đại

- Mạch so sánh: cấu trúc mạch điện như hình 12.

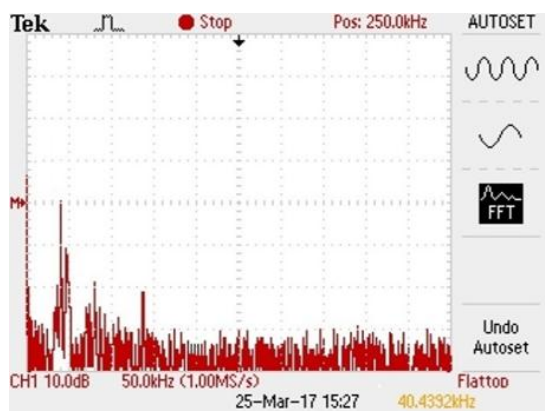


Hình 12. Sơ đồ mạch so sánh.

Các kết quả thu được:

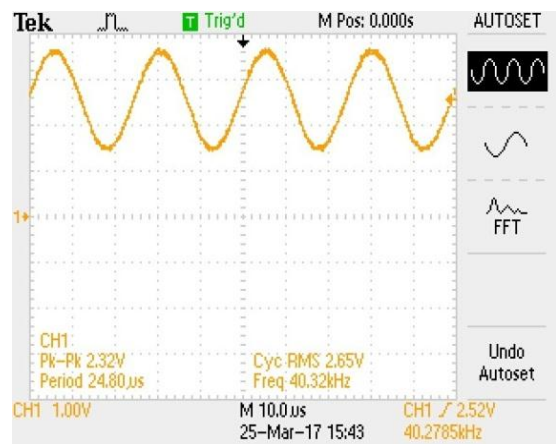


a. Tín hiệu thu được từ đầu thu cảm biến siêu âm khi đầu phát phát liên tục sóng siêu âm tần số 40 kHz

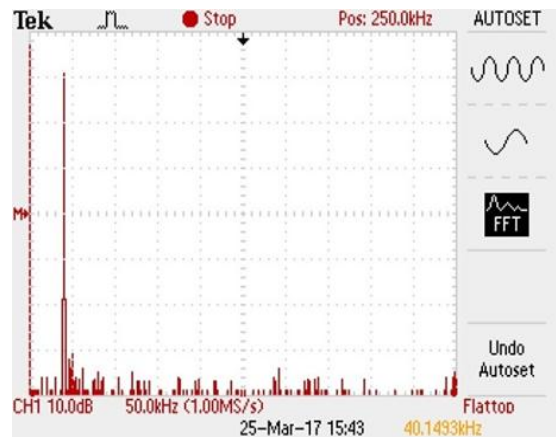


b. FFT tương ứng của tín hiệu từ đầu thu cảm biến siêu âm

Hình 13. Tín hiệu vào của hệ mạch



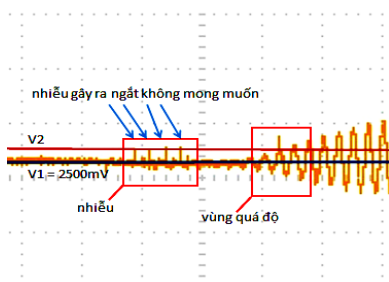
a. Tín hiệu sau khi đi qua bộ tiền khuếch đại, bộ lọc, bộ khuếch đại



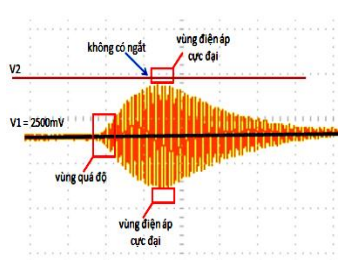
b. FFT tương ứng của tín hiệu sau khi đi qua bộ tiền khuếch đại, bộ lọc, bộ khuếch đại

Hình 14. Tín hiệu ra của hệ mạch

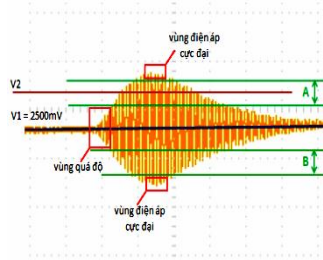
Như vậy, các nhiễu không mong muốn tác động lên tín hiệu tại điểm thu do hiện tượng sóng truyền đa đường tới cảm biến thu được loại bỏ và biên độ tín hiệu tại tần số 40 kHz đã được khuếch đại khoảng 50 lần so với điện áp 2,5 V.



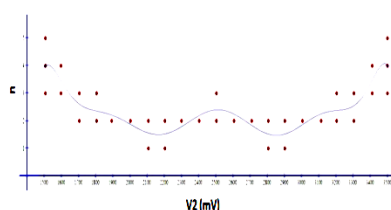
a. Lựa chọn mức điện áp V2 quá thấp sẽ gây sai số do mức biên độ của nhiễu lớn



b. Lựa chọn mức điện áp V2 quá cao sẽ gây sai số do V2 vượt quá mức biên độ lớn nhất của tín hiệu



c. Lựa chọn mức điện áp V2 thích hợp sẽ giảm thiểu được sai số của hệ



d. Biểu đồ thể hiện mối quan hệ giữa điện áp V2 và n

V2	2505	2607	2709	2806	2902	3006	3115
n	3; 2	2	2	2;1	1;2	2	2
V2	2806	2822	2839	2854	2869	2888	2902
n	2	2	2	2;1	1	1;2	2

V2	2505	2403	2301	2204	2108	2004	1895
n	3; 2	2	2	2;1	1;2	2	2
V2	2204	2189	2174	2157	2141	2224	2108
n	2	2	2	2;1	1	1;2	2

Chọn V2 = 2869 mV hoặc V2 = 2141 mV

Hình 15. Các phương pháp để lựa chọn mức điện áp so sánh (điện áp ngưỡng), với V2 là điện áp tùy chỉnh để so sánh và n là số lượng các chữ số bất ổn định trong quá trình đo

5. KẾT LUẬN

Qua những phân tích ở trên có thể đi tới kết luận phương pháp thời gian đến là phương pháp được ưu tiên hàng đầu để xác định vị trí các điểm PD trong máy biến áp. Khó khăn gặp phải là cần giảm thiểu phép đo PD tại chỗ trong khi tín hiệu PD là các xung dòng tần số cao chịu tác động của nhiễu là một trong những thách thức lớn. Bằng thực nghiệm qua mô hình thí nghiệm trên cho thấy, nhiễu có thể được loại bỏ dựa trên cơ sở thiết kế các bộ lọc và lựa chọn mức ngưỡng thích

hợp. Vì vậy có thể cải thiện được độ chính xác của phép đo. Tuy nhiên bài báo chưa đánh giá được sai số của vị trí PD cần xác định và hướng phát triển của bài báo sẽ giải quyết vấn đề này.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin gửi lời cảm ơn sâu sắc tới sự tài trợ từ kinh phí đề tài có mã số B2015-01-92 của Bộ Giáo dục và Đào tạo để bài báo có thể được thực hiện thành công.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Mithun Mondal and G.B. Kumbhar (2016), "*Partial discharge localization in a power transformer: method, trend and future research*", ITET technical review.
- [2] Wasim M.F. Al-Masri, Mamoun F. Abdel-Hafez, *Member, IEEE*, and Ayman H. El-Hag, *Senior Member, IEEE*, "*Toward high-accuracy estimation of partial discharge location*", 2016 IEEE.
- [3] P.E. Gabe Paoletti and PhD. Alex Golubev (2000), "*Partial discharge theory and technology related to medium voltage electrical equipment*", IEEE reprinted, with permission from paper 99-25 presented at the IAS 34th annual meeting.
- [4] Partha Ray, A K Maitra and Arijit Basuray, "*A New Threshold Function for De-noising Partial Discharge Signal Based on Wavelet Transform*", 2013 International Conference on Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition [ICSIPRI]. 2013 IEEE.
- [5] Wojciech Sikorski¹ and Waldemar Ziomek², "*Detection, recognition and location of partial discharge sources using acoustic emission method*", ¹Poznan University of Technology, Poland and ²University of Manitoba, Canada.
- [6] Shacha M.Markalous, Stefanenbohlen and Kurt Feser, Germany, "*Detection and location of partial discharges in power transformers using aconstic and electromanetic signals*". 2008 IEEE.
- [7] [7]. Sina Mehdizadeh, Mohammadreza Yazdchi and Mehdi Niroomand, "*A novel AE based algorithm for PD localization in power transformer*". Accepted: June 17, 2013.
- [8] Partha Ray, A K Maitra and Arijit Basuray. 2013 International Conference on Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition [ICSIPRI], "*A New Threshold Function for De-noising Partial Discharge Signal Based on Wavelet Transform*". 2013 IEEE.
- [9] Inglada, V., (1928), "*Die berechnung der herdkoordinated eines nahbebens aus den eintrittszeiten der in einigen benachbarten stationen aufgezeichneten P-oder P-weller*", Gerlands Beitrage zur Geophysik 19, 73-98.
- [10] Leighton, F. and W. Blake (1970), "*Rock noise source location techniques*," USBMRI 7432.
- [11] Leighton, F. and W. I. Duvall (1972), "*A least squares method for improving rock noise source location techniques*," USBM RI 7626.
- [12] Geiger, L. (1912), "*Probability method for the determination of earthquake epicentres from the arrival time only*," Bull. St. Louis. Univ. 8, 60-71.
- [13] Thurber, C. H. (1985), "*Nonlinear earthquake location: theory and examples*," Bull. Seism. Soc. Am. 75, 779-790.
- [14] Wojciech Sikorski and Krzysztof Walczak, "*Power transformer diagnostics based on acoustic emission method*", Chaper 5, Poznan University of Technology, Poland.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Nguyễn Vũ Thắng tốt nghiệp Thạc sĩ tại Học viện Kỹ thuật quân sự chuyên ngành kỹ thuật điện tử năm 2010. Hiện tác giả là nghiên cứu sinh tại Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên, Khoa Điện - Điện tử.

Lĩnh vực nghiên cứu: xử lý tín hiệu, xác định phóng điện cục bộ trong máy biến áp.



Tác giả Đỗ Anh Tuấn nhận bằng tốt nghiệp Đại học và Thạc sĩ chuyên ngành hệ thống điện tại Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội năm 2004 và 2008. Năm 2012, tác giả tốt nghiệp Tiến sĩ chuyên ngành vật liệu điện - điện tử và phóng điện cao áp tại Trường Đại học Dongguk, Hàn Quốc. Hiện tác giả là giảng viên Bộ môn Hệ thống điện - Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên.

Lĩnh vực nghiên cứu chính: phóng điện trong chất khí, kỹ thuật điện cao áp và các ứng dụng.



Tác giả Nguyễn Hoàng Nam nhận bằng Kỹ sư điện tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội (HUST) năm 2002, bằng Thạc sĩ về thiết bị đo và vi điện tử tại Trường Đại học Hendri Poincaré, cộng hòa Pháp năm 2004, và nhận bằng Tiến sĩ vi điều tử và điện tử Nano tại Trường Đại học Bách khoa Grenoble, cộng hòa Pháp năm 2009. Hiện tác giả công tác tại Bộ môn Kỹ thuật đo và Tin học công nghiệp (3I) - Viện Điện - Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, đồng thời là nghiên cứu viên tại Viện Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa (ICEA).

Lĩnh vực nghiên cứu: hệ thống đo thông minh, các hệ thống nhúng và hệ thống năng lượng tái tạo.



Tác giả Hoàng Sĩ Hồng tốt nghiệp đại học và thạc sĩ chuyên ngành đo lường điều khiển tại Trường Đại học Bách khoa lần lượt vào năm 1999 và 2001. Năm 2010 tác giả tốt nghiệp Tiến sĩ kỹ thuật điện tại Trường Đại học Ulsan Hàn Quốc. Hiện tác giả công tác tại Bộ môn Kỹ thuật đo và Tin học công nghiệp - Viện Điện - Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

Lĩnh vực nghiên cứu: cảm biến và thiết bị đo thông minh trong hệ thống điện.