

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO THIẾT BỊ CẢM TAY PHÁT HIỆN KHUYẾT TẬT CỦA HỆ THỐNG ĐƯỜNG ỐNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP RÒ RỈ ĐƯỜNG SỨC TỪ (MFL)

Phạm Hồng Quang, Vũ Minh Hùng, Phan Minh Quốc Bình, Nguyễn Ngọc Khương, Nguyễn Quang Vinh, Bùi Minh Thảo

Trường Đại học Dầu khí Việt Nam (PVU)

Email: quangph@pvu.edu.vn, hungvm@pvu.edu.vn

<https://doi.org/10.47800/PVSI.2025.03-07>

Tóm tắt

Nhằm đáp ứng nhu cầu kiểm tra định kỳ tình trạng sức khỏe các hệ thống đường ống đã đấu nối trong nhà máy (như nhà máy lọc dầu hay nhà máy đạm), nhóm tác giả đã nghiên cứu chế tạo thiết bị kiểm tra khuyết tật cảm tay bằng phương pháp rò rỉ đường sức từ (magnetic flux leakage - MFL). Thiết bị này không chỉ có khả năng kiểm tra nhanh, mà còn có chức năng tạo ảnh màu nhờ mảng cảm biến 2 chiều, cơ cấu quét 2 chiều, công nghệ màu hóa và tích hợp bản đồ, chưa từng có trên thế giới.

Thiết bị được lắp đặt 64 cảm biến Hall phẳng, bố trí thành mảng 2D, gắn trên đế cong phù hợp với bán kính đường ống. Mảng cảm biến và đế cong được lắp đặt trên khung có bánh xe cùng với hệ thống từ hóa. Hệ thống từ hóa gồm 3 khối liên kết qua cơ cấu tẩm trượt, cho phép điều chỉnh để ôm khít các đường ống có đường kính khác nhau. Khi sử dụng, thiết bị được đẩy dọc theo đường ống.

Để tăng độ phân giải ảnh, sau mỗi lần đo (chụp ảnh), toàn bộ mảng cảm biến được dịch chuyển một bước 1 mm theo chiều dọc ống và chu vi ống. Các hình ảnh thu được sẽ được tích hợp, tạo thành hình ảnh có độ phân giải 1 mm.

Từ khóa: Thiết bị chụp ảnh từ, thiết bị kiểm tra khuyết tật đường ống đấu nối, MFL, kiểm tra không phá hủy bằng phương pháp từ, phương pháp rò rỉ đường sức từ.

1. Giới thiệu

Hệ thống đường ống trong các nhà máy chế biến dầu khí chủ yếu được chế tạo bằng thép, đấu nối cố định và đan xen phức tạp. Sau thời gian vận hành, do tác động của môi trường và đặc tính hóa học của sản phẩm vận chuyển, các đường ống bị ăn mòn, tiềm ẩn nguy cơ mất an toàn thiết bị. Do đó, cần thực hiện kiểm tra định kỳ bằng các phương pháp không phá hủy (NDT) để có biện pháp xử lý hoặc thay thế kịp thời [1, 2].

Tại một số đơn vị thuộc Tập đoàn Công nghiệp - Năng lượng Quốc gia Việt Nam (Petrovietnam), công tác kiểm tra khuyết tật đường ống bằng phương pháp không phá hủy được thực hiện thường xuyên. Đối với hệ thống đường ống dài, liên tục và có kích thước lớn, các đơn vị sử dụng phương pháp phóng thoi (pipeline inspection gauge - PIG). Đối với các đường ống ngắn, thẳng, rời, các

đơn vị sử dụng thiết bị kiểm tra điện từ (electromagnetic inspection - EMI). Tại các nhà máy, việc kiểm tra hệ thống đường ống đã đấu nối thường sử dụng phương pháp siêu âm. Tuy nhiên, phương pháp này bị hạn chế bởi tốc độ kiểm tra chậm.

Xuất phát từ thực tế trên, nhóm tác giả đã nghiên cứu chế tạo thiết bị kiểm tra khuyết tật không phá hủy với tốc độ cao. Phương pháp được chọn là phương pháp rò rỉ đường sức từ (MFL) nhờ các ưu điểm là tốc độ kiểm tra nhanh, chi phí thấp. Đặc biệt, thiết bị được giới thiệu trong bài viết này có chức năng chụp ảnh từ, cho phép tạo hình ảnh trực quan về khuyết tật trong hệ thống đường ống.

2. Nguyên lý hoạt động của thiết bị

Phương pháp MFL có nhiều ưu điểm, đặc biệt là tốc độ đo nhanh [3 - 7]. Tuy nhiên, nhược điểm của phương pháp này là thiếu thông tin trực quan về kích thước và hình dạng của khuyết tật. Việc chế tạo được thiết bị chụp ảnh từ sẽ vừa phát huy ưu điểm tốc độ kiểm tra



Ngày nhận bài: 11/9/2024

Ngày đánh giá và sửa chữa: 11/9 - 2/11/2024

Ngày duyệt đăng: 2/11/2024

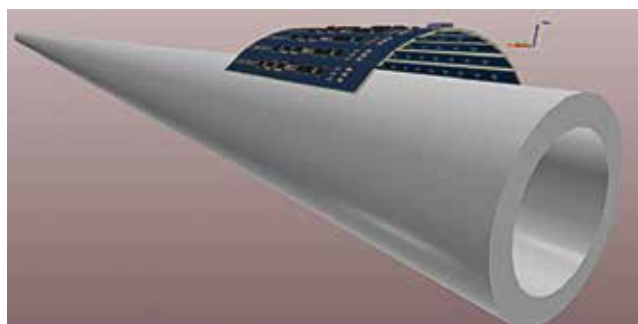
của MFL, vừa bổ sung chức năng tạo hình ảnh trực quan về khuyết tật.

Theo nguyên lý của phương pháp MFL, vật liệu sắt từ cần kiểm tra được từ hóa đến trạng thái gần bão hòa bằng nam châm điện hoặc nam châm vĩnh cửu. Tại vị trí có khuyết tật như khe nứt, vết ăn mòn, lỗ hổng, một phần đường sức từ trong vật liệu sẽ rò rỉ ra ngoài. Từ trường rò rỉ này được phát hiện bởi các cảm biến từ.

Cấu tạo của thiết bị gồm: hệ thống từ hóa, cơ cấu dịch chuyển, các cảm biến từ, mạch điện tử và hệ thống hiển thị, xử lý, lưu trữ dữ liệu. Thiết bị được thiết kế nhỏ gọn (kiểu cầm tay), dễ sử dụng để kiểm tra khuyết tật cho hệ thống đường ống đã đấu nối. Thiết bị có 2 chức năng là kiểm tra nhanh và chụp ảnh từ.

- Chức năng kiểm tra nhanh: Thiết bị được đẩy dọc theo ống với tốc độ lên đến 0,5 m/giây. Kết quả hiển thị dưới dạng đồ thị tín hiệu theo khoảng cách với 8 kênh độc lập, cho phép phát hiện vùng nghi ngờ có khuyết tật.

- Chức năng chụp ảnh từ: Thiết bị sử dụng 64 cảm biến Hall phẳng (PHR sensor) tạo thành mảng 2D để kiểm tra chi tiết các khu vực nghi ngờ có khuyết tật đã phát hiện bằng chức năng kiểm tra nhanh. Thiết bị dừng tại khu vực cần kiểm tra, thực hiện quét theo 2 chiều (dọc thân ống và theo chu vi) với khoảng quét 13 mm, bước quét 1 mm. Kết



Hình 1. Mô tả nguyên lý của phương pháp chụp ảnh từ.

quả phân bố từ trường rò rỉ được hiển thị dưới dạng ảnh màu, thể hiện chính xác kích thước và hình dạng khuyết tật. Hình 1 mô tả nguyên lý của phương pháp chụp ảnh từ.

Các thông số cơ bản giữa thiết bị MFL cầm tay điển hình trên thị trường và thiết bị do nhóm tác giả PVU chế tạo được thể hiện trong Bảng 1.

3. Cơ sở thiết kế

Để làm cơ sở cho việc thiết kế, chế tạo, các nghiên cứu chi tiết để tối ưu hóa cấu hình, kích thước thiết bị đã được thực hiện. Cấu trúc 3 khối từ hóa: Khối từ hóa có chức năng tạo từ trường để từ hóa đối tượng cần kiểm tra.

- Kích thước ngang của khối từ hóa: Về nguyên tắc, khối từ hóa có kích thước ngang càng lớn sẽ có năng suất kiểm tra càng cao. Tuy nhiên, khung từ hóa lớn sẽ tăng khối lượng của thiết bị, gây khó khăn cho người sử dụng. Nhóm tác giả lựa chọn chiều ngang của thiết bị là 150 mm, được chia làm 3 khối, mỗi khối 50 mm. Việc chia làm 3 khối tạo cơ chế thay đổi độ ôm, thích ứng với đường ống có đường kính khác nhau. Chiều ngang 150 mm phù hợp với kích thước 100 x 100 mm của mảng cảm biến 2D.

- Độ dày gông từ, về nguyên tắc phải lớn hơn độ dày thành ống. Với độ dày của các ống từ 5 - 10 mm, nhóm tác giả lựa chọn độ dày gông từ là 15 mm.

- Chiều dài của gông từ là kích thước được tính toán cẩn thận do vừa phải tạo từ trường từ hóa đủ lớn để tạo tín hiệu, vừa phải đảm bảo vùng đồng nhất về từ trường cho mảng cảm biến 2D. Việc nghiên cứu chọn chiều dài gông từ đã được thực hiện qua mô phỏng bằng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) cho các độ dài 300 mm, 350 mm và 400 mm.

Phương pháp phần tử hữu hạn (finite element method - FEM) là phương pháp số dùng để phân tích các phương trình đạo hàm riêng trên miền xác định có hình

Bảng 1. So sánh các thông số cơ bản giữa thiết bị MFL cầm tay thương phẩm và thiết bị của PVU chế tạo

Thông số	Thiết bị MFL thương mại [8, 9]	Thiết bị MFL PVU chế tạo
Chức năng kiểm tra nhanh	Có	Có
Chức năng chụp ảnh từ	Không	Có
Công nghệ	MFL	MFL
Phương pháp dịch chuyển	Đẩy tay	Đẩy tay
Loại cảm biến	Hall thường	Hall phẳng (PHR)
Độ phân giải cao nhất	7 mm	1 mm
Khả năng phát hiện khuyết tật	30% pitting với ống dày 6 mm	20% pitting với ống dày 8 mm
Khả năng phát hiện khuyết tật qua lớp phủ	Dày 3 mm	Dày 3 mm
Đường kính ống tối thiểu	127 mm	114 mm

dạng và điều kiện biên phức tạp, mà không thể giải bằng phương pháp giải tích [7, 8]. Trong số các phần mềm ứng dụng phương pháp phần tử hữu hạn, ANSYS là công cụ phổ biến nhất để phân tích từ trường (mật độ đường sức từ, cường độ từ trường và thể vector từ) và các đặc trưng điện từ cơ bản (độ từ cảm, lực điện từ).

Phần mềm ANSYS được thiết kế để giải các phương trình Maxwell và có khả năng mô phỏng các loại trường điện từ (điện trường, từ trường, dòng xoáy hay nam châm vĩnh cửu). Phương pháp FEM mô tả chính xác trường điện từ và dễ dàng khi thay đổi cấu trúc hình học cũng như các thông số đầu vào. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng phần mềm ANSYS 2021R1, trong đó ANSYS Maxwell được áp dụng để giải các bài toán điện từ.

Vì hệ từ hóa gồm 3 gông từ giống nhau, nhóm tác giả chỉ thực hiện mô phỏng trên 1 gông từ. Cấu trúc hệ từ hóa của 1 gông từ cùng mẫu kiểm tra được thể hiện trong Hình 2. Ngoài ra, sẽ có một kết quả mô phỏng cho 3 khối ở trạng thái đã kết nối.

Một số kết quả sự phân bố từ trường điển hình của gông từ với độ dài khác nhau và tín hiệu MFL được thể hiện trong Hình 3 - 6.

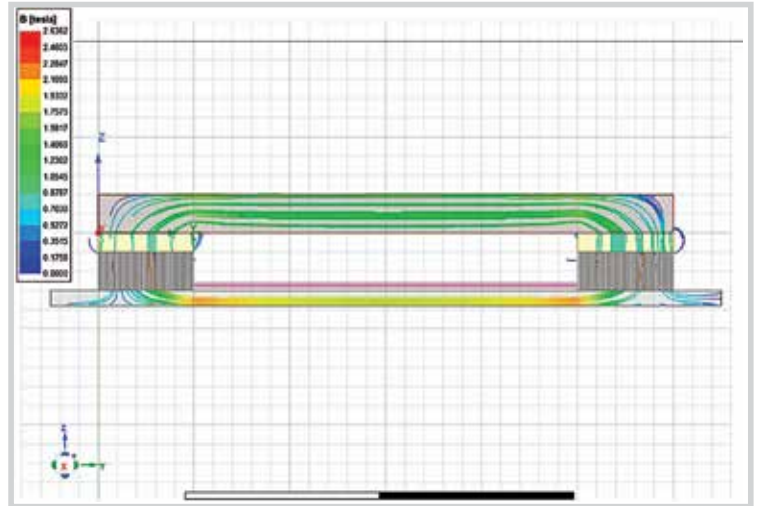
Kết quả mô phỏng như sau:

- Giá trị cảm ứng từ B_y tại tâm tấm thép giảm khi độ dài gông tăng, cụ thể là 1,85 T, 1,78 T và 1,74 T tương ứng độ dài gông từ 300 mm, 350 mm và 400 mm. Các giá trị này đủ đạt trạng thái gần bão hòa, đảm bảo gây tín hiệu MFL.

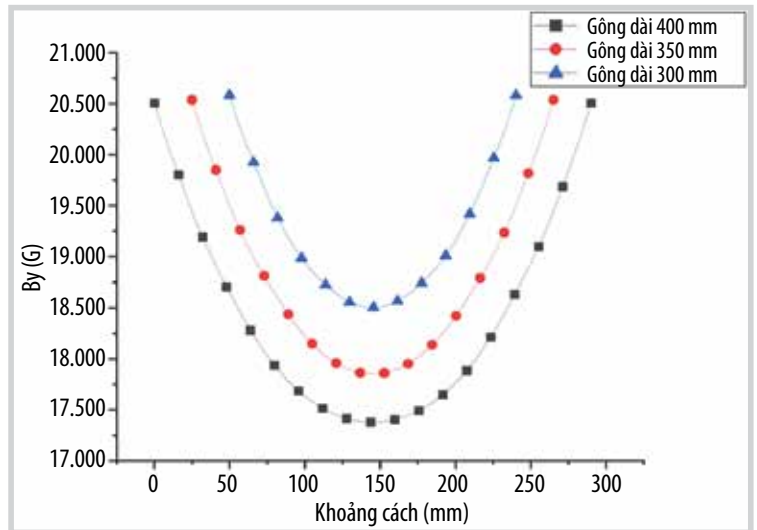
- Sự phân bố B_y bên ngoài tấm có dạng hình lòng chảo. Độ phẳng của lòng chảo tăng khi độ dài gông từ tăng. Xét trong giới hạn 100 mm quanh tâm (vùng đặt cảm biến đo), độ lệch B_y ở mép và ở tâm là 59 G, 27 G và 18 G tương ứng gông dài 300 mm, 350 mm và 400 mm. Như vậy, nên chọn cấu hình $L = 400$ mm để đảm bảo sự đồng nhất.

- Sự đồng nhất của từ trường tạo bởi 3 gông từ theo phương ngang ở vùng giữa của gông từ khá tốt.

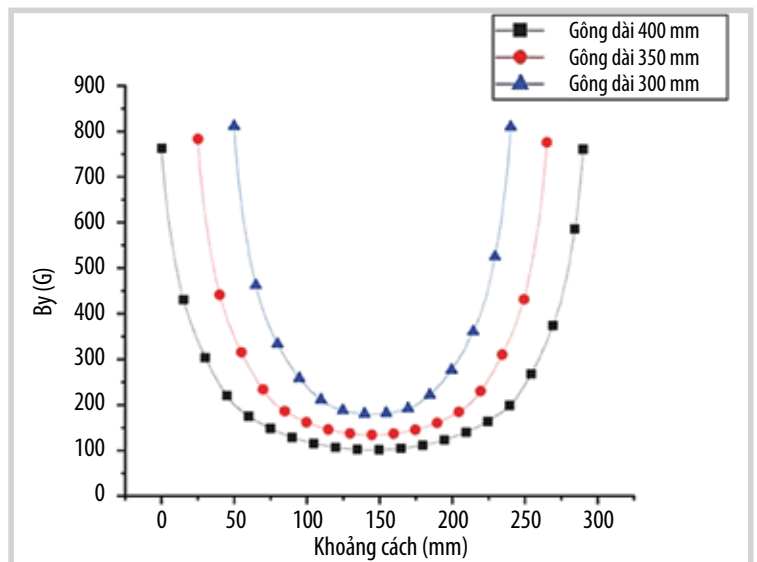
- Các khuyết tật đã tạo nên các tín hiệu MFL. Tín hiệu MFL cho thành phần song song có dạng 1 cực đại, độ lớn tăng mạnh theo độ sâu



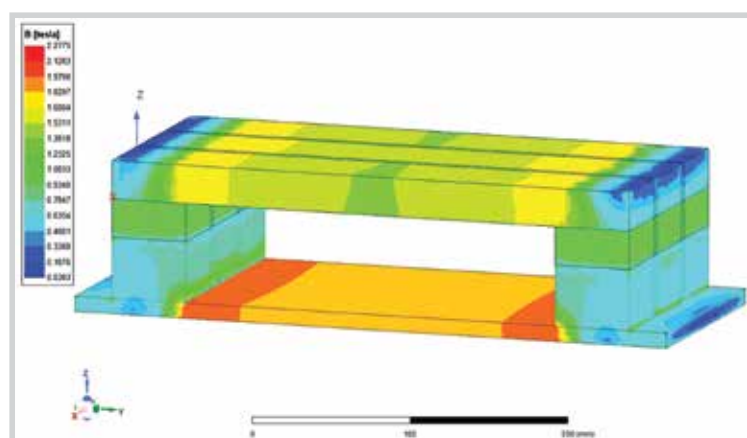
Hình 2. Mô hình mô phỏng FEM cho 1 gông từ.



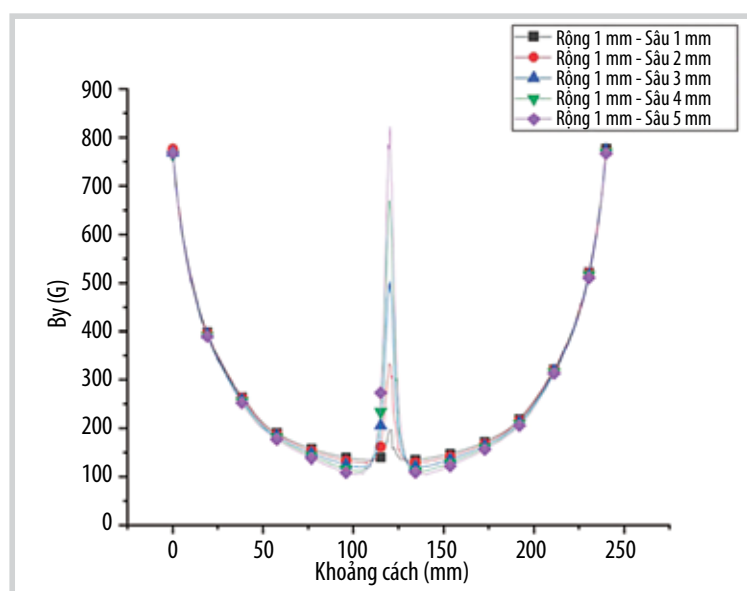
Hình 3. Phân bố từ trường B_y (thành phần song song với tấm thép) bên trong tấm thép với các gông từ có độ dài khác nhau 300 mm, 350 mm và 400 mm.



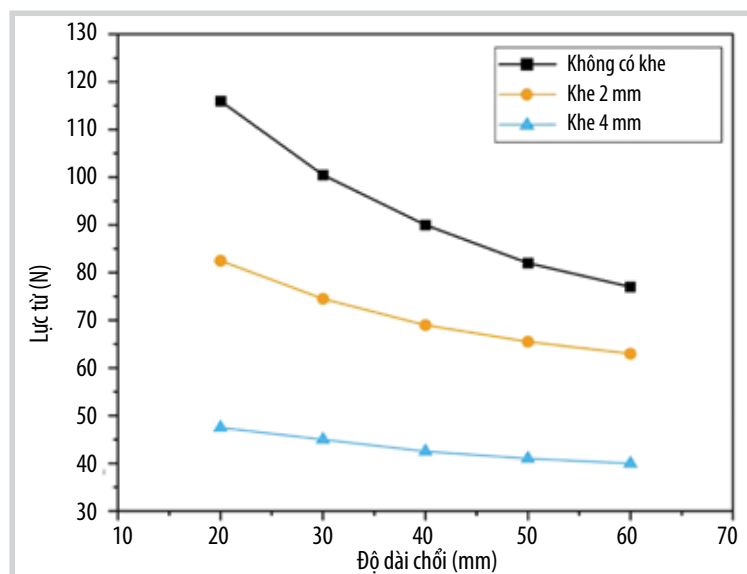
Hình 4. Đồ thị phân bố từ trường thành phần song song (B_y) ở khoảng cách 3 mm trên bề mặt tấm thép của cấu hình gông từ dài 300 mm, 350 mm và 400 mm, nam châm dày 25 mm, chốt từ dài 40 mm (15 mm để và 25 mm sợi thép).



Hình 5. Hình ảnh màu phân bố từ trường của bộ 3 gông từ, đặt cách nhau 5 mm.



Hình 6. Đồ thị tổng hợp tín hiệu MFL cho các khuyết tật rộng 1 mm thay đổi độ sâu từ 1 - 5 mm.



Hình 7. Kết quả mô phỏng lực hút giữa cực từ và tấm thép đối với các khe hở không khí từ 0 - 4 mm và chiều dài chổi từ 20 - 60 mm.

khuyết tật. Với khuyết tật sâu 1 mm, tín hiệu cỡ vài chục Gauss. Các cảm biến Hall phẳng hoàn toàn có thể phát hiện trong kiểu đo nhanh.

Độ dài chổi từ: Để giảm lực hút giữa cực từ và bề mặt ống, nhóm tác giả sử dụng lớp chổi thép từ tính làm đệm. Kết quả mô phỏng lực hút giữa cực có chổi và tấm thép được thể hiện trong Hình 7 cho 3 trường hợp không có khe hở không khí, khe hở không khí bằng 2 mm và khe hở không khí bằng 4 mm. Kết quả cho thấy lực hút giảm đi nhiều lần khi có thêm một lớp chổi từ tính. Ví dụ, nếu chổi từ dài 40 mm, lực hút cho trường hợp cực từ dính sát tấm thép là 85 N và đối với trường hợp có khe hở không khí 2 mm, lực hút là 70 N. Xét trường hợp khe hở không khí 2 mm, nếu tính toán cho cả 6 cực từ, tổng lực hút là 280 N, đủ để giữ thiết bị có khối lượng khoảng 20 - 25 kg.

Kết quả đo lực hút giữa gông từ và tấm thép cho thấy lực hút của cực từ lần lượt là 120 N, 60 N và 32 N đối với khoảng cách 0 mm, 2 mm và 4 mm giữa cực từ và tấm thép. Từ kết quả này, nhóm tác giả đề xuất độ dài chổi từ tối ưu là 40 mm.

Kích thước nam châm: Kích thước nam châm phải đảm bảo đủ tạo ra mật độ đường sức từ đủ lớn, nhưng không quá lớn làm ảnh hưởng kích thước chung của thiết bị. Ngoài ra, kích thước nam châm phải phù hợp với loại nam châm có sẵn trên thị trường. Chiều ngang nam châm nên bằng 50 mm, đúng bằng chiều rộng gông từ. Chiều dọc nam châm, về nguyên tắc phải lớn hơn độ dày mẫu kiểm tra vài lần. Về chiều dày, độ mạnh của nam châm không tăng tuyến tính theo độ dày nam châm mà tuân theo công thức:

$$B_x = \frac{B_r}{\pi} \left(\tan^{-1} \frac{AB}{2x\sqrt{4x^2 + A^2 + B^2}} - \tan^{-1} \frac{AB}{2(2L+x)\sqrt{4(2L+x)^2 + A^2 + B^2}} \right)$$

Trong đó:

B_r : Cảm ứng từ dư của nam châm;

A, B, và L: Độ dài, rộng và dày của nam châm;

x: Khoảng cách từ mặt nam châm.

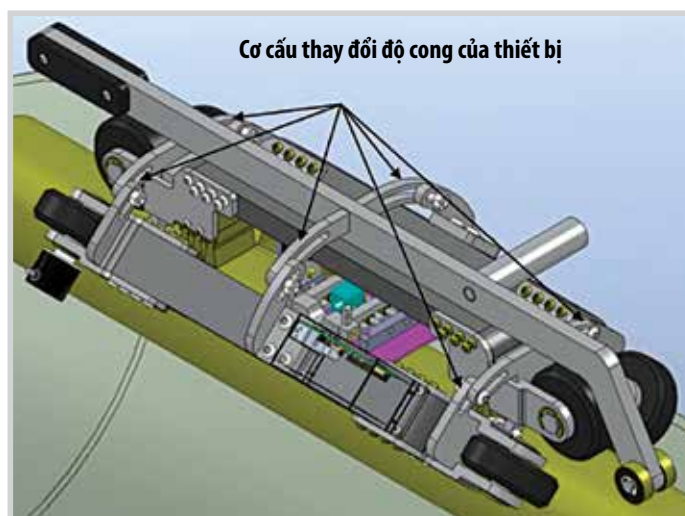
Với các tính toán trên, nhóm tác giả chọn bề dày nam châm là 25 mm. Kích thước nam châm sẽ là 50 mm x 50 mm x 25 mm.

Cơ cấu thích nghi độ cong ống kiểm tra: Do thiết bị làm việc với các ống có đường kính khác nhau nên thiết bị cần có cơ cấu thay đổi độ cong. Nhóm tác giả thiết kế cơ cấu điều chỉnh kiểu dễ quạt với 6 cặp tấm trượt, 4 cặp ở 2 đầu và 2 cặp ở giữa. Đây là thiết kế mới có nhiều ưu điểm thay thế cho kiểu ốc vít mà các sản phẩm thương mại sử dụng. Các sản phẩm thương mại chỉ thiết kế cho các ống thay đổi trong phạm vi hẹp. Thiết bị được thiết kế cho các ống có đường kính thay đổi từ 4½ inch đến 20 inch. Nếu áp dụng kiểu ốc vít sẽ cần thêm bậc tự do, dẫn đến cơ cấu phức tạp, khó căn chỉnh và không đảm bảo độ chắc chắn. Hình 8 mô tả cơ cấu thay đổi độ cong của thiết bị.

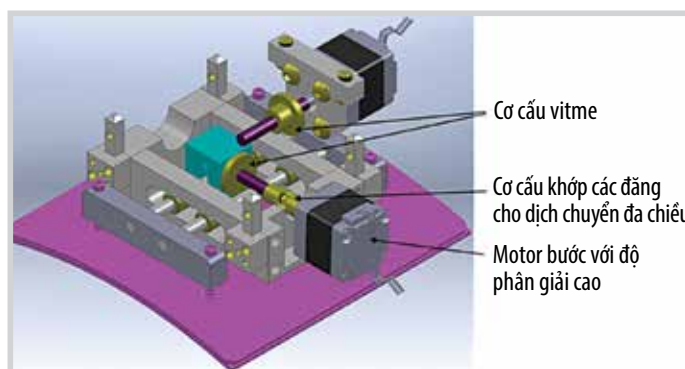
Kích thước mảng cảm biến và số lượng cảm biến: Hệ cảm biến bao gồm $8 \times 8 = 64$ cảm biến gắn thành mảng hình vuông 100 mm x 100 mm. Trước hết, 8 cảm biến được gắn vào một thanh PCB, sau đó 8 thanh được gắn vào một tấm nhựa dẻo, cuối cùng tấm nhựa dẻo được dán vào một guốc nhôm có độ cong phù hợp với loại ống cần kiểm tra. Bề mặt guốc cảm biến được phủ bằng một lớp vật liệu phi từ tính để bảo vệ cảm biến. Guốc cảm biến sẽ gắn với một hệ cơ khí dịch chuyển 2 chiều dọc ống và theo chu vi thành ống. Việc chọn số lượng cảm biến được quyết định bởi quy mô của nghiên cứu, tốc độ ghi nhận và xử lý tín hiệu đo của các mạch điện tử hiện hành cũng như tổng công suất điện tiêu thụ. Kích thước 100 mm x 100 mm của mảng cảm biến được tính từ kích thước ngang tổng cộng của hệ là 150 mm. Như vậy, mảng cảm biến sẽ nằm trong vùng đồng nhất của từ trường, cả theo chiều dọc và ngang.

Cơ chế chuyển động 2 chiều và tạo hình ảnh: Thiết bị sử dụng cơ chế dịch chuyển vitme 2 chiều được truyền động từ 2 động cơ bước. Cơ chế dịch chuyển dọc ống là vitme thẳng. Cơ chế dịch chuyển theo phương chu vi sử dụng trục mềm để chuyển từ chuyển động thẳng của vit me sang chuyển động cong, cho phép giá đỡ mảng cảm biến trượt trên các rãnh cong.

Chu trình quét của mảng cảm biến được thực hiện theo trình tự sau: (i) từ vị trí ban đầu, mảng cảm biến dịch chuyển 1 mm theo phương chu vi; (ii) dịch chuyển 13 bước (mỗi bước 1 mm) dọc theo thân ống; (iii) dịch chuyển tiếp 1 mm theo phương chu vi; (iv) dịch chuyển 13 bước ngược lại dọc theo thân ống. Quá trình quét hoàn thành khi mảng cảm biến đã dịch chuyển đủ 13 bước theo phương chu vi, mảng cảm biến sẽ tự động trở về vị trí ban đầu.



Hình 8. Cơ cấu thay đổi độ cong để thích nghi đường ống có đường kính khác nhau.

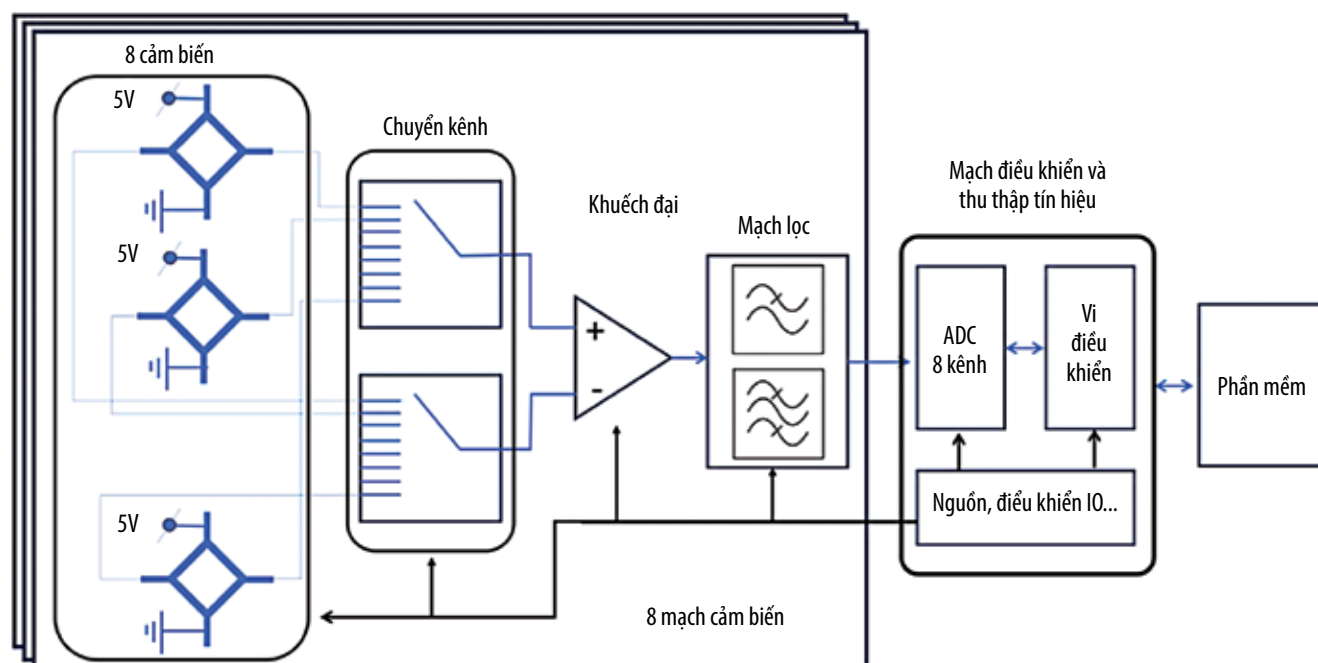


Hình 9. Cơ cấu dịch chuyển mảng cảm biến 2 chiều.

Tại mỗi vị trí, hệ thống ghi lại kết quả phân bố từ trường dưới dạng 1 ảnh gồm 64 ô vuông (mỗi ô có kích thước 1 mm x 1 mm, cách nhau 13 mm). Tổng cộng $13 \times 13 = 169$ hình ảnh được tích hợp thành 1 hình ảnh duy nhất kích thước 104 mm x 104 mm, phản ánh chính xác kích thước và hình dạng khuyết tật của đường ống. Hình 9 mô tả cơ chế dịch chuyển 2 chiều cùng mảng cảm biến.

Mạch điện tử: Tín hiệu tương tự thu được từ cảm biến từ tính Hall phẳng được khuếch đại, lọc nhiễu qua mạch lọc dải tần số từ 0,01 - 1.000 Hz. Mạch tín hiệu được chia làm 8 thanh, mỗi thanh cho một dãy 8 cảm biến. Tín hiệu của mỗi thanh sẽ được gửi đến một kênh chuyển đổi tín hiệu tương tự sang tín hiệu số (analog-to-digital, ADC). Như vậy 8 thanh cảm biến sẽ cần 8 kênh ADC để chuyển tín hiệu của cả mảng cảm biến lên vi điều khiển. Để giảm nhiễu sau khuếch đại tín hiệu của cảm biến, nhóm tác giả sử dụng loại mạch lọc với các thông số như dải tần số làm việc, số mắt lọc, độ phẩm chất của mạch lọc đã tối ưu hóa để lọc lựa tín hiệu tương tự trước khi gửi lên máy tính. Sơ đồ của mạch điện tử được thể hiện trong Hình 10.

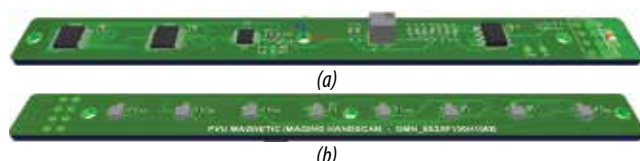
Vi điều khiển nhận tín hiệu từ 8 kênh ADC theo phương thức đồng thời hoặc tuần tự, đảm bảo tốc độ truyền tín hiệu



Hình 10. Sơ đồ mạch điện tử cho hệ 64 cảm biến.



Hình 11. Ảnh chụp toàn bộ thiết bị đã được chế tạo.



Hình 12. Ảnh chụp mặt trên (a) và mặt dưới (b) của 1 thanh cảm biến gồm 8 cảm biến Hall phẳng.

từ 64 cảm biến liên tục với tần số > 100 lần/giây. Để đáp ứng yêu cầu này, theo tính toán của nhóm tác giả, tốc độ truyền dữ liệu của chip ADC 8 nhân cần đạt từ 200 - 500 kBit/s.

Để tối ưu tốc độ truyền, nhóm tác giả sử dụng phương thức mã hóa tín hiệu theo hệ lục phân (hex). Tốc độ truyền số liệu cao sẽ gây ra sai số về biên độ và pha của tín hiệu nhận được trên máy tính do ảnh hưởng nhiễu của môi trường đo. Do đó, tín hiệu thô nhận được trên máy tính cần phải lọc lựa, loại bỏ nhiễu của môi trường để phép đo được chuẩn xác. Dựa trên điều kiện

đo thực tế, nhóm tác giả đề xuất sử dụng 3 thuật toán lọc nhiễu bao gồm: bộ lọc thông thấp, bộ lọc thông cao và bộ lọc cấm dải (notch filter).

4. Kết quả chế tạo và thử nghiệm thiết bị kiểm tra khuyết tật cầm tay bằng phương pháp rò rỉ đường sức từ

Hệ cơ khí: Hình 11 là toàn bộ thiết bị đã được chế tạo.

Mạch điện tử: Hình 12 là ảnh chụp mặt trên (a) và mặt dưới (b) của một thanh cảm biến gồm 8 cảm biến Hall phẳng. Mặt trên của thanh cảm biến gồm bộ chuyển kênh vi sai, khuếch đại vi sai và mạch lọc. Mặt dưới của thanh cảm biến bao gồm 8 cảm biến, khoảng cách giữa các cảm biến là 13 mm.

Hình 13 là ảnh chụp mạch thu thập tín hiệu bao gồm ADC 8 kênh (tốc độ đọc tín hiệu 500 kbps), bộ ổn áp 3.3 V và các chân thu nhận tín hiệu, các chân điều khiển bộ chuyển kênh. Mạch được thiết kế để tương thích với vi điều khiển của máy tính Raspberry PI 5. Hình 14 là ảnh chụp mảng cảm biến đã được gắn vào guốc cong.

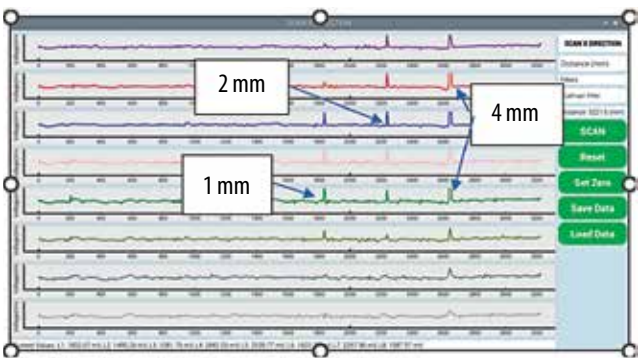
Các mẫu ống có khuyết tật: Nhóm tác giả chế tạo 2 loại ống có các khuyết tật nhân tạo, trong đó 1 loại ống có đường kính $4\frac{1}{2}$ inch, dài 3.000 mm, dày 8,56 mm và 1 loại ống có đường kính 20 inch, dài 6.000 mm, dày 9,5 mm. Đây cũng là 2 loại ống có kích thước nhỏ nhất và lớn nhất đối với phạm vi của thiết bị. Trên các ống được chế tạo các khuyết tật nhân tạo dạng khe có độ rộng 1 mm, dài 40 mm và các độ sâu 1 mm, 2 mm, 4mm, cách nhau 400 mm; 2 khuyết tật dạng khe có độ sâu 2 mm và 4 mm



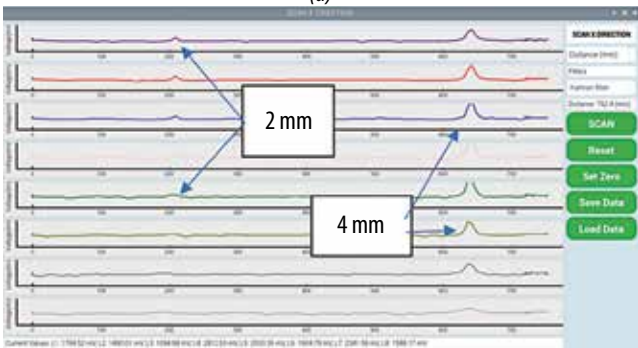
Hình 13. Ảnh chụp mạch thu thập tín hiệu.



Hình 14. Ảnh chụp mảng cảm biến đã được gắn vào guốc cong (chưa che lớp bảo vệ).



(a)



(b)

Hình 15. Kết quả đo nhanh trên 8 cảm biến qua các khuyết tật dạng khe từ trái qua phải sâu 1 mm, 2 mm và 4 mm (a), ống có lớp bọc dày 3 mm với 2 khuyết tật khe sâu 2 mm và 4 mm (b).

ở bên trong ống, cách nhau 420 mm cũng được chế tạo. Vật liệu làm ống là loại thép đúc theo tiêu chuẩn ASTM A106 có hàm lượng carbon 0,2% và độ từ thẩm trung bình khoảng 1.000. Để kiểm tra khả năng của thiết bị khi kiểm tra ống có lớp phủ bên ngoài, tác giả bọc bên ngoài một



Hình 16. Kết quả chụp ảnh từ trên khuyết tật khe sâu 1 mm.

đoạn ống một lớp vật liệu sợi nhựa nhôm dày 3 mm. Lưu ý là mọi loại vật liệu phi từ như không khí, nhôm, nhựa đều có độ từ thẩm bằng 1 nên có ảnh hưởng như nhau đến tín hiệu đo.

Kết quả đo bằng chức năng quét nhanh: Phép đo nhanh được thực hiện bằng cách đẩy thiết bị dọc ống. Kết quả phép đo nhanh được thể hiện trong Hình 15a và 15b ở đó có 8 đường đồ thị tín hiệu phụ thuộc vị trí ứng với 8 cảm biến. Sự xuất hiện các khuyết tật được thể hiện bằng các đỉnh nhọn trên đồ thị.

- Kết quả đo nhanh đã phát hiện được các khuyết tật sâu từ 1 mm trở lên mặc dù độ lớn từ trường MFL cực nhỏ (chỉ vài Gauss).
- Ống có lớp bọc dày 3 mm, thiết bị có thể phát hiện khuyết tật 2 mm trở lên

Kết quả đo bằng chức năng tạo ảnh: Kết quả đo bằng chức năng tạo ảnh được thể hiện trong Hình 16. Kết quả cho thấy trên nền màu vàng ứng với từ trường nền có 1 vùng màu đỏ ứng với từ trường rò rỉ gây bởi 1 khuyết tật dạng khe nằm ngang sâu 1 mm.

- Kết quả quét 2D tạo ảnh màu đã thực hiện thành công với tốc độ 1 phút 30 giây trên các khuyết tật với độ phân giải 1 mm. Ảnh màu phản ánh chính xác sự phân bố từ trường MFL gây bởi khuyết tật, cho hình ảnh trực quan của khuyết tật.
- Việc tăng hệ số khuếch đại kết hợp thuật toán lọc nhiễu thích hợp có thể tăng khả năng phát hiện khuyết tật nhỏ.

5. Kết luận

Thiết bị kiểm tra khuyết tật đường ống kiểu cầm tay sử dụng phương pháp rò rỉ đường sức từ (MFL) đã được nhóm tác giả chế tạo và thử nghiệm thành công. Thiết bị có chức năng chụp ảnh màu được thực hiện bởi mảng cảm biến 2D kết hợp cơ cấu quét 2 chiều, công nghệ màu

hóa và tích hợp bản đồ, tạo ra hình ảnh trực quan về kích thước và hình dạng khuyết tật. Đây là giải pháp mới so với các thiết bị MFL thương mại hiện nay.

Ngoài ra, thiết bị còn có các ưu điểm: cơ cấu thích nghi cho phép kiểm tra đường ống có đường kính khác nhau; có độ nhạy cao và tiêu thụ điện năng thấp nhờ sử dụng cảm biến Hall phẳng; khả năng tạo ảnh với độ phân giải 1 mm nhờ công nghệ quét bước nhỏ. Thiết bị đã đạt các tiêu chuẩn kỹ thuật đề ra và nhóm tác giả sẽ tập trung hoàn thiện sản phẩm và mở rộng khả năng ứng dụng của thiết bị.

Tài liệu tham khảo

- [1] D.C. Jiles, "Review of magnetic methods for nondestructive evaluation (Part 2)", *NDT International*, Volume 23, Issue 2, pp. 83 - 92, 1990. DOI: 10.1016/0308-9126(90)91892-W.
- [2] D.L. Atherton, "Magnetic inspection is key to ensuring safe pipelines", *Oil and Gas Journal*, Volume 87, Issue 2, pp. 52 - 61, 1989. DOI: 10.1016/0963-8695(93)90206-a.
- [3] Yong Zhang, Zhongfu Ye, and Chong Wang, "A fast method for rectangular crack sizes reconstruction in magnetic flux leakage testing", *NDT & E International*, Volume 42, Issue 5, pp. 369 - 375, 2009. DOI: 10.1016/j.ndteint.2009.01.006.

- [4] H.A.Vanaei, A. Eslami, and A. Egbewande, "A review on pipeline corrosion, in-line inspection (ILI), and corrosion growth rate models", *International Journal of Pressure Vessels Piping*, Volume 149, pp. 43 - 54, 2017. DOI: 10.1016/j.ijpvp.2016.11.007.

- [5] Qingshan Feng, Rui Li, Baohua Nie, Shucong Liu, Lianyu Zhao, and Hong Zhang, "Literature review: Theory and application of in-line inspection technologies for oil and gas pipeline girth weld deflection", *Sensors*, Volume 17, Issue 1, 2017. DOI: 10.3390/s17010050.

- [6] Eddyfi Technologies, "Pipescan HD". [Online]. Available: <https://www.eddyfi.com/en/product/pipescan-hd>.

- [7] Silverwing, "Pipescan - Adjustable magnetic flux leakage pipe scanner". [Online]. Available: <https://www.ndt-instruments.com/wp-content/uploads/2018/01/pipescan-mfl-pipe-inspection.pdf>.

- [8] Slideshare, "Ansoft maxwell 3D field simulator v11 user's guide". [Online]. Available: <https://www.slideshare.net/EraBrown/ansoft-maxwell-3d-v11-user-guide>.

- [9] Huang Zuoying, Que Peiwen, and Chen Liang, "3D FEM analysis in magnetic flux leakage method", *NDT & E International*, Volume 39, Issue 1, pp. 61 - 66, 2006. DOI: 10.1016/j.ndteint.2005.06.006.

RESEARCH AND MANUFACTURE OF PORTABLE DEVICE TO DETECT PIPELINE DEFECTS USING THE MAGNETIC LEAKAGE FLUX METHOD

Pham Hong Quang, Vu Minh Hung, Phan Minh Quoc Binh, Nguyen Ngoc Khuong, Nguyen Quang Vinh, Bui Minh Thao

Petrovietnam University (PVU)

Email: quangph@pvu.edu.vn, hungvm@pvu.edu.vn

Summary

To meet the needs of periodic health inspections of interconnected pipeline systems in factories such as refineries and ammonia plants, the research team developed a portable defect inspection device using the magnetic flux leakage (MFL) method. This device not only enables rapid inspection, but also features color imaging capability through a two-dimensional sensor array, 2D scanning mechanism, colorization technology and integrated mapping - features not previously available worldwide. The device is equipped with 64 flat Hall sensors arranged on a 2D array mounted on a curved base that conforms to the pipe's radius. The sensor array and curved base are installed on a wheeled frame integrated with the magnetization system. The magnetization system consists of 3 blocks connected by a sliding plate mechanism, allowing adjustment to tightly fit pipes of different diameters. During operation, the device is manually pushed along the pipeline.

To enhance image resolution, the entire sensor is shifted by 1 mm along both the longitudinal and circumferential directions of the pipe after each measurement (image capture). The captured images are then integrated to produce a final image with 1 mm resolution.

Key words: Magnetic imaging device, pipeline defect inspection, MFL method, non-destructive magnetic testing, magnetic flux leakage method.