

# NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO CẢM BIẾN DÒNG XOÁY DỰA TRÊN NGUYÊN LÝ TỪ ĐIỆN TRỞ LỚN (GMR) ỨNG DỤNG TRONG ĐÁNH GIÁ KHÔNG PHÁ HỦY

Nguyễn Đức Huyền, Vũ Tiên Hà, Lương Văn Sử, Đặng Thanh Dũng  
Trung tâm Đánh giá không phá hủy, 140 Nguyễn Tuân Thanh Xuân Hà Nội  
*Huyennguyenduc2401@gmail.com*

**Tóm tắt:** Các phương pháp kiểm tra không phá hủy (NDT) được ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp chế tạo cơ khí, năng lượng, xây dựng và duy tu bảo dưỡng các công trình công nghiệp. Những phương pháp này được sử dụng trong việc phát triển sản phẩm, hay trong quá trình sản xuất và kiểm tra sản phẩm cuối cùng. Đặc biệt kỹ thuật dòng điện xoáy (EC) được sử dụng rất hiệu quả và phổ biến để kiểm soát và đánh giá tuổi thọ (ĐGTT) của chi tiết/cấu kiện nhằm đưa ra các giải pháp sửa chữa hoặc thay thế toàn bộ hoặc riêng biệt từng phần. Chế tạo thành công cảm biến mẫu GMR (dạng mẫu thử) có khả năng dò tìm và phát hiện một số dạng bất liên tục trong mẫu (vết đứt gãy, lỗ rỗng trong vật liệu) bằng kỹ thuật dòng điện xoáy được khảo sát và phân tích trong nghiên cứu này. Một từ trường AC được phát ra bởi cuộn kích thích và dòng xoáy sẽ được sinh ra thứ cấp trên vật liệu mẫu thử. Cảm biến GMR được tích hợp bên trong cuộn kích thích có thể đo được sự biến đổi của từ trường thứ cấp sinh ra bởi dòng điện xoáy. Mẫu đứt gãy được chế tạo thành các rãnh hẹp khác nhau để đánh giá khả năng của cảm biến EC. Với kết quả thu được cảm biến EC cho phép đánh giá sơ bộ về vị trí điểm đứt gãy trên bề mặt mẫu thử. Trên cơ sở đó tạo tiền đề để tiếp tục hoàn thiện sản phẩm (hệ cảm biến EC) nhằm chế tạo thiết bị EC kiểu cầm tay kết hợp bộ thu thập, xử lý số liệu và máy tính phù hợp với công tác kiểm tra NDT hiện trường.

**Từ khóa:** cảm biến dòng xoáy, EC, GMR, NDT

## RESEARCH AND MANUFACTURING ON EDDY CURRENT SENSORS BASED ON GIANT MAGNETORESISTANCE EFFECT AND ITS APPLICATIONS IN NDE

Nguyen Duc Huyen, Luong Van Su, Dang Thanh Dung, Vu Tien Ha

*Center for Non-Destructive Evaluation, 140 Nguyen Tuan, Thanh Xuan, Hanoi*

### **Abstract:**

Non-destructive testing methods (NDT) are widely applied in mechanical manufacturing, energy, construction and maintenance of industrial projects. These methods are used in product development, or in the production and testing of final products. Especially, Eddy current (EC) technology is used effectively and widely to control and evaluate the lifespan of components in order to provide repair or replacement solutions. Manufacturing of the EC based GMR sensor sample, which is capable of detecting some types of discontinuities in the sample (faults and pores in the material), was investigated and analyzed in this work. An AC magnetic field emitted by exciting coils then an eddy currents will be generated in the sample material. The GMR sensor is aligned inside the exciting coil. The faults are made into narrow spaces with

different thicknesses to verify the capabilities of the EC sensor. The results obtained by the EC sensor allowed a preliminary assessment of the location of the faults on the surface of the sample. Further works should be the development of the EC sensor system and manufacture of the handheld EC device combined with a set of data collection and processing by computers realtime.

**Keywords:** *Eddy current, EC, GMR, NDT*

## I. TỔNG QUAN VỀ EC TRONG NDT

Đánh giá không phá hủy (NDT) đóng vai trò cực kỳ quan trọng trong công nghiệp cho việc đánh giá chất lượng sản phẩm và phát hiện sự sai hỏng trong cấu trúc thành phẩm. Nhìn chung, NDT được xem như là một phương pháp đánh giá trên hầu hết các dạng mẫu kiểm tra mà không cần phá hủy hay can thiệp vào cấu trúc mẫu [1]. Có rất nhiều phương pháp kiểm tra đánh giá được sử dụng trong NDT. Một số đánh giá không phá hủy điển hình như, điện từ, siêu âm và hiện ảnh màu [2]. Tuy nhiên việc sử dụng EC là một trong những phương pháp phổ biến rộng rãi của phương pháp điện từ trong đánh giá vật liệu kim loại [3].

Cảm biến EC dựa trên sự biến thiên từ thông của từ trường tạo ra do cuộn kích thích được bố trí ngay trên bề mặt mẫu thử. Từ trường kích thích này sẽ sinh ra một từ trường thứ cấp do dòng xoáy và nó có thể được phát hiện bởi cảm biến từ sử dụng cuộn cảm hay các loại cảm biến từ trường khác [4]. Khi có vết đứt gãy bất liên tục trên bề mặt mẫu, dòng xoáy bị biến động dẫn tới từ trường thứ cấp này cũng biến động. Do đó cảm biến từ ghi nhận sự biến động này để cho ra các thông tin về vết đứt gãy. Hiện nay có rất nhiều công nghệ chế tạo cảm biến EC [4-8], tuy nhiên, việc sử dụng cảm biến GMR để thay thế cuộn cảm truyền thống nhằm mục đích thu nhỏ kích thước cảm biến, tăng độ phân giải của EC và độ nhạy cao hơn [9]. Ví dụ, cảm biến EC với mật độ cao trên mạch in đã được chế tạo và khả năng của nó có thể phát hiện được vết đứt gãy với kích thước độ rộng 70  $\mu\text{m}$  chiều dày 9  $\mu\text{m}$  trên mạch in [10].

Tình hình trong nước, hoạt động NDT ở Việt Nam đã được đưa vào ứng dụng thực tiễn từ rất sớm (những năm 1960-70 của thế kỷ trước)[11], cho đến năm 2000 vai trò của NDT với các ngành công nghiệp ở Việt Nam mới được thừa nhận rộng rãi và ngày càng phát triển (đến nay ở Việt Nam có khoảng trên 60 công ty NDT). Hầu hết các ngành công nghiệp (Lọc hóa dầu, các nhà máy điện, đóng tàu, xây dựng,...) đều đã và đang sử dụng dịch vụ NDT nhằm đảm bảo và kiểm soát chất lượng sản phẩm, công trình trong nước. Nhu cầu đánh giá tuổi thọ chi tiết/thành phần cấu kiện của các công trình công nghiệp (nhiệt điện, lọc hóa dầu...) đang ngày càng được đặt ra cấp bách hơn (ngay cả ở Việt Nam-Nhà máy nhiệt điện Mông Dương, Formosa Hà Tĩnh, Lọc dầu Dung quất,...các cơ sở công nghiệp này đang phải thuê các tổ chức nước ngoài thực hiện công việc đánh giá tuổi thọ (ĐGTT) cho hệ thống công nghiệp)[11].

Tuy nhiên, vấn đề cần đề cập ở đây là hầu hết các thiết bị và ngay cả phụ tùng thay thế hay vật tư tiêu hao cho các hoạt động NDT ở Việt Nam hiện nay đều được nhập khẩu từ nước ngoài. Điều này đã ảnh hưởng nhiều đến hiệu quả của hoạt động NDT, đặc biệt là giá thành dịch vụ. Hơn nữa, nếu tình trạng này cứ kéo dài thì Việt Nam sẽ không có công nghệ (lĩnh vực chế tạo thiết bị NDT). Cảm biến từ điện trở được đặt ra nghiên cứu trong khuôn khổ nghiên cứu này thuộc thế hệ GMR theo nguyên lý cảm biến từ điện trở khổng lồ. Thế hệ công nghệ này khắc phục được hầu hết các nhược điểm của thế hệ cuộn cảm và có các ưu điểm nổi

trội sau: Dễ dàng cung cấp năng lượng, có thể làm việc với tần số rất thấp (<1Hz), kích thước rất nhỏ (do công nghệ chế tạo màng mỏng dùng kỹ thuật phun xạ) và đặc biệt là hoàn toàn tương thích với công nghệ CMOS hiện đại.

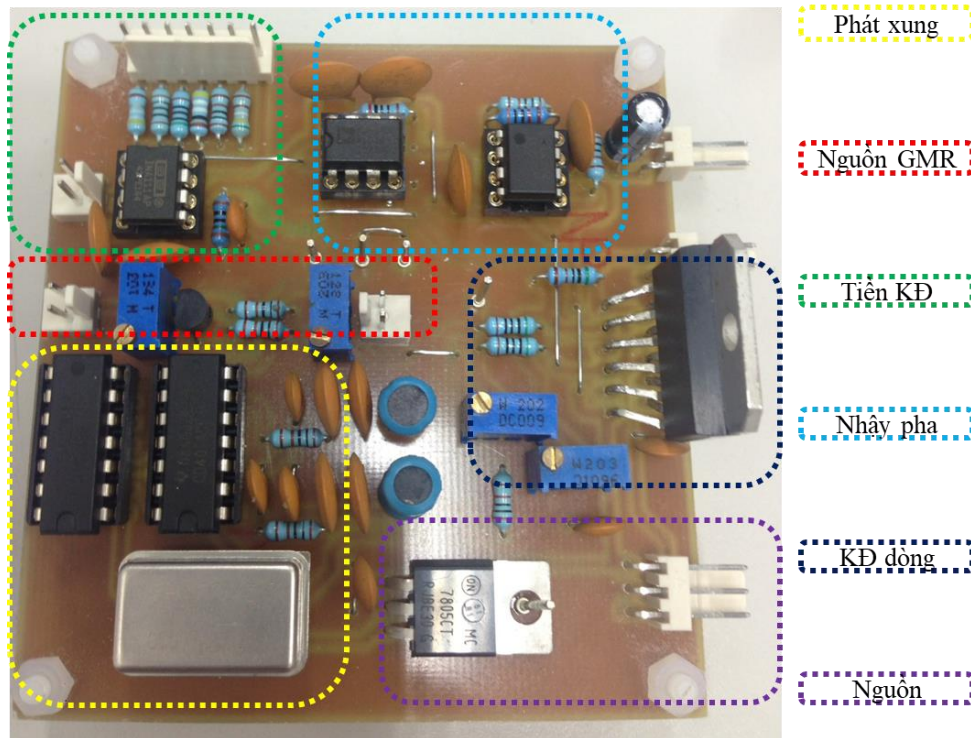
## II. THIẾT KẾ CHẾ TẠO

### A. Mạch điều khiển EC

Hình 1 thể hiện mạch điều khiển cho cảm biến EC bao gồm hai phần: Phần 1 là phần tín hiệu kích thích và phần hai là mạch đo tín hiệu. Mạch được thiết kế trên phần mềm Eagle và thực hiện trên mạch in một lớp. Để đo đáp ứng của EC, một thạch anh 2 MHz được sử dụng. Do tần số của thạch anh khá lớn và EC chỉ yêu cầu vài chục kHz do đó tần số của thạch anh được chia nhỏ bởi 2 IC CD4024. Để tạo ra tín hiệu hình sin từ xung vuông, một mạch lọc thông dải LC được sử dụng. Để tối đa độ nhạy của EC, pha của tín hiệu tham chiếu và tín hiệu kích thích được điều chỉnh bằng mạch dịch pha OP37G. Một tụ 0.1 uF được đưa vào để loại bỏ thành phần DC trong tín hiệu tham chiếu. Tiếp đó sóng kích thích sin được khuếch đại thông qua một mạch cộng DC nhằm hai mục đích: một là tạo ra tín hiệu kích thích với đủ dòng điện và tín hiệu DC giúp cho việc điều chỉnh điểm làm việc của GMR. Tín hiệu DC được điều chỉnh thông qua biến trở 2 kΩ trên mạch. Thành phần AC khoảng 20 mA và DC là khoảng 10 mA. Tín hiệu kích thích phải điều khiển được là do nếu ta tạo ra tín hiệu kích thích nhỏ thì đáp ứng của GMR tương tự như khi không có từ trường kích thích, nghĩa là tín hiệu hàm điều hòa của GMR không được tăng cường. Mặt khác nếu tín hiệu kích thích quá lớn dẫn tới GMR bão hòa sẽ dẫn tới GMR sẽ không đáp ứng với bất kỳ thay đổi nào của từ trường ngoài. Ngoài ra dòng lớn dẫn tới tiêu tốn năng lượng. Chỉ có một điểm duy nhất cho ra được đáp ứng hàm điều hòa lớn nhất. Trong thực nghiệm, dòng kích thích được điều chỉnh để đáp ứng của GMR chuyển từ điểm không bão hòa tới điểm cận bão hòa. Do đó với bất kỳ thay đổi nhỏ nào của từ trường ngoài cũng làm cho GMR dịch chuyển điểm làm việc. Tại đó hàm điều hòa bậc hai của đầu ra là đáp ứng cao nhất. Đáp ứng đầu ra của GMR được khuếch đại bởi mạch AD620 với độ khuếch đại có thể được chuyển mạch trong dải 10, 50, 100, 200, 500 và 1000 lần. Mạch nhạy pha sử dụng một IC có chức năng nhân hai tín hiệu là AD633. Tín hiệu tham chiếu cho AD633 là một xung vuông từ CD4024 với tần số đã được xác định khi thiết kế mạch. Hàm chuyển đổi của AD633 được thể hiện như sau:

$$W = \frac{(X_1 - X_2) \cdot (Y_1 - Y_2)}{10} + Z \quad (1)$$

Trong đó W là tín hiệu dải điều biến, X là tín hiệu đáp ứng của GMR, Y là tín hiệu tham chiếu, Z là tín hiệu DC bổ sung được sử dụng như một cách để điều chỉnh off-set đầu ra W. Cuối cùng đầu ra giải điều biến được lọc qua một mạch lọc thông thấp với tần số cắt cỡ 10 Hz để lấy ra tín hiệu DC, tín hiệu mà tỉ lệ với từ trường cần đo của EC.



Hình 1: Mạch điều khiển EC

### B. Thiết kế cuộn kích thích

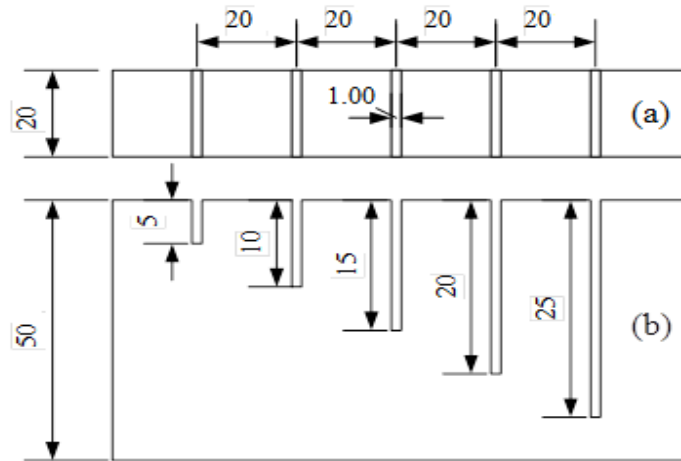
Cuộn kích thích được thiết kế nhằm tạo ra một từ trường sơ cấp với hiệu suất phát tối đa từ thông  $B$ , 0.5 mT. Ta có thể áp dụng định luật của Biot-Savart để tính toán từ trường tạo ra của cuộn dây như sau:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{2 \cdot \sqrt{l^2 + r^2}} \quad (2)$$

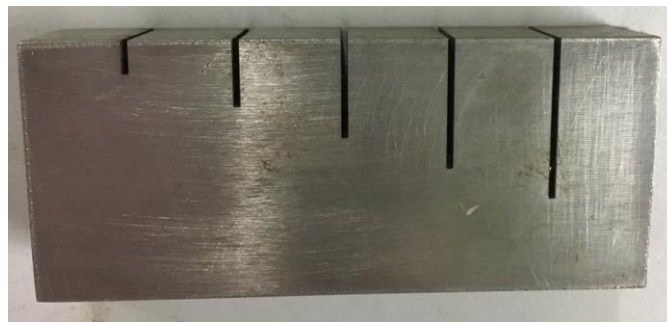
trong đó,  $\mu_0$  là độ từ thẩm của chân không,  $N$  là số vòng dây của cuộn kích thích,  $l$  là chiều dài cuộn dây và  $r$  là bán kính của cuộn dây. Ví dụ,  $l = 3$  mm,  $r = 2$  mm và  $N = 100$  vòng. Dòng điện sẽ được tính toán qua công thức (2).

### C. Thiết kế mẫu thử

Để cho thấy sự phản ánh mối quan hệ giữa đáp ứng tín hiệu điện và hệ mẫu cần kiểm tra. Mẫu thép (CT3) được chế tạo bằng phương pháp cắt dây với độ rộng vết cắt và chiều sâu khác nhau như hình 2. Hình 3 thể hiện ảnh chụp của mẫu đã được gia công.



Hình 2: Hình chiếu đứng a(mm) và hình chiếu ngang b(mm) thiết kế mẫu thử.

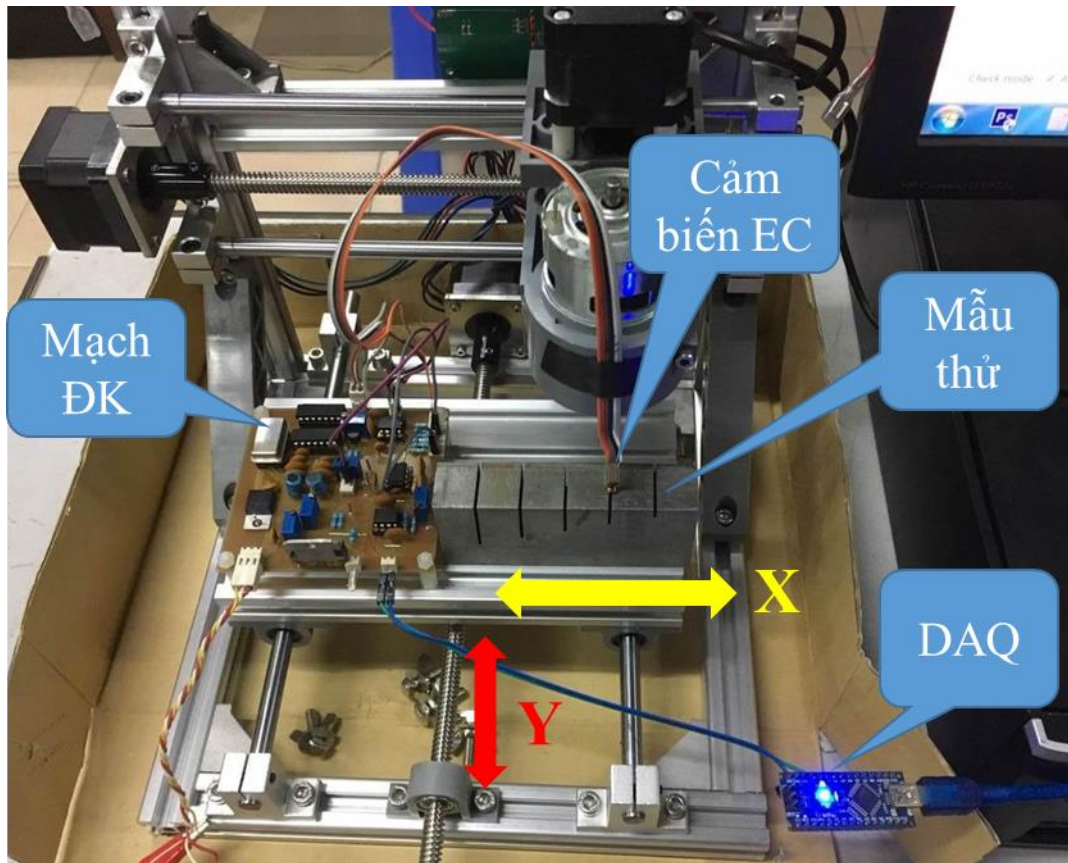


Hình 3: Ảnh chụp của mẫu thử sau khi được gia công

#### **D. Thiết lập hệ thực nghiệm**

Để đảm bảo tính chính xác của phép đo kiểm tra thử EC với mẫu chuẩn đứt gãy đã được gia công trong phần trước. Cảm biến EC và mẫu thử được gắn lên một máy CNC 3 trục. Trong đó, Trục X di chuyển với bước cố định và cảm biến EC gắn lên trục Z với khoảng cách tới mẫu thử là không đổi (cỡ 0.1 mm). Đầu dò cảm biến EC sẽ được điều khiển bằng máy tính theo trục X với bước di chuyển khoảng 0.5 mm, trong khi trục Y cũng không đổi để đảm bảo dữ liệu đo được là đồng nhất trên một đường thẳng và quét qua tất cả các vết cắt chuẩn trên mẫu kiểm tra. Đáp ứng đầu ra của cảm biến EC sẽ được ghi nhận bởi một bộ DAQ (Arduino Nano) thu thập số liệu và hiển thị qua máy hiện sóng.



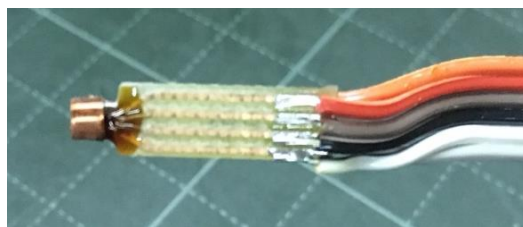


Hình 4: Thiết lập hệ thống kiểm tra cảm biến EC

### III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### A. Đầu dò cảm biến EC

Cảm biến EC trên cơ sở hiệu ứng GMR được chế tạo dạng phân tử đơn thanh với kích thước cùng tích cực  $2 \mu\text{m} \times 200 \mu\text{m}$ . Phương pháp 4 đầu dò được áp dụng thông qua công nghệ hàn dây rung siêu âm trong công nghệ đóng gói linh kiện. Hai trong 4 đầu dây được dùng cho việc cấp dòng phân cực. Hai đầu còn lại sẽ được đưa tới mạch khuếch đại để lấy tín hiệu ra của phân tử GMR. Mạch dòng phân cực cho phân tử GMR được chế tạo dựa trên nguyên lý nguồn dòng và được tích hợp cùng với mạch điều khiển của hệ cảm biến EC. Hình 5 thể hiện hình chụp của đầu dò cảm biến EC với kích thước  $3 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ .

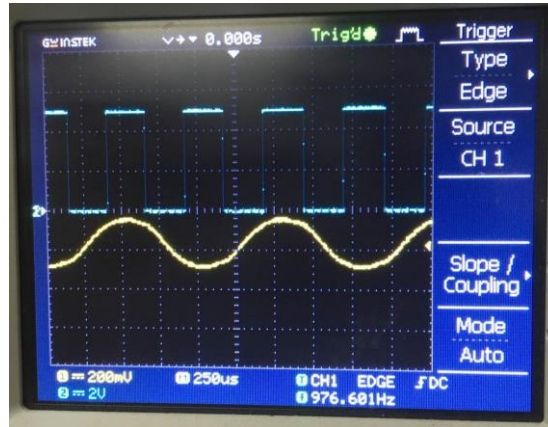


Hình 5. Ảnh chụp đầu đo EC

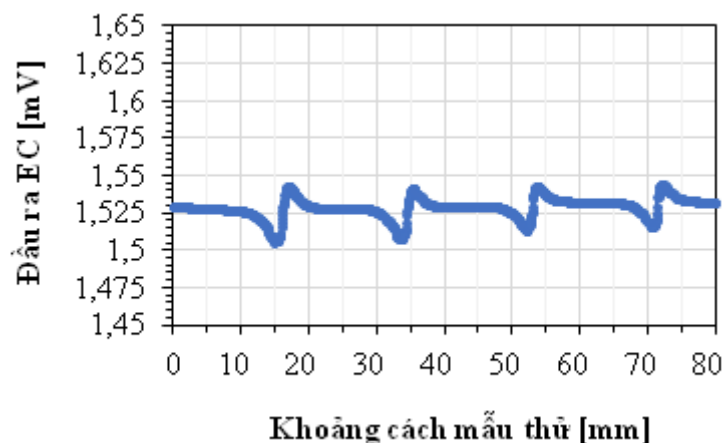
#### B. Kết quả đo

Để ứng dụng GMR vào trong NDT, sensor GMR sẽ được tích hợp thêm các thành phần : Bộ tạo xung sine, cuộn dây phát từ trường, mạch phản hồi. Bộ tạo xung sẽ tạo ra xung sine để đưa vào cuộn dây phát từ trường với tần số xấp xỉ 1 kHz. Khi mẫu được đưa và gần từ trường

này, trên bề mặt mẫu sẽ xuất hiện dòng xoáy và đặc biệt tại vị trí khuyết tật dòng điện này sẽ có sự biến động. Dạng sóng được tạo ra từ mạch điều khiển được thể hiện trong hình 6. Ngoài ra trong hình sóng vuông cũng được tạo ra trên mạch với tần số bằng 2 lần tần số sóng sine do cảm biến GMR đáp ứng tốt nhất với hàm điều hòa bậc 2. Tín hiệu xung vuông này sẽ được cấp tới chân tham chiếu của mạch nhạy pha AD633.



Hình 6. Dạng sóng để cấp cho cuộn kích thích thu được từ mạch điều khiển



Hình 7. Đáp ứng của EC với mẫu thử

Hình 7. Thể hiện kết quả đo được đáp ứng của cảm biến EC chế tạo được với mẫu chuẩn. Tần số đáp ứng tốt nhất của cảm biến được xác định tại 0.976 kHz (~1kHz). Do hạn chế khoảng cách của trục X trên máy CNC của nhóm nghiên cứu, nên khoảng cách đo kiểm tra chỉ đạt quét qua 4 rãnh đứt gãy. Được thể hiện qua 4 điểm biến động tín hiệu trên hình 7. Biên độ tín hiệu tương đối thấp do cảm biến được chế tạo dạng đơn phần tử GMR, tuy nhiên có thể khắc phục được nếu áp dụng phương pháp mạch nối tiếp  $N$  phần tử GMR độ nhạy sẽ tăng lên  $N$  lần. Biên độ tín hiệu khá tương đồng, chưa thể hiện rõ phân biệt độ rộng cũng như độ sâu của vết gãy. Mặc dù vậy, kết quả đã cho thấy khoảng cách giữa các điểm biến động tín hiệu phù hợp với khoảng cách giữa các vết đứt gãy trên mẫu thử. Hơn nữa mục tiêu ban đầu của nhóm đề ra khi chế tạo loại cảm biến này là để phát hiện ra các vị trí đứt gãy. Các thông tin chi tiết hơn về vết đứt gãy như độ rộng, độ sâu sẽ được tiếp tục phát triển trong tương lai, và phải kết hợp nhiều công nghệ và thuật toán nâng cao.

## IV. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này tập trung chế tạo một cảm biến dòng xoáy dựa trên cảm biến từ GMR nhằm ứng dụng trong đánh giá không phá hủy ở trong nước. Cảm biến chế tạo được với đáp ứng tín hiệu khá tốt về vị trí các vết đứt gãy được giới thiệu. Để kiểm tra khả năng của cảm biến, tín hiệu ra của cảm biến được so sánh phù hợp với hình thái vị trí vết đứt gãy trên bề mặt mẫu thử chuẩn. Khoảng cách giữa các điểm biến động tín hiệu ra của cảm biến cho thấy đó là các vị trí tương ứng vết gãy trên mẫu thử. Ngoài ra các thông tin về biên độ hay độ lớn tín hiệu của cảm biến sẽ được tiếp tục khai thác để cho ra các thông tin chi tiết hơn về vết đứt gãy như độ rộng, độ sâu. Kết quả thu được từ nghiên cứu này sẽ là cơ sở để tiếp tục đề xuất, thực hiện các nghiên cứu sâu hơn nhằm từng bước hoàn thiện phương pháp, công nghệ cũng như hướng tới chế tạo thành công hệ thiết bị EC góp phần đáp ứng nhu cầu thực tiễn trong kiểm tra NDE tại Việt Nam.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] C. Hellier and M. Shakinovsky, *Handbook of nondestructive evaluation* vol. 10: McGraw-hill New York, 2001.
- [2] L. Janousek, K. Capova, N. Yusa, and K. Miya, "Multiprobe Inspection for Enhancing Sizing Ability in Eddy Current Nondestructive Testing," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 44, pp. 1618-1621, 2008.
- [3] D. C. Jiles, "Review of magnetic methods for nondestructive evaluation (Part 2)," *NDT International*, vol. 23, pp. 83-92, 1990.
- [4] T. Dogaru and S. T. Smith, "Giant magnetoresistance-based eddy-current sensor," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 37, pp. 3831-3838, 2001.
- [5] A. E. Mahdi, L. Panina, and D. Mapps, "Some new horizons in magnetic sensing: high-Tc SQUIDs, GMR and GMI materials," *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 105, pp. 271-285, 2003.
- [6] A. Jander, C. Smith, and R. Schneider, "Magnetoresistive sensors for nondestructive evaluation," in *Nondestructive Evaluation for Health Monitoring and Diagnostics*, 2005, p. 13.
- [7] A. L. Ribeiro and H. G. Ramos, "Inductive Probe for Flaw Detection in non-Magnetic Metallic Plates Using Eddy Currents," in *2008 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 2008, pp. 1447-1451.
- [8] G. Betta, L. Ferrigno, and M. Laracca, "GMR-Based ECT Instrument for Detection and Characterization of Crack on a Planar Specimen: A Hand-Held Solution," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 61, pp. 505-512, 2012.
- [9] O. Postolache, A. L. Ribeiro, and H. G. Ramos, "Induction defectoscope based on uniform eddy current probe with GMRs," in *2010 IEEE Instrumentation & Measurement Technology Conference Proceedings*, 2010, pp. 1278-1283.
- [10] K. Chomsuwan, T. Somsak, C. P. Gooneratne, and S. Yamada, "High-Spatial Resolution Giant Magnetoresistive Sensors - Part I: Application in Non-Destructive Evaluation," in *Giant Magnetoresistance (GMR) Sensors: From Basis to State-of-the-Art Applications*, C. Reig, S. Cardoso, and S. C. Mukhopadhyay, Eds., ed Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 211-241.
- [11] Tài liệu đào tạo, "*Kiểm tra chụp ảnh phóng xạ*", Trung tâm đánh giá không phá hủy, Viện năng lượng nguyên tử Việt Nam, 2014, Lưu hành nội bộ.