

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ**

**NGUYỄN ĐĂNG PHƯƠNG**

**NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO THIẾT BỊ LA BÀN  
ĐIỆN TỬ DỰA TRÊN VẬT LIỆU MULTIFERROICS  
CẤU TRÚC MICRO-NANO**

**TÓM TẮT LUẬN VĂN THẠC SĨ VẬT LIỆU VÀ LINH KIỆN NANO**

**HÀ NỘI - 2017**

## TỔNG QUAN

Cùng với cuộc cách mạng về Khoa học công nghệ và sự ra đời của các thiết bị thông minh như điện thoại thông minh, đồng hồ thông minh, máy tính bảng, thiết bị theo dõi thể thao, thiết bị định vị,... đã tạo ra một nhu cầu rất lớn đối với việc sử dụng la bàn điện tử trong ngành công nghiệp.

Thiết bị điện tử tiêu dùng ứng dụng giữ thị phần lớn nhất vào năm 2015. Ứng dụng thiết bị điện tử tiêu dùng dự kiến sẽ chiếm thị phần lớn nhất và chiếm lĩnh thị trường la bàn điện tử giữa năm 2016 và 2022. Sự phát triển nhanh chóng của các thiết bị điện tử di động được sử dụng để điều hướng đang tạo ra một nhu cầu rất lớn đối với thị trường la bàn điện tử trên toàn cầu hiện nay. Tốc độ tăng trưởng cao và thị trường lớn nhờ sự hiện diện của các công ty, tập đoàn lớn như Apple, Samsung, Sony, LG, Huawei, Lenovo, ... đã tạo ra một bước nhảy vọt về lượng tiêu thụ sản phẩm la bàn [9]. Bên cạnh nhu cầu sử dụng thiết bị la bàn điện tử trên các thiết bị di động, chúng còn được ứng dụng vào các lĩnh vực hiện nay đang có thị trường phát triển rất nhanh như ô tô, hàng không vũ trụ và phòng thủ.

Các công ty chuyên sản xuất và cung cấp la bàn điện tử bao gồm các nhà thiết kế chip như STMicroelectronics (Pháp), mCube (Mỹ), MEMSIC (Mỹ) và MagnaChip (Hàn Quốc); các nhà sản xuất linh kiện như NXP Semiconductors NV (Hà Lan), Bosch Sensortec (Đức), Asahi Kasei Microdevices (Nhật Bản), Honeywell (Mỹ); các nhà cung cấp công nghệ như InvenSense, Inc (Mỹ), Honeywell (Mỹ), và Bosch Sensortec (Đức)... [17].

### Tổng quan về la bàn

Từ thời xa xưa, sự ra đời của la bàn từ hoạt động dựa trên việc xác định phương hướng so với từ trường trái đất đóng vai trò quan trọng đối với đời sống con người. La bàn từ là một thiết bị hàng hải có tác dụng dùng để chỉ hướng đi và xác định vị trí của tàu trên biển dựa trên nguyên lý cảm nhận hướng từ trường trái đất so với hướng của tàu. Hướng đi chính xác của tàu phụ thuộc vào độ chính xác của thiết bị, tức là phụ thuộc vào loại la bàn và nguyên lý hoạt động của la bàn.

Người ta xem Trái Đất là một nam châm khổng lồ được bao bọc bởi các đường sức từ nối liền giữa hai cực, độ lớn của nó dao động trong khoảng 25.000-65.000 nT, trong đó:

+ Cực Bắc địa từ nằm gần cực Bắc địa lý lại là cực Nam (S) của từ trường Trái Đất (hay thanh nam châm Trái Đất).

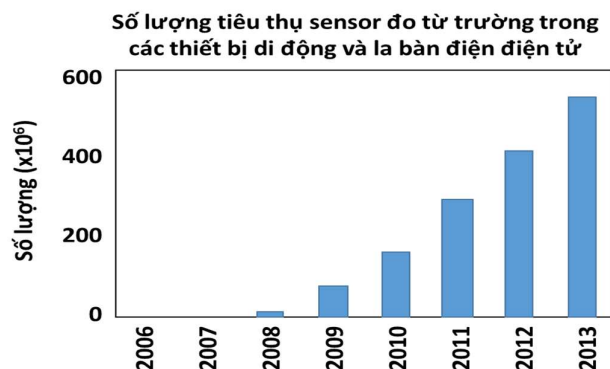
+ Cực Nam địa từ nằm gần cực Nam địa lý lại là cực Bắc (N) của từ trường Trái Đất (hay thanh nam châm Trái Đất).



*La bàn từ đơn giản*

## Nhu cầu sử dụng la bàn điện tử hiện nay

Số liệu báo cáo năm 2015 cho thấy nhu cầu sử dụng thiết bị la bàn điện tử trên thế giới hiện nay rất lớn. Dự báo thị trường đã được đưa ra cho khoảng thời gian giữa năm 2016 và 2022 cho kết quả thị trường la bàn điện tử dự kiến sẽ tăng từ 808,6 triệu USD trong 2015 lên 2.187,1 triệu USD vào năm 2022, tốc độ tăng trưởng trung bình hàng năm (Compound Annual Growth Rate - CAGR) ước tính đạt 14,57% từ giữa năm 2016 đến năm 2022. Nhu cầu về các cảm biến điện tử la bàn được dự kiến sẽ tăng do nhu cầu của ngành công nghiệp điện tử tiêu dùng, đặc biệt là trong thị trường thiết bị thông minh cầm tay. Việc áp dụng các cảm biến điện tử la bàn điện tử tiêu dùng được kỳ vọng sẽ thúc đẩy và tăng tốc độ tăng trưởng của thị trường sử dụng thiết bị thông minh cầm tay [7].



*Số liệu minh họa cho số lượng tiêu thụ sensor đo từ trường ứng dụng chế tạo la bàn điện tử tăng nhảy vọt từ năm 2009 thời điểm đánh dấu cho sự ra đời của điện thoại thông minh [13]*

Cuộc cách mạng Khoa học công nghệ cao cùng với sự ra đời của điện thoại thông minh vào khoảng năm 2009 cũng là mốc thời gian dẫn đến sự tăng trưởng nhảy vọt về nhu cầu sử dụng la bàn điện tử từ 10% vào năm 2008 lên 33% vào năm 2013. Trong các loại cảm biến được tích hợp trong các thiết bị thông minh thì cảm biến từ tính là một trong các loại cảm biến được sử dụng nhiều cho đến hiện nay **Error! Reference source not found.**

Việc nghiên cứu hiệu ứng mới, vật liệu mới và triển khai ứng dụng là hướng nghiên cứu phù hợp với xu thế hiện nay với nhu cầu và thị trường.

## Yêu cầu kỹ thuật

Sai số của la bàn ảnh hưởng rất nghiêm trọng đến độ chính xác của điểm đến đặc biệt khi sử dụng chế độ lái tự động thiết bị đối với các hành trình dài, không có mục tiêu để kiểm tra và điều chỉnh hướng đi, sai số của la bàn sẽ ảnh hưởng đến an toàn trong ngành hàng hải. Các tính toán cho thấy nếu quãng đường tàu chạy là 100 hải lý với số la bàn 1 độ thì độ lệch khoảng cách giữa điểm đến dự đoán và điểm đến thực tế là 1,74 hải lý (tương đương 3,22 km). Giá trị này thậm chí lên đến 22,61 km nếu sai số của la bàn là 7 độ. Chính vì lý do này, việc chế tạo la bàn phải đảm bảo yêu cầu độ chính xác và độ phân giải thiết bị cao.

## Các loại la bàn thông dụng

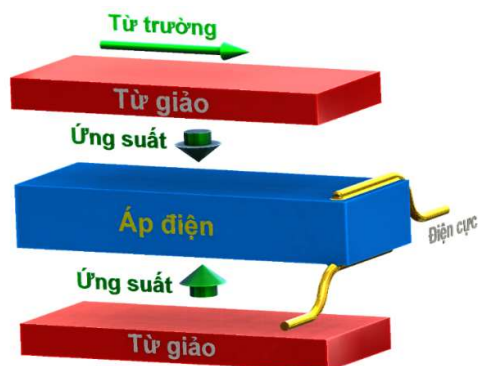
Trên thị trường hiện nay có rất nhiều hãng chuyên sản xuất và cung cấp cho thị trường các loại cảm biến đo từ trường và la bàn điện tử chuyên dùng cho ngành hàng hải như Honeywell [2], PNI Sensor Corporation [3], KVH Industries INC [4], Sperry Marine [15],... Giá thành của thiết bị la bàn điện tử chuyên dùng dao động từ vài trăm đến vài nghìn thậm chí vài chục nghìn USD tùy thuộc vào độ phân giải và các

tính năng của của thiết bị. Các thông số của la bàn điện tử hiện đại đang được bán trên thị trường hiện nay được cung cấp các hãng này thường liên quan đến độ chính xác từ trường của các cảm biến từ trường sử dụng trong cảm biến như model 3-Axis Digital Compass IC HMC5843 [6], HMC5843, Three-axis Compass with Algorithms HMC6343 [7], của hãng Honeywell được công bố cỡ milli-gauss ( $10^{-3}$  Oe). Độ chính xác góc đo của các la bàn này tốt nhất hiện nay vào cỡ  $10^{-1}$  độ [8]. La bàn là dụng cụ/thiết bị được sử dụng để xác định hướng trong không gian so với trục từ trường trái đất.

## La bàn điện tử dựa trên vật liệu multiferroic có hiệu ứng từ giảo-áp điện

### Tổng quan hiệu ứng từ-điện

Hiệu ứng từ-điện là sự kết hợp đồng thời của cả hai hiệu ứng từ giảo và áp điện và thường được quan sát thấy trên các vật liệu Multiferroics - vật liệu lưỡng pha sắt từ-sắt điện - với sự tồn tại đồng thời của cả tính chất từ, tính chất từ đàn hồi và tính chất áp điện. Nhờ có liên kết cơ học giữa hai pha này, dưới tác dụng của từ trường ngoài, pha từ sẽ bị biến dạng (dài ra hoặc co ngắn lại) do hiệu ứng từ giảo, biến dạng này sẽ truyền ứng suất lên tấm áp điện và làm xuất hiện điện tích trên hai mặt đối diện của tấm áp điện do hiệu ứng áp điện. Bằng các thiết bị đo (máy khuếch đại điện tích) ta có thể xác định được lượng điện tích được tạo ra này. Điện lượng này thay đổi phụ thuộc vào ứng suất hay phụ thuộc vào từ trường tác dụng. Thông qua việc đo điện lượng (điện trường hay hiệu điện thế) được tạo ra này ta có thể xác định được từ trường cần đo.



Sơ đồ minh họa hiệu ứng từ-điện trên các vật liệu

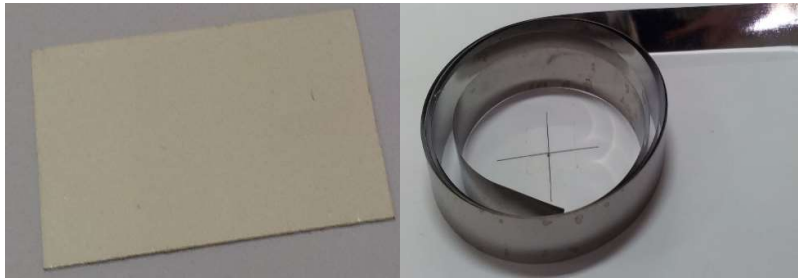
### Nguyên lý hoạt động đo từ trường của hiệu ứng từ giảo-áp điện

Để đo từ trường dựa trên hiệu ứng này, cảm biến cần có từ trường xoay chiều kích thích với biên độ nhỏ, tần số kích thích cùng với tần số dao động cơ học riêng của tấm áp điện. Từ trường một chiều DC gây ra biến dạng tĩnh của pha từ giảo và do đó gây ra ứng suất tĩnh lên tấm áp điện làm xuất hiện điện tích trên 2 mặt của tấm áp điện. Khi có thêm từ trường xoay chiều AC, vật liệu từ sẽ biến dạng kiểu dao động sinh ra ứng suất động trên tấm áp điện và do vậy làm xuất hiện điện tích/điện áp xoay chiều lõi ra dao động cùng tần số với tần số từ trường xoay chiều kích thích. Chính nhờ nguyên lý hoạt động này mà cảm biến này có ưu điểm thế điện áp lõi ra có dạng tuyến tính với từ trường một chiều ( $V \sim H_{DC}$ ) trong dải từ trường thấp do đặc trưng biến dạng từ giảo tĩnh thay đổi theo qui luật phụ thuộc dạng parabol với từ trường một chiều ( $\sigma_{DC} \sim H_{DC}^2$ ) do đó điện áp xoay chiều lõi ra do ứng suất động qui định sẽ có dạng tuyến tính theo từ trường một chiều tác dụng.

## PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM

### Lựa chọn nguyên vật liệu

Tấm áp điện PZT mang mã số APCC-855 có độ dày 500  $\mu\text{m}$ , được cung cấp bởi công ty American Piezoceramics Inc., PA, USA) (**Error! Reference source not found.**) [5]. Băng từ có thành phần  $\text{Fe}_{76,8}\text{Ni}_{1,2}\text{B}_{13,2}\text{Si}_{8,8}$  được chế tạo tại PTN Đại học Busan, Hàn Quốc bằng phương pháp nguội nhanh (melt-spinning) cho cấu trúc vô định hình ở dạng băng mỏng. Chiều dày của băng từ được sử dụng là 18  $\mu\text{m}$ . Thành phần hợp kim này đã được lựa chọn với tính chất từ và từ giảo siêu mềm cho các ứng dụng nhạy từ trường thấp [3].



Hình thực tế tấm áp điện PZT, băng từ metglas

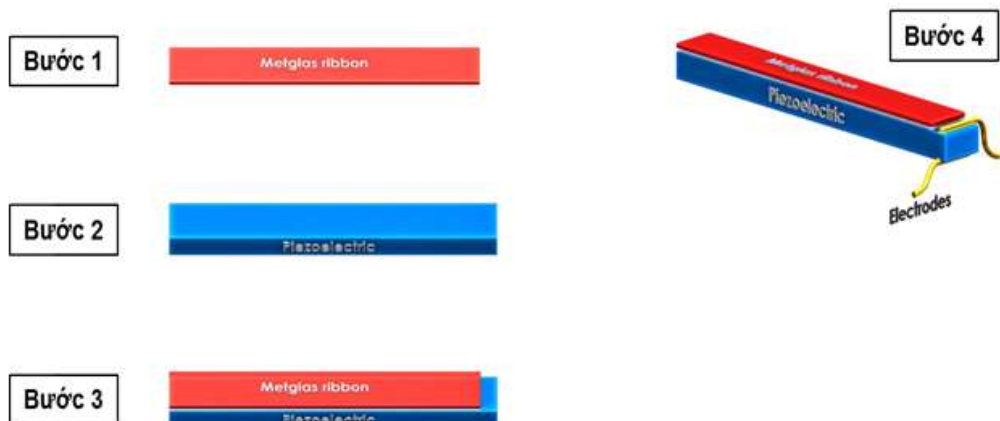
### Chế tạo đầu đo cảm biến

#### Cắt vật liệu theo kích thước với độ chính xác cao

Để cắt vật liệu tấm áp điện PZT và băng từ Metglas, máy cắt phiến tự động SHERLINE model 5410 (SHERLINE, Hoa Kỳ) đã được sử dụng. Thiết bị có khả năng điều khiển thủ công hoặc điều khiển tự động thông qua máy tính cho độ chính xác của kích thước cắt đạt tới  $\mu\text{m}$  (thông số được cung cấp bởi nhà sản xuất). Trong luận văn này, tôi lựa chọn tấm áp điện PZT có kích thước  $16 \times 1 \text{ mm}^2$  và băng từ Metglas có kích thước  $15,5 \times 1 \text{ mm}^2$ .

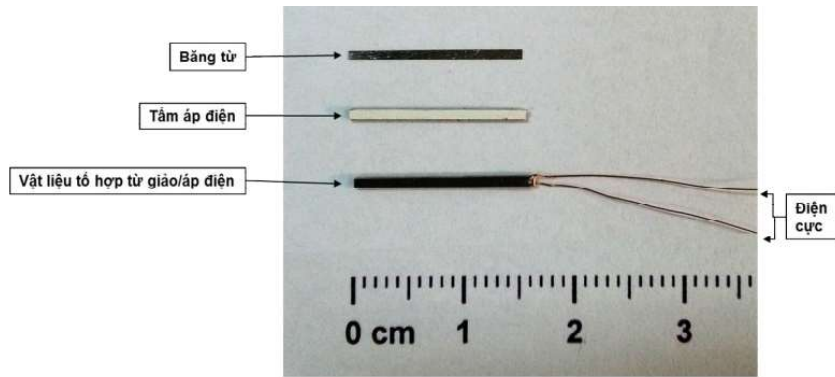
#### Chế tạo vật liệu

Kế thừa các kết quả nghiên cứu đã có từ trước của nhóm nghiên cứu tại Trường Đại học Công Nghệ, các bước chế tạo vật liệu được thực hiện theo qui trình 4 bước như mô tả trên.



Hình minh họa qui trình chế tạo cảm biến đơn trục dựa trên hiệu ứng từ giảo-áp điện

- Bước 1 + 2: Cắt tấm áp điện PZT và băng từ Metglas với kích thước lần lượt là 16x1 mm<sup>2</sup> và 15,5x1 mm<sup>2</sup> bằng máy cắt tự động SHERLINE. Phần kích thước của PZT dài hơn của băng từ 0.5 mm dành cho vị trí gắn điện cực.
- Bước 3: Gắn băng từ Metglas lên tấm áp điện PZT bằng keo epoxy 2 thành phần.
- Bước 4: Hàn điện cực bằng đồng trên mặt của tấm áp điện đã được phủ sẵn lớp điện cực bằng Bạc để thu tín hiệu lõi ra từ tấm áp điện này.



*Vật liệu từ giao-điện sau khi được chế tạo và hàn điện cực hoàn thiện*

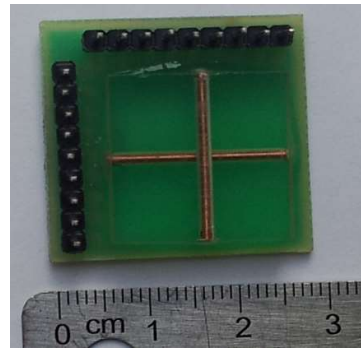
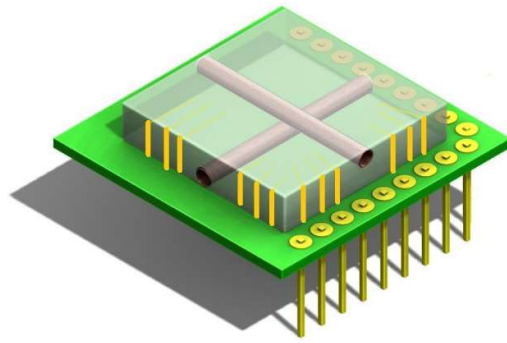
### **Chế tạo đầu đo cảm biến**

Vật liệu tổ hợp sau khi chế tạo hoàn thiện theo qui trình ở phần trên được sử dụng để chế tạo cảm biến theo qui trình như trình bày dưới đây:

- Bước 1 : Cuộn solenoid làm bằng một sợi dây đồng liền mạch đường kính 60  $\mu\text{m}$  có vỏ bọc cách điện và được cuộn thành hình trụ có chiều dài 17 mm, có đường kính trong, ngoài lần lượt là 1,2 mm và 1.3 mm, mật độ vòng dây là 10.5 vòng/mm.
- Bước 2: Lồng vật liệu tổ hợp Metglas/PZT ở bước 3 vào bên trong lõi của cuộn cuộn dây solenoid ở bước 5.
- Bước 3: Đưa vật liệu tổ hợp Metglas/PZT đã lồng vào cuộn dây solenoid vào lớp vỏ bảo vệ làm nhựa mica không có ảnh hưởng từ, với kích thước 20x20 mm<sup>2</sup>.
- Bước 4: Hoàn thiện cảm biến, gắn keo bảo vệ và hàn các điện cực cho cảm biến.

Cuộn solenoid có nhiệm vụ tạo từ trường xoay chiều ( $h_{ac}$ ) kích thích. Với chiều dài 17 mm, dài hơn băng từ metglas 15,5 mm, đảm bảo tạo từ trường đồng đều và lên toàn bộ băng từ metglas. Kích thước đường kính trong là 1,2 mm giúp không ảnh hưởng đến dao động của vật liệu tổ hợp.

Cảm biến sau khi chế tạo gồm có 2 cảm biến đơn đặt trục giao vuông góc với nhau (sensor 1 và sensor 2) trong mặt phẳng nằm ngang. Vỏ bảo vệ làm bằng nhựa mica để không có ảnh hưởng từ lên cảm biến. Được gắn lên đế, có 18 chân điện cực, tạo thành một mô đun riêng biệt. Có thể dễ dàng gắn cố định, và tháo lắp, thay thế lên mô đun xử lý tín hiệu.



Hình thiết kế 3D (trái) và ảnh chụp đầu đo cảm biến (phải) được đóng gói hoàn thiện trong vỏ bảo vệ

## Đo đặc khảo sát đầu đo cảm biến và mạch điện tử trong phòng thí nghiệm

### Đo tín hiệu điện áp và kích thích từ trường xoay chiều cho cuộn dây

Phép đo này được thực hiện nhờ sử dụng bộ khuếch đại Lock-In Amplifier 7265 được sản xuất bởi công ty Ametek của Hoa Kỳ. Nó cho phép lọc tín hiệu với tần số nhỏ cỡ một phần triệu tần số tín hiệu hỗn tạp một cách đáng tin cậy. Thiết bị này có khả năng cấp tín hiệu xoay chiều với điện áp lên đến 5V, hoạt động trên dải tần số rộng từ 1 Hz đến 250 kHz, có khả năng cung cấp điện áp nhỏ với độ chính xác lên tới 2 nV. Có thể lựa chọn các chế độ hoạt động, phục hồi tín hiệu hoặc vôn kế, cho độ chính xác đo tối ưu trong điều kiện khác nhau, đảm bảo hiệu suất vượt trội.



Hình thực tế bộ khuếch đại Lock-In Amplifier 7265

Trong luận văn, thiết bị Lock-In Amplifier 7265 được sử dụng để cấp điện áp xoay chiều với tần số được lựa chọn thích hợp ứng với tần số cộng hưởng cho cuộn dây kích thích trong cảm biến để tạo từ trường xoay chiều tạo ứng suất dạng dao động cho tấm băng từ và áp điện, qua đó để thu tín hiệu đầu ra từ tấm áp điện PZT của cảm biến. Tín hiệu lỗi ra thu được từ tấm áp điện đáp ứng theo từ trường ngoài được đo cũng được thực hiện trên thiết bị Lock-in này. Toàn bộ phép đo được thực hiện tự động có ghép nối với máy tính sử dụng phần mềm Labview.

### Các thông số khảo sát

Các thông số cơ bản của cảm biến gồm có hiệu điện thế cấp vào cuộn kích thích, tần số làm việc, tín hiệu lỗi ra, hệ số chuyển đổi từ điện K của cảm biến.

### Hệ quay khảo sát sự phụ thuộc giữa tín hiệu sensor vào góc

Trong phép đo này, sensor được đặt trên tâm của hệ thống mâm quay tự động, sử dụng động cơ mô tơ bước truyền động. Mâm quay nằm trong mặt phẳng nằm ngang. Mâm quay làm bằng nhựa mika, là vật liệu không từ tính, trên mâm quay có các vạch chia độ, từ  $0^{\circ}$  đến  $360^{\circ}$ . Hệ quay này được điều khiển tự động sử dụng motor bước DC với các tốc độ quay có thể thay đổi cho phép điều khiển các góc quay nhỏ nhất lên tới  $0,05^{\circ}$ .

## KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

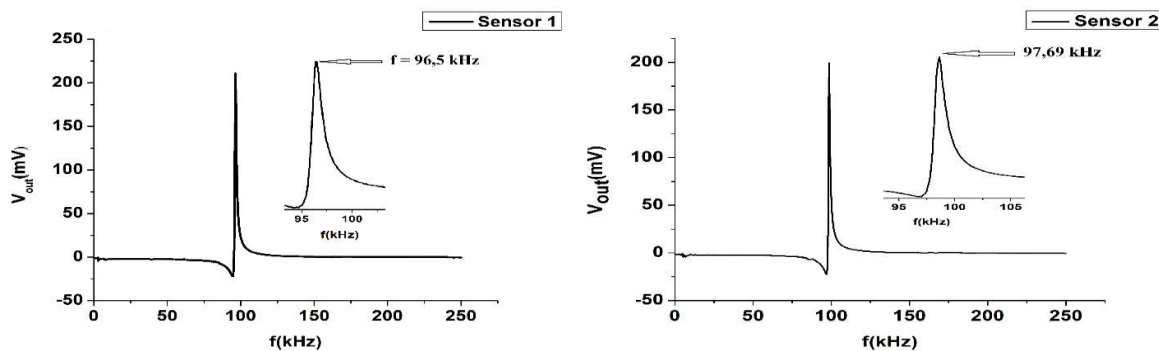
### Khảo sát các đặc trưng của đầu đo cảm biến

#### Tần số kích thích

Do nguyên lý tần số làm việc của cảm biến được xác định là tần số tín hiệu của nguồn nuôi cấp vào cảm biến mà tại đó giá trị tín hiệu lỗi ra thu được từ cảm biến là lớn nhất.

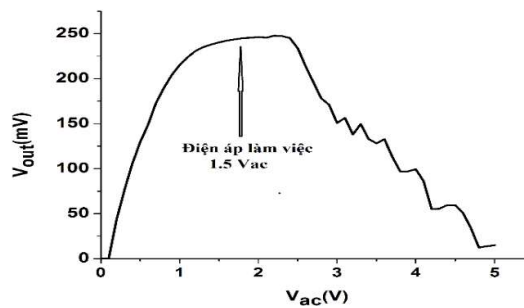
Dưới đây là đồ thị minh họa tần số làm việc của 2 sensor trong mô đun cảm biến, tần số được quét từ 0 đến 250 kHz. Có sự khác nhau giữa 2 giá trị tần số cộng hưởng này, được lý giải bởi sai số chế tạo cảm biến thủ công. Từ đây ta có thể xác định được tần số làm việc của sensor 1 và sensor 2 là: 96,5 kHz và 97,69 kHz.

Tần số từ trường xoay chiều kích thích phù hợp tần số cộng hưởng cơ học của tấm áp điện được tính toán từ dao động truyền sóng trên tấm phẳng. Với các tấm hình chữ nhật, tần số cộng hưởng ( $f_r$ ) được tính toán theo công thức truyền sóng trên sợi dây (dao động 1 chiều)  $f_r = \frac{v}{2L}$  (với  $v$  là vận tốc truyền sóng của vật liệu áp điện,  $L$  là chiều dài tấm áp điện).



Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của tín hiệu lỗi ra với tần số của tín hiệu kích thích sensor 1 và sensor 2

#### Hiệu điện thế cấp cho cuộn kích thích



Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của tín hiệu lỗi ra với tín hiệu điện áp kích thích

Do ảnh hưởng của thuộc tính từ mềm của băng từ vô định hình, từ giảo (hiệu ứng tổ hợp từ giảo áp điện) đáp ứng với một sự thay đổi rất nhỏ của từ trường và nhanh bão hòa trong vùng từ trường thấp nên từ trường kích thích có giá trị không qua lớn để không làm suy hao hiệu ứng. Các kết quả tín hiệu lỗi ra phụ thuộc vào điện áp kích thích cho cảm biến được minh họa bằng đồ thị. Điểm làm việc được lựa chọn để điện áp lỗi ra lớn nhất và hoạt động ổn định nhất trong một dải rộng. Theo khảo sát này, dải điện áp cho cuộn



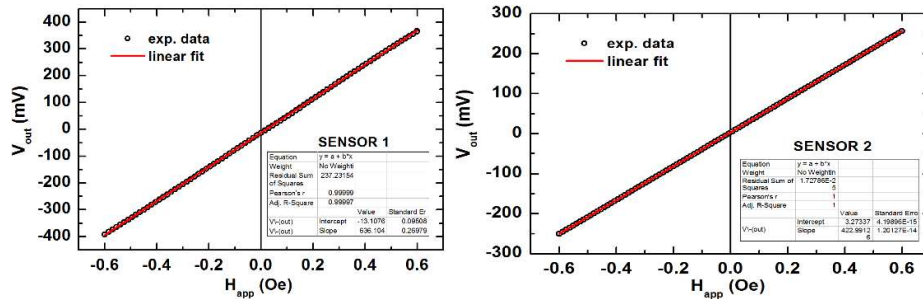
dây kích thích nằm trong khoảng từ 0 đến 1,5 V. Đây chính là thông yêu cầu cho việc lựa chọn linh kiện điện tử cho việc thiết kế mạch điện tử tích hợp.

### Đáp ứng với từ trường của đầu đo cảm biến

Đo kiểm hoạt động của đầu đo cảm biến được thực hiện sử dụng cuộn Helmholtz đảm bảo từ trường đồng nhất với độ phân giải của từ trường được xác định từ độ chính xác của nguồn dòng Keithley 2400 (nanoAmpere) tương ứng cỡ  $3 \times 10^{-8}$  Oe (3 picoTesla). Dải đo từ trường từ -0,6 đến 0,6 Oe tương ứng với dải đo của từ trường trái đất. Kết quả đo trên **Error! Reference source not found.** cho thấy tín hiệu đáp ứng tuyến tính tốt với từ trường ngoài trong dải khảo sát. Điều đáng chú ý là các đường cong này hầu như không có độ trễ từ, điều này cho phép cảm biến hoạt động với độ lặp lại cao. Từ độ dốc của đường cong đáp ứng này, hệ số chuyển đổi  $k$  (mV/Oe) sẽ được tính toán thực nghiệm sử dụng công thức:

$$V_{out} = kH \quad (0.1)$$

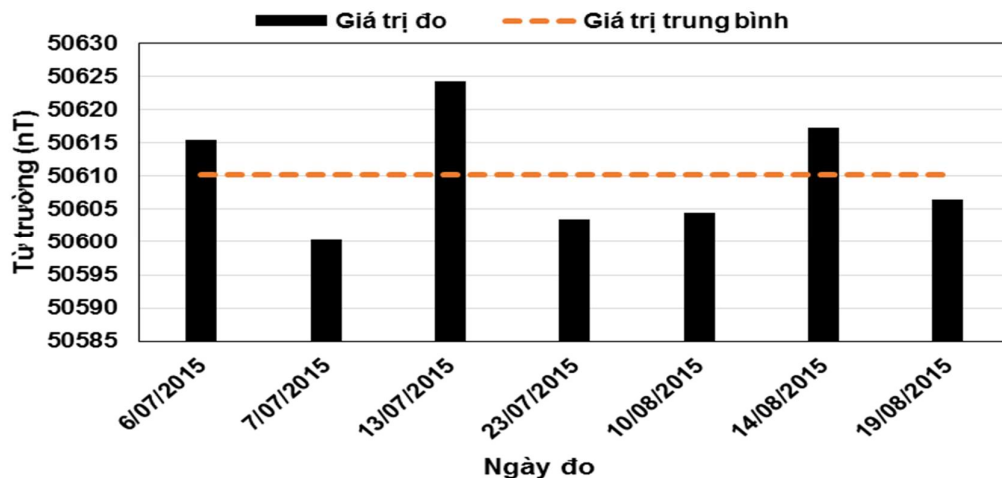
Bằng cách fit số liệu với hàm tuyến tính cho kết quả hệ số chuyển đổi tương ứng  $k_1 = 636$  (mV/Oe) và  $k_2 = 423$  (mV/Oe) cho các cảm biến 1 và 2 trong đầu đo la bàn.



Sự phụ thuộc tín hiệu điện thế của đầu đo cảm biến vào từ trường ngoài đo trên sensor đơn trục 1 (hình trái) và 2 (hình phải)

### Đo kiểm độ ổn định từ trường và độ lặp lại của đầu đo cảm biến

Độ ổn định và tính lặp lại của cảm biến được thực hiện trên cùng một mẫu đo tiến hành vào các thời gian khác nhau từ ngày 6/7/2015 đến 19/8/2015 với cùng một từ trường nền được tạo ra như nhau.

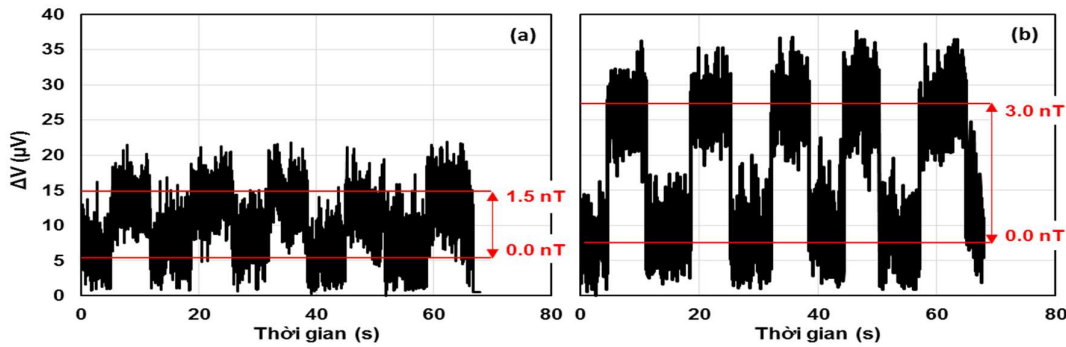


Hình 0.1. Đồ thị số liệu đo trên cảm biến vào thời gian đo khác nhau

## Đo kiểm độ phân giải của đầu đo cảm biến

Để đánh giá độ phân giải thực tế của đầu đo cảm biến, phép đo thực nghiệm đã được thực hiện thông qua cuộn n Helmholtz bằng cách cấp các dòng điện nhỏ chạy qua. Kết quả đo đặc cho thấy dòng điện nhỏ nhất mà đầu đo cảm biến có thể nhận biết được là  $0,5 \mu\text{A}$  tương ứng với một sự thay đổi rất nhỏ của từ trường cỡ  $1,5 \text{ nanoTesla}$  ( $1,5 \times 10^{-5} \text{ Oe}$ ) sử dụng công thức  $H \text{ (Oe)} = 30 * I \text{ (A)}$  của cuộn Helmholtz (công thức này được đưa ra bởi nhà sản xuất). Sự thay đổi nhỏ nhất này cũng tương ứng với sự thăng giáng nền nhiều của cảm biến. Khi tăng dòng lên gấp đôi, sự thay đổi của tín hiệu đo được trên đầu đo cảm biến cũng được ghi nhận tăng lên gấp đôi.

Có thể khẳng định các đo đạc đánh giá độ phân giải của cảm biến sử dụng các thiết bị đo trong PTN cho thấy đầu đo cảm biến này rất nhạy với thay đổi của từ trường ngoài với độ phân giải nanoTesla. Độ phân giải này là rất lớn khi so sánh với các đầu đo từ trường dựa trên các hiệu ứng từ-điện trở khổng lồ và hiệu ứng Hall phẳng. Độ phân giải này có thể so sánh tương đương với cảm biến dựa trên hiệu ứng từ -điện trở xuyên ngầm với cấu trúc phức tạp, công nghệ chế tạo đắt tiền đang được phổ biến hiện nay. Trong khi hiệu ứng từ giao áp điện được sử dụng trong luận văn này có công nghệ chế tạo đơn giản và chi phí rẻ hơn rất nhiều.



Hình 0.2. Tín hiệu đo trên cảm biến khi không và có từ trường ngoài tác dụng vào với các cường độ khác nhau: (a)  $1,5 \text{ nT}$  và (b)  $3 \text{ nT}$  tương ứng với dòng điện cấp  $0,5$  và  $1,0 \mu\text{A}$  vào cuộn Helmholtz

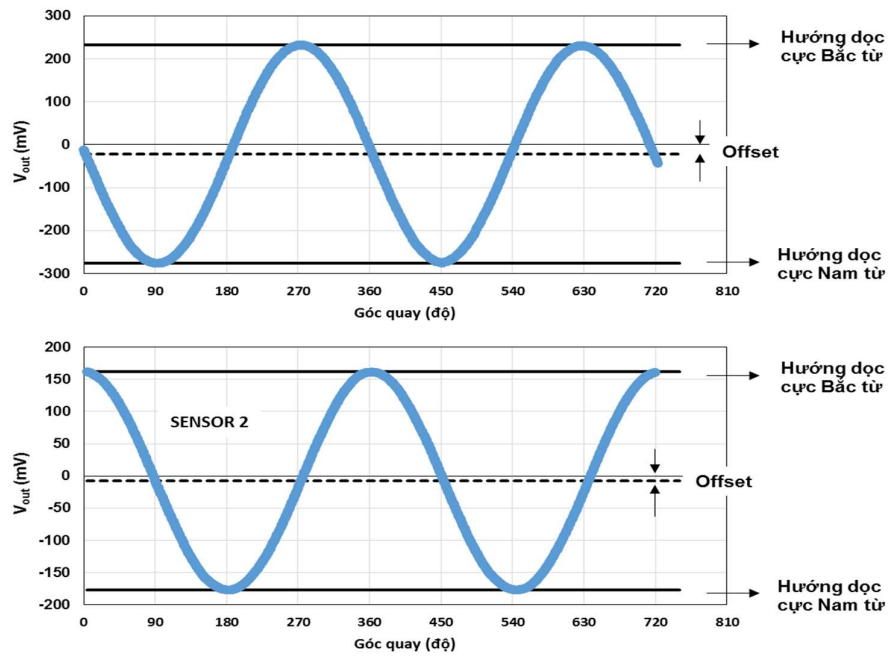
### Tín hiệu Voffset và cách khắc phục

Điều đáng chú ý ở đây là cả 2 cảm biến đơn đều không đối xứng hoàn toàn qua trục giá trị  $V_{\text{out}} = 0$  mà dịch trục đi các giá trị khác nhau phụ thuộc vào từng cảm biến. Giá trị này được xác định chính là thế nền offset của từng cảm biến. Để thực hiện được tính toán góc thì việc tìm thế nền và loại bỏ đóng góp của thế nền này là rất quan trọng. Ở đây, do đặc trưng đối xứng về độ lớn của từ trường nhưng khác về dấu dẫn đến sự khác nhau về tín hiệu điện áp khi đo dọc cực Bắc từ và Nam từ của trái đất giúp cho việc xác định thế nền đơn giản theo công thức (3.2).

Tín hiệu lỗi ra có dạng tuần hoàn dạng sin(cosin) theo góc  $\varphi$  đối xứng qua  $V_{\text{offset}}$ . Như vậy cường độ từ trường tổng hợp tác dụng lên cảm biến được tính bằng công thức:

$$V_{\text{offset}} = \frac{V_{\text{North}} + V_{\text{South}}}{2}$$

trong đó  $V_{\text{North}}$  và  $V_{\text{South}}$  tương ứng là tín hiệu điện áp đo được khi trục cảm biến hướng dọc cực Bắc và Nam từ của trái đất.



Khảo sát đáp ứng của đầu đo cảm biến theo góc định hướng giữa trục sensor 1 (hình trên) và sensor 2 (hình dưới) với cực Bắc của từ trường trái đất

Sử dụng công thức tính ở trên cho kết quả thế nền của các cảm biến 1 và 2 tương ứng là 22,56 và 7,6 mV. Thế nền này có thể thay đổi phụ thuộc vào thời gian làm việc, độ già hóa, điều kiện môi trường,... Sự tồn tại của thế nền có thể là do sự xuất hiện của ứng suất nội sinh ra trong quá trình gia công mẫu dẫn đến sự xuất hiện của thế điện áp ngay cả khi không chịu tác dụng của từ trường ngoài. Do vậy, trong quá trình lắp ráp mạch điện tử phải tính đến chức năng đánh giá và trừ nền của cảm biến.

#### Xây dựng thuật toán tính góc cho đầu đo

Các bước tính góc cho la bàn điện tử sẽ được thực hiện lần lượt như sau:

- Bước 1: Chuẩn hóa cảm biến bằng cách quay cảm biến 1 vòng trong mặt phẳng nằm ngang.
- Bước 2: Xác định điện áp cực đại tương ứng với khi trục của các cảm biến hướng theo cực Bắc từ và Nam từ trường trái đất ( $V_{North}$  và  $V_{South}$ ).
- Bước 3: Xác định thế nền offset và hiệu chỉnh, trừ nền sử dụng công thức (3.6) để tính giá trị tỉ đối của các tín hiệu đo

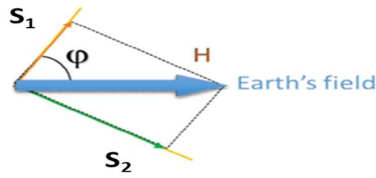
$$\begin{cases} S_1 = \frac{V_{out}^1 - V_{offset}^1}{V_{North}^1 - V_{offset}^1} \\ S_2 = \frac{V_{out}^2 - V_{offset}^2}{V_{North}^2 - V_{offset}^2} \end{cases}$$

- Bước 4: Tính góc theo công thức hàm lượng giác

$$\tan \varphi = \frac{S_1}{S_2}$$

Với  $\varphi$  là góc định hướng giữa trục cảm biến 1 và từ trường trái đất.

- Bước 5: Bù các điểm dị thường và các giá trị góc theo các dải đo

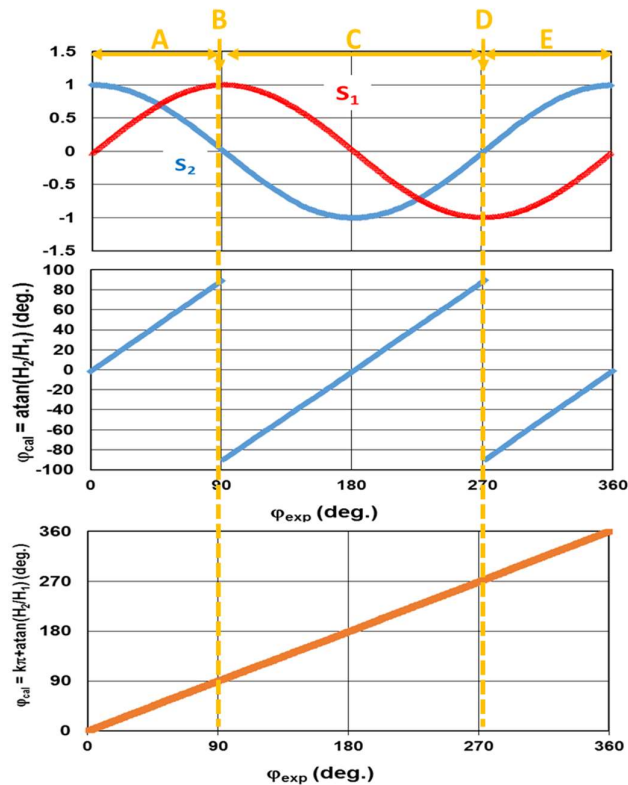


Nguyên lý tính toán cường độ từ trường của cảm biến

$$\tan \varphi = \frac{H_1}{H_2} \Rightarrow \varphi = k\pi + \arctan \frac{H_1}{H_2}$$

Range	$H_2$	$H_1$	k	$\varphi$ (deg.)
A	+	+	0	$\arctan \frac{H_1}{H_2}$
B	0	+		$\pi/2$
C	-	-	1	$\pi + \arctan \frac{H_1}{H_2}$
D	0	-		$3\pi/2$
E	+	-	2	$2\pi + \arctan \frac{H_1}{H_2}$

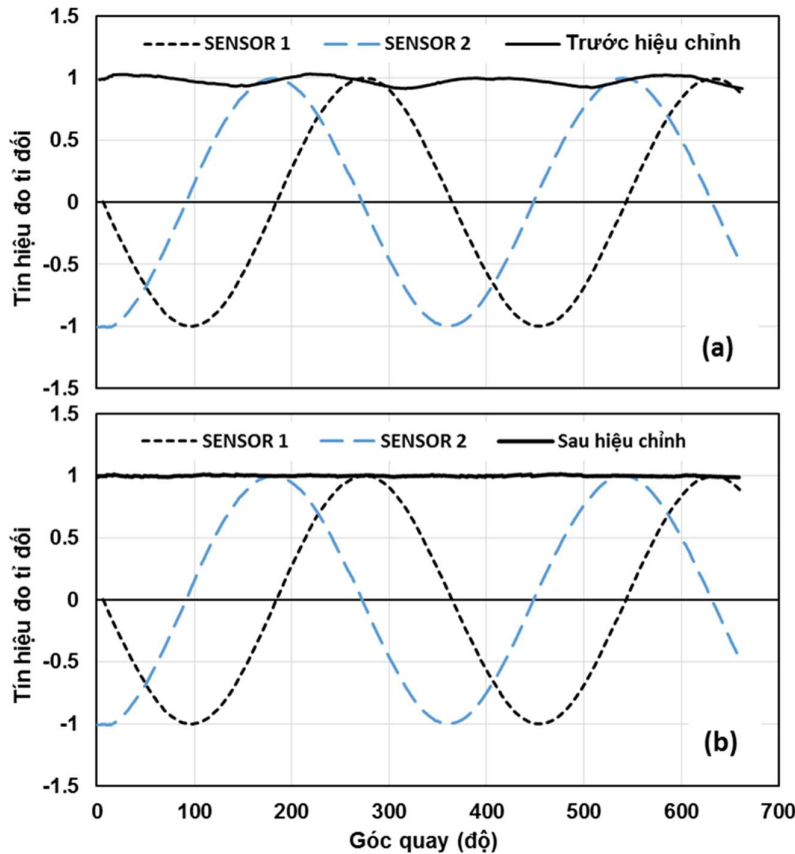
Qui luật bù các điểm dị thường các các giá trị góc theo các dải đo



Đồ thị tính toán góc cảm đo từ cảm biến sau các bước đo: Bước 3 (hình trên cùng), Bước 4 (hình giữa) và Bước 5 (hình dưới cùng)

## Đánh giá sai số và chuẩn hóa ghép trục giao 2 thanh cảm biến

Độ chính xác góc đo phụ thuộc rất nhiều vào độ chính xác khi ghép tổ hợp 2 đơn cảm biến trong cấu hình vuông góc. Thông thường việc ghép này được thực hiện một cách cơ học và phụ thuộc rất nhiều vào sai số cơ khí khi gia công vỏ cảm biến. Hai sensor được đặt vuông góc nhau trong khối nhựa mika. Sai khác này được giải thích là do sai số trong chế tạo cảm biến, cụ thể khối nhựa mika được gia công cơ khí bằng máy CNC. Độ chính xác của góc đo là bản phụ thuộc vào độ chính xác của góc lệch trục giao này. Sai số góc lệch này có thể được xác định sau khi khảo sát đường cong thay đổi theo góc đồng thời ghi nhận bởi 2 cảm biến và kết quả tổng hợp sau khi chuyển đổi sang tín hiệu từ trường sẽ cho ta biết mức độ lệch trục giao của 2 cảm biến. Trên minh chứng cho độ lệch chuẩn trục giao của 2 cảm biến bởi đường tín hiệu tỉ đối theo công thức  $S = \sqrt{S_1^2 + S_2^2}$  thẳng giáng liên tục khi đặt đầu đo la bàn theo các định hướng khác nhau. Về nguyên tắc, trong nền từ trường không đổi thì thành phần từ trường trong mặt phẳng nằm ngang này phải giữ nguyên không đổi. Từ các kết quả thu được có thể thấy rằng độ lệch góc trục giao giữa 2 sensor là khoảng  $6^\circ$ . Tiến hành chuẩn hóa trục giao sẽ được thực hiện sau khi đánh giá được góc lệch giữa 2 sensor từ đường cong này



Tín hiệu cường độ từ trường thu được khi chưa (a) và sau khi đã qua chuẩn hóa trục giao

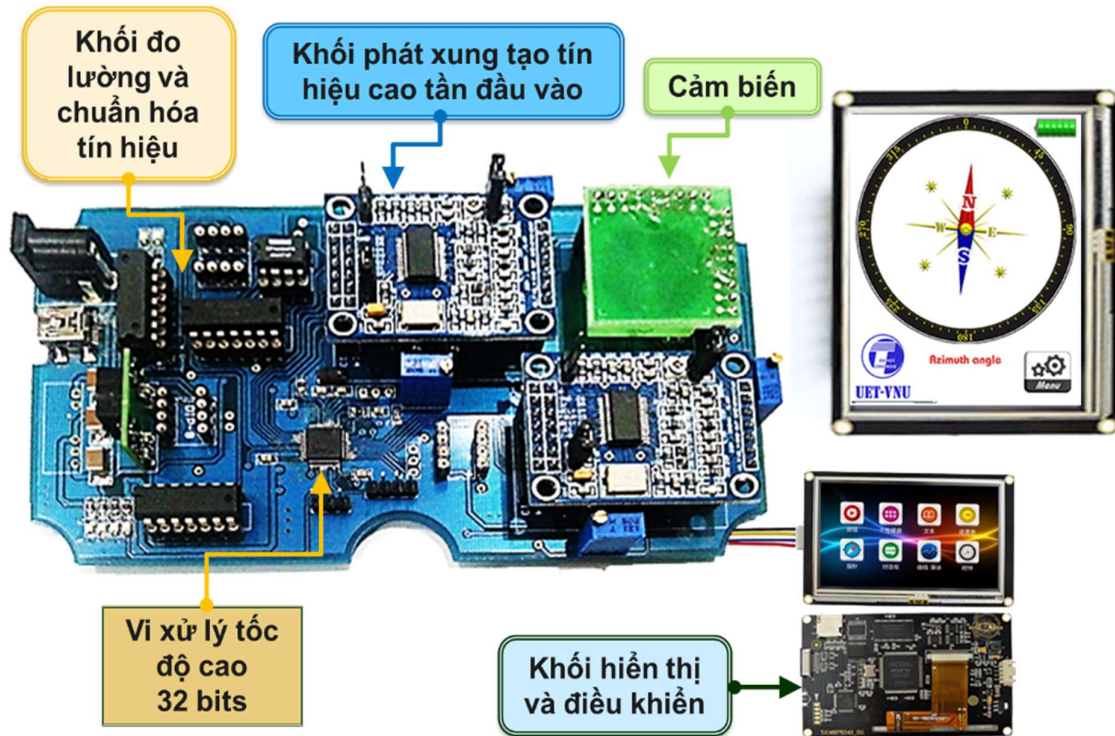
Để khắc phục được điều này, nhóm nghiên cứu đã đưa ra giải pháp chuẩn hóa trục giao sử dụng phương pháp đo trực tiếp tín hiệu cảm biến sử dụng một mâm quay có đường kính lớn và điều khiển bằng một motor bước với bước điều khiển nhỏ  $0,05^\circ$  để vi chỉnh góc giữa 2 cảm biến đơn trục. Theo giải pháp này, tổ hợp 2 cảm biến đơn độc lập được ghép với nhau và cố định đảm bảo trục giao khi tổng hợp từ trường trong mặt phẳng nằm ngang giữ ổn định. Với cách làm này đảm bảo sai số trục giao nhỏ hơn  $0,1^\circ$  nhờ hệ thống điều khiển quay tự động. Kết quả đo tín hiệu trên cảm biến được thực hiện theo phương pháp này

cho thấy rõ sự ổn định của từ trường nằm ngang khi tổng hợp tín hiệu từ 2 cảm biến này. Điều này một lần nữa khẳng định độ chính xác trực giao của cặp cảm biến này khi được tổ hợp vuông góc với nhau. Kết quả đo tín hiệu trên cảm biến được thực hiện theo phương pháp này cho thấy rõ sự ổn định của từ trường nằm ngang sau khi tổng hợp tín hiệu từ 2 cảm biến này. Điều này một lần nữa khẳng định độ chính xác trực giao của cặp cảm biến này khi được tổ hợp vuông góc với nhau.

### **Nghiên cứu, thiết kế và đo đạc thử nghiệm mạch điện tử cho la bàn**

Mạch điện tử cho la bàn được thực hiện với sự phối hợp giữa nhóm nghiên cứu thực hiện đề tài nghiên cứu này với nhóm nghiên cứu tại Viện Điện - Đại học Bách khoa Hà Nội. Trong đó toàn bộ ý tưởng thiết kế được xây dựng và các nội dung đo đạc thử nghiệm hoạt động của mạch cũng như xây dựng nguyên lý thuật toán tính góc được thực hiện bởi nhóm nghiên cứu trường Đại học Công Nghệ với sự tham gia của học viên. Lựa chọn linh kiện theo các yêu cầu và lắp ráp hoàn thiện bởi nhóm nghiên cứu của trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Tuy nhiên, trong tất cả các công đoạn này đều có sự tham gia thực hiện trực tiếp của học viên.

### **Đóng gói hoàn thiện thiết bị theo mẫu mã kiểu dáng công nghiệp**



*Mạch điện tử được lắp ráp hoàn thiện của la bàn*



*La bàn sau khi được đóng gói hoàn thiện*



*Giao diện hiển thị màn hình LCD được thiết kế cho la bàn*

Công suất tiêu thụ của mạch đo trực tiếp thông qua đo dòng tiêu thụ thực tế trên từng module và trên toàn thiết bị với nguồn điện áp cấp 5V cho kết quả như sau:

- Công suất tiêu thụ trên mạch điện tử: 1W (trong đó riêng module phát để kích thích cho đầu đo cảm biến tiêu thụ khoảng 50% trong tổng số công suất này)
- Công suất tiêu thụ trên màn hiển thị LCD: 2W

So với các cảm biến thương mại thì công suất tiêu thụ thường dao động cỡ 0,1 W, thiết bị này công suất tiêu thụ vẫn còn lớn giới hạn trong trường hợp sử dụng pin. Hướng nghiên cứu này sẽ tiếp tục triển khai theo hướng thu nhỏ thiết bị và linh kiện và giảm công suất tiêu thụ cho hệ và đóng gói hoàn thiện sản phẩm theo mẫu mã kiểu dáng công nghiệp để hướng tới thương mại hóa sản phẩm.

## KẾT LUẬN

Luận văn đã nghiên cứu và phát triển hoàn chỉnh Công nghệ chế tạo sensor góc 2D dựa trên hiệu ứng từ giảo – áp điện và la bàn điện tử: Sensor đã được tích hợp với mạch điện tử hoàn chỉnh, bao gồm cả hệ thống khuếch đại lock-in số và các bộ biến đổi để tín hiệu lỗi ra được ghép nối máy tính và hiển thị góc phương vị và góc nghiêng... của ăng-ten khi cảm biến quay trong từ trường trái đất. Hệ thống mạch điện tử tạo và hoạt động với nguồn sóng sin ở 100 kHz. Việc khuếch đại tín hiệu đo lường, lọc nhiễu tín hiệu, kết nối với vi xử lý đã được thực hiện hoàn chỉnh, đáp ứng yêu cầu của la bàn điện tử với độ phân giải  $10^{-1}$  độ.

Các kết quả đạt được của luận văn bao gồm:

- La bàn điện tử đã được thiết kế và chế tạo bao gồm 2 mô đun: khối cảm biến và khối điện tử.
- Khối cảm biến 2D thực chất là tổ hợp 2 cảm biến 1D đơn trục đặt vuông góc với nhau, có độ hệ số chuẩn hóa  $k \sim 200 \text{ mV/Oe}$  và tần số cộng hưởng trong khoảng  $f \sim 100 \text{ kHz}$ . Độ phân giải góc tốt hơn 0,2 độ. Tín hiệu cảm biến được xử lý offset và chuẩn hóa trực giao.
- Khối cảm biến hoạt động trên cơ sở nguyên lý khuếch đại lọc lựa, bao gồm khối phát xung tạo tín hiệu (chuẩn) cao tần nuôi cuộn dây tạo từ trường xoay chiều kích thích; khối đo lường và chuẩn hóa tín hiệu và khối hiển thị, giao tiếp. Khối phát xung được thiết kế sử dụng vi mạch module AD9850. Tín hiệu đo lường từ cảm biến được đưa qua IC đo lường INA128 để khuếch đại và IC OPA2350 để lọc nhiễu. Đầu đo cảm biến sau khi được đóng gói hoàn thiện được tích hợp với mạch điện tử và màn hình hiển thị LCD Graphic LCD123864.
- La bàn điện tử chế tạo được đáp ứng yêu cầu phục vụ được cho các mục đích định vị dùng cho các ngành công nghệ khác nhau đặc biệt trong ngành Hàng hải.

Các nội dung và kết quả nghiên cứu trong luận văn nằm trong đề tài nghiên cứu Mã số QG. 15.28 của Đại học Quốc gia Hà nội.



## TÀI LIỆU THAM KHẢO

### Tiếng Việt

- [1]. Hoàng Mạnh Hà (2007), *Chế tạo, Nghiên cứu và ứng dụng vật liệu tổ hợp từ giao-áp điện dạng tấm có cấu trúc nano*, luận văn thạc sĩ, Đại học Công Nghệ- ĐHQGHN.
- [2]. Nguyễn Thị Ngọc (2012), *Nghiên cứu, chế tạo sensor đo từ trường Trái đất 2D, 3D dựa trên vật liệu từ-điện cấu trúc Micro-Nano*, luận văn thạc sĩ, trường Đại học Công Nghệ-ĐHQGHN.
- [3]. Nguyễn Xuân Toàn (2010), *Tăng cường hiệu ứng từ điện trong vùng từ trường thấp trên các vật liệu multiferroics Metglas/PZT dạng lớp cấu trúc Micro-Nano*, luận văn thạc sĩ vật liệu và linh kiện nano, luận văn thạc sĩ trường Đại học Công Nghệ-ĐHQGHN.
- [4]. Đồng Quốc Việt (2013), *Ứng dụng công nghệ Micro-Nano chế tạo tổ hợp cảm biến từ*, luận văn thạc sĩ, trường Đại học Công Nghệ- ĐHQGHN.

### Tiếng Anh

- [5]. APC International Ltd datasheet: [http://americanpiezo.com/piezo\\_theory/](http://americanpiezo.com/piezo_theory/)
- [6]. Ballas R.G., (2007), *Piezoelectric Multilayer Beam Bending Actuators*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [7]. Baschiroto A., Borghetti F., Dallago E., Malcovati P., Marchesi M., Melissano E., Siciliano P., Venchi G, (2006), "Fluxgate Magnetic Sensor and Front-End Circuitry in a Integrated Microsystem", *Sensor and Actuators A*, 132 (1 November), pp. 90-97.
- [8]. Bichurin M.I., Petrov V.M., Petrov R.V., Kiliba YU.V., Bukashev F.I., Smirnov A.YU., and Eliseev D.N., (2002) *Ferroelectric*, 280, 199.
- [9]. Dixon R., (2015) *Magnetic Sensors Market Tracker* Principal Analyst MEMS & Sensors,
- [10]. Edward R., (2006) *Hall-Effect Sensors*, Elsevier Inc. pp. xi. (ISBN 978-0-7506-7934-3)
- [11]. Joule J.P., *Philosophical Magazine*, 30 (1847) 76.
- [12]. Landau D. and Lifshitz E., (1960), *Electrodynamics of Continuous Media*, Pergamon Press, Oxford, pp. 119.
- [13]. Lenz J., Edelstein A.S., (2006), "Magnetic Sensors and Their Applications", *IEEE Sensors Journal*, 6 (3 June), pp. 631-649.
- [14]. Li Shu-hua, (1954), "Origine de la Boussole 11. Aimant et Boussole", *Isis*, 45 (2 July), pp. 175–196.
- [15]. Lowrie, William, (2007), *Fundamentals of Geophysics*, London: Cambridge University Press. pp. 281.
- [16]. Kreutz, Barbara M., (1973), "Mediterranean Contributions to the Medieval Mariner's Compass", *Technology and Culture*, 14 July, pp. 367–383.
- [17]. MarketsandMarkets, (2016), *PRNewswire*, Pune India.
- [18]. Needham, Joseph, (1962), *Physics and physical technology*, Cambridge University Press.
- [19]. Racz R., Schott C., Huber S. (1962), *Electronic Compass Sensor*, IEEE sensors, pp. 144.