

La bàn 2D ứng dụng trong các trạm thu vệ tinh di động

Đỗ Thị Hương Giang, Bùi Đình Tú, Nguyễn Thị Ngọc, Nguyễn Hữu Đức*

*Phòng thí nghiệm Công nghệ Micro-nano, Trường Đại học Công nghệ, ĐHQGHN,
144 Xuân Thủy, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 04 tháng 5 năm 2015

Chỉnh sửa ngày 28 tháng 5 năm 2015; Chấp nhận đăng ngày 08 tháng 7 năm 2015

Tóm tắt: Bài báo mô tả kết quả nghiên cứu và chế tạo hoàn chỉnh la bàn 2D dựa trên vật liệu multiferroics Metglas/PZT có khả năng tích hợp vào các trạm thu di động để tự động điều khiển góc phương vị và góc tầm của ăng ten theo vị trí của vệ tinh thông tin địa tĩnh. La bàn hoàn chỉnh bao gồm cả mô-đun cảm biến và mô-đun điện tử xử lý tín hiệu. Mô-đun cảm biến từ trường được cấu hình bằng 2 cảm biến 1D đặt vuông góc với nhau. Theo đó, la bàn 2D phát hiện được cả hai thành phần vuông góc H_1 và H_2 của từ trường trái đất, cung cấp thông tin để xác định được cả cường độ từ trường H và góc lệch của la bàn so với các hướng từ trường chuẩn cực Bắc từ. Tín hiệu lỗi ra của cảm biến từ trường được biến điệu và khuếch đại bởi bộ khuếch đại nhảy pha tự chế tạo. Các vị trí không gian (góc phương vị và góc tầm) được tính toán tự động trong quá trình mô-đun cảm biến quay hoặc quét.

Từ khóa: Sensor từ trường, la bàn điện tử, vật liệu multiferroics.

1. Giới thiệu

Các la bàn điện tử có thể đo được cả cường độ và hướng của từ trường trái đất, phù hợp với mục đích ứng dụng để định vị, xác định góc phương vị và góc tầm. Trong trường hợp này, các la bàn thường có cấu hình 2D hoặc 3D. Các cảm biến từ trường trái đất truyền thống thường được chế tạo dựa trên nguyên lý từ thông kế, hiệu ứng Hall, hiệu ứng van spin,... [1-7]. Trong vòng 10 năm trở lại đây, các nghiên cứu về hiệu ứng từ-điện đã có sự bùng nổ, trong đó hiệu ứng từ-điện thuận (tác dụng của từ trường sinh ra thế áp điện) có sự quan tâm lớn và nhiều

nghiên cứu ứng dụng đã được phát triển như: cảm biến từ trường, đầu đọc đĩa từ, bộ hồi chuyển, gradient kế, các bộ điều khiển và lọc cao tần, thiết bị chuyển đổi năng lượng [8]. Sensor từ trường dựa trên hiệu ứng từ điện có nhiều ưu điểm về độ đơn giản, giá rẻ nhưng độ nhạy cao. Gần đây, nhóm nghiên cứu đã chế tạo được các sensor 1D, 2D và 3D. Đặc biệt, độ nhạy về cường độ (lên tới 10^{-4} Oe) và góc (10^{-1} độ) của các sensor 1D đã được cải thiện rất nhiều nhờ kết hợp xử lý tối ưu hiệu ứng trường khử từ. Các sensor này đã được thử nghiệm ứng dụng để đo từ trường trái đất, nhịp tim. Tuy nhiên, giới hạn mới chỉ dừng lại ở trong phòng thí nghiệm.

* Tác giả liên hệ. ĐT: 84-912224791.
Email: ducnh@vnu.edu.vn

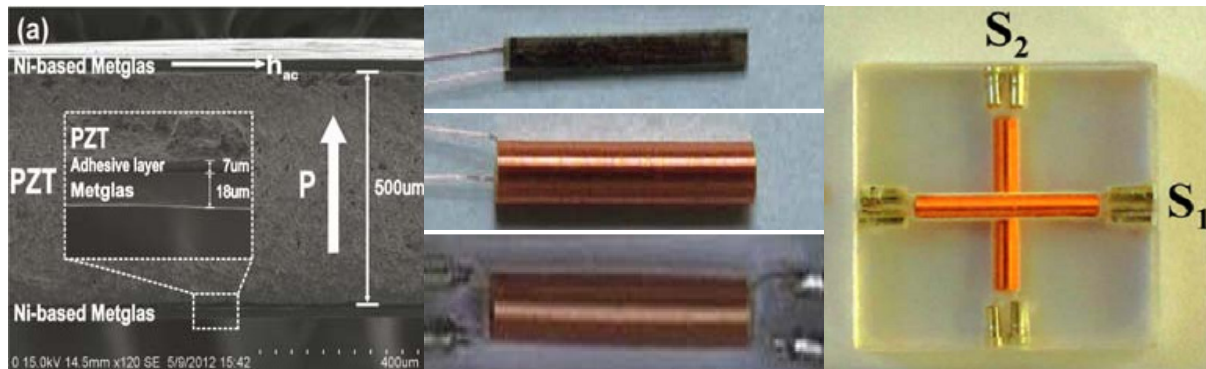
Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu và chế tạo hoàn chỉnh la bàn điện tử 2D dựa trên vật liệu multiferroics Metglas/PZT có khả năng tích hợp vào các trạm thu di động để tự động điều khiển góc phương vị và góc tầm của ăng ten theo vị trí của vệ tinh thông tin địa tĩnh. La bàn hoàn chỉnh bao gồm cả mô-đun cảm biến từ trường và mô-đun điện tử xử lý tín hiệu từ lõi ra của cảm biến. Trong mô-đun cảm biến từ trường, 2 cảm biến 1D được cấu hình bằng vuông góc với nhau. Theo đó, la bàn 2D phát hiện được cả hai thành phần vuông góc H_1 và H_2 của từ trường trái đất, cung cấp thông tin để xác định được cả cường độ từ trường H và góc lệch của la bàn so với các hướng từ trường so sánh. Tín hiệu lõi ra của cảm biến từ trường được biến điệu và khuếch đại bởi bộ khuếch đại nhạy pha loc-in tự chế tạo. Các vị trí không gian (góc phương vị và góc tầm) được tính toán tự động trong quá trình mô-đun cảm biến quay hoặc quét. Đặc biệt, cảm biến đã được tích hợp trực tiếp vào ăng ten chảo để thử nghiệm thu tín hiệu truyền hình K^+ .

2. Mô-đun cảm biến

a) Chế tạo cảm biến từ trường

Vật liệu từ-điện composite được chế tạo từ hai vật liệu độc lập: vật liệu từ giảo và vật liệu áp điện. Vật liệu từ giảo là các băng vô định hình $Fe_{76.8}Ni_{1.2}B_{13.2}Si_{8.8}$ (Ni-based Metglas) tự chế tạo với độ dày $18 \mu m$ và tiết diện bề mặt $15 \times 1 mm^2$. Vật liệu áp điện PZT có độ dày $500 \mu m$ và độ phân cực P hướng vuông góc với bề mặt là vật liệu thương mại APCC-855 của hãng American Piezoceramics Inc., PA, USA. Hai loại vật liệu này được gắn với nhau bằng epoxy (có độ dày $7 \mu m$) theo cấu hình bánh kẹp Metglas/PZT/Metglas (hình 1, trái).

Cảm biến 1D được hình thành sau khi quấn trực tiếp các vòng dây với mật độ $10,5$ vòng/mm xung quanh mẫu vật liệu (hình 1, giữa) để tạo ra từ trường xoay chiều h_{ac} . Cảm biến 2D được chế tạo trên cơ sở tích hợp 2 cảm biến 1D S_1 và S_2 vuông góc với nhau (hình 1, phải).

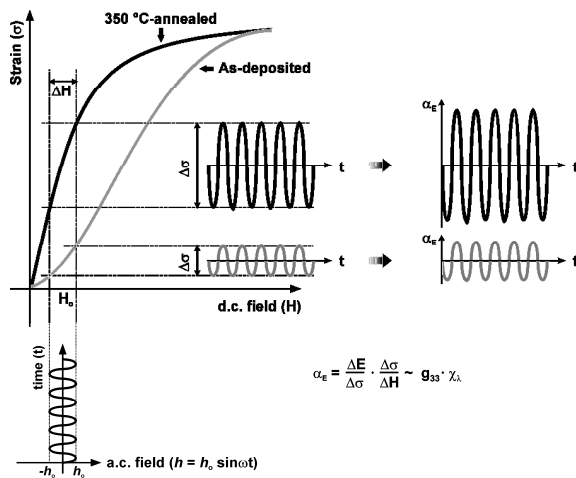


Hình 1. Ảnh hiển vi điện tử quét của cấu trúc vật liệu từ điện dạng bánh kẹp (bên trái): lớp vật liệu từ giảo (độ dày $7 \mu m$ của lớp epoxy (adhesive layer) đã được chỉ ra. Vec tơ h_{ac} và P chỉ hướng của từ trường xoay chiều và độ phân cực điện. Cảm biến 1D và cảm biến 2D được chỉ ra trên các ảnh ở giữa và bên phải.

b) Nguyên lý làm việc của cảm biến

Hiệu ứng từ - điện thuận (ME) xảy ra trong các vật liệu multiferroics nhờ liên kết cơ học giữa các vật liệu thành phần. Dưới tác dụng của

từ trường tĩnh H_0 , lớp vật liệu từ giao Metglas sẽ bị biến dạng, tác dụng ứng suất lên lớp vật liệu áp điện PZT. Chính ứng suất này sẽ gây ra thế hiệu từ-điện V_{ME} qua chiều dày (t_{PZT}) giữa 2 bản mặt của tấm PZT. Thế hiệu VME có thể xác định bằng phép đo trực tiếp dựa trên khuếch đại điện tích [8], nhưng cũng có thể đo bằng phương pháp gián tiếp sử dụng kỹ thuật lock-in. Trong trường hợp sau, chính từ trường xoay chiều sinh ra trong cuộn dây quấn xung quanh mẫu h_{ac} ($= h_0 \sin(2\pi f_0 t)$) sẽ kích thích dao động dọc theo chiều dài của hệ ở tần số cộng hưởng và gây ra độ biến dạng $\Delta\sigma$. Khi đó, từ trường tĩnh H_0 chỉ có tác dụng quy định điểm làm việc. Cùng với từ trường có biên độ h_0 như nhau, điểm làm việc H_0 ứng với phần từ giao có độ dốc càng cao thì hiệu ứng ME càng cao và thế hiệu V_{ME} càng lớn (hình 2).



Hình 2. Cơ chế sinh ra độ biến dạng $\Delta\sigma$ trong vật liệu từ giao và hệ quả là thế hiệu từ - điện (V_{ME}) (hoặc hệ số từ - điện α_{ME}) giữa hai bề mặt lớp vật liệu áp điện dưới tác dụng của từ trường xoay chiều h_{ac} và từ trường tĩnh H_0 . Lưu ý rằng, hiệu ứng này rất phụ thuộc vào độ cảm từ giao và điểm làm việc.

Dưới tác dụng của từ trường tổng cộng $H = H_0 + h_{ac}$, quá trình phân cực tạo ra điện trường $E = \alpha_E \cdot H$, với α_E ($= dE/dH = V_{ME}/h_{ac} \cdot t_{PZT}$) là hệ số điện thế từ - điện. Hiệu ứng từ - điện là tích

của hai hiệu ứng từ giao và áp điện. Do đó, hệ số điện thế từ - điện được viết như sau:

$$\alpha_E = \frac{dE}{dH} = \frac{\partial E}{\partial \lambda} \frac{\partial \lambda}{\partial H}$$

Các biểu thức vừa nêu chỉ đúng trong trường hợp (i) H_0 là hằng số và (ii) V_{ME} phụ thuộc tuyến tính vào h_{ac} . Theo đó, có thể viết lại biểu thức của V_{ME} như sau:

$$V_{ME} = \alpha_E \cdot t_{PZT} \cdot h_{ac} = \alpha \cdot H_0 + V_{offset} \quad (1)$$

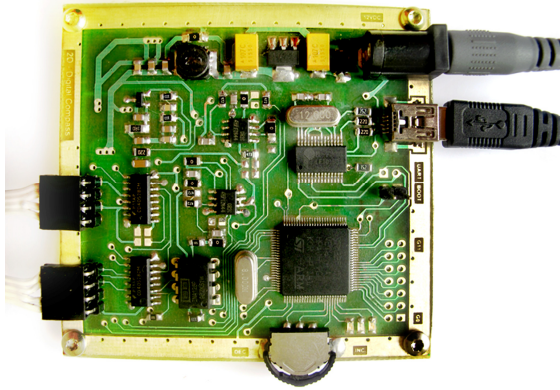
ở đây α là hệ số tỉ lệ phụ thuộc vào bản chất vật liệu và từ trường đặt vào; V_{offset} là một hằng số phụ thuộc vào h_0 , luôn luôn phải được bù trừ khi sử dụng.

3. Mô đun xử lý tín hiệu

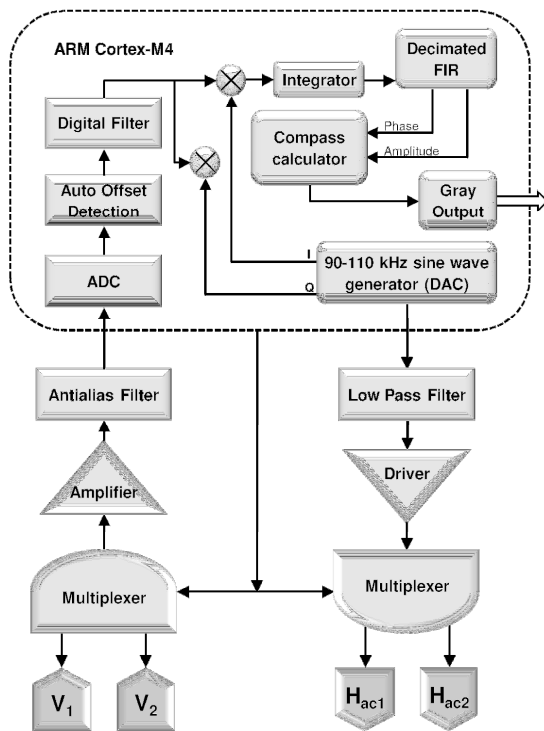
Mô đun xử lý tín hiệu của la bàn điện tử được thiết kế và lắp ráp dựa trên nguyên lý khuếch đại lock-in. Ảnh chụp bản mạch thực tế được chỉ ra trên hình 3. Nhận thấy rằng, mô đun này bao gồm 4 khối chính: khối phát tín hiệu chuẩn (máy phát); khối khuếch đại lối vào; khối điều khiển tín hiệu số và khối lọc sử dụng mạch xử lý ARM Cortex-M4 32-bit (model STM32F407).

Sơ đồ chức năng hoạt động của các khối được mô tả trên hình 4. Tín hiệu chuẩn được mạch vi xử lý STM32F407 tạo ra, trong đó có sẵn bộ chuyển đổi DAC 12 bit. Cụ thể trong la bàn này, tín hiệu chuẩn hình sin có tần số từ 90-110 kHz, tức là trong khoảng tần số cộng hưởng của các cảm biến đơn. Tín hiệu chuẩn có thể hoạt động cả chế độ đồng pha (I) và vuông pha (Q). Đồng thời với việc cấp tín hiệu chuẩn cho nguyên lý khuếch đại, tín hiệu chuẩn còn cấp dòng cho cuộn dây solenoid để tạo ra từ trường xoay chiều h_{ac} trong các cảm biến.

La bàn điện tử có thể chuyển đổi tín hiệu lỗi ra thành mã Grey để tích hợp với các hệ điều khiển cơ học.



Hình 3. Ảnh chụp bản mạch của mô đun xử lý tín hiệu của la bàn điện tử được thiết kế và lắp ráp dựa trên nguyên lý khuếch đại lock-in.



Hình 4. Sơ đồ chức năng hoạt động của các khối chính trong mô đun xử lý tín hiệu.

4. Tích hợp hệ thống với chảo thu ăng ten

Trên hình 5 là ảnh chụp hệ thống được tích hợp lắp ráp hoàn thiện bao gồm chảo ăng ten, hệ cơ khí truyền động chấp hành theo nguyên lý truyền đai răng, động cơ mô tơ bước tương ứng điều khiển chuyển động góc quay phương vị và góc tầm của chảo thu.

Cảm biến được gắn trực tiếp lên chảo thu cho phép luôn luôn xác định trạng thái góc tức thời của chảo thu. Chương trình điều khiển được thiết lập với giai đoạn khởi động chương trình, giá trị góc phương vị (ϕ_0) và góc ngẩng (θ_0) ghi nhận tức thời bởi cảm biến sẽ được mạch vi điều khiển đọc ghi nhớ và đặt đó là giá trị ban đầu của hệ thống (vị trí chuẩn ăng ten hướng theo hướng vệ tinh). Khi vi điều khiển nhận được dữ liệu từ cảm biến sẽ tiến hành xử lý so sánh với giá trị góc ban đầu và đưa ra xung điều khiển cấp vào vi mạch điều khiển. Tùy thuộc vào độ lệch góc nhiều hay ít khác nhau, hệ thống điện tử sẽ điều khiển góc quay của động cơ để đảm bảo duy trì hướng chảo ăng ten luôn định hướng theo vệ tinh thời gian thực.



Hình 5. Ảnh chụp hệ thống được lắp ráp và tích hợp hoàn chỉnh với chảo thu ăng ten, cơ cấu truyền động góc phương vị và cơ cấu truyền động góc tầm.

Sau khi được lắp ráp và tích hợp hoàn thiện, hệ thống được cho chạy thử trong điều kiện phòng thí nghiệm với vị trí ban đầu được thiết lập ngẫu nhiên. Kết quả cho thấy hệ thống chạy ổn định với sai số góc đáp ứng cỡ 1° , thời gian đáp ứng nhanh, hệ thống truyền động tốt, đặc biệt nhờ việc xác định tốt vị trí của khối tâm.

5. Kết luận

La bàn 2D đã được chế tạo hoàn chỉnh dựa trên vật liệu multiferroics Metglas/PZT có độ nhạy 10^{-4} đối với cường độ và 10^{-1} đối với góc phương vị và góc tầm. Theo đó, la bàn 2D phát hiện được cả hai thành phần vuông góc H_1 và H_2 của từ trường trái đất, cung cấp thông tin để xác định được cả cường độ từ trường H và góc lệch của la bàn so với các hướng từ trường chuẩn. Tín hiệu lỗi ra của cảm biến từ trường được biến điệu và khuếch đại bởi bộ khuếch đại nhạy pha tự chế tạo và có thể chuyển đổi thành mã Grey để có khả năng tích hợp vào các bộ phận cơ học của trạm thu di động để tự động điều khiển góc phương vị và góc tầm của ăng ten theo vị trí của vệ tinh thông tin địa tĩnh.

Công trình này được thực hiện trong khuôn khổ đề tài VT/CB-01/13-15.

Tài liệu tham khảo

- [1] S. Lozanova, Ch. Roumenin, “Angular position device with 2D low-noise Hall microsensor”, *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 162, pp. 167-171, August 2010.
- [2] M. Ipatov, V. Zhukova, J. M. Blanco, A. Zhukov, J. Gonzalez, “1D and 2D position detection using magnetoimpedance sensor array”, *Phys. Stat. Sol (a)*, pp. 28358, September 2012.
- [3] F. Burger, P.-A. Besse, IRS. Popovic, “New fully integrated 3-D silicon Hall sensor for precise angular-position measurements”, *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 67, pp. 72-76, May 1998.
- [4] W.J. Lee and S. Choi, “Geomagnetic sensor for computing azimuth and method thereof”, US patents No.: US 2007/0119061 A1, May 31, 2007.
- [5] M. Paranjape, L.M. Landsberger, M. Kahrizi, “A CMOS-compatible 2-D vertical Hall magnetic-field sensor using active carrier confinement and post process micromachining”, *Sensors and Actuators A: physical*, vol. 53, pp. 278-283, May 1996.
- [6] N. H. Duc and D. T. Huong Giang, “Magnetic sensors based on piezoelectric–magnetostrictive composites”, *J. Alloys Compd.*, vol. 449, pp. 214–218, Jan 2008.
- [7] D. T. Huong Giang, P. A. Duc, N. T. Ngoc, N. T. Hien and N. H. Duc, “Geomagnetic sensors based on Metglas/PZT laminates”, *Sensor and Actuator A: Physical*, vol. 179, pp. 78-82, June 2012.
- [8] Nguyen Huu Duc, *Multiferroic Magneto-Electrostrictive Composites and Applications in Handbook of Advanced Magnetism and Magnetic Materials*, Volume 2, VNU press, 2015, to be published.

Accurate 2-D Compass in Mobile Transceivers

Đỗ Thị Hương Giang, Bùi Đình Tú, Nguyễn Thị Ngọc, Nguyễn Hữu Đức

*Laboratory for Micro-nano Technology, VNU University of Engineering and Technology,
144 Xuân Thủy, Hanoi, Vietnam*

Abstract: The paper presents a fully operational ME 2-D geomagnetic device, which is able of integrating into mobile transceivers for the automatic determination and control of the antenna direction with respect to the position of the geostationary satellite in communication. The device is

composed of a sensor module and hardware. The sensor module consists of two Metglas/PZT magnetoelectric 1-D sensors in an orthogonal arrangement. This 2-D sensor simultaneously detects the two perpendicular magnetic field components H_1 and H_2 , providing complete information about the value of the resulting magnetic field intensity H as well as the value of the angle indicating its orientation with respect to the reference magnetic direction. Sensor signals are excited and detected by a home-made digital lock-in amplifier. The spatial (azimuth and pitch) angle positions shall be automatically computed while rotating and/or swinging the sensor module.

Keywords: Magnetic sensor, electronic compass.