



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẢNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0033604

(51)⁸ G01C 17/30; G01R 33/02; G01V 3/40; (13) B
G01C 17/32

(21) 1-2017-04711

(22) 24/11/2017

(45) 25/10/2022 415

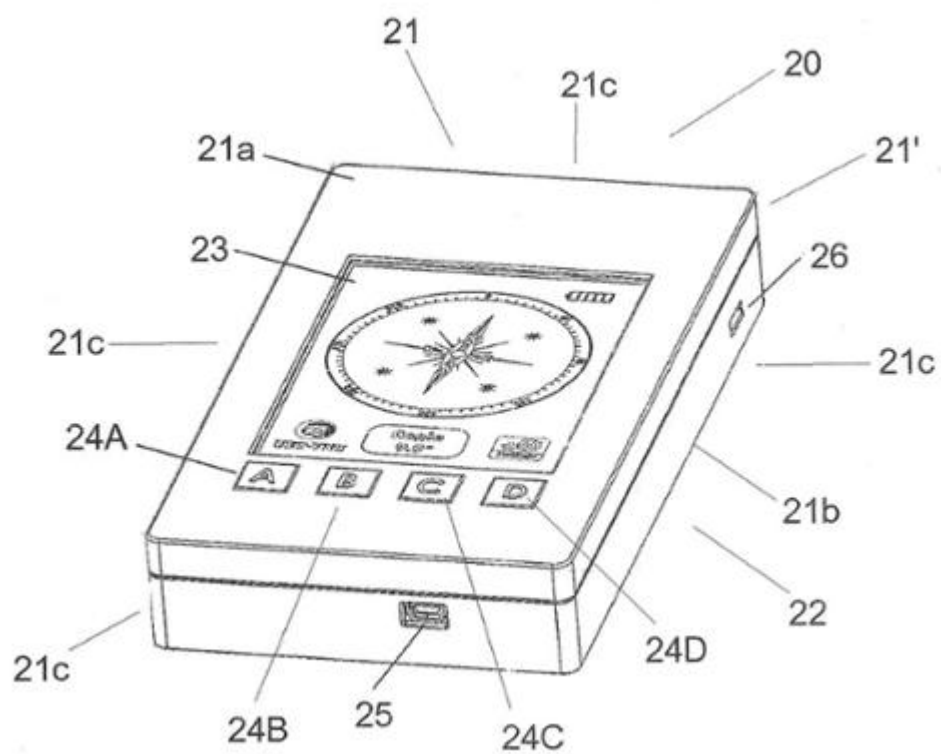
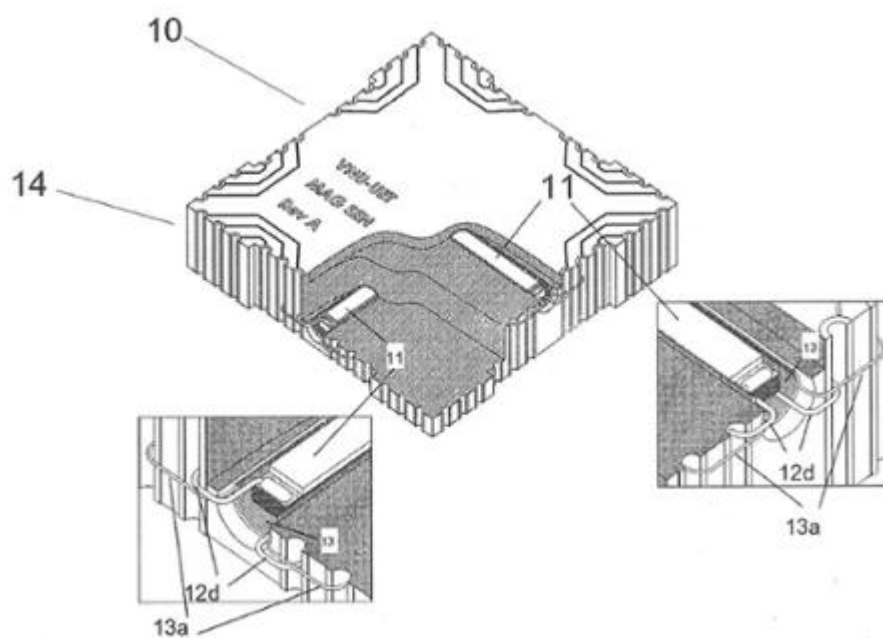
(43) 27/05/2019 374A

(73) Đại học Công nghệ - Đại học Quốc gia Hà Nội (VN)
144 Xuân Thủy, quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội

(72) Đỗ Thị Hương Giang (VN); Nguyễn Hữu Đức (VN); Phùng Anh Tuấn (VN);
Nguyễn Bá Biên (VN).

(54) THIẾT BỊ LA BÀN ĐIỆN TỬ

(57) Sáng chế đề cập tới linh kiện cảm biến tổ hợp (10) có kết cấu bao gồm hai bộ phận cảm biến (11) trực giao, mỗi bộ phận cảm biến (11) bao gồm: phần lõi (12) gồm: tấm nền (12a), lớp điện cực (12b), lớp dạng màng mỏng (12c), và các cực nối (12d) được gắn cố định vào lớp điện cực, và cuộn dây hình ống (13) chứa được phần lõi (12). Vỏ linh kiện (14) có lỗ thứ nhất (141) vuông góc trong không gian với lỗ thứ hai (142) và có thể chứa được bộ phận cảm biến (11) trong đó. Sáng chế cũng đề cập tới phương pháp chế tạo linh kiện cảm biến tổ hợp (10) và thiết bị la bàn điện tử (20) có linh kiện cảm biến tổ hợp (10) này.



ĐỀ CẬP TỚI LĨNH KIỆN CẢM BIẾN TỔ HỢP

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Nói chung, sáng chế liên quan đến lĩnh vực của thiết bị điện tử cảm nhận những trạng thái hay quá trình vật lý, hóa học ở môi trường cần khảo sát và biến đổi thành tín hiệu điện để thu thập thông tin về trạng thái hay quá trình đó. Cụ thể hơn, sáng chế đề cập tới linh kiện cảm biến tổ hợp có kết cấu bao gồm hai bộ phận cảm biến được bố trí vuông góc với nhau trong không gian, và phương pháp chế tạo, thiết bị la bàn điện tử có linh kiện cảm biến này

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Một thiết bị la bàn điện tử đã biết bao gồm các khối chức năng như được thể hiện trên H.33.

Thiết bị la bàn trên H.33 được sử dụng để xác định phương hướng của vật thể so với từ trường trái đất. La bàn đóng vai trò quan trọng trong đời sống con người đặc biệt trong lĩnh vực hàng không vũ trụ và hàng hải để xác định phương hướng. Việc xác định chính xác định hướng 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.

Cùng với sự phát triển của khoa học công nghệ, nhiều thiết bị la bàn hoạt động dựa theo nhiều nguyên lý khác nhau, từ cổ điển đến các thiết bị la bàn số điện tử. Đề cập đến các la bàn số điện tử, có thể chia thành một số loại phổ biến đang được thương mại hóa hiện nay như la bàn từ điện tử, la bàn điện (la bàn con quay – gyrocompass), la bàn vệ tinh dùng GPS. Trong số các la bàn kể trên, la bàn từ điện tử (magnetic compass) được đặc biệt quan tâm chú ý: la bàn loại này hoạt động dựa trên việc đo đạc các thành phần của từ trường trái đất nhờ sử dụng cảm biến từ trường, qua xử lý tính toán cho kết quả chỉ góc chỉ hướng của la bàn so với hướng véc tơ từ trường trái đất. Từ trường trái

đất thuộc loại từ trường yếu, nằm trong khoảng từ 0 đến 60.000 nT.

Thiết bị la bàn điện tử loại nêu trên thường sử dụng cảm biến có độ nhạy thấp, do đó thiết bị đã biết này thường làm việc không ổn định, nhất là khó sử dụng ở khu vực có từ trường trái đất yếu.

Vì vậy có nhu cầu chế tạo các bộ phận cảm biến có độ nhạy cao, đáp ứng đủ yêu cầu sử dụng để chế tạo thiết bị la bàn điện tử.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích cơ bản của sáng chế là tạo ra linh kiện cảm biến tổ hợp có kết cấu bao gồm hai bộ phận cảm biến được bố trí vuông góc với nhau trong không gian, có độ nhạy và độ phân giải cao.

Mục đích khác của sáng chế là đề xuất thiết bị la bàn điện tử sử dụng linh kiện cảm biến tổ hợp có kết cấu bao gồm hai bộ phận cảm biến có độ nhạy độ phân giải và độ ổn định lặp lại cao.

Mục đích khác của sáng chế là tạo ra thiết bị la bàn điện tử có sử dụng linh kiện cảm biến có khả năng đáp ứng yêu cầu của thiết bị với độ phân giải tới 10^{-1} độ.

Để đạt được mục đích nêu trên, theo khía cạnh thứ nhất, sáng chế đề xuất linh kiện cảm biến tổ hợp có kết cấu bao gồm hai bộ phận cảm biến được bố trí vuông góc với nhau trong không gian mỗi bộ phận cảm biến bao gồm: phần lõi dạng lớp bằng vật liệu tổ hợp có hiệu ứng từ-điện bao gồm: tấm nền gần như có dạng hình chữ nhật có kích cỡ xác định bằng vật liệu áp điện, lớp điện cực được tạo trên hai mặt đối diện của tấm nền để tạo thành mặt điện cực, lớp dạng màng mỏng bằng vật liệu từ giao có kích cỡ xác định được tạo lên trên ít nhất một bề mặt của lớp điện cực, và các cực nối của phần lõi được gắn cố định vào hai mặt điện cực; và cuộn dây hình ống bằng vật liệu dẫn điện để kích thích từ trường xoay chiều, có kích cỡ xác định và được làm thích ứng để có thể chứa được phần lõi dạng lớp trong đó, cuộn dây này có các cực nối cuộn dây ở đầu vào đầu ra; vỏ linh kiện có dạng hình hộp lập phương có kích thước

xác định, lỗ thứ nhất được tạo ở một phía mặt của hình hộp và có đường trục gần như trùng với đường trục đối xứng thứ nhất của mặt hình hộp này, lỗ thứ hai được tạo ở phía mặt đối diện của hình hộp và có đường trục gần như trùng với đường trục đối xứng thứ hai của mặt hình hộp đối diện gần như vuông góc trong không gian và cách nhau một khoảng xác định với đường trục đối xứng thứ nhất, cả lỗ thứ nhất lẫn lỗ thứ hai có kích cỡ được làm thích ứng để chứa được bộ phận cảm biến trong đó; và các cực nối điện của vỏ được bố trí trên bề mặt xung quanh của hình hộp lập phương và được làm thích ứng để nối điện với các cực nối của phần lõi và các cực nối cuộn dây.

Theo phương án được ưu tiên của sáng chế, vật liệu áp điện của tấm nền của phần lõi bộ phận cảm biến là PZT có hệ số cơ điện k_{33} xấp xỉ bằng 0,76.

Tốt hơn nữa, kích cỡ xác định chiều dài x chiều rộng x chiều dày (L x R x D) của tấm nền được chọn bằng 15,5 x 1 x 0,5mm.

Cũng tốt hơn nữa, vật liệu từ giả dạng dạng màng hoặc màng mỏng của phần lõi bộ phận cảm biến là các hợp kim của kim loại chuyển tiếp Fe, Co, Ni có hoặc không pha tạp nguyên tố đất hiếm như Tb, Sm v.v.

Ngoài ra, kích cỡ xác định chiều dài x chiều rộng x chiều dày (L x R x D) của lớp từ giả được chọn bằng 15mm x 1mm x 18 μ m.

Hơn nữa, vật liệu có tác dụng kích thích từ trường xoay chiều của cuộn dây hình ống của bộ phận cảm biến là đồng.

Theo khía cạnh thứ hai, sáng chế đề xuất phương pháp chế tạo linh kiện cảm biến tổ hợp, phương pháp này bao gồm các bước sau:

tạo phần lõi dạng lớp bằng vật liệu tổ hợp có hiệu ứng từ-điện, phần lõi dạng lớp này bao gồm: tấm nền gần như có dạng hình chữ nhật có kích cỡ xác định bằng vật liệu áp điện, lớp điện cực được tạo trên hai mặt đối diện của tấm nền để tạo thành mặt điện cực, lớp dạng màng hoặc băng mỏng bằng vật liệu từ giả có kích cỡ xác định được tạo trên ít nhất một bề mặt của lớp điện cực;

gắn cố định các cực nối vào hai mặt điện cực của phần lõi để tạo ra các cực nối phần lõi;

tạo ra cuộn dây hình ống bằng vật liệu dẫn điện để kích thích từ trường xoay chiều, cuộn dây này có kích cỡ xác định và được làm thích ứng để có thể chứa được phần lõi dạng lớp trong đó, đầu vào và đầu ra của cuộn dây là các cực nối điện của cuộn dây;

lồng phần lõi dạng lớp vào trong cuộn dây hình ống để tạo ra bộ phận cảm biến;

tạo vỏ linh kiện có dạng hình hộp lập phương có kích thước xác định,

tạo lỗ thứ nhất ở một phía mặt của hình hộp của vỏ và có đường trục gần như trùng với đường trục đối xứng thứ nhất của mặt hình hộp này,

tạo lỗ thứ hai ở phía mặt đối diện của hình hộp của vỏ và có đường trục gần như trùng với đường trục đối xứng thứ hai của mặt hình hộp đối diện gần như vuông góc trong không gian và cách nhau một khoảng xác định với đường trục đối xứng thứ nhất, cả lỗ thứ nhất lẫn lỗ thứ hai có kích cỡ được làm thích ứng để chứa được bộ phận cảm biến trong đó,

tạo ra các cực nối điện của vỏ trên bề mặt xung quanh của hình hộp lập phương của vỏ;

lồng các bộ phận cảm biến vào trong lỗ thứ nhất và thứ hai của vỏ linh kiện;

gắn cố định các cực nối phần lõi và các cực nối của cuộn dây với các cực nối điện của vỏ để tạo thành linh kiện cảm biến tổ hợp có hai bộ phận cảm biến từ trục giao (vuông góc) với nhau;

phủ lớp epoxy bảo vệ ra bề mặt ngoài của linh kiện cảm biến tổ hợp;

kiểm tra linh kiện cảm biến tổ hợp; và

đo chuẩn hóa trục giao linh kiện cảm biến tổ hợp.

Có lợi nếu, bước tạo lớp bằng vật liệu từ giảo được thực hiện bằng cách kết dính (nếu dùng từ giảo dạng băng) hoặc lắng đọng màng (nếu dùng từ giảo dạng màng).

Ngoài ra, bước chế tạo màng được thực hiện bằng cách phun xạ catốt, bốc hơi nhiệt nếu sử dụng lớp từ giả dạng màng và sử dụng phương pháp phun băng nguội nhanh nếu sử dụng lớp từ giả dạng băng mỏng.

Tốt hơn nếu bước tạo lớp điện cực được thực hiện bằng cách phủ trên hai mặt đối diện của tấm nền dọc theo chiều phân cực của tấm nền này.

Hơn nữa, việc tạo ra các lỗ thứ nhất và thứ hai có thể được thực hiện bằng cách khoan trên vỏ linh kiện.

Theo phương án được ưu tiên của sáng chế, việc gắn cố định các cực nối phần lõi và các cực nối của cuộn dây với các cực nối điện của vỏ linh kiện được thực hiện bằng cách hàn.

Theo khía cạnh thứ ba, sáng chế đề xuất thiết bị la bàn điện tử có kết cấu bao gồm:

vỏ thiết bị có dạng gần như hình hộp chữ nhật bao gồm mặt trước, mặt sau và các mặt bên, mặt trước lắp tháo được với mặt sau tạo thành phần chứa;

bo mạch điện tử điều khiển tích hợp nhiều khối chức năng được bố trí bên trong phần chứa của vỏ thiết bị

màn hình hiển thị được bố trí ở mặt trước của vỏ thiết bị được nối điện điều khiển được với bo mạch điều khiển;

các nút bấm cảm ứng điện dung được bố trí bên dưới màn hình hiển thị và được nối điện điều khiển được với bo mạch điều khiển;

cổng kết nối dữ liệu đồng thời cấp nguồn sạc cho thiết bị được bố trí ở một mặt bên của vỏ thiết bị; và

cổng tắc tắt bật nguồn cấp cho thiết bị được bố trí ở một mặt bên khác của vỏ thiết bị.

Tốt hơn nếu màn hình hiển thị có chức năng hiển thị và/hoặc chức năng điều khiển.

Có lợi nếu chức năng hiển thị của màn hình hiển thị của thiết bị bao gồm: hiển thị góc định hướng với từ trường đo dạng số, hiển thị góc định

hướng với từ trường dạng kim quay, hiển thị dung lượng pin sử dụng hoặc hình nền đặc trưng cho sản phẩm.

Ngoài ra, chức năng điều khiển của thiết bị bao gồm: tự động chuẩn hóa, trừ nền và chế độ báo đang thực hiện chu trình hoặc đã kết thúc chu trình.

Theo phương án được ưu tiên của sáng chế, bo mạch điện tử điều khiển bao gồm các khối chức năng: khối phát xung tạo tín hiệu đầu vào cấp cho cuộn dây tạo từ trường kích thích, khối linh kiện cảm biến thiết bị la bàn được nối điện với khối phát xung, khối đo lường chuẩn hóa tín hiệu được nối điện với khối linh kiện cảm biến thiết bị la bàn, khối vi xử lý được nối điện với khối đo lường chuẩn hóa tín hiệu, bộ nhớ được nối điện với khối khối vi xử lý; và khối hiển thị và giao tiếp được nối điện với khối vi xử lý và bộ nhớ.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Sáng chế sẽ được hiểu rõ hơn, và các mục đích, các chi tiết, các dấu hiệu và các ưu điểm khác của sáng chế sẽ rõ ràng hơn từ phần mô tả chi tiết dưới đây. Các phương án thực hiện cụ thể của sáng chế chỉ được đưa ra theo cách minh họa không nhằm mục đích hạn chế sáng chế và có dựa vào các hình vẽ kèm theo. Trong số các hình vẽ này:

H.1 là hình phối cảnh cắt riêng phần thể hiện linh kiện cảm biến tổ hợp được tạo kết cấu từ hai bộ phận cảm biến được bố trí vuông góc với nhau theo một phương án ưu tiên của sáng chế;

H.2(a) và H.2(b) lần lượt là hình phối cảnh và hình phối cảnh cắt riêng phần thể hiện vỏ linh kiện cảm biến tổ hợp trên H.1;

H.3 là hình chiếu đứng thể hiện phần lõi của bộ phận cảm biến;

H.4 là hình phối cảnh thể hiện cuộn dây hình ống của bộ phận cảm biến;

H.5 là hình phối cảnh thể hiện thiết bị la bàn điện tử theo một phương án ưu tiên của sáng chế;

H.6 là hình chiếu thể hiện giao diện hiển thị trên H.6;

H.7 là hình vẽ thể hiện sơ đồ khối chức năng của bo mạch điều khiển điện tử của thiết bị la bàn điện tử trên H.5;

H.8(a) và H.8(b) lần lượt là hình chiếu mặt trước và mặt sau của bo mạch điều khiển điện tử;

H.9 là hình phối cảnh dạng sơ đồ minh họa cách bố trí các bộ phận cảm biến;

H.10 là hình vẽ biểu thị kết quả mô phỏng phân bố từ thông trên bề mặt của các bộ phận cảm biến;

H.11 là hình vẽ minh họa cảm ứng từ hiệu dụng tính toán trung bình trên toàn bộ phận cảm biến thứ nhất và thứ hai theo góc định hướng giữa trục bộ phận cảm biến từ trường;

H.12 là hình vẽ minh họa việc chuẩn hóa trục giao cảm biến để xác định sai số ghép trục giao $\Delta\varphi$;

H.13 là đồ thị minh họa tín hiệu ghi nhận đồng thời từ tổ hợp hai bộ phận cảm biến được ghép vuông góc với nhau theo góc định hướng giữa trục bộ phận cảm biến từ trường;

H.14 là hình vẽ minh họa sự đáp ứng của linh kiện cảm biến theo góc định hướng giữa trục bộ phận cảm biến từ trường;

H.15 là hình vẽ minh họa sơ đồ khối nguồn phát và xử lý bộ phận cảm biến đơn;

H.16 là hình vẽ minh họa sơ đồ mạch tạo nguồn dạng sin nuôi bộ phận cảm biến;

H.17 là hình vẽ minh họa sơ đồ khối lọc tín hiệu;

H.18 là hình vẽ minh họa sơ đồ thiết kế mạch chuyển đổi RMS;

H.19 là hình vẽ minh họa sơ đồ khối mạch so sánh chuyển tín hiệu sin thành xung vuông;

H.20 là hình vẽ minh họa xác định độ sớm và trễ pha bằng xung vuông;

H.21 là hình vẽ minh họa sơ đồ tín hiệu đo trực tiếp từ khối đo lường và lọc nhiễu và tín hiệu pha được đo đồng thời trên hai bộ phận cảm biến của một linh kiện cảm biến;

H.22 biểu thị hàm chuẩn xóa xác định nền cảm biến theo hai trục Ox và Oy;

H.23 biểu thị hàm tính toán góc thiết bị la bàn;

H.24 là hình vẽ minh họa môđun quản lý nạp và bảo vệ pin Li-Ion;

H.25 là hình vẽ minh họa khối nguồn cung cấp cho các linh kiện tương tự;

H.26 là hình vẽ minh họa khối nguồn cung cấp cho các linh kiện số;

H.27 là hình vẽ minh họa sự phụ thuộc tín hiệu điện thế của linh kiện cảm biến vào từ trường ngoài đo trên bộ phận cảm biến thứ nhất và thứ hai;

H.28 là hình vẽ minh họa đồ thị số liệu đo trên linh kiện cảm biến thực hiện tại các thời điểm khác nhau;

H.29 là hình vẽ minh họa tín hiệu đo trên linh kiện cảm biến khi không và có từ trường ngoài tác dụng vào với các cường độ khác nhau;

H.30 là hình vẽ minh họa khảo sát sự đáp ứng của linh kiện cảm biến theo góc định hướng giữa trục bộ phận cảm biến thứ nhất và bộ phận cảm biến thứ hai với cực Bắc của từ trường trái đất;

H.31 là hình vẽ minh họa sự chuẩn hóa thiết bị la bàn điện tử theo sáng chế;

H.32 là hình vẽ minh họa việc đo kiểm hoạt động của thiết bị la bàn điện tử hoàn thiện theo sáng chế; và

H.33 là hình vẽ minh họa sơ đồ khối của thiết bị la bàn điện tử đã biết.

Mô tả chi tiết các phương án ưu tiên của sáng chế

Phần mô tả dưới đây của linh kiện cảm biến tổ hợp và thiết bị la bàn điện tử có linh kiện cảm biến này theo các phương án thực hiện ưu tiên chỉ nhằm mục đích minh họa và không nhằm hạn chế phạm vi ứng dụng, hoặc sử dụng sáng chế.

Phần mô tả phương án thực hiện được minh họa theo các nguyên lý của sáng chế, dự tính đọc có xem xét đến các hình vẽ kèm theo, được xem như một phần hoặc toàn bộ phần mô tả viết. Trong phần mô tả phương án thực hiện sáng chế bộc lộ ở đây, sự viện dẫn bất kỳ tới phương hoặc hướng chỉ nhằm mục đích thuận tiện cho việc mô tả và không nhằm hạn chế theo cách bất kỳ phạm vi của sáng chế. Các thuật ngữ tương đối như “dưới,” “trên,” “nằm ngang,” “thẳng đứng,” “bên trên,” “bên dưới,” “lên,” “xuống,” “đỉnh” và “đáy” cũng như các dẫn từ của chúng (ví dụ, “nằm theo phương ngang,” “hướng xuống dưới,” “hướng lên,” v.v.) sẽ được xem như hướng như được mô tả sau đó hoặc như được thể hiện khi trình bày trên hình vẽ. Các thuật ngữ tương đối này chỉ để thuận tiện cho việc mô tả và không yêu cầu là thiết bị được tạo kết cấu hoặc vận hành theo hướng xác định trừ khi có chỉ thị riêng biệt. Các thuật ngữ như “gắn,” “gắn cố định,” và tương tự viện dẫn đến mối tương quan trong đó các kết cấu được gắn cố định hoặc gắn với nhau hoặc trực tiếp hoặc gián tiếp thông qua các kết cấu giữa chúng. Ngoài ra, các dấu hiệu và các ưu điểm của sáng chế được minh họa có viện dẫn đến phương án thực hiện để làm ví dụ. Do đó, sáng chế sẽ không bị hạn chế ở phương án thực hiện để làm ví dụ này minh họa một số kết hợp không hạn chế có thể có các dấu hiệu có thể tồn tại một mình hoặc các kết hợp khác của các dấu hiệu; phạm vi của sáng chế được xác định bởi các điểm yêu cầu bảo hộ đi kèm theo đây.

Bộ phận cảm biến từ được sử dụng trong trong phần mô tả sáng chế dưới đây dựa trên hiệu ứng vật lý với tên gọi là hiệu ứng từ từ điện trên vật liệu tổ hợp từ giao-áp điện. Theo hiệu ứng này, vật liệu từ giao bị biến dạng khi có tác dụng của từ trường ngoài sẽ truyền ứng suất sang vật liệu áp điện làm xuất hiện điện áp lỗi ra trên hai mặt đối diện. Điện áp này có độ lớn phụ thuộc vào cường độ từ trường tác dụng vào và do đó được sử dụng trong các bộ phận cảm biến từ trường.

Theo sáng chế, vật liệu tổ hợp được sử dụng là vật liệu từ siêu mềm có cấu trúc vô định hình trên nền hợp kim FeNiBSi. Giải pháp theo sáng chế đã

tính toán, mô phỏng, thiết kế tổ hợp hai bộ phận cảm biến đơn theo cấu hình trục giao nhằm mục đích đo được cả hướng và cường độ từ trường trái đất tác dụng trên mặt phẳng cảm biến thông qua đó để xác định các thành phần của từ trường trong mặt phẳng và từ đó xác định góc định hướng của từ trường (hay phương Bắc địa từ) khi đo đạc. Các nghiên cứu của tác giả sáng chế bao gồm:

a) Tính toán, mô phỏng và thiết kế tối ưu tổ hợp hai bộ phận cảm biến đơn theo cấu hình trục giao để đo hai thành phần từ trường trái đất tác động lên cảm biến theo tiêu chí: giảm thiểu ảnh hưởng tác động qua lại giữa các bộ phận cảm biến đơn khi hoạt động trong từ trường nhỏ; tối ưu kích thước linh kiện cảm biến theo tiêu chí nhỏ gọn;

b) Mô phỏng tính toán và xây dựng thuật toán tính góc định hướng của từ trường trái đất tại điểm đo sử dụng linh kiện cảm biến tích hợp hai bộ phận cảm biến đơn từ trường dựa trên hiệu ứng từ-điện.

c) Đưa ra giải pháp xử lý thế nền bằng xử lý tín hiệu số mà vẫn đảm bảo chính xác tin cậy của linh kiện cảm biến.

d) Đưa ra giải pháp đánh giá sai số trục giao và chuẩn hóa trục giao khi ghép tổ hợp hai bộ phận cảm biến đơn

e) Xây dựng sơ đồ nguyên lý, thiết kế mạch điện tử có tích hợp các khối chức năng vừa làm nhiệm vụ nguồn nuôi kích thích tạo điện áp; thu tín hiệu từ lõi ra cảm biến; xử lý bù trừ tín hiệu nền; tính toán các thành phần từ trường, từ trường tổng cộng trong mặt phẳng đo và góc định hướng phương vị Bắc; hiển thị số và các chức năng điều khiển tự động chuẩn hóa; pin và nguồn nuôi cho thiết bị.

Tính toán, mô phỏng và thiết kế tối ưu tổ hợp hai bộ phận cảm biến đơn theo cấu hình trục giao.

Để đo chính xác hướng từ trường trái đất tại một điểm đo trong không gian, vùng không gian bố trí các bộ phận cảm biến đơn cần thu gọn trong một vùng thể tích tối thiểu giới hạn bởi kích thước của bộ phận cảm biến được sử

dụng. Trong không gian bị giới hạn, việc bố trí trực giao hai bộ phận cảm biến sao cho ít ảnh hưởng đến nhau nhất để đảm bảo đo chính xác các thành phần từ trường đặt vào mẫu là cần thiết. Điều này đặc biệt quan trọng để đảm bảo chính xác góc đo định hướng từ trường trái đất thông qua tính toán công thức lượng giác dựa trên giá trị đo được của bộ phận này.

Để thực hiện được việc này, mô phỏng tính toán đã được thực hiện trên các cấu trúc trực giao của hai bộ phận cảm biến bố trí theo các cách khác nhau trong không gian. Việc tính toán này với mục đích xác định vị trí đặt hai tâm của hai bộ phận cảm biến đơn ở vị trí tối ưu trong không gian ba chiều được giới hạn trong vùng kích thước đã xác định. Việc tính toán mô phỏng lý thuyết đã được thực hiện nhờ phần mềm mô phỏng Ansys Maxwell theo phương pháp phần tử hữu hạn. Bộ ba thông số theo tọa độ không gian (x_0, y_0, z_0) đã được thực hiện khi cho một bộ phận cảm biến đơn trực trong số hai bộ phận cảm biến trực giao di chuyển tương đối với bộ phận cảm biến còn lại được cố định.

Cơ sở khoa học để thực hiện phép mô phỏng này dựa trên nguyên tắc nếu bộ phận cảm biến đơn trực thứ nhất (cố định) được bố trí nằm dọc theo phương Bắc-Nam của trái đất (song song với từ trường trái đất) thì bộ phận cảm biến đơn trực thứ hai sẽ nằm dọc theo phương Đông-Nam. Với cách bố trí này thì thành phần từ trường nằm dọc trục của bộ phận cảm biến thứ nhất sẽ ghi nhận toàn bộ từ trường trái đất (cường độ khoảng 0,4 Oe) trong khi đó, thành phần nằm dọc trục của bộ phận cảm biến thứ hai sẽ không ghi nhận được bất cứ giá trị nào của từ trường do nằm vuông góc. Do đặc tính đo từ trường đơn trục của bộ phận cảm biến, chỉ có thành phần từ trường nằm dọc trục sẽ tác động lên bộ phận cảm biến và làm xuất hiện tín hiệu điện lối ra. Trường hợp lý tưởng, bộ phận cảm biến thứ nhất sẽ ghi nhận và phản ánh đúng toàn bộ giá trị 0,4 Oe của từ trường ngoài đặt vào còn bộ phận cảm biến thứ hai sẽ nhận giá trị 0 tuyệt đối. Dựa trên lập luận này, tính toán mô phỏng đã được thực hiện bằng cách cho bộ phận cảm biến thứ nhất cố định, bộ phận cảm biến

thứ hai di chuyển tương đối với bộ phận cảm biến thứ nhất dọc theo ba trục trong không gian ba chiều được giới hạn cụ thể.

Vị trí tối ưu nhất được xác định là vị trí mà tại đó từ trường tác dụng lên bộ phận cảm biến thứ nhất là lớn nhất và bộ phận cảm biến thứ hai là nhỏ nhất. Để đánh giá được tác động của từ trường lên bộ phận cảm biến thứ hai khi đặt theo trục Đông-Tây địa từ, giá trị cảm ứng từ hiệu dụng (B_{eff}) được tính trên toàn bộ thể tích phần tử từ tính trên bộ phận cảm biến thứ hai nhờ sử dụng công thức:

$$B_{eff} = \frac{1}{V} \int_V B dV \quad (1)$$

Giá trị này sẽ được sử dụng trong các so sánh định lượng cấu hình bố trí trục giao của hai bộ phận cảm biến đơn để tìm ra vị trí tối ưu tại đó chúng ít ảnh hưởng qua lại lẫn nhau nhất.

Xác định vị trí trên trục Ox (tọa độ x_0)

Khi bố trí hai bộ phận cảm biến đơn trong cùng một mặt phẳng, bộ phận cảm biến đơn trục thứ hai chạy dọc theo trục bộ phận cảm biến thứ nhất trong từ trường ngoài đặt song song với trục bộ phận cảm biến thứ nhất, có thể thấy rõ trên hình vẽ rằng cảm ứng từ phân bố đối xứng và nhỏ nhất khi trục bộ phận cảm biến thứ hai nằm trên đường trung trục của bộ phận cảm biến thứ nhất ($x_0 = 0$ mm). Sử dụng công thức (1), kết quả mô phỏng tính toán phụ thuộc vào tọa độ x_0 của tâm cảm biến được đưa ra. Dựa vào kết quả mô phỏng tính toán này, vị trí tối ưu, mà tại đó cảm biến ít chịu ảnh hưởng nhiễu từ tính nhất cho thấy là khi bộ phận cảm biến thứ hai nằm trên đường trung trục của bộ phận cảm biến thứ nhất ($x_0 = 0$ mm) thì từ thông trên bộ phận cảm biến thứ hai là nhỏ nhất. Vị trí này sẽ được lựa chọn là tọa độ tối ưu cho cảm biến trên trục Ox.

Xác định vị trí trên trục Oy (tọa độ y_0)

Tại vị trí tối ưu khi $x_0 = 0$ mm thu được ở trên, mô phỏng tiếp tục được thực hiện khi cho bộ phận cảm biến đơn trục thứ hai tịnh tiến vào sâu bộ phận cảm biến đơn trục thứ nhất dọc theo đường trung trục của bộ phận cảm biến thứ nhất (dọc theo trục Oy). Kết quả tính toán cảm ứng từ hiệu dụng trung bình phân bố trên toàn bộ mẫu phụ thuộc vào tọa độ y_0 với cảm ứng từ tác động lên bộ phận cảm biến thứ hai suy giảm khi tiến gần tới tâm bộ phận cảm biến thứ nhất. Có thể thấy rằng, từ trường ít ảnh hưởng nhất khi bộ phận cảm biến thứ hai nằm tại vị trí tọa độ $y_0 = 0$ mm. Lúc này hai bộ phận cảm biến tạo với nhau hình dấu cộng (+). Như vậy, đây có thể coi là cấu hình tối ưu nhất cho linh kiện cảm biến khi được tích hợp trực giao làm chức năng đo góc trong la bàn điện tử.

Xác định vị trí trên trục Oz (tọa độ z_0)

Cố định tọa độ $x_0 = 0$ và $y_0 = 0$ là các giá trị tối ưu thu được từ mô phỏng ở trên, tiếp tục thực hiện mô phỏng với tọa độ z_0 chạy dọc theo trục pháp tuyến đi qua tâm của bộ phận cảm biến thứ nhất. Kết quả phân bố cảm ứng từ và số liệu tính toán cảm ứng từ hiệu dụng tính trung bình trên toàn cảm biến cho thấy sự suy giảm mạnh tác động của từ trường khi rút ngắn khoảng cách giữa hai tâm bộ phận cảm biến. Vị trí tối ưu nhất để bố trí hai bộ phận cảm biến đơn này được xác định trong khoảng $z_0 = 0 - 2$ mm.

Mô phỏng khả năng đo góc của linh kiện cảm biến tích hợp trực giao theo cấu hình tối ưu

Linh kiện cảm biến tổ hợp trực giao tối ưu theo cấu hình thu được từ kết quả mô phỏng tính toán ở trên tương ứng với tọa độ của tâm bộ phận cảm biến thứ hai nằm tại vị trí (0,0,2) tương đối so với bộ phận cảm biến thứ nhất. Tức là hai bộ phận cảm biến sẽ tạo hình dấu cộng (+) với khoảng cách giữa chúng là 2mm. Nếu sử dụng cấu hình này, sự mô phỏng tiếp tục được thực hiện khi

cho linh kiện cảm biến này quay trong mặt phẳng nằm ngang trong từ trường ngoài nằm trong mặt phẳng có cường độ 0,4 Oe.

Kết quả mô phỏng thu được cho thấy cảm ứng từ hiệu dụng tính toán trung bình trên bộ phận cảm biến thứ nhất và thứ hai thay đổi tuần hoàn theo hàm toán học dạng cosin và sin tương ứng với góc định hướng của từ trường trái đất và trục bộ phận cảm biến thứ nhất và thứ hai. Theo qui luật này, góc định hướng sẽ có thể được xác định nhờ sử dụng công thức toán học nếu bộ phận cảm biến từ sử dụng phản ứng tuyến tính với cảm ứng từ (hay từ trường) tác động lên mẫu.

Có thể thấy rằng khi các bộ phận cảm biến thứ nhất và thứ hai nằm tại vị trí góc tại nó chúng vuông góc với từ trường ngoài, cảm ứng từ hiệu dụng trên cảm biến khi đó đạt giá trị nhỏ nhất. Trong trường hợp lý tưởng, giá trị này phải đạt 0 tuyệt đối. Tuy nhiên, thực tế, trong trường hợp này chúng khác không là do các bộ phận cảm biến đơn này vẫn chịu tác động của từ trường ngoài tuy rất nhỏ. Giá trị này được coi là tín hiệu nền đóng góp vào các bộ phận cảm biến khi tổ hợp trong chức năng đo góc. Độ chính xác góc đo cảm biến bên cạnh do độ nhảy và độ phân giải từ trường của bộ phận cảm biến từ sử dụng mà còn phụ thuộc rất nhiều vào việc xác định tín hiệu nền để bù trừ trong các tính toán góc. Sáng chế đưa ra giải pháp xác định thế nền và xử lý thế nền khi sử dụng các bộ phận cảm biến đơn từ dựa trên hiệu ứng từ-điện.

Giải pháp đánh giá sai số và chuẩn hóa ghép trục giao hai bộ phận cảm biến

Độ chính xác góc đo phụ thuộc rất nhiều vào độ chính xác khi ghép tổ hợp hai bộ phận cảm biến đơn 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 linh kiện. Sai khác này được giải thích là do sai số $\Delta\phi$ trong gia công cơ khí chính xác để xác định vị trí đặt các bộ phận cảm biến đơn và sai số này phụ thuộc vào sai số của thiết bị và công nghệ gia công sử dụng.

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 tín hiệu cảm biến thay đổi theo góc định hướng giữa từ trường ngoài và cảm biến khi ghi nhận đồng thời bởi hai bộ phận cảm biến theo sơ đồ thí nghiệm được thể hiện trên hình vẽ. Nếu góc tạo bởi giữa hai bộ phận cảm biến có sai số trục giao $\Delta\varphi$, khi đó, tín hiệu tỉ đối ($V/V_{\max}$) thu được trên các bộ phận cảm biến đơn tỉ lệ với thành phần từ trường nằm dọc theo các trục bộ phận cảm biến sẽ được xác định theo công thức:

$$\begin{cases} S_1 = \cos \varphi \\ S_2 = \cos \left(\frac{\pi}{2} + \Delta\varphi - \varphi \right) \end{cases} \quad (2)$$

Tín hiệu sẽ có dạng dao động tuần hoàn dạng sin hay cos theo góc quay. Tổng hợp bình phương tín hiệu tỷ đối từ hai bộ phận cảm biến này thu được:

$$S^2 = S_1^2 + S_2^2 = 1 + \sin(\Delta\varphi - 2\varphi) \sin \Delta\varphi \quad (3)$$

Bằng thực nghiệm khi tiến hành đo có thể vẽ được đường cong tín hiệu tổng hợp từ hai bộ phận cảm biến này có dạng dao động theo góc quay với chu kỳ π với dao động trong khoảng:

$$\Delta S^2 = S_{\max}^2 - S_{\min}^2 = 2 \sin \Delta\varphi \quad (4)$$

Phép đo thực nghiệm này cho phép xác định chính xác sai số góc lệch trục giao khi ghép vuông góc hai bộ phận cảm biến đơn thanh theo công thức:

$$\Delta\varphi = \arcsin \frac{\Delta S^2}{2} \quad (5)$$

Với giá trị đo đạc chuẩn hóa được bằng thực nghiệm và tính toán được theo công thức (5), giá trị độ lệch $\Delta\varphi$ sẽ được sử dụng để nạp vào thuật toán tính góc khi sử dụng tín hiệu từ hai bộ phận cảm biến đơn này trong ứng dụng đo góc định hướng của từ trường trái đất trong thiết bị la bàn số được đề cập theo sáng chế.

Ví dụ được minh họa trên H.13 cho trường hợp góc lệch trục giao giữa hai bộ phận cảm biến là $\Delta\varphi = 10^\circ$.

Đưa ra giải pháp xử lý thế nền bằng xử lý tín hiệu số mà vẫn đảm bảo chính xác tín cậ của linh kiện cảm biến

Xử lý thế nền sẽ được thực hiện bằng cách quay linh kiện ít nhất một vòng quay góc từ 0 đến 360 độ trong một phẳng cố định trên mâm quay trong một từ trường đều cố định như minh họa trên H.12. Khi đó, tín hiệu đáp ứng của bộ phận cảm biến đơn sẽ có cực đại (dấu dương) và cực tiểu (dấu âm) nhận giá trị không như nhau thể hiện sự bất đối xứng qua giá trị 0 của đường cong như minh họa trên H.14. Sự bất đối xứng này nhiều hay ít phản ánh thế nền đóng góp vào bộ phận cảm biến. Thế nền này tồn tại là do ngay cả khi từ trường ngoài vuông góc với trục bộ phận cảm biến thì vẫn có sự tác động tuy rất nhỏ đến vật liệu dẫn đến sự tồn tại thế nền tại các góc này. Từ đường cong đặc trưng theo góc của bộ phận cảm biến khi khảo sát trên mâm quay, thế nền có thể được tính toán theo công thức:

$$\text{offset} = \frac{|\text{maximum}| - |\text{minimum}|}{2} \quad (6)$$

trong đó $|\text{maximum}|$ và $|\text{minimum}|$ tương ứng là tín hiệu đáp ứng của bộ phận cảm biến đo được khi trục bộ phận cảm biến song song, cùng hướng và ngược hướng tương ứng với từ trường đều đặt vào trong quá trình khảo sát.

Để thực hiện được tính toán góc định hướng với từ trường trái đất thì việc tìm thế nền và loại bỏ đóng góp của thế nền này là rất quan trọng.

Tính toán và xây dựng thuật toán tính góc định hướng của từ trường trái đất

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

- (i) Chuẩn hóa cảm biến bằng cách quay bộ phận cảm biến thứ nhất vòng trong mặt phẳng nằm ngang để xác định sai số trục giao $\Delta\varphi$ giữa hai bộ phận cảm biến đơn từ. Bước này được thực hiện trong phòng thí nghiệm.

- (ii) Xác định thế nền offset của từng bộ phận cảm biến đơn sau khi cho linh kiện cảm biến quay trên mâm quay bước 1 nhờ sử dụng công thức (6)

- (iii) Hiệu chỉnh, trừ tín hiệu nền để tính giá trị tỉ đối (S) sử dụng công thức (6)

$$S = \frac{Signal - offset}{(Signal - offset)_{\max}} \quad (7)$$

Khi đó, tín hiệu tỉ đối được ghi nhận bởi hai bộ phận cảm biến đơn tương ứng trên các bộ phận cảm biến đơn số 1 (S_1) và số 2 (S_2) sẽ thay đổi theo qui luật:

$$\begin{cases} S_1 = \cos \varphi \\ S_2 = \sin(\varphi - \Delta\varphi) \end{cases} \quad (8)$$

- (iv) Từ hệ phương trình (8), góc φ định hướng giữa từ trường ngoài cần đo và trục của bộ phận cảm biến đơn số 1 sẽ được xác định theo hệ phương trình sau:

$$\varphi_0 = 2 \arctan \left(\frac{-\sqrt{\left(\tan^2 \frac{\Delta\varphi}{2} + 1\right) \left(S_1^2 \tan^2 \frac{\Delta\varphi}{2} + 4S_1S_2 \tan \frac{\Delta\varphi}{2} + S_2^2 \tan^2 \frac{\Delta\varphi}{2} + S_1^2 + S_2^2\right)} + S_1 \tan^2 \frac{\Delta\varphi}{2} - S_1}{2S_1 \tan \frac{\Delta\varphi}{2} + S_2 \tan^2 \frac{\Delta\varphi}{2} + S_2} \right) + \pi \quad (9)$$

Tùy theo giá trị sai số góc lệch trục giao $\Delta\varphi$ được nạp vào, một số góc đặc biệt có thể xảy ra. Các góc đặc biệt này sẽ được nạp trực tiếp vào thuật toán tính góc khi rơi vào các trường hợp này.

Xây dựng sơ đồ nguyên lý, thiết kế mạch điện tử có tích hợp các khối chức năng

Sơ đồ khối chức năng phần điện tử được minh họa trên H.7 bao gồm các khối chức năng chính sau:

- Khối phát xung tạo tín hiệu đầu vào cấp cho cuộn dây tạo từ trường kích thích (thể hiện trên bo mạch được đánh số 2 và 3 trên H.8(a)).
- Khối cảm biến đầu đo la bàn gồm 2 cảm biến đơn trục giao (thể hiện trên bo mạch được đánh số 1 trên H.8(a)).
- Khối đo lường chuẩn hóa tín hiệu (thể hiện trên bo mạch được đánh số từ 7 đến 13 trên H.8(a) và H.8(b)).
- Bộ nhớ (thể hiện trên bo mạch được đánh số 5 trên H.8(a)).
- Khối hiển thị và giao tiếp (thể hiện trên bo mạch được đánh số 17 và 19 trên H.8(a)).
- Khối vi xử lý (thể hiện trên bo mạch được đánh số 15 trên H.8(a)).

Nguyên tắc xử lý của mạch điện tử xuất phát từ việc cấp nguồn tín hiệu sin. Nguồn nuôi này được cấp vào cuộn dây hình ống kích thích của bộ phận cảm biến, khi đó điện áp ra của bộ phận cảm biến cũng sẽ là tín hiệu sin với tần số bằng với tần số của nguồn nuôi. Nguồn tín hiệu và tín hiệu ra của bộ phận cảm biến cần được xử lý khuếch đại, lọc dải thông sẽ được tiến hành chuyển đổi thành xung vuông, đưa tới vi xử lý để xác định góc pha. Ngoài ra tín hiệu đầu ra của bộ phận cảm biến cần được xác định biên độ thực (RMS) thông qua khối đo biên độ thực. Sơ đồ khối nguồn phát và xử lý bộ phận cảm biến đơn được minh họa trên H.15.

Khối phát tín hiệu đầu vào nuôi bộ phận cảm biến

Tín hiệu nguồn kích thích cho cảm biến từ trường yêu cầu là nguồn xoay chiều hình sin với biên độ $2 V_{pp}$, tần số khoảng 100 kHz (có thể thay đổi tùy thuộc vào từng bộ cảm biến). Ngoài ra đặc tính của mỗi bộ phận cảm biến từ trường có sự lệch nhau nhất định, do đó yêu cầu tín hiệu nguồn kích thích có chức năng có thể điều chỉnh được tần số. Với yêu cầu này, đòi hỏi khối phát xung phải được thiết kế sử dụng các IC chức năng chuyên dụng, có tần số hoạt động cao để đảm bảo tín hiệu xuất ra gần với tín hiệu sin chuẩn, giúp hoạt động của bộ phận cảm biến từ được chính xác.

Thông thường công suất phát ra của các IC chức năng phát tần số thường không cao, do đó yêu cầu phải có khối khuếch đại công suất phát. Công suất phát của khối phát xung cao hơn nhiều lần công suất tiêu thụ của bộ phận cảm biến từ cũng sẽ giúp giữ đúng các thông số kỹ thuật của tín hiệu nguồn nuôi bộ phận cảm biến.

Đầu ra của khối này là thu được tín hiệu có dạng hình sin chuẩn, tần số ổn định theo cấu hình phù hợp với từng bộ phận cảm biến. Vi mạch sử dụng cho việc tạo tín hiệu sin là IC AD5932, sơ đồ thiết kế được thể hiện trên H.16. AD5932 có khả năng lập trình được tần số đầu ra thông qua giao tiếp với vi xử lý trung tâm. Khối mạch tạo nguồn hình sin cho cảm biến được thể hiện trên bo mạch được đánh số 1 và 2 trên H.8(a).

Khối đo lường tín hiệu của bộ phận cảm biến

Tín hiệu lỗi ra từ bộ phận cảm biến có biên độ nhỏ, đồng thời trở kháng ngõ ra cũng lớn (công suất phát thấp). Để giúp cho hệ vi xử lý có thể đo đạc và đọc được tín hiệu này, yêu cầu phải chuẩn hóa giúp lọc nhiễu và giảm trở kháng ngõ ra cũng như khuếch đại biên độ tín hiệu đáp ứng từ bộ phận cảm biến từ. Khối khuếch đại tín hiệu ra từ cảm biến thể hiện trên bo mạch được đánh số 6 và 7 trên H.8(a).

Để thực hiện việc khuếch đại biên độ tín hiệu, khuếch đại thuật toán đo lường được sử dụng. Khuếch đại đo lường phù hợp với yêu cầu bài toán do có hệ số khuếch đại lớn, trở kháng ngõ vào lớn. Sau khi khuếch đại biên độ, công suất đối với tín hiệu đáp ứng từ bộ phận cảm biến, các mạch lọc nhiễu thông cao và thông thấp được sử dụng. Các mạch lọc này nhằm loại bỏ các thành phần nhiễu ngoài dải đáp ứng của bộ phận cảm biến từ trường.

Việc lựa chọn mạch khuếch đại đo lường và các mạch lọc cần chú ý tới băng thông của khuếch đại thuật toán được lựa chọn, để phù hợp với tần số tín hiệu khoảng 100 kHz. Vi mạch AD8397 có băng thông tối đa 69 MHz, tham số tỷ số quét (slewrate) đạt 53 V/ μ s đủ đáp ứng yêu cầu của bộ lọc. Thông số

của bộ lọc thông cao, $f_{\text{CUT}} = 79,57 \text{ kHz}$. Thông số của bộ lọc thông thấp $f_{\text{CUT}} = 122,3 \text{ kHz}$.

Thông thường tín hiệu sau bộ lọc sẽ bị trễ pha so với tín hiệu gốc, do đó để đảm bảo sự trễ pha này không ảnh hưởng vào việc đánh giá chính xác độ lệch pha giữa tín hiệu nguồn cấp kích thích và tín hiệu đáp ứng đầu ra của bộ phận cảm biến thì cả hai tín hiệu này sẽ được đưa đồng thời vào hai bộ lọc với tham số giống nhau. Việc làm này sẽ giúp cho hai tín hiệu cùng có một độ trễ giống nhau trước khi đi vào khối chức năng xác định độ lệch pha giữa chúng. Với cách thực hiện này, quá trình đo độ lệch pha không bị ảnh hưởng bởi đóng góp trễ của quá trình khuếch đại và lọc nhiễu. Khối lọc tín hiệu được thể hiện trên bo mạch được đánh số 8, 9 trên H.8(a) và sơ đồ khối mạch lọc tín hiệu được minh họa trên H.17.

Một thông số quan trọng của bộ phận cảm biến la bàn số là biên độ của tín hiệu đầu ra cảm biến. Tín hiệu đầu ra của bộ phận cảm biến giống tín hiệu nguồn nuôi là dạng hình sin với tần số khoảng 100 kHz, việc xác định biên độ thực của tín hiệu này có thể dùng ADC tốc độ lấy mẫu cao, tuy nhiên việc đó không đảm bảo độ chính xác cũng như tốc độ tính toán. Do đó giải pháp được lựa chọn là dùng mạch điện tử chuyên dụng để đo biên độ của tín hiệu sin theo nguyên lý đo giá trị thực (True RMS) hay giá trị hiệu dụng của xung tín hiệu xoay chiều dạng sin. Ở đây có thể dùng chip AD8436 của hãng Analog Device. Khối chức năng này được thể hiện trên bo mạch được đánh số 12 và 13 trên H.8(b). Sơ đồ khối mạch chuyển đổi RMS được minh họa trên H.18.

Khối xác định độ lệch pha

Một trong các thông số quan trọng để xác định góc la bàn số đó là độ lệch pha giữa tín hiệu nguồn nuôi và tín hiệu đáp ứng từ bộ phận cảm biến. Để thực hiện đo đặc này, tín hiệu nguồn nuôi và tín hiệu cảm biến sau khi chuẩn hóa được biến đổi thành dạng xung vuông để đưa vào xử lý số. Việc chuyển

đổi tín hiệu sin thành tín hiệu xung vuông được thực hiện bằng mạch so sánh sử dụng khuếch đại thuật toán. Sơ đồ khối mạch so sánh chuyển tín hiệu sin thành xung vuông được minh họa trên H.19.

Tín hiệu xung vuông sau chuyển pha yêu cầu phải có độ trễ càng nhỏ càng tốt so với tín hiệu sin đầu vào. Do đó IC TLV3501 có khả năng đáp ứng được yêu cầu này. Thời điểm chuyển pha của tín hiệu sẽ được vi điều khiển nhận biết dễ dàng và sử dụng bộ định thời gian để xác định độ sớm pha và trễ pha giữa tín hiệu nguồn nuôi và tín hiệu đầu ra của bộ phận cảm biến từ trường. Khối chuyển đổi xung sin sang xung vuông thể hiện trên bo mạch được đánh số 10 và 11 trên H.8(a).

Vi điều khiển sẽ liên tục kiểm tra tín hiệu ngắt ở chân nguồn nuôi bộ phận cảm biến (sau khi chuyển thành xung vuông), khi có sườn xuống (chuyển mức logic từ 1 xuống 0) thì sẽ kiểm tra tín hiệu xung vuông đầu ra cảm biến. Số liệu được minh họa trên H.20 cho việc xác định độ sớm và trễ pha bằng xung vuông của vi điều khiển.

Nếu khi đó mức logic của tín hiệu xung vuông đầu ra là 1, chứng tỏ tín hiệu đầu ra chưa kịp đảo chiều ở thời điểm đó, trễ pha hơn so với nguồn nuôi.

Nếu khi đó mức logic của tín hiệu xung vuông đầu ra là 0, chứng tỏ trước đó đầu ra đã đổi pha, có nghĩa là tín hiệu đầu ra sớm pha hơn so với nguồn nuôi.

Trên H.21 là kết quả số liệu đo được truy xuất trực tiếp thông qua ghép nối với máy tính khi cho linh kiện cảm biến quay xung quanh một trục thẳng đứng trên mặt phẳng nằm ngang sử dụng hệ mâm quay tự động. Đường cong thay đổi dạng sin quan sát được chính là tín hiệu của bộ phận cảm biến sau khi đi qua bộ thu và lọc nhiễu. Tín hiệu đo được chỉ cho thông tin độ lớn mà không có thông tin về pha (tương ứng với đảo dấu của tín hiệu). Đường dạng xung vuông trên đồ thị này chính là tín hiệu pha sau khi qua thuật toán tính pha, trong đó, khi pha nhận giá trị 1 tương ứng giá trị dương của tín hiệu cảm biến và giá trị 0 tương ứng với giá trị âm của tín hiệu cảm biến. Sự khác nhau

về độ lớn giữa các đỉnh tín hiệu trên cùng một bộ phận cảm biến đơn chính là vai trò của thế nền offset như đã nêu trên đây.

Chuẩn hóa trừ nền

Để xác định được giá trị nền tín hiệu, yêu cầu phải tiến hành quá trình hiệu chuẩn (calib). Quá trình calib tiến hành xác định biên độ tín hiệu cực đại và cực tiểu của tín hiệu sin. Bằng cách kết hợp với góc pha, nền sẽ được xác định bằng cách lấy giá trị tuyệt đối của hiệu số giữa giá trị lớn nhất khi sớm pha và giá trị lớn nhất khi trễ pha. Giá trị nền chính là hiệu số tính toán được chia cho 2 theo công thức (6). Thiết bị la bàn điện tử có hai bộ phận cảm biến, do đó cần phải xác định giá trị nền của cả hai bộ phận cảm biến. Trong thực tế, cần quay bộ phận cảm biến ít nhất 360 độ. Trong quá trình quay, vi xử lý liên tục đo giá trị biên độ và góc pha. Thông qua thuật toán sẽ tính được giá trị nền của cả hai bộ phận cảm biến. Giá trị *offset_ox* và *offset_oy* tính được sẽ dùng để trừ nền.

Thuật toán tính góc và chạy thử nghiệm thiết bị

Như đã nêu ở trên, giá trị biên độ của tín hiệu đầu ra từ hai bộ phận cảm biến đặt trục giao Ox và Oy được xác định (*x_axis*, *y_axis*). Thông qua quá trình calib, các giá trị biên độ lớn nhất của đầu ra cảm biến cũng được xác định (*max_ox*, *max_oy*). Ngoài ra từ quá trình calib của các bộ phận cảm biến, giá trị nền (offset) của hai bộ phận cảm biến cũng được xác định (*offset_ox*, *offset_oy*). Giá trị pha của mỗi bộ phận cảm biến được xác định như đã được mô tả trên đây. Chương trình tính toán tìm giá trị nền của hai bộ phận cảm biến được xây dựng trên H.22 được sử dụng để nạp vào vi xử lý.

Từ các tín hiệu đo đạc được sau khi qua các khối đo lường, khuếch đại và xử lý tín hiệu thu được từ hai bộ phận cảm biến, vi xử lý sẽ tính toán góc giữa hướng của trục Ox với hướng cực từ Bắc theo công thức (9). Chương trình tính toán tìm góc từ tín hiệu của hai bộ phận cảm biến sau khi đã trừ nền

được xây dựng trên H.23 được sử dụng để nạp vào vi xử lý. Trong đó S1 là giá trị tỷ lệ tương đối giữa biên độ đầu ra của bộ phận cảm biến Ox với giá trị cực đại của biên độ đầu ra cảm biến Ox, dấu của S1 được xác định dựa theo độ lệch pha. Tương tự, S2 là giá trị tương đối giữa biên độ đầu ra của bộ phận cảm biến Oy với giá trị cực đại của biên độ đầu ra cảm biến Oy. Dưới đây là hàm xử lý được nạp vào vi xử lý trung tâm để thực hiện tính toán hướng của la bàn.

Thao tác chạy thử nghiệm thiết bị lần đầu yêu cầu phải tiến hành chuẩn hóa. Thao tác chuẩn hóa gồm hai nhiệm vụ là xác định tần số cộng hưởng của bộ phận cảm biến từ trường và tiến hành xác định góc lệch pha. Tần số cộng hưởng của bộ phận cảm biến từ trường được xác định bằng phương pháp dò. Vi xử lý sẽ thay đổi tần số tín hiệu kích thích trong dải từ 90 kHz tới 110 kHz, bước thay đổi là 10 Hz và liên tục đo tín hiệu đáp ứng từ bộ phận cảm biến. Sau quá trình khảo sát, tần số tín hiệu mà cho đáp ứng đầu ra có biên độ lớn nhất sẽ được lưu lại vào bộ nhớ để sử dụng trong các lần tiếp theo. Để xác định giá trị nền, cần kích hoạt thiết bị nhảy vào chế độ khảo sát nền, sau đó tiến hành xoay thiết bị trong mặt phẳng ngang ít nhất 360 độ. Bộ nhớ có khả năng lưu trữ ngay cả thiết bị mất điện, do đó chỉ cần thực hiện quá trình khảo sát một lần duy nhất.

Khối nguồn và pin cho thiết bị

Thiết bị sử dụng khối nguồn trực tiếp từ pin Li-Ion với dung lượng 1500 mAh, điện áp danh định là 3,7 V. Nguồn ngoài cung cấp để chạy thiết bị cũng như sạc điện cho pin được lấy từ cổng USB. Điện áp cấp từ cổng USB là 5 V, dòng điện 1000 mA. Khối quản lý nạp tích hợp bảo vệ tự ngắt việc sạc pin khi pin đã đầy, tự ngắt việc xả pin khi pin xả dưới mức quy định (3 V).

Thiết bị yêu cầu hai loại nguồn cho hai nhóm linh kiện riêng biệt, đó là khối các linh kiện tương tự và khối linh kiện số. Khối tương tự, thiết kế nguồn

+5 VDC và -5 VDC, dòng điện tối đa 250 mA cho mỗi đường. Công suất này thỏa mãn đáp ứng cung cấp cho khối mạch linh kiện tương tự.

Khối nguồn cho các linh kiện số yêu cầu điện áp +3,3 V, dòng điện tối đa 250mA. Do nguồn điện của khi cạn là +3,5 V, khi đầy là +4,2 V nên cần sử dụng loại IC nguồn có điện áp rơi cực thấp. IC TPS73733 của hãng Texas Instruments thỏa mãn khi cấp điện áp ra cố định là 3,3V, dải điện áp đầu vào dao động 3,43 V tới 5,5 V, dòng điện tối đa 1000 mA. Khối nguồn được thể hiện trên bo mạch đánh số 18 trên H.8(a).

Dưới đây, linh kiện cảm biến tổ hợp 10 sẽ được mô tả chi tiết hơn có dựa vào các hình vẽ từ H.1 đến H.4.

Linh kiện cảm biến tổ hợp 10 có kết cấu bao gồm hai bộ phận cảm biến 11 được bố trí vuông góc với nhau trong không gian, mỗi bộ phận cảm biến 11 được tạo kết cấu gồm phần lõi 12 có dạng lớp được làm bằng vật liệu tổ hợp có hiệu ứng từ-điện và cuộn dây hình ống 13.

Phần lõi 12 của bộ phận cảm biến có kết cấu bao gồm: tấm nền 12a gần như có dạng hình chữ nhật, có kích cỡ xác định, và được làm bằng vật liệu áp điện, lớp điện cực 12b được tạo trên hai mặt 12a1 và 12a2 đối diện của tấm nền 12a để tạo thành hai mặt điện cực 12b1 và 12b2, lớp dạng màng mỏng 12c bằng vật liệu từ giảo có kích cỡ xác định được tạo lên ít nhất một bề mặt 12b1 hoặc 12b2 của lớp điện cực 12b, và các cực nối 12d của phần lõi 12 được gắn cố định vào hai mặt điện cực 12b1 và 12b2.

Cuộn dây hình ống 13 bằng vật liệu dẫn điện để kích thích từ trường xoay chiều, có kích cỡ xác định và được làm thích ứng để có thể chứa được phần lõi 12 dạng lớp trong đó, cuộn dây 13 này có các cực nối cuộn dây 13a ở đầu vào và đầu ra.

Vỏ linh kiện 14 có dạng hình hộp lập phương, hình hộp này có kích thước xác định, lỗ thứ nhất 141 được tạo ở một phía mặt 14a của vỏ hình hộp 14 và có đường trục A-A gần như trùng với đường trục đối xứng thứ nhất 1-1 của mặt hình hộp 14a này, lỗ thứ hai 142 được tạo ở phía mặt đối diện 14b của

vỏ hình hộp 14 và có đường trục B-B gần như trùng với đường trục đối xứng thứ hai 2-2 của mặt hình hộp đối diện 14b.

Hai đường trục A-A và B-B này gần như vuông góc trong không gian và cách nhau một khoảng xác định với đường trục đối xứng thứ nhất 1-1. Cả lỗ thứ nhất 141 lẫn lỗ thứ hai 142 có kích cỡ được làm thích ứng để chứa được bộ phận cảm biến 11 trong đó. Các cực nối điện 143 của vỏ 14 được bố trí trên bề mặt xung quanh 14c của vỏ hình hộp lập phương 14 và được làm thích ứng để nối điện với các cực nối 12d của phần lõi 12 và các cực nối cuộn dây 13a của cuộn dây 13.

Theo phương án được ưu tiên của sáng chế, vật liệu áp điện của tấm nền 12a của phần lõi 12 của bộ phận cảm biến 11 là PZT có hệ số cơ điện k_{33} xấp xỉ bằng 0,76.

Tốt hơn nữa, kích cỡ xác định chiều dài x chiều rộng x chiều dày ($L \times R \times D$) của tấm nền 12a được chọn bằng 15,5 x 1 x 0,5mm.

Cũng tốt hơn nữa, vật liệu từ giảo của lớp dạng màng mỏng 12c của phần lõi 12 của bộ phận cảm biến 11 là các hợp kim của kim loại chuyển tiếp Fe, Co, Ni có hoặc không pha tạp nguyên tố đất hiếm Tb, Sm v.v.

Ngoài ra, kích cỡ xác định chiều dài x chiều rộng x chiều dày ($L \times R \times D$) của lớp dạng màng mỏng 12c được chọn bằng 15mm x 1mm x 18 μ m.

Hơn nữa, vật liệu có tác dụng kích thích từ trường xoay chiều của cuộn dây hình ống 13 của bộ phận cảm biến 11 là đồng.

Tiếp theo, phương pháp chế tạo linh kiện cảm biến tổ hợp sẽ được mô tả chi tiết có dựa vào các hình vẽ. Phương pháp chế tạo này bao gồm các bước sau:

tạo phần lõi dạng lớp 12 bằng vật liệu tổ hợp có hiệu ứng từ-điện, phần lõi dạng lớp này bao gồm: tấm nền 12a gần như có dạng hình chữ nhật có kích cỡ xác định bằng vật liệu áp điện, lớp điện cực 12b được tạo trên hai mặt đối diện của tấm nền 12a để tạo thành các mặt điện cực 12b1, 12b2, lớp dạng

màng mỏng 12c bằng vật liệu từ giảo có kích cỡ xác định được tạo trên ít nhất một bề mặt của lớp điện cực;

gắn cố định các cực nối 12d vào hai mặt điện cực của phần lõi để tạo ra các cực nối phần lõi;

tạo ra cuộn dây hình ống 13 bằng vật liệu dẫn điện để kích thích từ trường xoay chiều, cuộn dây này có kích cỡ xác định và được làm thích ứng để có thể chứa được phần lõi dạng lớp trong đó, đầu vào và đầu ra của cuộn dây là các cực nối điện 13a của cuộn dây;

lồng phần lõi dạng lớp 12 vào trong cuộn dây hình ống 13 để tạo ra bộ phận cảm biến 11;

tạo vỏ linh kiện 14 có dạng hình hộp lập phương có kích thước xác định, tạo lỗ thứ nhất 141 ở một phía mặt 14a của hình hộp của vỏ và có đường trục A-A gần như trùng với đường trục đối xứng thứ nhất 1-1 của mặt hình hộp 14a này,

tạo lỗ thứ hai 142 ở phía mặt đối diện 14b của hình hộp của vỏ và có đường trục B-B gần như trùng với đường trục đối xứng thứ hai 2-2 của mặt hình hộp đối diện 14b gần như vuông góc trong không gian và cách nhau một khoảng xác định với đường trục đối xứng thứ nhất, cả lỗ thứ nhất 141 lẫn lỗ thứ hai 142 có kích cỡ được làm thích ứng để chứa được bộ phận cảm biến 11 trong đó,

tạo ra các cực nối điện của vỏ 143 trên bề mặt xung quanh của vỏ hình hộp lập phương;

lồng các bộ phận cảm biến 11 vào trong lỗ thứ nhất 141 và thứ hai 142 của vỏ linh kiện 10;

gắn cố định các cực nối phần lõi 12d và các cực nối của cuộn dây 13a với các cực nối điện 143 ở mặt xung quanh 14c của vỏ 14 để tạo thành linh kiện cảm biến tổ hợp 10 có hai bộ phận cảm biến từ trục giao vuông góc với nhau;

phủ lớp epoxy bảo vệ ra bề mặt ngoài của linh kiện cảm biến tổ hợp 10;

kiểm tra linh kiện cảm biến tổ hợp 10; và

đo chuẩn hóa trực giao linh kiện cảm biến tổ hợp 10.

Có lợi nếu, bước tạo lớp dạng màng mỏng 12c bằng vật liệu từ giả được thực hiện bằng cách kết dính (nếu dùng từ giả dạng băng) hoặc lắng đọng màng (nếu dùng từ giả dạng màng).

Ngoài ra, bước chế tạo phần tử từ giả được thực hiện bằng cách phun xạ catốt, bốc hơi nhiệt nếu sử dụng lớp từ giả dạng màng và sử dụng phương pháp phun băng nguội nhanh nếu sử dụng lớp từ giả dạng băng mỏng.

Tốt hơn nếu bước tạo lớp điện cực được thực hiện bằng cách phủ trên hai mặt đối diện 12b1, 12b2 của tấm nền dọc theo chiều phân cực của tấm nền này.

Hơn nữa, việc tạo ra các lỗ thứ nhất 141 và thứ hai 142 có thể được thực hiện bằng cách khoan trên vỏ linh kiện 14.

Theo phương án được ưu tiên của sáng chế, việc gắn cố định các cực nối phần lõi 12d và các cực nối của cuộn dây 13a với các cực nối điện 143 của vỏ linh kiện 14 được thực hiện bằng cách hàn.

Tiếp theo, thiết bị la bàn điện tử 20 được mô tả chi tiết dưới đây có dựa vào các hình vẽ H.5 và H.6.

Thiết bị la bàn điện tử 20 có kết cấu bao gồm:

Vỏ thiết bị 21 có dạng gần như hình hộp chữ nhật bao gồm mặt trước 21a, mặt sau 21b và các mặt bên 21c, mặt trước 21a có thể lắp tháo được với các mặt bên 21c và mặt sau 21b. Mặt sau 21b và các mặt bên 21c tạo thành phần chứa 21' cho vỏ thiết bị 21.

Bo mạch điện tử 22 (xem H.8(a) và H.8(b)) điều khiển tích hợp nhiều khối chức năng được bố trí bên trong phần chứa 21' của vỏ thiết bị 21.

Màn hình hiển thị 23 được bố trí ở mặt trước 21a của vỏ thiết bị 21 được nối điện điều khiển được với bo mạch điều khiển 22.

Các nút bấm cảm ứng điện dung 24A-24D được bố trí bên dưới màn hình hiển thị 23 và được nối điện điều khiển được với bo mạch điều khiển 22.

Cổng kết nối dữ liệu 25 đồng thời cấp nguồn sạc cho thiết bị được bố trí ở một mặt bên 21c của vỏ thiết bị 21.

Công tắc 26 tắt bật nguồn cấp cho thiết bị được bố trí ở một mặt bên 21c khác của vỏ thiết bị 21.

Tốt hơn nếu màn hình hiển thị 23 có chức năng hiển thị và/hoặc chức năng điều khiển.

Có lợi nếu chức năng hiển thị của màn hình hiển thị 23 của thiết bị bao gồm: phần hiển thị góc định hướng 23a với từ trường đo dạng số, phần hiển thị góc định hướng 23b với từ trường dạng kim quay, phần hiển thị dung lượng pin sử dụng 23c hoặc hình nền 23d đặc trưng cho sản phẩm.

Ngoài ra, chức năng điều khiển của thiết bị 20 bao gồm: các chức năng tự động chuẩn hóa, trừ nền và chế độ báo đang thực hiện chu trình hoặc đã kết thúc chu trình.

Theo phương án được ưu tiên của sáng chế, như được thể hiện trên H.8(a) và H.8(b), bo mạch điện tử điều khiển 22 bao gồm các khối chức năng: khối vi điều khiển trung tâm, khối truyền thông được nối điện với khối vi điều khiển trung tâm, khối truyền thông này bao gồm: khối phát tần số, khối so pha được nối điện với khối phát tần số, khối chuyển đổi pha được nối điện với khối so pha, khối khuếch đại vi sai được nối điện với khối chuyển đổi pha, khối lọc thông cao, khối lọc thông thấp và chuyển đổi DC được nối điện với khối khuếch đại vi sai; khối hiển thị LCD được nối điện với khối truyền thông, và khối nguồn được nối điện và cấp điện cho các khối nêu trên.

Cụ thể hơn, như được thể hiện trên H.8(a) và H.8(b), bo mạch điện tử điều khiển 22 gồm các linh kiện: Bộ phận cảm biến cho thiết bị la bàn được thể hiện bằng số chỉ dẫn 1; khối tạo xung kênh 1 cho bộ phận cảm biến thứ nhất được thể hiện bằng số chỉ dẫn 2; khối tạo xung kênh 2 cho bộ phận cảm biến thứ hai được thể hiện bằng số chỉ dẫn 3; số chỉ dẫn 4 biểu thị còi Buzz; số chỉ dẫn 5 biểu thị bộ nhớ lưu trữ; số chỉ dẫn 6 - khuếch đại cho bộ phận cảm biến thứ nhất; số chỉ dẫn 7 - khuếch đại cho bộ phận cảm biến thứ hai; số chỉ

dẫn 8 - lọc kênh cho bộ phận cảm biến thứ nhất; số chỉ dẫn 9 - lọc kênh cho bộ phận cảm biến thứ hai; số chỉ dẫn 10 - chuyển đổi tín hiệu sin sang SQ cho bộ phận cảm biến thứ nhất; số chỉ dẫn 11 - Chuyển đổi tín hiệu sin sang SQ cho bộ phận cảm biến thứ hai; số chỉ dẫn 12 - Đo biên độ cho bộ phận cảm biến thứ nhất; số chỉ dẫn 13 - Đo biên độ cho bộ phận cảm biến thứ hai; số chỉ dẫn 14 - Led chỉ thị; số chỉ dẫn 15 - Vi xử lý trung tâm; số chỉ dẫn 16 - Giắc kiểm tra khối analog; số chỉ dẫn 17 - Giắc nối LCD; số chỉ dẫn 18 - Khối nguồn; số chỉ dẫn 19 - Giắc nối phím bấm cảm ứng điện dung.

Linh kiện cảm biến sau khi được đóng gói hoàn thiện được tích hợp với mạch điện tử và màn hình hiển thị LCD Graphic. Màn hình LCD được lựa chọn với ưu điểm là tích hợp sẵn chip điều khiển hiển thị trên LCD, không cần phải thiết kế bộ giải mã điều khiển màn hình bên ngoài.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Tiến hành đo kiểm để đánh giá các thông số của bộ phận cảm biến đơn trong thiết bị la bàn điện tử

Đáp ứng với từ trường của linh kiện cảm biến

Đo kiểm hoạt động của linh kiện 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 3×10^{-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 H.27 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 tương ứng $k_1 = 636$ (mV/Oe) và $k_2 = 423$ (mV/Oe) cho các bộ phận cảm biến thứ nhất và thứ hai trong thiết bị la bàn điện tử.

Đo kiểm độ ổn định từ trường và độ lặp lại của linh kiện cảm biến

Độ ổn định và tính lặp lại của bộ phận 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. Kết quả được biểu thị trên H.28 và Bảng 1.

Theo kết quả ghi nhận được giá trị trung bình từ trường trong các lần đo $H_{TB} = 0,506102$ Oe và sự sai khác các lần đo so với giá trị trung bình tính được dao động xung quanh giá trị 0,015%. Từ kết quả này có thể khẳng định độ ổn định từ trường của linh kiện cảm biến đạt giá trị lên tới 10^{-4} Oe tương đương với 10 nT.

Bảng 1. Bảng tổng hợp số liệu đo trên cảm biến vào thời gian đo khác nhau

TT	Ngày đo	Từ trường đo từ bộ phận cảm biến $H = V_{out}/k$ (Oe)	Sai số (%) $\frac{H - H_{TB}}{H_{TB}} \times 100$
1	6/07/2015	0,506154	0,0102
2	7/07/2015	0,506003	0,0197
3	13/07/2015	0,506242	0,02762
4	23/07/2015	0,506035	0,01327
5	10/08/2015	0,506044	0,01153
6	14/08/2015	0,506172	0,01391
7	19/08/2015	0,506066	0,00727
		$H_{TB} = 0,506102$	0,015

Đo kiểm độ phân giải của linh kiện cảm biến

Để đánh giá độ phân giải thực tế của linh kiện cảm biến, phép đo thực nghiệm đã được thực hiện thông qua cuộn Helmholtz bằng cách cấp các dòng điện nhỏ chạy qua. Kết quả đo đặc cho thấy dòng điện nhỏ nhất mà linh kiện

cảm biến có thể nhận biết được là $0,5 \mu\text{A}$ (xem H.29) 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 $H (\text{Oe}) = 30 \cdot I(\text{A})$ của cuộn Helmholtz. Sự thay đổi nhỏ nhất này cũng tương ứng với sự thăng giáng nền nhiễu của bộ phận cảm biến. Khi tăng dòng lên gấp đôi, sự thay đổi của tín hiệu đo được trên linh kiện cảm biến cũng được ghi nhận tăng lên gấp đôi (xem H.).

Có thể khẳng định các đo đạc đánh giá độ phân giải của bộ phận cảm biến sử dụng các thiết bị đo trong PTN cho thấy linh kiện 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 giảo áp điện được sử dụng trong luận văn này có công nghệ chế tạo đơn giản và chi phí rẻ hơn rất nhiều.

Đáp ứng với góc quay của các bộ phận cảm biến đơn

Sử dụng hệ đo khảo sát góc tự động (xem H.12) như đã nêu trên đây, linh kiện cảm biến đã được khảo sát đáp ứng theo góc tạo bởi giữa trục bộ phận cảm biến và hướng cực Bắc của từ trường trái đất. Kết quả đo cho thấy hai bộ phận cảm biến này hưởng ứng theo qui luật hàm sin và cosin với góc quay (xem H.30). Do hai bộ phận cảm biến được đặt vuông góc với nhau nên tín hiệu đầu ra của hai bộ phận cảm biến luôn lệch pha nhau $\pi/2 + \Delta\varphi$. Chính qui luật tuần hoàn này cho phép sử dụng tích hợp hai bộ phận cảm biến để xác định góc lệch và đây cũng chính là nguyên lý hoạt động của bộ phận cảm biến trong chức năng đo góc.

Tín hiệu Voffset

Đường cong H.30 0 cho thấy rất rõ cả hai bộ phận cảm biến đơn đều không đối xứng hoàn toàn qua trục giá trị $V_{out} = 0$ mà dịch trục đi các giá trị khác nhau phụ thuộc vào từng bộ phận cảm biến. Thế nên này có thể được xác định theo công thức (6) đã được mô tả trên đây và sẽ được xử lý qua bộ xử lý trung tâm.

Chuẩn hóa và tính toán góc lệch sai số ghép trục giao hai bộ phận cảm biến đơn

Thiết bị la bàn điện tử sau khi được chế tạo hoàn thiện được đưa lên mâm quay chuẩn hóa để xác định góc lệch trục giao khi ghép tổ hợp hai bộ phận cảm biến đơn trong quá trình đóng gói. Phép đo được ghi nhận đồng thời trên hai bộ phận cảm biến khi cho chúng cùng quay với mâm trong từ trường ngoài đều có hướng không thay đổi. Kết quả được thể hiện trên H.. Sử dụng giải pháp tính toán góc lệch được đưa ra trên công thức (5) mô tả ở trên, góc lệch khi ghép vuông góc hai bộ phận cảm biến này cho giá trị $\Delta\varphi = 7,2^\circ$. Điều này có nghĩa hai bộ phận cảm biến đơn trong thiết bị la bàn điện tử trong trường hợp này tạo với nhau một góc $97,2^\circ$. Giá trị góc lệch $\Delta\varphi$ này sẽ được sử dụng làm giá trị góc lệch gán trong thuật toán tính góc của thiết bị la bàn số được chế tạo thử nghiệm theo sáng chế.

Mạch điện tử

Linh kiện cảm biến sau khi được đóng gói hoàn thiện được tích hợp với mạch điện tử và màn hình hiển thị LCD Graphic độ phân giải 320x240. Sản phẩm tích hợp hoàn thiện bao gồm linh kiện cảm biến và mạch điện tử được thể hiện trên H.5 và H.6. Toàn bộ thiết bị được đóng hộp trong một vỏ bảo vệ không nhiễm từ tính bằng vật liệu PE được nuôi bằng một pin Li-Ion hoặc bằng một nguồn nuôi 5V thông qua cổng USB.

Màn hình Graphic LCD cho phép hiển thị linh động hình ảnh kết hợp chữ và số. Thiết kế giao diện hiển thị với độ chính xác góc của la bàn đạt 0,1 độ, tương ứng với độ chính xác 0,1 độ của la bàn.

Đánh giá và hiệu chuẩn

Dựa theo thuật toán tính góc đã được mô tả trên đây, chương trình tính góc đã xây dựng được đưa vào mạch nạp. Kết quả chạy thử nghiệm với chương trình được viết được đưa ra trên H.32. Đo trong dải đo nhỏ cho thấy với bước đo góc giữa các điểm đo là 0,5 độ, số liệu đo được từ bộ phận cảm biến có thể khẳng định độ phân giải của la bàn có thể đạt tới 0,2 độ. Giá trị này có thể so sánh với độ phân giải của các la bàn điện tử hiện đại nhất hiện nay.

Hiệu quả đạt được của sáng chế

Sáng chế đã nghiên cứu và phát triển hoàn chỉnh ông nghệ chế tạo linh kiện cảm biến tổ hợp bao gồm 2 bộ phận cảm biến đơn có khả năng đo góc định hướng từ trường trái đất dựa trên hiệu ứng từ giảo – áp điện và la bàn điện tử. Linh kiện cảm biến tổ hợp đã được tích hợp với mạch điện tử hoàn chỉnh, bao gồm cả hệ thống khuếch đại khóa tần số và các bộ biến đổi để tín hiệu lỗi ra được ghép nối máy tính và hiển thị góc phương vị 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.

Thiết bị la bàn điện tử đã được thiết kế và chế tạo bao gồm hai khối mô đun cơ bản là khối cảm biến 2D và khối điện tử.

Khối bộ phận cảm biến 2D là linh kiện cảm biến tổ hợp thực chất là tổ hợp hai bộ phận cảm biến đơn trục (1D) đặt vuông góc với nhau, có hệ số chuyển đổi tương ứng $k_1 = 636$ (mV/Oe) và $k_2 = 423$ (mV/Oe) cho các bộ phận cảm biến đơn thứ nhất và thứ hai và tần số cộng hưởng trong khoảng $f \sim 100$

kHz. Độ phân giải góc tốt hơn 0,2 độ. Tín hiệu cảm biến được xử lý offset và chuẩn hóa trực giao.

Khối mạch điện tử đo lường và xử lý tín hiệu cho bộ phận cảm biến hoạt động trên cơ sở nguyên lý khuếch đại lọc thông dải, bao gồm khối phát xung tạo tín hiệu (chuẩn) 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 môđun AD9850. Tín hiệu đo lường từ bộ phận cảm biến được đưa qua IC đo lường INA128 để khuếch đại và IC OPA2350 để lọc nhiễu. Linh kiện cảm biến sau khi được đóng gói hoàn thiện được tích hợp với mạch điện tử và màn hình hiển thị LCD Graphic LCD123864.

Khả năng ứng dụng công nghiệp

Thiết bị la bàn điện tử theo sáng chế đáp ứng được yêu cầu phục vụ cho các mục đích định vị dùng cho các ngành công nghệ khác nhau đặc biệt trong ngành hàng hải.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Thiết bị la bàn điện tử (20) có kết cấu bao gồm:

vỏ thiết bị (21) có dạng gần như hình hộp chữ nhật bao gồm mặt trước (21a), mặt sau (21b) và các mặt bên (21c), mặt trước (21a) lắp tháo được với các mặt bên (21c), mặt sau (21b) và các mặt bên (21c) tạo thành phần chứa (21');
 bo mạch điện tử (22) điều khiển tích hợp nhiều khối chức năng được bố trí bên trong phần chứa (21') của vỏ thiết bị (21), trong đó bo mạch điện tử điều khiển (22) bao gồm các khối chức năng:

khối phát xung (2, 3) tạo tín hiệu đầu vào cấp cho cuộn dây tạo từ trường kích thích (13), trong đó, khối phát xung sử dụng các IC chức năng chuyên dụng, có tần số hoạt động cao để đảm bảo tín hiệu xuất ra gần với tín hiệu sin chuẩn, giúp hoạt động của bộ phận cảm biến từ được chính xác;

khối linh kiện cảm biến thiết bị la bàn (1) được nối điện với khối phát xung (2, 3);

khối đo lường chuẩn hóa tín hiệu và khối xác định độ lệch pha (7 đến 13) được nối điện với khối linh kiện cảm biến thiết bị la bàn (1), trong đó khối đo lường chuẩn hóa tín hiệu để đo biên độ của tín hiệu sin theo nguyên lý đo giá trị thực (True RMS) và chuyển đổi thành tín hiệu 1 chiều trước khi đưa vào khối ADC, khối xác định độ lệch pha chuyển đổi xung sin sang xung vuông bằng mạch so sánh sử dụng mạch khuếch đại thuật toán kết hợp với chức năng so pha để xác định sự sớm pha hay trễ pha giữa hai xung của tín hiệu đo, ngoài ra, xung phát và xung tín hiệu của cảm biến được đồng bộ đi qua các khối khuếch đại và lọc để đảm bảo không có sai số pha trước khi đưa vào bộ so pha;

khối vi xử lý (15) được nối điện với khối đo lường chuẩn hóa tín hiệu và khối xác định độ lệch pha (7 đến 13);

bộ nhớ (5) được nối điện với khối vi xử lý (15); và

khối hiển thị và giao tiếp (17, 19) được nối điện với khối vi xử lý (15) và bộ nhớ (5);

màn hình hiển thị (23) được bố trí ở mặt trước (21a) của vỏ thiết bị (21) được nối điện điều khiển được với bo mạch điều khiển (22);

các nút bấm cảm ứng điện dung (24A-24D) được bố trí bên dưới màn hình hiển thị (23) và được nối điện điều khiển được với bo mạch điều khiển (22);

cổng kết nối dữ liệu (25) đồng thời cấp nguồn sạc cho thiết bị được bố trí ở một mặt bên (21c) của vỏ thiết bị (21); và

cổng tắc tắt nguồn cấp (26) cho thiết bị được bố trí ở một mặt bên (21c) khác của vỏ thiết bị (21).

2. Thiết bị la bàn điện tử theo điểm 1 trong đó khối linh kiện cảm biến có chứa linh kiện cảm biến tổ hợp (10) có kết cấu bao gồm hai bộ phận cảm biến (11) được bố trí vuông góc với nhau trong không gian, mỗi bộ phận cảm biến (11) bao gồm:

phần lõi (12) dạng lớp bằng vật liệu tổ hợp có hiệu ứng từ-điện bao gồm: tấm nền (12a) gần như có dạng hình chữ nhật có kích cỡ xác định bằng vật liệu áp điện, lớp điện cực (12b) được tạo trên hai mặt đối diện (12a1, 12a2) của tấm nền (12a) để tạo thành hai mặt điện cực (12b1, 12b2), lớp dạng màng mỏng (12c) bằng vật liệu từ giao có kích cỡ xác định được tạo lên ít nhất một bề mặt của lớp điện cực, và các cực nối (12d) của phần lõi (12) được gắn cố định vào hai mặt điện cực (12b1, 12b2); và

cuộn dây hình ống (13) bằng vật liệu dẫn điện để kích thích từ trường xoay chiều, có kích cỡ xác định và được làm thích ứng để có thể chứa được phần lõi (12) dạng lớp trong đó, cuộn dây này có các cực nối cuộn dây (13a) ở đầu vào đầu ra;

vỏ linh kiện (14) có dạng hình hộp lập phương có kích thước xác định, lỗ thứ nhất (141) được tạo ở một phía mặt (14a) của hình hộp và có đường trục (A-A) gần như trùng với đường trục đối xứng thứ nhất (1-1) của mặt hình hộp (14a) này, lỗ thứ hai (142) được tạo ở phía mặt đối diện (14b) của hình hộp và có đường trục (B-B) gần như trùng với đường trục đối xứng thứ hai (2-2) của

mặt hình hộp đối diện (14b) gần như vuông góc trong không gian và cách nhau một khoảng xác định với đường trục đối xứng thứ nhất (1-1), cả lỗ thứ nhất (141) lẫn lỗ thứ hai (142) có kích cỡ được làm thích ứng để chứa được bộ phận cảm biến (11) trong đó; và

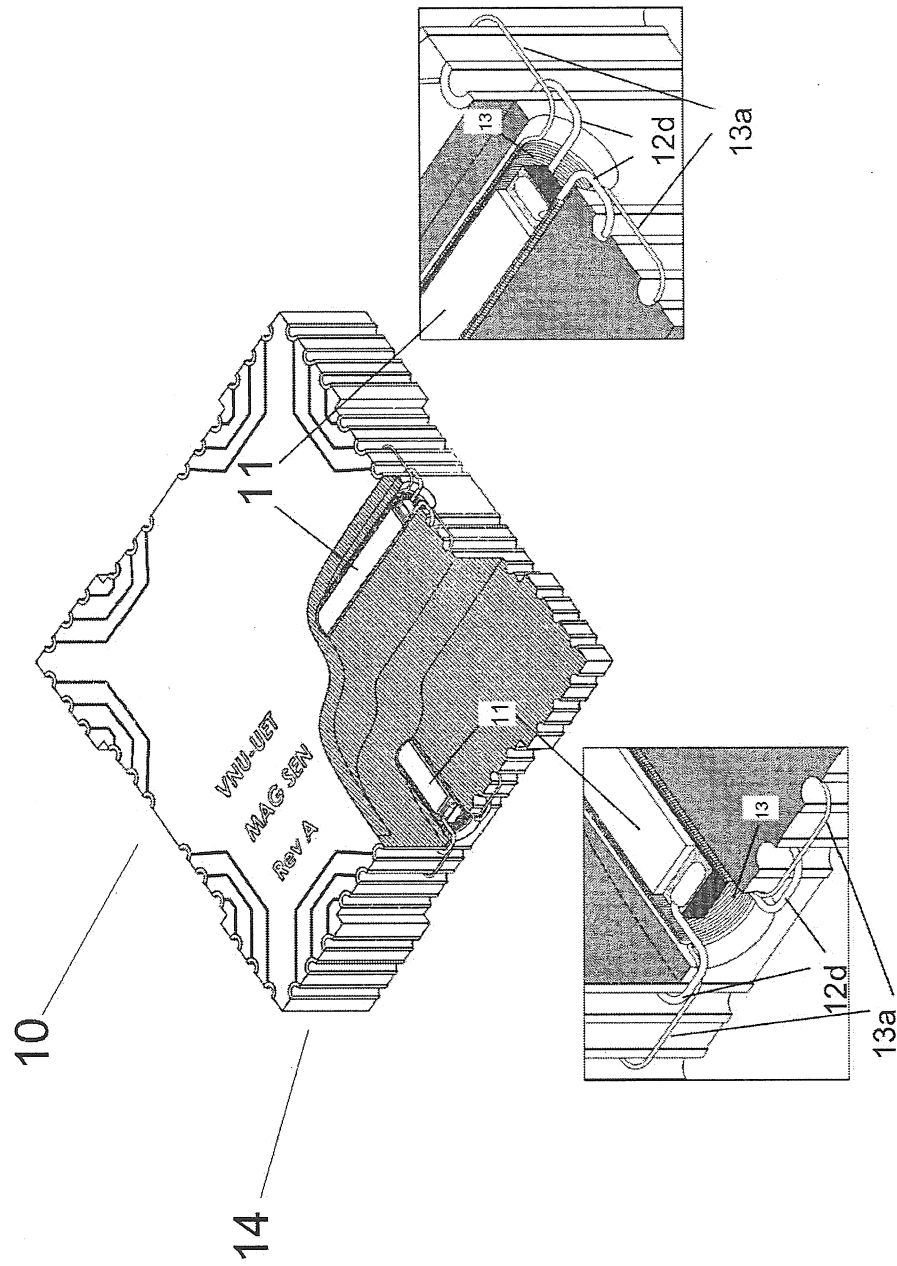
các cực nối điện (143) của vỏ được bố trí trên bề mặt xung quanh của hình hộp lập phương và được làm thích ứng để nối điện với các cực nối (12d) của phân lõi (12) và các cực nối cuộn dây (13a).

3. Thiết bị la bàn điện tử theo điểm 1 trong đó khối linh kiện cảm biến có chứa linh kiện cảm biến tổ hợp (10), trong đó vật liệu áp điện của tấm nền (12a) của phân lõi (12) của bộ phận cảm biến (11) là PZT có hệ số cơ điện k_{33} xấp xỉ bằng 0,76.
4. Thiết bị la bàn điện tử theo điểm 1 trong đó khối linh kiện cảm biến có chứa linh kiện cảm biến tổ hợp (10), trong đó kích cỡ xác định chiều dài x chiều rộng x chiều dày (L x R x D) của tấm nền (12a) được chọn bằng 15,5 x 1 x 0,5mm.
5. Thiết bị la bàn điện tử theo điểm 1 trong đó khối linh kiện cảm biến có chứa linh kiện cảm biến tổ hợp (10), trong đó vật liệu từ giả của lớp dạng màng mỏng (12c) của phân lõi (12a) của bộ phận cảm biến (11) là các hợp kim của kim loại chuyển tiếp Fe, Co, Ni có hoặc không pha tạp nguyên tố đất hiếm Tb, Sm v.v.
6. Thiết bị la bàn điện tử theo điểm 1 trong đó khối linh kiện cảm biến có chứa linh kiện cảm biến tổ hợp (10), trong đó kích cỡ xác định chiều dài x chiều rộng x chiều dày (L x R x D) của lớp dạng màng mỏng (12c) được chọn bằng 15mm x 1mm x 18 μ m.

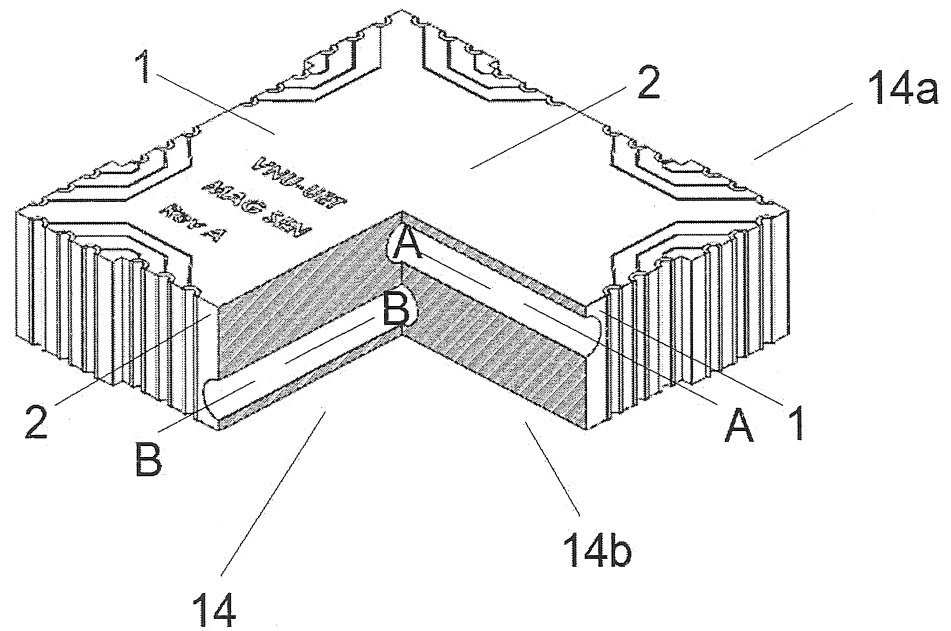
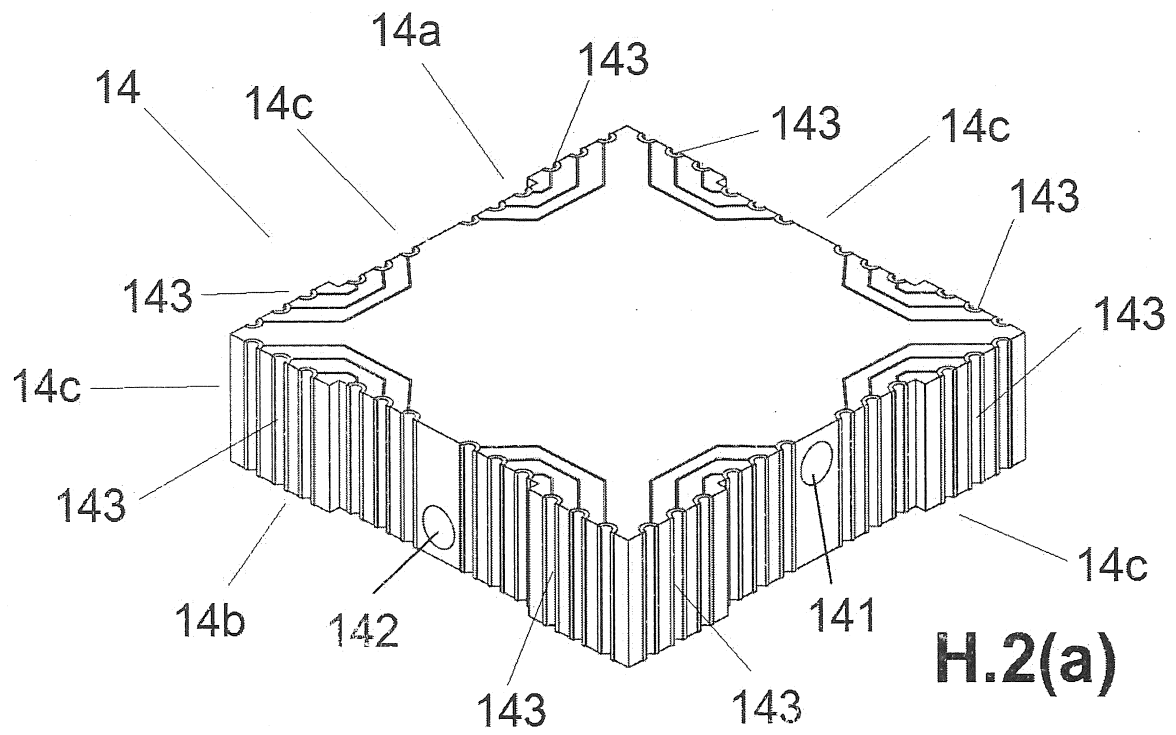
Thiết bị la bàn điện tử theo điểm 1 trong đó khối linh kiện cảm biến có chứa linh kiện cảm biến tổ hợp (10), trong đó vật liệu có tác dụng kích thích từ

trường xoay chiều của cuộn dây hình ống (13) của bộ phận cảm biến (11) là đồng.

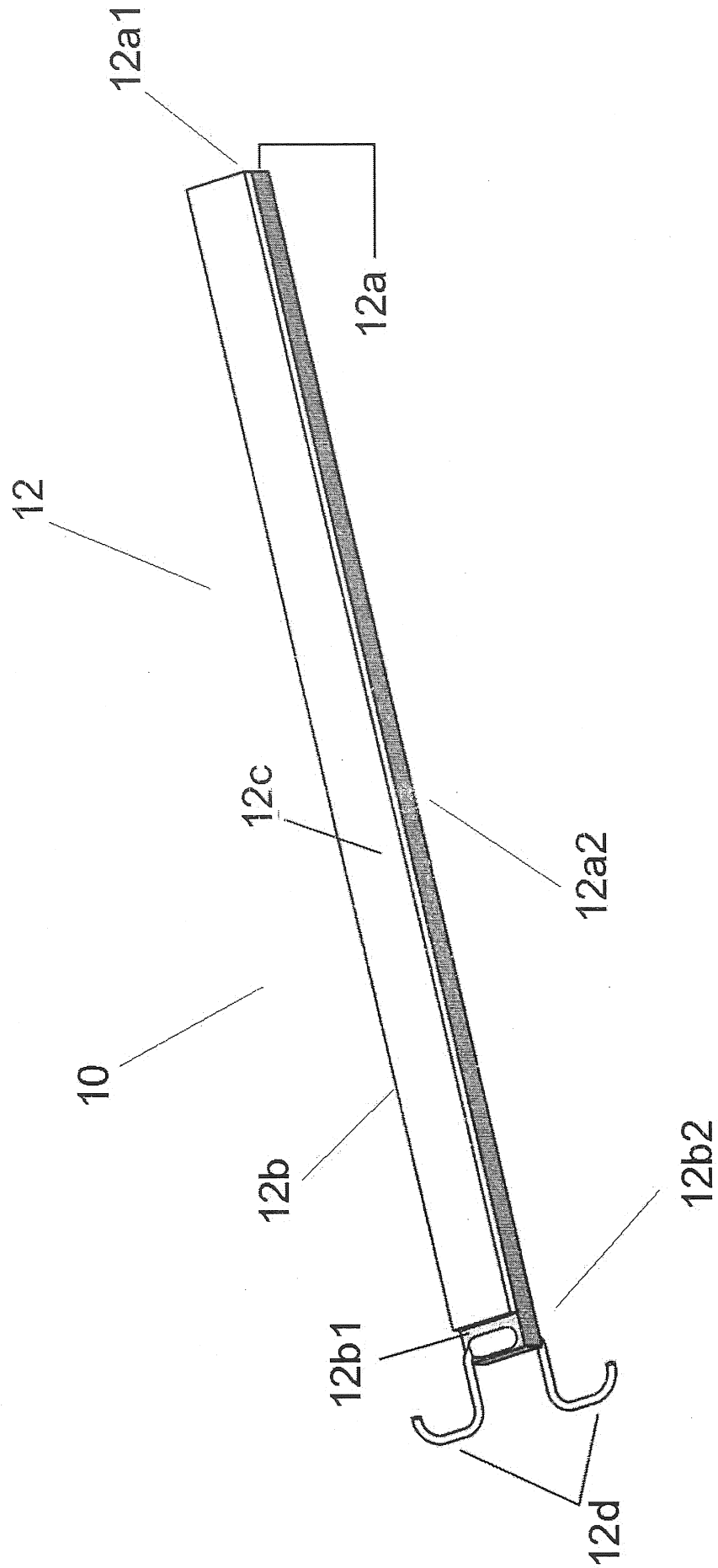
7. Thiết bị la bàn điện tử (20) theo điểm 1, trong đó màn hình hiển thị (23) có chức năng hiển thị và/hoặc chức năng điều khiển.
8. Thiết bị la bàn điện tử (20) theo điểm 7, trong đó chức năng hiển thị của màn hình hiển thị (23) của thiết bị bao gồm: hiển thị góc định hướng với từ trường đo dạng số (23a), hiển thị góc định hướng với từ trường dạng kim quay (23b), hiển thị dung lượng pin sử dụng (23c) hoặc hình nền (23d) đặc trưng cho sản phẩm.
9. Thiết bị la bàn điện tử (20) theo điểm 7, trong đó chức năng điều khiển của thiết bị (20) bao gồm: tự động chuẩn hóa, trừ nền và chế độ báo đang chạy chuẩn hóa hoặc đã kết thúc chu trình.



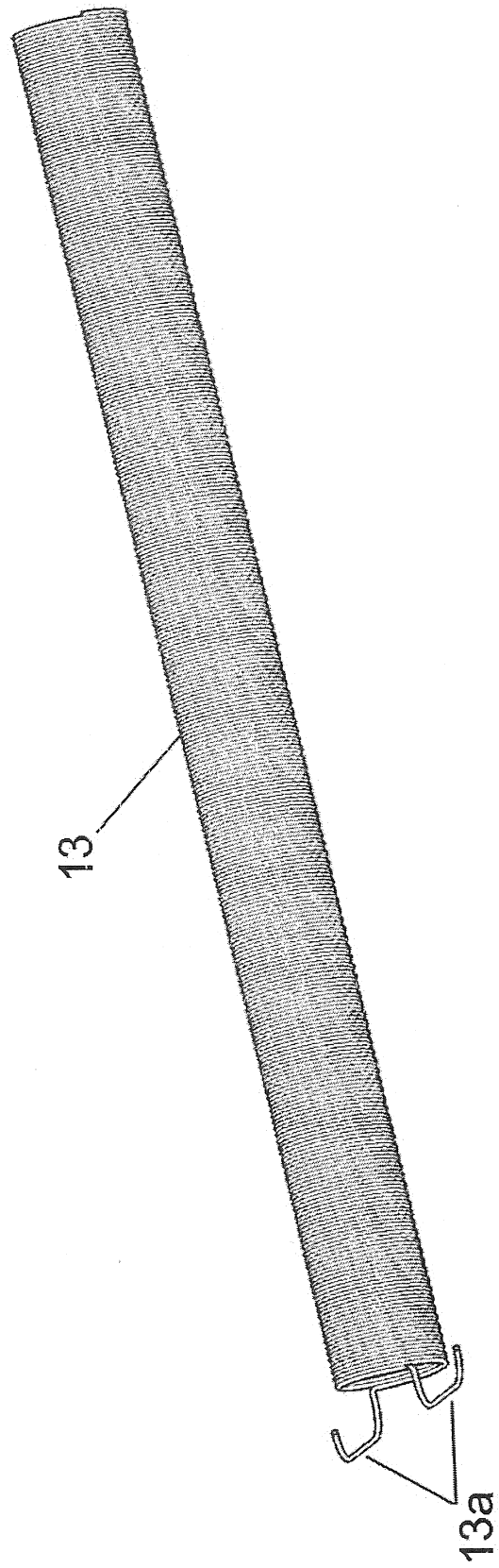
H.1



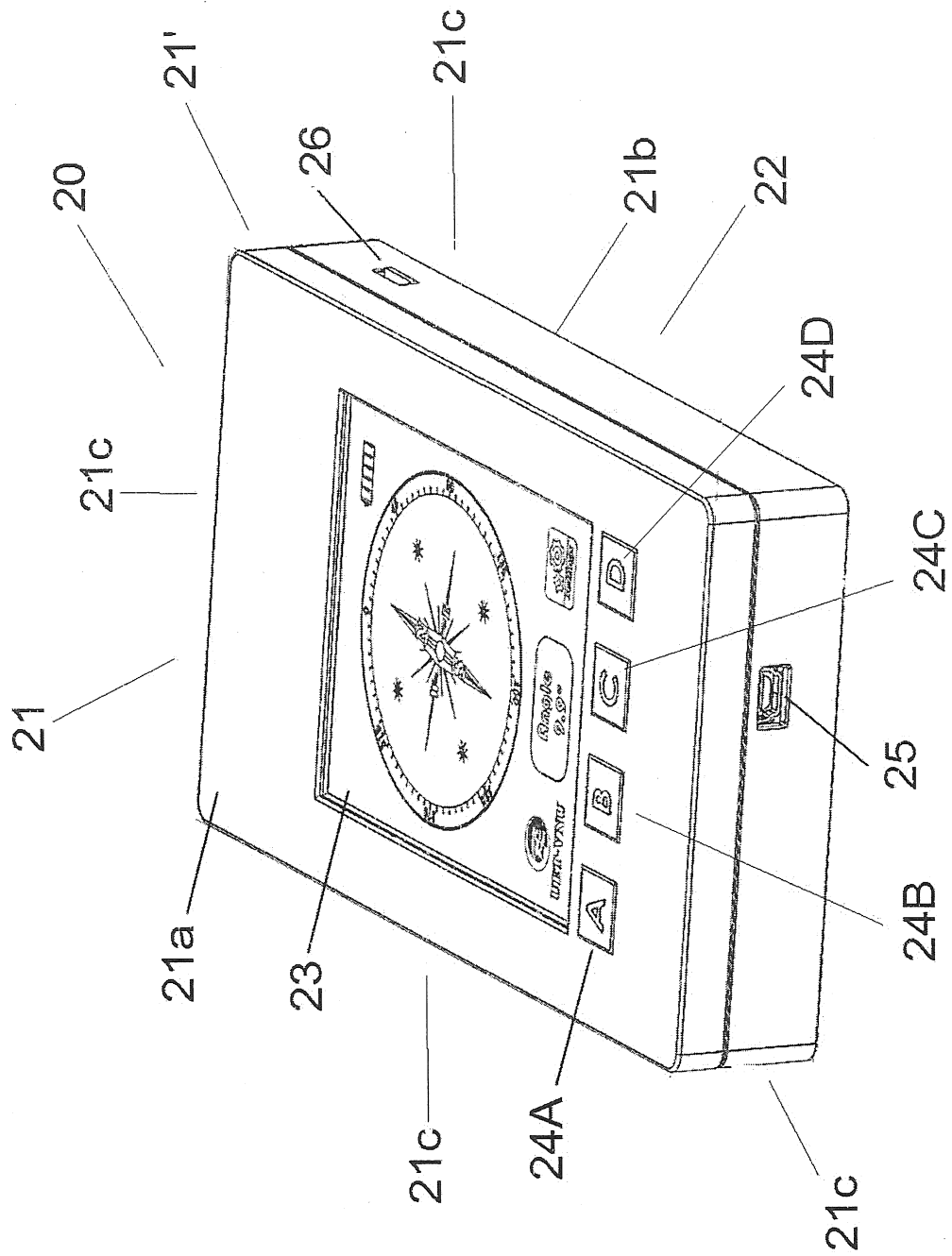
H.2(b)



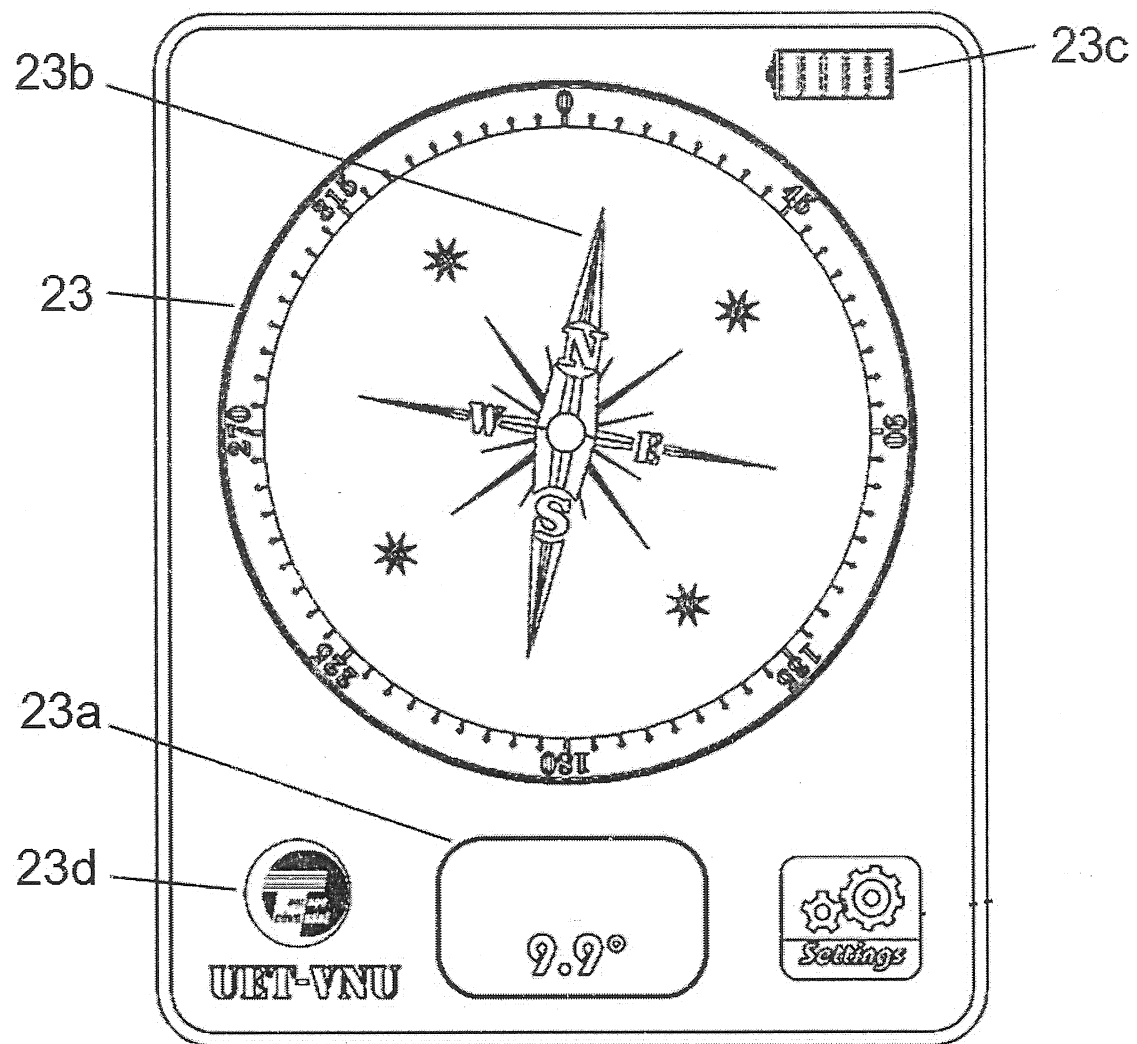
H.3

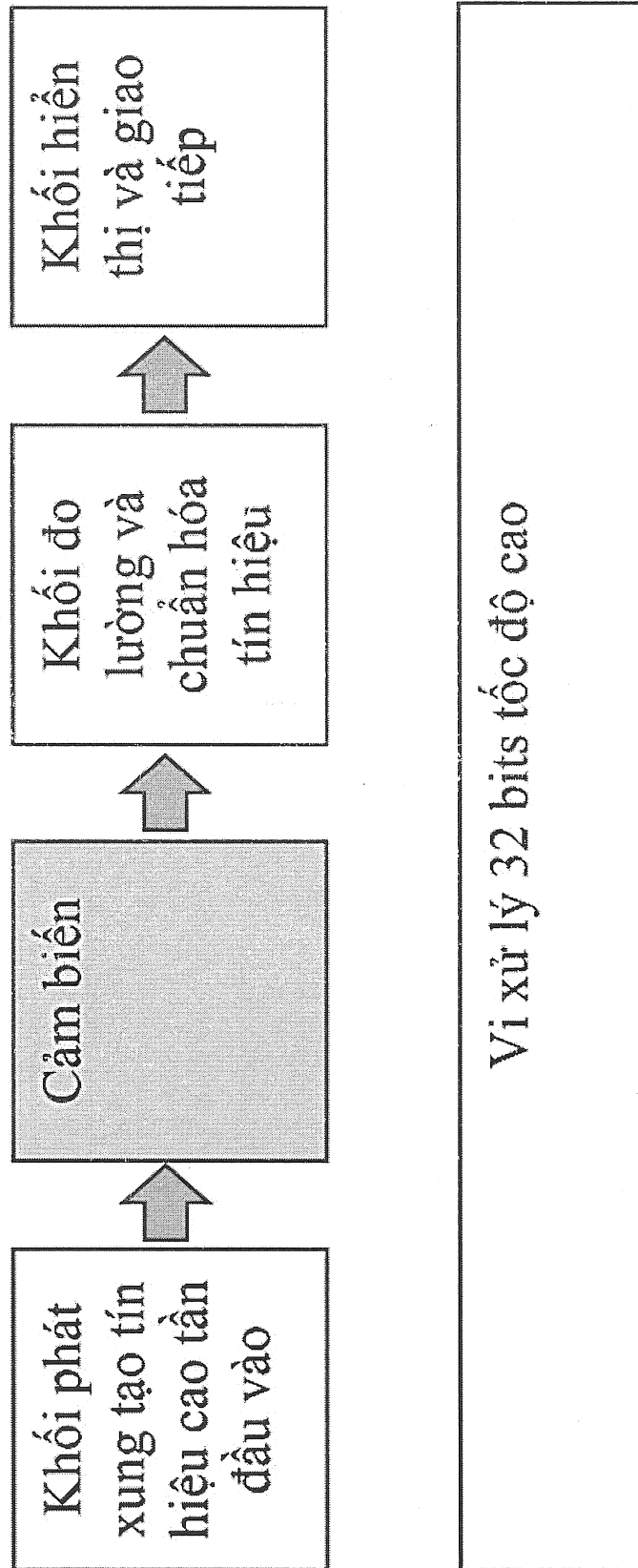


H.4

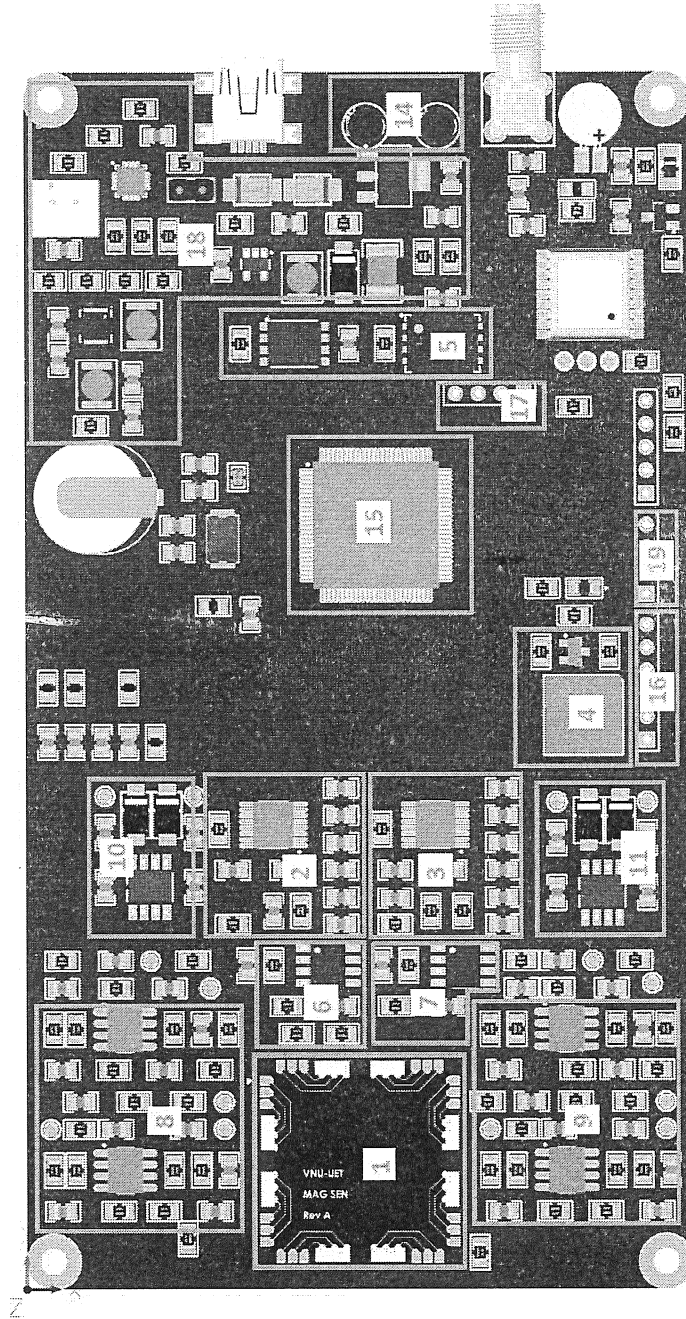


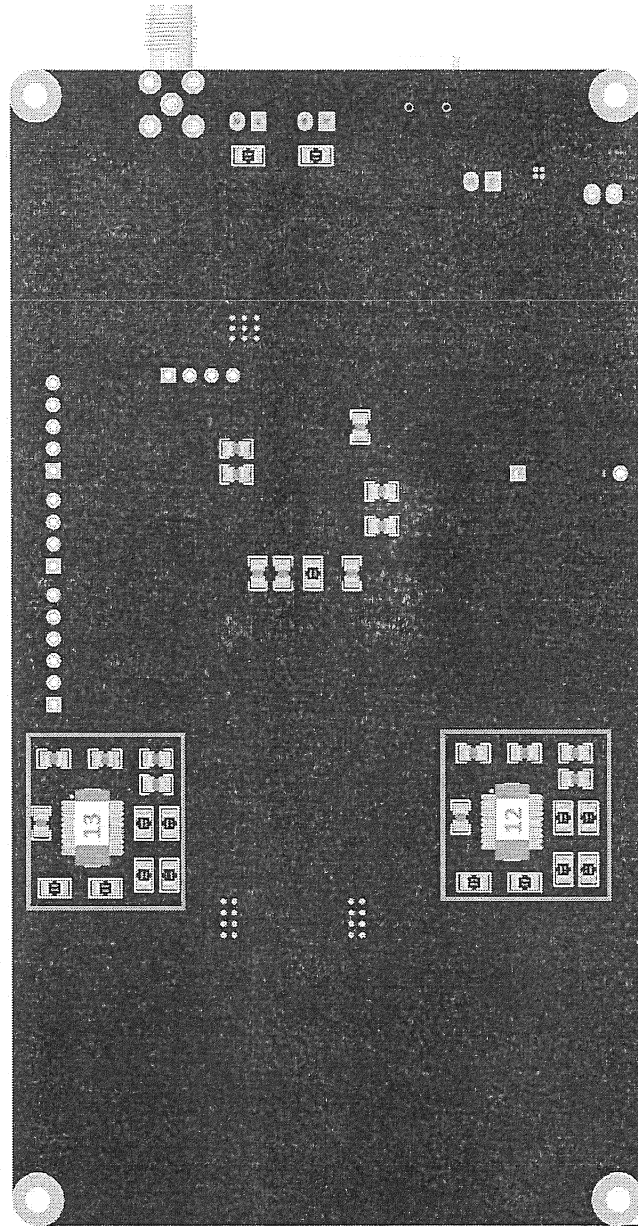
H.5

**H.6**

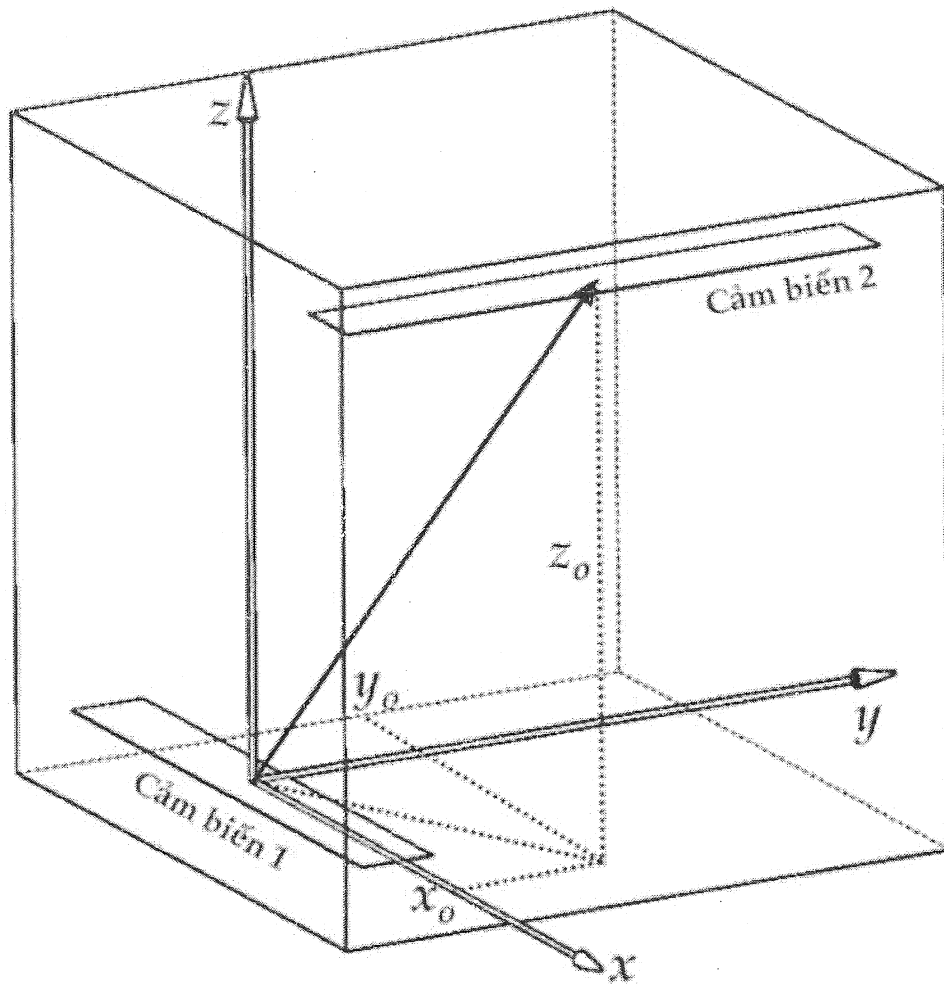


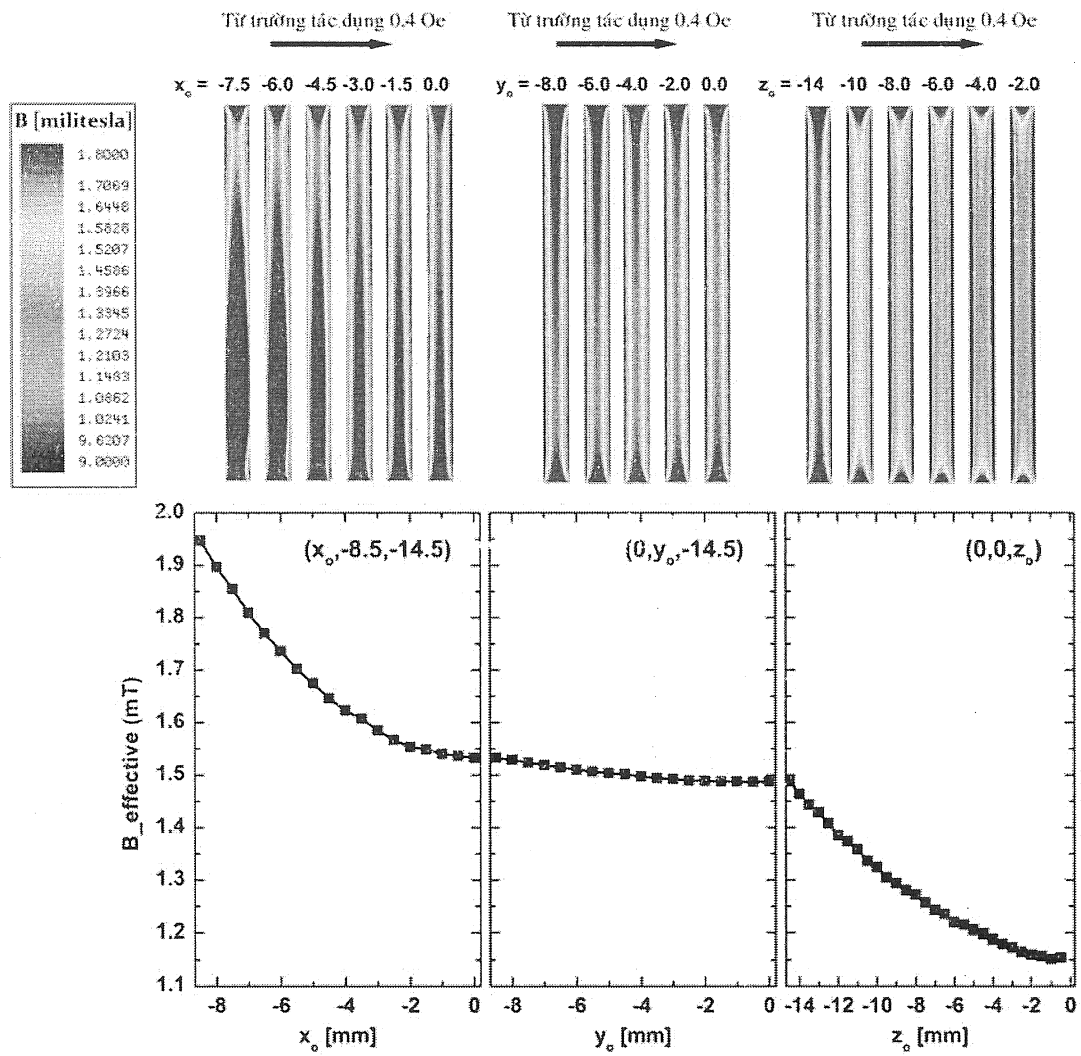
H.7

**H.8(a)**

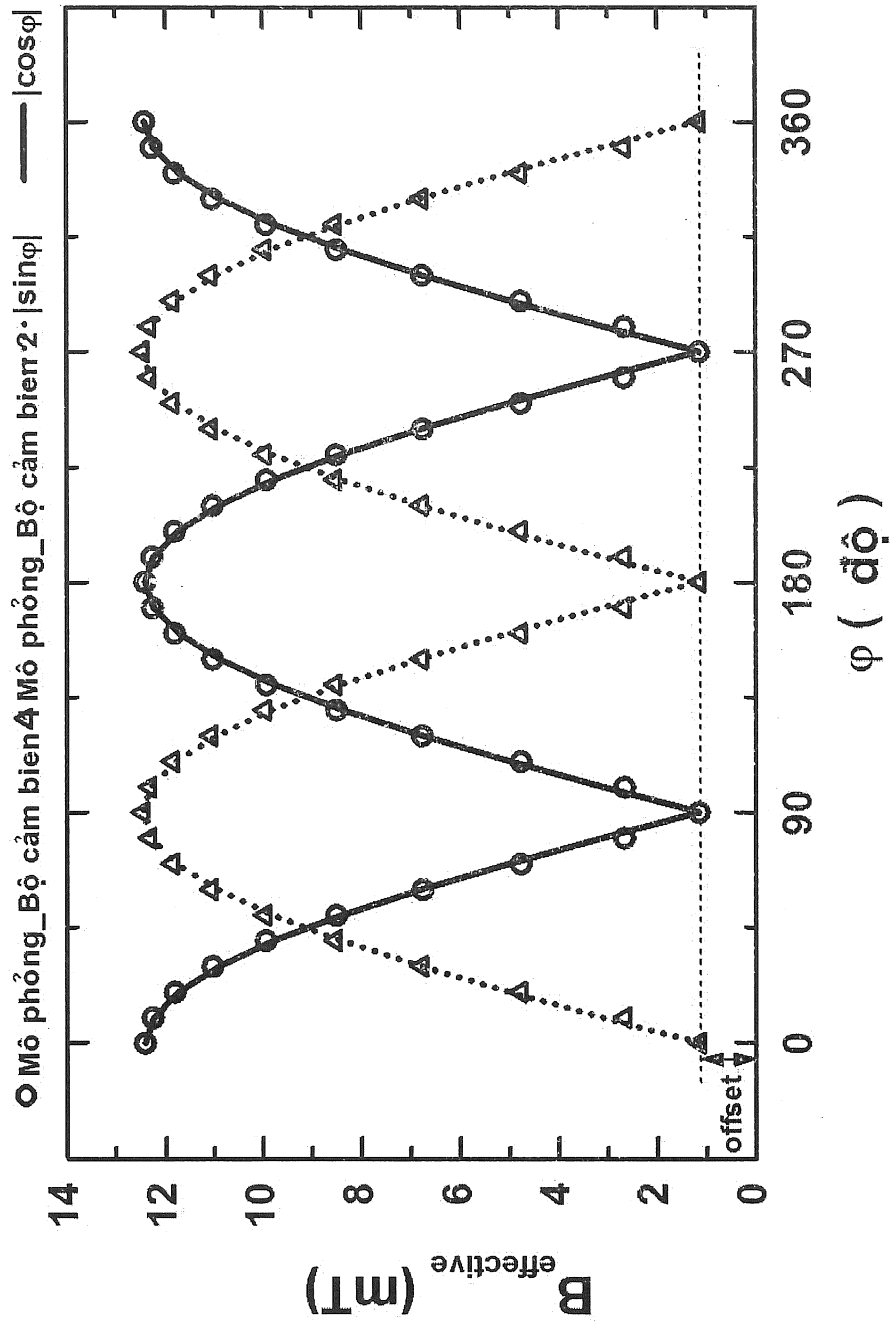


H.8(b)

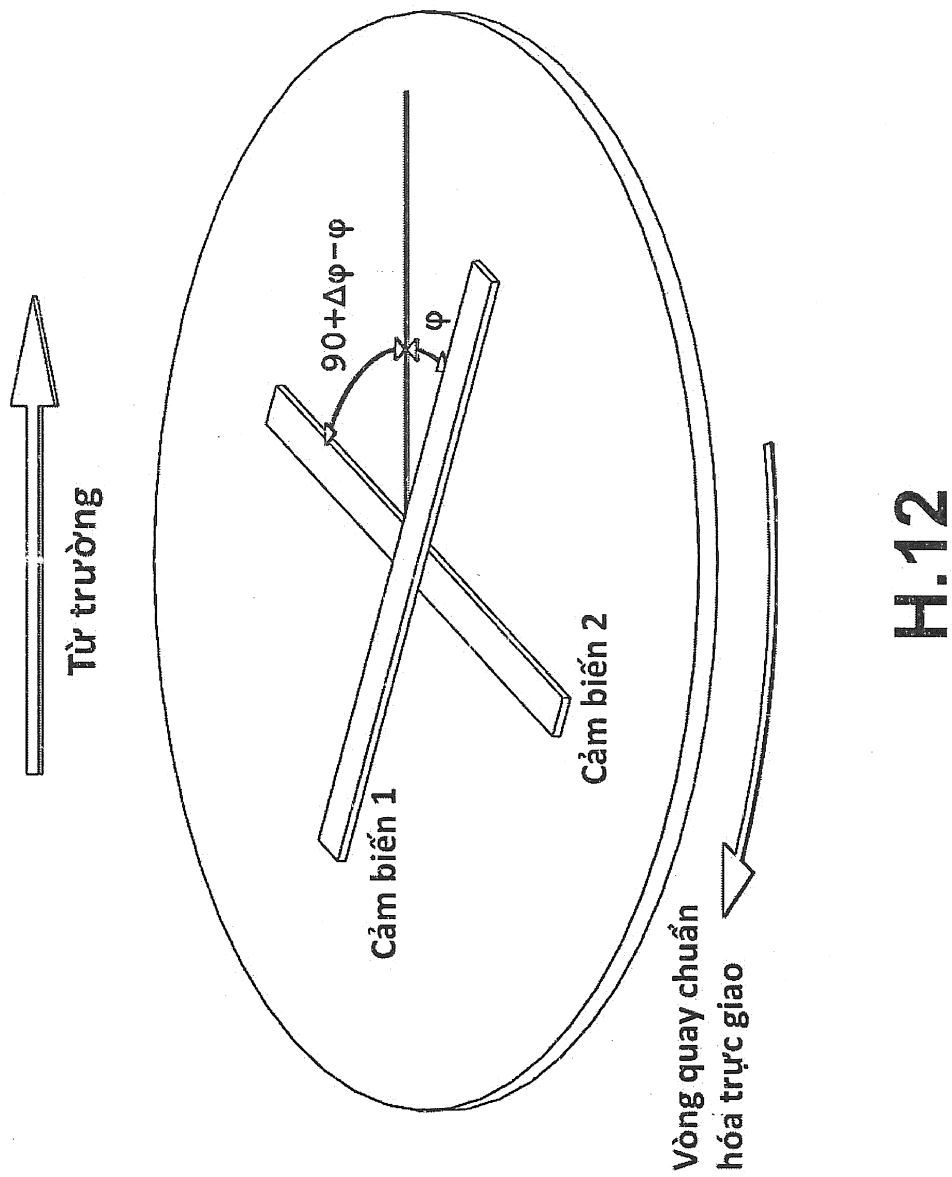
**H.9**



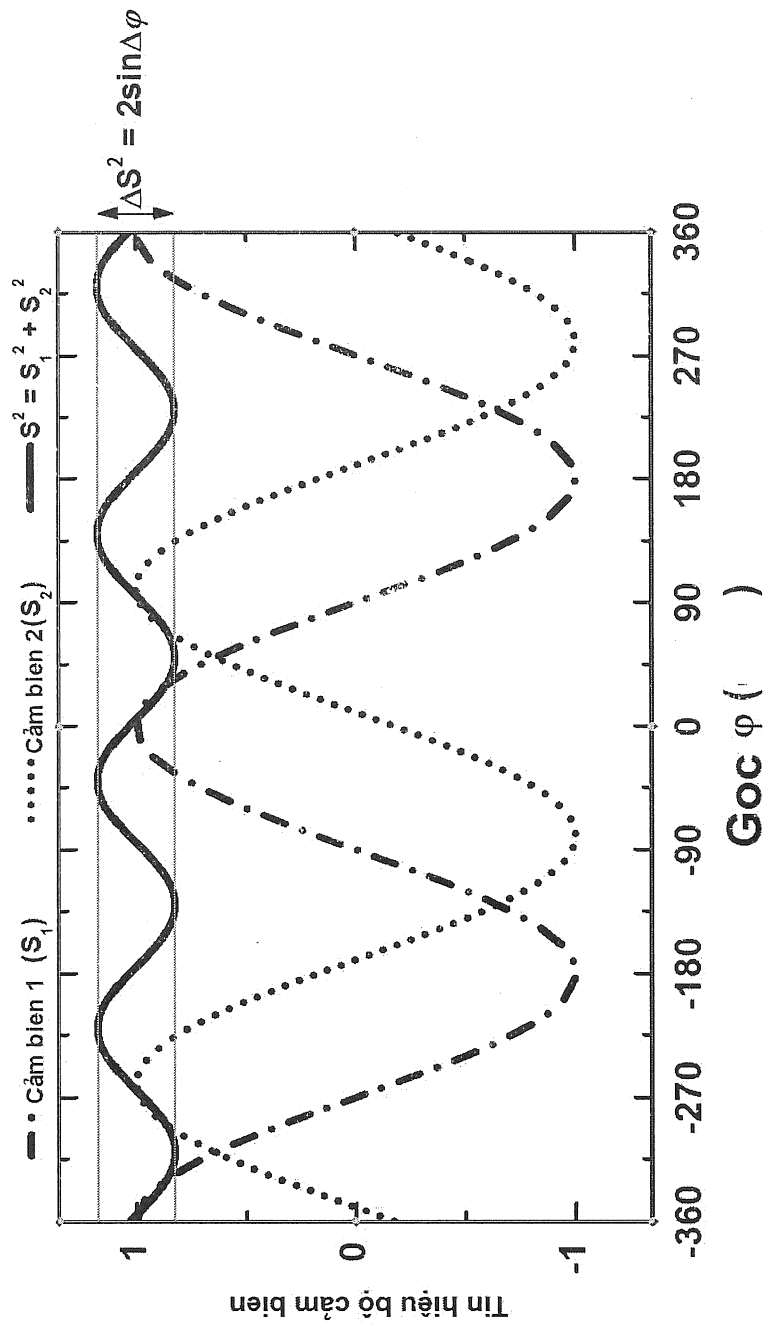
H.10



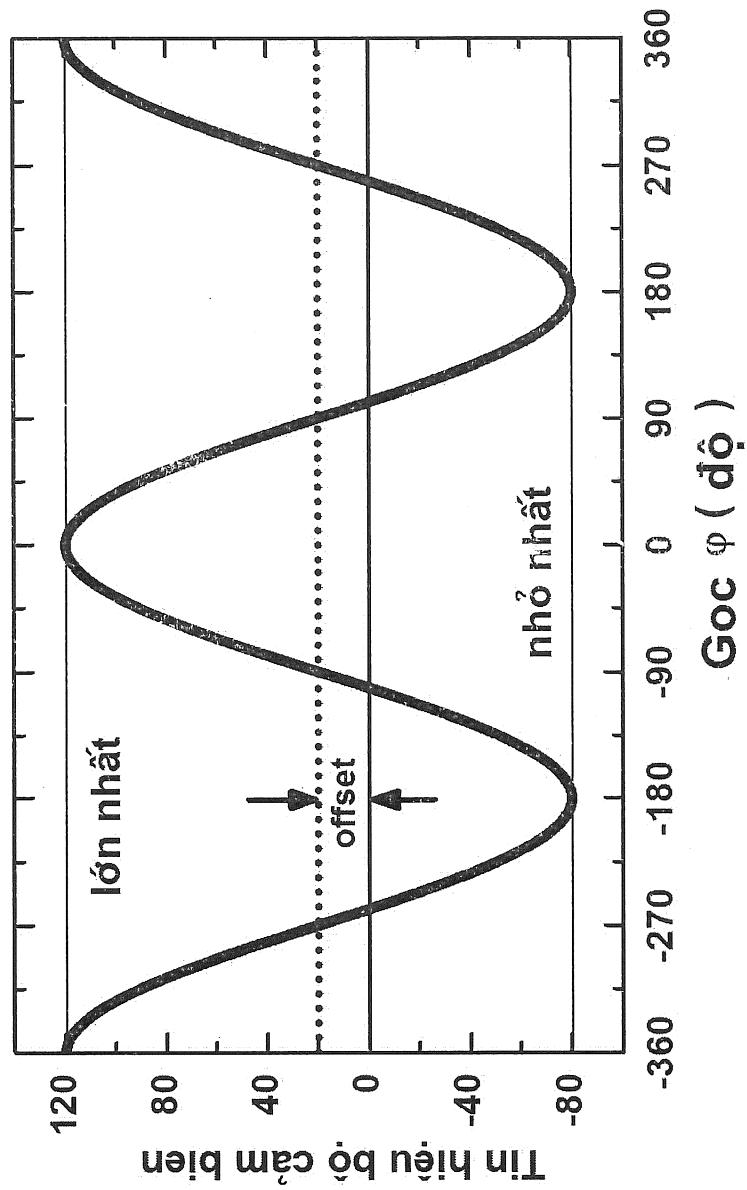
H.11



H.12

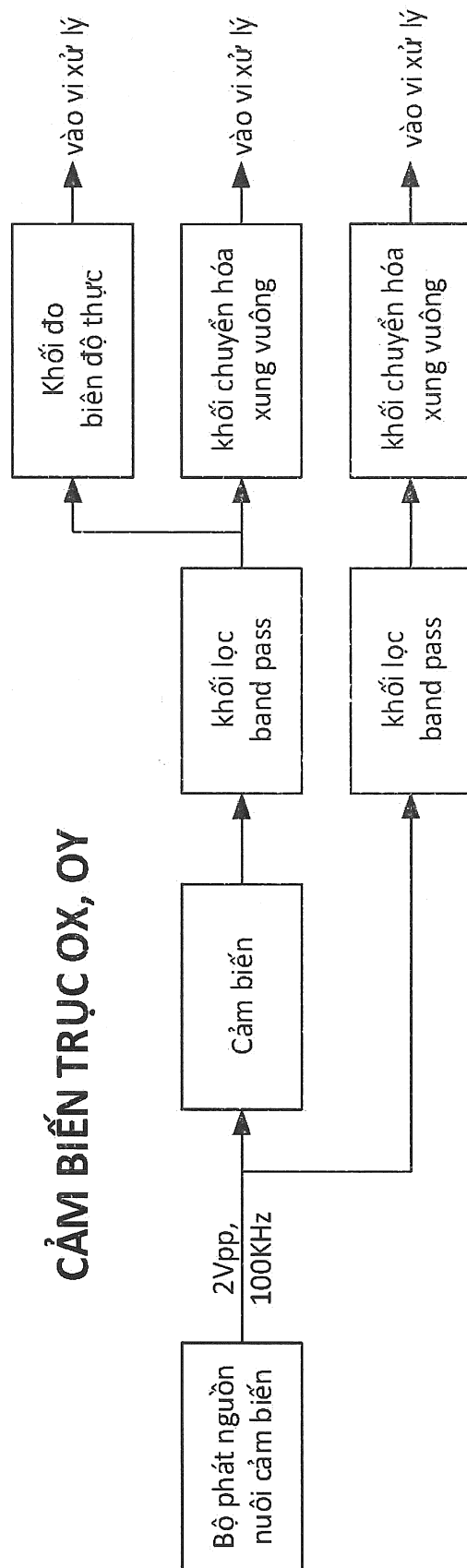


H.13

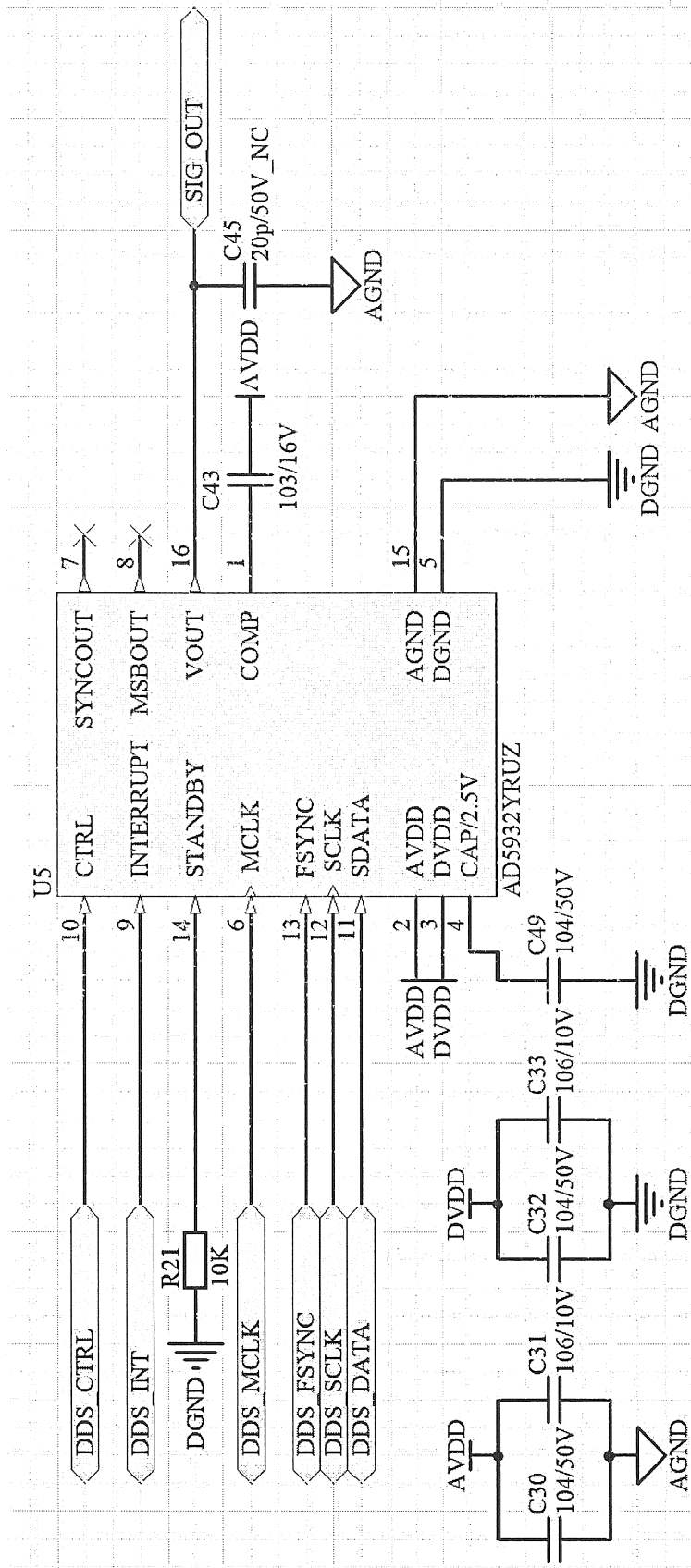


H.14

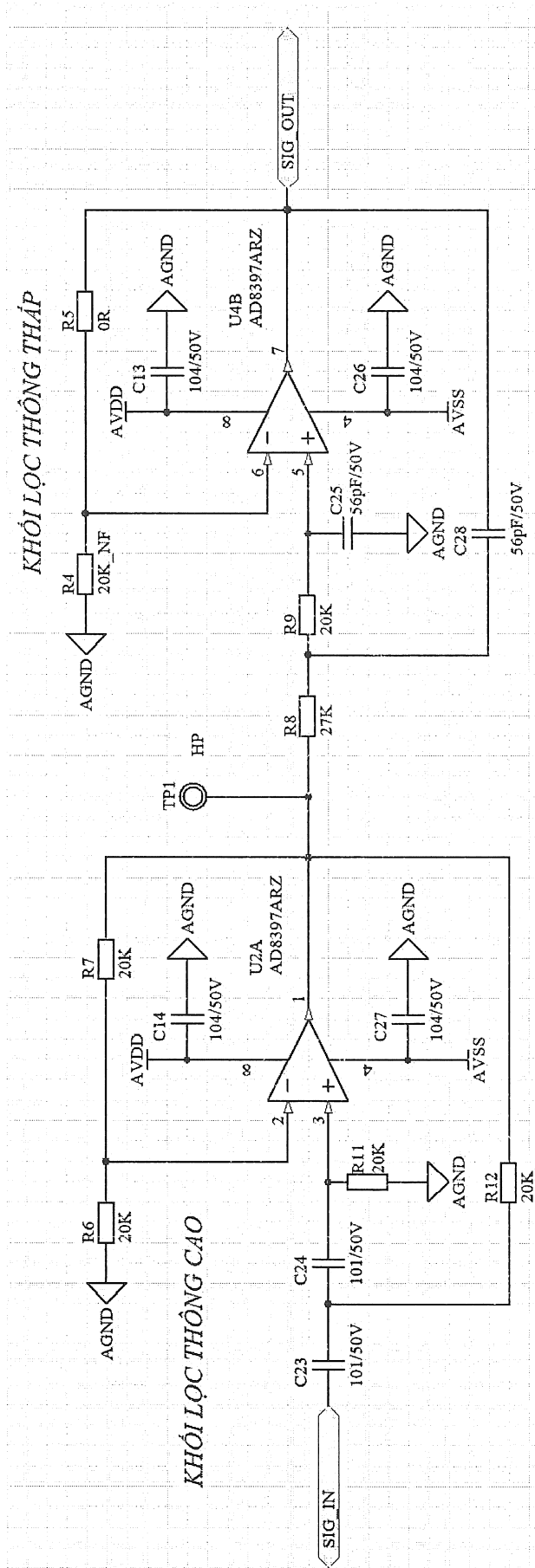
CẢM BIẾN TRỰC OX, OY



H.15

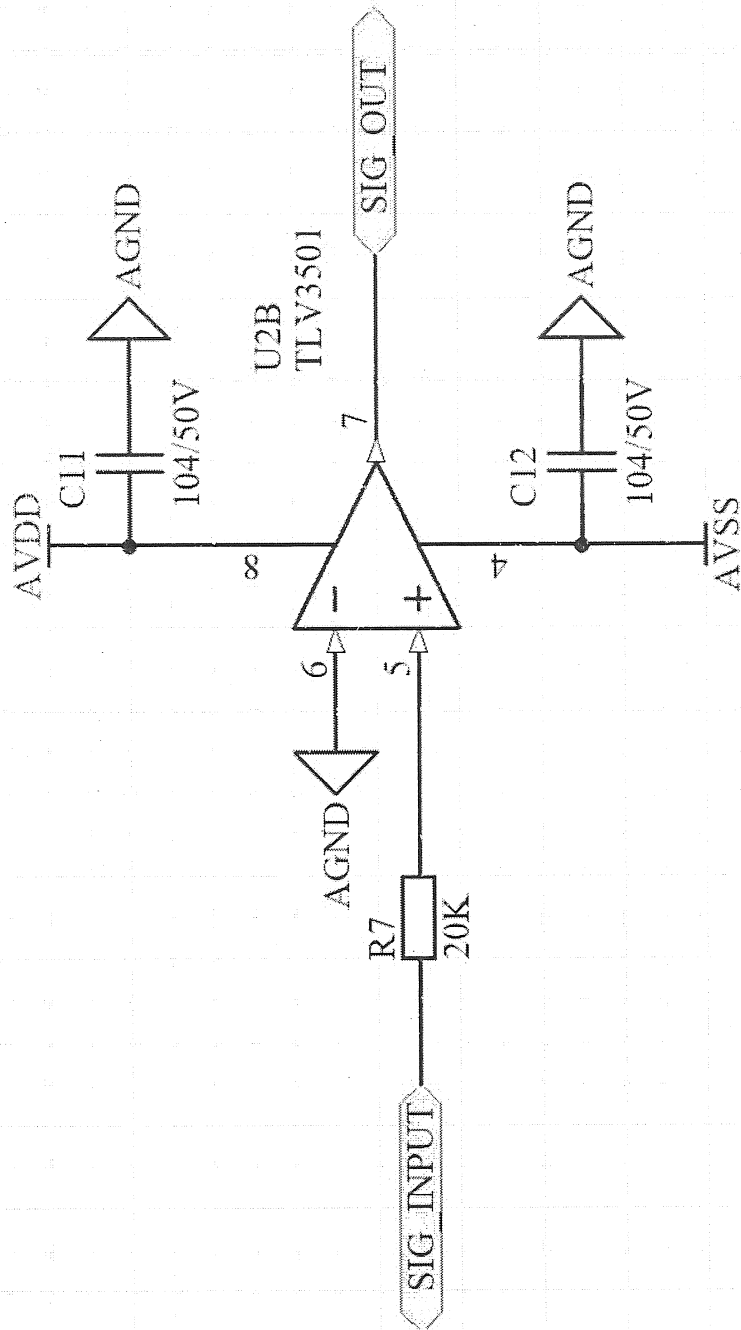


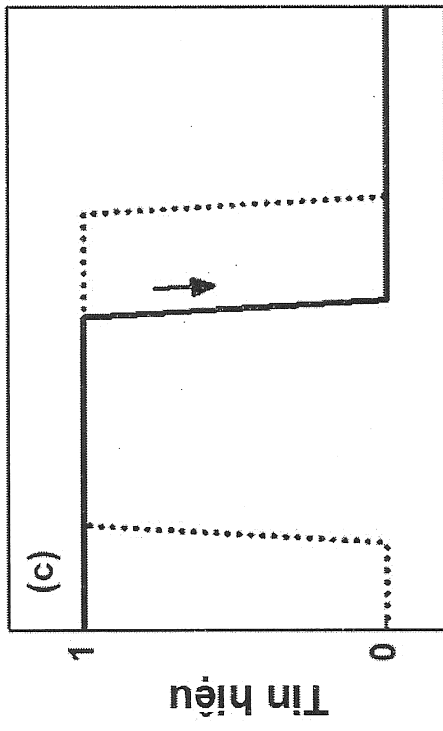
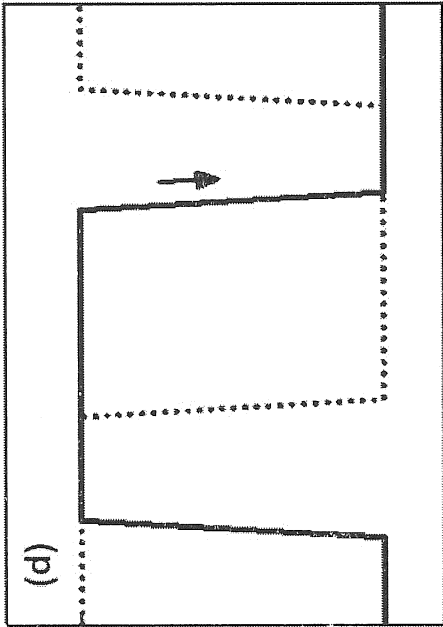
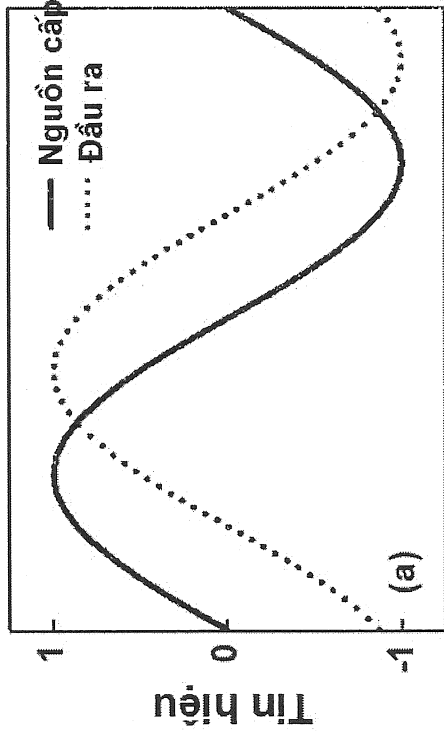
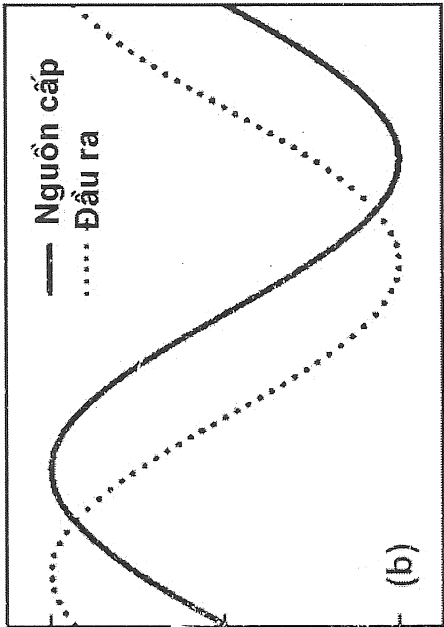
H.16



H.17



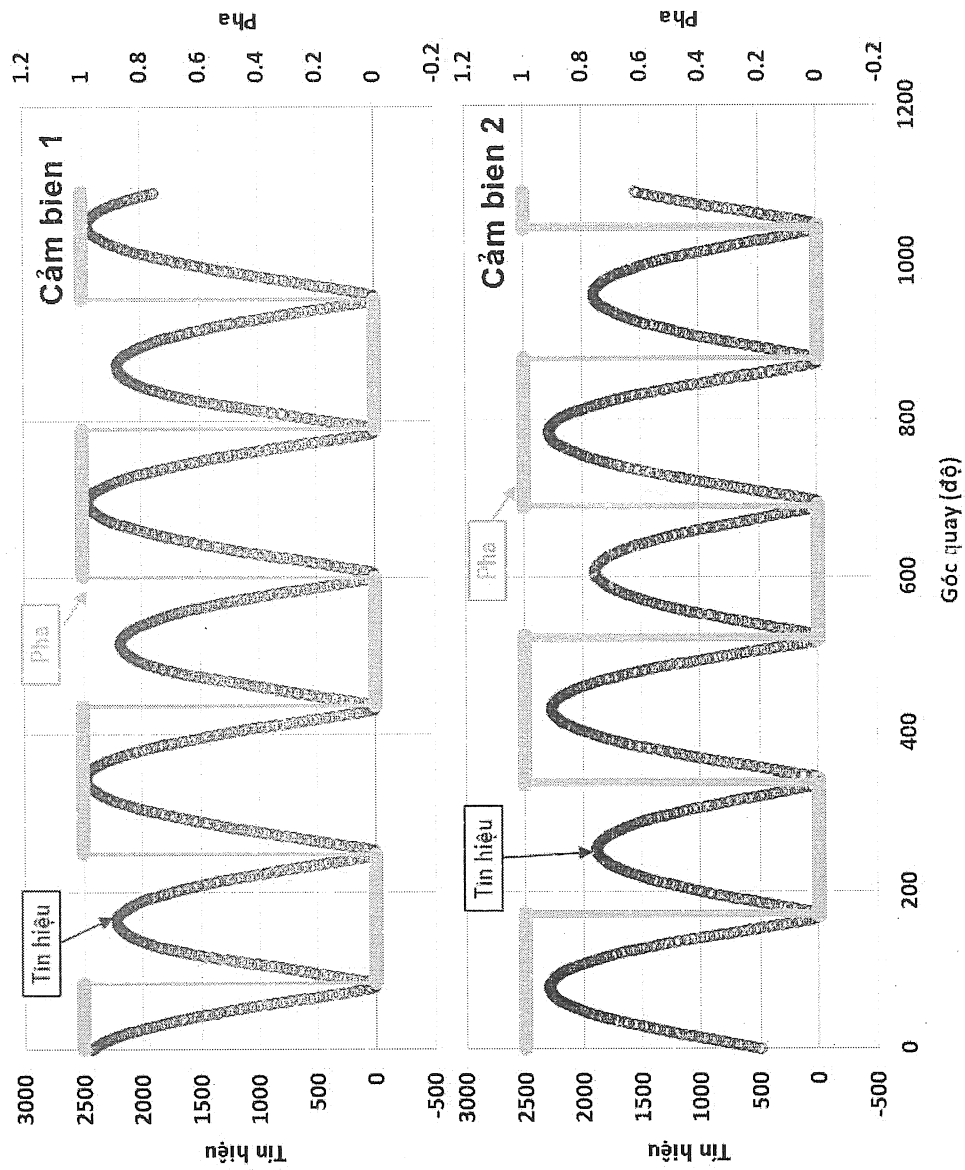
**H.19**



Thời gian

Thời gian

H.20



H.21

```

void calib_compass(void)
{
    max_ph0_ox = 0; max_ph1_ox = 0;
    max_ph0_oy = 0; max_ph1_oy = 0;
    while (calib_state == CALIB_RUNNING)
    {
        if (PHASE_OX == Bit_RESET)
        {
            if (adc_ox > max_ph0_ox) max_ph0_ox = adc_ox;
        }
        else
        {
            if (adc_ox > max_ph1_ox) max_ph1_ox = adc_ox;
        }
        if (PHASE_OY == Bit_RESET)
        {
            if (adc_oy > max_ph0_oy) max_ph0_oy = adc_oy;
        }
        else
        {
            if (adc_oy > max_ph1_oy) max_ph1_oy = adc_oy;
        }
    }
    offset_ox = (int32_t) (max_ph1_ox - max_ph0_ox) / 2;
    offset_oy = (int32_t) (max_ph1_oy - max_ph0_oy) / 2;
    max_ox = (max_ph0_ox + max_ph1_ox) / 2;
    max_oy = (max_ph0_oy + max_ph1_oy) / 2;
}

```

H.22

```

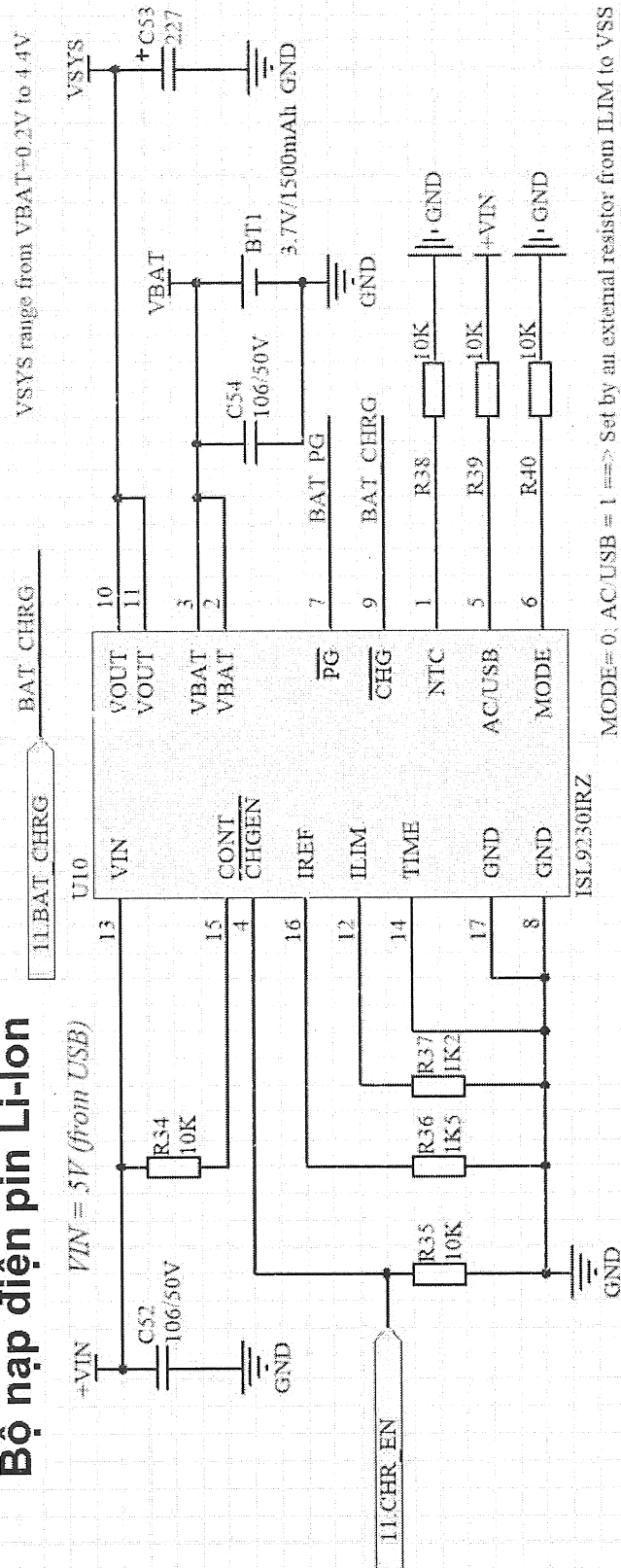
double cal_heading(double s1, double s2, double d_fi)
{
    double angle;
    double top,bottom;

    if ((d_fi == 0) & (s2 == 0) & (s1 > 0)) angle = 0;
    else if ((d_fi == 0) & (s2 == 0) & (s1 < 0)) angle = pi;
    else {
        double tan_fi, tan_fi_2;
        double s1_2, s2_2;
        tan_fi = tan(d_fi/2);
        tan_fi_2 = pow(tan_fi,2);
        s1_2 = pow(s1,2);
        s2_2 = pow(s2,2);
        top = s1*tan_fi_2 - s1 - sqrt((tan_fi_2+1)*(s1_2*tan_fi_2 + s2_2*tan_fi_2 + s1_2 + s2_2));
        bottom = 2*s1*tan_fi+s2*tan_fi_2+s2;
        angle = 2 * atan2(top,bottom) + pi;
        if (angle < 0) angle += 2*pi;
    }
    return angle;
}

```

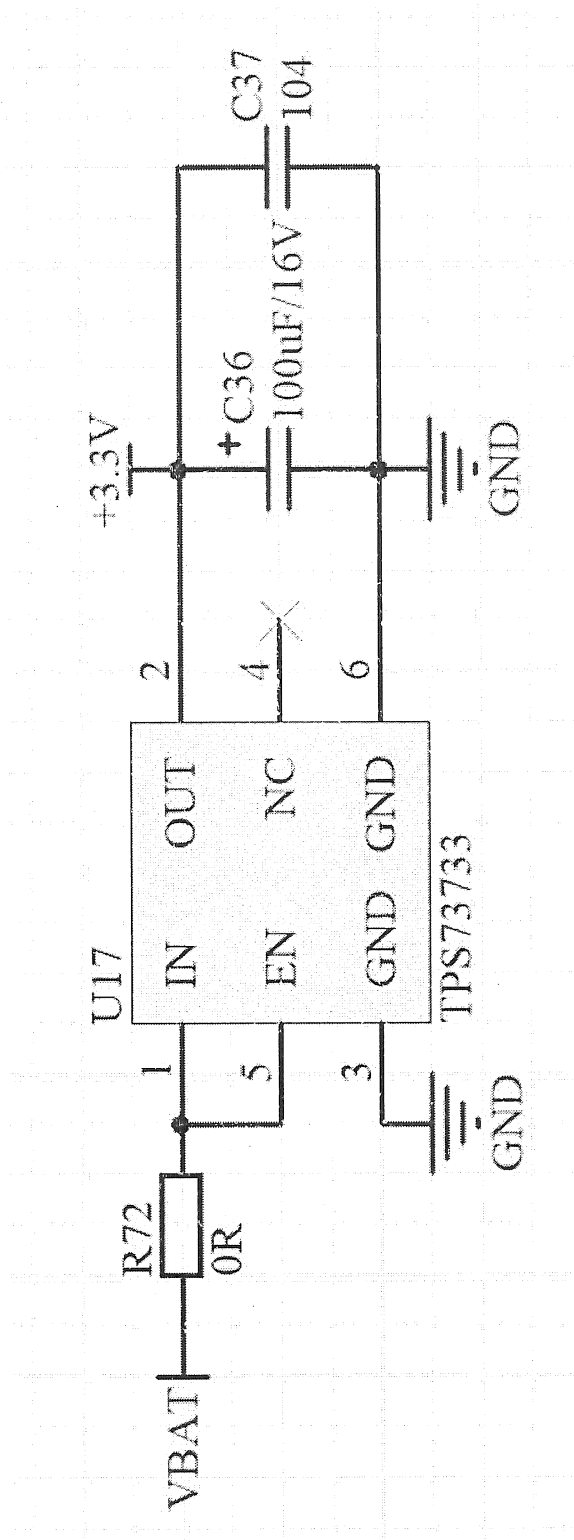
H.23

Bộ nạp điện pin Li-Ion

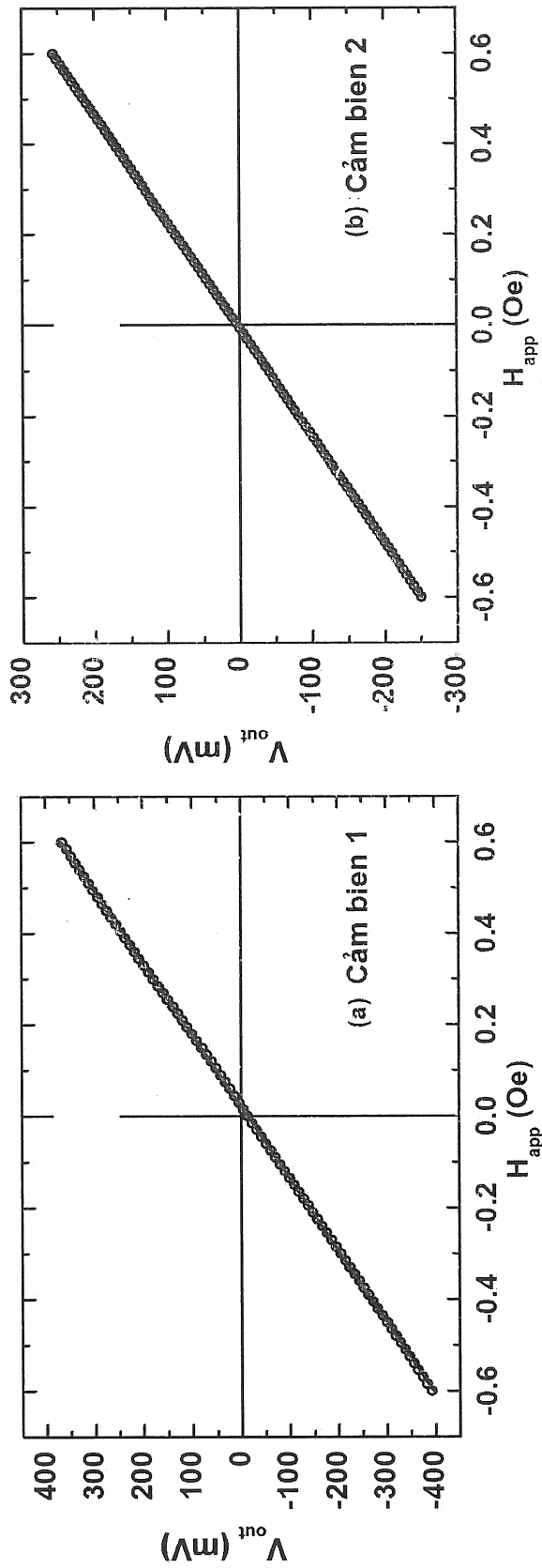


H.24

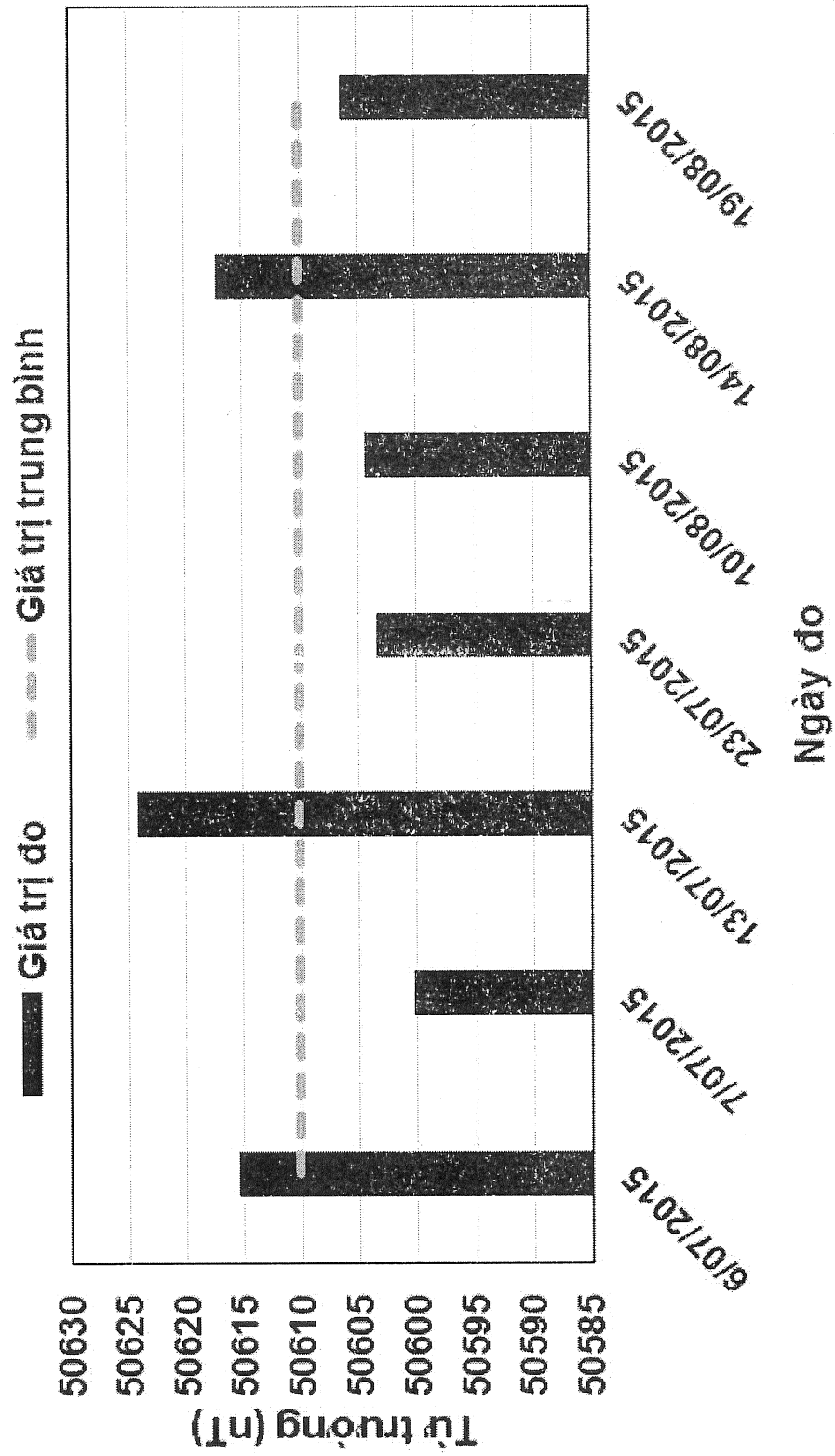




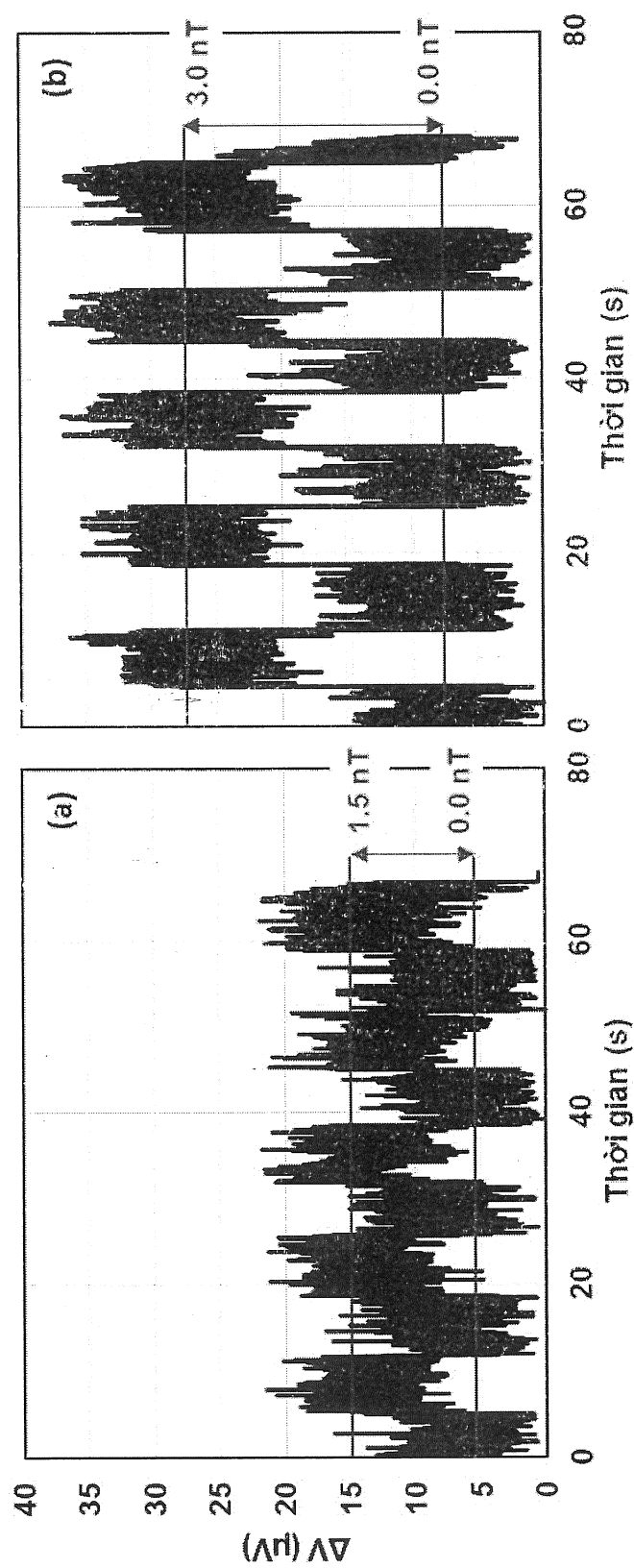
H.26



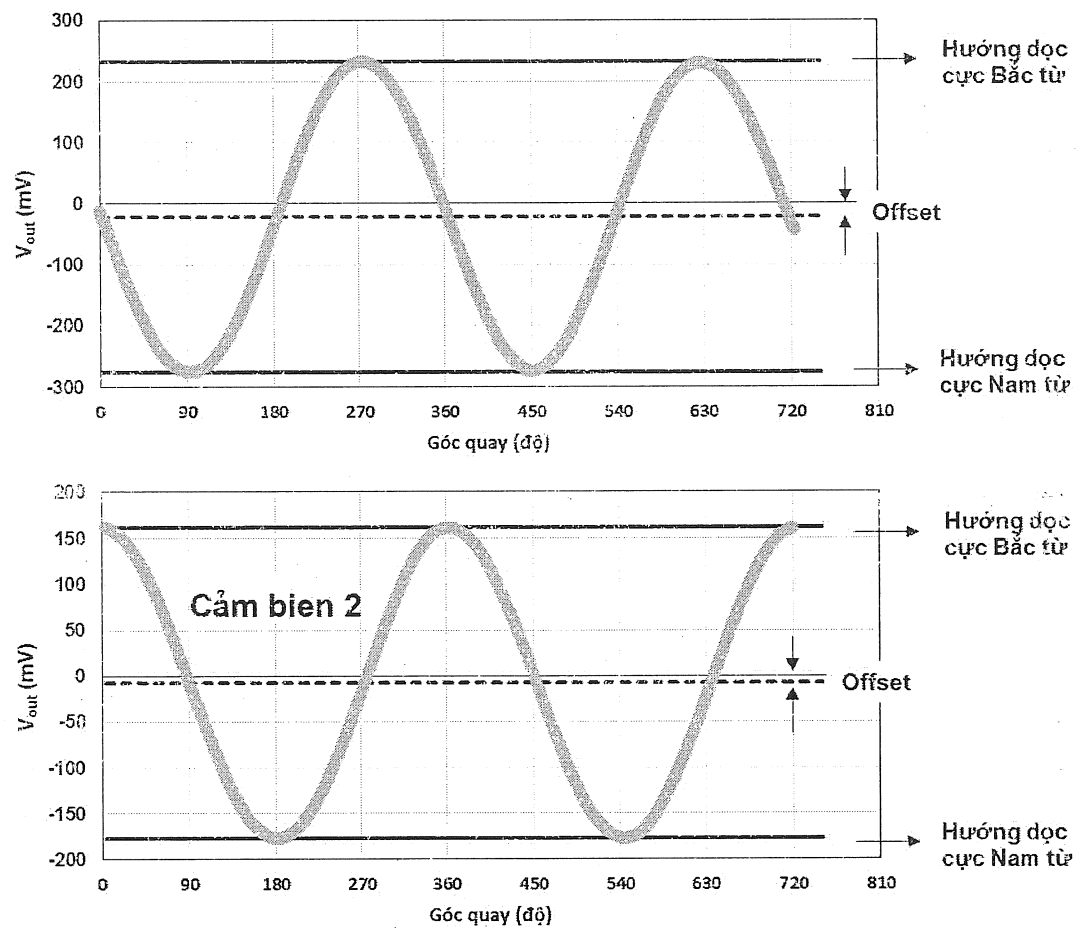
H.27



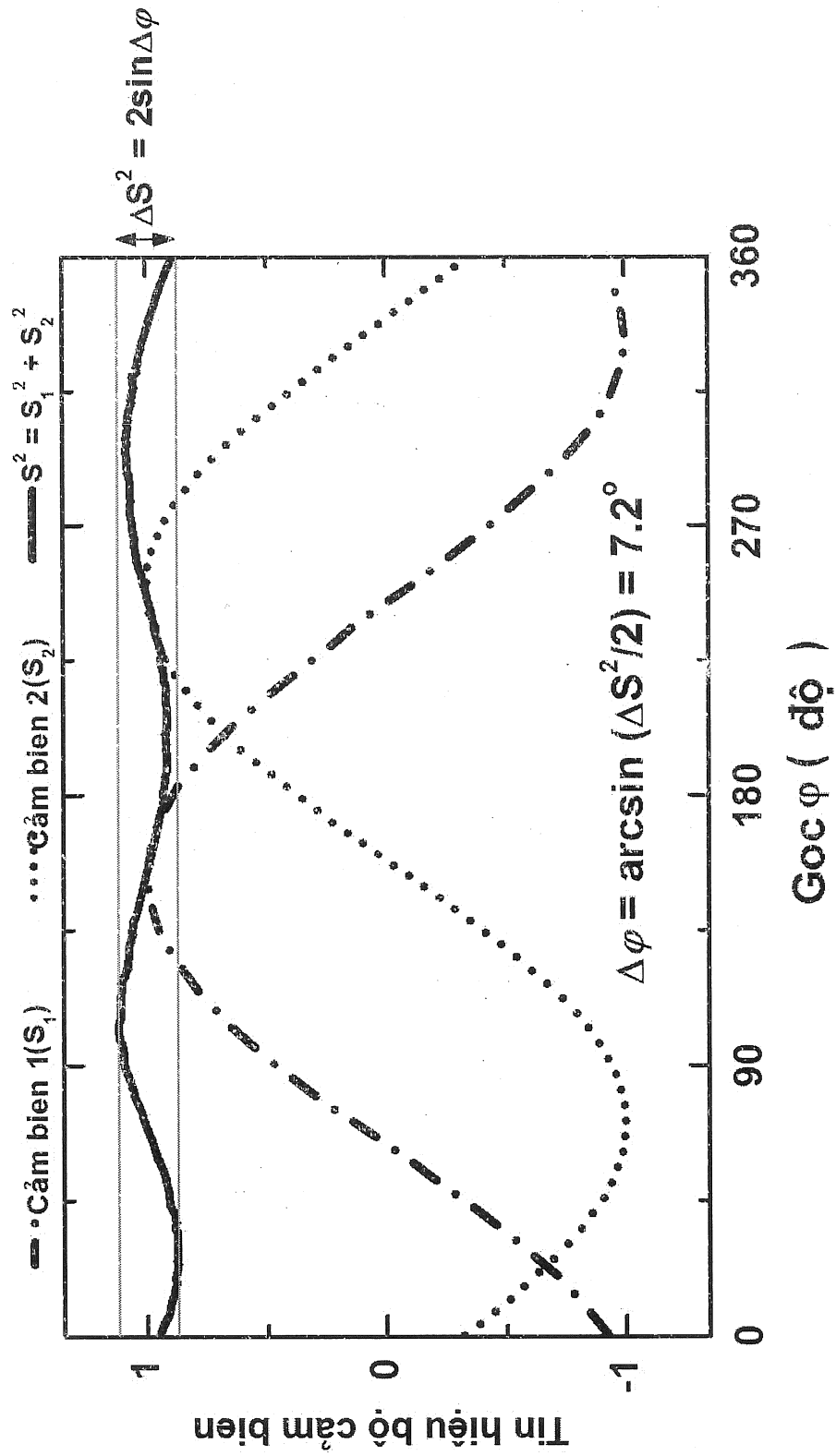
H.28



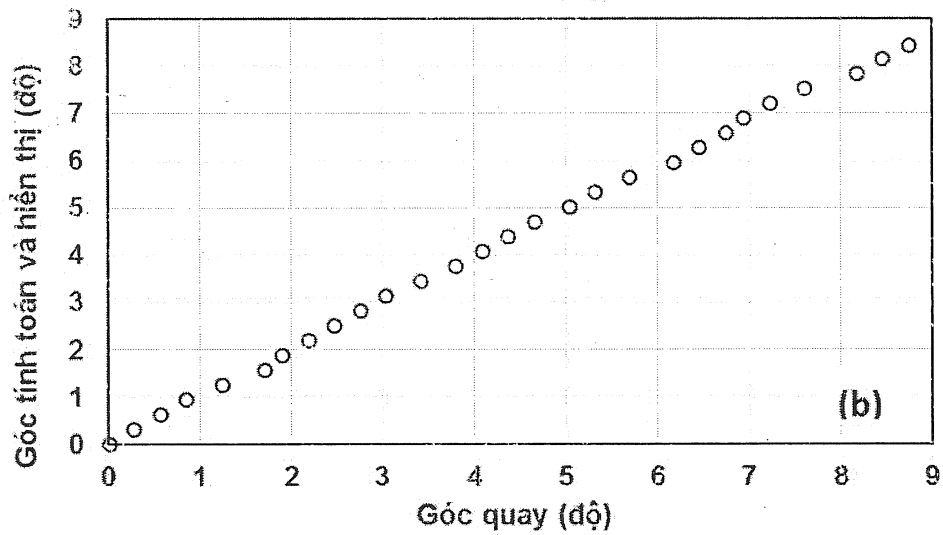
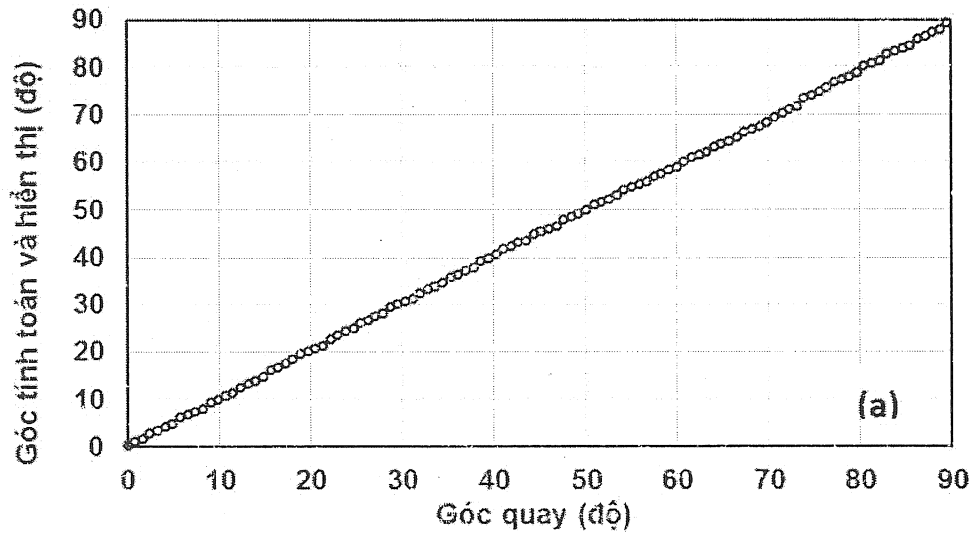
H.29



H.30



H.31



H.32

**H.33**