



(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)



1-0036127

(51)^{2020.01} G01R 33/00

(13) B

(21) 1-2020-02028

(22) 09/04/2020

(45) 26/06/2023 423

(43) 25/08/2020 389ASC

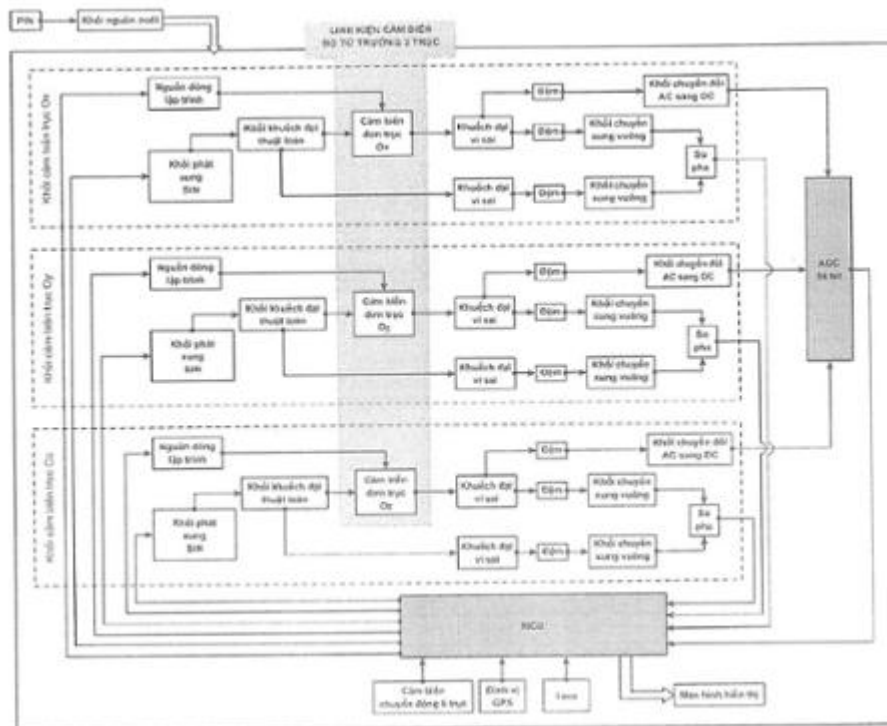
(73) Trường Đại học Công Nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội (VN)

Nhà E3, 144 Xuân Thủy, phường Quan Hoa, quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội

(72) Đỗ Thị Hương Giang (VN); Hồ Anh Tâm (VN); Nguyễn Việt Hùng (VN); Nguyễn Thị Ngọc (VN); Nguyễn Hữu Đức (VN); Phùng Anh Tuấn (VN); Trịnh Đình Cường (VN); Đỗ Đình Dương (VN); Nguyễn Bá Biên (VN).

(54) LINH KIỆN CẢM BIẾN NHẠY TỪ TRƯỜNG ĐƠN TRỰC VÀ PHƯƠNG PHÁP CHẾ TẠO LINH KIỆN NÀY, LINH KIỆN CẢM BIẾN ĐO TỪ TRƯỜNG BA TRỰC VÀ THIẾT BỊ ĐO TỪ TRƯỜNG TRÁI ĐẤT ĐIỆN TỬ CÓ CHỨA LINH KIỆN CẢM BIẾN NÀY

(57) Sáng chế đề cập đến linh kiện nhạy cảm biến đơn trực (1) cho phép đo và xác định thành phần từ trường dọc theo trục cảm biến cả về cường độ và dấu (cùng hướng hay ngược hướng của trục cảm biến). Đây là bộ phận cảm biến hoạt động dựa trên hiệu ứng tổ hợp từ - điện có độ nhạy, độ phân giải cao, độ ổn định và lặp lại cao nhờ sử dụng vật liệu với cấu hình thiết kế và chế tạo phù hợp. Mục đích khác của sáng chế là chế tạo linh kiện cảm biến ba trục (18) có kết cấu bao gồm ba linh kiện cảm biến đơn trực (1) ở trên được bố trí theo ba cạnh vuông góc không chung đỉnh với nhau trong một hình hộp lập phương. Mục đích khác của sáng chế là đề xuất thiết bị điện tử đo từ trường trái đất có kết cấu bao gồm linh kiện cảm biến ba trục (18) ở trên kết nối với mạch điện tử có chức năng đo lường và xử lý tín hiệu số và hệ thống cảm biến chuyển động. Mục đích khác của sáng chế là tạo ra hệ thống đo và vẽ từ trường trái đất có sử dụng thiết bị điện tử đo từ trường trái đất ba trục ở trên tích hợp với hệ thống định vị GPS và hệ thống truyền phát không dây đáp ứng yêu cầu của thiết bị với độ phân giải từ trường 10^{-1} nT tuyến tính trong toàn dải đo từ -120.000nT đến 120.000nT và độ phân giải góc 10^{-1} độ. Hệ thống cho phép định vị vị trí trong không gian với độ chính xác cỡ 3m và truyền phát không dây trong bán kính lên đến 8km.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Nói chung, sáng chế liên quan đến lĩnh vực đo lường điện từ. Cụ thể hơn, sáng chế đề cập đến phương tiện để đo lường các đại lượng vật lý và chuyển đổi tín hiệu cần đo này thành dạng tín hiệu tiện lợi cho người quan sát. Khác biệt ở chỗ, sáng chế đề cập tới linh kiện cảm biến đo từ trường ba trục có kết cấu gồm ba linh kiện cảm biến nhảy từ trường đơn trục được bố trí vuông góc với nhau trong một khối lập phương, và phương pháp chế tạo, và thiết bị đo từ trường trái đất điện từ tích hợp với hệ thống định vị GPS và truyền phát không dây có linh kiện cảm biến này phục vụ mục đích khảo sát, đo vẽ từ trường Trái Đất ứng dụng trong công tác thăm dò và vẽ bản đồ từ trường.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Một thiết bị đo từ trường trái đất phục vụ cho vẽ bản đồ từ trường hiện có trên thị trường như được thể hiện trên H.0 được thiết kế bao gồm các khối chức năng chính sau đây:

- Đầu đo nhảy từ trường (cảm biến) với độ phân giải và độ nhạy cao làm việc trong vùng từ trường trái đất (từ 20 đến 65 microTesla (μT)).
- Mạch điện tử đo, xử lý tín hiệu, thu nhận tín hiệu trực tiếp hoặc phát, thu đến các trạm trung tâm cho ra ba thành phần từ trường và từ trường tổng cộng đồng thời góc định hướng của từ trường tổng cộng với độ chính xác cao.
- Hệ thống định vị GPS (anten, mạch điện tử) xác lập vị trí tọa độ về cả không gian và thời gian.
- Bộ phận lưu trữ, xử lý dữ liệu và màn hình hiển thị.

Tùy theo mục đích sử dụng và phương pháp đo mà các thiết bị có các yêu cầu đặc thù riêng:

- Máy đo đường bộ gọn nhẹ trang bị cho cá nhân, có bộ nhớ lưu trữ dữ liệu, tích hợp sẵn thiết bị định vị GPS để xác định tọa độ điểm đo.
- Máy đo lắp trên máy bay: có đầu thu to hơn để thu được tín hiệu mạnh với khối điều khiển đặt trong máy bay, có nhiều thao tác được tự động hóa, và chuyển số liệu trực tiếp sang máy tính trung tâm.
- Máy đo ở biển: như loại đặt trên máy bay, với điểm khác là đầu đo được kéo sau tàu. Với phương pháp đo này, có ba dạng là đầu đo gần mặt nước, đầu đo nước sâu (Deeptow) và đầu đo kéo sát đáy (Submersible).

Trong vài chục năm vừa qua các cảm biến đo từ trường dựa trên các hiệu ứng vật lý như cơ, quang, lượng tử, Hall bán dẫn và các hiệu ứng từ như cảm ứng điện từ, từ-điện trở, Hall phẳng,... đã được phát hiện, nghiên cứu và đang được triển khai trong nhiều ứng dụng theo hướng chế tạo ra các sản phẩm mới tốt hơn và giá thành rẻ hơn. Trong số đó, phải kể đến bốn loại máy đo ứng dụng cảm biến đang được sử dụng đo từ trường trái đất phổ biến hiện nay, bao gồm:

Máy đo từ fluxgate hoạt động dựa trên sự phụ thuộc của độ từ cảm μ theo từ trường H của các vật liệu sắt từ (vật liệu ferro) thông qua đo tín hiệu cảm ứng của cuộn dây thứ cấp khi cấp một điện áp xoay chiều vào cuộn dây sơ cấp. Ngày nay, bằng việc tổ hợp hệ thống ba cảm biến (sensor) vuông góc với nhau cho phép cảm biến đo từng thành phần cũng như hướng của từ trường trái đất. Nhược điểm của phương pháp đo theo nguyên lý này là khó đạt được độ phân giải từ trường nanoTesla (nT) trên nền từ trường trái đất 40000nT; nhạy với các đóng góp nhiễu nền do hiện tượng cảm ứng điện từ lõi sắt từ, có hiện tượng trễ gây nên hiện tượng trôi tín hiệu sau một thời gian sử dụng và thường xuyên phải được chuẩn hóa.

Máy đo từ proton hoạt động dựa trên đo tần số tín hiệu tuế sai của proton khi trục quay của proton định hướng lại theo từ trường sử dụng một dung dịch chất lỏng giàu Proton, thường dưới dạng nước hoặc dầu có sử dụng một cuộn dây cuốn xung quanh. Với thiết bị này có hạn chế là khi làm việc trong toàn dải từ trường Trái đất thì thiết bị phải bố trí chọn mạch điều tần tương ứng với từng khoảng giá trị từ trường cần đo thủ công hoặc tự động và thời gian lấy mẫu dài (~ 3 giây). Thiết bị này có nhược điểm máy có vùng góc chết (dead zone) và để tránh vùng góc chết, khi đo phải

định hướng trục đầu thu vuông góc với từ trường nên độ chính xác của kết quả đo đặc phụ thuộc nhiều vào kỹ thuật đo và kinh nghiệm của người đo; kích thước khổng lồ do cấu tạo của bình chứa chất lỏng và khối lượng lớn, khó mang vác di chuyển; năng lượng tiêu thụ lớn vì cần dòng điện vài Ampere (A) để cấp cho cuộn dây tạo từ trường định hướng trục quay proton.

Máy đo từ lượng tử (hay còn gọi là máy đo từ kiểu bơm quang học) hoạt động dựa trên quan sát hiện tượng phân tách mức năng lượng lượng tử của điện tử trong trường hạt nhân khi có trường từ ngoài sử dụng hơi kim loại kiềm thường dùng là Cesium, Rubidium hay Kalium. Máy đo kiểu này cho phép đo từ trường toàn phần với độ nhạy dưới 0,001nT, một kỳ đo dài cỡ 0,3s. Máy thường được sử dụng cho mục đích nghiên cứu Vật lý Địa cầu và Địa vật lý thăm dò.

Cảm biến đo từ trường dựa trên các hiệu ứng từ khác (Hall bán dẫn, từ-điện trở khổng lồ, từ - điện trở xuyên ngầm, ...) có ưu điểm chung là dải đo từ trường rộng (hàng trăm thậm chí hàng nghìn μT), công suất tiêu thụ thấp, kích thước nhỏ gọn do chế tạo bằng các công nghệ micro-nano và tiểu hình hóa cho ra các đầu đo kích thước nhỏ, dễ dàng tích hợp trong các thiết bị nhỏ gọn cầm tay nhưng phục vụ cho các ứng dụng đo đạc, thăm dò và vẽ từ trường trái đất thì các thiết bị này không phù hợp do không đáp ứng được yêu cầu về độ phân giải và độ chính xác. Cho đến nay các cảm biến thương mại dựa trên các hiệu ứng trên có độ phân giải cỡ 20nT. Bên cạnh đó phải kể đến một số hạn chế khác như công nghệ chế tạo đắt tiền (sử dụng các công nghệ lắng đọng màng mỏng và công nghệ tiểu hình hóa), nhiễu nhiệt dòng một chiều và các nhiễu điện từ khác khó loại trừ.

Với các phân tích tình hình nghiên cứu ở nước ngoài trên các sản phẩm có cùng tính năng đã được thương mại hóa hiện nay cho thấy rằng mỗi hiệu ứng đều có các ưu điểm và nhược điểm khó khắc phục khi phát triển ứng dụng trong lĩnh vực đo đạc và định vị từ trường trái đất hiện nay. Theo xu thế nghiên cứu hiện nay, sự cần thiết phải cho ra đời một thiết bị đo từ trường với các ưu điểm bao gồm:

- Dải đo từ trường rộng: từ -120.000nT đến 120.000nT
- Độ phân giải cao đạt được: 0,1nT
- Hoạt động ổn định với dải nhiệt độ rộng (100°C)

- Đo được đồng thời cả từ trường tổng cộng và các thành phần từ trường cũng như góc định hướng (góc nghiêng từ) với độ chính xác góc $0,1^\circ$
- Không phụ thuộc vào định hướng của thiết bị với phương từ trường đo
- Đo được trong vùng có gradient từ trường lớn ($> 102\text{nT/m}$)
- Thời gian lấy mẫu nhanh, cho phép đo liên tục khi sử dụng trong phương pháp đo từ đường thủy và đường không với tốc độ di chuyển nhanh.
- Đồng bộ được với các hệ thống định vị GPS với độ phân giải cao.
- Kích thước nhỏ gọn, trọng lượng nhẹ dễ mang vác, chuyên chở và vận hành trong quá trình thực hiện khảo sát.
- Công suất tiêu thụ thấp.

Trong bối cảnh đó, việc tìm ra các vật liệu mới, vật liệu chức năng, vật liệu lai mới là một trong những nhiệm vụ cấp thiết và được xem như một giải pháp cho các vấn đề nêu trên. Hiệu ứng từ-điện (magnetoelectric effect) trên các vật liệu tổ hợp kiểu từ giao-áp điện (thuộc nhóm vật liệu lai đa pha multiferroics) đang được đặc biệt quan tâm nghiên cứu trên thế giới trong vài năm trở lại đây do tiềm năng ứng dụng của chúng trong rất nhiều lĩnh vực, trong đó mạnh nhất là kỹ thuật đo lường từ trường độ nhạy cao.

Do từ trường trái đất có giá trị nhỏ, thường nằm trong dải từ 24.000nT đến 60.000nT phụ thuộc vào vị trí địa lý của điểm đo trên bề mặt trái đất. Do dải đo nhỏ như vậy nên linh kiện đầu đo cảm biến được sử dụng cho mục đích đo từ trường trái đất có yêu cầu phải có độ nhạy và độ chính xác cao ($\sim \text{nT}$) trong toàn dải từ trường trái đất. Sự phát triển mạnh mẽ của khoa học công nghệ cùng với sự ra đời của nhiều vật liệu mới, hiệu ứng mới cho các ứng dụng chế tạo linh kiện đo lường từ trường ngày càng phong phú và đa dạng. Tuy nhiên, với yêu cầu cao của việc đo lường từ trường trái đất, số lượng các linh kiện phù hợp với mục đích này không nhiều và thường có kích thước lớn, giá thành cao, công suất tiêu thụ lớn gây khó khăn khi di chuyển không phù hợp cho các mục đích thăm dò, khảo sát như đo và vẽ từ trường trái đất.

Tổng hợp tất cả các thông tin phân tích ở trên thì hệ thống thiết bị đo và vẽ từ trường trái đất kết hợp được các ưu điểm của các sản phẩm và khắc phục được các mặt hạn chế của các dòng thiết bị thương mại cùng tính năng được mô tả ở trên là cần thiết.

Sáng chế đề cập đến hệ thống thiết bị đo từ trường trái đất điện tử sử dụng các linh kiện cảm biến nhạy từ trường ba trục được kết cấu từ các đơn cảm biến nhạy từ trường đơn trục tích hợp với hệ thống định vị GPS và truyền phát không dây bao gồm các khối chức năng như được thể hiện trên H.1 với kích thước nhỏ gọn, công suất tiêu thụ thấp đáp ứng đủ yêu cầu sử dụng trong các lĩnh vực khác nhau..

Hệ thống thiết bị đo và vẽ từ trường ba trục được mô tả trên H.1 được sử dụng để xác định đồng thời cả cường độ từ trường và hướng của từ trường của trái đất tại vị trí đo. Thiết bị đo từ trường đóng vai trò quan trọng trong khoa học và đời sống con người đặc biệt trong lĩnh vực công nghiệp (thăm dò, khai thác), quân đội, cảnh báo (động đất, bão từ,...). Việc xác định chính xác từ trường trái đất tại các vị trí khảo sát phụ thuộc vào độ chính xác của thiết bị tức là phụ thuộc vào loại linh kiện và nguyên lý hoạt động của đầu đo cảm biến và phụ thuộc vào mạch điện tử đo lường và xử lý tín hiệu được tích hợp trong hệ thống.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích cơ bản của sáng chế là tạo ra linh kiện cảm biến đơn trục cho phép đo và xác định thành phần từ trường dọc theo trục cảm biến cả về cường độ và dấu (cùng hướng hay ngược hướng của trục cảm biến). Đây là bộ phận cảm biến hoạt động dựa trên hiệu ứng tổ hợp từ - điện có độ nhạy, độ phân giải cao, độ ổn định và lặp lại cao nhờ sử dụng vật liệu với cấu hình thiết kế phù hợp và chế tạo phù hợp.

Mục đích khác của sáng chế là chế tạo linh kiện cảm biến ba trục có kết cấu bao gồm 3 linh kiện cảm biến đơn trục ở trên được bố trí theo ba cạnh vuông góc không chung đỉnh với nhau trong một hình hộp lập phương.

Mục đích khác của sáng chế là đề xuất thiết bị điện tử đo từ trường trái đất có kết cấu bao gồm linh kiện cảm biến ba trục ở trên kết nối với mạch điện tử có chức năng đo lường và xử lý tín hiệu số và hệ thống cảm biến chuyển động chín trục.

Mục đích khác của sáng chế là tạo ra hệ thống đo và vẽ từ trường trái đất có sử dụng thiết bị điện tử đo từ trường trái đất ba trục ở trên tích hợp với hệ thống định vị GPS và hệ thống truyền phát không dây đáp ứng yêu cầu của thiết bị với độ phân giải từ trường 0,1nT tuyến tính trong toàn dải đo từ -120.000nT đến 120.000nT và độ phân giải góc 10^{-1} độ. Hệ thống cho phép định vị vị trí trong không gian với độ chính xác cỡ 3 m và truyền phát không dây trong bán kính lên đến 8km.

Để đạt được mục đích nêu trên, theo khía cạnh thứ nhất, sáng chế đề xuất linh kiện cảm biến đo từ trường đơn trục có kết cấu bao gồm phần lõi được cấu kết theo cấu trúc mắc nối tiếp gồm N mẫu vật liệu tổ hợp (tên gọi mẫu vật liệu thứ nhất, thứ hai, ... thứ N), mỗi mẫu vật liệu tổ hợp có cấu trúc dạng lớp xen kẽ một tấm vật liệu áp điện giữa hai tấm vật liệu từ giao có cấu tạo bao gồm: tấm nền là tấm mỏng có dạng hình chữ nhật có kích cỡ xác định bằng vật liệu gốm áp điện đã được phân cực theo phương vuông góc với mặt phẳng tấm, lớp điện cực được phủ trên hai mặt đối diện của tấm nền để tạo thành mặt điện cực, lớp từ giao dạng tấm mỏng bằng vật liệu từ tính được thiết kế xẻ rãnh ra nhiều nan nhỏ nhưng không tách rời hình chữ nhật dọc theo chiều dài của tấm nền và được phủ kín trên cả hai mặt của lớp điện cực của tấm nền, lớp vật liệu từ giao này được gắn với tấm vật liệu nền thông qua lớp keo mỏng; các mẫu vật liệu tổ hợp được mắc nối tiếp với nhau theo cách sử dụng điện cực nối điện từ lớp điện cực dưới của tấm nền mẫu thứ nhất sang điện cực trên của tấm nền mẫu thứ hai, điện cực dưới của tấm nền mẫu thứ hai sẽ được nối điện với lớp điện cực trên của tấm nền mẫu thứ ba,... cứ như thế cho đến tấm nền mẫu thứ N, và các điện cực nối ra ngoài của phần lõi được qui ước bởi điện cực nối vào mặt điện cực trên của tấm vật liệu nền mẫu vật liệu thứ nhất và điện cực nối vào mặt điện cực dưới của tấm vật liệu nền mẫu vật liệu thứ N; cuộn dây kích thích được tạo nên từ dây dẫn điện cuốn xung quanh hình trụ đồng trục và bao lấy trục của phần lõi để kích thích từ trường xoay chiều, có kích cỡ xác định và được làm thích ứng để có thể chứa được toàn bộ phần lõi dạng lớp trong đó, cuộn dây này có các cực nối cuộn dây ở đầu vào và đầu ra; và cuộn dây chuẩn hóa cũng được tạo nên từ dây dẫn điện cuốn đều xung quanh cuộn dây kích thích với mật độ vòng dây được tính toán hợp lý với cường độ từ trường chuẩn hóa cần được tạo, cuộn dây này cũng có các cực nối cuộn dây ở đầu vào và đầu ra; vỏ linh kiện có dạng hình hộp chữ nhật có hai phần bao gồm: phần đáy có

kích thước xác định được khoét một rãnh dọc theo vỏ với kích thước phù hợp thích ứng với kích thước của cuộn dây chuẩn hoá và khoét rỗng hai đầu để cho các điện cực nổi ra ngoài, phần nắp đáy có kích thước bằng với kích thước của phần đáy và được khoét một rãnh trùng với vị trí rãnh của phần đáy, hai phần này sẽ được ghép với nhau với phần khoét rãnh úp vào nhau tạo ra một khoảng không gian ở bên trong dọc theo trục của vỏ đủ để chứa được trong đó toàn bộ cuộn dây chuẩn hóa có chứa cuộn dây kích thích và phần lõi bên trong; và các cực nổi điện của vỏ được bố trí trên bề mặt xung quanh của hình hộp và được làm thích ứng để nối điện với các cực nổi của phần lõi và các cực nổi cuộn dây kích thích và cuộn dây chuẩn hóa.

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

Tốt hơn nữa, kích cỡ xác định chiều dài x chiều rộng x chiều dày của tấm nền $L_p \times W_p \times t_p$ được chọn bằng $50 \times 2 \times 0,5\text{mm}$.

Cũng tốt hơn nữa, vật liệu từ giáo dạng màng hoặc dạng băng mỏng của phần lõi bộ phận cảm biến là các hợp kim của kim loại chuyển tiếp Fe, Co, Ni có cấu trúc vô định hình, có tính chất từ mềm và không có trễ từ (lực kháng từ $H_C = 0$) và không có độ từ dư ($M_r = 0$).

Ngoài ra, cấu trúc của tấm vật liệu từ giáo có kích cỡ xác định chiều dài x chiều rộng x chiều dày ($L_{tg} \times W_{tg} \times t_{tg}$) với chiều dài tốt hơn nếu dài hơn tấm nền áp điện và chiều rộng bằng đúng chiều rộng của tấm nền áp điện, trên tấm từ giáo xẻ thành các rãnh có khoảng cách giữa các nan là s và độ rộng nan là Wn_{tg} , trong đó, tỉ số giữa chiều dài và chiều rộng L_{tg}/Wn_{tg} càng lớn càng có lợi cho sự gia tăng tín hiệu cảm biến đáp ứng với từ trường ngoài, và tốt hơn nếu $L_{tg} \times W_{tg} \times t_{tg}$ được chọn bằng $60\text{mm} \times 2\text{mm} \times 18\mu\text{m}$, được là xẻ thành một rãnh tạo thành hai nan bằng nhau với khoảng cách bằng $1,0\text{mm}$ và độ rộng nan Wn_{tg} được chọn bằng $0,8\text{mm}$.

Hơn nữa, vật liệu được sử dụng để cuốn cuộn dây kích thích hình ống tạo từ trường xoay chiều của bộ phận cảm biến là dây đồng có đường kính là c_{kt} , có mật độ cuộn dây n_{kt} .

Ngoài ra, vật liệu được sử dụng để cuốn cuộn dây chuẩn hóa cũng được thiết kế hình ống để tạo từ trường một chiều chuẩn hóa cho bộ phận cảm biến cũng là dây đồng có đường kính là c_{ch} , có mật độ cuốn dây n_{ch} .

Theo khía cạnh thứ hai, sáng chế đề xuất phương pháp chế tạo linh kiện cảm biến đo từ trường đơn trục, phương pháp này bao gồm các bước sau:

tạo phần lõi bằng N mẫu vật liệu tổ hợp có hiệu ứng từ-điện có cấu trúc dạng lớp, mỗi mẫu vật liệu tổ hợp bao gồm: tám 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 tám nền để tạo thành mặt điện cực, lớp từ giao dạng băng mỏng bằng vật liệu từ có kích cỡ xác định được sẽ nhiều rãnh chia thành các nan nhưng không tách rời được tạo trên hai mặt của lớp điện cực;

gắn cố định các cực nối vào hai mặt điện cực để kết nối các mẫu vật liệu với nhau lần lượt theo thứ tự: mặt điện cực dưới của mẫu vật liệu thứ nhất được nối với mặt điện cực trên của mẫu vật liệu thứ hai bằng điện cực nối, mặt điện cực dưới của mẫu vật liệu thứ hai được nối với mặt điện cực trên của mẫu vật liệu thứ ba bằng điện cực nối,... cứ như vậy cho đến mặt điện cực dưới của mẫu vật liệu thứ N-1 được nối với mặt điện cực trên của mẫu vật liệu thứ N bằng điện cực nối và hai điện cực nối ra ngoài của phần lõi được kết nối với mặt điện cực trên của vật liệu thứ nhất và mặt điện cực dưới của vật liệu thứ N;

tạo ra cuộn dây kích thích hình ống bằng vật liệu dẫn điện để tạo từ trường xoay chiều kích thích hoạt động của bộ phận lõi, cuộn dây này có kích cỡ xác định và được làm thích ứng với đường kính bên trong đủ rộng để có thể chứa được toàn phần lõi trong đó, đầu vào và đầu ra của cuộn dây là các cực nối điện của cuộn dây kích thích;

tạo ra cuộn dây chuẩn hóa hình ống bằng vật liệu dẫn điện để tạo từ trường một chiều với cường độ phù hợp dọc theo trục của phần lõi, cuộn dây này được cuốn xung quanh và đồng trục với cuộn dây kích thích, đầu vào và đầu ra của cuộn dây là các cực nối điện của cuộn dây chuẩn hóa;

lồng phần lõi vào bên trong lòng của hai cuộn dây đã được ghép đồng trục để tạo ra bộ phận cảm biến nhạy từ trường đơn trục;

tạo vỏ linh kiện bằng vật liệu nhựa cứng không từ tính, cách điện có dạng hình hộp chữ nhật có kích thước xác định được cấu thành bởi hai bộ phận là phần đáy và phần nắp đáy có khoét rãnh tạo vùng rỗng bên trong có kích cỡ được làm thích ứng để chứa vừa vặn được bộ phận cảm biến trong đó, vỏ linh kiện có các lỗ khoan được tạo ra để cố định với bo mạch sử dụng vít;

lồng các bộ phận cảm biến vào trong vùng rỗng ở bên trong vỏ linh kiện, trong đó các cực nối điện của phần lõi và của các cuộn dây kích thích và chuẩn hóa được đưa ra ngoài vỏ linh kiện và được kết nối với các chân mạch in trên bo mạch PCB ở các vị trí phù hợp;

phủ lớp epoxy bảo vệ ra bề mặt ngoài của vỏ linh kiện để cố định phần đáy và phần nắp của vỏ hộp và dùng vít nhựa để cố định linh kiện cảm biến trên mạch in PCB;

Có lợi nếu, tấm nền được cắt hình chữ nhật với kích thước chính xác sử dụng dao cắt hoặc phay CNC;

Có lợi nếu, tấm vật liệu từ giáo được cắt hình chữ nhật và xẻ thành các nan không tách rời sử dụng dao cắt hoặc phay CNC.

Có lợi nếu, bước tạo lớp bằng vật liệu từ giáo gắn trên tấm nền được thực hiện bằng cách kết dính sử dụng keo dính có cơ tính và độ đàn hồi cao (epoxy hai thành phần).

Hơn nữa, việc tạo ra rãnh rỗng trong vỏ linh kiện có thể được thực hiện bằng công nghệ cắt Laser hoặc phay CNC, các lỗ bắt vít được tạo ra nhờ công nghệ cắt laser (laser) hoặc khoan cắt cơ khí.

Theo phương án được ưu tiên của sáng chế, việc gắn cố định các dây điện cực với các mặt điện cực của các tấm vật liệu nền với nhau và các cực nối phần lõi ra ngoài và các cực nối của cuộn dây với các cực nối điện của mạch in PCB thực hiện bằng cách hàn.

Theo khía cạnh thứ ba, sáng chế đề xuất linh kiện cảm biến đo từ trường trái đất ba trục có kết cấu bao gồm:

giá đỡ có dạng gần như hình hộp lập phương làm bằng vật liệu cứng không từ tính (tốt hơn nếu làm bằng nhựa cứng) có kích thước thích ứng với kích thước của linh kiện cảm biến nhảy từ trường đơn trục theo khía cạnh thứ hai của sáng chế,

ba linh kiện cảm biến nhảy từ trường đơn trục được gắn vào dọc theo ba cạnh vuông góc với nhau theo cạnh của một hình khối lập phương nhưng không chung đỉnh có kích thước tương đương với kích thước của linh kiện cảm biến nhảy từ trường đơn trục của giá đỡ hình hộp lập phương,

giắc cắm và các dây điện cực được kết nối ở các vị trí phù hợp trên bo mạch điện tử PCB.

Theo phương án thực hiện ưu tiên của sáng chế, việc cố định các đơn cảm biến nhảy từ trường đơn trục được thực hiện thông qua giá đỡ bằng các tấm mạch in PCB, các giắc cắm được sử dụng với hai chức năng vừa có tác dụng gắn các mạch in với nhau sau vừa có tác dụng kết nối điện từ các chân điện cực nối ra mạch điện tử.

Theo khía cạnh thứ tư, sáng chế đề xuất thiết bị đo từ trường trái đất ba trục có kết cấu bao gồm:

linh kiện cảm biến đo từ trường trái đất ba trục được thực hiện theo khía cạnh thứ ba của sáng chế;

bo mạch điện tử đo lường và xử lý tín hiệu tích hợp các khối chức năng có kết cấu bao gồm: khối phát xung, khối chuẩn hóa, khối đo cường độ tín hiệu, khối tạo xung vuông và đo pha;

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

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 mặt đáy 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 hệ thống thiết bị bao gồm: hiển thị ba thành phần từ trường H_x , H_y , H_z ; độ lớn từ trường trong mặt phẳng nằm ngang; độ lớn từ trường vuông góc; cường độ từ trường tổng cộng; góc nghiêng của véc-tơ từ trường so với mặt phẳng nằm ngang; vị trí không gian bao gồm kinh độ, vĩ độ và độ cao; thời gian; tốc độ di chuyển của thiết bị; tắt/bật hệ thống truyền phát dữ liệu không dây; hoặc hình nền đặc trưng cho sản phẩm.

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

Theo phương án được ưu tiên của sáng chế, bo mạch điện tử đo lường và xử lý tín hiệu bao gồm các khối chức năng: khối phát xung tạo tín hiệu đầu vào cấp cho cuộn dây kích thích tạo từ trường kích thích, khối nguồn cấp cho cuộn dây chuẩn hóa tạo từ trường một chiều chuẩn hóa cho linh kiện cảm biến đơn trục, khối linh kiện cảm biến đo từ trường trái đất ba trục được thực hiện theo khía cạnh thứ ba của sáng chế được nối điện với khối phát xung và khối nguồn chuẩn hóa, khối đo lường chuẩn hóa tín hiệu được nối điện với khối linh kiện cảm biến đo từ trường trái đất ba trục, khối so pha được nối điện với khối đo lường xử lý tín hiệu, khối cảm biến chuyển động chín trục được tích hợp vào giá đỡ của khối linh kiện cảm biến đo từ trường trái đất ba trục, khối vi xử lý được nối điện với khối đo lường chuẩn hóa tín hiệu và khối so pha và khối cảm biến chuyển động chín trục, bộ nhớ được nối điện với khối vi xử lý; và khối hiển thị và giao tiếp được nối điện với khối vi xử lý và bộ nhớ.

Theo khía cạnh thứ năm, sáng chế đề xuất hệ thống đo từ trường có tích hợp với hệ thống định vị và truyền phát dữ liệu không dây phục vụ đo và vẽ từ trường trái đất có kết cấu bao gồm:

thiết bị đo từ trường trái đất ba trục được thực hiện theo khía cạnh thứ tư thực hiện của sáng chế;

khối định vị GPS được tích hợp bên trong mạch điện tử được kết nối điện với khối vi xử lý và bộ nhớ và được đặt trong vỏ thiết bị;

khối truyền phát dữ liệu không dây được tích hợp bên trong mạch điện tử được kết nối điện với khối vi xử lý và bộ nhớ và được đặt trong vỏ thiết bị;

công tắc điều khiển khối truyền phát dữ liệu không dây được sử dụng để bật hoặc tắt chức năng truyền phát dữ liệu tùy theo nhu cầu sử dụng của người dùng.

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.0 là hình minh họa thể hiện các khối chức năng chính của một thiết bị đo từ trường trái đất hiện có trên thị trường;

H.1 là hình vẽ minh họa sơ đồ khối của thiết bị đo từ trường ba trục;

H.2a và H.2b lần lượt là hình phối cảnh và hình phối cảnh cắt riêng phần thể hiện linh kiện cảm biến nhạy từ trường đơn trục được tạo với kết cấu gồm phần lõi vật liệu từ giao - áp điện và các cuộn dây được đặt trong vỏ bảo vệ theo một phương án thực hiện ưu tiên của sáng chế;

H.3a, H.3b, H.3c và H.3d lần lượt là hình chiếu đứng thể hiện phần vật liệu (3) tổ hợp từ giao - áp điện dạng lớp mỏng nối tiếp gồm nhiều mẫu vật liệu với nhau;

H.4 là hình phối cảnh thể hiện linh kiện cảm biến đo từ trường ba trục dạng sơ đồ minh họa cách bố trí các linh kiện cảm biến đơn trục trên H.2 theo một phương án thực hiện ưu tiên của sáng chế;

H.5 là hình vẽ thể hiện sơ đồ các khối chức năng chính của thiết bị đo từ trường trái đất ba trục có kết cấu bao gồm các khối Pin nuôi, khối nguồn cấp, khối phát xung kích thích, khối nguồn chuẩn hóa, linh kiện cảm biến, khối đo lường và xử lý tín hiệu, khối chuyển đổi tín hiệu số và khối vi xử lý của thiết bị đo từ trường trái đất ba trục sử dụng linh kiện cảm biến đo từ trường ba trục trên H.4 theo một phương án ưu tiên của sáng chế;

H.6 là hình vẽ thể hiện sơ đồ các khối chức năng chính của hệ thống đo từ trường và vẽ từ trường trái đất sử dụng thiết bị đo từ trường trái đất ba trục trên H.5 có tích hợp thêm hệ thống định vị GPS, hệ thống cảm biến gia tốc và hệ thống truyền phát dữ liệu không dây theo một phương án ưu tiên của sáng chế;

H.7a và H.7b lần lượt là hình chiếu mặt trước và mặt sau của khối nguồn của thiết bị đo từ trường và vẽ từ trường trái đất;

H.8a và H.8b lần lượt là hình chiếu mặt trước và mặt sau của khối phát xung cấp cho cuộn dây kích thích của linh kiện cảm biến trong thiết bị đo từ trường 3D và hệ thống đo và vẽ từ trường trái đất;

H.9a và H.9b lần lượt là hình chiếu mặt trước và mặt sau của khối khuếch đại có chức năng khuếch đại tín hiệu kích thích từ khối phát xung để tạo ra tín hiệu đủ lớn cấp cho cuộn dây kích thích của linh kiện cảm biến trong thiết bị đo và vẽ từ trường trái đất

H.10a và H.10b lần lượt là hình chiếu mặt trước và mặt sau của khối nguồn chuẩn hóa cho linh kiện cảm biến trong thiết bị đo và vẽ từ trường trái đất

H.11a và H.11b lần lượt là hình chiếu mặt trước và mặt sau của khối đo lường và xử lý tín hiệu của phát xung và tín hiệu linh kiện cảm biến trong thiết bị đo và vẽ từ trường trái đất

H.12a và H.12b lần lượt là hình chiếu mặt trước và mặt sau của khối chuyển đổi tín hiệu số ADC

H.13a và H.13b lần lượt là hình chiếu mặt trước và mặt sau của của bo mạch điện tử có kết cấu bao gồm các khối so pha, khối định vị, khối cảm biến chuyển động của linh kiện cảm biến theo một phương án ưu tiên của sáng chế

H.14a và H.14b lần lượt là hình chiếu mặt trước và mặt sau của của bo mạch điện tử của khối truyền phát không dây cho hệ thống thiết bị đo và vẽ từ trường trái đất 3D theo một phương án thực hiện ưu tiên của sáng chế

H.15a và H.15b lần lượt là hình chiếu mặt trước và mặt sau của của bo mạch điện tử của khối xử lý trung tâm cho linh kiện cảm biến.

H.16a và H.16b lần lượt là hình phối cảnh và màn hình hiển thị thể hiện hệ thống thiết bị đo và vẽ từ trường trái đất 3D theo một phương án ưu tiên của sáng chế

H.17a và H.17b lần lượt là hình vẽ biểu thị kết quả mô phỏng phân bố từ thông trên bề mặt của tấm vật liệu từ giảo và cảm ứng từ hiệu dụng B_{eff} tính trên toàn bộ thể tích của vật liệu có kích thước chiều dài $L_{tg} = 50$ mm và chiều rộng W_{tg} khác nhau khi đặt trong từ trường với từ trường hướng dọc theo chiều dài (trục của linh kiện cảm biến) và chiều rộng;

H.18 là hình vẽ biểu thị kết quả mô phỏng phân bố từ thông trên bề mặt (hình trên) và phân bố cảm ứng từ tại các vị trí dọc theo nan (hình dưới) của tấm vật liệu từ giảo có cấu trúc dạng hai nan không tách rời và tách rời khi đặt trong từ trường theo phương án thực hiện ưu tiên của sáng chế;

H.19 là hình vẽ biểu thị kết quả mô phỏng tính toán cảm ứng từ phân bố dọc theo chiều dài tấm vật liệu từ giảo trong linh kiện cảm biến đơn trục và khi ghép ba khối vật liệu từ giảo nằm trên ba cạnh vuông góc nhưng không chung đỉnh của một hình lập phương trong cấu hình linh kiện cảm biến từ trường ba trục theo phương án thực hiện ưu tiên của sáng chế;

H.20a, H.20b, H.20c và H.20d lần lượt là ảnh chụp minh họa vật liệu tấm vật liệu nền, tấm vật liệu từ giảo, thanh vật liệu tương ứng được cắt tạo hình và mẫu vật liệu tổ hợp từ giảo - áp điện được chế tạo hoàn thiện để cấu thành bộ phận cho phần lõi của linh kiện cảm biến nhảy từ trường đơn trục;

H.21a và H.21b lần lượt là ảnh chụp linh kiện cảm biến nhảy từ trường đơn trục và ba trục theo các phương án thực hiện ưu tiên trong sáng chế;

H.22a, H.22b, H.22c, H.22d và H.22e lần lượt là kết quả đo đặc thử nghiệm trên các cấu hình vật liệu từ giảo - áp điện với lớp vật liệu từ giảo được chia thành số lượng nan khác nhau tương ứng với số lượng 1 nan, hai nan, 3 nan, 4 nan, 6 nan và H.22f là đồ thị so sánh các tín hiệu này vẽ theo số nan để minh chứng cho phương án thực hiện ưu tiên của sáng chế khi quét tín hiệu điện áp đo trên tấm nền theo tần số;

H.23a và H.23b lần lượt là kết quả đo đặc thử nghiệm khi so sánh mẫu vật liệu từ-điện sử dụng lớp vật liệu từ giảo dạng hai nan tách rời và hai nan không tách rời để minh chứng cho phương án thực hiện ưu tiên của sáng chế;

H.24 là kết quả đo đặc thử nghiệm để minh chứng cho phương án thực hiện ưu tiên của sáng chế khi ghép số lượng N mẫu vật liệu khác nhau mắc nối tiếp tạo thành phần lõi của linh kiện cảm biến đơn trục để gia tăng độ lớn của tín hiệu lõi ra của phần lõi;

H.25a, H.25b và H.25c lần lượt là kết quả đo đặc thử nghiệm tín hiệu điện áp, pha và cường độ từ trường đọc được từ thiết bị hệ thống thiết bị đo và vẽ từ trường trái đất 3D sử dụng các khối chức năng của mạch điện tử được thực hiện trong ví dụ thực hiện sáng chế theo các phương án ưu tiên của sáng chế;

H.26a, H.26b và H.26c lần lượt là kết quả đo đặc tín hiệu đọc được trên các linh kiện cảm biến đơn trục O_x , O_y và O_z để kiểm chuẩn chức năng chuẩn hóa để xác định hệ số chuyển đổi của linh kiện cảm biến trong hệ thống thiết bị đo và vẽ từ trường trái đất 3D được thực hiện theo các phương án thực hiện ưu tiên của sáng chế;

H.27a và H.27b lần lượt là kết quả đo đặc đánh giá độ phân giải của linh kiện cảm biến trong hệ thống thiết bị đo từ trường trái đất 3D được thực hiện theo các phương án thực hiện ưu tiên của sáng chế và bố trí thí nghiệm với buồng chân không từ được sử dụng trong phép đo này (bước đo từ trường giữa các điểm đo được đặt là $3nT$).

Mô tả chi tiết sáng chế

Phần mô tả dưới đây của linh kiện cảm biến nhạy từ trường đơn trục, linh kiện cảm biến từ trường ba trục, thiết bị đo từ trường trái đất ba trục và hệ thống đo vẽ từ trường trái đất 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 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. 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

hoạ 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 giảo-áp điện. Theo hiệu ứng này, vật liệu từ giảo 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 các phương án thực hiện ưu tiên của sáng chế nhóm tác giả tả đã tiến hành các nội dung nghiên cứu bao gồm:

- a) Tính toán, mô phỏng và thiết kế tối ưu cấu trúc vật liệu trong linh kiện cảm biến từ trường đơn trục đảm bảo theo các tiêu chí tối ưu cấu trúc và thiết kế vật liệu để tăng cường đáp ứng của của vật liệu trong từ trường thấp cỡ từ trường Trái Đất, chỉ hưởng ứng với một thành phần từ trường dọc theo trục của cảm biến còn các thành phần khác thì không để phục vụ mục đích đo từ trường đơn trục, tăng cường điện áp đối ra của linh kiện cảm biến nhờ lựa chọn kết cấu kết nối các vật liệu theo cấu hình phù hợp;
- b) Đưa ra giải pháp tự động chuẩn hóa để tính toán hệ số chuyển đổi giữa tín hiệu điện áp đáp ứng của cảm biến và từ trường đo mà vẫn đảm bảo chính xác tín cậy của linh kiện cảm biến;
- c) Đề xuất cấu trúc linh kiện cảm biến đo từ trường ba trục có kết cấu bao gồm ba linh kiện cảm biến nhạy từ trường đơn trục được bố trí trong không gian ở các vị trí phù hợp để đảm bảo tiêu chí giảm thiểu tác động nhiễu qua lại giữa các linh kiện cảm biến này và cho phép đo lường chính xác các thành phần từ trường dọc theo các trục trong không gian và từ trường tổng cộng cũng như góc định hướng của từ trường tại các vị trí đo;
- d) Xây dựng sơ đồ nguyên lý, thiết kế mạch điện tử có tích hợp các khối chức năng vừa làm nhiệm vụ kích thích cho hoạt động của linh kiện cảm biến; chức năng tự động chuẩn hóa; chức năng đo lường, xử lý và chuyển đổi tín hiệu số;

chức năng lưu trữ dữ liệu và kết nối với các thiết bị bên ngoài; pin và nguồn nuôi cho thiết bị để kết cấu lên hệ thống thiết bị đo từ trường Trái Đất đất ba trục;

e) Xây dựng sơ đồ nguyên lý, thiết kế mạch điện tử có tích hợp các khối chức năng định vị GPS, cảm biến gia tốc, khối truyền phát dữ liệu không dây vào trong thiết bị đo từ trường Trái Đất ba trục để kết cấu lên hệ thống đo, định vị và vẽ từ trường Trái Đất;

Theo phương án thực hiện ưu tiên của sáng chế, các cơ sở khoa học và phân tích tính toán lý thuyết được lựa chọn dựa trên các nghiên cứu của tác giả sáng chế bao gồm:

a) Thông thường với các vật liệu từ khi đặt trong từ trường ngoài H_n thì sẽ bị từ hóa và dọc theo phương từ hóa, ở hai đầu vật liệu (hay còn gọi hai cực từ) sẽ xuất hiện các từ trường tán xạ H_d do chính vật liệu bị từ hóa sinh ra. Từ trường này ngược hướng với từ trường ngoài và có xu hướng khử từ chính các vật liệu dẫn đến sự suy yếu từ trường hiệu dụng H_{eff} (từ trường tổng cộng) mà vật liệu nhận được theo công thức:

$$H_{eff} = H_n - H_d \quad (1)$$

Từ trường khử từ này còn có nguồn gốc từ các tấm vật liệu lân cận khi đặt các tấm vật liệu lại gần nhau, khoảng cách s giữa chúng càng nhỏ thì trường khử từ gây ra giữa chúng đóng góp càng lớn.

Hưởng ứng của vật liệu từ giao theo từ trường ngoài phụ thuộc nhiều vào hiệu ứng khử từ mà nó sinh ra, khử từ càng yếu thì thì hưởng ứng của vật liệu sẽ càng mạnh hơn với từ trường và dẫn đến độ nhạy của linh kiện cảm biến sẽ lớn hơn khi hoạt động dựa trên hiệu ứng từ-điện có sử dụng các vật liệu giao này. Thông thường, để làm suy yếu trường khử từ trong các vật liệu này người ta thường thiết kế các vật liệu có tỉ lệ kích thước chiều dài càng lớn so với các chiều kích thước còn lại thì càng có lợi (thường hàng chục đến hàng trăm lần tùy thuộc vào công nghệ chế tạo). Với thiết kế này sẽ đảm bảo vật liệu chỉ cảm nhận được thành phần từ trường dọc theo cạnh dài nhất của vật liệu phù hợp cho các ứng dụng chế tạo các linh kiện cảm biến đo từ trường đơn trục. Với ứng dụng linh kiện cảm biến đơn trục tốt hơn hết là lựa chọn

và thiết kế vật liệu có sự hưởng ứng từ dọc theo trục của mẫu (độ từ hóa M_d) mạnh nhất và theo các trục vuông góc với trục của mẫu (độ từ hóa M_{vg}) là yếu nhất. Ví dụ với thiết kế hình trụ có chiều dài rất lớn so với bán kính hoặc với thiết kế hình hộp chữ nhật dạng thanh thì chiều dài L_{tg} rất lớn so với chiều rộng W_{tg} và chiều dày t_{tg} ($L_{tg} \gg W_{tg}$, $L_{tg} \gg t_{tg}$), tức là tỉ số giữa chiều dài và chiều rộng $r_{tg} = L_{tg}/W_{tg}$ càng lớn càng tốt hay nếu với một chiều dài L_{tg} cố định thì chiều rộng W_{tg} càng hẹp càng tốt và chiều dày t_{tg} càng mỏng càng tốt.

b) Do hoạt động của hiệu ứng từ điện với tín hiệu của linh kiện cảm biến phụ thuộc vào ứng suất vật liệu áp điện nhận được từ vật liệu từ giáo khi vật liệu từ giáo bị từ hóa trong từ trường ngoài. Trên các vật liệu có cấu trúc dạng lớp như trong sáng chế này, ứng suất mà tấm áp điện nhận được không phân bố đều trên toàn thể tích mà phân lớn chủ yếu tập trung vào phần lõi chính giữa còn càng đi ra ngoài mép biên của vật liệu thì ứng suất càng suy yếu, tín hiệu cảm biến nhận được sẽ tỷ lệ với giá trị hiệu dụng của ứng suất tính trên toàn bộ phần thể tích mẫu. Giá trị hiệu dụng này sẽ càng lớn khi tỉ phần giữa thể tích phần lõi trung tâm và phần diện tích xung quanh của vật liệu càng lớn (r_{sh}). Tỉ phần r_{sh} này áp dụng cho vật liệu áp điện hình chữ nhật có chiều dài L_p , chiều rộng W_p , chiều dày t_p được tính toán theo công thức:

$$r_{sh} = 1/2 \times (L_p \times W_p) / (L_p + W_p) = 1/2 \times L_p / (L_p/W_p + 1) \quad (2)$$

Theo lý thuyết trên thì với một chiều dài cố định thì tỉ số r_{sh} sẽ càng lớn khi W_p càng lớn.

c) Tín hiệu của linh kiện càng lớn khi tỉ phần thể tích r_{tt} giữa vật liệu từ giáo là vật liệu sinh ra ứng suất và pha vật liệu áp điện là vật liệu nhận ứng suất càng lớn. Tỷ lệ này được tính toán theo công thức:

$$r_{tt} = (L_{tg} \times W_{tg} \times t_{tg}) / (L_p \times W_p \times t_p) \quad (3)$$

d) Tín hiệu của linh kiện cảm biến thu được là do hiện tượng phân cực điện cảm ứng khi tấm vật liệu áp điện nhận được ứng suất từ tấm vật liệu từ giáo. Sự phân cực điện này sẽ tạo ra sự chênh lệch điện áp giữa hai mặt và khi đó một hiệu điện thế dọc theo trục phân cực này thu được sẽ phản ánh từ trường ngoài đặt vào về cả độ lớn và chiều của từ trường. Sự chênh lệch điện áp này sẽ được tăng lên càng lớn khi ghép tổ hợp nhiều tấm vật liệu áp điện với nhau theo nguyên lý mắc nối tiếp. Việc làm này

giúp cho tín hiệu tổng cộng lỗi ra trên hệ vật liệu tổ hợp theo tính toán lý thuyết sẽ tỉ lệ tuyến tính với số các tấm vật liệu được ghép và trong mạch nối tiếp này

Từ các phân tích ở trên, theo phương án ưu tiên thứ nhất của sáng chế, thiết kế vật liệu đã được lựa chọn có cấu trúc bao gồm nhiều (N) mẫu vật liệu tổ hợp từ giáo và áp điện dạng lớp được mắc nối tiếp với nhau trong đó mỗi mật liệu sẽ có kết cấu bao gồm: vật liệu từ giáo là từ các nan mỏng hình chữ nhật với chiều dài cỡ chiều dài của tấm vật liệu áp điện và có độ rộng hẹp đảm bảo trường khử từ nhỏ, vật liệu áp điện cũng có dạng hình chữ nhật với độ rộng đủ lớn đảm bảo cho tỉ số r_{sh} cao và sử dụng nhiều nan từ giáo xếp dàn ra cách đều nhau ở một khoảng cách s phù hợp, phủ kín bề mặt của tấm vật liệu áp điện đảm bảo vẫn duy trì tỉ số thể tích lớn.

Để làm rõ các nghiên cứu trên, mô phỏng tính toán lý thuyết đã được thực hiện nhờ phần mềm mô phỏng Ansys Maxwell theo phương pháp phần tử hữu hạn được thực hiện trên mẫu vật liệu từ giáo với kích thước chiều dài được lựa chọn cố định $L_{tg} = 50\text{mm}$ và chiều rộng W_{tg} thay đổi từ 0,2mm đến 50mm cho hai trường hợp từ trường tác dụng dọc theo chiều dài và dọc theo chiều rộng của vật liệu. Để đánh giá được tác động của từ trường lên vật liệu, giá trị cảm ứng từ hiệu dụng (B_{eff}) được tính trên toàn bộ thể tích nhờ sử dụng công thức:

$$B_{eff} = \frac{1}{V} \int_V B dV \quad (4)$$

Giá trị này sẽ được sử dụng trong các so sánh đánh giá để tiên đoán độ lớn tín hiệu linh kiện cảm biến được chế tạo sử dụng vật liệu này. Kết quả cho thấy trên H.17 mẫu có độ rộng càng nhỏ thì cảm ứng từ hiệu dụng sẽ càng lớn khi từ trường ngoài hướng dọc theo chiều dài mẫu và càng bé (~ 0) khi từ trường ngoài hướng dọc theo chiều rộng của mẫu. Đây chính là cơ sở để chọn mẫu vật liệu từ có hình chữ nhật càng hẹp càng tốt để đảm bảo vừa cho tín hiệu linh kiện cảm biến lớn nhưng cũng đồng thời chỉ cho cảm nhận được thành từ trường đơn trục dọc theo chiều dài mẫu.

Để tăng thể tích phần vật liệu từ giáo, phương án thực hiện ưu tiên của sáng chế là ghép nhiều nan vật liệu từ giáo có hình chữ nhật với độ rộng hẹp với nhau, tuy vậy, việc ghép này lại kéo theo sự khử từ lẫn nhau giữa các thanh lân cận. Để giảm hiệu ứng khử từ này, sáng chế đề xuất tạo thành các nan nhưng không tách rời để giảm

thiếu tán xạ của từ trường gây ra khử từ. Việc này có thể thực hiện được bằng cách xẻ rãnh tâm vật liệu từ giả nhưng không đứt hoàn toàn. Kết quả này đã được minh chứng rõ ràng thông qua mô phỏng trên H.18 với việc ghép các nan không tách rời đem lại hiệu quả hơn giúp cho vật liệu hưởng ứng tốt hơn trong từ trường so với trường hợp các nan này bị tách rời. Đánh giá cảm ứng từ hiệu dụng trên vật liệu cho giá trị $B_{\text{eff}} = 23.38\mu\text{T}$ trên cấu hình hai nan tách rời nhỏ hơn 10% so với giá trị $B_{\text{eff}} = 25.61\mu\text{T}$ trên cấu hình hai nan không tách rời.

Việc bố trí ba linh kiện cảm biến đơn trục vuông góc với nhau trong không gian phải đáp ứng tiêu chí các linh kiện cảm biến này không gây tác động lẫn nhau, việc này sẽ đảm bảo không gây nhiễu lên các linh kiện đơn trục. Việc bố trí các linh kiện cảm biến đơn trục được thực hiện theo cấu hình nằm trên ba cạnh vuông góc nhưng không chung đỉnh nhau của một hình lập phương trong cấu hình linh kiện cảm biến từ trường ba trục theo phương án thực hiện ưu tiên của sáng chế. Kết quả mô phỏng thể hiện trên H.19 cho thấy với bố trí này, cảm ứng từ phân bố trên tấm vật liệu từ giả không bị ảnh hưởng gì khi đặt các linh kiện lại gần, giá trị hiệu dụng cho kết quả $B_{\text{eff}} = 25,61\mu\text{T}$ khi cho linh kiện cảm biến đơn trục đứng đơn lẻ được giữ nguyên không đổi khi cho ghép thêm với hai linh kiện cảm biến đơn trục còn lại bố trí theo phương án ưu tiên của sáng chế. Với cách bố trí này thì thành phần từ trường nằm dọc trục của các linh kiện cảm biến sẽ ghi nhận các thành phần từ trường là hình chiếu trên các trục của linh kiện đơn cảm biến tương ứng trong hệ trục tọa độ gắn với linh kiện cảm biến ba trục với các trục tọa độ chính là các trục của các linh kiện cảm biến đơn trục được tích hợp.

Với cách bố trí này thì các thành phần từ trường về độ lớn được xác định từ các đơn cảm biến theo công thức:

$$\begin{aligned} |H_x| &= V_x/k_x \\ |H_y| &= V_y/k_y \\ |H_z| &= V_z/k_z \end{aligned} \quad (5)$$

Với $|H_x|$, $|H_y|$ và $|H_z|$ lần lượt là các thành phần từ trường về mặt độ lớn chiếu lên các trục của linh kiện cảm biến đơn trục tương ứng, V_x , V_y và V_z lần

lượt là các biên độ tín hiệu điện áp thu được từ các linh kiện cảm biến đơn trục tương ứng, k_x , k_y và k_z lần lượt là các hệ số chuyển đổi của các linh kiện cảm biến đơn trục tương ứng thu được từ chức năng tự động chuẩn hóa theo một phương án thực hiện ưu tiên của sáng chế.

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 các hình H.7, H.8, H.9, H.10, H.11, H.12, H.13, H.14, H.15 bao gồm các khối chức năng chính sau:

- Khối linh kiện cảm biến đo từ trường ba trục là đầu đo cho hệ thống thiết bị gồm 3 cảm biến đơn trục trục giao;
- Khối nguồn cấp điện nuôi cho mạch điện tử sử dụng nguồn nuôi Pin và các khối thay đổi điện áp (thể hiện trên bo mạch được đánh số 21, 22 và 23 trên H.7);
- 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 25 trên H.8);
- Khối khuếch đại xung tín hiệu từ khối phát xung (thể hiện trên bo mạch được đánh số 27 trên H.9);
- Khối nguồn dòng lập trình chuẩn hóa cho các linh kiện cảm biến đơn trục (thể hiện trên bo mạch được đánh số 29 và 30 trên H.10);
- Khối đo lường và xử lý tín hiệu phát xung và tín hiệu linh kiện cảm biến (thể hiện trên bo mạch được đánh số 31, 33 và trên H.11);
- Khối chuyển đổi tín hiệu số ADC (thể hiện trên bo mạch được đánh số 41 trên H.12);
- Khối khối so pha, khối định vị, khối cảm biến chuyển động và khối truyền phát dữ liệu không dây (thể hiện trên bo mạch được đánh số 44, 48 và 50 trên H.13);
- Khối truyền phát không dây cho hệ thống thiết bị (thể hiện trên bo mạch được đánh số 54 trên H.14);

- Khối vi xử lý trung tâm (thể hiện trên bo mạch được đánh số 57 trên H.15).

Khối nguồn và pin cho thiết bị:

Thiết bị sử dụng hai khối nguồn trực tiếp từ pin Li-Ion với dung lượng 10.000mAh, điện áp danh định là 7,6V-8,4V. Nguồn ngoài cung cấp để chạy thiết bị cũng như sạc điện cho pin được lấy từ cổng MicroUSB. Điện áp cấp từ cổng MicroUSB là 5V. 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 (3V).

Do đặc tính của các linh kiện điện tử và các khối chức năng được tích hợp trong hệ thống thiết bị có các yêu cầu điện áp nuôi ở các ngưỡng khác nhau nên việc sử dụng khối nguồn này có tác dụng chuyển đổi từ điện áp cấp của nguồn nuôi pin với điện áp cấp 7,6V-8,4V thành các tín hiệu điện áp khác nhau từ 3,3V, 5V đến +/- 12V. Khối nguồn được thể hiện trên H.7 có kết cấu bao gồm các khối chức năng khối biến đổi điện áp 20 cho điện áp lên đến +/- 12V nuôi cho các linh kiện khuếch đại thuật toán được sử dụng, khối hạ áp 1 22 cho điện áp lỗi ra 5V nuôi màn hình hiển thị GLCD, khối hạ áp 2 21 cho điện áp lỗi ra 3,3V nuôi các linh kiện bao gồm vi điều khiển, khối phát xung, khối cảm biến gia tốc, khối chuyển phát dữ liệu, khối định vị ..., khối điều khiển sạc cho pin 23, hệ thống tự lọc nhiễu 24.

Linh kiện sử dụng cho khối biến đổi điện áp là ZUW61212, cho khối hạ áp 1 là TPS54360, cho khối hạ áp 2 là TLV1117.

Khối phát tín hiệu đầu vào kích thích 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 V_{rms} , tần số dao động trong khoảng 30kHz đến 35kHz (có thể thay đổi tùy thuộc vào từng linh kiện cảm biến đơn trục). Do đặc tính của mỗi bộ phận cảm biến từ trường có sự lệch nhau về tần số nhỏ nên khối phát xung này sẽ có thêm tính năng thay đổi tần số để lựa chọn tần số cộng hưởng của linh kiện sao cho tại đó tín hiệu lỗi ra của cảm biến là lớn nhất, việc điều khiển này được thực hiện nhờ khối xử lý trung tâm cho phép ghi nhận tín hiệu lỗi ra của linh kiện cảm biến và ghi nhớ tần số làm việc ứng với tín hiệu lớn nhất trong quá trình thực hiện việc quét tần số. Do yêu cầu của linh kiện cảm biến hoạt động dựa trên hiệu ứng từ - điện phải có từ trường xoay chiều kích thích đủ lớn nên để đảm bảo nguồn phát xung cấp tín hiệu đủ

mạnh nuôi cho cuộn dây tạo từ trường kích thích, thông thường công suất phát ra của các IC chức năng phát tần số thường không cao, do đó yêu cầu một khối khuếch đại công suất đã được sử dụng cho điện áp xoay chiều lỗi ra nuôi linh kiện cảm biến đạt cỡ $4V_{rms}$.

Khối phát xung được thể hiện trên H.8 để cấp cho cuộn dây kích thích 4 của linh kiện cảm biến 1 như được mô tả trên H.2 và H.4 là xung xoay chiều, tốt hơn là phát xung hình sin lưỡng cực, có tần số thay đổi được cho phép lựa chọn tần số dao động cộng hưởng tại đó linh kiện cảm biến hoạt động với tính năng tốt nhất. Khối phát xung hoạt động nhờ linh kiện IC phát xung 25 có kết nối với khối vi xử lý thông qua các chân nối (26) để điều khiển tần số phát của IC phát xung này.

Linh kiện sử dụng cho việc tạo tín hiệu sin là IC AD9850 có khả năng lập trình được tần số đầu ra thông qua giao tiếp với vi xử lý trung tâm.

Khối khuếch đại xung tín hiệu từ khối phát xung

Khối khuếch đại được thể hiện trên H.9 có chức năng khuếch đại tín hiệu kích thích từ khối phát xung để tạo ra tín hiệu đủ lớn cấp cho cuộn dây kích thích của linh kiện cảm biến đo từ trường 3D và hệ thống đo và vẽ từ trường trái đất. Khối này có kết cấu bao gồm linh kiện khuếch đại thuật toán 27, tụ điện điện trở và các biến trở 28 để điều chỉnh biên độ điện áp kích thích lỗi ra đủ lớn thích ứng hoạt động của linh kiện cảm biến. Linh kiện sử dụng cho khuếch đại thuật toán là OPA2134.

Khối nguồn dòng lập trình chuẩn hóa cho các linh kiện cảm biến đơn trục

Khối nguồn chuẩn hóa cho linh kiện cảm biến thể hiện trên H.10 có thiết kế bao gồm linh kiện phát dòng một chiều 29 kết nối với các điện trở 30 cho phép lựa chọn cường độ dòng điện với các giá trị khác nhau nhau để cấp cho cuộn dây chuẩn hóa 5 của linh kiện cảm biến 1 với mục đích tạo ra một cường độ từ trường một chiều chiều có độ lớn đã xác định thích ứng với cấu tạo cuộn dây và dòng điện được đặt vào cho mục đích tự động tính toán hệ số chuyển đổi đáp ứng của tín hiệu cảm biến với từ trường để nạp vào vào khối vi xử lý trung tâm. Linh kiện sử dụng cho phát dòng một chiều là AD5750-1.

Khối đo lường và xử lý tín hiệu phát xung và tín hiệu linh kiện cảm biến

Khối nguồn chuẩn hóa cho linh kiện cảm biến được thể hiện trên H.11 có cấu trúc bao gồm các khối chức năng: các khối khuếch đại vi sai sử dụng các linh kiện IC khuếch đại 31a, 31b lần lượt khuếch đại tín hiệu từ linh kiện cảm biến và tín hiệu từ khối phát xung với hệ số khuếch đại có thể điều chỉnh được nhờ các biến trở tương ứng 32a, 32b, các khối đệm và chuyển đổi xung vuông 33a, 33b, được sử dụng lần lượt cho tín hiệu cảm biến sau khuếch đại và tín hiệu phát xung sau khuếch đại, khối khi chuyển đổi tín hiệu từ xoay chiều AC sang một chiều DC có cấu trúc bao gồm linh kiện khuếch đại thuật toán 34 và các tụ điện 35 có chức năng lọc nhiễu nguồn. Khối khuếch đại này được kết nối với khối tín hiệu lỗi ra cảm biến thông qua các chân kết nối 36 và kết nối với khối phát xung qua các chân kết nối 37; tín hiệu lỗi ra là tín hiệu DC từ khối này sẽ được kết nối với các khối chuyển đổi tín hiệu số thông qua chân kết nối 38 và tín hiệu xung vuông lỗi ra lần lượt của tín hiệu cảm biến và tín hiệu phát xung sẽ được kết nối với khối so pha qua các chân kết nối tương ứng 39, 40.

Linh kiện sử dụng cho khuếch đại vi sai là INA128, các khối đệm và chuyển đổi xung vuông sử dụng các linh kiện IC khuếch đại thuật toán OPA2134.

Khối chuyển đổi dữ liệu

Bộ chuyển đổi tín hiệu số được thể hiện trên H.12 có chức năng đọc và ghi nhận tín hiệu lỗi ra từ linh kiện cảm biến được kết nối với các chân 42 sau khi đã được đo lường và xử lý cho thông tin về độ lớn của cường độ từ trường đo nhờ sử dụng linh kiện ADC 41 với số bit được lựa chọn phù hợp, tín hiệu số lỗi ra từ khối này sẽ được đưa vào khối vi xử lý qua các chân kết nối 43. Bộ chuyển đổi tín hiệu số được sử dụng là ADC 24 bit.

Khối đọc pha

Cấu trúc của mạch khối đọc pha được thể hiện trên H.13 có thiết kế bao gồm khối so pha sử dụng linh kiện chuyển đổi Flip-Flop 44 có chức năng so sánh pha của hai xung vuông thu được từ tín hiệu của linh kiện cảm biến và tín hiệu phát xung qua các chân kết nối 45 có tích hợp với chuỗi đèn LED hiển thị báo pha 46 và tín hiệu sau so pha được kết nối với khối vi xử lý các chân kết nối 47. Linh kiện được sử dụng cho khối đọc pha là Flip-Flop 74HC74.

Khối tích hợp định vị, khối cảm biến chuyển động

Cấu trúc của mạch khối so pha được thể hiện trên H.13 có cấu trúc bao gồm khối cảm biến chuyển động 48 có chức năng đo góc nghiêng thời gian thực của hệ thống thiết bị trong quá trình thực hiện đo lường và tín hiệu lỗi ra của khối này sẽ được kết nối với vi xử lý thông qua các chân kết nối 49, khối định vị GPS 50 và ăng ten 51 được kết nối với khối vi xử lý qua các chân kết nối 52 và được nuôi bằng nguồn nuôi pin 53 có chức năng đọc vị trí không gian gồm kinh độ, vĩ độ, độ cao, thời gian, tốc độ di chuyển của hệ thống khi thực hiện đo lường khảo sát.

Linh kiện sử dụng cho khối cảm biến chuyển động là khối đo gia tốc, tốc độ quay và góc lệch dùng STM8 kết hợp với IC đo chuyển động sáu trục MPU6050; Linh kiện sử dụng cho khối định vị là Quectel L70;

Khối truyền phát dữ liệu không dây

Khối truyền phát không dây được thể hiện trên H.14 có chức năng truyền phát các dữ liệu đo đạc thời gian thực bao gồm cường độ từ trường, góc định hướng, thời gian, tốc độ, kinh độ, vĩ độ và độ cao từ hệ thống thiết bị đi một khoảng cách xa đến trạm thu với khoảng cách phụ thuộc vào linh kiện điện tử phù hợp. Cấu trúc khối này bao gồm linh kiện IC truyền không dây 54, ăng ten thu phát 55 và được kết nối với vi xử lý thông qua các chân kết nối 56.

Linh kiện dùng cho khối truyền dữ liệu không dây là IC truyền không dây SX1276.

Khối vi xử lý trung tâm

Khối vi xử lý trung tâm được đánh số 57 thể hiện trên H.15 được nuôi bằng nguồn nuôi pin 1.5V 59 có chức năng truyền, nhận dữ liệu, thông tin trạng thái, tín hiệu điều khiển; xử lý và lưu trữ dữ liệu từ tất cả các khối chức năng bên trong thiết bị bao gồm: đọc tín hiệu biên độ của linh kiện cảm biến từ khối ADC 41, đọc pha từ khối so pha 44, điều khiển tần số của khối phát xung 25, điều khiển nguồn dòng lập trình 29 cho chức năng chuẩn hóa linh kiện cảm biến, đọc góc nghiêng từ khối cảm biến chuyển động 48, đọc vị trí và tốc độ di chuyển từ khối định vị 50, kết nối với khối nạp code và debug qua các chân kết nối 58; khối này thực hiện chức năng lưu trữ, tính toán và xử lý tín hiệu ghi nhận được, kết nối và truyền dữ liệu với khối truyền

phát không dây, kết nối với màn hình hiển thị và cổng kết nối với máy tính. Linh kiện dùng cho khối vi xử lý trung tâm là IC STM32f429.

Màn hình hiển thị và cổng kết nối

Màn hình hiển thị có chức năng hiển thị thời gian thực các thông số đo bao gồm: hiển thị ba thành phần từ trường H_x , H_y , H_z ; độ lớn từ trường trong mặt phẳng nằm ngang; độ lớn từ trường vuông góc; cường độ từ trường tổng cộng; góc nghiêng của véc-tơ từ trường so với mặt phẳng nằm ngang; vị trí không gian bao gồm kinh độ, vĩ độ và độ cao; thời gian; tốc độ di chuyển của thiết bị; các chức năng điều khiển bao gồm tự động quét tần tự động và tự động chuẩn hóa; tắt/bật hệ thống truyền phát dữ liệu không dây; hiển thị chức năng điều khiển của thiết bị bao gồm: tự động chuẩn hóa, tự động dò tần và chế độ báo đang thực hiện chu trình hoặc đã kết thúc chu trình và chế độ báo dung lượng pin.

Màn hình hiển thị được sử dụng là GLCD (Graphic Liquid Crystal Display) 7inch (800x480) cảm ứng điện dung giao tiếp với cổng UART của vi xử lý trung tâm MCU.

Chuẩn hóa linh kiện cảm biến đơn trục

Để xác định hệ số chuyển đổi k_x , k_y , k_z của các linh kiện cải tiến nhạy từ trường đơn trục, yêu cầu phải tiến hành quá trình chuẩn hóa để tính toán tín hiệu đáp ứng của cảm biến với một giá trị đặt vào của từ trường. Quá trình này được thực hiện bằng cách hệ thống thiết bị tự phát ra một xung dòng một chiều I_{dc} cấp cho cuộn dây chuẩn hóa để tạo ra một từ trường một chiều có giá trị xác định đã biết được tính toán theo công thức:

$$H_{dc} = n_{ch} \times I_{dc} \quad (6)$$

Hệ thống thiết bị sẽ ghi nhận sự thay đổi của tín hiệu ΔV_x , ΔV_y , ΔV_z trên các đơn cảm biến trục O_x , O_y và O_z tương ứng khi có sự xuất hiện của xung này, các hệ số chuyển đổi tương ứng sẽ được tính toán sử dụng công thức:

$$\begin{aligned} k_x &= |\Delta V_x / H_{dc}| \\ k_y &= |\Delta V_y / H_{dc}| \\ k_z &= |\Delta V_z / H_{dc}| \end{aligned} \quad (7)$$

Các hệ số chuyển đổi này sẽ được hệ thống thiết bị ghi nhớ và sử dụng cho các tính toán cường độ từ trường.

Thuật toán tính từ trường và góc định hướng

Từ các hệ số chuyển đổi khi đã được thiết bị ghi nhớ sau khi thực hiện quy trình chuẩn hóa như đã nêu ở trên, các thành phần từ trường tại vị trí đo được xác định từ các tín hiệu điện áp V_x , V_y , V_z thu được từ cảm biến mà hệ thống thiết bị ghi nhận được, các thành phần từ trường được tính toán theo công thức:

$$\begin{aligned} H_x &= V_x/k_x \\ H_y &= V_y/k_y \\ H_z &= V_z/k_z \end{aligned} \quad (8)$$

Từ các thành phần từ trường này, từ trường trong mặt phẳng nằm ngang H_{ng} , từ trường theo phương vuông góc H_{vg} , từ trường tổng cộng H và góc nghiêng θ của từ trường so với mặt phẳng nằm ngang được xác định bằng công thức:

$$\begin{aligned} H &= \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2} \\ \theta &= \arctan\{H_z/(H_x^2 + H_y^2)\} \\ H_{ng} &= H = \sqrt{H_x^2 + H_y^2} \\ H_{vg} &= H_z \end{aligned} \quad (9)$$

Linh kiện cảm biến từ trường ba trục được mô tả như sau:

Linh kiện cảm biến từ trường ba trục sẽ được mô tả chi tiết hơn dựa vào các hình vẽ từ H.2 đến H.4.

Linh kiện cảm biến từ trường ba trục 18 được thể hiện trên H.4 được kết cấu gồm 3 linh kiện cảm biến nhạy từ trường đơn trục được đánh số lần lượt là 1a, 1b, 1c tương ứng cho các cảm biến trục Ox , trục Oy và trục Oz được bố trí trong không gian dọc theo ba cạnh vuông góc nhau không chung đỉnh của một hình hộp lập phương sử dụng ba tấm mạch in được đánh số lần lượt là 18a, 18b, và 18c được cố định với nhau sử dụng các giắc cắm vuông dùng cho mạch in được đánh số 19a và 19b được hàn cố định và được kết nối điện với các điện cực trên mạch điện tử đo lường ở các vị trí phù hợp.

Linh kiện cảm biến từ trường đơn trục 1 được thể hiện trên H.2 có kết cấu bao gồm phần lõi 2 bao gồm nhiều vật liệu tổ hợp từ giao áp điện dạng lớp 3 mắc nối tiếp với nhau được đặt vào bên trong lõi của các cuộn dây kích thích 4 và cuộn dây chuẩn hóa 5, các điện cực kết nối từ vật liệu 3a, 3b và từ các cuộn dây kích thích 4a, 4b và cuộn dây chuẩn hóa 5a, 5b của phần lõi được kết nối với khi các chân cắm 10a, 10b trên mạch in điện tử PCB 7 thông qua các mối hàn 6. Phần lõi được đặt vào bên trong vỏ bảo vệ được cấu tạo bởi hai phần là phần trên 8 và phần dưới 9, hai phần này được cố định với nhau sử dụng 4 ốc bố trí 9a, 9b, 9c và 9d bố trí ở các góc của vỏ.

H.3a, H.3b, H.3c và H.3d lần lượt là hình chiếu đứng thể hiện phần vật liệu 3 tổ hợp từ giao - áp điện dạng lớp mắc nối tiếp gồm nhiều mẫu vật liệu với nhau thể hiện phần lõi của linh kiện cảm biến nhảy từ trường đơn trục trên H.2, tám vật liệu nền áp điện đã được gắn các điện cực nối, tám vật liệu từ giao dạng băng mỏng và hình phối cảnh thể hiện cách mắc nối tiếp các vật liệu này với nhau. Phần vật liệu 3 của phần lõi của linh kiện cảm biến nhảy từ trường đơn trục có kết cấu bao gồm nhiều mẫu vật liệu tổ hợp có cấu trúc dạng lớp xen kẽ giữa tám nền 11 là vật liệu áp điện được phân cực với vectơ phân cực điện 12 nằm dọc theo phương vuông góc với mặt phẳng tám, ở hai mặt của tám nền đã được phủ lớp vật liệu dẫn điện và được kết nối với các điện cực nối 3b, 3c nhờ các mối hàn 13, ở hai phía của tám nền gắn với tám vật liệu từ giao 14 bằng lớp keo kết dính 15, tám vật liệu từ giao được xẻ rãnh 16 chia thành các nan có kích thước bằng nhau không tách rời 17a, 17b, các tám nền được mắc nối tiếp với nhau thông qua điện cực dẫn 3c.

Theo phương án được ưu tiên của sáng chế, vật liệu áp điện của tám nền 11 của phần lõi 3 của bộ phận cảm biến 1 là PZT có hệ số cơ điện k_{33} xấp xỉ bằng 0,76.

Tốt hơn nếu, kích cỡ xác định chiều dài x chiều rộng x chiều dày ($L_p \times W_p \times t_p$) của tám nền (11) được chọn bằng 50 x 2 x 0,5mm.

Cũng tốt hơn nếu, vật liệu từ giao của lớp dạng màng mỏng 14 của phần lõi 3 của bộ phận cảm biến 1 là các hợp kim của kim loại chuyển tiếp Fe, Co, Ni có cấu trúc vô định hình.

Ngoài ra, kích cỡ xác định chiều dài (L_{tg}) và chiều dày (t_{tg}) của lớp dạng màng mỏng 14 được chọn lần lượt bằng 60mm và 18 μ m và được xẻ một rãnh để chia

thành hai nan không tách rời đều nhau với khoảng cách nan s là 1,0mm, độ rộng nan Wn_tg là 0,8mm, chiều dài rãnh là 50mm bằng với chiều dài của tấm nền 11.

Hơn nữa, vật liệu được sử dụng để tạo cuộn dây hình ống 4 có tác dụng kích thích từ trường xoay chiều của cho bộ phận cảm biến 1 là đồng.

Tiếp theo, phương pháp chế tạo linh kiện cảm biến đo từ trường ba trục 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 bằng N mẫu vật liệu tổ hợp có hiệu ứng từ-điện có cấu trúc dạng lớp, mỗi mẫu vật liệu tổ hợp bao gồm: tấm nền 11 như có dạng hình chữ nhật có kích cỡ xác định bằng vật liệu áp điện, lớp điện cực 11a, 11b được tạo trên hai mặt đối diện của tấm nền 11 để tạo thành mặt điện cực, lớp từ giả dạng bằng mỏng bằng vật liệu từ có kích cỡ xác định được xẻ nhiều rãnh chia thành các nan nhưng không tách rời được gắn trên hai mặt của lớp điện cực;

gắn cố định các cực nối 3a, 3b, 3c vào hai mặt điện cực để kết nối các mẫu vật liệu với nhau lần lượt theo thứ tự: mặt điện cực dưới 11b của mẫu vật liệu thứ nhất được nối với mặt điện cực trên 11a của mẫu vật liệu thứ hai bằng điện cực nối 3c, mặt điện cực dưới của mẫu vật liệu thứ hai được nối với mặt điện cực trên của mẫu vật liệu thứ ba bằng điện cực nối,... cứ như vậy cho đến mặt điện cực dưới của mẫu vật liệu thứ $N-1$ được nối với mặt điện cực trên của mẫu vật liệu thứ N bằng điện cực nối, hai điện cực 3a và 3b được kết nối với mặt điện cực dưới 11b của vật liệu thứ N và mặt phía trên 11a của vật liệu thứ nhất chính là điện cực lõi ra của phần lõi sẽ được nối ra ngoài với mạch PCB 7 bằng cách hàn thông qua mỗi hàn 6.

tạo ra cuộn dây kích thích 4 hình ống bằng vật liệu dẫn điện thường là đồng để tạo từ trường xoay chiều kích thích hoạt động của bộ phận lõi, cuộn dây này có kích cỡ xác định và được làm thích ứng với đường kính bên trong đủ rộng để có thể chứa được toàn phần lõi trong đó, đầu vào và đầu ra của cuộn dây là các cực nối điện 4a, 4b của cuộn dây kích thích;

tạo ra cuộn dây chuẩn hóa 5 hình ống bằng vật liệu dẫn điện thường là đồng để tạo từ trường một chiều với cường độ phù hợp dọc theo trục của phần lõi, cuộn dây

này được cuốn xung quanh và đồng trục với cuộn dây kích thích 4, đầu vào và đầu ra của cuộn dây là các cực nối điện 5a, 5b của cuộn dây chuẩn hóa;

lồng phần lõi 3 vào bên trong lòng của hai cuộn dây đã được ghép đồng trục để tạo ra bộ phận cảm biến nhảy từ trường đơn trục;

tạo vỏ linh kiện bằng vật liệu nhựa cứng không từ tính, cách điện có dạng hình hộp chữ nhật có kích thước xác định được cấu thành bởi hai bộ phận là phần đáy 8 và phần nắp đáy 9 có khoét rãnh tạo vùng rỗng 2 bên trong có kích cỡ được làm thích ứng để chứa vừa vặn được bộ phận cảm biến trong đó, vỏ linh kiện có các lỗ khoan được tạo ra để cố định với bo mạch sử dụng bốn vít 9a, 9b, 9c và 9d bố trí ở các góc của vỏ;

lồng các bộ phận cảm biến vào trong vùng rỗng 2 ở bên trong vỏ linh kiện, trong đó các cực nối điện của phần lõi và của các cuộn dây kích thích và chuẩn hóa được đưa ra ngoài vỏ linh kiện và được kết nối với các chân mạch in và được hàn trên bo mạch PCB 7 sử dụng các mối hàn thiếc 6a, 6b ở các vị trí phù hợp, trên bo mạch có các giắc cắm ra ngoài 10a, 10b được bố trí phù hợp với các vị trí của các điện cực kết nối của phần lõi;

phủ lớp epoxy bảo vệ ra bề mặt ngoài của vỏ linh kiện để cố định phần đáy và phần nắp của vỏ hộp và dùng vít nhựa để cố định linh kiện cảm biến trên mạch in PCB;

Có lợi nếu, tấm nền 11 được cắt hình chữ nhật với kích thước chính xác sử dụng dao cắt hoặc phay CNC.

Có lợi nếu, tấm vật liệu từ giáo 14 được cắt hình chữ nhật và xẻ thành các nan không tách rời sử dụng dao cắt hoặc phay CNC.

Có lợi nếu, bước tạo lớp bằng vật liệu từ giáo gắn trên tấm nền được thực hiện bằng lớp kết dính 15 sử dụng keo dính có cơ tính và độ đàn hồi cao (epoxy hai thành phần).

Hơn nữa, việc tạo ra vùng rỗng 2 trong vỏ linh kiện có thể được thực hiện bằng công nghệ cắt Laser hoặc phay CNC, các lỗ bắt vít được tạo ra nhờ công nghệ cắt Laser hoặc khoan cắt cơ khí.

Theo phương án được ưu tiên của sáng chế, việc gắn cố định các dây điện cực 3c với các mặt điện cực 11a và 11b của các tấm vật liệu nền 11 với nhau thực hiện bằng cách hàn sử dụng các mối hàn thiếc 13, các cực nối 3a, 3b phần lồi ra ngoài và các cực nối 4a, 4b của cuộn dây kích thích 5a, 5b của cuộn dây chuẩn hóa với các cực nối điện của mạch in PCB thực hiện bằng cách hàn sử dụng các mối hàn thiếc 6.

Tiếp theo, hệ thống thiết bị đo từ trường trái đất ba trục 60 được mô tả chi tiết trong H.16 có kết cấu bao gồm:

vỏ thiết bị 61 có dạng gần như hình hộp chữ nhật bao gồm mặt trước 61a, mặt sau 61b và các mặt bên 61c; mặt trước 61a có thể lắp tháo được với các mặt bên 61c và mặt sau 61b;

các bo mạch điện tử của các khối chức năng được bố trí bên trong vỏ thiết bị 61.

màn hình hiển thị 63 được bố trí ở mặt 61a của vỏ thiết bị 61 được nối điện điều khiển được với bo mạch điều khiển H.15;

các nút bấm cảm ứng điện dung 64 được bố trí bên trong màn hình hiển thị 63 để thực hiện các thao tác cài đặt thiết bị;

cổng kết nối dữ liệu 65 đồng thời cấp nguồn sạc cho thiết bị được bố trí ở một mặt bên 61c của vỏ thiết bị 61;

cổng tắc 66 tắt bật nguồn cấp cho thiết bị được bố trí ở cùng hoặc khác mặt bên 61c khác của vỏ thiết bị 61.

Tốt hơn nếu màn hình hiển thị 63 có chức năng hiển thị và/hoặc chức năng điều khiển.

Có lợi nếu chức năng hiển thị của màn hình hiển thị 63 của thiết bị bao gồm: phần hiển thị từ trường đo dạng số 63a và góc nghiêng từ trường dạng số 63b, phần hiển thị các thành phần từ trường dạng số 63c và dạng đồ thị theo theo gian thực 63d, phần hiển thị tọa độ không gian kinh độ vĩ độ dạng số 63e, phần hiển thị dung lượng pin sử dụng 63f hoặc hình nền biểu tượng 63g đặc trưng cho sản phẩm.

Ngoài ra, chức năng điều khiển của thiết bị 60 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 sơ đồ khối chức năng của hệ thống thiết bị trên H.5 và H.6, bo mạch điện tử các khối chức năng trên các hình từ H.7 đến H.15 bao gồm: Pin nuôi, khối nguồn cấp, khối phát xung kích thích, khối nguồn chuẩn hóa, linh kiện cảm biến, khối đo lường và xử lý tín hiệu, khối chuyển đổi tín hiệu số và khối vi xử lý có tích hợp thêm hệ thống định vị GPS, hệ thống cảm biến gia tốc và hệ thống truyền phát dữ liệu không dây; khối hiển thị GLCD được nối điện với khối xử lý trung tâm, và khối nguồn được nối điện và cấp điện cho các khối nêu trên.

Cụ thể hơn, hệ thống thiết bị đo và vẽ từ trường trái đất gồm các linh kiện: linh kiện cảm biến đo từ trường ba trục được thể hiện trên H.4; khối pin và nguồn nuôi thiết bị được thể hiện trên H.7; khối tạo xung cho linh kiện cảm biến sử dụng 3 khối phát xung thể hiện trên H.8 lần lượt cho các linh kiện cảm biến nhảy từ trường đơn trục 1a, 1b, 1c; khối khuếch đại của khối phát xung sử dụng ba khối được thể hiện trên H.9; khối nguồn chuẩn hóa cho linh kiện cảm biến sử dụng ba khối được thể hiện trên H.10 lần lượt cho các linh kiện cảm biến nhảy từ trường đơn trục 1a, 1b, 1c; khối đo lường và xử lý tín hiệu phát xung và tín hiệu linh kiện cảm biến lần lượt cho các linh kiện cảm biến nhảy từ trường đơn trục 1a, 1b, 1c sử dụng ba khối được thể hiện trên H.11; khối chuyển đổi tín hiệu số ADC được thể hiện trên H.11; khối so pha, khối định vị, khối cảm biến chuyển động và khối truyền phát dữ liệu không dây được thể hiện trên H.12; khối truyền phát không dây được thể hiện trên H.13; khối xử lý trung tâm được thể hiện trên H.15.

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

Ví dụ thực hiện sáng chế

Tiến hành chế tạo và đo đạc thử nghiệm các mẫu vật liệu từ - điện khác nhau để khẳng định các cơ sở khoa học được đề xuất trong phương án thực hiện ưu tiên của sáng chế.

Chế tạo vật liệu và linh kiện cảm biến

Tấm nền vật liệu áp điện (ảnh chụp H.20a) và tấm băng mỏng vật liệu từ giả là hợp kim của FeNi vô định hình (ảnh chụp H.20b) đã được cắt tạo hình lần lượt thành hình chữ nhật và xẻ rãnh thành các nan đều nhau (ảnh chụp H.20c), sau đó được dán lại với nhau sử dụng keo epoxy và hàn điện cực lên hai mặt của tấm nền (ảnh chụp H.20d).

Các vật liệu này sẽ được mắc nối tiếp với nhau để tạo ra phần lõi của linh kiện cảm biến bao gồm hai hoặc ba hoặc nhiều hơn số lượng các mẫu vật liệu tổ hợp.

Phần lõi này được đưa vào bên trong cuộn dây kích thích và cuộn dây chuẩn hóa và được đưa vào vỏ linh kiện để tạo ra các linh kiện cảm biến nhảy từ trường đơn trục theo một phương án thực hiện ưu tiên của sáng chế như ảnh chụp trên H.21a.

Sử dụng ba cảm biến đơn trục này để tạo ra linh kiện cảm biến đo từ trường ba trục theo một phương án thực hiện ưu tiên của sáng chế như ảnh chụp trên H.21b.

Cấu hình vật liệu từ giả tối ưu cho điện áp linh kiện cảm biến lõi ra lớn nhất

Việc đo đạc khảo sát tần số làm việc đã được thực hiện trên các mẫu vật liệu với số lượng nan chia khác nhau trên H.22a đến H.22e lần lượt cho số lượng 1, 2, 3, 4, 5, 6 cho đặc trưng phụ thuộc tần số với tần số cộng hưởng cỡ $f_r \sim 33$ kHz cho tất cả các mẫu, trong đó, mẫu có số nan là hai cho tín hiệu điện áp lớn nhất so với các mẫu còn lại. Đây chính là cấu hình mẫu được lựa chọn trong phương án thực hiện ưu tiên của sáng chế với lớp vật liệu từ giả được tạo hình chữ nhật chia thành hai nan đều nhau nhưng không tách rời sẽ đem lại hiệu quả tăng cường tín hiệu của linh kiện cảm biến so với trường hợp không chia nan.

Một minh chứng nữa cho phương án thực hiện ưu tiên của sáng chế được thực hiện khi so sánh mẫu vật liệu từ-điện sử dụng lớp vật liệu từ giả dạng hai nan tách rời và hai nan không tách rời cho kết quả đo trên H.23a với tín hiệu thu được trên mẫu sử dụng vật liệu từ giả dạng hai nan không tách rời lớn hơn 7,5% so với trường hợp dùng hai nan tách rời trên H.23b. Kết quả này phù hợp với kết quả thu được từ tính toán mô phỏng lý thuyết. Đây là một minh chứng cho phương án thực hiện ưu tiên của sáng chế để giảm thiểu hiệu ứng khử từ giữa các nan lân cận nhau nhờ có phần không cắt rời hai đầu mẫu giúp gia tăng được tín hiệu cảm biến.

Ghép nối tiếp nhiều mẫu vật liệu từ-điện để gia tăng tín hiệu linh kiện cảm biến

Việc đo đặc khảo sát thực nghiệm đã được thực hiện trên hệ mẫu vật liệu nối tiếp gồm nhiều (N) mẫu vật liệu tổ hợp với số lượng khác nhau lần lượt $N = 1$, $N = 2$ và $N = 3$ được thể hiện trên H.24 với kết quả cho thấy lần lượt tín hiệu linh kiện cảm biến tăng tương ứng là 1; 1,96 và 2,77 lần. Đây là một minh chứng cho phương án thực hiện ưu tiên của sáng chế để gia tăng được tín hiệu của linh kiện cảm biến lên nhiều lần giúp cho giảm hệ số khuếch đại của mạch điện tử và do đó, giảm nhiễu cho toàn bộ hệ thống thiết bị.

Tiến hành đo kiểm để đánh giá hệ thống thiết bị đo và vẽ từ trường trái đất 3D

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. Sản phẩm tích hợp hoàn thiện bao gồm linh kiện cảm biến và mạch điện tử được thể hiện trên các hình từ H.5 đến H.15. Toàn bộ thiết bị được đóng hộp trong một vỏ bảo vệ không nhiễm từ tính bằng vật liệu nhựa cứng và được nuôi bằng một pin Li-Ion hoặc bằng một nguồn nuôi 5V thông qua cổng MicroUSB.

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 của từ trường đo 0,1nT và độ chính xác góc đạt 0,1 độ, đây cũng chính là độ chính xác của hệ thống thiết bị. Đáp ứng với từ trường của linh kiện cảm biến.

Đo kiểm hoạt động của hệ thống thiết bị đo và vẽ từ trường trái đất 3D được thực hiện bằng cách sử dụng hệ tạo từ trường đồng nhất bằng cuộn Helmholtz 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 được lựa chọn từ -120.000nT đến 120.000nT phù hợp với dải đo trong đó có từ trường trái đất (20.000nT – 60.000nT). Kết quả đo đặc thử nghiệm hệ thống thiết bị đo và vẽ từ trường trái đất 3D được thực hiện trong ví dụ thực hiện sáng chế theo các phương án ưu tiên của sáng chế. Các hình H.25a và H.25b lần lượt là tín hiệu điện áp từ linh kiện cảm biến sau khi chuyển đổi thành điện áp một chiều $|V_{dc}|$, điện áp pha V_{pha} thiết bị đọc thông qua các khối chức năng trong mạch điện tử đã được mô tả theo các phương án thực hiện ưu tiên của sáng chế. Theo nguyên lý hoạt động của mạch điện tử được mô tả ở trên, tín hiệu điện đo được từ linh kiện cảm biến sau khi đã qua khối

chuyển đổi thành tín hiệu điện một chiều chỉ mang giá trị dương do vậy chỉ cho thông tin về độ lớn của cường độ từ trường mà không cho thông tin về dấu. Việc xác định dấu của từ trường được thực hiện nhờ kết hợp tín hiệu điện đọc được từ khối so pha V_{pha} do mạch điện tử ghi nhận được với hai trạng thái thấp và cao. Khi đó điện áp đo được trên cảm biến kết hợp với dấu sẽ được xác định theo công thức:

$$|V_{dc}| = V_{dc} \text{ nếu giá trị } V_{pha} > 1,4 \quad (11)$$

$$|V_{dc}| = -V_{dc} \text{ nếu giá trị } V_{pha} < 1,4$$

Giá trị 1,4V là giá trị trung bình của hai trạng thái mà khối đọc pha ghi nhận được ứng với 2,8V và 0V khi trục cảm biến cùng chiều hoặc ngược chiều với từ trường đo. H.25c là điện áp đo được trên cảm biến đã được tính toán về cả dấu và độ lớn khi kết hợp các tín hiệu đo được từ hai hình H.25a và H.25b sử dụng công thức (11).

Bên cạnh đó, kết quả đo trên H.25 cho thấy tín hiệu đáp ứng tuyến tính tốt với từ trường trong toàn dải khảo sát, không có độ trễ từ cho phép hệ thống thiết bị hoạt động với độ lặp lại cao.

Chuẩn hóa linh kiện cảm biến

Việc chuẩn hóa từng linh kiện cảm biến đơn trục được thực hiện bằng cách cấp từ trường một chiều với cường độ đã biết trước nhờ sử dụng khối chuẩn hóa để tạo ra một dòng điện một chiều có cường độ 24mA cấp cho cuộn dây chuẩn hóa của các linh kiện cảm biến đơn trục, với dòng điện này, một từ trường có cường độ $H_{dc} = 36.685$ nT được đặt vào cảm biến. Kết quả tín hiệu cảm biến đọc được trên hệ thống thiết bị khi cho đo quét với dòng điện do khối dòng này tạo ra cho kết quả trên H.26a và đồ thị biểu diễn sự thay đổi tín hiệu điện áp của linh kiện cảm biến theo từ trường của cuộn dây chuẩn hóa đã được qui đổi ứng với các giá trị dòng điện này. Từ đồ thị này, hệ số chuyển đổi k_x , k_y , k_z của các linh kiện cảm biến đơn cảm biến trục Ox , Oy và Oz tương ứng được tính toán sử dụng công thức (7) và được thể hiện bằng các giá trị được đưa ra trên các hình tương ứng. Các hệ số chuyển đổi này sẽ được sử dụng để tính toán từ trường cho hệ thống thiết bị theo phương án thực hiện ưu tiên của sáng chế. Cường độ từ trường về độ lớn được xác định theo công thức (8) thông qua các hệ

số chuyển đổi được thu được từ tính năng tự động chuẩn hóa của hệ thống thiết bị còn dấu của từ trường được xác định dựa vào giá trị điện áp pha

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. Để đảm bảo không có nhiễu từ trường xung quanh ảnh hưởng đến phép đo, thí nghiệm được thực hiện trong điều kiện phòng thí nghiệm, trong buồng chân không từ có kết cấu ba lớp. Kết quả đo đặc đánh giá độ phân giải của linh kiện cảm biến trong hệ thống thiết bị đo và vẽ từ trường trái đất 3D được thực hiện theo các phương án thực hiện ưu tiên của sáng chế được thể hiện trên H.27a với bước đo từ trường giữa các điểm đo được đặt là 3nT và bố trí thí nghiệm với buồng chân không từ được sử dụng trong phép đo này được thể hiện trên H.27b. Kết quả đo này minh chứng cho độ phân giải đạt được của hệ thống thiết bị là 10^{-1} nT. Có thể khẳng định các đo đặc 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 10^{-1} nanoTesla. Độ phân giải này có thể so sánh tương đương với cảm biến dựa trên hiệu ứng proton và cảm ứng điện từ đang được phổ biến hiện nay nhưng với ưu thế công nghệ chế tạo đơn giản và chi phí rẻ hơn rất nhiều, kích thước nhỏ gọn nhờ sử dụng hiệu ứng từ điện theo các phương án thực hiện ưu tiên của sáng chế.

Hiệu quả đạt được của sáng chế

Sáng chế đã nghiên cứu và phát triển hoàn chỉnh công nghệ chế tạo linh kiện cảm biến đo từ trường ba trục có kết cấu gồm 3 đơn cảm biến nhạy từ trường đơn trục được bố trí vuông góc với nhau trong một khối lập phương, và phương pháp chế tạo, thiết bị điện tử đo từ trường trái đất điện tử tích hợp với hệ thống định vị GPS và truyền phát không dây có linh kiện cảm biến này phục vụ mục đích khảo sát, đo vẽ từ trường trái đất ứng dụng trong trong khoa học và đời sống con người đặc biệt trong lĩnh vực công nghiệp (thăm dò, khai thác), quân đội, cảnh báo (động đất, bão từ,...). Hệ thống thiết bị đo vẽ từ trường trái đất đã được tích hợp bao gồm đầy đủ các khối chức năng bao gồm linh kiện cảm biến, khối nguồn nuôi, khối kích thích, khối chuẩn hóa, khối đo lường và xử lý tín hiệu, khối chuyển đổi số, khối cảm biến chuyển động,

khối định vị, khối truyền phát không dây; các khối chức năng này được kết nối với khối vi xử lý đã được thực hiện hoàn chỉnh, đáp ứng yêu cầu của thiết bị đo từ trường trái đất và thiết bị đo và vẽ từ trường trái đất với độ phân giải từ trường 10^{-1} nT và độ phân giải góc 10^{-1} độ.

Hệ thống thiết bị đo vẽ từ trường trái đất đã được thiết kế và chế tạo bao gồm ba khối cơ bản là khối bộ phận cảm biến ba trục; khối điện tử và các khối tích hợp định vị truyền phát không dây.

Khối bộ phận cảm biến ba trục là đầu đo cho hệ thống thiết bị gồm ba cảm biến nhạy từ trường đơn trục được bố trí trong không gian dọc theo ba cạnh vuông góc nhau không chung đỉnh của một hình hộp lập phương, độ phân giải từ trường 10^{-1} nT.

Khối mạch điện tử đo lường, xử lý tín hiệu cho bộ phận cảm biến có các khối chức năng bao gồm: Pin nuôi, khối nguồn cấp, khối phát xung kích thích, khối nguồn chuẩn hoá, linh kiện cảm biến, khối đo lường và xử lý tín hiệu, khối chuyển đổi tín hiệu số và khối vi xử lý. Ngoài ra, hệ thống còn tích hợp thêm các khối chức năng bao gồm khối hệ thống định vị GPS, hệ thống cảm biến gia tốc và hệ thống truyền phát dữ liệu không dây. Hệ thống thiết bị sau khi được đóng gói hoàn thiện được tích hợp với màn hình hiển thị GLCD được nối điện với khối xử lý trung tâm và khối nguồn được nối điện và cấp điện cho các khối nêu trên.

Khả năng ứng dụng công nghiệp

Hệ thống thiết bị đo vẽ từ trường trái đất theo sáng chế đáp ứng được yêu cầu phục vụ cho các mục đích khảo sát, đo vẽ từ trường trái đất ứng dụng trong trong khoa học và đời sống con người đặc biệt trong lĩnh vực công nghiệp (thăm dò, khai thác), quân đội, cảnh báo (động đất, bão từ,...).

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Linh kiện cảm biến nhảy từ trường đơn trục (1) được kết cấu bao gồm phần lõi (2) bao gồm nhiều vật liệu tổ hợp từ giảo áp điện dạng lớp (3) mắc nối tiếp với nhau được đặt vào bên trong ống lõi của các cuộn dây kích thích (4) và cuộn dây chuẩn hóa (5); phần vật liệu (3) của phần lõi có kết cấu bao gồm nhiều mẫu vật liệu tổ hợp có cấu trúc dạng lớp xen kẽ giữa tám nền (11) là vật liệu áp điện được phân cực với vectơ phân cực điện (12) nằm dọc theo phương vuông góc với mặt phẳng tám, ở hai mặt của tám nền đã được phủ lớp vật liệu dẫn điện và được kết nối với các điện cực nối (3b, 3c) nhờ các mối hàn (13), ở hai phía của tám nền gắn với tám vật liệu từ giảo (14) bằng lớp keo sao kết dính (15).
2. Linh kiện cảm biến đo từ trường trái đất ba trục (18) được tạo kết cấu gồm ba linh kiện cảm biến nhảy từ trường đơn trục theo điểm 1 được bố trí trong không gian dọc theo ba cạnh vuông góc nhau không chung đỉnh của một hình hộp lập phương và được kết nối điện với các điện cực trên mạch điện tử đo lường ở các vị trí phù hợp.
3. Thiết bị đo từ trường trái đất điện tử có chứa linh kiện cảm biến đo từ trường trái đất ba trục theo điểm 2, trong đó thiết bị bao gồm:

khối linh kiện cảm biến đo từ trường ba trục (18) là đầu đo cho hệ thống thiết bị gồm ba cảm biến đơn trục giao có chứa linh kiện cảm biến từ trường đơn trục (1) theo điểm 2;

khối nguồn cấp điện nuôi cho mạch điện tử sử dụng nguồn nuôi Pin và các khối thay đổi điện áp (21), (22) và (23);

khối phát xung tạo tín hiệu đầu vào cấp cho cuộn dây tạo từ trường kích thích (25);

khối khuếch đại xung tín hiệu từ khối phát xung (27);

khối nguồn dòng lập trình chuẩn hóa cho các linh kiện cảm biến đơn trục (29) và (30);

khối đo lường và xử lý tín hiệu phát xung và tín hiệu linh kiện cảm biến (31) và (33);

khối chuyển đổi tín hiệu số ADC (41);

khối khối đọc pha (44), khối cảm biến chuyển động (48) và khối truyền phát dữ liệu không dây (50);

khối truyền phát không dây cho hệ thống thiết bị (54);

khối vi xử lý trung tâm (57).

4. Phương pháp chế tạo linh kiện cảm biến nhảy từ trường đơn trục (1) bao gồm các bước:

cắt tấm vật liệu từ giả thành hình chữ nhật, có xẻ thành các rãnh (16) chia thành các nan (17a, 17b) có kích thước bằng nhau không tách rời;

trong đó, vật liệu từ giả của lớp dạng màng mỏng (14) của phần lõi (3) của bộ phận cảm biến (1) là các hợp kim của kim loại chuyển tiếp Fe, Co, Ni có cấu trúc vô định hình; kích cỡ xác định chiều dài (L_{tg}) và chiều dày (t_{tg}) của lớp dạng màng mỏng (14) được chọn lần lượt bằng 60mm và $18\mu\text{m}$; trong đó tấm này được xẻ một rãnh để chia thành hai nan không tách rời đều nhau với khoảng cách các nan là 1,0mm, độ rộng nan Wn_{tg} là 0,8mm, chiều dài rãnh là 50mm bằng với chiều dài của tấm nền (11);

cắt tấm vật liệu áp điện có lớp điện cực được phủ trên hai mặt đối diện của tấm nền để tạo thành mặt điện cực thành hình chữ nhật cùng kích thước với tấm vật liệu từ giả để tạo thành các tấm nền; trong đó, các tấm nền của linh kiện cảm biến nhảy từ trường đơn trục (1) theo điểm 1 có kích cỡ xác định chiều dài x chiều rộng x chiều dày ($L_p \times W_p \times t_p$) của tấm nền (11) được chọn bằng 50 x 2 x 0,5mm;

kết dính các tấm vật liệu từ giả lên 2 mặt đối diện của tấm nền để tạo thành cấu trúc xen kẽ vật liệu từ giả/áp điện/từ giả sử dụng lớp keo kết dính (15);

kết nối các tấm nền với nhau theo cấu hình mắc nối tiếp với nhau lần lượt theo thứ tự: mặt điện cực dưới (11b) của mẫu vật liệu thứ nhất được nối với mặt điện cực trên (11a) của mẫu vật liệu thứ hai bằng điện cực nối (3c), mặt điện cực dưới của mẫu vật liệu thứ hai được nối với mặt điện cực trên của mẫu vật liệu thứ ba bằng điện cực nối,... cứ như vậy cho đến mặt điện cực dưới của mẫu vật liệu thứ

N-1 được nối với mặt điện cực trên của mẫu vật liệu thứ N bằng điện cực nối và hai điện cực (3a), (3b) của phần lõi được kết nối với mặt điện cực phía dưới (11b) của vật liệu thứ N và mặt điện cực trên (11a) của vật liệu thứ nhất để tạo điện cực của phần lõi để hoàn thiện kết cấu phần lõi (3) của linh kiện cảm biến từ trường đơn trục (1);

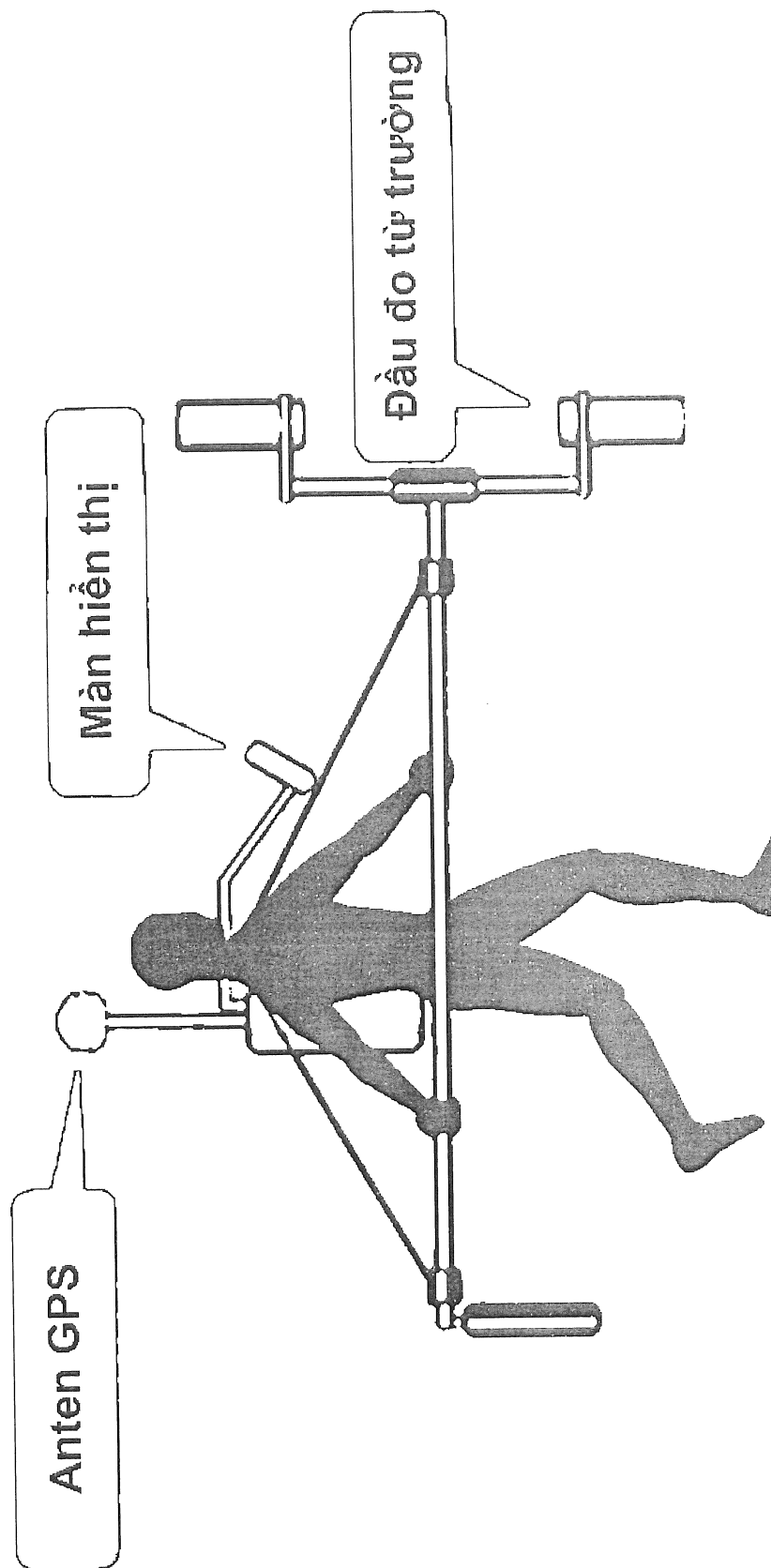
chế tạo bộ phận kích thích từ trường xoay chiều cho bộ phận cảm biến đơn trục theo điểm (1) là cuộn dây hình ống (4) cuốn bằng dây đồng;

chế tạo bộ chuẩn hóa từ trường cho bộ phận cảm biến đơn trục theo điểm (1) là cuộn dây hình ống (5) cuốn bằng dây đồng và lồng ghép đồng trục với cuộn dây (4); trong đó, phần lõi (3) được ghép đồng trục vào bên trong lòng của hai cuộn dây (4) và (5) đã được ghép đồng trục để tạo ra bộ phận cảm biến nhạy từ trường đơn trục theo điểm 1;

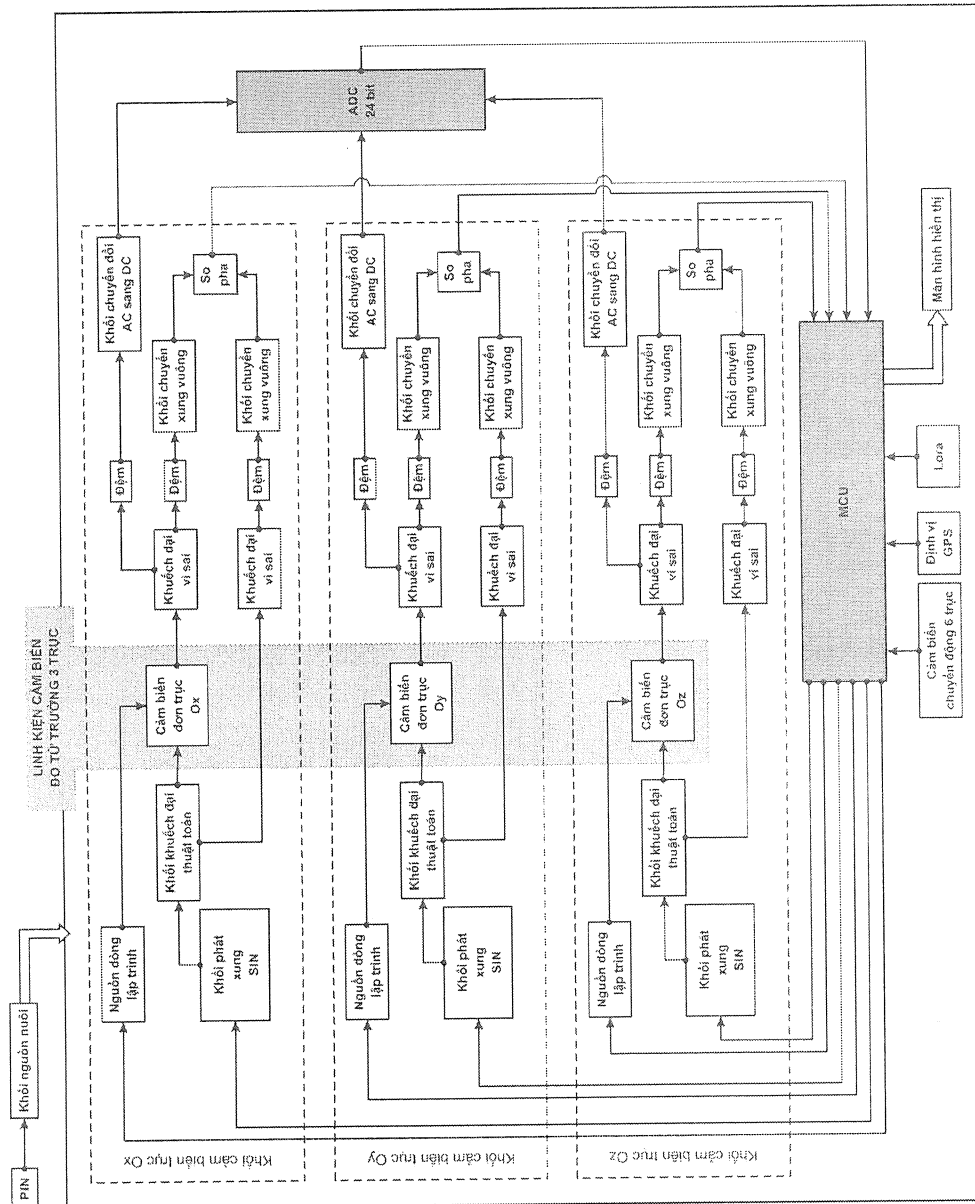
chế tạo vỏ linh kiện bằng vật liệu nhựa cứng không từ tính, cách điện có dạng hình hộp chữ nhật có kích thước xác định được cấu thành bởi 2 bộ phận là phần đáy (8) và phần nắp đậy (9) có khoét rãnh tạo vùng rỗng (2) bên trong có kích cỡ được làm thích ứng để chứa vừa vặn được bộ phận cảm biến trong đó, vỏ linh kiện có các lỗ khoan được tạo ra để cố định với bo mạch sử dụng vít (9a, 9b, 9c, 9d);

lồng các bộ phận cảm biến vào trong vùng rỗng (2) ở bên trong vỏ linh kiện, trong đó các cực nối điện của phần lõi và của các cuộn dây kích thích và chuẩn hóa được đưa ra ngoài vỏ linh kiện và được kết nối với các chân mạch in sử dụng các mối hàn (6) trên bo mạch PCB (7) ở các vị trí phù hợp;

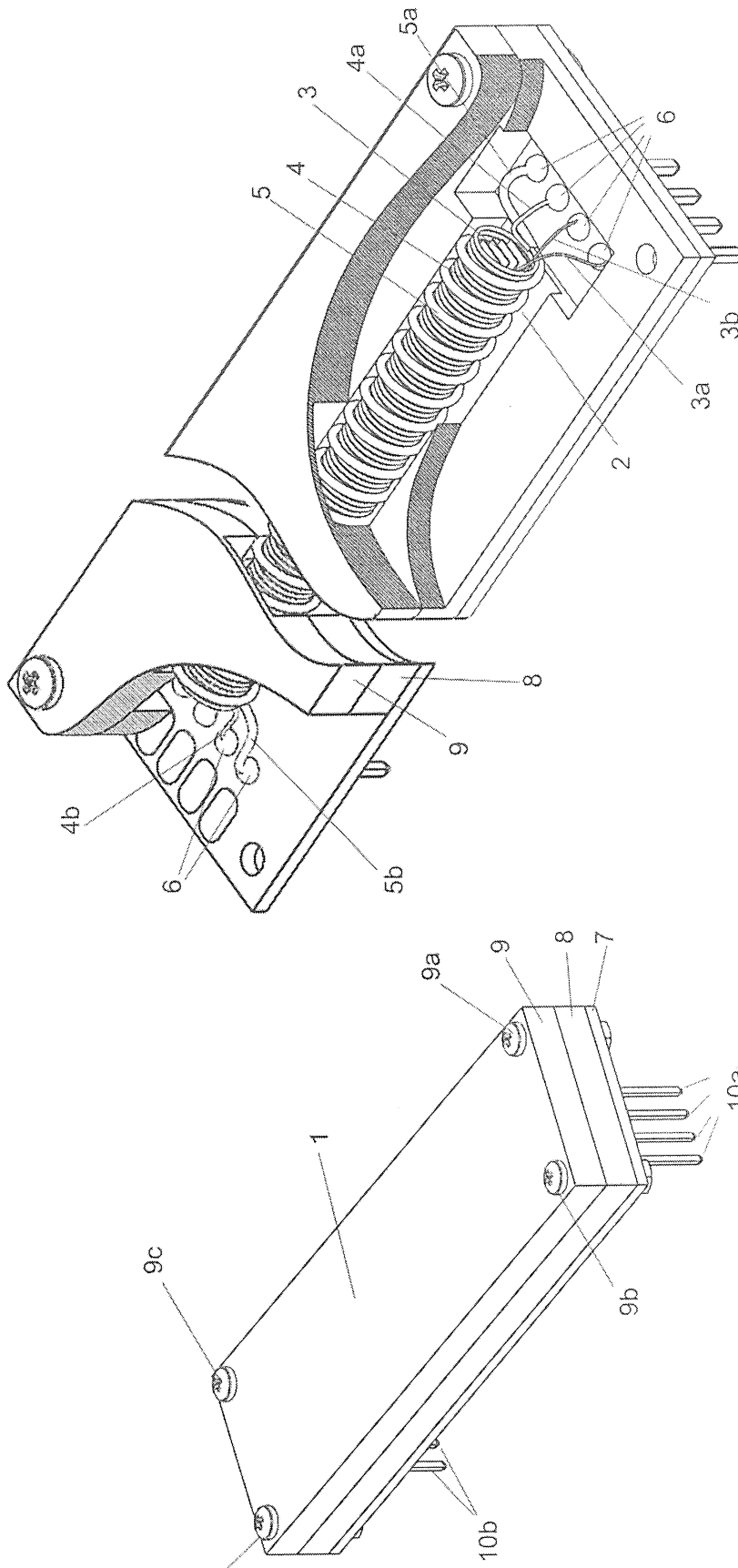
phủ lớp epoxy bảo vệ ra bề mặt ngoài của vỏ linh kiện để cố định phần đáy và phần nắp của vỏ hộp và dùng vít nhựa để cố định linh kiện cảm biến trên mạch in PCB.



H.0

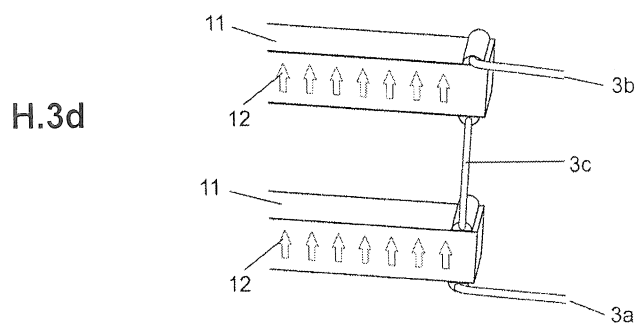
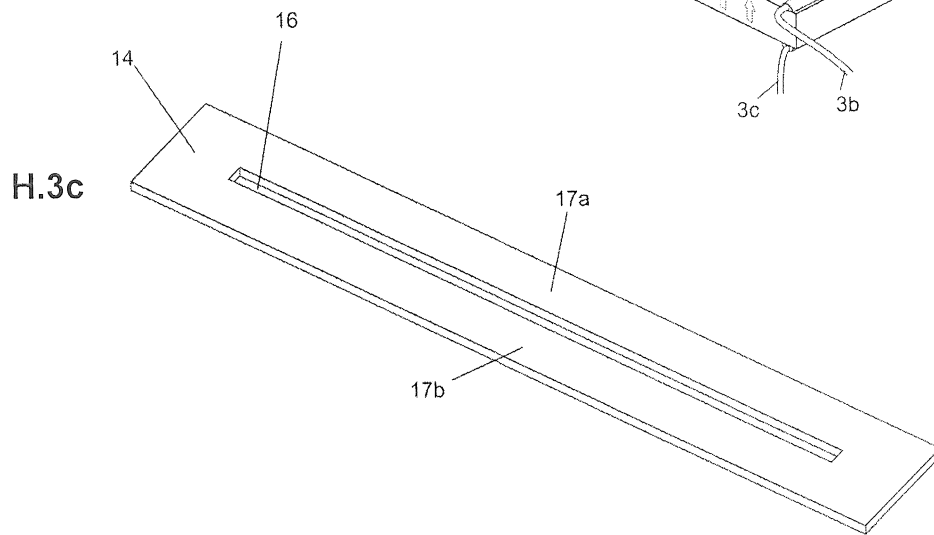
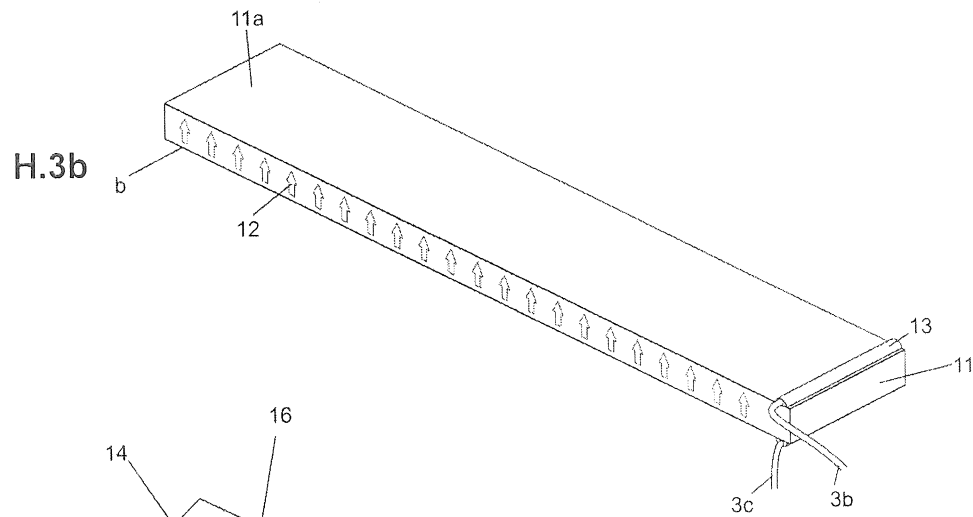
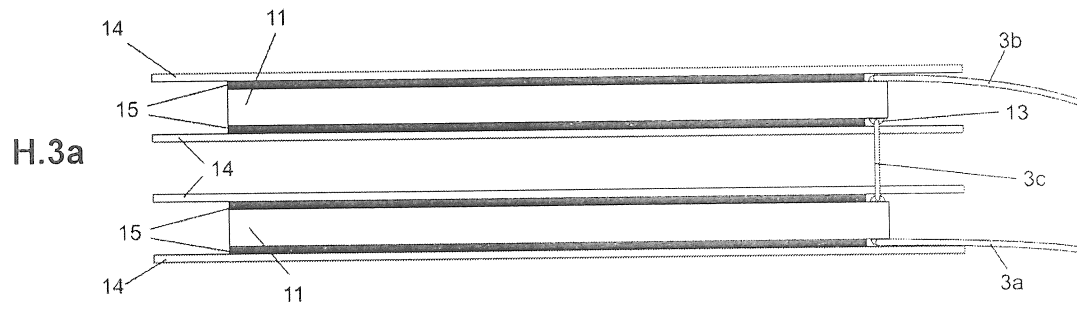


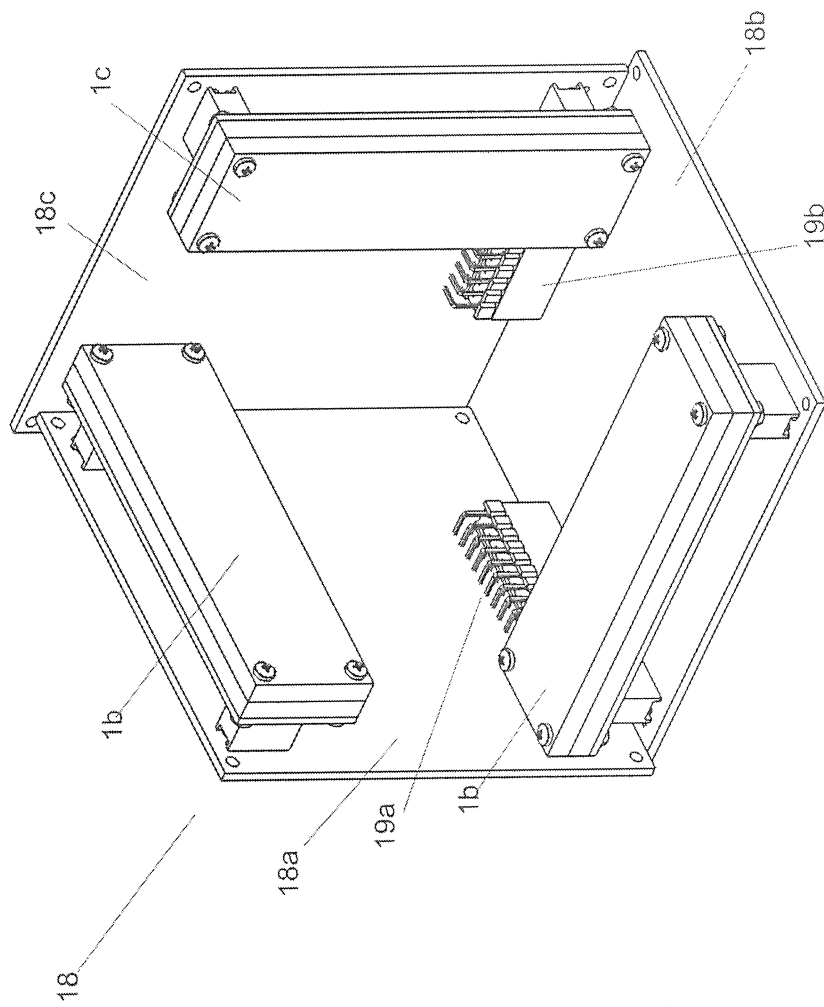
H.1



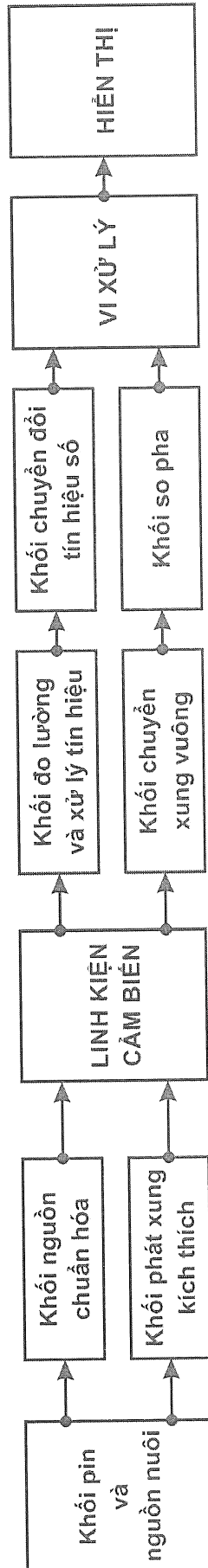
H.2b

H.2a

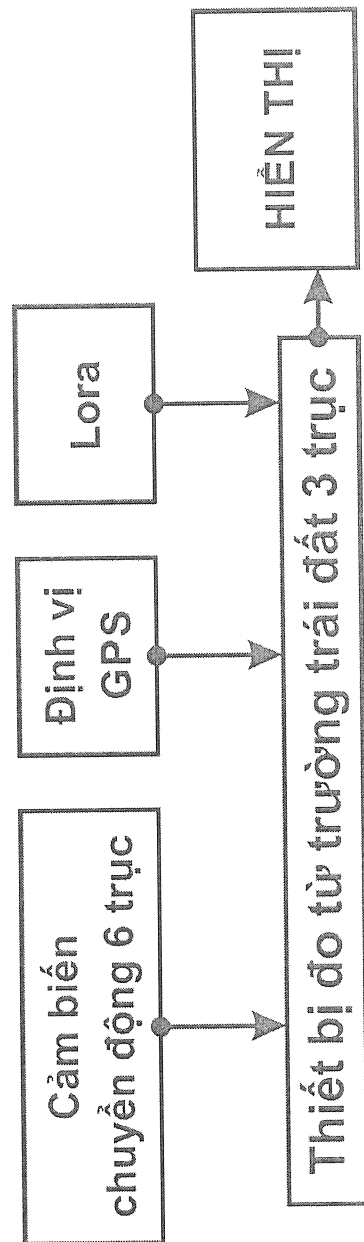




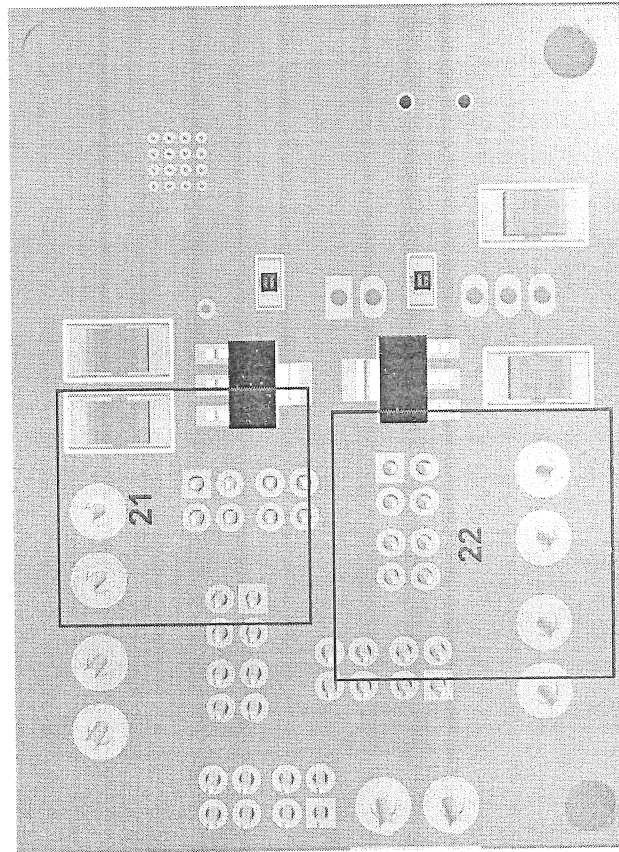
H.4



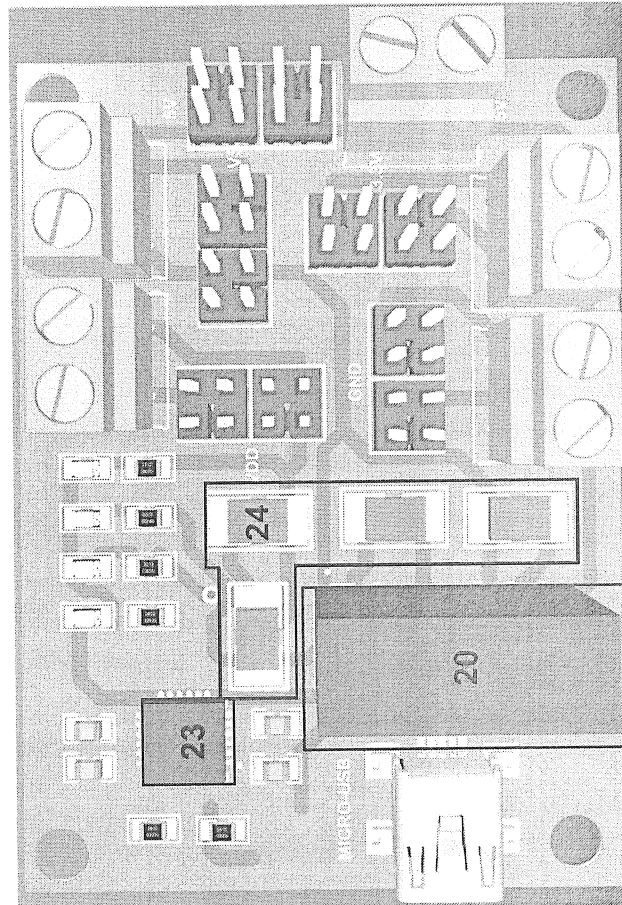
H.5



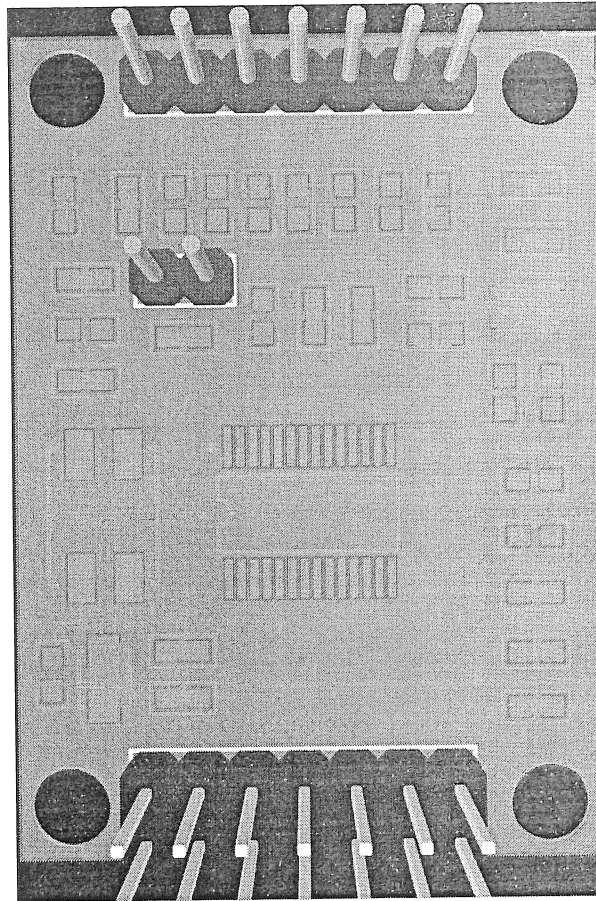
H.6



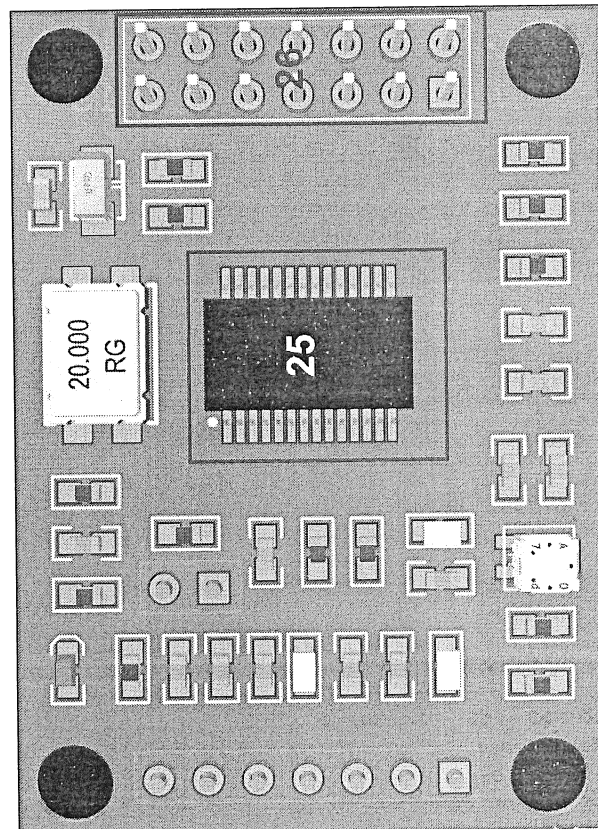
H.7b



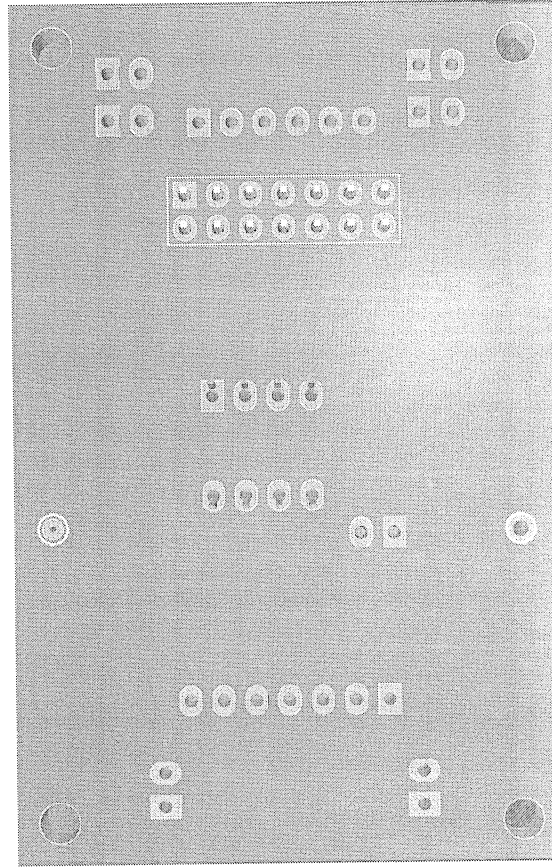
H.7a



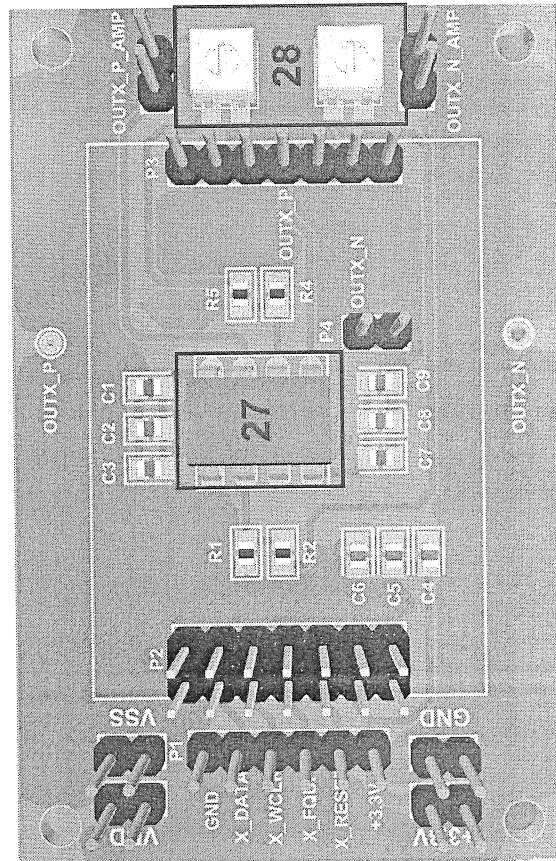
H.8b



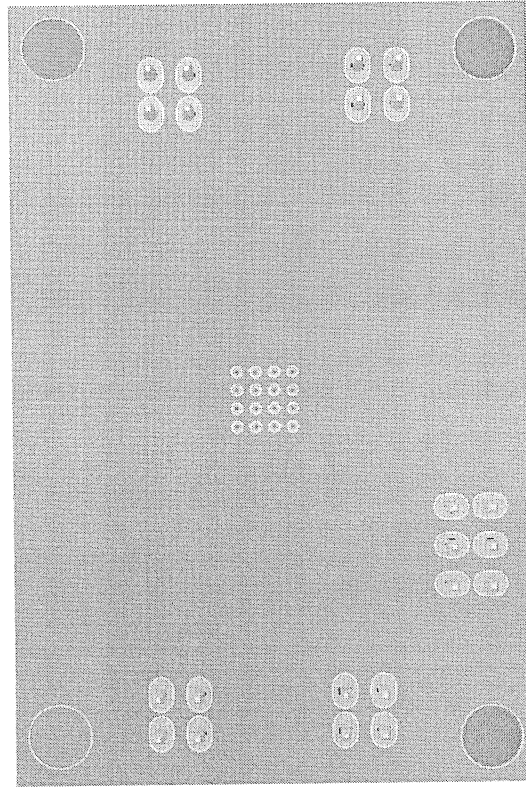
H.8a



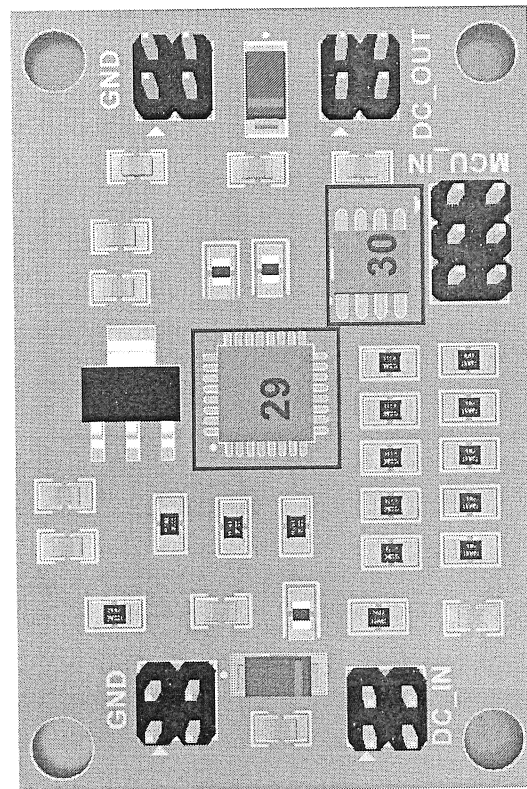
H.9b



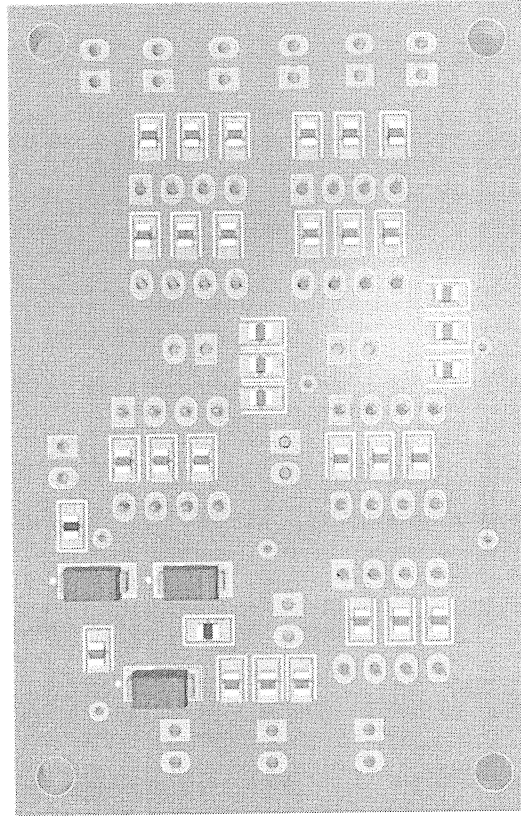
H.9a



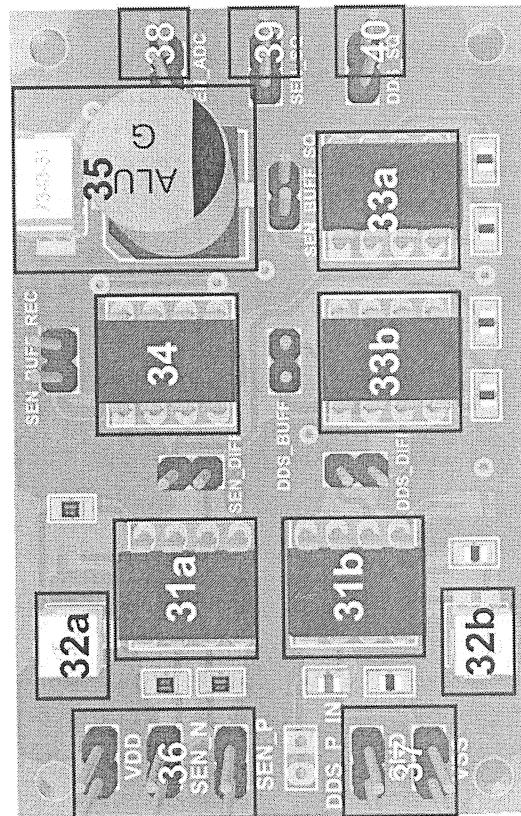
H.10b



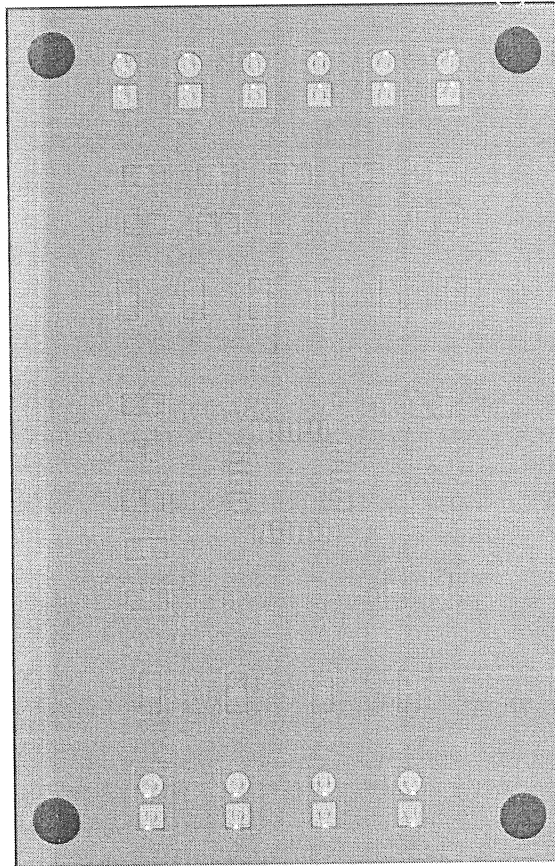
H.10a



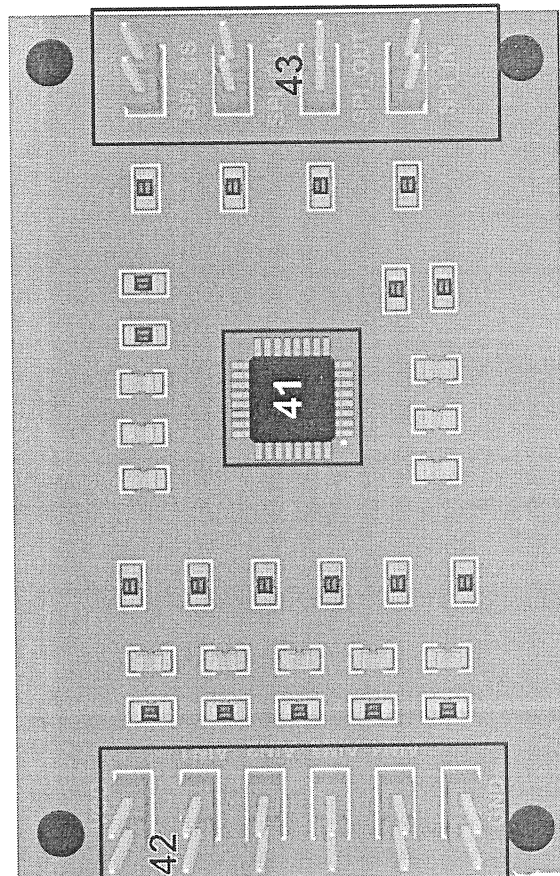
H.11b



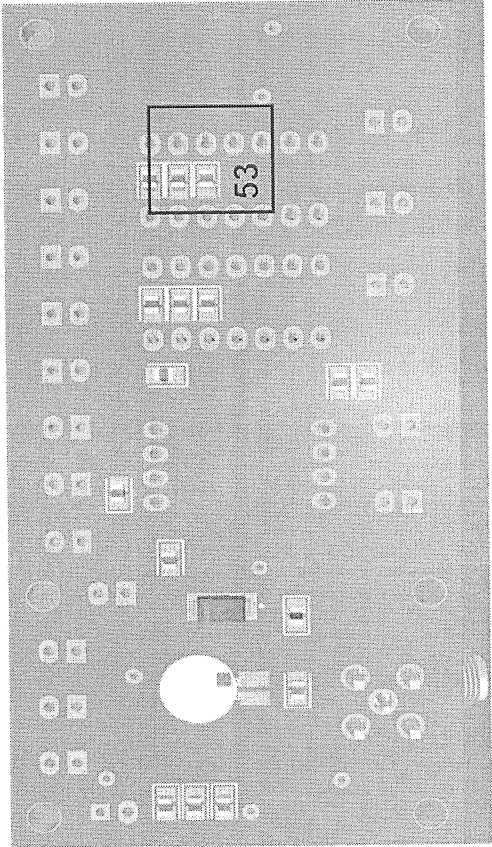
H.11a



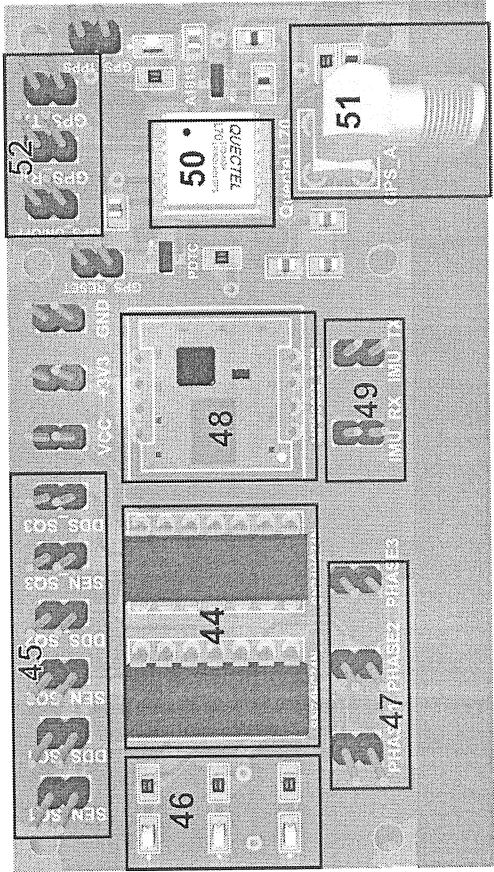
H.12b



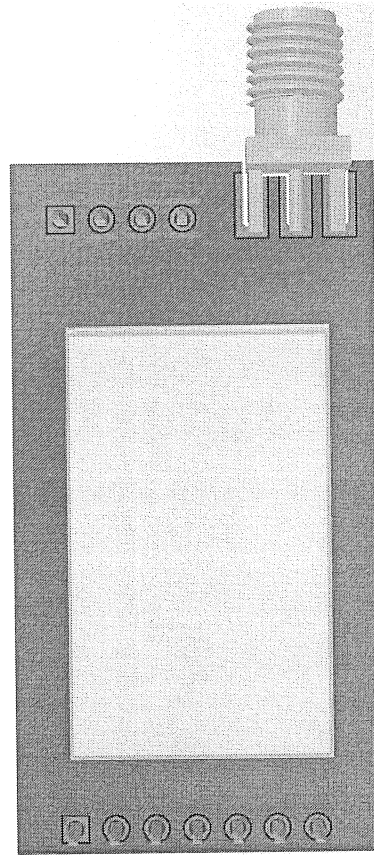
H.12a



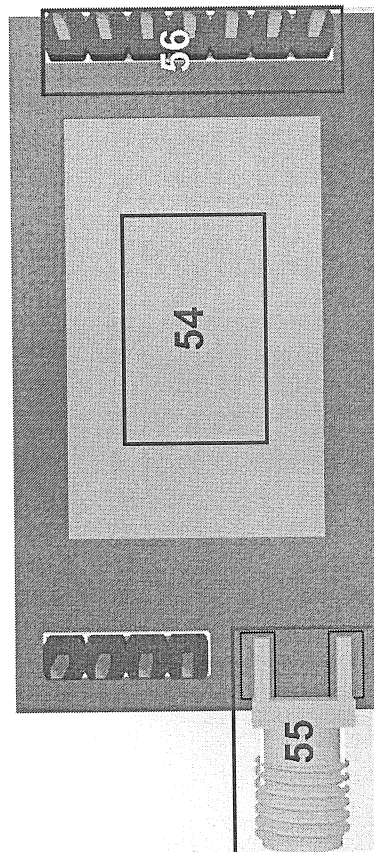
H.13b



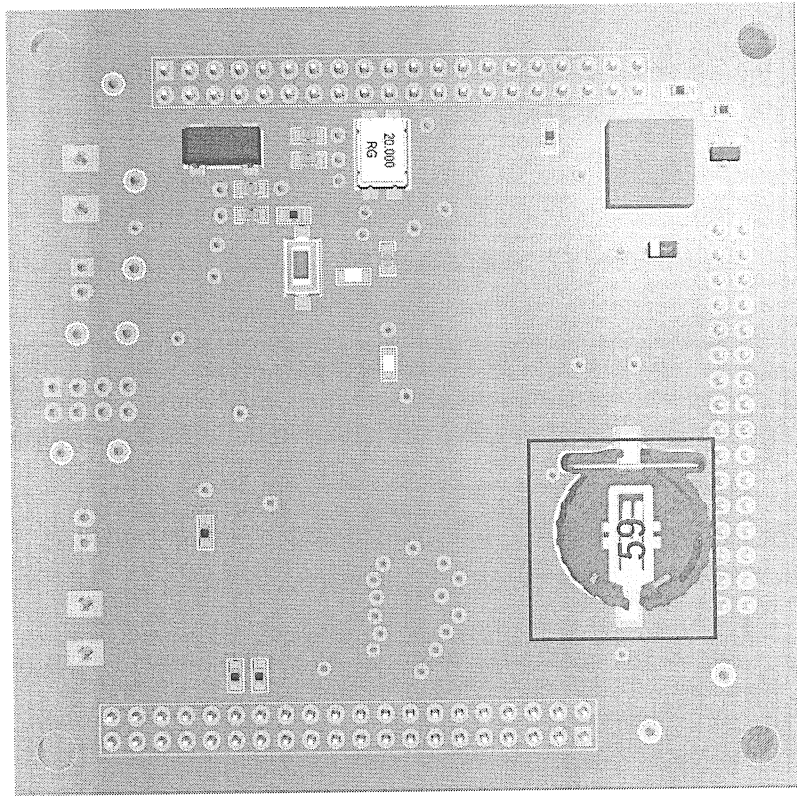
H.13a



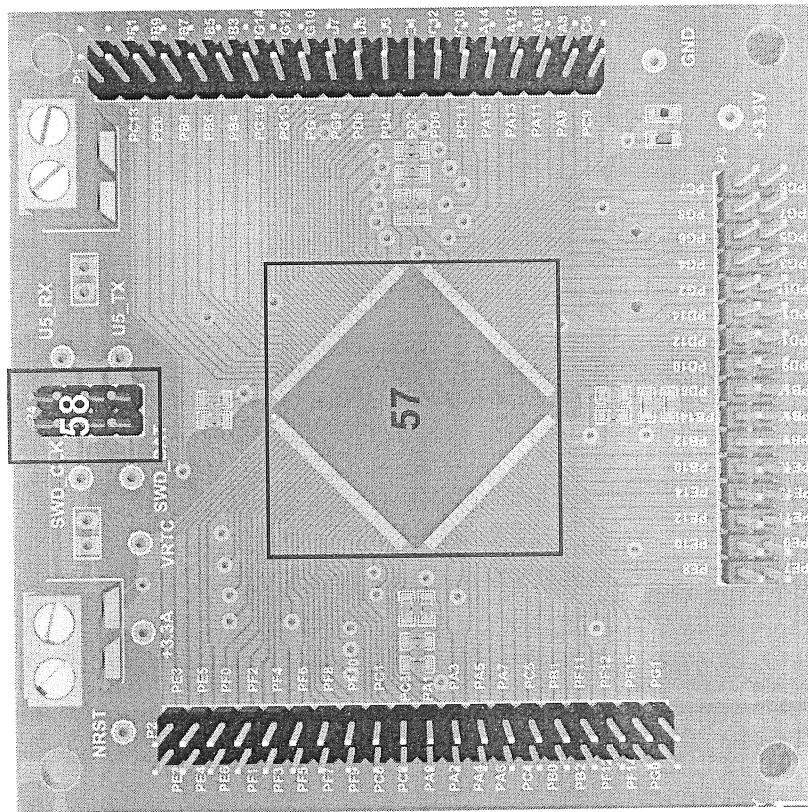
H.14b



H.14a

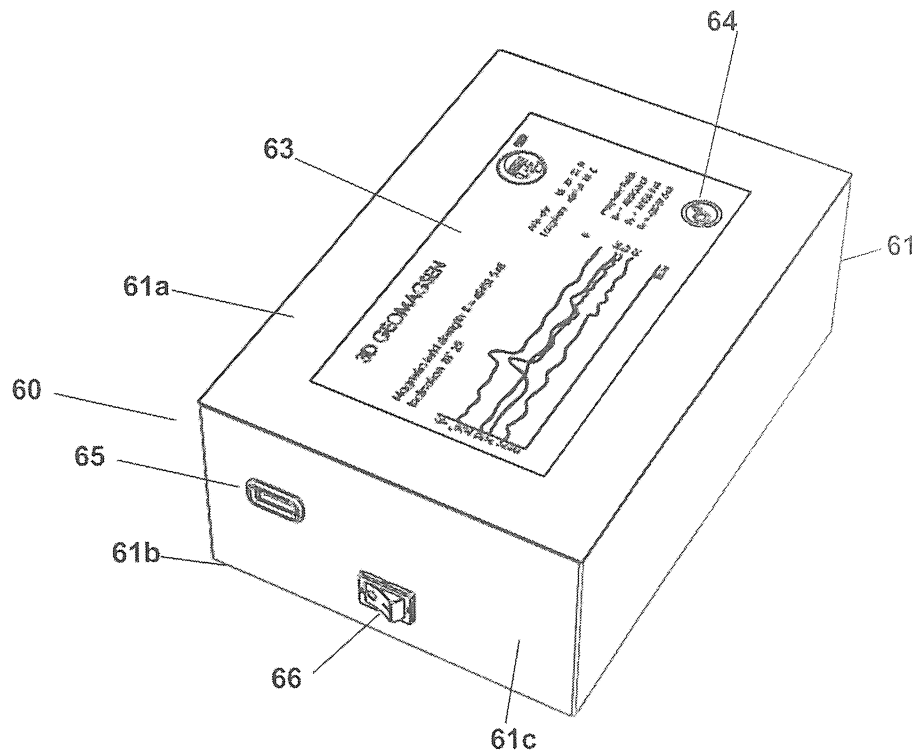


H.15b

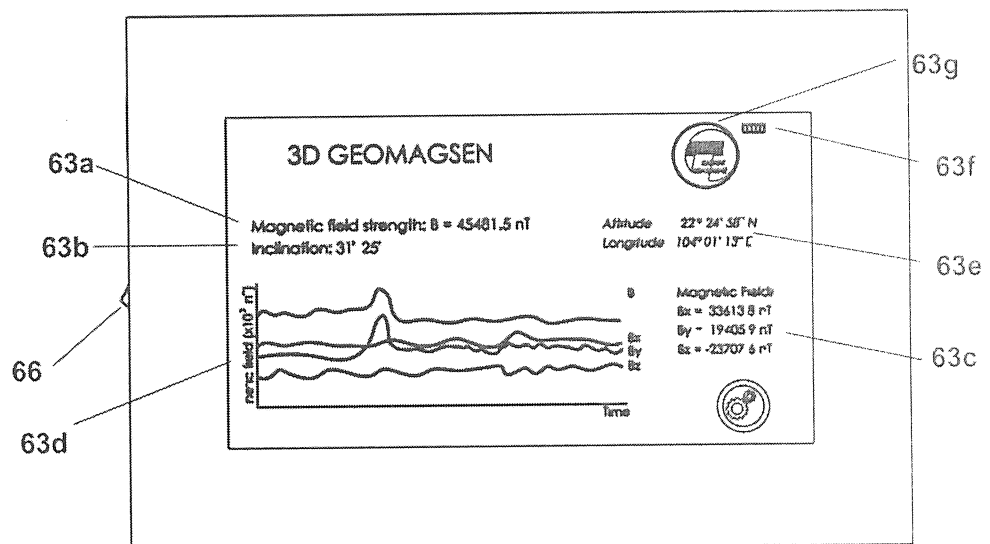


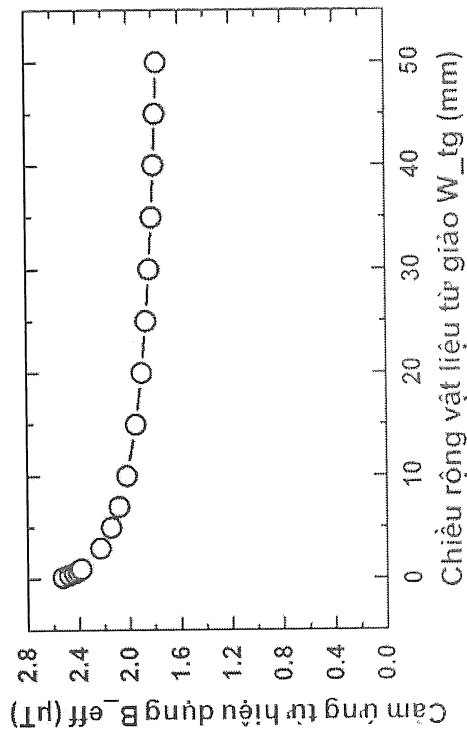
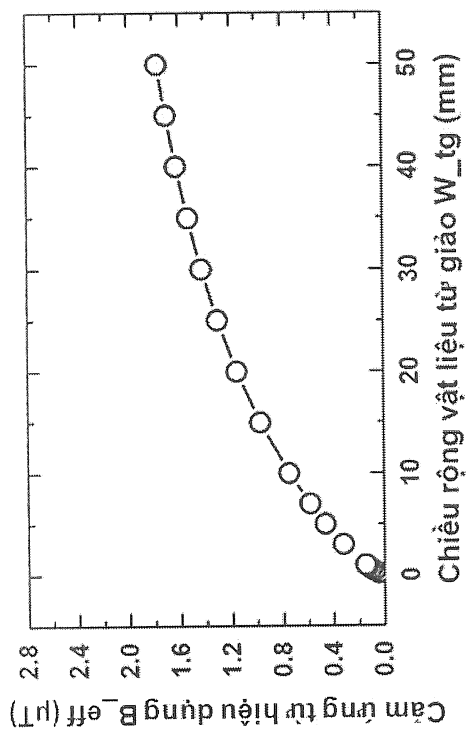
H.15a

H.16a

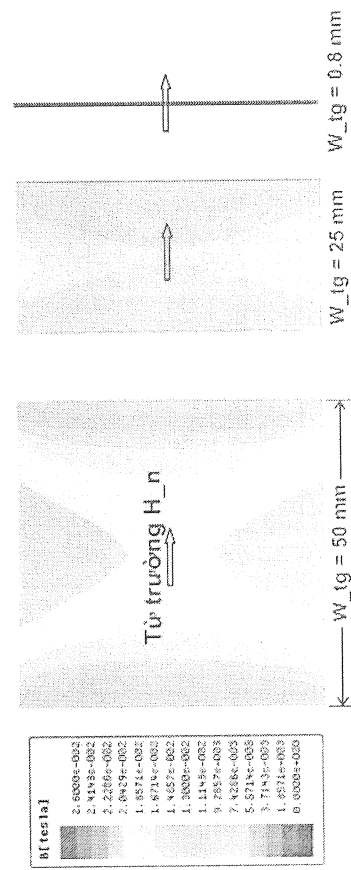
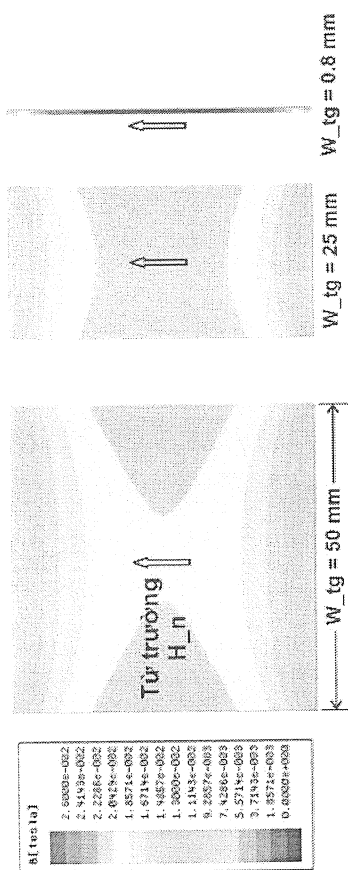


H.16b

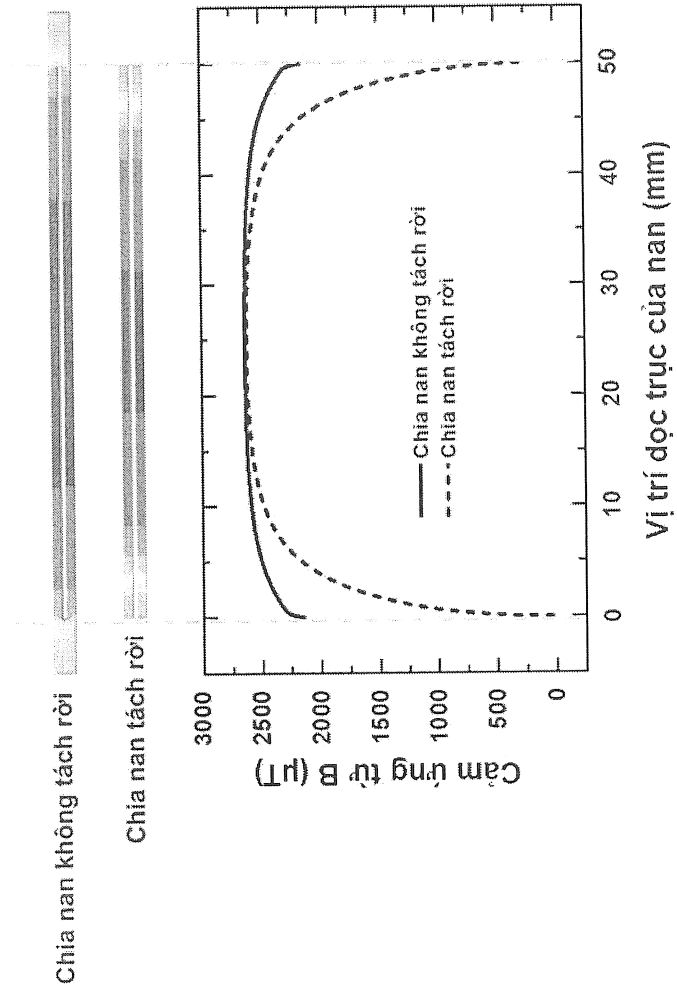




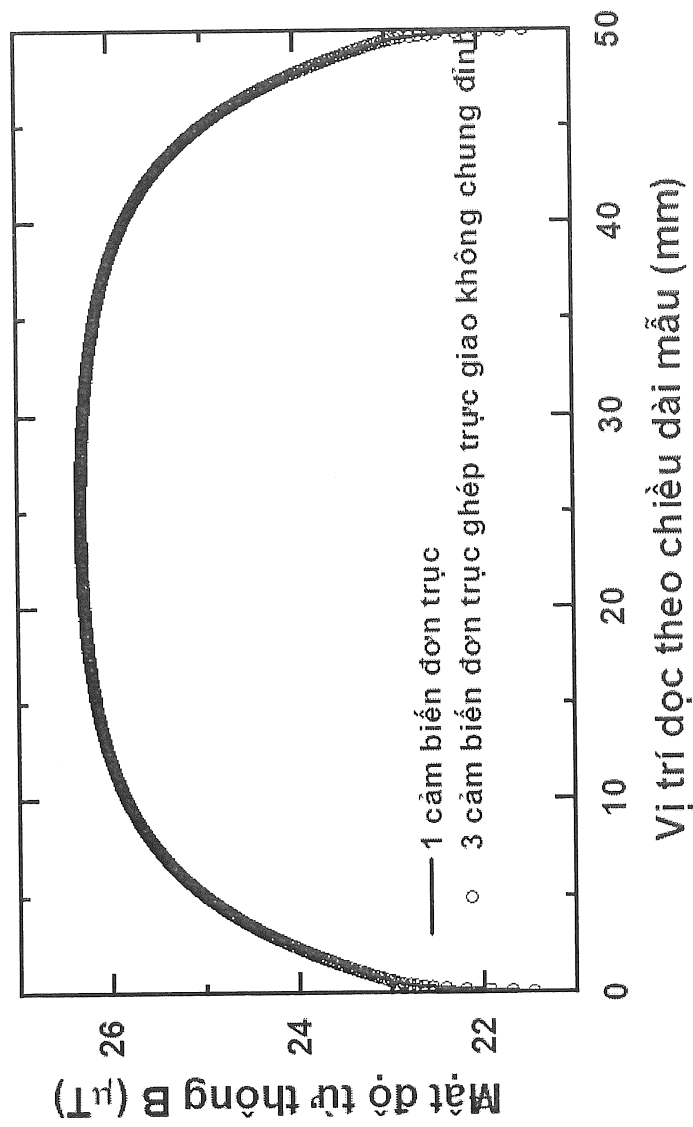
H.17b



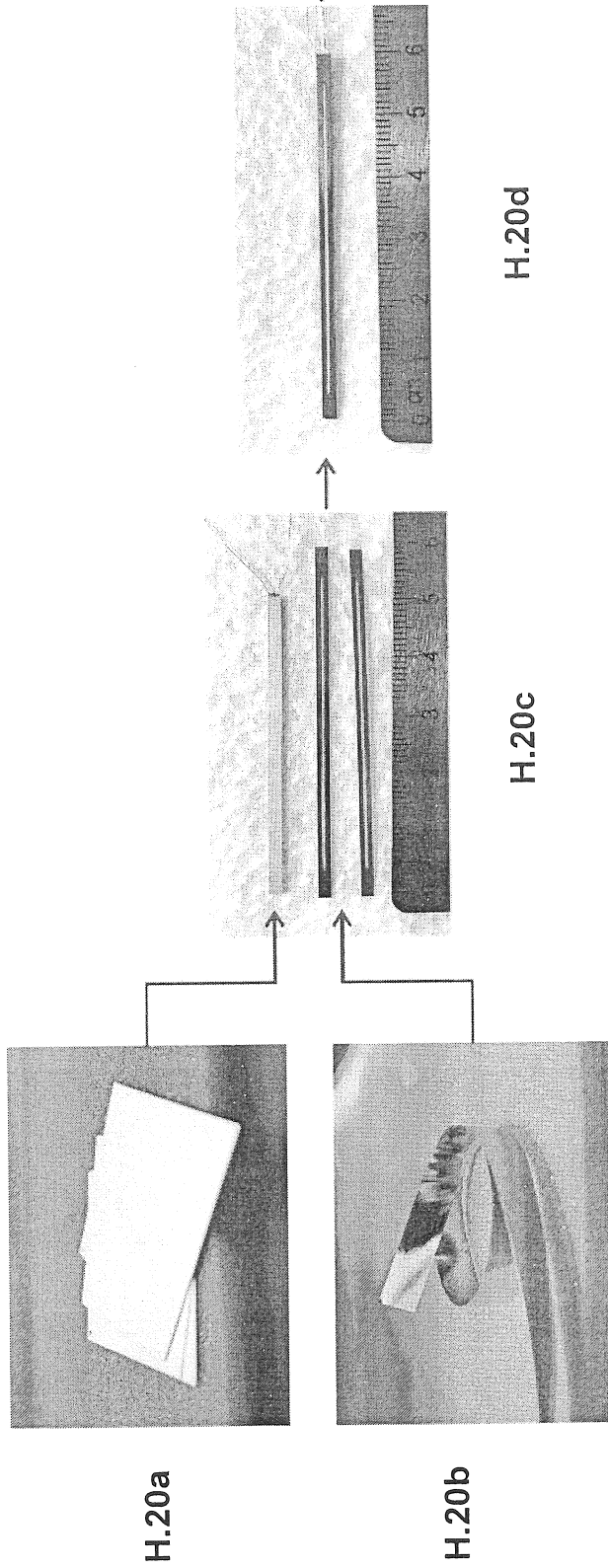
H.17a

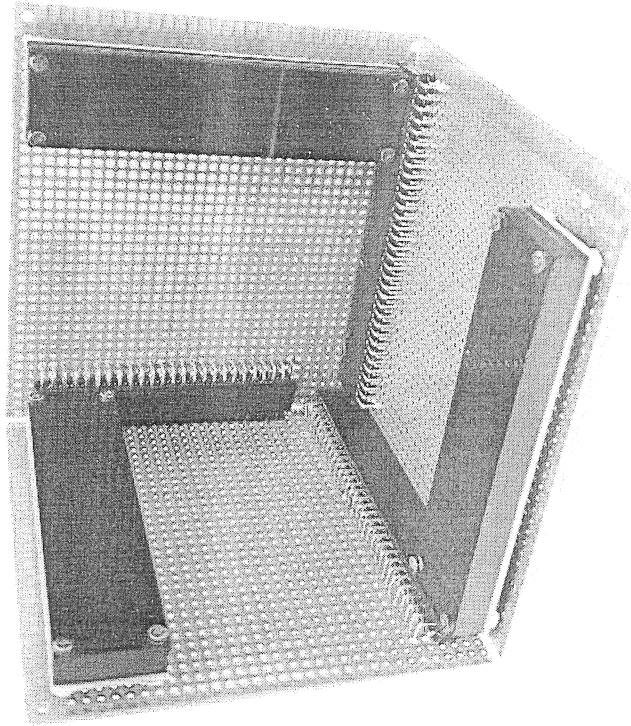


H.18

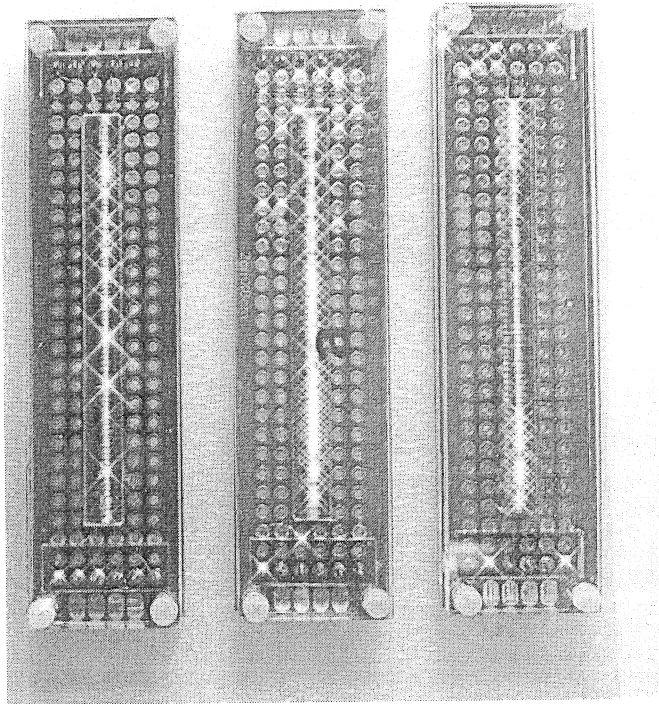


H.19

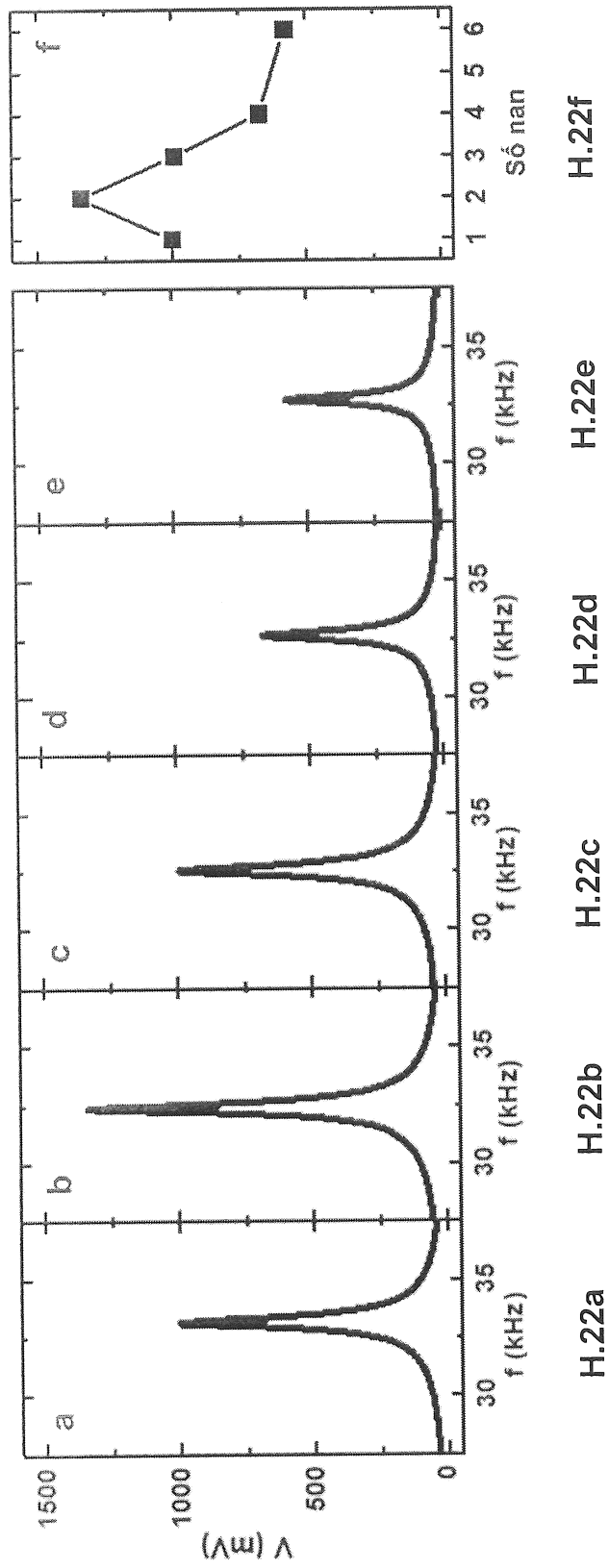


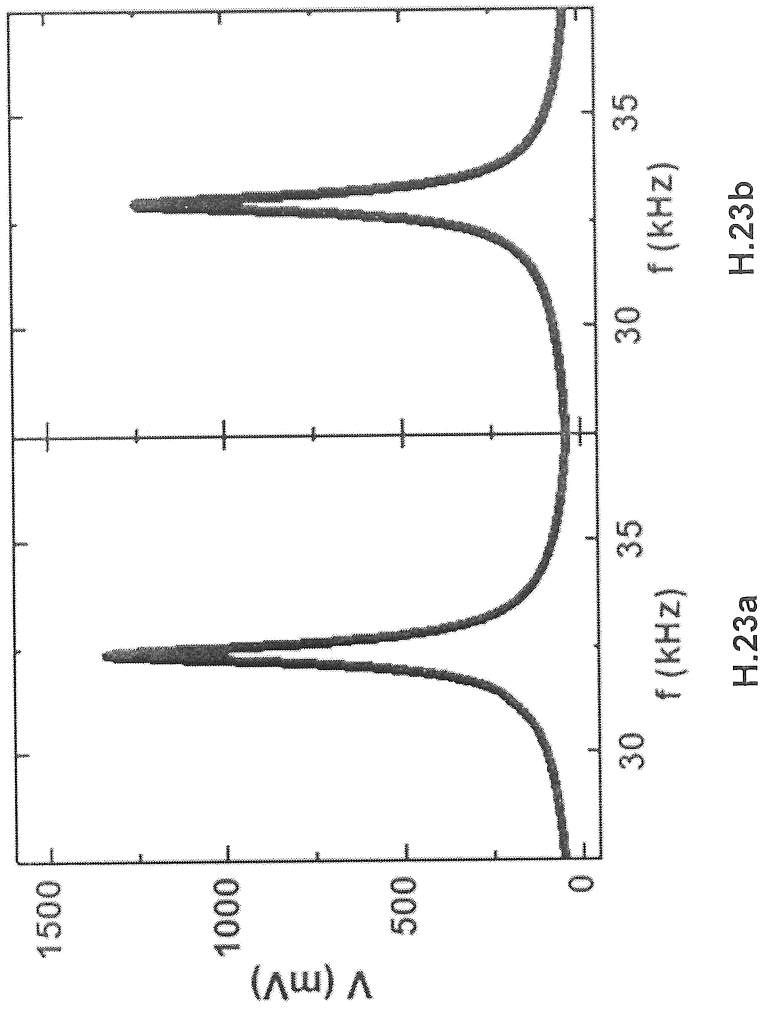


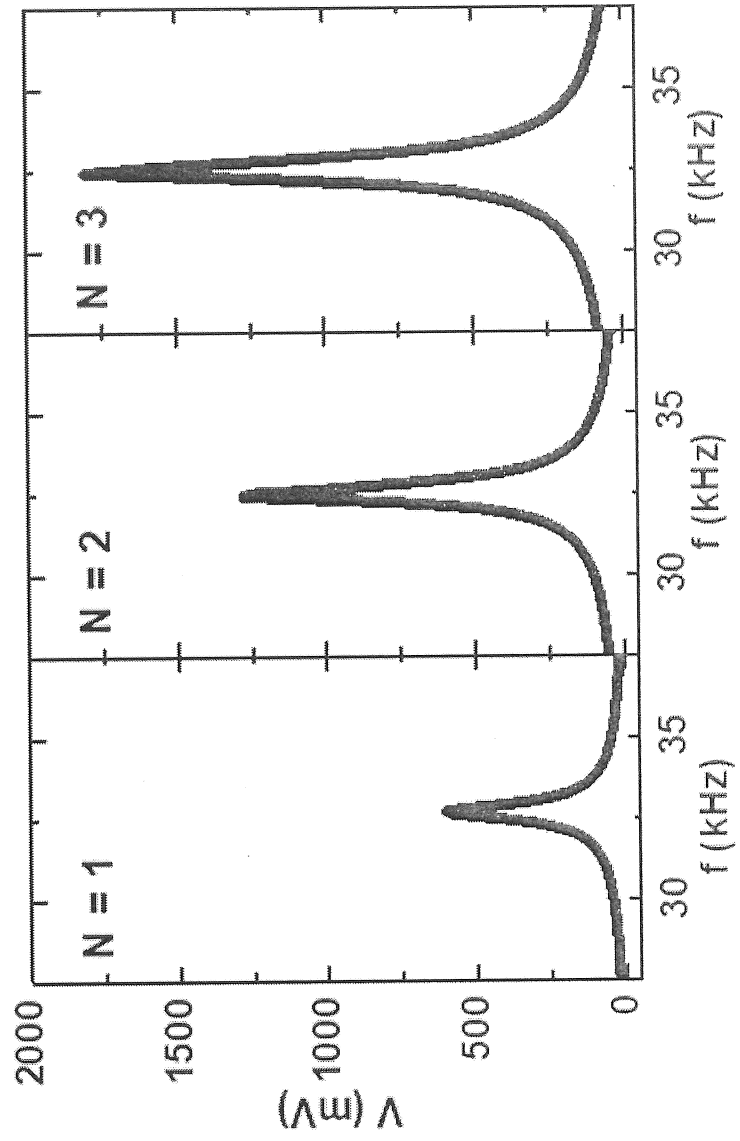
H.21b



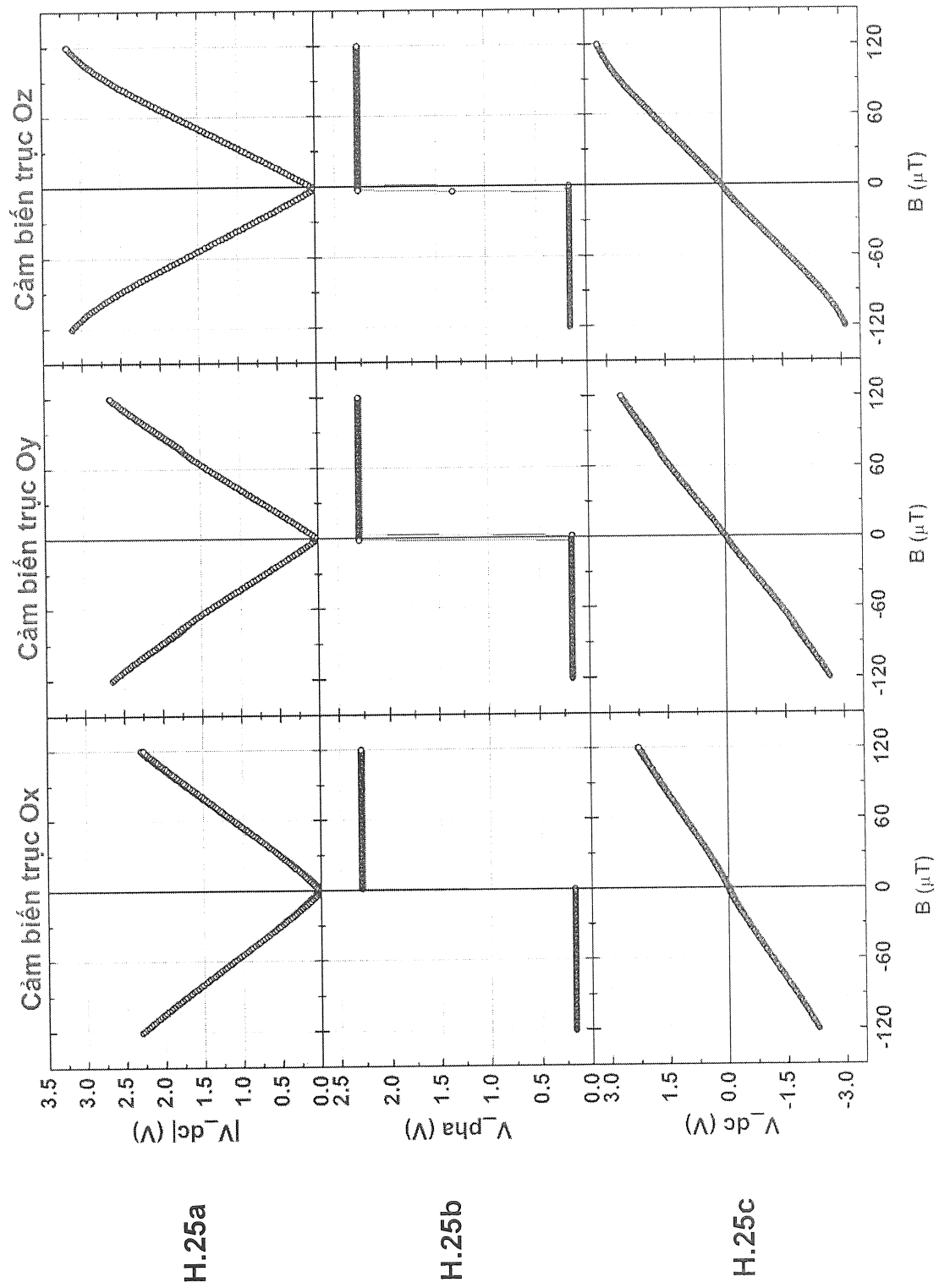
H.21a

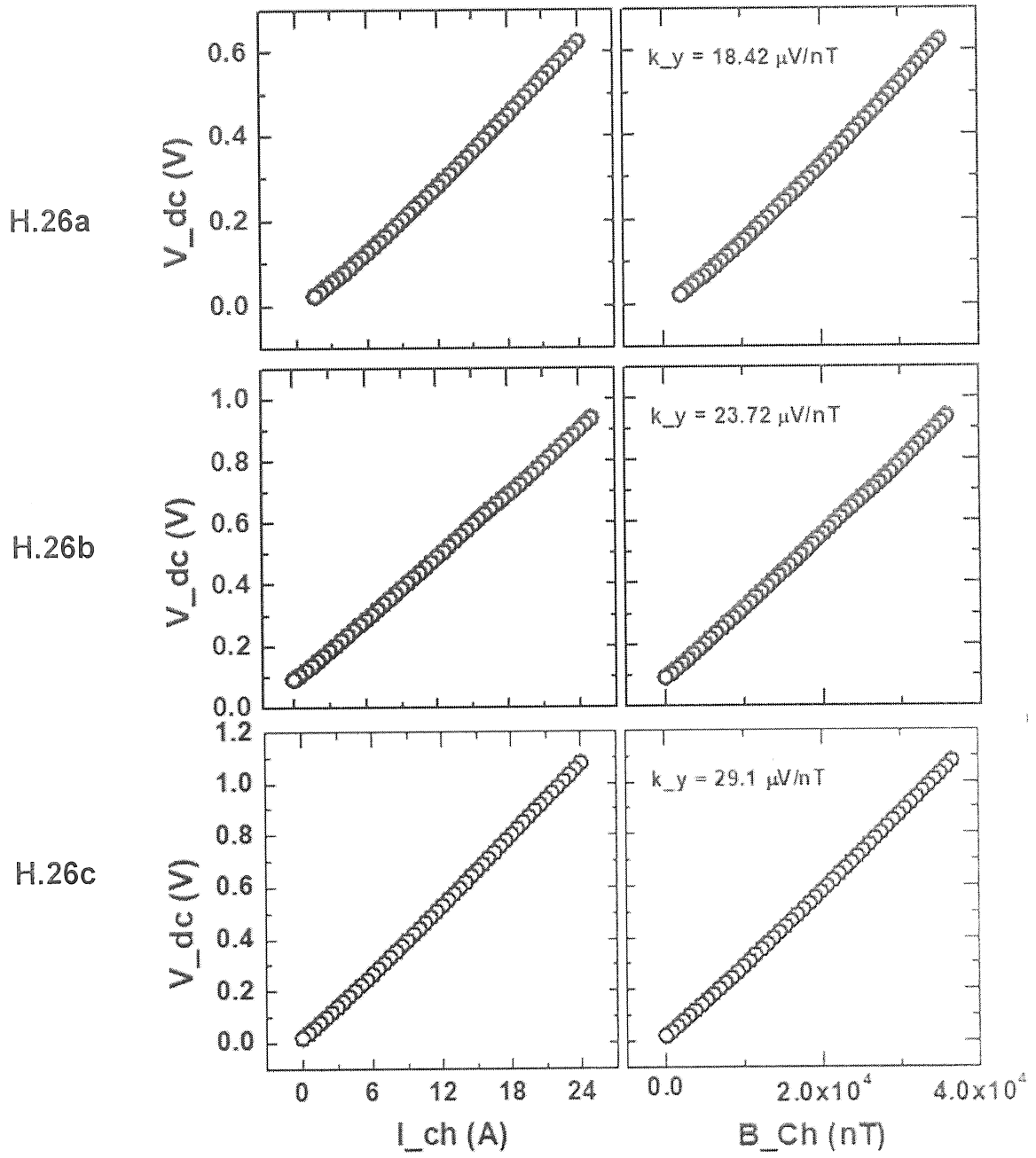


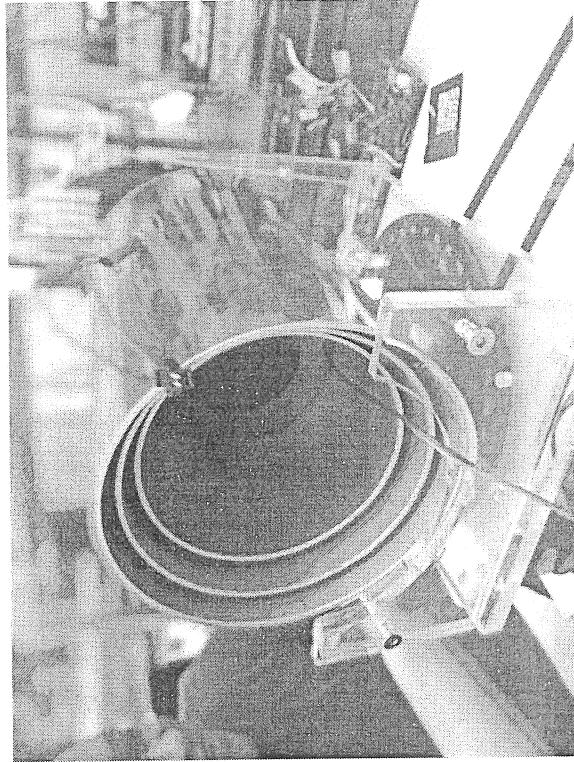




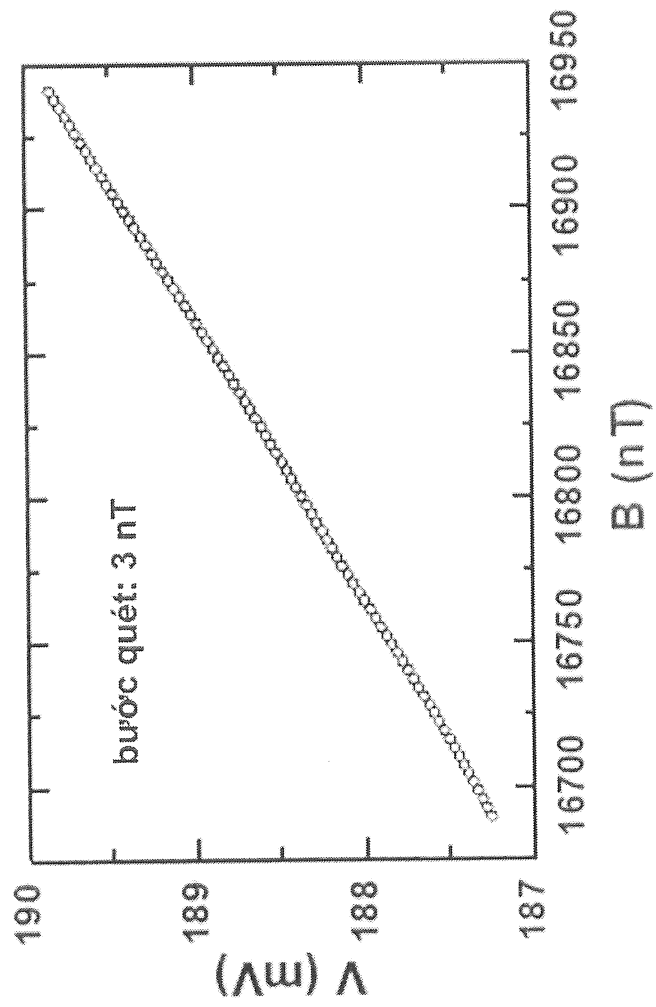
H.24







H.27 b



H.27a