

Thiết kế và chế tạo cảm biến góc nghiêng kiểu tụ điện dựa trên cấu trúc hai pha lỏng khí

Design and fabrication of a capacitive tilt sensor based on a two-phase fluidic and air structure

Đặng Đình Tiệp^(a), Vũ Quốc Tuấn^(b), Bùi Ngọc Mỹ^(c), Chử Đức Trinh^(d)

^(a)Viện Điện tử - Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự

^(b)Viện Hàn lâm Khoa học Công nghệ Việt Nam

^(c)Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự

^(d)Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội

Email: dangtiiep.2011@gmail.com, vqtuan0211@gmail.com, buingocmy_vn@mail.ru, trinhcd@vnu.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo này giới thiệu thiết kế, chế tạo và khảo sát hoạt động cảm biến góc nghiêng kiểu tụ điện dựa trên cấu trúc hai pha lỏng khí. Cấu trúc cảm biến góc nghiêng được chế tạo gồm 3 điện cực có kích thước như nhau, được thiết kế ôm ống như chứa dung dịch, mỗi điện cực có chiều dài 30 mm, khoảng cách giữa các điện cực là 5 mm. Cảm biến này có thể đo được các góc nghiêng trong dải từ 0° độ đến 75° với độ chính xác $\pm 0,5^\circ$.

Từ khóa: Cảm biến kiểu tụ điện; cảm biến thăng bằng; cảm biến góc nghiêng.

Abstract

This paper presents a design, fabrication and investigation of a capacitive tilt sensor. This proposed sensor consists of a three-electrode capacitor which cover a two-phase gas and liquid. The three electrodes are designed with the same size of 30 mm length. The distance between two electrodes is 5 mm. This sensor can measure the angle in the range of 0° to 75° with an accuracy of $\pm 0.5^\circ$.

Keywords: Capacitor-type sensor; Balance sensor; Tilt sensor.

1. Phần mở đầu

Cảm biến góc nghiêng được sử dụng rộng rãi với nhiều ứng dụng khác nhau như trong xây dựng, chế tạo máy móc, robotic, và an ninh quốc... Hiện nay, nhiều cấu trúc cảm biến góc nghiêng khác nhau dựa trên một số nguyên lý khác nhau đã được thiết kế, chế tạo và đã được thương mại hóa (Cảm biến thăng bằng, cảm biến đo góc). Cảm biến vi cơ điện tử dựa trên các vi cấu trúc treo và được chế tạo dựa trên nền công nghệ vi chế tạo. Cảm biến này được ứng dụng rộng rãi trong khoa học công nghệ và đời sống. Hầu hết các điện thoại thông minh hiện nay đều được tích hợp các cảm biến này. Cảm biến này còn được dùng trong

thiết bị theo dõi chuyển động của bệnh nhân [1]. Cảm biến vi cơ điện tử MEMS có cấu trúc tinh tế, nhỏ nhưng thường liên quan đến quy trình chế tạo phức tạp và giá thành cao. Cấu trúc cảm biến này thường yêu cầu phải sử dụng quá trình chuẩn hóa và loại bỏ tín hiệu offset khi sử dụng. Một cấu trúc cảm biến khác có cấu trúc gồm một vật rắn hình cầu đặt trong một ống có thể lăn theo góc nghiêng từ đó xác định điện dung vì sai [2]. Cảm biến chất lỏng sử dụng điện cực tụ điện đo thay đổi độ dẫn để tính góc nghiêng [3, 4]. Cảm biến chất lỏng này dựa trên sự thay đổi độ dẫn khi vị trí bọt khí thay đổi. Tuy nhiên, do độ dẫn của dung dịch phụ thuộc khá mạnh vào nhiệt độ của môi trường.

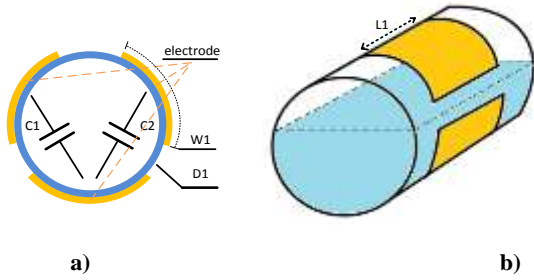
Bài báo này trình bày thiết kế, chế tạo và khảo sát hoạt động của một cấu trúc cảm biến đo góc nghiêng kiểu cảm biến chất lỏng điện dung ba điện cực. Góc nghiêng được cảm nhận dựa trên sự chênh lệch điện dung của hai tụ điện hai bên khi góc nghiêng làm thay đổi mặt phẳng cân bằng của chất lỏng. Cảm biến này có dải đo từ 0° đến 75° và đạt được độ chính xác cao. Cấu trúc cảm biến này đơn giản, dễ chế tạo, căn chuẩn và hoạt động ổn định với độ lặp lại cao. Đặc biệt, cấu trúc hoạt động dựa trên nguyên lý điện dung nên cảm biến này có thể hoạt động trong các điều kiện khắc nghiệt, phù hợp với các ứng dụng ngoài hiện trường và trong an ninh quốc phòng.

2. Thiết kế cảm biến góc nghiêng kiểu tụ điện dựa trên cấu trúc hai pha lỏng khí

2.1 Cảm biến góc nghiêng kiểu tụ điện ba cực

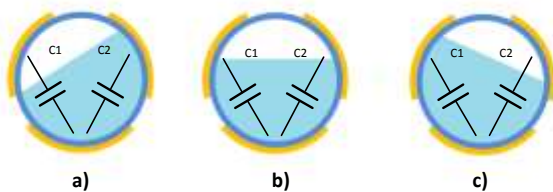
Cảm biến chất lỏng tụ điện có cấu tạo gồm ba điện cực với kích thước thể hiện trên hình 1. Ba điện cực được thiết kế ôm ống như chứa dung dịch. Điện cực giữa là điện cực phát tín hiệu và hai điện cực hai bên đóng vai trò là các điện cực thu. Chất lỏng điện môi được đổ vào bên trong cấu trúc như hình vẽ. Giá trị

điện dung của hai tụ điện C_1 và C_2 phụ thuộc vào vị trí và góc nghiêng của mặt phẳng chất lỏng.



H. 1 Cấu trúc cảm biến góc nghiêng kiểu điện dung ba cực

Nếu mặt phẳng chất lỏng cân bằng thì giá trị điện dung của hai tụ điện bằng nhau. Khi mặt phẳng chất lỏng nghiêng sẽ làm cho hai tụ điện này thay đổi giá trị theo chiều ngược nhau. Do đó, chênh lệch điện dung của hai tụ điện phản ánh trực tiếp góc nghiêng của mặt phẳng chất lỏng. Hình 2 thể hiện một số vị trí của cảm biến cân bằng. Khi cảm biến nghiêng về bên phải, dung dịch tập trung ở điện cực bên phải nhiều hơn dẫn tới $C_2 > C_1$ (xem hình 2(a)). Hình 2(b) là trường hợp cảm biến cân bằng, nó cho hai giá trị điện dung bằng nhau. Trong hình 2(c), cảm biến nghiêng về bên trái dẫn đến mực nước nghiêng về điện cực bên trái nhiều hơn dẫn tới $C_1 > C_2$. Do đó, giá trị chênh lệch điện dung phản ánh độ nghiêng của mặt phẳng dung dịch. Giá trị tuyệt đối của $\Delta C = C_1 - C_2$ thể hiện độ lớn của góc nghiêng. Dấu của ΔC thể hiện hướng của góc nghiêng. Nếu $\Delta C > 0$ thì cảm biến nghiêng về bên trái. Ngược lại, $\Delta C < 0$ thì cảm biến nghiêng về bên phải.

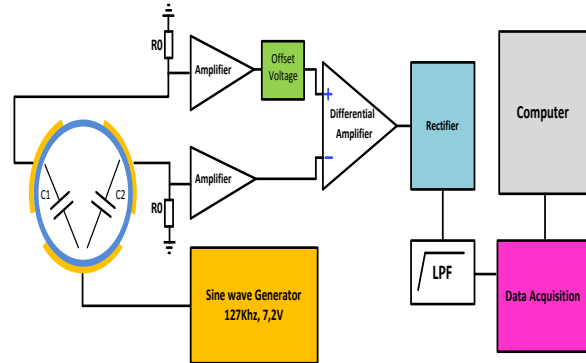


H. 2 Một số vị trí của cảm biến góc nghiêng kiểu điện dung ba cực. (a) cảm biến nghiêng về bên phải; (b) cảm biến ở vị trí cân bằng; (c) cảm biến nghiêng về bên trái.

2.2 Thiết kế sơ đồ khối của cảm biến góc nghiêng kiểu tụ điện ba cực

Hình 3 là sơ đồ khối của cảm biến thăng bằng kiểu điện dung. Một tín hiệu sin có tần số 127 kHz với biên độ 10 V được đặt vào cực giữa của cảm biến. Khi đó, biên độ của hai tín hiệu sin trên hai bản cực thu tỉ lệ với các giá trị điện dung C_1 và C_2 . Hai điện áp này

được đưa qua hai mạch khuếch đại trước khi cho qua mạch vi sai như hình vẽ [7,8].

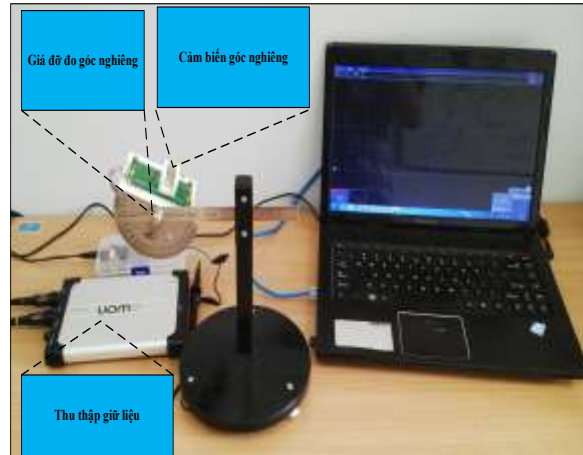


H. 3 Sơ đồ khối của mạch điện xử lý tín hiệu của cảm biến cân bằng kiểu điện dung ba cực cấu trúc vi sai

Biên độ tín hiệu ở lối ra của mạch khuếch đại vi sai thể hiện góc nghiêng của cảm biến. Tín hiệu lối ra mạch vi sai được cho qua mạch chỉnh lưu trước khi đưa vào mạch lọc để loại bỏ thành phần tín hiệu sóng mang. Lối ra của mạch lọc thông thấp là tín hiệu thể hiện góc nghiêng của cảm biến [5,6].

3. Thiết lập hệ đo và kết quả

3.1 Thiết lập hệ đo.

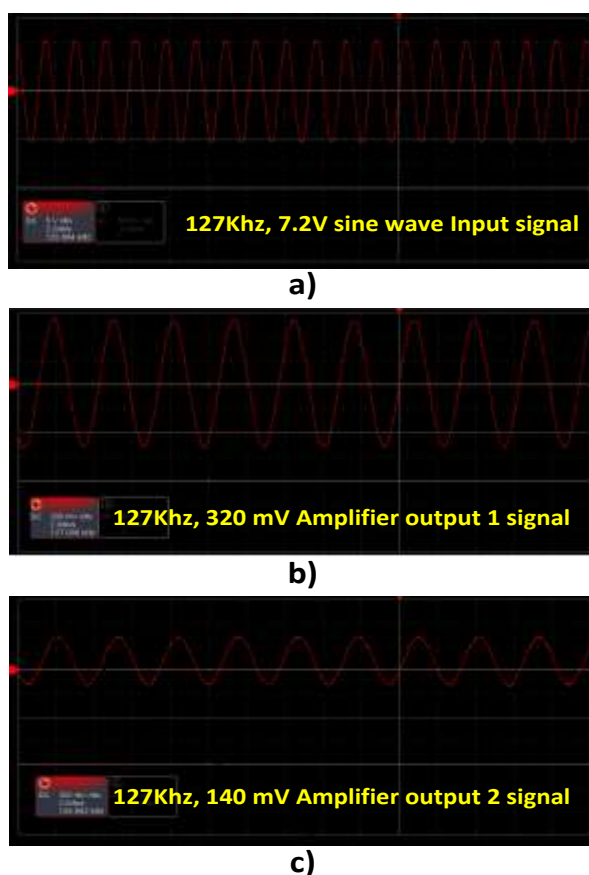


H. 4 Hệ đo cảm biến góc nghiêng

Để khảo sát hoạt động của cảm biến góc nghiêng, nhóm nghiên cứu thiết kế một bộ giá đỡ cơ khí. Giá đỡ này cho phép thay đổi được góc nghiêng của hệ thống gắn lên trên và đo được góc nghiêng này với độ chính xác đến $\pm 0,5^\circ$. Mạch cảm biến được gắn trực tiếp lên ban xoay. Đầu ra cảm biến được đưa vào bộ thu thập số liệu WOMO ..., sau đó được đưa vào PC, (Hình 4).

3.2 Kết quả đo và thảo luận

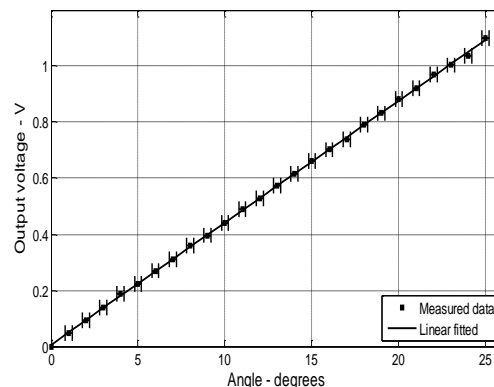
Hình 5 là các tín hiệu sin đưa vào điện cực phát và các tín hiệu trên đầu ra hai mạch khuếch đại. Điện áp vào là tín hiệu sin với tần số 127 kHz, biên độ đỉnh-đỉnh là 20 V (xem hình 5(a)). Hình 5(b) và (c) là các tín hiệu sin có tần số không đổi và bằng 127 kHz nhưng có biên độ khác nhau. Sự khác nhau về biên độ tín hiệu trên hai kênh này thể hiện góc nghiêng của cảm biến.



H. 5 Một số tín hiệu trên mạch cảm biến. (a) tín hiệu sin đặt vào điện cực phát; (b) tín hiệu sau mạch khuếch đại điện cực trái; (c) tín hiệu sau mạch khuếch đại điện cực phải.

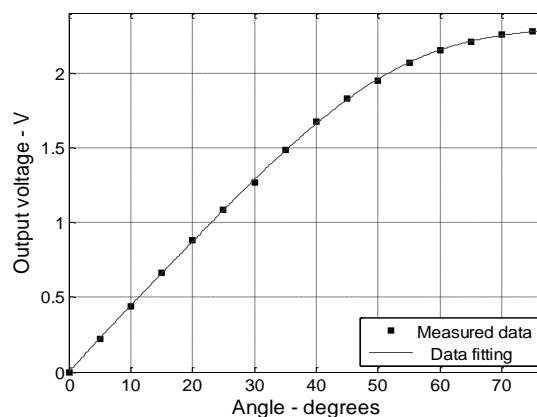
Hình 6 mô tả quan hệ của điện áp thu được sau mạch lọc tần số thấp so với góc nghiêng của cảm biến. Trong phép đo này, góc nghiêng của cảm biến được giới hạn trong khoảng từ 0° đến 25°. Tín hiệu thu được cho thấy cảm biến này cho điện áp tỉ lệ tuyến tính với góc nghiêng. Khi góc nghiêng thay đổi từ 0° đến 25°, điện áp thu được thay đổi từ 0 đến 1,09 V. Do đó, độ nhạy của cảm biến trong dải đo này đạt 44 mV/độ. Nhóm nghiên cứu đã thực hiện đo công suất nhiễu trung bình của mạch điện bằng phương pháp thực nghiệm. Dựa trên kết quả điện áp và nhiễu đo được, độ phân giải của thiết bị này có thể đạt đến được khoảng 0,5°.

VCCA-2015



H. 6 Tín hiệu đầu ra phụ thuộc tuyến tính vào góc nghiêng trong dải từ 0° đến 25°.

Để khảo sát dải hoạt động tuyến tính cũng như đáp ứng của cảm biến trên dải rộng, cảm biến này còn được khảo sát đến góc nghiêng tới $\pm 75^\circ$. Hình 7 thể hiện điện áp lỗi ra phụ thuộc vào góc nghiêng lỗi vào. Đồ thị này cho thấy cảm biến hoạt động tuyến tính lên tới góc nghiêng khoảng $\pm 50^\circ$. Sau dải đo này cảm biến không còn tuyến tính nữa. Độ nhạy của cảm biến giảm khi góc nghiêng trên khoảng 50° (Hình 7).



H. 7 Tín hiệu đầu ra phụ thuộc vào góc nghiêng trong dải từ 0° đến 75°. Cảm biến hoạt động tuyến tính đến góc nghiêng khoảng 50°.

Trong thực tế, thông thường các phép đo góc nghiêng cần các cảm biến trong khoảng từ 0° đến khoảng 45°. Như vậy, cảm biến này hoàn toàn có thể đáp ứng được các yêu cầu đo trong thực tế. Tuy nhiên, một số trường hợp đặc biệt trong thực tế có thể yêu cầu cảm biến góc nghiêng với dải đo lớn hơn. Hệ thống cảm biến này có thể đáp ứng được yêu cầu góc nghiêng lên đến 75° với độ nhạy thấp hơn và không tuyến tính ở dải góc cao hơn 50°. Để đạt được yêu cầu đo được góc nghiêng lớn với điện áp ra tuyến tính, hai hoặc ba

cảm biến như thiết kế có thể được ghép với nhau với một góc lệch nhất định sẽ cho ra một hệ thống cảm biến phức hợp nhưng có độ chính xác cao hơn.

4. Kết luận

Bài báo này trình bày về thiết kế, chế tạo và khảo sát hoạt động của một cảm biến góc nghiêng kiểu tụ điện dựa trên cấu trúc hai pha lỏng khí. Cấu trúc cảm biến góc nghiêng gồm 3 điện cực có kích thước như nhau, được thiết kế ôm ống như chứa dung dịch, mỗi điện cực có chiều dài 30 mm, khoảng cách giữa các điện cực là 5 mm. Cảm biến này có thể đo được các góc nghiêng trong dải từ 0° đến 75° với độ chính xác $\pm 0,5^\circ$. Các kết quả đo ban đầu cho thấy cảm biến hoạt động tuyến tính đến khoảng 50°. Cảm biến này có thể đo được góc nghiêng của nòng pháo trên các khí tài quân sự và nhiều ứng dụng tiềm năng khác.

Tài liệu tham khảo

1. L. Zhao, E. M. Yeatman, "Micro Capacitive Tilt Sensor for Human Body Movement Detection" Body Sensor Networks 2007, Aachen, Germany, March 26-28, 2007, pp. 195-200.
2. Chang Hwa Lee and Seung S. Lee, "Study of a capacitive tilt sensor with a metallic ball," ETRI Journal, vol. 36, no. 3, June. 2014, pp. 361-366.
3. Yiping Tang, Caiguo Chen, "Design of Omni-Directional Tilt Sensor Based on Machine Vision" Journal of Sensor Technology, 2011, 1, 108-115
4. J. A. Westphal, M. A. Carr, and W. F. Mille.,SI, "Expendable bubble tiltmeter for geophysical monitoring," Rev. Sci. Instrum., Vol. 54, No.4, April 1983.
5. T. Vu Quoc, H. Nguyen Dac, T. Pham Quoc, D. Nguyen Dinh, T. Chu Duc, "A printed circuit board capacitive sensor for air bubble inside fluidic flow detection," Microsystem Technologies Journal, 2014
6. Nguyễn Đắc Hải, Vũ Quốc Tuấn, Phạm Quốc Thịnh, Chủ Đức Trình, "Hệ thống cảm biến giọt chất lỏng trong kênh dẫn", Hội nghị quốc gia về Điện tử - Truyền thông, 2013.
7. Lars E. Bengtsson, "A microcontroller-based lock-in amplifier for sub-milliohm resistance measurements" Review of Scientific Instruments 83, 075103 (2012).
8. Valero, N. Medrano, S. Celma, B. Calvo, "A CMOS 1.2-V 1.7-mW Lock-in Amplifier for sensing applications up to 0.7-MHz" conference, IEEE sensor 2014.



Đặng Đình Tiệp sinh năm 1980. Anh nhận bằng Kỹ sư Điện tử tại Trường Học viện Kỹ thuật Quân sự năm 2004, bằng Thạc sỹ Kỹ Thuật Điện tử tại Học Viện Kỹ Thuật Quân Sự năm 2010. Từ năm 2004 đến nay anh làm việc tại Viện Điện tử - Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự - Bộ Quốc Phòng. Hướng nghiên cứu chính là Kỹ thuật xử lý tín hiệu, kỹ thuật cảm biến, hệ vi cơ điện tử và các ứng dụng của sensor.



Vũ Quốc Tuấn sinh năm 1983. Anh nhận bằng Cử nhân vật lý tại trường Đại học Khoa học tự nhiên Hà Nội năm 2007, bằng Thạc sỹ kỹ thuật điện tử năm 2014. Từ năm 2008 đến nay anh làm việc tại Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Hướng nghiên cứu chính của anh là kỹ thuật cảm biến, hệ vi cơ điện tử và các ứng dụng của Sensor.



Bùi Ngọc Mỹ nhận bằng kỹ sư tại Học viện Kỹ thuật Quân sự vào năm 1997, bằng Tiến sĩ Kỹ thuật điện tử tại Trường ĐH Tổng hợp kỹ thuật điện LETI - LB Nga năm 2006. Anh hiện đang là TS tại Phòng đào tạo Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự. Anh là Phó trưởng Phòng đào tạo Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự từ năm 2015.

Anh là tác giả, đồng tác giả trên 25 bài báo và báo cáo khoa học và là Chủ biên một số sách đã biên tập. Hướng nghiên cứu chính của anh về Đo xa vô tuyến, các hệ truyền dẫn quang điện kỹ thuật cảm biến, hệ vi cơ điện tử và các ứng dụng của sensor.



Chủ Đức Trình nhận bằng cử nhân Vật lý tại Trường Đại học Khoa học Tự nhiên Hà Nội vào năm 1998, bằng thạc sỹ Kỹ thuật điện tử tại Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội năm 2002 và bằng tiến sĩ Vi cơ điện tử tại Đại học Công nghệ Delft, Hà Lan năm 2007.

Anh hiện đang là PGS.TS. tại khoa Điện tử - Viễn thông, Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội. Anh là Chủ nhiệm khoa khoa Điện tử - Viễn thông từ năm 2015 và Phụ trách bộ môn Vi cơ điện tử và Vi hệ thống từ năm 2011. Anh là tác giả, đồng tác giả trên 70 bài báo và báo cáo khoa học và là Chủ

biên mời số đặc biệt về Vi cơ điện tử của Tạp chí Cơ học Việt Nam, 2012. Anh nhận được Giải thưởng Nhà khoa học trẻ, Đại học Quốc gia Hà Nội năm 2011; Báo cáo hay nhất Hội nghị 20 năm DIMES, TUDelft, Hà Lan năm 2007; Báo cáo hay nhất của hội nghị MME, Châu Âu năm 2006; Giải nhất hướng dẫn khoa học sinh viên của Bộ Giáo dục đào tạo năm 2004.

Hướng nghiên cứu chính của anh về Vi cơ điện tử MEMS như: Vi kẹp có cảm nhận, vi chấp hành nhiệt điện, cảm biến lực, cảm biến điện dung, vi lỏng, cảm nhận tế bào sống.