

HỆ ĐO ĐẶC TRƯNG ĐIỆN CỦA VI CẢM BIẾN VẬN TỐC GÓC KIỂU TUNING FORK

Nguyễn Ngọc Minh, Nguyễn Quang Long, Chu Mạnh Hoàng, Vũ Ngọc Hùng*

Tóm tắt: Nội dung của bài báo này trình bày về thiết kế hệ đo đặc trưng của vi cảm biến vận tốc góc. Vi cảm biến vận tốc góc được sử dụng là kiểu Tuning Fork trên cơ sở công nghệ vi cơ điện tử MEMS (thiết kế chế tạo tại Viện ITIMS). Hệ đo gồm có các mô đun tốc độ góc, mô đun chuyển đổi C-V (MS3110) và mô đun thu thập dữ liệu USB-6009 kết nối với máy tính xử lý dữ liệu bởi phần mềm Labview. Trong hệ đo có sử dụng truyền động quay bằng động cơ servo có điều khiển tốc độ và thời gian quay. Vận tốc góc cần đo sẽ có tỷ lệ với điện dung cảm ứng đầu ra của vi cảm biến vận tốc góc, điện dung được chuyển đổi tỷ lệ sang điện áp ta sẽ tính toán được vận tốc góc cần đo. Trong quá trình nghiên cứu, hệ đo đã được xây dựng thành công và đã có kết quả thực nghiệm. Quá trình thực nghiệm đo cho thấy quan hệ giữa vận tốc góc cần đo $-200 \div 200$ (deg/s) và điện áp đầu ra của bộ chuyển đổi là tuyến tính.

Từ khóa: Vi cảm biến vận tốc góc; MS3110; Ni-USB6009; Servo motor.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong khoảng 30 năm trở lại đây sự ra đời và phát triển của công nghệ MEMS, một lĩnh vực công nghệ cao (Hi-tech) đã tạo ra một cuộc cách mạng về khoa học kỹ thuật và công nghệ chế tạo các linh kiện cảm biến (sensors) và chấp hành (actuators) ở phạm vi kích thước dưới milimet. Ưu điểm vượt trội của các cảm biến loại này là độ nhạy cao, kích thước nhỏ gọn, tiêu thụ năng lượng ít. Cảm biến vận tốc góc (hay con quay vi cơ) có ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như công nghiệp chế tạo ô tô như chống trượt đỗ xe [1]. Trong các thiết bị dân dụng như ổn định của máy ảnh số và điện thoại di động, chuốt quán tính cho các thiết bị cầm tay [2]. Đặc biệt, sự phát triển của con quay vi cơ có độ nhạy và độ ổn định cao là yêu cầu thiết yếu cho các ứng dụng trong lĩnh vực công nghiệp robot và quân sự, bao gồm các thiết bị định vị quán tính trong công nghiệp hàng không và vũ trụ [3].

Cảm biến vận tốc góc đã được nhóm chúng tôi nghiên cứu, mô phỏng với kết quả tốt và chế tạo thành công tại Viện ITIMS. Để khảo sát các đặc trưng và đánh giá được chất lượng của cảm biến sau chế tạo là một bước rất quan trọng. Đó là một yêu cầu và là một thách thức. Sau thời gian nghiên cứu xây dựng nhóm đã thành công hệ đo đặc trưng cho cảm biến sau chế tạo.

Trong bài báo này, chúng tôi trình bày thiết kế hệ đo đặc trưng tần số, đầu vào đáp ứng tốc độ góc của con quay âm thoa trực - Z với cấu trúc răng lược. Hệ đo có khả năng phân tích tín hiệu trong miền thời gian và trong miền tần số sử dụng phép biến đổi fourier. Với việc tính hàm mật độ phổ năng lượng ta biết được tín hiệu tập chung ở tần số nào. Độ nhạy và hệ số Q cũng được xác định bằng thực nghiệm.

2. CẢM BIẾN VẬN TỐC GÓC KIỂU TUNING FORK

Con quay vi cơ kiểu âm thoa (Tuning Fork Gyroscope) hoạt động dựa trên hiệu ứng Coriolis. Cấu trúc con quay vi cơ có thể được xem như một hệ thống động lực 2 bậc tự do bao gồm khối gia trọng, bộ phận đàn hồi và bộ phận giảm chấn. Khối gia trọng với khối lượng m đồng thời tham gia chuyển động thẳng với vận tốc v và chuyển động quay với vận tốc góc Ω sẽ chịu tác dụng của lực Coriolis:

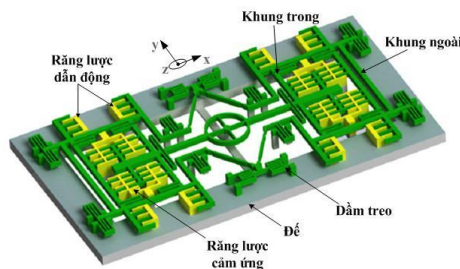
354 *N. N. Minh, ..., V. N. Hùng, “Hệ đo đặc trưng điện của vi cảm biến ... kiểu Tuning Fork.”*

Nghiên cứu khoa học công nghệ

$$F_C = -2 m[\Omega.v] \tag{1}$$

Lực Coriolis tỷ lệ với tích véctơ của vận tốc dài v và vận tốc góc Ω .

Trong nghiên cứu này, mô hình thiết kế con quay vi cơ kiểu âm thoa trục z được đề xuất (hình 1)



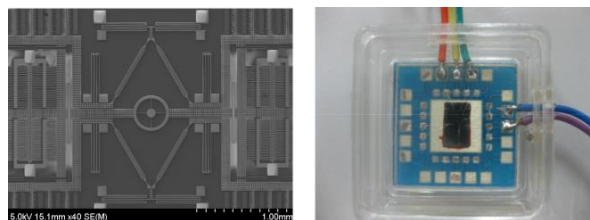
Hình 1. Sơ đồ cấu trúc vi cảm biến vận tốc góc kiểu âm thoa.

Khi đồng thời tham gia chuyển động quay với vận tốc góc theo phương z vuông góc với mặt phẳng của khối gia trọng, hệ khung gia trọng bên trong sẽ chịu tác dụng của lực Coriolis và dịch chuyển theo phương y trong mặt phẳng chứa khung gia trọng dẫn tới làm thay đổi giá trị điện dung của hệ tụ cảm ứng.

Trong mô hình thiết kế này, sự thay đổi điện dung cho một điện cực đặt với N răng lược ở mỗi bên có thể được tính như sau:

$$\Delta C = 2N\varepsilon \frac{tL}{og^2} Y \tag{2}$$

Trong đó, Y là sự dịch chuyển của điện cực theo hướng chuyển động.

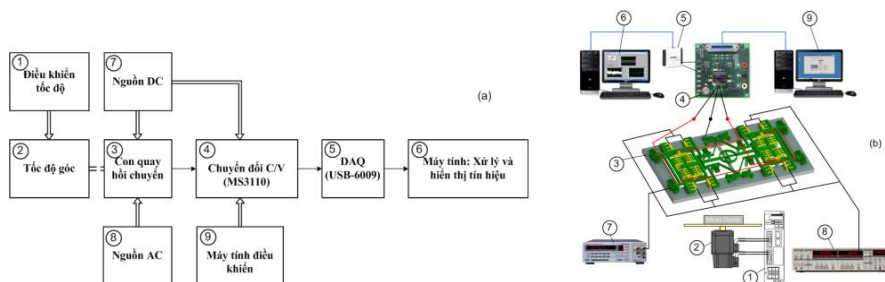


Hình 2. Vi cảm biến vận tốc góc Gyroscope.

Cảm biến chế tạo xong được hàn dây tín hiệu vào ra và đóng gói trong hộp nhựa mica ở môi trường khí quyển (hình 2).

3. SƠ ĐỒ HỆ ĐO

Sơ đồ khối hệ đo



Hình 3. Hệ đo đặc trưng cảm biến.

Đo lường – Tin học

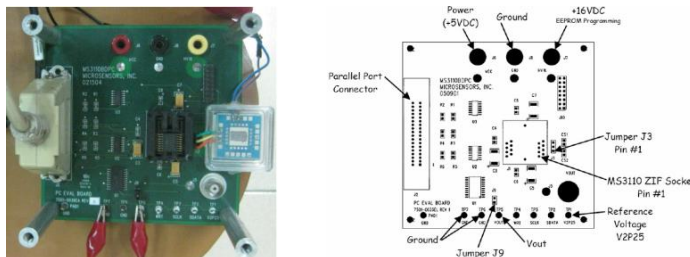
Để xác định được đặc trưng của cảm biến chúng tôi sử dụng động cơ servo loại VRSF-25C-200 của TAMAGAWA làm động cơ tạo vận tốc góc (hình 4). Động cơ được điều khiển bằng driver TYB201D3-VVT2. Trên trục động cơ có gắn một đĩa tròn, sau đó gắn cảm biến, bộ chuyển đổi C/V và bộ DAQ trên đĩa này. Khi động cơ quay sẽ tạo ra một vận tốc góc theo trục z của cảm biến.



Hình 4. Động cơ servo có điều khiển tạo vận tốc góc.

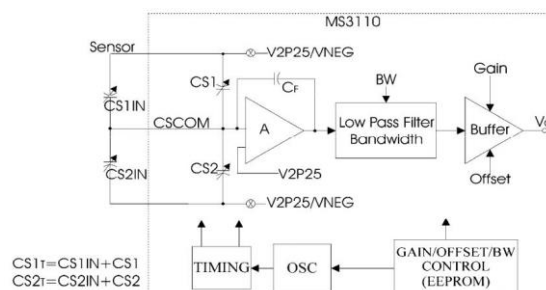
Để xử lý và thu thập dữ liệu cho các đặc trưng chúng tôi đã xây dựng hệ đo với khả năng điều khiển và hiển thị thông số trên máy tính như H.4: Cảm biến được cấp nguồn DC và AC từ bộ nguồn DC và máy phát hàm. Động cơ servo được điều khiển bằng bộ driver làm thay đổi vận tốc góc, khi đó điện dung đầu ra của cảm biến được đưa qua bộ chuyển đổi C/V MS3110 và bộ chuyển đổi này được hiệu chỉnh thông số bởi phần mềm ms3110prg trên máy tính. Tín hiệu đầu ra bo mạch MS3110 là điện áp được đưa qua card thu thập dữ liệu USB6009 và được xử lý dữ liệu bằng phần mềm Labview trên máy tính.

Trong đó: Khối chuyển đổi tín hiệu MS3110 [4] có nhiệm vụ chuyển đổi điện dung từ cảm biến thành điện áp (C/V) và có thể phát hiện đến femtoFarad, cụ thể với độ phân giải 4.0aF/rtHz. Hình 5 cho thấy cái nhìn tổng quan của bo mạch chuyển đổi MS3110. Trong mạch Jumper J3 được dùng làm kết nối giữa IC với cảm biến. Bo mạch được hiệu chỉnh thông qua cổng kết nối song song



Hình 5. Bo mạch chuyển đổi C/V MS3110 và sơ đồ kết nối.

Sơ đồ khối chức năng



Hình 6. Sơ đồ khối chức năng bo mạch MS3110BD.

MS3110 cảm nhận sự thay đổi điện dung giữa hai tụ và cung cấp một điện áp đầu ra tỷ lệ thuận với sự thay đổi đó. Các tụ điện để được cảm nhận là một cặp cân bằng bên ngoài

Nghiên cứu khoa học công nghệ

CS1IN và CS2IN. Điện áp đầu ra quan hệ với sự thay đổi giữa các tụ cảm biến CS2T và CS1T theo sau đây:

$$V_0 = GAIN * V2P25 * 1.14 * (CS2T - CS1T) / CF + VREF$$

Ta điều chỉnh trên phần mềm để đạt được sự thay đổi điện dung của cảm biến 1pF tương ứng điện áp đầu ra 1mV.

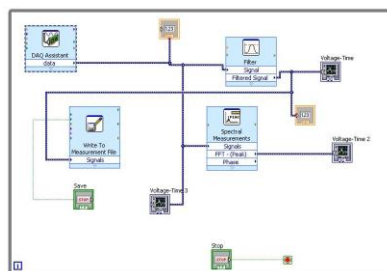
Khởi thu thập dữ liệu USB-6009 [5]: Card thu thập dữ liệu NI USB-6009 có 8 đầu vào analog, 2 đầu ra tương tự, 12 đầu vào/ ra kỹ thuật số và 32-bit truy cập. Tốc độ lấy mẫu tối đa của mỗi đầu vào tương tự là 48 kS/s. Tốc độ mẫu vào đầu ra tương tự là 150 S/s và nó không thể thay đổi đầu vào analog có độ phân giải 14-bit và đầu ra analog có độ phân giải 12-bit. Giao diện USB cho phép chuyển đổi tốt hơn và dễ dàng hơn kết nối với máy PC. Hình dáng bên ngoài của card trong hình 7.



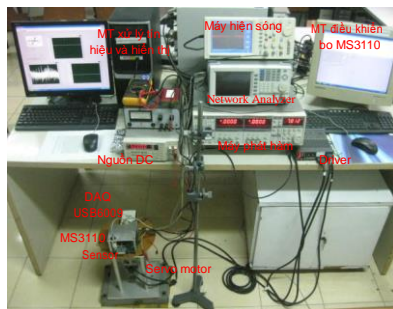
Hình 7. Card thu thập dữ liệu của NI USB-6009.

Điện áp tối đa có thể được kết nối với đầu vào analog là từ -20 V đến 20 V (thông số kỹ thuật thì nói -10 V đến 10 V, nhưng trong thực tế -20 đến 20 V có thể được kết nối). Analog đầu ra điện áp là 0-5 V và nó không thể thay đổi. Card kết nối với máy tính thông qua cổng USB. Tại đầu vào kỹ thuật số nó có thể được kết nối với điện áp 0-5 V và tại đầu ra kỹ thuật số nó cho 5 V. Card cũng có một bộ đếm cho điện áp 0-5 V với tần số tối đa là 5 MHz.

Tín hiệu thu thập được đưa vào máy tính hiển thị tín hiệu, dạng tín hiệu qua bộ lọc và phân tích phổ tín hiệu FFT.



Hình 8. Chương trình đo và hiển thị trên máy tính.



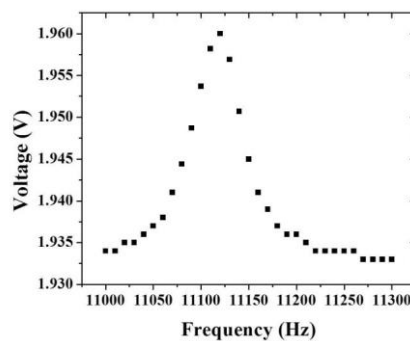
Hình 9. Hệ đo đặc trưng.

4. KẾT QUẢ KHẢO SÁT ĐẶC TRƯNG

Sau khi thực hiện khảo sát vi cảm biến vận tốc góc ở môi trường áp suất khí quyển kết quả đạt được biểu diễn với hai đặc trưng chính. Hai đặc điểm chính là đáp ứng tần số cộng hưởng của kích thích, cảm ứng và đầu vào đáp ứng tốc độ góc. Các tần số cộng hưởng của cảm biến là thông tin quan trọng. Vì các cảm biến cần thiết để hoạt động theo điều kiện cộng hưởng, các tần số cộng hưởng phải được xem xét trước. Ngoài ra, khi các tần số cộng hưởng của chế độ kích thích và cảm ứng được biết, băng thông hoạt động của cảm biến cũng được xác định. Khi tần số tự nhiên được biết, đặc tính cảm biến liên tục được khảo sát phản ứng tốc độ góc đầu vào bằng cách sử dụng lực tĩnh điện kích thích và điều khiển tốc độ góc.

4.1. Tần số đáp ứng

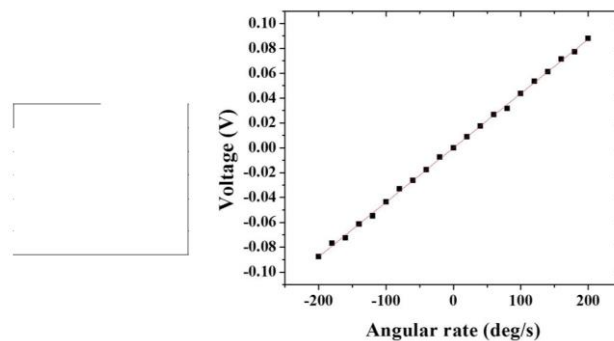
Trong bài báo này chúng tôi thực nghiệm trên cảm biến freestanding gyroscope loại 10kHz. Với điện áp một chiều là 5VDC và 5VAC được sử dụng. Tần số đáp ứng ở chế độ cảm ứng là 11125 Hz. Kết quả này là hợp lý vì cấu trúc thực tương ứng so với mô hình mô phỏng.



Hình 10. Tần số đáp ứng của chế độ cảm ứng.

4.2. Đáp ứng tốc độ góc

Từ các giá trị tần số tự nhiên thu được, khảo sát thứ hai - đo tốc độ góc được thực hiện. Đối với khảo sát này, điện áp 5VDC được đặt lên các khối gia trọng và điện áp 5VAC biên độ với tần số trong khoảng 11108 Hz đến 11125 Hz. Bộ mạch MS 3110 được thiết lập điện dung thay đổi 1pF đầu vào thì đầu ra thay đổi 1mV. Trong khi động cơ servo được điều khiển để cho sự thay đổi tốc độ góc trong khoảng 0-200°/s, đáp ứng đầu ra cảm ứng của con quay vi cơ 10 kHz được thể hiện trong hình 11. Độ nhạy của cảm biến 10kHz thu được là 4.39e-4 V/°/s.



Hình 11. Đặc trưng vận tốc góc đầu vào là hàm của điện áp đầu ra của vi cảm biến vận tốc góc 10kHz.

358 *N. N. Minh, ..., V. N. Hùng, “Hệ đo đặc trưng điện của vi cảm biến ... kiểu Tuning Fork.”*

5. KẾT LUẬN

Hệ đo đặc trưng của vi cảm biến vận tốc góc kiểu tuning fork đã được xây dựng. Hệ đo đã khảo sát các đặc trưng hoạt động của vi cảm biến vận tốc góc kiểu Tuning Fork 10kHz chế tạo tại Viện ITIMS. Các kết quả thực nghiệm đạt được là tần số hoạt động là 11,12 kHz và độ nhạy của nó là $4.39 \times 10^{-4} \text{ V}^\circ/\text{s}$.

Đặc tính kỹ thuật:

- Kích thước: $4554 \mu\text{m} \times 3935 \mu\text{m}$
- Độ nhạy: $0,44 \text{ mV}^\circ/\text{s}$
- Điện áp kích thích: 5VDC; 5VAC

Lời cảm ơn: Công trình nghiên cứu này được thực hiện với sự tài trợ của chương trình NAFOSTED, Bộ Khoa học & Công nghệ, trong khuôn khổ đề tài nghiên cứu cơ bản mã số 103.99- 2014.34.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. J. Classen et al, “MEMS gyroscopes for automotive applications. In *Advanced Microsystems for Automotive Applications*”, Springer: Berlin, Germany, 2007; pp. 291-306.
- [2]. M. Keim et al, “Bosch angular rate sensors advanced sensor technology for innovative applications”, Proc. Commercialization of Microsystems, COMS 2003.
- [3]. M.S. Grewal et al, “*Global Positioning Systems, Inertial Navigation and Integration*”, John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2001.
- [4]. Irvine Sensors Corporation, “MS3110 universal capacitive readout™ IC data sheet”, May 2004.
- [5]. National Instruments, “NI USB-6008/6009 User Guide”.

ABSTRACT

MEASURING SYSTEM ELECTRIC CHARACTERISTICS OF GYROSCOPE TUNING FORK

The content of this paper is about the design of the measuring system of the angular velocity sensor. The angular velocity sensor used is a tuning fork based on MEMS microelectronic technology (designed and manufactured by ITIMS). Measurements include angular velocity modules, C-V conversion module (MS3110) and USB-6009 data acquisition module connected to computer data processing by Labview software. In the measurement system using rotary actuators with servo motors with speed control and rotation time. The angular velocity to be measured will be proportional to the output capacitance of the angular velocity sensor, and the capacitance converted to the voltage will calculate the angular velocity to be measured. In the course of the study, the system was successfully developed and there were experimental results. Experimental measurements show that the relationship between the angular velocity measured $-200 \div 200 \text{ (deg/s)}$ and the output voltage of the converter is linear.

Keywords: Gyroscope tuning fork; MS3110; Ni-USB6009; Servo motor.

Nhận bài ngày 01 tháng 7 năm 2018

Hoàn thiện ngày 10 tháng 9 năm 2018

Chấp nhận đăng ngày 20 tháng 9 năm 2018

Địa chỉ: Viện ITIMS, Đại học Bách khoa Hà Nội, số 01 Đại Cồ Việt, Hà Nội.

* Email : hungvungoc@itims.edu.vn.