

HỆ THỐNG CẢM BIẾN ĐIỆN DUNG KHÔNG TIẾP XÚC CẢM BIẾN GIỌT CHẤT LỎNG TRONG KÊNH KHÔNG KHÍ

CAPACITIVE CONTACTLESS SENSOR SYSTEM FOR LIQUID DROPLETS IN THE AIR CHANNEL DETECTION

Nguyễn Đắc Hải^{1,*}

TÓM TẮT

Bài báo này giới thiệu thiết kế, chế tạo và khảo sát hoạt động của một cảm biến điện dung không tiếp xúc dùng để phát hiện sự xuất hiện của giọt chất lỏng dẫn điện và dẫn điện yếu trong kênh không khí. Cấu trúc cảm biến gồm hai điện cực cảm biến và một điện cực kích thích. Các điện cực được liên kết trực tiếp trên PCB với bộ khuếch đại vi sai tích hợp sẵn và mạch xử lý tín hiệu để giảm thành phần tụ ký sinh và nhiễu. Với chất lỏng dẫn điện yếu, điện áp đầu ra thay đổi 1,58V tương ứng với giọt nước cất có thể tích 10,32mm³. Với chất lỏng dẫn điện, điện áp đầu ra thay đổi 1,74V tương ứng với giọt nước muối (NaCl) nồng độ 0,009 có thể tích 16,35mm³, với giọt nước gluco nồng độ 0,05 có thể tích 42,12mm³ cho thay đổi là 1,74V. Sự thay đổi điện áp của cảm biến này là tuyến tính với thể tích của giọt chất lỏng. Cảm biến này cũng cho phép đo vận tốc của giọt trong kênh dẫn. Hệ thống cảm biến này có thể được sử dụng cho các thiết bị và hệ thống y tế và được áp dụng trong y sinh học.

Từ khóa: Cảm biến điện dung; Cảm biến giọt chất lỏng; Cảm biến điện dung ba điện cực.

ABSTRACT

This paper presents of design, fabricate and survey the performance of a non-contact capacitive sensor is used to detect the presence of droplets of conductive and weak electrical conductive liquid in the air channel. The sensor structure consists of two signal pick-up electrodes and a excitation electrode. The electrodes are directly bonded on the PCB with built-in differential amplifier and signal processing circuit in order to reduce the parasitic capacitors component and common noise. The fluid is weak conductive, the output voltage changes to 1.58V corresponding to a pure water droplet with a volume of 10.32mm³. The conductive liquid, the output voltage varied by 1.74V corresponding to a saline droplets (NaCl, concentration of 0.009) with a volume of 16.35mm³, and corresponding to a glucose water droplet (concentration of 0.05) with a volume of 42.12mm³. When liquid droplets appear in the channel the capacitance value of the capacitor is changed. The output voltage of the capacitance readout circuit is used to evaluate the volume of the liquid droplets and to calculating the velocity of the droplet in the conduit. This proposed sensor can be used for medical devices and systems and applied in biomedical.

Keywords: Capacitive sensor; Liquid drop sensor; Three-electrode capacitive sensor.

¹Khoa Điện tử, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: haind75@gmail.com

Ngày nhận bài: 28/12/2017

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 03/4/2018

Ngày chấp nhận đăng: 21/8/2018

Phản biện khoa học: TS. Phan Thanh Hòa

1. GIỚI THIỆU

Các hệ thống vi lỏng ngày càng được ứng dụng nhiều trong thực tế công nghiệp, nông nghiệp, y tế và khai khoáng. Việc cảm nhận phát hiện giọt chất lỏng và ước lượng thể tích của chúng là nhiệm vụ khoa học được nhiều nhóm nghiên cứu trên thế giới quan tâm.

Trong y học, phác đồ điều trị truyền thuốc tĩnh mạch được áp dụng rộng rãi để điều trị cho bệnh nhân. Tốc độ dòng chảy tĩnh mạch được điều chỉnh bằng cách đếm số lượng giọt chất lỏng trong một buồng nhỏ giọt. Điều cần thiết là kiểm soát và duy trì đúng lượng thuốc được tiêm vào tĩnh mạch. Bộ truyền tĩnh mạch truyền thống, tỷ lệ lượng thuốc được thiết lập trước, tuy nhiên trong khoảng thời gian truyền thuốc nhiều yếu tố có thể làm thay đổi tỷ lệ thiết lập ban đầu và do đó lượng thuốc thực tế được truyền vào cơ thể bệnh nhân không đúng liều điều trị [1-3]. Việc kiểm soát chính xác tốc độ truyền là hết sức quan trọng trong điều trị cho bệnh nhân.

Trên thế giới đã có một số nghiên cứu cảm biến giọt chất lỏng sử dụng các phương pháp khác nhau. Phương pháp sử dụng diode phát quang, camera [4], phương pháp thay đổi nhiệt độ vòi phun để kiểm soát thể tích giọt [5], các phương pháp này độ chính xác không cao. Một nghiên cứu khác đã sử dụng phương pháp dùng sóng siêu âm để ước lượng thể tích các giọt thuốc, tuy nhiên phương pháp này cần phải duy trì bảo dưỡng thường xuyên [6]. Người ta đã sử dụng cảm biến áp điện trở để phát hiện sự thay đổi áp suất của màng thành ống phun giọt chất lỏng để từ đó có thể giám sát và ước lượng giọt chất lỏng được tạo ra, phương pháp này rất phức tạp [7]. Cảm biến điện dung đồng phẳng được sử dụng để theo dõi, đo lường vận tốc chuyển động và thể tích giọt nước trong kênh dẫn. Phương pháp này điện trường không tập trung nhiều vào giọt nước nên độ nhạy không cao [8]. Trong các cấu trúc điện dung đã được sử dụng, độ nhạy bị giảm khi độ dẫn điện của chất lỏng là tương đối cao. Jaworek và các đồng tác giả đã trình bày một cảm biến điện dung tần số cao để giải quyết những tác động dẫn điện của nước bằng cách sử dụng một bộ dao động 80MHz. Tuy nhiên, phương pháp này yêu cầu một điện cực rất nhỏ và một mạch khá phức tạp [9].

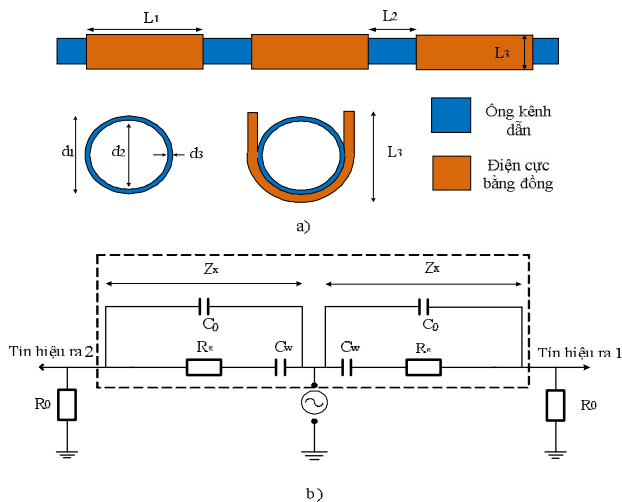
Nghiên cứu này tập trung vào một số vấn đề liên quan đến việc xây dựng mô hình cảm biến điện dung loại bỏ

hiều kênh và kỹ thuật chế tạo cảm biến tối ưu hơn. Chế tạo tụ cảm biến có kích thước các bản cực không đòi hỏi quá nhỏ mà vẫn có thể đo được các giọt chất lỏng có kích thước nhỏ. Tính toán, thiết kế và chế tạo ra hệ thống cảm biến có thể đo được chất lỏng có độ dẫn điện cao hơn, đồng thời có thể ứng dụng được cả với chất lỏng dẫn điện và không dẫn điện.

2. THIẾT KẾ VÀ MÔ PHỎNG

2.1. Thiết kế cảm biến

Trong nghiên cứu này sử dụng hệ thống cảm biến bao gồm ba điện cực. Trong đó hai điện cực nhận nằm ở phía ngoài và điện cực ở giữa là điện cực kích thích (hình 1).



Hình 1. a) Cảm biến điện dung dựa trên cấu trúc ba điện cực và b) mạch điện tương đương

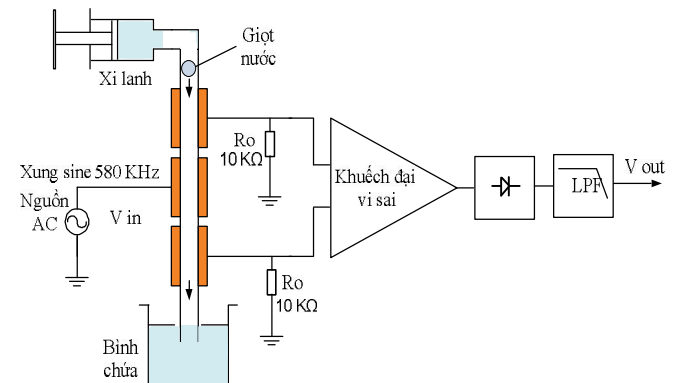
L_2 là khoảng cách giữa hai điện cực, L_1 và L_3 là chiều dài và chiều cao của điện cực. Cấu trúc cảm biến được thiết kế ôm chặt kênh dẫn và tạo ra cấu trúc tụ điện đồng phẳng. Một ống dẫn có đường kính phía ngoài thành ống là d_1 được đặt bên trong ba điện cực như thể hiện trong hình 1 (a). Hình 1 (b) thể hiện sơ đồ tương đương của cảm biến. Trở kháng của chất lỏng dẫn điện bên trong kênh là R_s . Điện dung C_w phụ thuộc vào độ dày, hằng số điện môi của thành ống dẫn và kích thước của điện cực. Điện dung C_0 là điện dung rò, không tập trung vào kênh dẫn. Cấu trúc cảm biến này làm giảm ảnh hưởng của nhiễu trong kênh dẫn và khuếch đại các tín hiệu khác biệt giữa hai cảm biến đơn.

Các kích thước của cảm biến tụ điện được thiết kế như trong bảng 1.

Bảng 1. Các kích thước hình học của cảm biến

Ký hiệu	Mô tả	Kích thước (mm)
d_1	Đường kính ngoài kênh dẫn	4,0
d_2	Đường kính trong kênh dẫn	3,6
d_3	Độ dày của kênh dẫn	0,2
L_1	Chiều dài của điện cực	12,0
L_2	Khoảng cách giữa hai điện cực	2,0
L_3	Chiều cao của điện cực	5,0

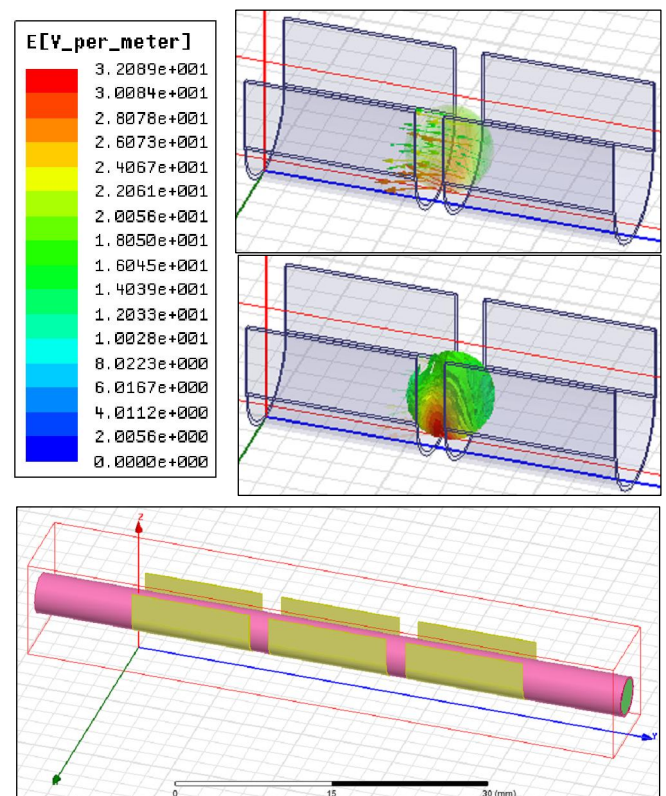
Hình 2 là sơ đồ thiết kế khối của cảm biến điện dung không tiếp xúc dùng để phát hiện các giọt chất lỏng dẫn điện yếu và dẫn điện bên trong kênh dẫn. Cấu trúc này bao gồm hai cảm biến đơn với một nguồn xung sin đặt vào điện cực ở giữa đóng vai trò điện cực kích thích. Sau đó các tín hiệu khác biệt giữa các điện cực trên và dưới được khuếch đại và giải điều chế để loại bỏ các thành phần sóng mang. Tín hiệu đầu ra là tín hiệu vi sai giữa hai cấu trúc cảm biến đơn. Giọt nước được bơm qua kênh cảm biến, khi thể tích giọt nước tăng lên thì sự chênh lệch điện dung giữa cặp tụ điện cũng tăng lên.



Hình 2. Sơ đồ khối thiết kế bộ cảm biến điện dung không tiếp xúc

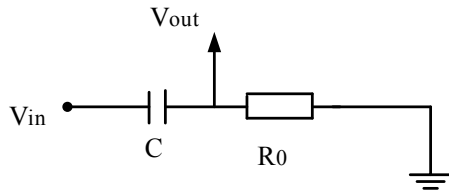
2.2. Mô phỏng và tính toán

Khi có giọt chất lỏng đi qua cảm biến tụ điện, điện trường phân bố chủ yếu tại khe của hai điện cực hình chữ U và điện trường bên trong giọt chất lỏng (màu đỏ bên trong giọt chất lỏng - hình 3).



Hình 3. Mô phỏng điện trường khi một giọt chất lỏng bên trong cảm biến

Khi có giọt chất lỏng đi vào cảm biến, ΔZ_c sẽ thay đổi. Mạch điện được vẽ tương đương như hình 4.



Hình 4. Mạch điện tương đương của cảm biến

Ta có:

$$\Delta Z_c = \frac{1}{\Delta C \cdot \omega}$$

$$\Delta C = \frac{1}{\Delta Z_c \cdot 2\pi f} \quad (1)$$

Mà:

$$(\Delta Z)^2 = (\Delta Z_c)^2 + R_0^2$$

$$\Delta Z_c = \sqrt{(\Delta Z)^2 - R_0^2}$$

$$\Delta Z_c = \sqrt{\left(\frac{V_{in}}{i}\right)^2 - R_0^2}$$

$$\Delta Z_c = \sqrt{\left(\frac{V_{in}}{\frac{\Delta V}{R_0}}\right)^2 - R_0^2}$$

$$\Delta Z_c = \sqrt{\left(\frac{R_0 \cdot V_{in}}{\Delta V}\right)^2 - R_0^2} \quad (2)$$

Thay phương trình (2) vào (1) ta có:

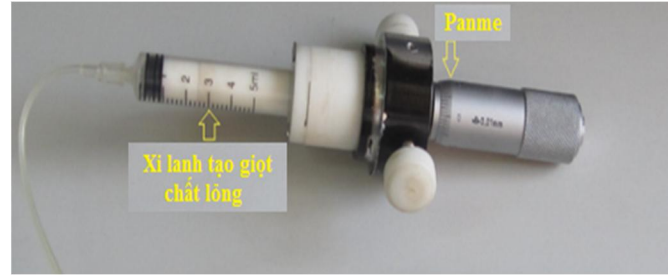
$$\Delta C = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{R_0 \cdot V_{in}}{\Delta V}\right)^2 - R_0^2} \cdot 2\pi f} \quad (3)$$

Trong đó: ΔV là độ chênh lệch về hiệu điện thế giữa hai bản cực tụ trong hai trường hợp có và không có giọt chất lỏng qua cảm biến.

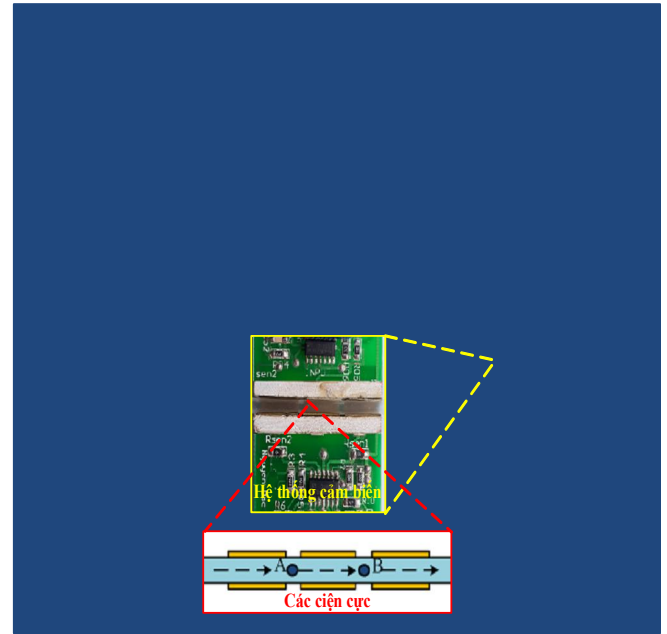
3. CHẾ TẠO CẢM BIẾN, THIẾT LẬP HỆ ĐO

Cảm biến được chế tạo dựa trên mạch in (PCB). Điện cực hình chữ U được gắn trực tiếp trên PCB cùng với mạch xử lý tín hiệu để làm giảm các thành phần tụ ký sinh và nhiễu thông thường. Ống nhựa được đặt bên trong các điện cực hình chữ U.

Hình 5 là hình ảnh của xi lanh panme. Thể tích của các giọt chất lỏng được giám sát bằng sự dịch chuyển của piston có gắn thước đo panme, xi lanh panme này có độ chính xác là $0,001\text{mm}^3$. Các giọt chất lỏng trong nghiên cứu này được tạo ra bằng xi lanh panme này.



Hình 5. Bơm tạo bọt khí và giọt nước vào kênh dẫn

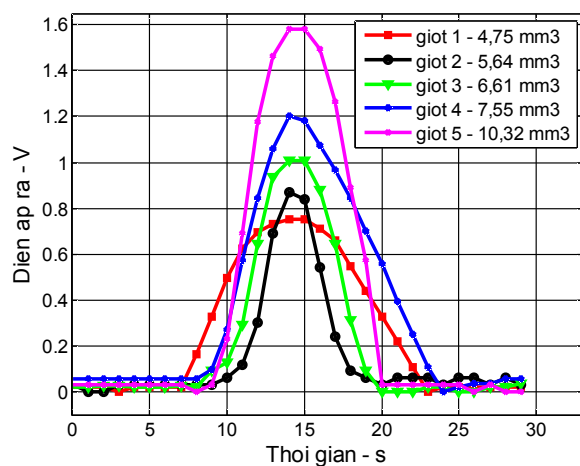


Hình 6. Thiết lập hệ thống đo lường cảm biến

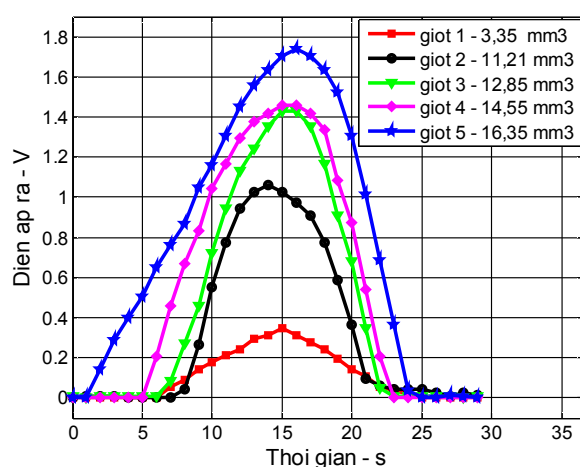
Hình 6 thể hiện thiết lập đo lường của hệ thống cảm biến điện dung không tiếp xúc. Để khảo sát được với tụ điện có giá trị điện dung nhỏ và đo được với giọt chất lỏng dẫn điện, một tín hiệu hình sin với biên độ 3V và tần số 580kHz được đưa vào điện cực kích thích. Điện áp ra từ hai điện cực cảm biến là tín hiệu đầu vào của một bộ khuếch đại, giải điều chế, và mạch lọc thông thấp. Tiếp theo, điện áp đầu ra được đưa đến bộ thu thập dữ liệu và vào máy tính qua cổng USB.

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

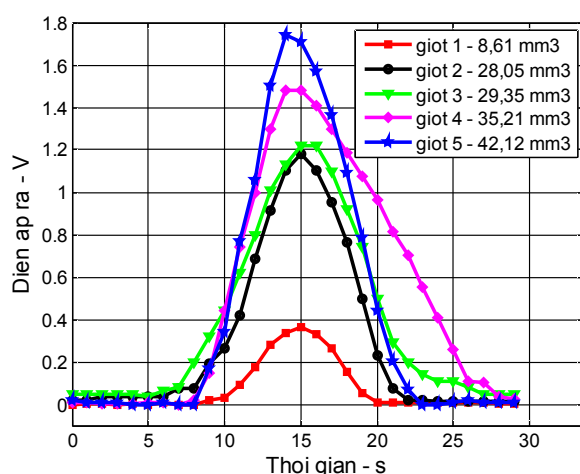
Trong nghiên cứu này, nước cất là chất lỏng dẫn điện yếu và nước muối 0,009, nước gluco 0.005 là chất lỏng dẫn điện được sử dụng để khảo sát hoạt động của cảm biến. Hình 7 thể hiện điện áp ra của cảm biến khi các giọt chất lỏng đi qua các điện cực của cảm biến. Giọt chất lỏng có thể tích lớn hơn sẽ cho điện áp đầu ra của cảm biến lớn hơn. Hình 7 (a) cho thấy điện áp đầu ra của hệ thống cảm biến thay đổi lên đến 1,58V khi giọt nước cất có thể tích $10,32\text{mm}^3$ qua cảm biến. Hình 7 (b) cho thấy điện áp đầu ra của hệ thống cảm biến thay đổi lên đến 1,74V khi giọt nước muối 0,009 có thể tích $16,35\text{mm}^3$ qua cảm biến. Hình 7 (c) cho thấy điện áp đầu ra của hệ thống cảm biến thay đổi lên đến 1,74V khi giọt nước gluco 0,05 có thể tích $42,12\text{mm}^3$ qua cảm biến.



(a)



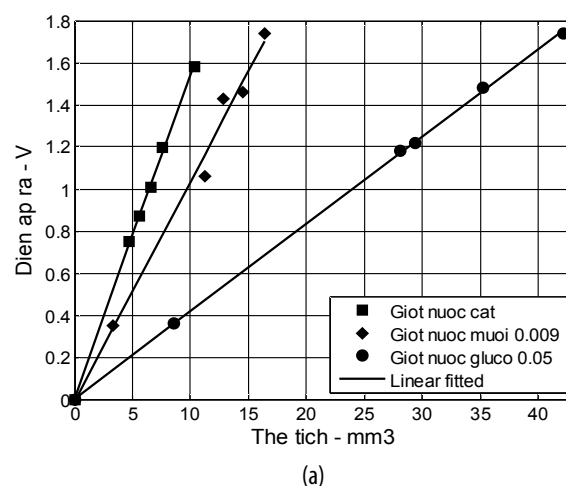
(b)



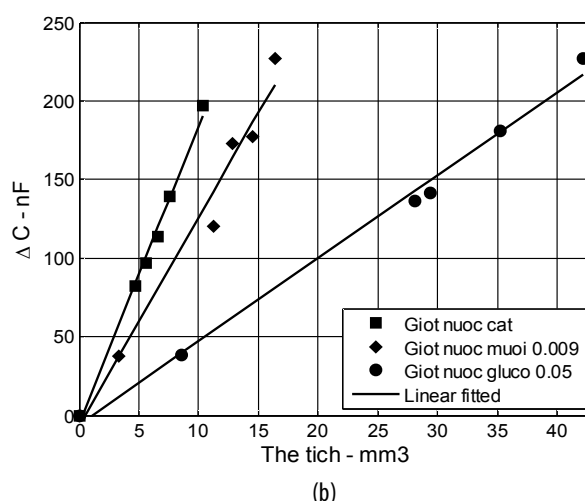
(c)

Hình 7. Điện áp đầu ra của cảm biến khi các giọt chất lỏng đi qua cảm biến: (a) giọt nước cất; (b) giọt nước muối 0,009; và (c) giọt nước gluco 0,05

Biên độ của điện áp đầu ra và sự thay đổi điện dung phụ thuộc vào thể tích của giọt chất lỏng. Hình 8 cho thấy mối quan hệ tuyến tính giữa biên độ điện áp đầu ra và thay đổi điện dung so với thể tích giọt chất lỏng. Vì vậy, cảm biến này cho phép ước lượng thể tích của giọt chất lỏng.



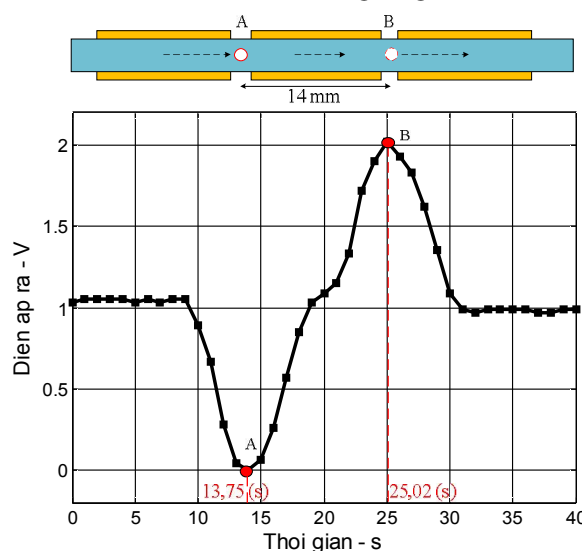
(a)



(b)

Hình 8. Đầu ra của cảm biến thay đổi tương ứng với thể tích các giọt chất lỏng: (a) thay đổi điện áp đầu ra so với thể tích; và (b) thay đổi điện dung so với thể tích

Hình 8 thể hiện mối quan hệ giữa biên độ điện áp đầu ra và thể tích giọt chất lỏng. Ta thấy độ nhạy của cảm biến giảm khi độ dẫn điện của chất lỏng tăng lên.



Hình 9. Tính toán vận tốc của giọt chất lỏng bên trong kênh dẫn

Hình 9 thể hiện tín hiệu điện áp đầu ra và cách bố trí các điện cực trong cấu trúc cảm biến để phát hiện vận tốc giọt. Hai đỉnh điện áp tương ứng với điểm **A** và điểm **B**. Đó là các điểm giữa của mỗi tụ cảm biến của cảm biến đơn tương ứng. Vì vậy, vận tốc giọt có thể được ước tính bằng cách chia khoảng cách AB cho thời gian giữa hai đỉnh điện áp.

5. KẾT LUẬN

Bài báo này giới thiệu thiết kế, chế tạo và khảo sát hoạt động của một cảm biến điện dung không tiếp xúc dùng để phát hiện sự xuất hiện của giọt chất lỏng trong kênh dẫn. Cảm biến điện dung không tiếp xúc kiểu tụ được thiết kế và chế tạo thành công với kỹ thuật đơn giản có thể phát hiện được tình trạng kênh dẫn có giọt chất lỏng hay không. Cấu trúc cảm biến gồm hai điện cực cảm biến và một điện cực kích thích. Các điện cực được liên kết trực tiếp trên PCB với bộ khuếch đại vi sai tích hợp sẵn và mạch xử lý tín hiệu để giảm thành phần tự ký sinh và nhiễu. Vận tốc của giọt chất lỏng được tính thông qua theo dõi thay đổi điện áp lối ra của cảm biến điện dung này. Khi giọt chất lỏng xuất hiện trong ống sẽ làm thay đổi điện dung của cảm biến, các giá trị nhận được từ sự thay đổi điện dung của cảm biến tụ điện được sử dụng để đánh giá sự xuất hiện của giọt chất lỏng và tính toán được vận tốc của giọt. Cảm biến phát hiện được cả giọt chất lỏng dẫn điện và dẫn điện yếu trong kênh dẫn. Hệ thống cảm biến này có thể được sử dụng cho các thiết bị và hệ thống y tế và được áp dụng trong y sinh học.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Keohane CA, Hayes J, Saniuk C, Rothschild JM, Bates DW, 2005. *Intravenous medication safety and smart infusion systems: Lessons learned and future opportunities*. Journal of Infusion Nursing 2005; 28: 321–328.
- [2]. Flack FC, Whyte TD, 1975. *Variations of drop size in disposable administration sets used for intravenous infusion*. Journal of Clinical Pathology 1975; 28: 510–512.
- [3]. Rithalia SV, Rozkovec A, 1979. *Evaluation of a simple device for regulating intravenous infusions*. Intensive Care Medicine 1979; 5: 41–43.
- [4]. Kerstin Thurow, Thomas Krüger, and Norbert Stoll, 2009. *An Optical Approach for the Determination of Droplet Volumes in Nanodispensing*. Journal of Automated Methods and Management in Chemistry. Volume 2009, Article ID 198732, 10 pages.
- [5]. Claudiu A. Stan, Sindy K. Y. Tang, and George M. Whitesides, 2009. *Independent Control of Drop Size and Velocity in Microfluidic Flow-Focusing Generators Using Variable Temperature and Flow Rate*. Analytical Chemistry, Vol. 81, No. 6, March 15, 2009.
- [6]. Park K, Lee J, Kim SY, Kim J, Kim I, Choi SP, Jeong S, Hong S, 2013. *Infusion volume control and calculation using metronome and drop counter based intravenous infusion therapy helper*. International Journal of Nursing Practice 2013; 19: 257–264
- [7]. J. Wei, P.M. Sarro, T. Chu Duc, 2010. *A piezoresistive sensor for pressure monitoring at inkjet nozzle*. Proceeding of IEEE Sensors, pp. 2093–2096.
- [8]. C. Elbuken, T. Glawdel, D. Chan, and C.L. Ren, 2011. *Detection of micro droplet size and speed using capacitive sensors*. Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 171, pp. 55–62.
- [9]. Jaworek, A., A. Krupa, and M. Trela, 2004. *Capacitance sensor for void fraction measurement in water/steam flows*. Flow Measurement and Instrumentation. 15(5-6): p. 317–324.