

CẢM BIẾN PHÁT HIỆN DÒNG CHẢY LỎNG: Một cách tiếp cận mới sử dụng bảng mạch in

TS Đỗ Quang Lộc

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

Thông qua việc thực hiện đề tài do Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) tài trợ, nhóm nghiên cứu thuộc Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội đã phát triển một cấu trúc cảm biến dòng chảy lỏng tích hợp kỹ thuật cảm biến thụ động không dây LC dựa trên việc sử dụng các lợi thế của bảng mạch in (Printed circuit board - PCB). Cấu trúc đã được chế tạo và thử nghiệm, kết quả cho thấy khả năng phát hiện dòng chảy trong kênh dẫn lỏng với các độ dẫn khác nhau tương ứng với nồng độ dung dịch NaCl từ 10 mM đến 1 M, thông qua việc phân tích đánh giá tần số cộng hưởng khung cộng hưởng LC của mạch phát hiện. Đồng thời, cấu trúc đề xuất cũng cho phép phát hiện các đối tượng có tính chất điện khác biệt di chuyển trong kênh dẫn. Với khả năng tiêu hình hóa, việc phát triển cấu trúc này cho phép phát hiện dòng chảy lỏng trong các cấu trúc kênh dẫn vi lưu cho các ứng dụng trong lĩnh vực phân tích hóa học và sinh học.

Phát hiện dòng chảy lỏng

Phát hiện dòng chảy lỏng là khái niệm liên quan tới việc đo lường và phát hiện các tính chất của dòng chảy lỏng, ví dụ như các tính chất điện bao gồm độ dẫn điện, hằng số điện môi và phát hiện sự xuất hiện của các đối tượng, vật liệu có tính chất khác biệt di chuyển trong dòng chảy. Việc phát hiện dòng chảy lỏng đã được ứng dụng vào một số thiết bị và hệ thống sử dụng trong phân tích hóa học và sinh học. Chính vì khả năng ứng dụng quan trọng như vậy, nhiều phương pháp và cấu trúc đã được các nhóm nghiên cứu đề xuất phát triển và thử nghiệm nhằm cải thiện hiệu năng của quá trình cảm biến phát hiện dòng chảy lỏng, ví dụ như các phương pháp quang, phương pháp điện... Việc sử dụng phương pháp điện trong các quá trình

phát hiện dòng chảy lỏng mang lại một số lợi thế như: đơn giản, khả năng tích hợp và tiêu hình hóa cao, cho phép triển khai với thiết bị điện tử đơn giản và không quá phức tạp.

Cấu trúc cảm biến phát hiện độ dẫn sử dụng cặp điện dung không tiếp xúc (The capacitively coupled contactless conductivity detection - C4D), xuất hiện lần đầu vào năm 1998, cho phép cải thiện đáng kể hiệu năng của phương pháp phát hiện dòng chảy lỏng sử dụng phương pháp điện truyền thống. Cấu trúc C4D sử dụng cấu hình 2 điện cực với một điện cực kích thích và một điện cực thu nhận để phát hiện được độ dẫn chất lỏng hoặc vật thể lạ trong dòng chảy mà không yêu cầu phải có sự tiếp xúc trực tiếp giữa điện cực và dung dịch trong dòng chảy. Thông thường,

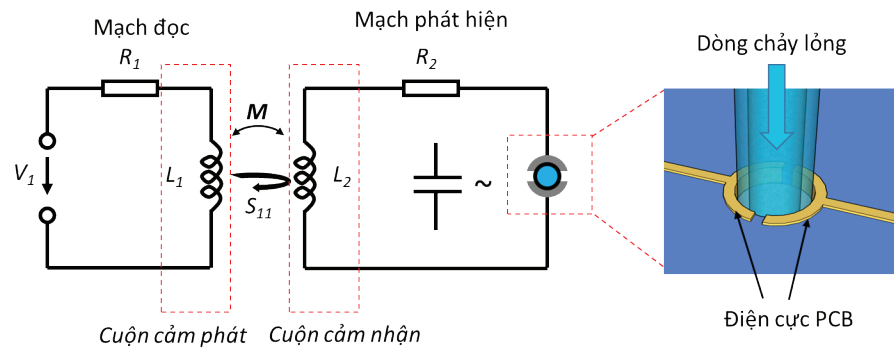
trong cấu trúc này, tín hiệu điện xoay chiều sẽ được sử dụng để phát hiện sự thay đổi về tính chất điện cũng như sự xuất hiện của vật thể lạ trong dòng chảy lỏng.

Trải qua thời gian, đã có nhiều phương pháp và cấu trúc được đề xuất và phát triển để cải thiện độ nhạy cũng như tăng khả năng ứng dụng của cấu trúc C4D truyền thống. Năm 2016, nhóm nghiên cứu của Nguyễn Đắc Hải (Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội) đã đưa ra cấu trúc cảm biến cặp điện dung không tiếp xúc vi sai ứng dụng trong phát hiện độ dẫn, có thể phát hiện độ dẫn của cả dung dịch có độ dẫn điện thấp và độ dẫn điện cao. Đồng thời, nghiên cứu cũng chỉ ra khả năng phát hiện vật thể lạ cũng như đánh giá tính chất vật liệu bằng cách tích hợp phương pháp vi sai vào cấu trúc C4D truyền thống.

Một số phương pháp khác được đề xuất như sử dụng các lồng nối đất, phương pháp cộng hưởng song song và nối tiếp để giảm các hạn chế và khó khăn trong việc triển khai cấu trúc C4D cho phát hiện dòng chảy lỏng.

Kỹ thuật cảm biến không dây thụ động sử dụng khung cộng hưởng cuộn cảm - tụ điện (LC) đã được nhiều nhóm nghiên cứu trên thế giới nghiên cứu, phát triển và tích hợp trong các ứng dụng về cảm biến và đo lường các đại lượng vật lý như áp suất, độ ẩm, nhiệt độ. Cấu trúc cảm biến không dây thụ động LC bao gồm một cuộn cảm được nối tiếp với một cặp điện cực cảm biến để tạo thành một khung cộng hưởng LC. Sự thay đổi về các tính chất điện của môi trường nằm trong khu vực cảm biến sẽ dẫn tới sự thay đổi tần số cộng hưởng của khung cộng hưởng LC này.

Năm 2019, kỹ thuật cảm biến không dây thụ động LC đã lần đầu tiên được đề xuất tích hợp trong cấu trúc phát hiện độ dẫn dòng chảy lỏng C4D để trở thành cấu trúc C4D thụ động (Passive C4D - PC4D) để phát hiện sự thay đổi về độ dẫn của dòng chảy lỏng cũng như phát hiện vật thể có tính chất điện khác biệt di chuyển trong dòng chảy mà không cần sự tiếp xúc trực tiếp giữa điện cực và dung dịch trong dòng chảy cũng như tiếp xúc vật lý giữa hệ thiết bị đọc và cấu trúc cảm biến. Lấy cảm hứng từ cấu trúc PC4D đã được phát triển thành công, kết hợp với việc sử dụng kỹ thuật tạo mẫu nhanh bằng phương pháp chế tạo mạch in, nhóm nghiên cứu đã phát triển cấu trúc cảm biến phát hiện dòng chảy lỏng sử



Hình 1. Thiết kế mô hình cấu trúc PC4D đề xuất dựa trên PCB.

dụng điện cực cảm biến được tích hợp trên PCB. Kết quả cho thấy, hiệu quả cao trong việc sử dụng phương pháp tạo mẫu nhanh để chế tạo cấu trúc cảm biến PC4D và tiềm năng trong việc ứng dụng để phát hiện độ dẫn cũng như vật thể lạ di chuyển trong dòng chảy lỏng bằng phương pháp này.

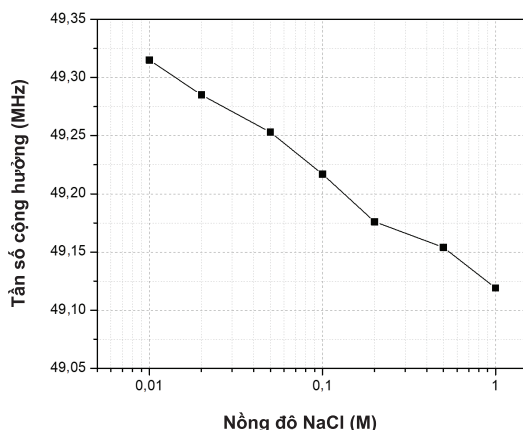
Nguyên lý hoạt động và thiết kế

Để có thể phát hiện được sự thay đổi về tính chất điện của dòng chảy lỏng, cấu trúc đề xuất của nhóm nghiên cứu sử dụng kỹ thuật phát hiện tần số cộng hưởng của khung cộng hưởng LC được hình thành từ mạch phát hiện, bao gồm cuộn cảm nhận tín hiệu và cấu trúc điện cực cảm biến (hình 1). Sự thay đổi về tính chất điện của dung dịch trong dòng chảy hoặc sự xuất hiện của vật thể lạ với tính chất điện khác biệt sẽ làm thay đổi tham số điện của cặp điện cực cảm biến, dẫn tới sự thay đổi về tần số cộng hưởng của khung cộng hưởng LC của mạch phát hiện. Việc phát hiện sự thay đổi tần số cộng hưởng này được thực hiện thông qua đánh giá giá trị hệ số phản hồi S_{11} bằng cách sử dụng một thiết bị phân tích mạng (Network analyzer).

Trong cấu trúc đề xuất của nhóm nghiên cứu, các thành phần bao gồm cuộn cảm phát, cuộn cảm đọc và cặp điện cực được chế tạo dựa trên PCB. Trong đó, các cấu trúc cuộn cảm được thiết kế và chế tạo theo cấu trúc xoắn ốc đồng phẳng, cấu trúc điện cực được chế tạo theo hình thức mạ xuyên lỗ và cắt để tạo thành cấu trúc 2 điện cực. Các thành phần nêu trên đều được chế tạo tích hợp trên PCB 2 lớp. Đây là một phương pháp tiếp cận nhanh, giá thành thấp cho việc nghiên cứu các cấu trúc cảm biến sử dụng các phương pháp điện.

Tiềm năng ứng dụng

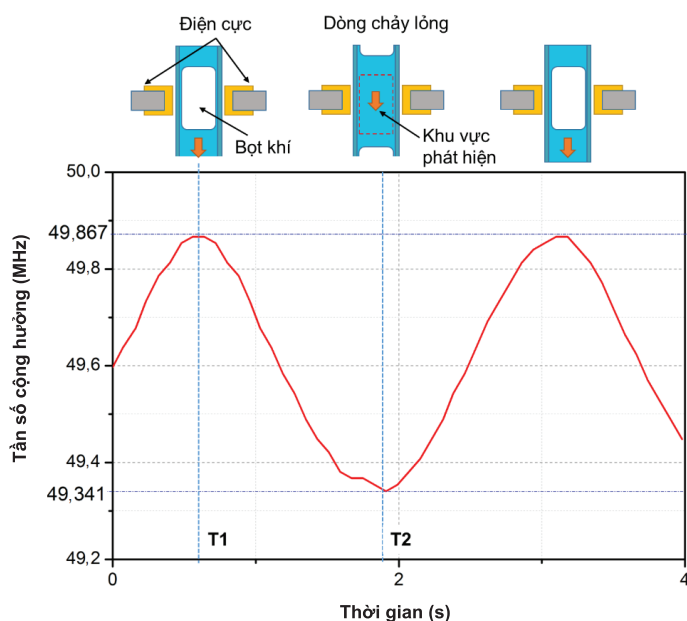
Để đánh giá hiệu quả của phương pháp đề xuất trong việc phát hiện độ dẫn dòng chảy lỏng cũng như phát hiện các vật thể lạ trong dòng chảy, nhóm nghiên cứu đã sử dụng dung dịch NaCl với các nồng độ khác nhau, tương ứng với các độ dẫn khác nhau của dung dịch và sử dụng các bột khí tương ứng với các đối tượng lạ trong dòng chảy. Kết quả thử nghiệm cho thấy, sự phụ thuộc của tần số cộng hưởng của khung cộng hưởng cảm biến LC vào nồng độ của dung dịch NaCl được lấp đầy trong kênh dẫn (hình 2).



Hình 2. Sự phụ thuộc của tần số cộng hưởng cấu trúc cảm biến đề xuất theo nồng độ dung dịch NaCl trong dòng chảy.

Dựa trên việc đánh giá tần số cộng hưởng này, sự thay đổi về độ dẫn của dung dịch trong dòng chảy hoàn toàn có thể được phát hiện bằng cách sử dụng cấu trúc cảm biến không dây đề xuất. Ngoài ra, sự xuất hiện của vật thể lạ, ví dụ như bọt khí, trong dòng chảy cũng có thể được phát hiện dựa trên việc phân tích tần số cộng hưởng ghi nhận được theo thời gian (hình 3).

Kết quả khảo sát thử nghiệm cấu trúc đề xuất cho thấy, sự khả thi và tiềm năng ứng dụng kỹ thuật phát hiện dòng chảy lỏng sử dụng cảm biến không dây thụ động trên nền tảng PCB, với quy trình chế tạo nhanh chóng và kinh tế. Trong các nghiên cứu phát triển cấu trúc tiếp theo, nhóm nghiên cứu sẽ triển khai tối ưu hóa các tham số hệ thống và



Hình 3. Sự thay đổi tần số cộng hưởng cấu trúc cảm biến theo thời gian khi xuất hiện bọt khí di chuyển trong dòng chảy.

tiểu hình hóa kích thước của các điện cực cảm biến cũng như các cuộn cảm nhằm tăng khả năng tích hợp trong các thiết bị vi lưu cũng như các hệ thống đo lường, phát hiện dòng chảy lỏng cảm tay, định hướng ứng dụng rộng rãi cho các sản phẩm thương mại và công nghiệp trong lĩnh vực phân tích hóa học và sinh học

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. W.K.T. Coltro, et al. (2012), “Capacitively coupled contactless conductivity detection on microfluidic systems - ten years of development”, *Analytical Methods*, **4**(1), pp.25-33.
2. T.V. Quoc, et al. (2015), “A printed circuit board capacitive sensor for air bubble inside fluidic flow detection”, *Microsystem Technologies*, **21**(4), pp.911-918.
3. N.D. Hai, et al. (2016) “Differential C4D sensor for conductive and non-conductive fluidic channel”, *Microsystem Technologies*, **22**, pp.2511-2520.
4. A. Elbashir, H.Y. Aboul-Enein, “Applications of capillary electrophoresis with capacitively coupled contactless conductivity detection (CE-C4D) in pharmaceutical and biological analysis”, *Biomedical Chromatography*, **24**(10), pp.1038-1044.
5. D.Q. Loc, et al. (2019), “Development of a passive capacitively coupled contactless conductivity detection (PC4D) sensor system for fluidic channel analysis toward point-of-care applications”, *IEEE Sensors Journal*, **19**(15), pp.6371-6380.
6. Q. A. Huang, L. Dong, L.F. Wang (2016), “LC passive wireless sensors toward a wireless sensing platform: Status, prospects, and challenges”, *Journal of Microelectromechanical Systems*, **25**(5), pp.822-841.