

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ**

TRẦN MINH CƯỜNG

**THIẾT KẾ, CHẾ TẠO VÀ THỬ NGHIỆM CẢM BIẾN GÓC
NGHIÊNG ĐIỆN TỬ CẤU TRÚC HAI PHA LỎNG – KHÍ**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ
CÔNG NGHỆ KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ, TRUYỀN THÔNG**

HÀ NỘI - 2016

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ**

TRẦN MINH CƯỜNG

**THIẾT KẾ, CHẾ TẠO VÀ THỬ NGHIỆM CẢM BIẾN GÓC
NGHIÊNG ĐIỆN TỬ CẤU TRÚC HAI PHA LỎNG – KHÍ**

Ngành : Công nghệ Kỹ thuật Điện tử, Truyền thông

Chuyên ngành : Kỹ thuật Điện tử

Mã ngành : 60520203

**LUẬN VĂN THẠC SĨ
CÔNG NGHỆ KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ, TRUYỀN THÔNG**

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC: TS. Bùi Thanh Tùng

HÀ NỘI - 2016

Lời cảm ơn

Để hoàn thành đề tài này, tôi xin chân thành cảm ơn các Thầy Cô giáo đã tận tình hướng dẫn, giảng dạy trong suốt quá trình học tập, nghiên cứu và rèn luyện cũng như trong quá trình thực hiện đề tài ở trường Đại học Công Nghệ - ĐHQGHN. Tôi xin cảm ơn các Thầy Cô giáo đã có những ý kiến đóng góp và động viên kịp thời giúp tôi hoàn thành luận văn này. Trong quá trình thực hiện luận văn không thể tránh khỏi những sai sót, tôi rất mong nhận được những ý kiến đóng góp của quý Thầy Cô và tất cả các bạn đọc để tôi có thể tiếp tục phát triển và hoàn thiện đề tài này.

Hà Nội, tháng 6, 2016

Trần Minh Cường

Lời cam đoan

Tôi xin cam đoan đề tài “**THIẾT KẾ, CHẾ TẠO VÀ THỬ NGHIỆM CẢM BIẾN GÓC NGHIÊNG ĐIỆN TỬ CẤU TRÚC HAI PHA LỎNG – KHÍ**” do TS. Bùi Thanh Tùng hướng dẫn là công trình nghiên cứu của tôi, không sao chép các tài liệu hay công trình của người nào khác.

Tất cả những tài liệu tham khảo phục vụ cho đề án này đều được nêu nguồn gốc rõ ràng trong danh mục tài liệu tham khảo và không có việc sao chép tài liệu hoặc đề tài khác mà không ghi rõ về tài liệu tham khảo.

Hà Nội, tháng 6, 2016

Trần Minh Cường

Mục lục

| | |
|--|-----------|
| Lời cảm ơn..... | i |
| Lời cam đoan | ii |
| Mục lục | iii |
| Danh mục hình vẽ..... | iv |
| Danh mục bảng biểu | vi |
| Tóm tắt luận văn | vii |
| MỞ ĐẦU | 1 |
| Tổng quan..... | 1 |
| Mục tiêu của đề tài | 2 |
| CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU VỀ CẢM BIẾN ĐO GÓC NGHIÊNG VÀ ỨNG DỤNG 3 | 3 |
| 1.1. Một số ứng dụng của cảm biến đo góc nghiêng..... | 3 |
| 1.2. Một số phương pháp đo góc nghiêng | 4 |
| CHƯƠNG 2: LÝ THUYẾT VỀ TỤ ĐIỆN VÀ CẢM BIẾN ĐIỆN DUNG..... | 12 |
| 2.1. Điện dung của tụ điện..... | 12 |
| 2.2. Mạch điện cơ bản đo điện dung..... | 14 |
| 2.3. Cảm biến điện dung..... | 17 |
| 2.4. Hằng số điện môi..... | 23 |
| CHƯƠNG 3: THIẾT KẾ, MÔ PHỎNG CẢM BIẾN GÓC NGHIÊNG ĐIỆN TỬ | 25 |
| CẤU TRÚC HAI PHA LỎNG – KHÍ..... | 25 |
| 3.1. Cấu trúc cảm biến góc nghiêng kiểu tụ | 25 |
| 3.2. Mô phỏng hoạt động của cảm biến bằng COMSOL | 28 |
| CHƯƠNG 4: CHẾ TẠO, ĐO ĐẠC THỬ NGHIỆM CẢM BIẾN ĐO GÓC | 33 |
| NGHIÊNG ĐIỆN TỬ..... | 33 |
| 4.1. Mạch điện cảm biến góc nghiêng điện tử..... | 33 |
| 4.2. Thiết lập hệ đo đạc và thử nghiệm | 39 |
| 4.3. Kết quả đo đạc và thảo luận | 41 |
| KẾT LUẬN | 47 |
| DANH MỤC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA TÁC GIẢ LIÊN QUAN ĐẾN | 48 |
| LUẬN VĂN | 48 |
| TÀI LIỆU THAM KHẢO | 49 |

Danh mục hình vẽ

| | |
|--|----|
| Hình 1.1: Một số ứng dụng của cảm biến góc nghiêng (nguồn: Internet) | 3 |
| Hình 1.2: Một số dụng cụ đo góc nghiêng cơ học (nguồn: Internet) | 4 |
| Hình 1.3: Cảm biến vi cơ điện tử cấu trúc dầm treo-khối nặng [6] | 5 |
| Hình 1.4: Tỷ lệ tương quan giữa góc nghiêng và giá trị điện dung của tụ điện trong cảm biến vi cơ điện tử cấu trúc dầm treo-khối nặng [6] | 6 |
| Hình 1.5: Cảm biến vi cơ điện tử kiểu áp điện [7] | 6 |
| Hình 1.6: Cảm biến đo nghiêng dựa trên sự thay đổi độ dẫn [4] | 7 |
| Hình 1.7: (a) Cấu tạo cảm biến góc nghiêng sử dụng vi kênh chất lỏng dẫn và (b) mạch điện nguyên lý tương đương của cảm biến [1] | 8 |
| Hình 1.8: Cảm biến nghiêng sử dụng phương pháp quang học ở trạng thái (a) thẳng bằng, (b) nghiêng [8] | 9 |
| Hình 1.9: Cảm biến đo nghiêng sử dụng máy tính phân tích hình ảnh [9] | 10 |
| Hình 1.10: Cảm biến nghiêng kiểu điện dung sử dụng bi sắt [10] | 10 |
| Hình 1.11: Cảm biến nghiêng điện dung dùng điện môi thể lỏng [2, 11, 12] | 11 |
| Hình 2.1: Điện dung giữa các vật dẫn điện [13] | 13 |
| Hình 2.2: Sơ đồ tương đương của (a) tụ điện hai cực và (b) tụ điện khi có các thành phần ký sinh C_p [14] | 13 |
| Hình 2.3: Tụ điện phẳng với các tấm điện cực song song | 13 |
| Hình 2.4: Các bản cực tích điện nằm song song ngăn cách bởi điện môi [16] | 14 |
| Hình 2.5: Mạch khuếch đại biến đổi trở kháng đo dòng đi qua tụ điện [17] | 15 |
| Hình 2.6: Mạch khuếch đại biến đổi trở kháng đo dòng qua tụ điện có sử dụng tụ điện phản hồi [17] | 16 |
| Hình 2.7: Mô hình hai chiều của tụ song song với phân bố điện trường của nó (a) và các tụ điện song song với việc bổ sung các điện cực để loại bỏ hiệu ứng rìa (b) | 17 |
| Hình 2.8: Cảm biến đo kháng cách kiểu điện dung với độ phân dải dưới nanomet | 19 |
| Hình 2.9: Một số cảm biến khoảng cách kiểu điện dung | 19 |
| Hình 3.1: Cấu trúc cảm biến góc nghiêng kiểu điện dung ba cực | 25 |
| Hình 3.2: Cảm biến góc nghiêng cấu trúc 2 pha lỏng khí điện tử | 26 |
| Hình 3.3: Hoạt động của cảm biến góc nghiêng kiểu điện dung ba cực, trường hợp a và c khi cảm biến nghiêng bên phải và bên trái, trường hợp b khi cảm biến ở vị trí cân bằng | 27 |
| Hình 3.4: Mô hình mô phỏng cảm biến nghiêng điện dung ba điện cực cấu trúc 2 pha lỏng – khí | 28 |
| Hình 3.5: Mô hình mô phỏng cảm biến nghiêng điện dung ba điện cực cấu trúc 2 pha lỏng – khí, trường hợp kích thích 1 điện cực cảm ứng | 29 |

| | |
|--|----|
| Hình 3.6: Trường tĩnh điện và phân bố điện thế trong trường tĩnh điện của cảm biến nghiêng điện dung ba điện cực cấu trúc 2 pha lỏng – khí | 30 |
| Hình 3.7: Kết quả mô phỏng mối quan hệ giữa góc nghiêng và điện dung vi sai giữa C_1 và C_2 | 31 |
| Hình 3.8: Trường tĩnh điện của cảm biến nghiêng điện dung ba điện cực với tỉ lệ cấu trúc 2 pha lỏng – khí lần lượt là: 75%, 80%, 90% | 32 |
| Hình 3.9: Kết quả mô phỏng quan hệ giữa điện dung vi sai và góc nghiêng, với độ điền đầy chất lỏng khác nhau | 32 |
| Hình 4.1: Sơ đồ khối mạch điện cảm biến góc nghiêng điện tử | 34 |
| Hình 4.2: Mạch phát nguồn tín hiệu sin | 34 |
| Hình 4.3: Mạch chuyển đổi điện áp..... | 35 |
| Hình 4.4: Mạch khuếch đại không đảo..... | 36 |
| Hình 4.5: Mạch khuếch đại vi sai | 37 |
| Hình 4.6: Mạch tách sóng đường bao và lọc thông thấp | 37 |
| Hình 4.7: Sơ đồ nguyên lý của mạch điện xử lý tín hiệu của cảm biến góc nghiêng điện tử kiểu điện dung ba cực cấu trúc vi sai | 38 |
| Hình 4.8: Cảm biến góc nghiêng điện tử hai pha lỏng – khí..... | 39 |
| Hình 4.9: Cảm biến góc nghiêng gắn trên mạch điện xử lý tín hiệu..... | 40 |
| Hình 4.10: Hệ thống thí nghiệm đánh giá hoạt động cảm biến góc nghiêng; (a) Sơ đồ khối hệ thống; (b) Hình ảnh thực tế hệ thống..... | 41 |
| Hình 4.11: Các tín hiệu của mạch cảm biến | 42 |
| Hình 4.12: Tín hiệu đầu ra phụ thuộc vào dải góc nghiêng từ 0° đến 25° | 43 |
| Hình 4.13: Sự thay đổi tín hiệu đầu ra khi góc nghiêng thay đổi từ 0° đến 180° | 44 |
| Hình 4.14: So sánh kết quả mô phỏng và đo đạc thực nghiệm (mức 70%) | 44 |
| Hình 4.15: Sự thay đổi tín hiệu đầu ra khi góc nghiêng thay đổi từ -180° đến 180° ... | 45 |
| Hình 4.16: Đồ thị biểu diễn ảnh hưởng góc nghiêng trên trục vuông góc với trục cảm biến tới lỗi ra (crosstalk)..... | 45 |

Danh mục bảng biểu

| | |
|---|----|
| Bảng 1. Hằng số điện môi tương đối của một số loại vật liệu | 24 |
| Bảng 2. Các thông số kích thước điện cực cảm biến | 26 |
| Bảng 3. Các thông số vật liệu sử dụng trong mô phỏng | 29 |

Tóm tắt luận văn

Luận văn này trình bày thiết kế, chế tạo và thử nghiệm một cấu trúc cảm biến đo độ nghiêng điện tử kiểu điện dung cấu hình hai pha lỏng – khí. Cảm biến được đề xuất này bao gồm một cấu trúc tụ ba điện cực với lớp điện môi có hai pha: không khí và chất lỏng. Khi vị trí của bọt khí trong chất lỏng thay đổi do tác dụng của gia tốc trọng trường thì giá trị điện dung của cảm biến thay đổi theo từ đó tính được góc nghiêng của cảm biến. Hoạt động của cảm biến được mô phỏng bằng phương pháp phân tích các phần tử hữu hạn sử dụng chương trình Comsol Multiphysics. Kết quả mô phỏng thể hiện sự thay đổi điện dung vi sai của tụ điện theo góc nghiêng tương ứng với sự thay đổi vị trí của chất lỏng điện môi do tác dụng của gia tốc trọng trường. Cảm biến được chế tạo thử nghiệm gồm ba điện cực được gắn lên trên một ống nhựa và bố trí trên bản mạch PCB với mạch điện thu thập tín hiệu gồm một máy phát sin tần số 127kHz, một bộ tiền khuếch đại, một bộ chỉnh lưu và lọc thông thấp. Tụ điện có cấu tạo là 3 bản cực bằng đồng, mỗi điện cực có chiều dài 11.0 mm, khoảng cách giữa các điện cực là 1.0 mm. Các kết quả đo đạc thực nghiệm cho thấy có sự tương đồng với các tính toán mô phỏng. Các kết quả đo ban đầu cho thấy tín hiệu đầu ra ổn định, đồng biến với góc nghiêng trong dải -90° đến $+90^\circ$, với độ tuyến tính cao trong dải -25° đến $+25^\circ$. Cảm biến có độ nhạy 40 mV/độ với độ phân dải 0.1° . Cảm biến hoạt động dựa trên nguyên lý vi sai, do đó cảm biến không bị tác động của can nhiễu đồng pha. Với những tính năng và dải làm việc này, cảm biến có thể ứng dụng đo sự bằng của các khí tài quân sự, theo dõi dao động của tàu thuyền và nhiều ứng dụng tiềm năng khác.

MỞ ĐẦU

Tổng quan

Góc nghiêng được xác định là góc lệch so với phương vuông góc với phương của gia tốc trọng trường. Một số dụng cụ đo nghiêng cơ học được đưa ra như trong Hình 1.2. Các cấu trúc này dựa vào độ lệch của bọt khí hoặc khối nặng do tác dụng của gia tốc trọng trường để xác định độ nghiêng. Những cấu trúc đo nghiêng này khá công kênh, hơn nữa kết quả phải đọc bằng mắt nên độ chính xác không cao, không thể đưa vào các ứng dụng điều khiển tự động hóa. Do đó các cảm biến góc nghiêng điện tử đã được phát triển để phục vụ các yêu cầu thực tiễn này.

Hiện nay trên thế giới, có nhiều loại cảm biến thẳng bằng và đo góc nghiêng đã được nghiên cứu, phát triển và đưa ra thương mại hóa. Cảm biến thẳng bằng hay cảm biến góc nghiêng được sử dụng ở nhiều ngành khác nhau, như xây dựng, cơ khí, tự động hóa, robot... Chúng hoạt động dựa trên nhiều nguyên lý khác nhau. Nhìn chung có thể chia làm 2 loại cơ bản là dựa trên các cấu trúc cơ học rắn và dựa trên cấu trúc lưu chất, bao gồm cả khí và lỏng. Các cảm biến góc nghiêng dựa trên hệ thống cấu trúc cơ học cấu tạo thường có một khối nặng gắn trên dầm treo. Hầu hết các thiết bị này là thiết bị đo gia tốc bằng cách xác định sự biến dạng của dầm treo khi có gia tốc tác dụng và chúng được sử dụng để đo góc nghiêng so với phương của gia tốc trọng trường. Biến dạng của dầm treo có thể được xác định bằng nhiều cách khác nhau như dựa trên hiệu ứng áp trở (piezoresistive), hiệu ứng tụ điện (capacitive), dùng lazer... Cảm biến vi cơ điện tử kiểu tụ điện dựa trên các vi cấu trúc dầm treo-khối gia trọng là một ví dụ. Cảm biến này xác định góc nghiêng thông qua sự thay đổi giá trị điện dung của tụ điện dưới tác dụng của gia tốc trọng trường lên khối gia trọng. Cảm biến loại này được chế tạo dựa trên nền công nghệ vi chế tạo và 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 bù (offset) khi sử dụng. Một cấu trúc cảm biến khác có cấu tạo gồm một vật rắn hình cầu đặt trong một ống có thể dịch chuyển theo góc nghiêng từ đó xác định điện dung vi sai [2]. Cảm biến chất lỏng sử dụng điện cực tụ điện đo thay đổi độ dẫn để tính góc nghiêng [3, 4]. Tuy nhiên những loại cảm biến này rất dễ bị ảnh hưởng bởi các yếu tố bên ngoài, như độ rung hay sốc cơ khí. Những 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. Các bộ cảm biến độ nghiêng sử dụng con lắc khí có cấu trúc đơn giản, kháng rung và sốc tốt, nhưng chúng có thể dễ dàng bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ môi trường và cho kết quả kém khi sử dụng trong đo lường chính xác [5]. Các bộ cảm biến độ nghiêng của con lắc lỏng, ngược lại, có nhiều thuận lợi, chẳng hạn như có độ nhạy cao, ổn định, ít chịu ảnh hưởng của môi trường [1, 2].

Luận văn này trình bày nguyên lý, thiết kế, chế tạo, khảo sát và đánh giá hoạt động của một loại cảm biến góc nghiêng kiểu điện dung dựa trên việc xác định sự thay đổi vị trí của bọt khí trong ống chất lỏng. Cảm biến này cho phép đo được thay đổi góc nghiêng trong phạm vi thay đổi nhỏ cỡ 1 độ với độ chính xác và lặp lại cao. Cảm biến đề xuất có cấu tạo gồm các điện cực đặt ngoài thành ống và không tiếp xúc với dung dịch điện môi lỏng và bọt khí. Vị trí tương đối của dung dịch điện môi lỏng chịu ảnh hưởng bởi trọng lực và quyết định giá trị điện dung lõi ra của tụ điện. Ngoài ra cấu trúc cảm biến gồm ống chất lỏng với bọt khí được đề xuất ở đây có thể hoạt động trong điều kiện môi trường khắc nghiệt, có tiềm năng sử dụng cho các ứng dụng trong các hệ thống thăng bằng của khí tài quân sự, theo dõi dao động của tàu thuyền và nhiều ứng dụng tiềm năng khác.

Mục tiêu của đề tài

Một số cấu trúc cảm biến góc nghiêng điện tử dựa trên các nguyên lý khác nhau đã được thiết kế, chế tạo và đã được thương mại hóa; có thể kể đến như cảm biến thăng bằng, cảm biến đo góc... Các cảm biến đo góc nghiêng điện tử có đầu ra tỷ lệ với góc so với phương vuông góc của phương của gia tốc trọng trường.

Đề tài này nhằm nghiên cứu, thiết kế, chế tạo và thử nghiệm một cảm biến góc nghiêng điện tử cấu trúc đơn giản, dễ chế tạo, hoạt động ổn định với độ tin cậy cao. Cấu trúc được đề xuất này hoạt động dựa trên nguyên lý điện dung vi sai nên cảm biến này có thể hoạt động trong các điều kiện khắc nghiệt, phù hợp với các ứng dụng ngoài thực địa.

CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU VỀ CẢM BIẾN ĐO GÓC NGHIÊNG VÀ ỨNG DỤNG

1.1. Một số ứng dụng của cảm biến đo góc nghiêng

Cảm biến góc nghiêng được ứng dụng rộng rãi trong thực tế, cho cả các bài toán điều khiển tự động trong dân dụng và quân sự. Có thể kể đến một số ứng dụng như trong Hình 1.1:



Hình 1.1: Một số ứng dụng của cảm biến đo góc nghiêng (nguồn: Internet)

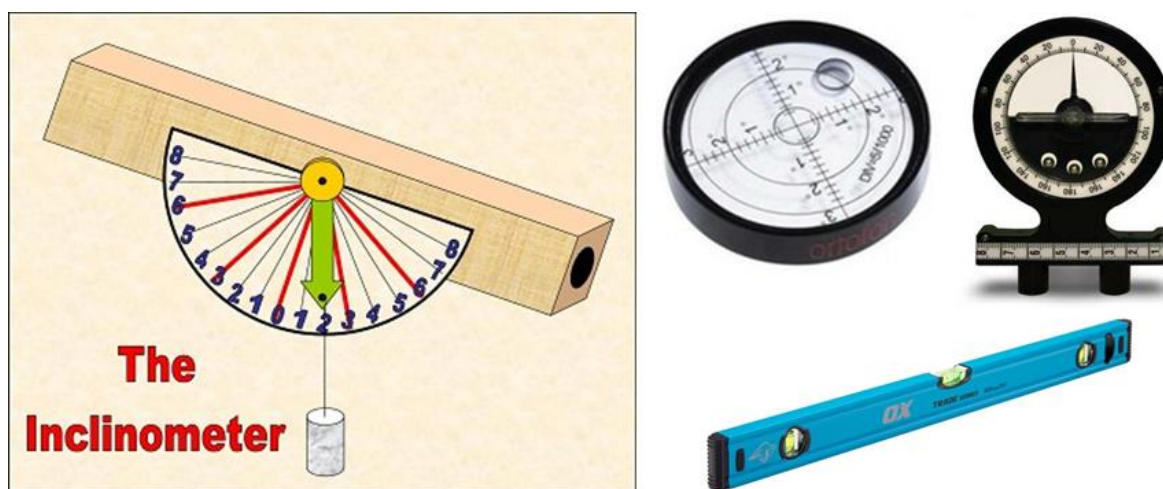
- Hiệu chỉnh cân bằng cho máy ảnh (Cameras).
- Điều chỉnh cân bằng cho máy bay (Aircraft flight controls).
- Các hệ thống an ninh ô-tô (Automobile security systems): phát hiện trạng thái và cảnh báo.
- Công cụ sử dụng xây dựng (Construction equipment) để hiệu chỉnh cân bằng.
- Hệ thống túi khí ô-tô (Automobile air bags): kiểm soát tình trạng của ô-tô để bắt túi khí kịp thời khi có tai nạn.

- Robots: xác định trạng thái và điều khiển tự động.
- Hệ thống kiểm soát nhiệt độ (Thermostats) sử dụng làm công tắc an toàn trong trường hợp có hỏa hoạn, chập cháy.
- Nghiên cứu chuyển động của con người, điều trị bệnh lý.
- Ứng dụng giải trí.
- Xác định góc nghiêng cho các vật thể: xác định góc chúc, giữ thẳng bằng cho vật thể chuyển động...
- Tự động điều chỉnh góc nghiêng của hệ thống thu năng lượng mặt trời (Solar panel) bám theo hướng mặt trời để thu được hiệu suất tối đa.
- Hệ thống hiệu chuẩn tự động cho các thiết bị đo lường chính xác như các thiết bị đo lường quang học [3].

1.2. Một số phương pháp đo góc nghiêng

1.2.1. Cảm biến góc nghiêng cơ học

Góc nghiêng của một vật thể được xác định là góc giữa mặt phẳng của vật thể đó với phương nằm ngang. Thông thường các thiết bị đo góc nghiêng lấy phương của gia tốc trọng trường làm chuẩn và đo góc nghiêng so với phương vuông góc với phương của gia tốc trọng trường (Hình 1.2).

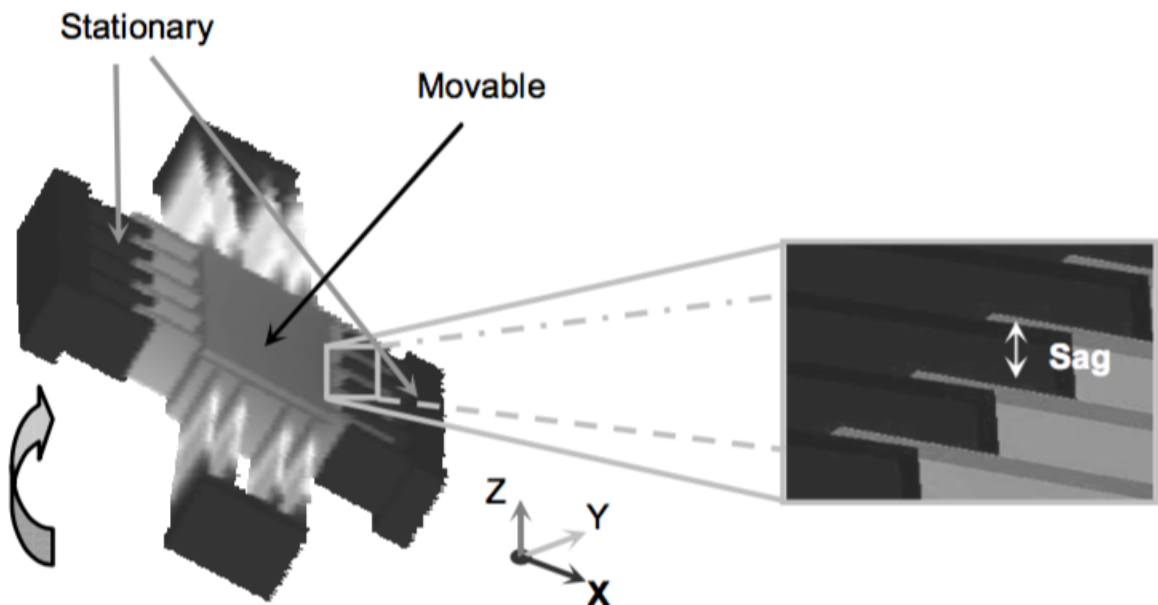


Hình 1.2: Một số dụng cụ đo góc nghiêng cơ học (nguồn: Internet)

Cảm biến góc nghiêng cơ học thường cấu tạo bởi một khối nặng làm chuẩn với phương của gia tốc trọng trường. Các thiết bị đo góc nghiêng cơ học kèm theo một kim chỉ và một thước đo độ để chỉ ra độ nghiêng. Các thiết bị đo góc nghiêng dựa trên cấu trúc lưu chất thường bao gồm một lượng chất lỏng được đổ gần đầy trong một ngăn kín, trong suốt, có chia vạch. Một lượng không khí nhỏ chứa lại bên trong tạo thành bọt khí luôn nổi theo phương của gia tốc trọng trường. Khi thiết bị nghiêng, khối chất lỏng bị dịch chuyển đi dưới ảnh hưởng của gia tốc trọng trường sẽ làm bọt khí di chuyển theo tới vị trí tương ứng trên vạch chia độ.

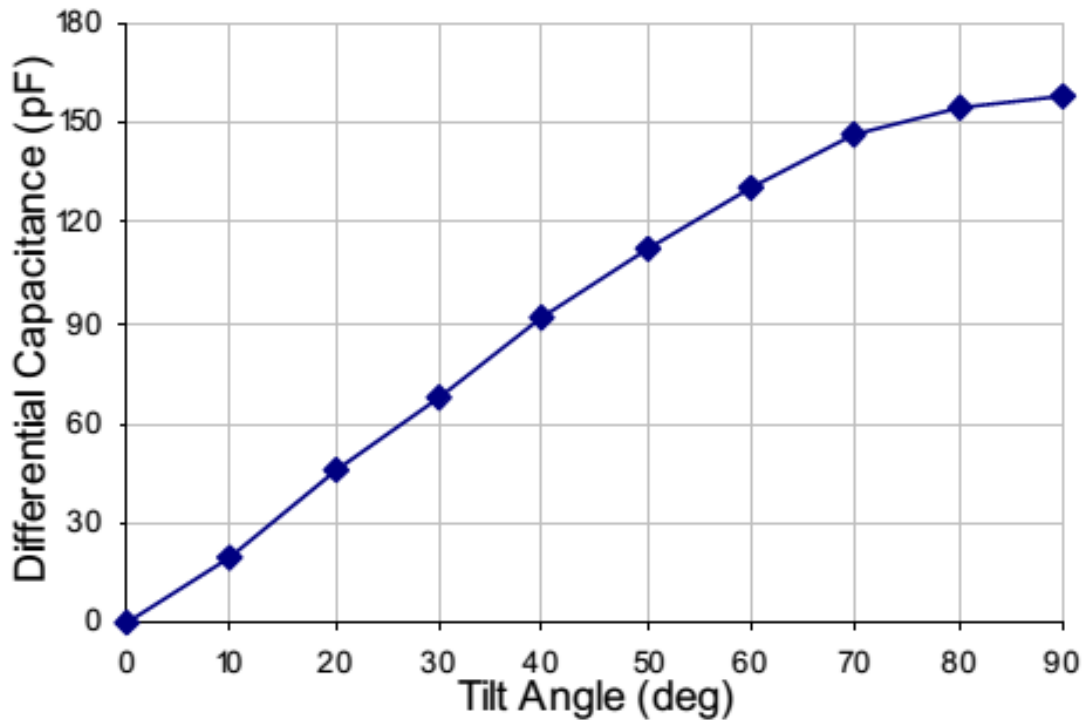
1.2.2. Cảm biến nghiêng vi cơ điện tử

Cảm biến góc nghiêng cơ học rắn bị can nhiễu khi có tác dụng rung cơ học. Việc loại bỏ can nhiễu trong các thiết bị này là rất phức tạp khó thực hiện. Để khắc phục nhược điểm này, các cấu trúc cảm biến vi cơ điện tử dựa trên các vi cấu trúc dầm treo-khối nặng và được chế tạo dựa trên nền công nghệ vi chế tạo [6]. Cảm biến này thường bao gồm một dầm treo một khối nặng ở vị trí trung tâm, cùng với các thành phần khác tạo thành hai cấu trúc tụ kiểu răng lược đối xứng như trong Hình 1.3. Thanh dầm được thiết kế sao cho dễ dàng biến dạng theo một phương nhưng lại cố định theo tất cả các phương còn lại vuông góc với phương biến dạng. Khi cảm biến nghiêng, dưới tác dụng của trọng lực, khối nặng sẽ dịch chuyển về một phía và làm tăng điện dung của tụ cùng phía, trong khi lại làm giảm điện dung của tụ phía ngược lại. Sự thay đổi chênh lệch giá trị điện dung giữa các tụ tỉ lệ tương quan với góc nghiêng. Cảm biến loại này đã được ứng dụng rộng rãi trong khoa học công nghệ và đời sống (áp dụng cho y tế để theo dõi sự chuyển động của cơ thể con người hoặc thiết kế robot...).



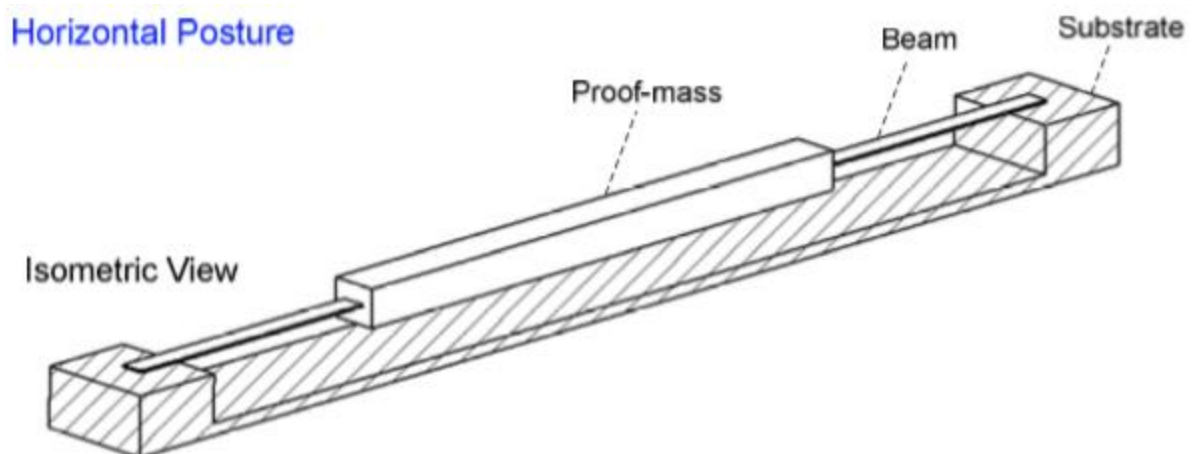
Hình 1.3: Cảm biến vi cơ điện tử cấu trúc dầm treo-khối nặng [6]

Đối với cảm biến vi cơ điện tử, vấn đề đặt ra là phải đạt được điện dung đủ lớn. Việc sử dụng cấu trúc tụ kiểu răng lược đối xứng là một giải pháp hiệu quả để có thể có điện dung cao với kích thước nhỏ gọn, cho phép thiết bị có thể đo lường một dải rộng từ -90° đến $+90^\circ$ [6]. Bên cạnh đó, việc thiết kế thanh dầm đỡ cũng là một vấn đề quan trọng. Việc giảm độ cứng của thanh dầm có thể giúp nó dịch chuyển với biên độ lớn hơn, kéo theo biến thiên điện dung sẽ lớn hơn, nhưng sẽ làm tăng kích thước của thanh dầm đồng thời gây ra các chuyển động theo những hướng không mong muốn [6]. Đồ thị trong Hình 1.4 thể hiện sự tuyến tính của điện dung của cấu trúc tụ đối với góc nghiêng của cảm biến vi cơ điện tử.



Hình 1.4: Tỷ lệ tương quan giữa góc nghiêng và giá trị điện dung của tụ điện trong cảm biến vi cơ điện tử cấu trúc dầm treo-khối nặng [6]

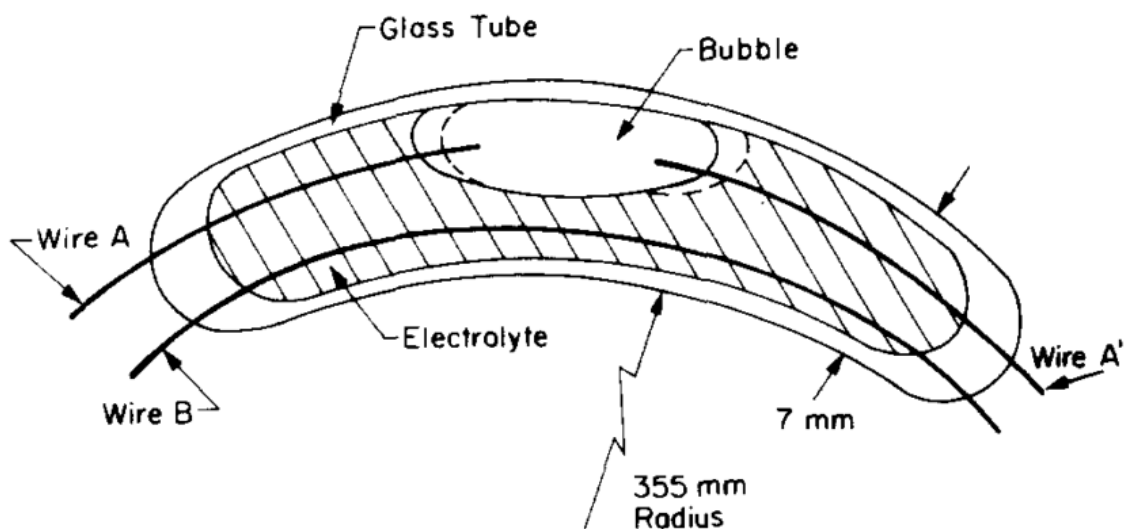
Một thiết kế vi cơ điện tử khác sử dụng cấu trúc MEMS áp điện để đo góc nghiêng. Trong cấu trúc này, một hệ thống dầm Platinum treo một khối nặng trung tâm trên giá đỡ ở trạng thái cân bằng. Mặt trên của dầm được phủ một lớp áp điện PZT (Lead Zirconate Titanate) (Hình 1.5). Khi cảm biến nghiêng, khối nặng dưới tác dụng của trọng lực gây ra một ứng suất tác động lên dầm và là một hàm phụ thuộc vào độ nghiêng. Ứng suất này đặt lên lớp áp điện tạo thành điện áp tỉ lệ với góc nghiêng của cảm biến. Tính khả thi của phương pháp đo lường này được xác nhận thông qua kết quả mô phỏng cho phép một phạm vi hoạt động từ 0 – 90° [7].



Hình 1.5: Cảm biến vi cơ điện tử kiểu áp điện [7]

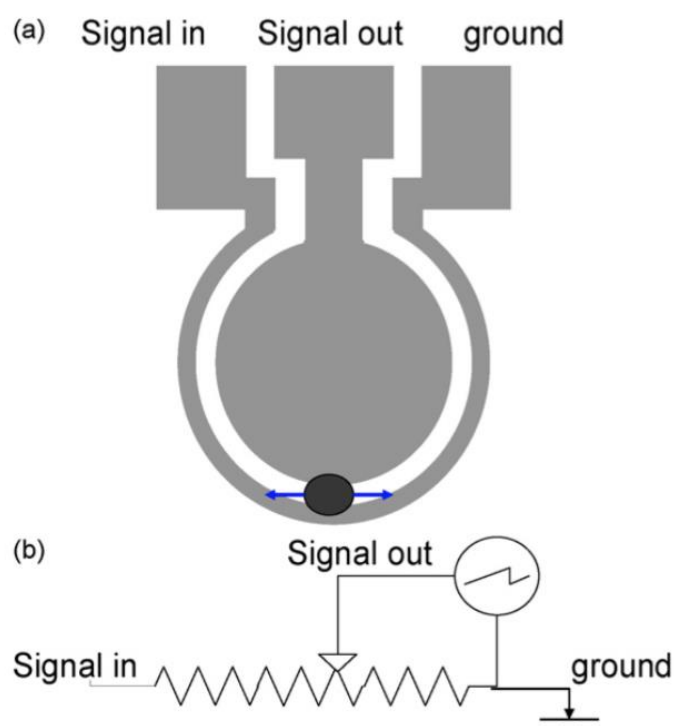
1.2.3. Cảm biến nghiêng dùng chất lỏng dẫn

Trong thiết kế của cảm biến dùng để đo lường một độ nghiêng rất nhỏ áp dụng trong giám sát núi lửa, phương pháp dùng chất lỏng dẫn đã được đề xuất và kiểm chứng [4]. Thiết kế sử dụng một ống thủy tinh có chiều dài 30 mm, đường kính ngoài 8 mm, đường kính ruột 6 mm và bẻ cong thành hình cung bán kính 355 mm, chứa ba điện cực được phong ấn vào ống. Ống này được điền gần đầy với một chất lỏng dẫn tạo thành một cấu trúc hai pha chất lỏng dẫn và bọt khí (Hình 1.6). Góc nghiêng của cảm biến có thể đo được do bọt khí bị thay đổi vị trí dưới tác dụng của lực hấp dẫn, và do đó làm thay đổi điện trở của dung dịch dẫn giữa hai cặp điện cực tương ứng với góc nghiêng. Cấu trúc này có thể giúp cảm biến đạt được độ nhạy ổn định ở $49 \text{ mV}/\mu\text{rad}$ ($1 \mu\text{rad} = 10^{-6}$ radian). Các thiết kế sử dụng phương pháp dẫn tiếp tục phát triển theo hướng thay đổi kích thước đến một kích thước nhỏ hơn, đồng thời cố gắng làm giảm ảnh hưởng của rung động cơ học và nhiệt độ lên cảm biến [4].



Hình 1.6: Cảm biến đo nghiêng dựa trên sự thay đổi độ dẫn [4]

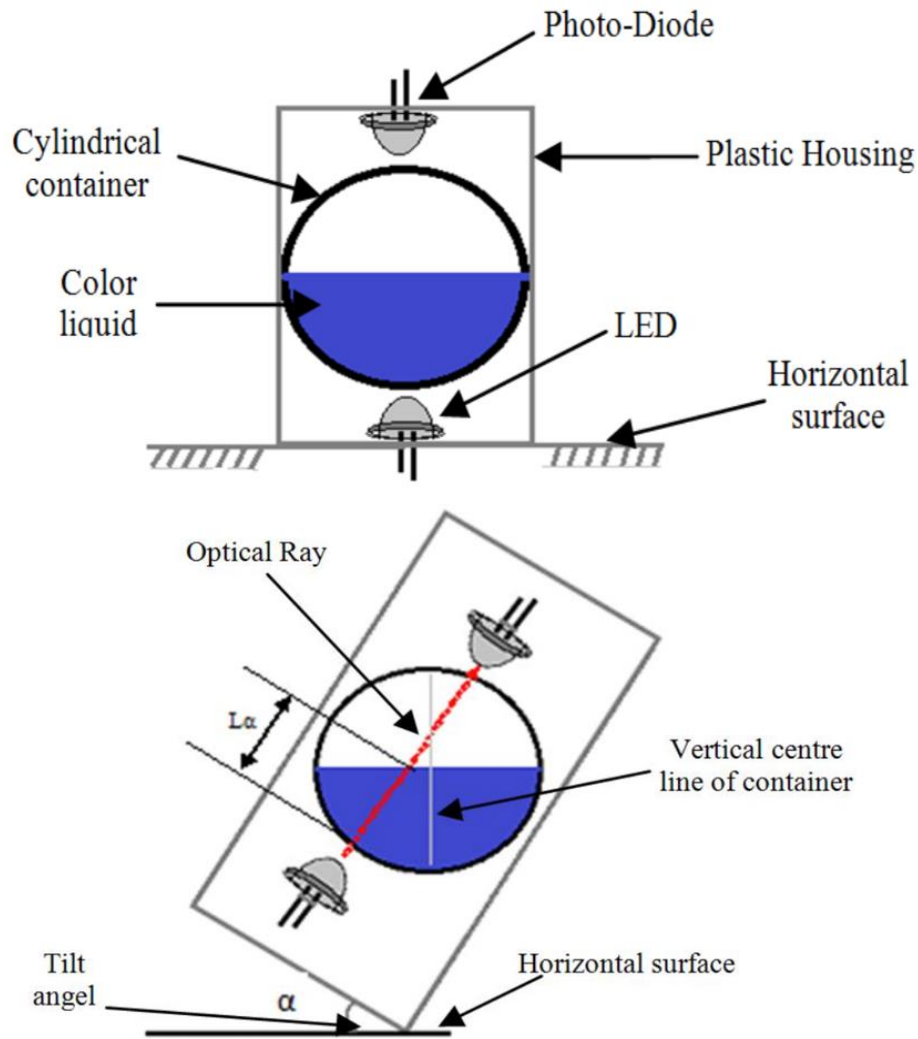
Một thiết kế khác cũng sử dụng chất lỏng dẫn tạo thành cấu trúc kênh vi dẫn được áp dụng để phát hiện góc nghiêng. Cảm biến này bao gồm một điện trở kim loại hình vòng tròn và một điện cực kim loại tròn nằm trên bề mặt để kính tạo thành một cấu trúc kênh vi dẫn. Một giọt kim loại lỏng (thủy ngân) được thả di chuyển tự do trong kênh dẫn, hoạt động như một con lắc để đo độ nghiêng (Hình 1.7-a). Khi cảm biến nghiêng, dưới tác dụng của trọng lực, giọt kim loại lỏng luôn dịch chuyển tới vị trí thấp nhất trong kênh dẫn, làm thay đổi giá trị điện trở của kênh dẫn tương ứng với góc nghiêng. Cảm biến này hoạt động tương tự như một biến trở (Hình 1.7-b). Cảm biến loại này cho phép đạt được khoảng tuyến tính rộng 320° và độ phân giải góc cao 0.3° [1].



Hình 1.7: (a) Cấu tạo cảm biến góc nghiêng sử dụng vi kênh chất lỏng dẫn và (b) mạch điện nguyên lý tương đương của cảm biến [1]

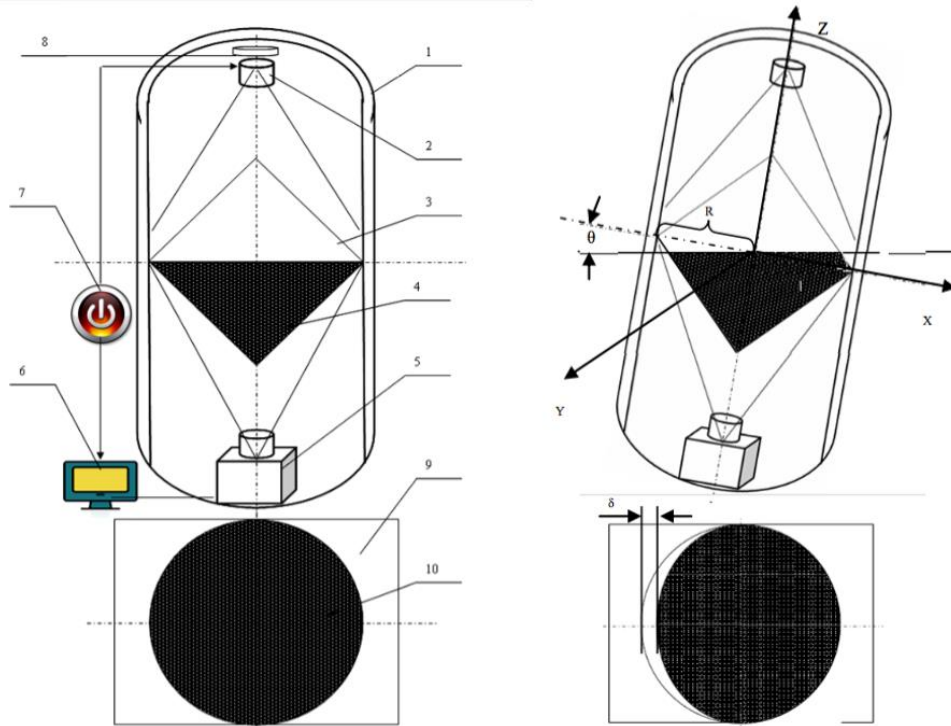
1.2.4. Cảm biến nghiêng sử dụng phương pháp quang học

Bên cạnh những thiết kế sử dụng phương pháp truyền dẫn điện, một số nghiên cứu xem xét sử dụng phương pháp quang học để đo độ nghiêng của cảm biến. Một nghiên cứu trình bày phương pháp đo độ nghiêng bằng cách sử dụng thiết bị quang học kết hợp với các chất lỏng màu [8]. Cảm biến bao gồm một ống hình trụ trong suốt với một nửa được đổ một chất lỏng màu, một đèn LED làm nguồn quang và một cảm biến quang (photo-diode) (Hình 1.8-a). Nguyên tắc làm việc dựa trên những thay đổi của cường độ ánh sáng theo thời gian gây ra do sự thay đổi của độ dài đường quang học, khi ánh sáng đi qua chất lỏng màu, thay đổi tương ứng với góc nghiêng của mô-đun cảm biến (Hình 1.8-b). Cảm biến này có thể đạt tới độ nhạy là $50\text{mV}/^\circ$ và phạm vi làm việc của $\pm 50^\circ$, độ chính xác và độ phân giải tương ứng là 0.8° và 0.09° [8].



Hình 1.8: Cảm biến nghiêng sử dụng phương pháp quang học ở trạng thái (a) thẳng bằng, (b) nghiêng [8]

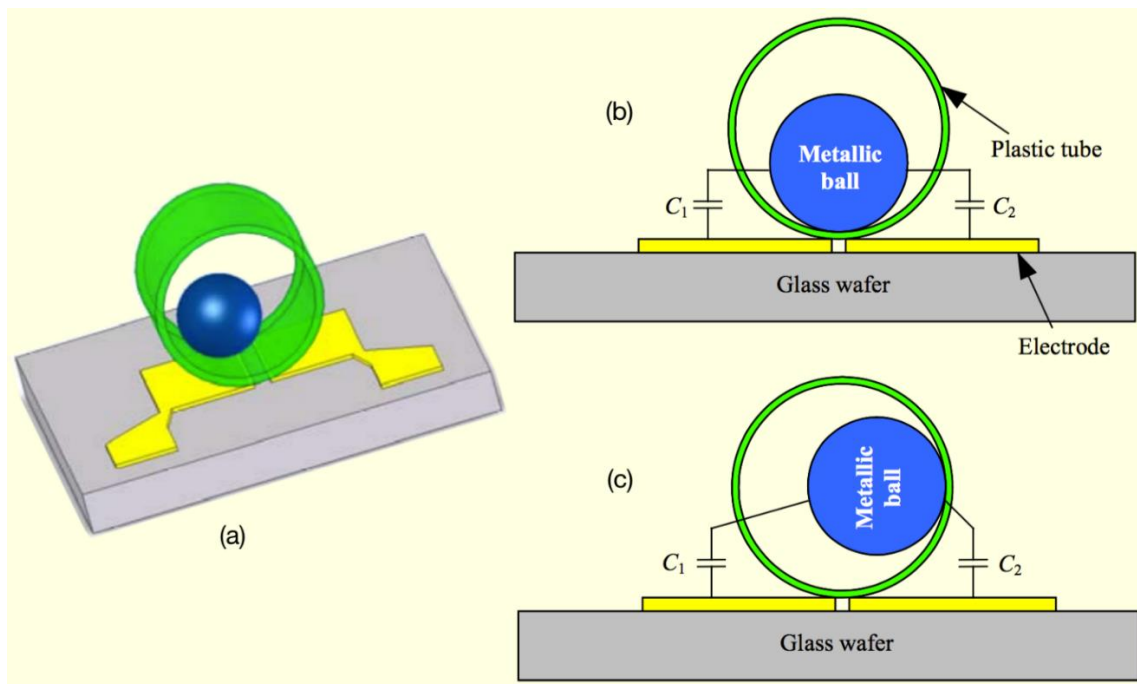
Một thiết kế khác sử dụng nguyên lý tương tự, đổ một nửa thể tích bình chứa hình nón bằng dung dịch màu, bố trí một nguồn phát sáng LED và một camera ghi lại hình ảnh dung dịch màu. Thiết kế này sử dụng máy tính phân tích hình ảnh thu được từ camera [9]. Khi cảm biến ở trạng thái thẳng bằng, hình ảnh của dung dịch màu thu được có hình tròn (Hình 1.9-a). Khi cảm biến nghiêng, hình ảnh thu được của dung dịch màu thay đổi, sử dụng máy tính phân tích, tính toán sự thay đổi từ đó có thể tính được góc nghiêng tương ứng (Hình 1.9-b).



Hình 1.9: Cảm biến đo nghiêng sử dụng máy tính phân tích hình ảnh [9]

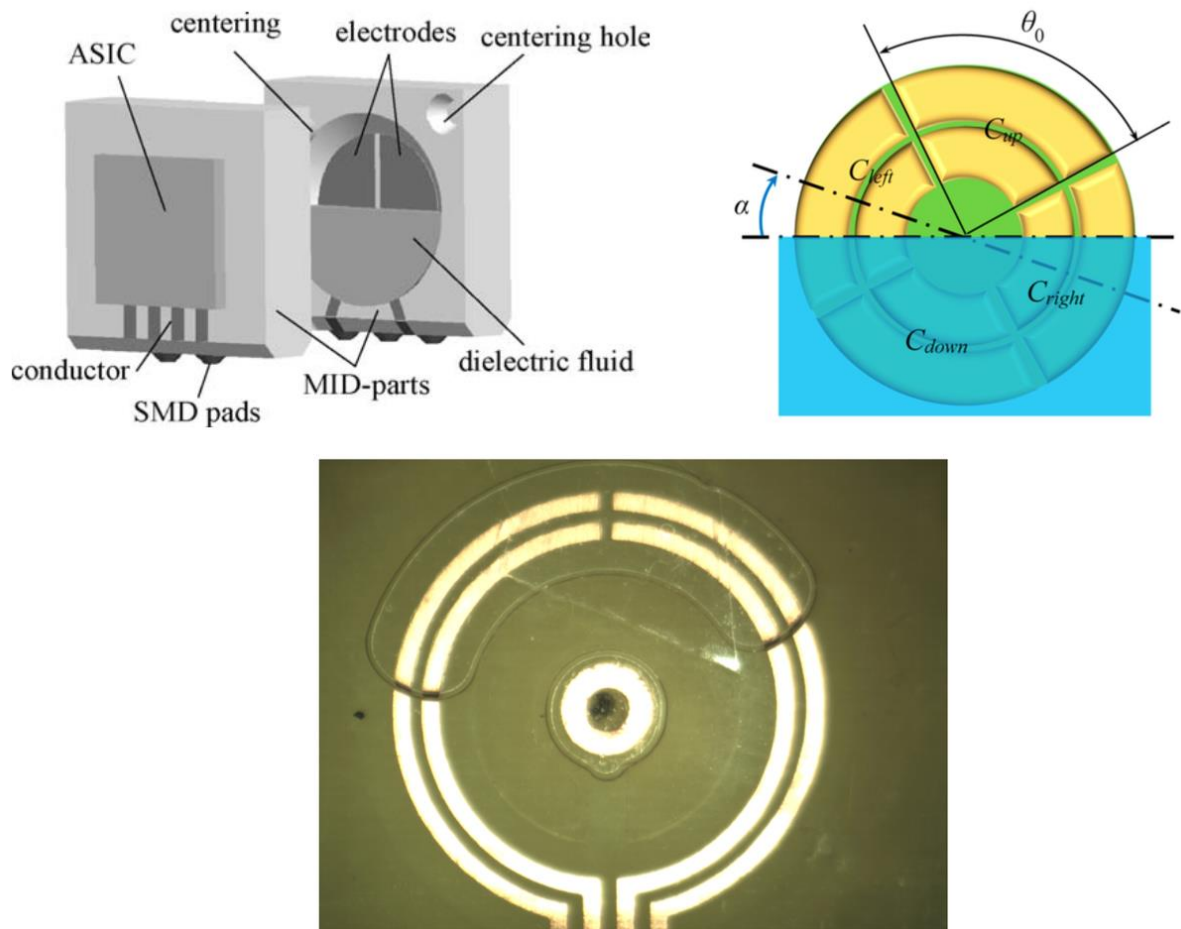
1.2.5. Cảm biến nghiêng kiểu điện dung

Trong nhiều thập kỷ gần đây, cảm biến điện dung đã được phát triển và sử dụng cho nhiều phép đo bao gồm cảm biến độ nghiêng. Một số mẫu thiết kế được báo cáo đã có những thành tựu mới. Một thiết kế sử dụng một quả bóng kim loại là bố trí trên một tụ điện phẳng (Hình 1.10), khi vị trí của quả bóng kim loại thay đổi do góc nghiêng làm cho thay đổi điện dung của cả tụ điện phẳng [10].



Hình 1.10: Cảm biến nghiêng kiểu điện dung sử dụng bi sắt [10]

Mặc dù cấu trúc trên có thể đo lường một loạt các góc nghiêng, thiết kế này cần phải được tối ưu hóa cho một sản phẩm thương mại. Các cảm biến điện dung thể lỏng có vẻ là phổ biến hơn trong nhiều kỹ thuật nhờ ưu điểm là sự linh hoạt của nó. Một số cơ cấu thiết kế sử dụng tụ điện thể lỏng để đo góc nghiêng [2, 11, 12]. Nguyên lý chung của các thiết kế này cơ bản thường có các điện cực hình bán nguyệt hoặc cung tròn; giữa các điện cực là một khoang chứa, nơi một chất điện môi thể lỏng được đổ đầy một nửa hoặc gần hết của khoang chứa tạo thành một hệ thống hai hay nhiều tụ (Hình 1.11). Khi cảm biến nghiêng, dưới tác dụng của trọng lực, sự dịch chuyển của chất điện môi lỏng so với các điện cực làm cho điện dung của hệ thống tụ thay đổi phụ thuộc vào góc nghiêng. Các cấu trúc này có thể đạt được dải đo góc rộng lên đến $\pm 180^\circ$.



Hình 1.11: Cảm biến nghiêng điện dung dùng điện môi thể lỏng [2, 11, 12]

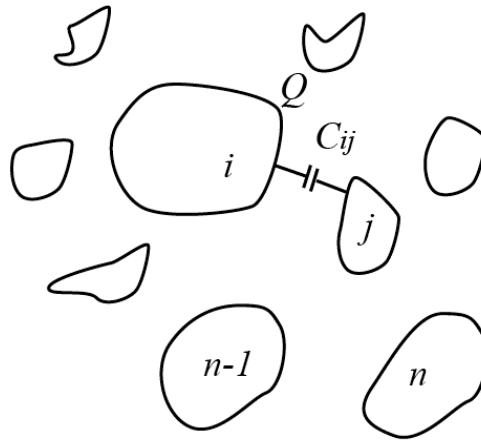
CHƯƠNG 2: LÝ THUYẾT VỀ TỤ ĐIỆN VÀ CẢM BIẾN ĐIỆN DUNG

2.1. Điện dung của tụ điện

Tụ điện là cấu trúc tạo bởi hai bề mặt dẫn điện được ngăn cách bởi điện môi. Điện dung là đại lượng vật lý nói lên khả năng tích điện giữa hai bản cực của tụ điện [13]. Điện dung của tụ điện phụ thuộc vào diện tích bản cực, hình dạng và môi trường chất điện môi. Điện dung giữa 2 vật nhiễm điện (hay có thể gọi là bản cực của tụ điện) được xác định là tỷ số giữa điện tích trên vật nhiễm điện và hiệu điện thế giữa hai vật đó (Hình 2.1). Điện dung giữa 2 vật i và j có thể được xác định theo công thức:

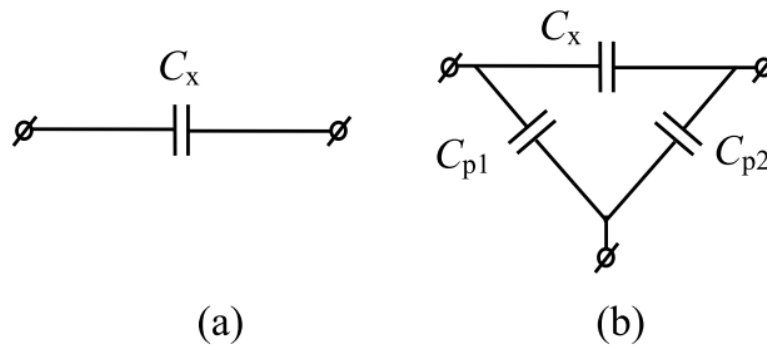
$$C_{ij} = \frac{Q_{ij}}{V_i - V_j} \quad (2-1)$$

Trong đó C_{ij} là điện dung giữa các điện cực i và j ; Q_{ij} là điện tích trên điện cực i (cùng giá trị, ngược dấu với điện tích trên điện cực j) gây ra bởi sự khác biệt điện thế $V_i - V_j$ trong đó V_i và V_j là điện áp trên điện cực i và j tương ứng. Trong công thức trên, nếu $V_i - V_j = 1V$ thì $Q = C$, tức là điện dung trên tụ C về trị số bằng giá trị tuyệt đối của điện tích mà mỗi bản tụ tích được khi hiệu điện thế giữa hai bản tụ bằng $1V$ [13]. Đơn vị điện dung của tụ điện là Fara (F), tuy nhiên giá trị này là rất lớn. Trên thực tế thường sử dụng các đơn vị là ước của Fara như μF ($10^{-6} F$), nF ($10^{-9} F$), pF ($10^{-12} F$), fF ($10^{-15} F$).



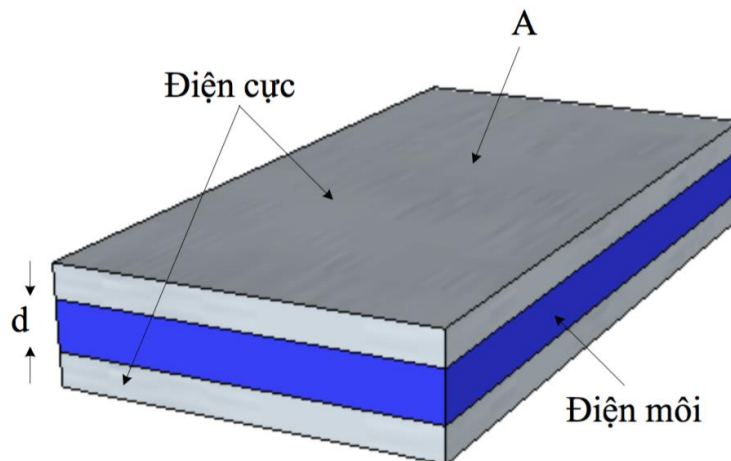
Hình 2.1: Điện dung giữa các vật dẫn điện [13]

Sự hiện diện của các điện cực khác (ngoại trừ điện cực i và j) tạo ra các thành phần ký sinh và góp phần vào điện dung giữa các điện cực i và j (Hình 2.2) [14].



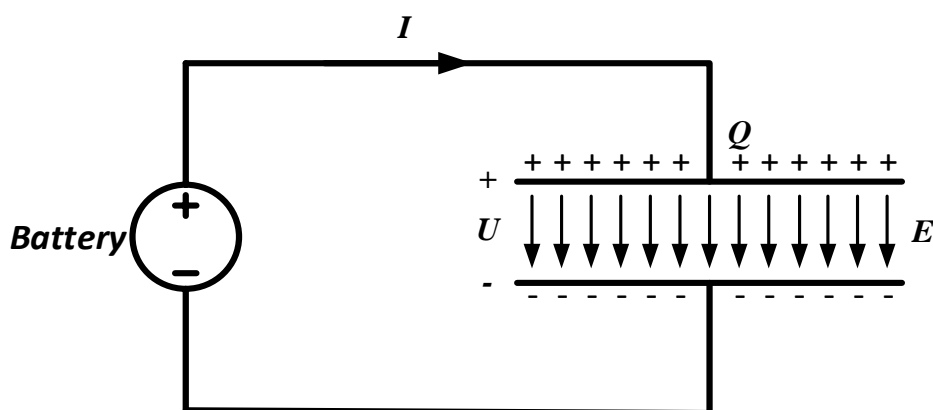
Hình 2.2: Sơ đồ tương đương của (a) tụ điện hai cực và (b) tụ điện khi có các thành phần ký sinh C_p [14]

Cấu trúc đơn giản nhất của một cảm biến điện dung là hai tấm phẳng song song với điện tích trái dấu nhau A và khoảng cách giữa hai bản tụ d (Hình 2.3).



Hình 2.3: Tụ điện phẳng với các tấm điện cực song song

Giá trị điện dung của tụ điện phụ thuộc vào điện trường giữa hai bản điện cực của tụ. Điện trường này sẽ yếu đi nếu khoảng cách giữa hai bản tụ tăng và làm cho giá trị điện dung giữa hai điện cực giảm. Mặt khác, diện tích bề mặt của điện cực lớn hơn cho phép tích trữ lượng điện tích tại hai điện cực lớn hơn kéo theo điện dung của tụ điện cũng lớn hơn. Bên cạnh đó, các điện cực cảm ứng của cảm biến điện dung có thể có các hình dạng. Cấu trúc hình học của điện cực cảm ứng cũng tác động tới điện trường giữa các điện cực [15]. Trên thực tế, một vài loại điện cực cảm ứng đã được thiết kế và chế tạo thử nghiệm như thanh trụ, ống trụ, tấm chữ nhật, dây tròn ốc, tấm đồng phẳng, tụ hình ống... [15]. Hình 2.4 thể hiện các đường điện trường khi hai bản tụ song song được nối với hai cực của pin và được ngăn cách với nhau bởi lớp điện môi không khí. Khi pin đặt một điện áp với hiệu điện thế U lên 2 bản tụ điện, điện áp này khiến cho các bản tụ lần lượt tích điện tích Q trái dấu nhau đồng thời tạo ra điện trường E trong khoảng không gian giữa 2 bản tụ điện. Đối với cấu trúc tụ 2 bản cực song song, điện dung của tụ điện được tính bằng lượng điện tích mà 2 bản cực tụ có thể tích trữ được ở một điện áp nhất định [13].



Hình 2.4: Các bản cực tích điện nằm song song ngăn cách bởi điện môi [16]

2.2. Mạch điện cơ bản đo điện dung

Trong thực tế, có nhiều mạch điện có thể sử dụng để đo điện dung. Một trong số đó có thể sử dụng mạch điện khuếch đại biến đổi trở kháng chuyển đổi dòng – áp (transimpedance amplifier) lợi dụng quan hệ điện tích – điện áp của tụ điện. Giả định rằng quan hệ điện tích – điện áp của tụ điện là tuyến tính (không có thành phần điện môi phi tuyến tham gia) và điện dung phụ thuộc vào điện môi của môi trường giữa các điện cực [17].

Do đó có thể viết như sau:

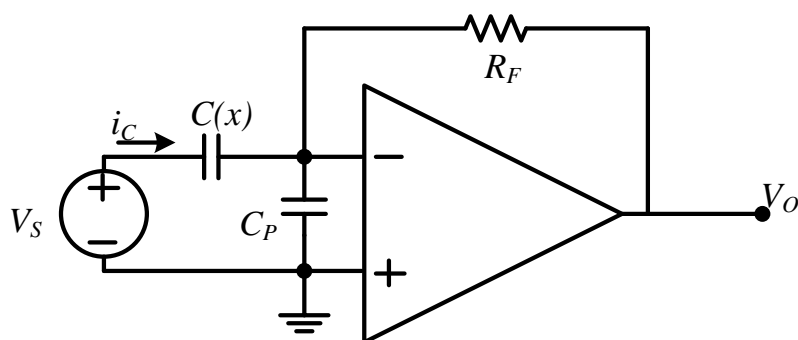
$$Q = C(x).V \quad (2-2)$$

Trong đó Q là điện tích của tụ điện, V là điện áp trên 2 bản tụ điện và điện dung $C(x)$ là một hàm phụ thuộc vào sự thay đổi các thông số của cảm biến kiểu tụ điện như

diện tích của bản tụ, khoảng cách giữa hai bản tụ và hằng số điện môi. Khi đó, dòng điện qua tụ điện là đạo hàm theo thời gian của điện tích [17]:

$$i_C = C(x) \frac{dV}{dt} + V \frac{\partial C}{\partial x} \frac{dx}{dt} \quad (2-3)$$

Cấu hình mạch điện đo điện dung đơn giản nhất được thể hiện trong Hình 2.5. Trong trường hợp này, cả điện dung của tụ điện $C(x)$ và điện dung ký sinh so với đất C_P gây ra do điểm tiếp xúc giữa cảm biến và mạch đo đều phải được xét đến. Ở đây, bộ khuếch đại biến đổi trở kháng được sử dụng để thu dòng i_C đi qua tụ điện $C(x)$. Ưu điểm của mạch điện này là nhờ có đất ảo ở đầu vào của bộ khuếch đại mà chỉ có một lượng điện tích không đáng kể trên điện dung ký sinh và nó không gây ảnh hưởng tới kết quả đo. Điện áp đầu ra là: $V_O = -R_F i_C$. [17]

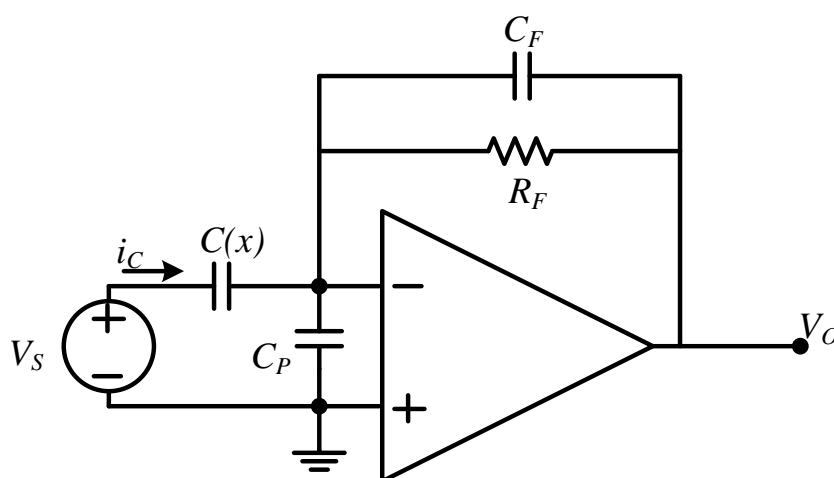


Hình 2.5: Mạch khuếch đại biến đổi trở kháng đo dòng đi qua tụ điện [17]

Nếu V_S là nguồn một chiều, V_O sẽ tỉ lệ với tốc độ biến đổi các thông số của tụ điện dx/dt . Tuy nhiên, đầu ra điện áp tỉ lệ với tốc độ biến đổi chưa đủ để xác định được giá trị tức thời. Để xác định giá trị tức thời cần đo thay vì tốc độ biến đổi, cần phải sử dụng một bộ chuyển đổi thích hợp từ tốc độ biến đổi sang giá trị tức thời; hoặc tín hiệu nguồn phải là một tín hiệu biến đổi theo thời gian.

Nếu sử dụng một tín hiệu sin làm nguồn V_S trong mạch điện trên, ta có thể xác định điện dung một cách trực tiếp. Giả sử nếu cảm biến không biến đổi, tức là điện dung là một hằng số, và $V_S = V_{SO} \cos \omega t$ thì đầu ra của bộ khuếch đại là $-\omega V_{SO} C(x) \sin \omega t$. Lúc này giá trị của $C(x)$ có thể xác định được từ biên độ của tín hiệu sin đầu ra. Tuy nhiên nếu x biến thiên theo thời gian sẽ xuất hiện thành phần thứ hai ở đầu ra tỉ lệ với dx/dt . Nếu hai thành phần này có độ lớn cỡ tương đương nhau thì giá trị đầu ra sẽ là tổng hợp của cả thành phần giá trị tức thời gây ra do $C(x)$ và thành phần thể hiện tốc độ biến đổi gây ra do dx/dt . Vì vậy phương pháp này chủ yếu sử dụng khi thành phần dx/dt không đáng kể, thông thường là khi tần số của tín hiệu đầu vào V_S đủ lớn [17].

Trong cả 2 trường hợp sử dụng tín hiệu nguồn một chiều hay xoay chiều, việc đo đặc điện dung tạo thành một lực tĩnh điện gây nhiễu ảnh hưởng tới cảm biến. Biên độ lực này là $(1/2)(\partial C/\partial x)V_S^2$. Với nguồn một chiều thì lực này là hằng số. Đối với nguồn điện áp hình sin, giả sử rằng ở một tần số rất cao so với tần số cộng hưởng của mạch sao cho thành phần tần số cao tại 2ω chỉ gây ảnh hưởng không đáng kể tới cảm biến, lực hiệu dụng lúc này là trung bình theo thời gian của V_S^2 . Do V_S là tín hiệu hình sin nên lực hiệu dụng của V_S^2 là $V_S^2/2$. Độ lớn của nhiễu phụ thuộc vào cấu trúc của hệ đo. Để có thể thực hiện phép đo một cách chính xác đòi hỏi phải sử dụng một điện áp đủ nhỏ để nhiễu gây ra là không đáng kể, đồng thời phải sử dụng một xung rất ngắn để có thể hoàn thành phép đo trước khi cảm biến kịp thay đổi giá trị mới; hoặc phải sử dụng một phương pháp khác để loại bỏ nhiễu trong quá trình hiệu chuẩn cảm biến [17].



Hình 2.6: Mạch khuếch đại biến đổi trở kháng đo dòng qua tụ điện có sử dụng tụ điện phản hồi [17]

Khi sử dụng tín hiệu nguồn xoay chiều tần số cao sao cho thành phần phụ thuộc tốc độ biến đổi là không đáng kể và có thể bỏ qua, có thể sử dụng mạch điện như Hình 2.6. Giả sử R_F được chọn sao cho tại tần số đo, $\omega R_F C_F$ là tương đối lớn. Đầu ra lúc này là [17]:

$$V_O \approx -\frac{i_C}{sC_F} V_S \approx -\frac{C(x)}{C_F} V_S \quad (2-4)$$

Chức năng của điện trở R_F là cung cấp phản hồi một chiều DC tới đầu vào khuếch đại thuật toán, nên giá trị DC tại đầu vào đảo được giữ ở 0. Hoặc, điện trở này cũng có thể được nối giữa đầu vào đảo và đất. Nếu không có điện trở phản hồi này, điện thế tại đầu vào có thể trôi khỏi mức 0, và đầu ra bộ khuếch đại có thể bị bão hòa.

2.3. Cảm biến điện dung

2.3.1. Lý thuyết về cảm biến điện dung

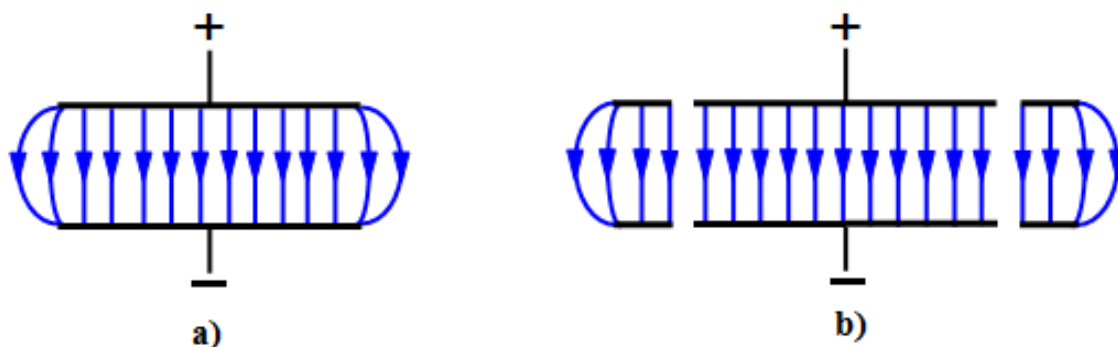
Cảm biến điện dung điển hình hoạt động dựa trên sự thay đổi của các thông số cấu trúc trong tụ điện theo thông số cần cảm biến dẫn đến thay đổi điện dung của nó. Có nhiều cấu trúc của cảm biến điện dung được thiết kế và chế tạo, trong đó cấu trúc đơn giản và phổ biến nhất là cấu trúc hai điện cực song song.

Điện dung của hai bản cực mắc song song được biểu diễn dưới dạng:

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 A}{d} \quad (2-5)$$

Trong đó, $\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} F/m$ là hằng số điện môi tuyệt đối, ε là hằng số điện môi tương đối của môi trường giữa hai bản điện cực so với chân không, A là diện tích hiệu dụng giữa các tấm điện cực và d là khoảng cách giữa hai điện cực. [16]

Về lý thuyết điện dung của hai điện cực dạng tấm được tính toán theo công thức (2-5) và nó có thể được sử dụng để tính toán giá trị xấp xỉ trong trường hợp khoảng cách (d) là nhỏ hơn nhiều so với kích thước của tấm [16]. Trên thực tế các cảm biến điện dung có kích thước các bản cực xấp xỉ khoảng cách giữa các điện cực. Khi đó phương pháp phân tích các phần tử hữu hạn (FEM – Finite Element Method) sẽ giúp tính xấp xỉ giá trị điện dung thuận tiện hơn.



Hình 2.7: Mô hình hai chiều của tụ song song với phân bố điện trường của nó (a) và các tụ điện song song với việc bổ sung các điện cực để loại bỏ hiệu ứng rìa (b)

Hình 2.7(a) biểu diễn phân bố điện trường giữa hai bản cực tụ phẳng song song. Điện trường phân bố đều và đồng nhất trong khoảng không gian giữa 2 bản cực. Tại rìa của bản cực điện trường phân bố cong và không đều, đặc biệt khi khoảng cách giữa 2 bản cực rất nhỏ so với kích thước tụ điện [18]. Chính vì lý do này mà điện dung thực tế luôn lớn hơn một chút so với giá trị tính toán. Để loại bỏ hiệu ứng rìa, các điện cực được thêm vào cấu trúc này để sắp xếp lại các trường tĩnh điện bên trong các cảm biến

điện dung. Hình 2.7(b) cho thấy trường điện tĩnh khi cảm biến điện dung được bổ sung thêm các điện cực. Điện cực ở bên trái và bên phải của tụ điện làm cho các trường tĩnh điện đồng nhất ở trung tâm nhưng nó không ảnh hưởng đến các điện cực trung tâm.

2.3.2. Các loại cảm biến điện dung

Theo công thức tính điện dung (2-5), điện dung của tụ điện song song có thể thay đổi phụ thuộc môi trường điện môi giữa 2 bản tụ (ϵ), khoảng cách giữa chúng (d) và diện tích hiệu dụng giữa 2 bản tụ (A), do đó:

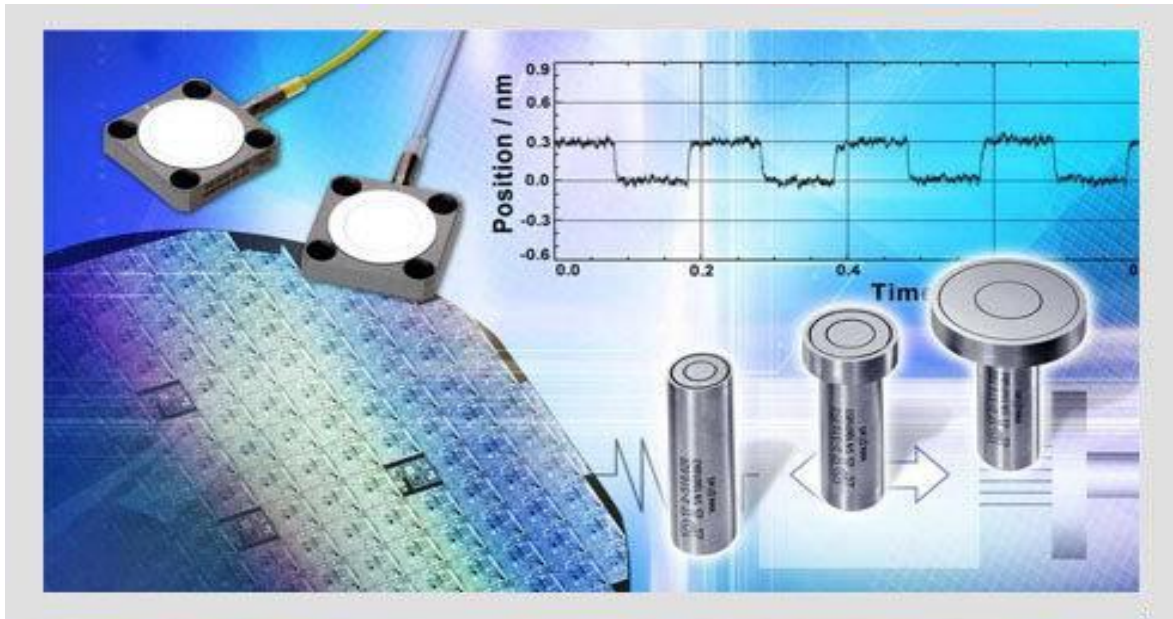
$$C = f(d, A, \epsilon_r) \quad (2-6)$$

Tùy thuộc vào thông số thay đổi của tụ điện mà các cảm biến điện dung có thể chia ra thành 3 loại chính:

- Cảm biến điện dung loại ϵ (ϵ -type): cảm biến điện dung với giá trị A và d không thay đổi, cảm biến hoạt động dựa trên sự thay đổi tính chất của chất điện môi, thường sử dụng cho cảm biến đo dịch chuyển, phân tích...
- Cảm biến điện dung loại A (A -type): cảm biến điện dung với chất điện môi và khoảng cách giữa các điện cực (ϵ và d) không thay đổi, cảm biến hoạt động dựa trên sự thay đổi diện tích hiệu dụng giữa 2 bản tụ. Cảm biến loại này thường dùng cho các ứng dụng đo dịch chuyển...
- Cảm biến điện dung loại D (D -type): cảm biến điện dung với giá trị của A và ϵ không thay đổi, cảm biến hoạt động dựa trên sự thay đổi khoảng cách giữa các điện cực. Loại này thường được sử dụng cho các cảm biến đo khoảng cách, phát hiện dịch chuyển, phát hiện vật thể...

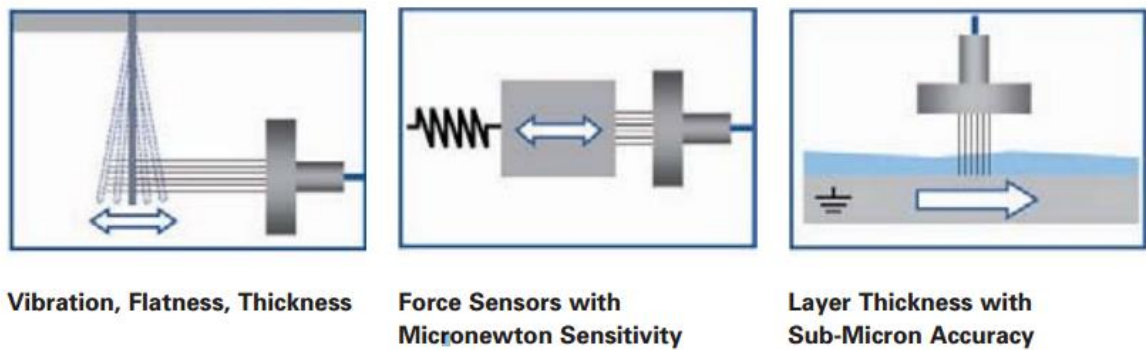
a. Cảm biến điện dung loại D

Các cảm biến điện dung loại D với đặc tính là diện tích hiệu dụng A và tính chất của chất điện môi ϵ là không thay đổi trong suốt thời gian sử dụng của cảm biến (khi không khí được sử dụng như một chất điện môi), có lợi thế nhờ khả năng cho phép cân chỉnh giá trị thực tế khi thực hiện hiệu chuẩn hệ thống. Tuy nhiên loại này có một nhược điểm là phạm vi đo nhỏ do độ nhạy giảm khi khoảng cách tăng. Loại cảm biến này thích hợp cho các ứng dụng sử dụng cảm biến đo dịch chuyển, cảm biến lực và áp lực với chi phí thấp. Các cảm biến loại này hiện đã được sản xuất bởi một số công ty và được ứng dụng trong rất nhiều lĩnh vực công nghệ khác nhau. Cảm biến điện dung loại D có thể đo được khoảng cách rất nhỏ, xuống đến đơn vị nanomet, thường được sử dụng trong các ứng dụng đo vị trí, độ dịch chuyển, rung động, độ dày... đòi hỏi không tiếp xúc. Chúng có độ chính xác tốt và độ phân giải rất cao, nhưng lại dễ bị ảnh hưởng bởi các yếu tố môi trường.



Hình 2.8: Cảm biến đo khoảng cách kiểu điện dung với độ phân giải dưới nanomet

Hình 2.8 cho thấy một số cảm biến đã được thương mại hóa cho các ứng dụng đo độ dịch chuyển, chúng có thể đo được các khoảng cách tới mức nano mét. Các cảm biến khoảng cách cũng được áp dụng trong các phép đo khác như cảm biến chống rung, cảm biến độ phẳng, cảm biến độ dày, cảm biến lực với độ chính xác cao như thể hiện trong Hình 2.9.



Hình 2.9: Một số cảm biến khoảng cách kiểu điện dung

b. Cảm biến điện dung loại ϵ

Các cảm biến điện dung loại ϵ có thể được sử dụng để đánh giá đặc tính của vật liệu hoặc để xác định vị trí điểm chuyển giao giữa các loại chất lỏng khác nhau. Một vài ứng dụng phổ biến của cảm biến loại này có thể kể đến như là những cảm biến độ ẩm, đồng hồ đo mức chất lỏng và đặc biệt là cảm biến môi chất. Cảm biến lưu chất kiểu điện dung được sử dụng rộng rãi trong nhiều ứng dụng khác nhau.

c. Cảm biến điện dung loại A

Không giống như cảm biến điện dung loại D có nhược điểm là độ nhạy giảm nhanh khi khoảng cách dịch chuyển tăng nhiều, cảm biến điện dung loại A phát hiện sự biến thiên điện dung dựa trên nguyên tắc thay đổi điện tích hiệu dụng giữa các bản tụ. Phương pháp này cho phép cảm biến điện dung loại A có dải làm việc rộng hơn nhiều trong khi vẫn đảm bảo sự tuyến tính cần thiết của đại lượng cần đo. Các cảm biến loại A dễ chế tạo và được sử dụng phổ biến như cảm biến góc nghiêng vi cơ điện tử, các bộ điều chỉnh tần số...

2.3.3. Các ứng dụng của cảm biến điện dung

Các cảm biến điện dung, được phát triển trong nhiều thập kỷ gần đây và đã được sử dụng trong nhiều lĩnh vực của công nghệ hiện nay. Căn cứ vào cấu trúc tụ điện, có rất nhiều loại cảm biến điện dung được thiết kế và chế tạo dựa trên cảm biến điện dung loại D , loại A và loại ϵ như đã trình bày trong chương này. Đối với cảm biến điện dung loại ϵ kiểu như các cảm biến điện dung thể lỏng đang mở ra rất nhiều ứng dụng có thể áp dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau. Cảm biến điện dung kiểu này có thể được tiếp tục nghiên cứu cho ra nhiều thiết kế mới hơn áp dụng trong phân tích y tế và hóa chất, công nghệ sinh học... nhờ ưu điểm dễ chế tạo, dễ dàng tích hợp trên chip hoặc hệ thống và chi phí thấp.

a. Cảm biến tiệm cận (proximity sensor)

Cảm biến tiệm cận có thể phát hiện sự hiện diện của các đối tượng gần nó mà không có bất kỳ tiếp xúc vật lý nào. Bình thường, một cảm biến khoảng cách phát ra một trường điện từ hoặc điện trường, và phát hiện bất kỳ thay đổi trong trường đó hoặc tín hiệu phản hồi. Cảm biến tiệm cận kiểu điện dung thường bao gồm một bộ dao động có tần số được xác định bởi một mạch tạo dao động LC liên kết với một tấm kim loại. Khi một đối tượng đến gần tấm kim loại, điện dung tương hỗ tạo ra giữa đối tượng và tấm kim loại sẽ làm thay đổi tần số dao động của bộ tạo dao động. Sự thay đổi này được nhận biết và gửi đến các khối điều khiển.

Khoảng cách tối đa mà một bộ cảm biến tiệm cận có thể phát hiện được gọi là “phạm vi danh định” (*nominal range*). Một vài loại cảm biến có khả năng thay đổi phạm vi danh định cho phép phát hiện sự thay đổi khoảng cách. Những cảm biến với phạm vi hoạt động hẹp có thể được sử dụng như một công tắc cảm ứng. Vì cơ thể con người có thể coi tương đương như một vật dẫn điện với tần số thấp, do đó cảm biến điện dung đã được sử dụng để đo chân động của con người và sử dụng trong báo động xâm nhập. Các cảm biến tiệm cận kiểu điện dung có phạm vi hoạt động gặp đôi các cảm biến cảm ứng điện. Cảm biến loại này có khả năng phát hiện không chỉ những vật bằng kim loại mà còn cả các chất điện môi như giấy, thủy tinh, gỗ, nhựa các loại. Thậm chí chúng có thể phát hiện vật thể xuyên qua hộp các-tông hay qua một bức tường. Cảm

biến tiệm cận kiểu điện dung có độ tin cậy cao và tuổi thọ dài nhờ không sử dụng các cơ cấu cơ khí và không có tiếp xúc vật lý giữa cảm biến và đối tượng cảm nhận.

Một vài ứng dụng của cảm biến tiệm cận kiểu điện dung có thể kể đến như:

- Đo khoảng cách: nếu một đối tượng kim loại đến gần điện cực của cảm biến, điện dung tương hỗ giữa chúng thể hiện khoảng cách giữa đối tượng và cảm biến.
- Đo độ dày: Khi hai bản tụ tiếp xúc với một vật thể điện môi, cảm biến sẽ đo được độ dày của vật thể điện môi đó nếu như hằng số điện môi của vật thể đã được biết trước, hoặc đo được hằng số điện môi của vật thể nếu biết trước độ dày.
- Cảm biến lực: một màng cứng có độ dẫn ổn định có thể sử dụng kết hợp với cảm biến khoảng cách và tạo thành cảm biến lực hoặc áp suất.

b. Cảm biến vị trí (position sensor)

Cảm biến vị trí là thiết bị cho phép thực hiện các phép đo vị trí (tuyệt đối hoặc tương đối) và dịch chuyển (dịch chuyển tuyến tính hoặc vòng cung) [13]. Cảm biến vị trí được sử dụng trong nhiều ứng dụng công nghiệp như cảm biến đo mức (chất lỏng), đo góc trục, vị trí bánh răng, mã hóa kỹ thuật số (encode), bộ đếm, màn hình cảm ứng...

Thông thường, chiết áp loại điện trở được sử dụng để xác định vị trí quay và tuyến tính. Tuy nhiên, hạn chế về thời gian hoạt động của các cảm biến này do hao mòn cơ khí đã làm cho các cảm biến điện trở không được sử dụng cho các ứng dụng công nghiệp và bị thay thế bằng các cảm biến điện dung bởi chúng thường không có các chi tiết cơ khí. Xác định vị trí sử dụng cảm biến điện dung có thể thực hiện được nhờ thay đổi 3 thông số của tụ điện: hằng số điện môi, diện tích hiệu dụng và khoảng cách giữa các bản tụ.

Một số ứng dụng của cảm biến vị trí kiểu điện dung có thể kể đến như:

- Cảm biến đo mức chất lỏng: xác định mực chất lỏng trong hồ chứa hoặc bình chứa bằng cách phát hiện sự thay đổi điện dung giữa các bản tụ được nhúng trong chất lỏng, hoặc đặt bên ngoài bình chứa không dẫn điện.
- Cảm biến vị trí góc trục hoặc tuyến tính: sử dụng cơ cấu nhiều bản tụ cho phép đo góc với đầu ra số độ chính xác cao hoặc đầu ra tương tự có đáp ứng nhanh.
- Nhập liệu tọa độ X – Y: các thiết bị nhập liệu đồ họa theo tọa độ với kích thước khác nhau có thể thay thế chuột máy tính. Các thiết bị màn hình cảm ứng ngón tay và cảm ứng theo phương Z cũng có thể sử dụng cảm biến loại này.
- Cảm biến đo dòng: nhiều loại thiết bị đo dòng chảy có thể chuyển đổi tốc độ dòng thành áp lực hoặc độ dịch chuyển bằng cách sử dụng cỗ bình để đo thể tích dòng hoặc hiệu ứng Coriolis để đo khối lượng dòng.

c. Cảm biến độ ẩm (humidity sensor)

Hằng số điện môi của không khí hoặc một số vật liệu khác bị ảnh hưởng bởi độ ẩm. Độ điện thẩm (permittivity) của không khí trong khí quyển, của một số chất khí, và nhiều vật liệu rắn là hàm số của độ ẩm và nhiệt độ. Cảm biến độ ẩm kiểu điện dung dựa trên những thay đổi trong độ điện thẩm của vật liệu điện môi giữa các tấm của tụ điện. Chúng thường chứa các lớp oxit vô cơ ưa nước sử dụng làm chất điện môi [19]. Sự hấp thụ của các phân tử nước phân cực có tác động mạnh đến hằng số điện môi của vật liệu. Độ lớn của hiệu ứng này tăng lên cùng với bề mặt bên trong lớn cho phép có thể hấp thụ một lượng lớn nước.

Các bộ cảm biến độ ẩm điện dung hoạt động chính xác và đáng tin cậy trong thời gian dài trong dải nhiệt độ và áp suất rộng. Chúng còn có ưu điểm là độ trễ thấp và ổn định cao với yêu cầu bảo trì tối thiểu. Những tính năng này làm cho cảm biến độ ẩm điện dung hữu hiệu trong nhiều điều kiện hoạt động đặc biệt và lý tưởng cho các hệ thống phải hoạt động trong điều kiện không ổn định hoặc khó dự đoán. Có nhiều loại cảm biến độ ẩm kiểu điện dung, chủ yếu là sử dụng nhôm, tantali, silic và polymer.

d. Cảm biến áp suất (pressure sensor)

Cảm biến áp suất, thường là áp suất khí hoặc chất lỏng. Áp suất là một cách biểu diễn của lực cần thiết để ngăn chặn một lưu chất nở rộng ra, và thường được diễn tả bằng lực trên một đơn vị diện tích. Một cảm biến áp suất thường đóng vai trò như một bộ chuyển đổi; nó tạo ra một tín hiệu như một hàm phụ thuộc vào áp suất tác động lên nó. Cảm biến áp suất kiểu điện dung đang thay thế các cảm biến áp suất kiểu áp-trở (piezoresistive) nhờ yêu cầu công suất thấp hơn, ít phụ thuộc nhiệt độ hơn, và độ trôi sai số lệch thấp hơn.

Cảm biến áp suất có thể được phân loại dựa trên các dải áp lực mà chúng có thể đo được, phạm vi nhiệt độ hoạt động, và quan trọng nhất là các loại áp lực chúng đo. Cảm biến áp suất được đặt tên khác nhau theo mục đích sử dụng của chúng, như:

- Cảm biến áp suất tuyệt đối: đo áp lực tương quan so với chân không tuyệt đối.
- Áp kế: đo áp suất tương quan so với áp suất khí quyển. Đồng hồ đo áp suất lốp xe là một ứng dụng của áp kế; khi đồng hồ chỉ số 0 nghĩa là áp suất mà nó đo được là tương đương với áp suất ở xung quanh.
- Cảm biến áp suất chân không: đo áp suất thấp dưới mức áp suất khí quyển, cho thấy sự chênh lệch giữa các áp suất thấp đó so với áp suất khí quyển (nghĩa là áp lực đo âm); hoặc đo áp suất thấp tương quan so với áp suất chân không tuyệt đối (áp suất tuyệt đối).
- Cảm biến áp suất vi sai: đo sự khác nhau giữa hai áp lực, mỗi áp lực kết nối với mỗi bên của cảm biến. Cảm biến áp suất vi sai được sử dụng để đo nhiều thuộc tính, chẳng hạn như giảm áp khi đi qua các bộ lọc dầu hoặc bộ lọc không

- khí, mực chất lỏng (bằng cách so sánh các áp lực trên và dưới chất lỏng) hoặc tốc độ dòng chảy (bằng cách đo sự thay đổi áp suất khi đi qua một bộ hạn chế).
- Cảm biến áp suất kín: tương tự như áp kế ngoại trừ việc nó đo áp lực tương quan với một số áp lực nhất định chứ không phải là áp suất khí quyển xung quanh (mà có thể thay đổi tùy theo vị trí và thời tiết).

e. Cảm biến nghiêng (tilt sensors)

Những năm gần đây, các bộ cảm biến gia tốc vi chế tạo kiểu điện dung càng ngày càng phổ biến. Những cảm biến gia tốc này sử dụng một khối nặng trung tâm như một bản tụ còn để là bản tụ còn lại. Khi cảm biến gia tốc, khối nặng trung tâm có xu hướng dịch chuyển, nhờ đó mà điện áp đặt lên tụ điện thay đổi theo. Sự thay đổi điện áp này tương ứng với gia tốc đặt lên cảm biến. Các cảm biến vi chế tạo này đã được ứng dụng sử dụng trong túi khí an toàn của ô-tô, hệ thống phanh tự động, hệ thống cân bằng cho thiết bị hình ảnh, bộ lưu và chạm hành trình và máy trợ tim dựa vào hoạt động. [20]

Các cảm biến gia tốc kiểu điện dung sẵn có với nhiều dải chỉ tiêu khác nhau. Một cảm biến hạng nhẹ thông thường có dải tần hoạt động trong khoảng 0 tới 1000 Hz, dải động của gia tốc là ± 2 tới ± 500 g. Với một cảm biến nhạy cỡ 1.5 g, nó có thể được sử dụng làm cảm biến nghiêng. [20]

2.4. Hằng số điện môi

Khoảng không gian giữa hai mặt bản tụ được lấp đầy bằng chất điện môi như cao su, thủy tinh, gốm hay chất lỏng không dẫn điện với mục đích cách ly hai bản cực của tụ điện [21]. Mỗi loại vật liệu cách điện có hằng số điện môi xác định. Hằng số điện môi, hay còn được gọi đầy đủ là độ điện thẩm tương đối của môi trường, đặc trưng cho tính chất điện của môi trường đó và được đo bằng độ ảnh hưởng của chất điện môi đó lên điện trường. Hằng số điện môi phụ thuộc vào khả năng phát ra điện trường của vật liệu. Điện dung thực tế của tụ điện sẽ tăng hay giảm phụ thuộc vào vật liệu chất điện môi. Trong tụ điện, tăng hằng số điện môi cho phép cùng lượng điện tích có thể tích trữ được với điện trường nhỏ hơn và kéo theo là điện dung lớn hơn.

Theo công thức (2-5) điện dung tỷ lệ đồng biến với hằng số điện môi. Giá trị điện dung tăng khi hằng số điện môi tăng và ngược lại điện dung giảm khi hằng số điện môi giảm. Nếu gọi C_0 là điện dung của tụ điện với chất điện môi là chân không thì điện dung với chất điện môi có hằng số điện môi ϵ có thể được biểu diễn:

$$C = \epsilon C_0 \quad (2-7)$$

Các vật liệu khác nhau có hằng số điện môi khác nhau. Bảng 1 liệt kê hằng số điện môi của một số vật liệu phổ biến. Ta có thể thấy nếu nếu dùng nước làm chất điện môi thì giá trị điện dung sẽ tăng lên khoảng 80 lần so với trường hợp dùng không khí làm

chất điện môi. Trường hợp sử dụng rượu cũng cho giá trị điện dung tỉ lệ lên tương đối lớn, gấp 24,3 lần.

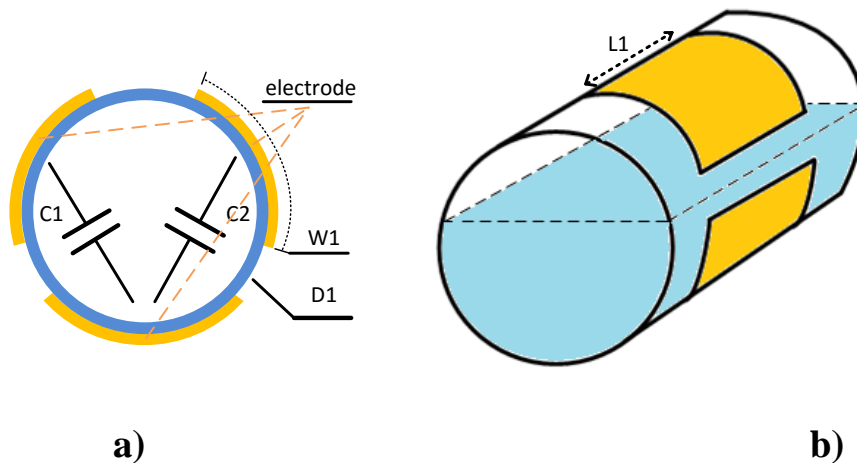
| Vật liệu | Hằng số điện môi tương đối |
|------------------|----------------------------|
| Không khí | 1,0 |
| Dầu hỏa | 2,2 |
| Nước nguyên chất | 81 |
| Rượu | 24,3 |
| Xăng | 2,0 |
| Parafin | 2,0 |
| Giấy | 2,0 |
| Thạch anh | 4,5 |
| Thủy tinh | 0,5 |

Bảng 1. Hằng số điện môi tương đối của một số loại vật liệu

CHƯƠNG 3: THIẾT KẾ, MÔ PHỎNG CẢM BIẾN GÓC NGHIÊNG ĐIỆN TỬ CẤU TRÚC HAI PHA LỎNG – KHÍ

3.1. Cấu trúc cảm biến góc nghiêng kiểu tụ

Luận văn này đề xuất một cảm biến tụ điện lỏng ba cực cấu tạo bởi 3 điện cực ôm ống nhựa chứa dung dịch điện môi lỏng như trong Hình 3.1. Ống nhựa hình trụ rỗng, kín có kích thước đường kính $\sim 8\text{mm}$; được đổ gần đầy chất lỏng bên trong, để lại một phần không khí tạo thành cấu trúc điện môi hai pha lỏng – khí. Chất lỏng bên trong là loại chất lỏng điện môi không dẫn điện, có khả năng di chuyển tự do bên trong ống nhựa. Khi ống nhựa xoay chuyển theo phương bất kỳ, dưới tác dụng của trọng lực, khối chất lỏng điện môi bên trong ống nhựa luôn dịch chuyển xuống dưới, đẩy khối khí nổi lên trên (Hình 3.1-b).



Hình 3.1: Cấu trúc cảm biến góc nghiêng kiểu điện dung ba cực

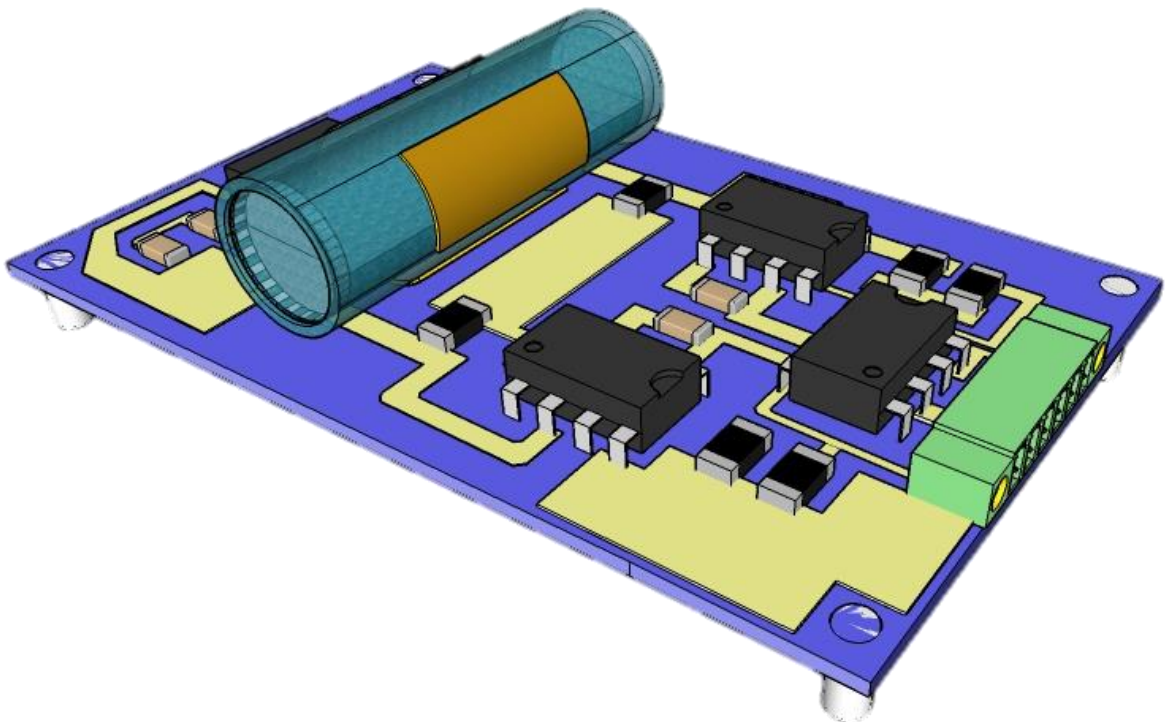
Hệ tụ điện của cảm biến cấu thành bởi 3 điện cực bằng đồng được thiết kế ôm quanh bên ngoài ống trụ nhựa chứa chất lỏng điện môi (Hình 3.1-a). Các điện cực là các lá đồng mỏng giống nhau, hình chữ nhật có kích thước $W=7.5\text{mm}$, $L=11.0\text{mm}$, được uốn cong bao quanh ống nhựa chứa chất lỏng điện môi và đặt cách nhau $D=1.0\text{mm}$ (Bảng 2).

| Thông số | mm |
|----------|------|
| W_1 | 7.5 |
| D_1 | 1.0 |
| L_1 | 11.0 |

Bảng 2. Các thông số kích thước điện cực cảm biến

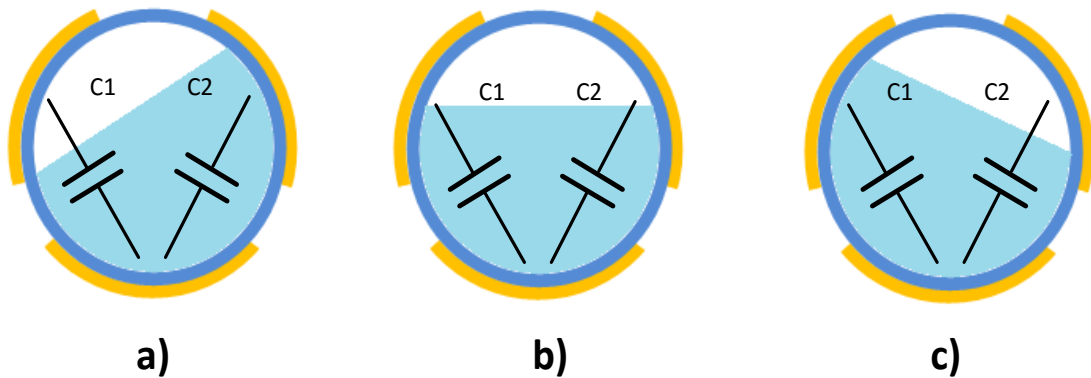
Trong hệ tụ điện 3 điện cực này, một điện cực là điện cực kích thích, phát tín hiệu và hai điện cực còn lại đóng vai trò điện cực thu hai bên. Nhờ cấu trúc điện môi hai pha lỏng – khí bên trong ống nhựa nằm giữa các điện cực, tạo nên tụ điện C_1 và C_2 tương ứng giữa điện cực kích thích và 2 điện cực cảm ứng (Hình 3.1-a), có giá trị phụ thuộc vào hình dạng, kích thước của điện cực và vị trí cũng như lượng chất lỏng điện môi bên trong ống [22].

Cấu trúc cảm biến này được gắn trên bản mạch in (PCB) với mạch điện tử biến đổi góc nghiêng thành điện áp lối ra (Hình 3.2).



Hình 3.2: Cảm biến góc nghiêng cấu trúc 2 pha lỏng khí điện tử

Hoạt động của của cảm biến góc nghiêng dựa trên sự thay đổi chênh lệch điện dung của hai tụ điện C_1 và C_2 khi mực chất lỏng bị nghiêng đi do cảm biến nghiêng so với mặt đất. Hình 3.3 mô tả nguyên lý hoạt động của cảm biến khi có góc nghiêng dẫn đến sự thay đổi của hai tụ điện. Khi cảm biến ở vị trí thẳng bằng, mực dung dịch điện môi bên trong cảm biến che phủ hoàn toàn điện cực kích thích, đồng thời phân bố đều giữa 2 điện cực thu (Hình 3.3-b). Phân bố của dung dịch điện môi giữa điện cực kích thích tới 2 điện cực thu là giống nhau, các điện cực là giống nhau nên giá trị điện dung tương đương của tụ điện C_1 và tụ điện C_2 là như nhau: $C_1 = C_2$. Hình 3.3(a) mô tả khi cảm biến nghiêng về bên phải, dung dịch điện môi tập trung về phía điện cực thu bên phải nhiều hơn. Lúc này lượng dung dịch điện môi nằm giữa điện cực kích thích và điện cực thu bên phải tăng lên, lượng không khí ở đây giảm đi. Ngược lại, lượng dung dịch điện môi nằm giữa điện cực kích thích và điện cực thu bên trái giảm đi, lượng không khí tăng lên. Theo công thức (2-5), điện dung của tụ điện tỉ lệ đồng biến với độ điện thẩm tương đối của lớp điện môi nằm giữa các điện cực. Trong thiết kế sử dụng lớp điện môi 2 pha lỏng – khí này, do dung dịch điện môi thường có độ điện thẩm (hằng số điện môi) cao hơn nhiều so với không khí (Bảng 1) nên khi tỉ lệ dung dịch điện môi – không khí giữa 2 điện cực tăng lên thì điện dung của tụ điện đó cũng tăng lên. Ngược lại, khi tỉ lệ dung dịch điện môi – không khí giữa 2 điện cực giảm đi thì điện dung của tụ điện tương ứng cũng giảm đi, dẫn tới $C_1 < C_2$ [22].



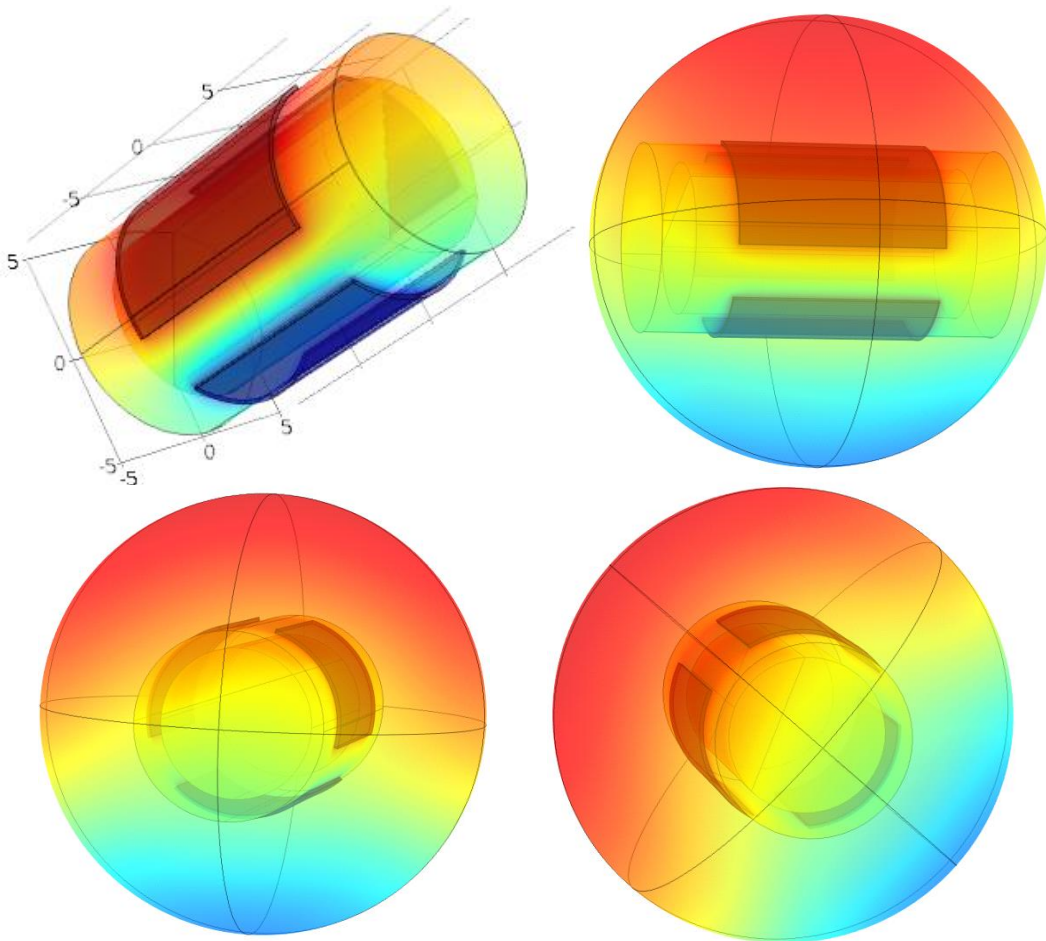
Hình 3.3: Hoạt động của cảm biến góc nghiêng kiểu điện dung ba cực, trường hợp a và c khi cảm biến nghiêng bên phải và bên trái, trường hợp b khi cảm biến ở vị trí cân bằng

Tương tự như vậy, khi cảm biến nghiêng về bên trái (Hình 3.3-c), lượng dung dịch điện môi nghiêng về phía điện cực thu bên trái nhiều hơn trong khi lượng dung dịch điện môi ở phía điện cực thu bên phải giảm đi, dẫn tới $C_1 > C_2$. Bằng cách so sánh hai giá trị của C_1 và C_2 ta có thể tính ra được góc nghiêng của cảm biến.

3.2. Mô phỏng hoạt động của cảm biến bằng COMSOL

Hoạt động cảm biến góc nghiêng được khảo sát bằng phần mềm mô phỏng các phần tử hữu hạn (Finite Element Analysis – FEM) sử dụng Comsol Multiphysics. Đây là phương pháp số gần đúng để giải các bài toán được mô tả bởi các phương trình vi phân đạo hàm riêng trên miền xác định mà nghiệm chính xác không thể tìm được bằng phương pháp giải tích.

Cơ sở của phương pháp này là làm rời rạc hóa miền xác định của bài toán, bằng cách chia nó thành nhiều miền con (phần tử). Các phần tử này được liên kết với nhau tại các điểm nút chung. Trong phạm vi của mỗi phần tử Nghiệm được chọn là một hàm số nào đó được xác định thông qua các giá trị chưa biết tại các điểm nút của phần tử gọi là hàm xấp xỉ thỏa mãn điều kiện cân bằng của phần tử. Tập tất cả các phần tử có chú ý đến điều kiện liên tục của sự biến dạng và chuyển vị tại các điểm nút liên kết giữa các phần tử. Kết quả dẫn đến một hệ phương trình đại số tuyến tính mà ẩn số chính là các giá trị của hàm xấp xỉ tại các điểm nút. Giải hệ phương trình này sẽ tìm được các giá trị của hàm xấp xỉ tại các điểm nút của mỗi phần tử, nhờ đó hàm xấp xỉ hoàn toàn được xác định trên mỗi một phần tử [23].

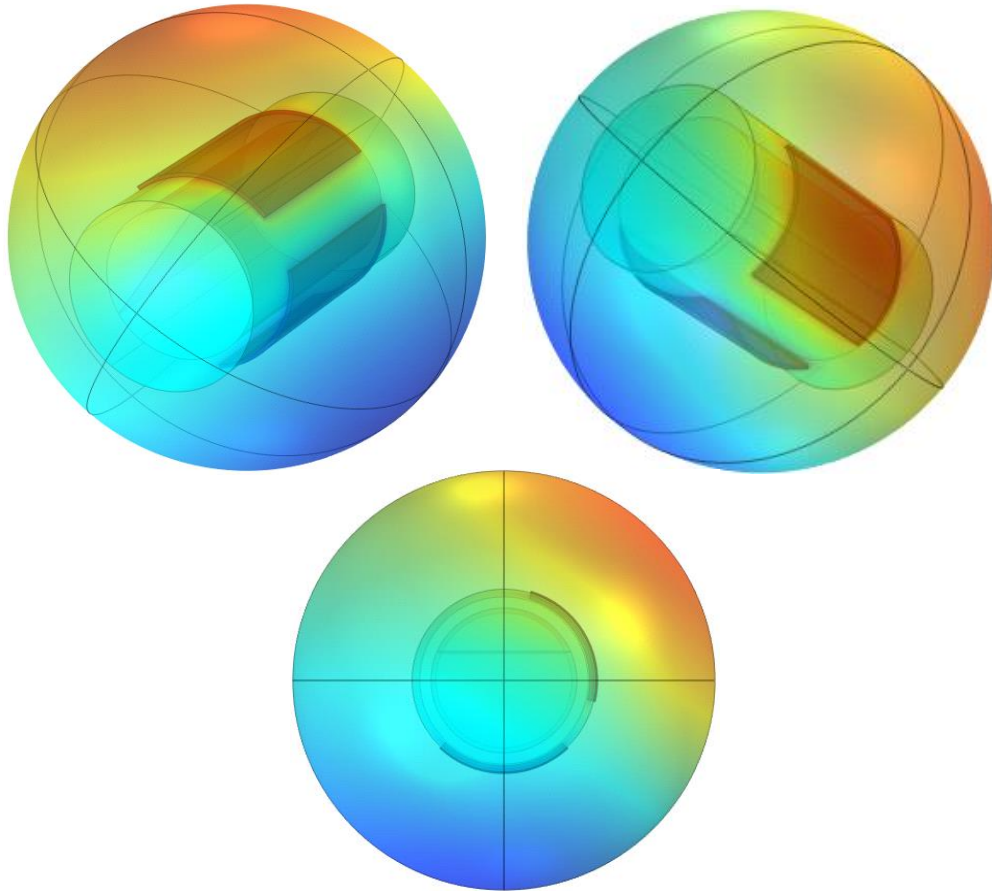


Hình 3.4: Mô hình mô phỏng cảm biến nghiêng điện dung ba điện cực cấu trúc 2 pha lỏng – khí

Sử dụng phần mềm Comsol thiết kế mô hình cảm biến bao gồm 1 ống nhựa chứa rượu và không khí tạo thành cấu trúc điện môi 2 pha. Các điện cực bằng đồng được bao quanh ống nhựa với kích thước như đã mô tả ở Bảng 2. Thiết lập chế độ mô phỏng trường tĩnh điện với điện thế 0 V được đặt vào điện cực kích thích của cảm biến. Tại 2 điện cực cảm ứng, đặt điện thế 7.2 V. Hình 3.4 biểu diễn mô hình mô phỏng cảm biến góc nghiêng điện dung ba điện cực cấu trúc 2 pha lỏng – khí trong Comsol. Thiết lập thông số vật liệu cho các thành phần cảm biến trong mô phỏng như bảng sau:

| Thành phần hệ thống cảm biến | Chất liệu | Điện môi | Độ dẫn điện |
|-------------------------------------|------------------|-----------------|-------------------------|
| Pha khí | Bọt không khí | 1,0 | - |
| Dung dịch điện môi | Rượu | 24,3 | - |
| Ống nhựa | Nhựa plastic | 2,36 | - |
| Điện cực | Đồng | - | $5,96 \cdot 10^7$ (S/m) |

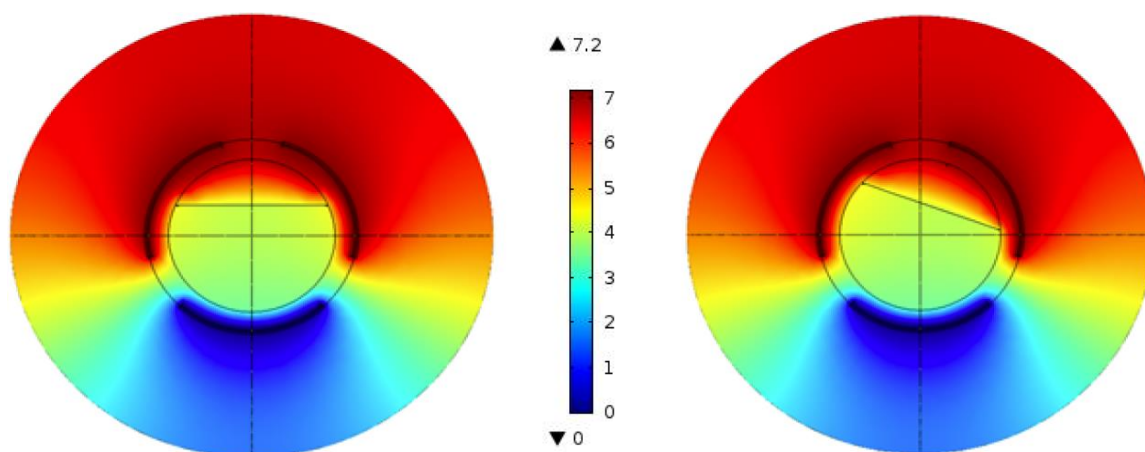
Bảng 3. Các thông số vật liệu sử dụng trong mô phỏng



Hình 3.5: Mô hình mô phỏng cảm biến nghiêng điện dung ba điện cực cấu trúc 2 pha lỏng – khí, trường hợp kích thích 1 điện cực cảm ứng

Trong Hình 3.4, điện cực kích thích ở mức điện thế 0 V được thể hiện bằng màu xanh, 2 điện cực cảm ứng ở mức điện thế 7.2 V được thể hiện bằng màu đỏ. Vùng không gian điện môi bên trong ống nhựa chứa cấu trúc 2 pha lỏng – khí và vùng không gian bên ngoài cảm biến tồn tại trường tĩnh điện với mức điện thế được thể hiện bằng dải màu sắc từ xanh tới đỏ tương ứng với từ 0 V tới 7.2 V . Tương tự, Hình 3.5 thể hiện mô hình mô phỏng và phân bố điện thế của trường tĩnh điện trong trường hợp chỉ đặt điện áp kích thích lên một cặp điện cực nghiêng theo một phía.

Hình 3.6 biểu diễn kết quả mô phỏng trường tĩnh điện của cảm biến với góc nghiêng tương ứng là 0° và 20° , khi một điện cực kết nối với đất 0 V và những điện cực khác kết nối với điện áp tích cực 7.2 V . Mức điện thế của trường tĩnh điện được biểu diễn bằng màu sắc trong đó vị trí trường tĩnh điện có điện thế cao nhất được biểu diễn bằng màu đỏ, vị trí có điện thế nhỏ nhất được biểu diễn bằng màu xanh. Dải màu thể hiện cụ thể thang chia màu sắc và mức điện thế của trường tĩnh điện.

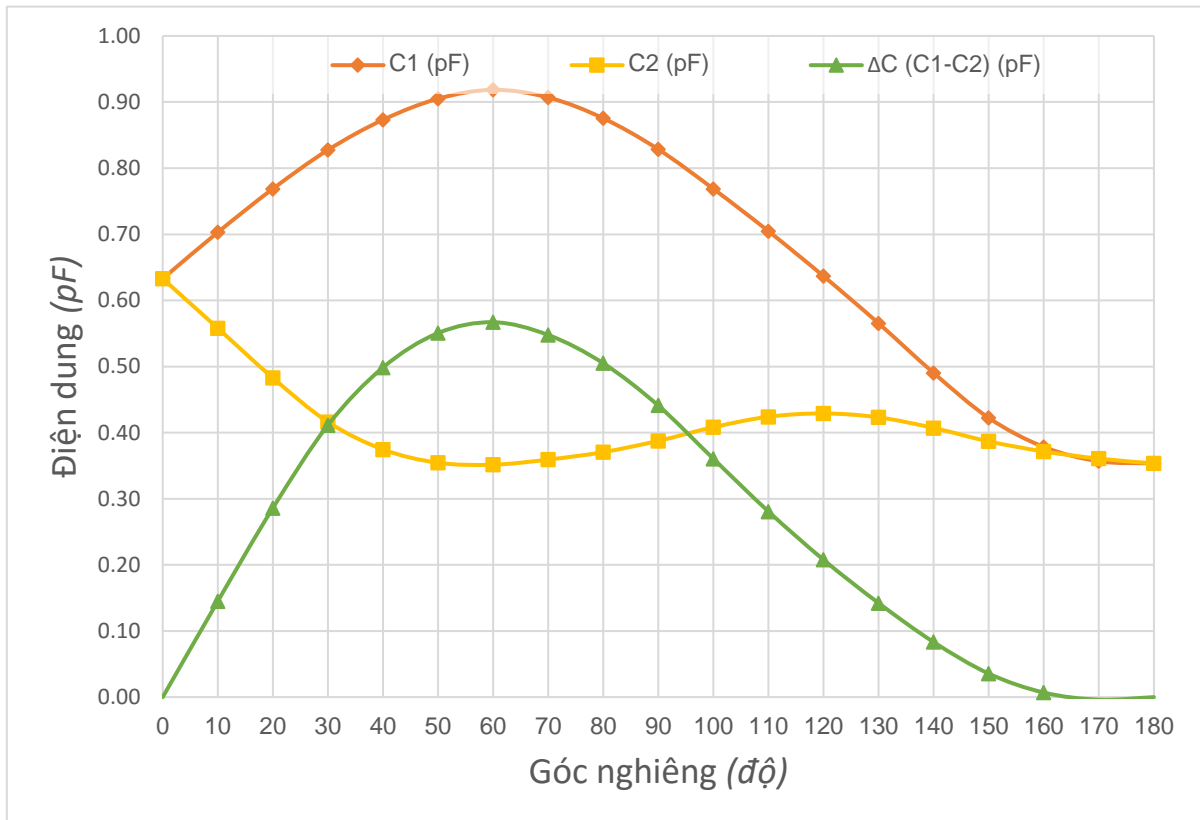


Hình 3.6: Trường tĩnh điện và phân bố điện thế trong trường tĩnh điện của cảm biến nghiêng điện dung ba điện cực cấu trúc 2 pha lỏng – khí

Như được thể hiện trong kết quả mô phỏng ở Hình 3.6, trường tĩnh điện phía bên ngoài cảm biến trong trường hợp cảm biến thẳng đứng và trường hợp cảm biến nghiêng góc 20° là giống nhau. Đối với cấu trúc điện môi 2 pha lỏng – khí bên trong cảm biến, khi cảm biến nghiêng về bên trái (Hình 3.6-b), tỉ lệ chất lỏng nằm giữa điện cực cảm ứng bên trái và điện cực kích thích tăng lên, kéo theo phân bố các điểm điện thế thấp (màu xanh lá cây) giữa 2 điện cực này tăng lên và phân bố các điểm điện thế cao (màu đỏ cam) giảm đi. Theo công thức (2-1), điện dung tỉ lệ nghịch với điện thế, do đó điện dung của cặp điện cực bên trái tăng lên. Sự thay đổi điện dung của tụ bên trái C_1 được thể hiện trong Hình 3.7.

Ngược lại, đồng thời khi cảm biến nghiêng về bên phải thì cùng lúc đó tỉ lệ chất lỏng nằm giữa điện cực bên phải và điện cực kích thích giảm đi, kéo theo phân bố các điểm điện thế thấp (màu xanh lá cây) giữa 2 điện cực này giảm đi và phân bố các điểm điện thế cao (màu đỏ cam) tăng lên. Theo công thức (2-1), điện dung tỉ lệ nghịch với

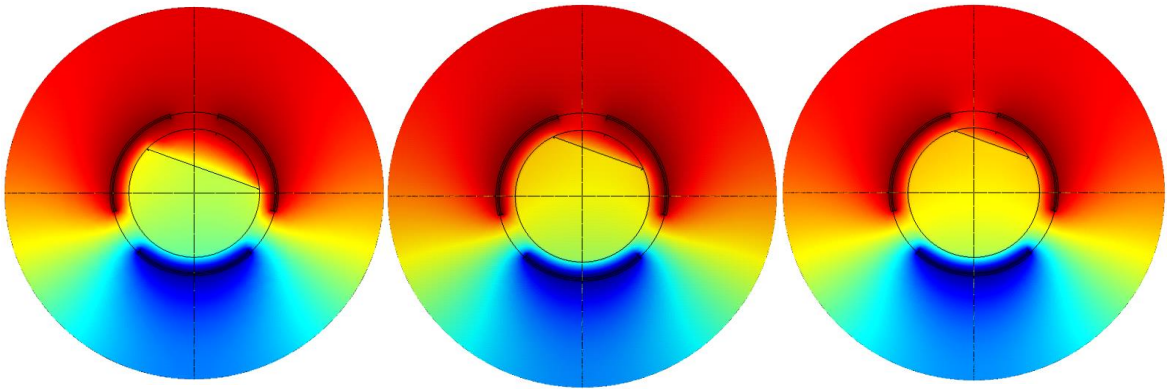
điện thế, do đó điện dung của cặp điện cực bên phải giảm đi. Sự thay đổi điện dung của tụ bên phải C_2 được thể hiện trong Hình 3.7.



Hình 3.7: Kết quả mô phỏng mối quan hệ giữa góc nghiêng và điện dung vi sai giữa C_1 và C_2

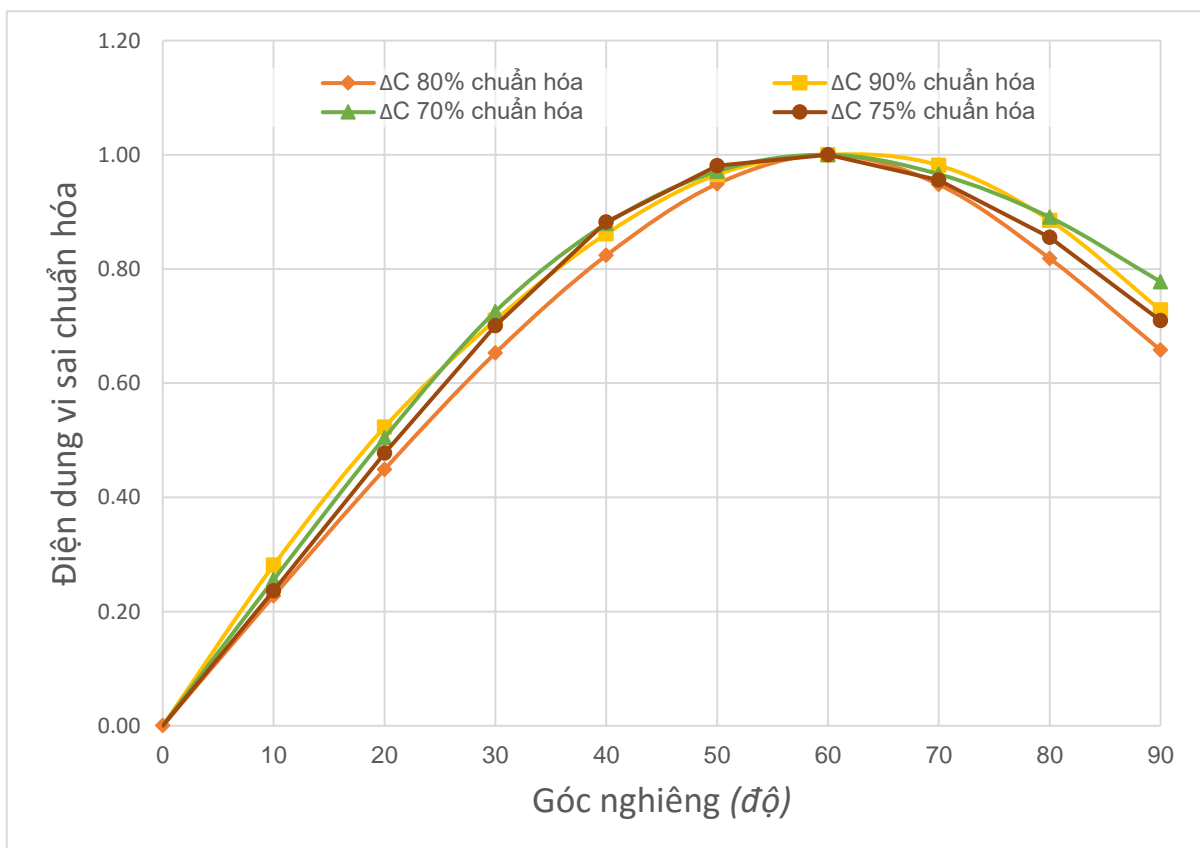
Sử dụng phần mềm mô phỏng Comsol để tính toán sự thay đổi điện dung C_1 , C_2 theo góc nghiêng, từ đó đưa ra sự thay đổi điện dung vi sai $C_1 - C_2$ chuẩn hóa theo góc nghiêng như biểu diễn trong đồ thị Hình 3.7. Mô phỏng được thực hiện trong khoảng góc nghiêng từ 0 tới 180°. Ta thấy điện dung vi sai và góc nghiêng đồng biến trong dải từ 0° tới 60°. Đây là dải góc nghiêng phù hợp cho nhiều ứng dụng trên thực tế.

Bên cạnh đó, để có thể đánh giá được ảnh hưởng của tỉ lệ giữa 2 pha lỏng – khí của cấu trúc điện môi đối với sự thay đổi của điện dung vi sai $C_1 - C_2$ theo góc nghiêng, cảm biến được thực hiện mô phỏng với các tỉ lệ điền đầy chất lỏng trong ống chứa khác nhau, lần lượt là: 75%, 80%, 90%. Hình 3.8 thể hiện mô hình mô phỏng trường tĩnh điện của cảm biến với các mức điền đầy khác nhau. Đối với mỗi một mức điền đầy, mô phỏng được thực hiện trong khoảng góc nghiêng từ 0° tới 90°.



Hình 3.8: Trường tĩnh điện của cảm biến nghiêng điện dung ba điện cực với tỉ lệ cấu trúc 2 pha lỏng – khí lần lượt là: 75%, 80%, 90%

Đồ thị trong Hình 3.9 biểu diễn sự thay đổi điện dung vi sai $C_2 - C_1$ theo góc nghiêng trong 3 trường hợp chất lỏng được điền đầy với tỉ lệ là 75%, 80%, 90%. Ta có thể thấy chất lỏng dung môi không ảnh hưởng lớn đến sự thay đổi điện dung vi sai. Có được kết quả này là do với cấu trúc đo vi sai, các nhiễu đồng pha được loại bỏ.



Hình 3.9: Kết quả mô phỏng quan hệ giữa điện dung vi sai và góc nghiêng, với độ điền đầy chất lỏng khác nhau

Với việc sử dụng chương trình COMSOL, sự thay đổi điện dung của các tụ và điện dung vi sai của cảm biến dưới tác dụng của góc nghiêng đã được khảo sát với các cấu hình khác nhau.

CHƯƠNG 4: CHẾ TẠO, ĐO ĐẶC THỦ NGHIỆM CẢM BIẾN ĐO GÓC NGHIÊNG ĐIỆN TỬ

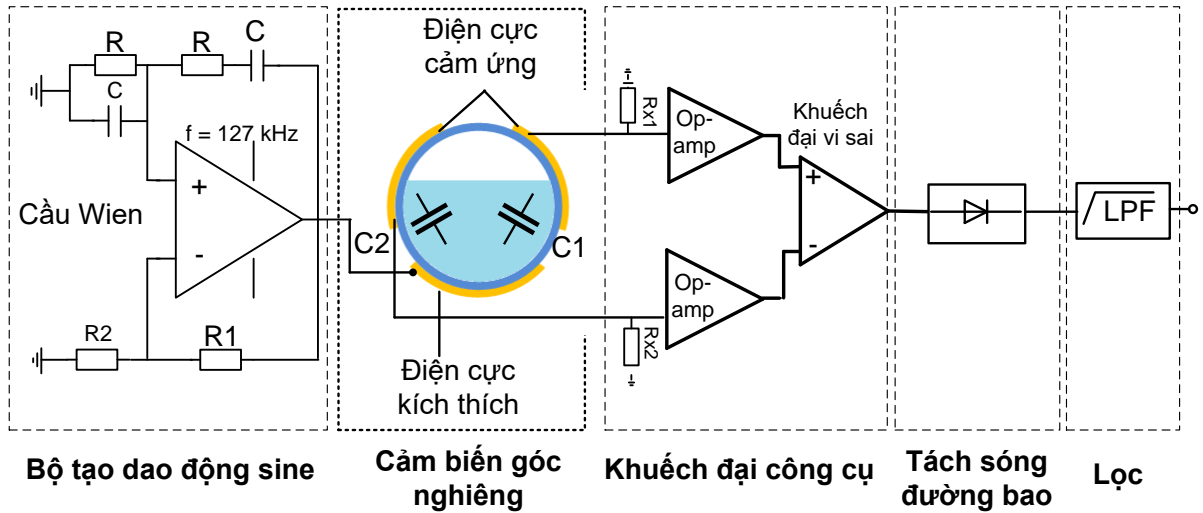
4.1. Mạch điện cảm biến góc nghiêng điện tử

4.1.1. Sơ đồ khối mạch điện cảm biến góc nghiêng điện tử

Cảm biến góc nghiêng kiểu tụ điện vi sai hoạt động dựa trên sự so sánh thay đổi của hai tụ C_1 và C_2 (Hình 4.1). Với cấu trúc ba điện cực, cảm biến chứa một lượng chất lỏng điện môi không đầy ở trong một ống nhựa tạo nên sự thay đổi vị trí tương đối của khối chất lỏng so với ống chứa khi cảm biến nghiêng đi so với mặt phẳng cân bằng. Khi khối chất lỏng thay đổi vị trí dẫn tới thành phần điện môi giữa các điện cực thay đổi, kéo theo giá trị điện dung của tụ C_1 và C_2 thay đổi. Giá trị của hai tụ điện thông qua mạch đo chuyển đổi thành điện áp và được thực hiện khuếch đại vi sai để tính toán sự sai khác. Khi cảm biến ở vị trí cân bằng thì $C_1 = C_2$ dẫn đến tín hiệu ra khuếch đại vi sai bằng 0. Trong trường hợp $C_1 \neq C_2$ thì tín hiệu ra ở khuếch đại vi sai khác không và phụ thuộc vào sự chênh lệch của hai tụ điện.

Hình 4.1 trình bày sơ đồ khối của hệ thống cảm biến góc nghiêng điện tử. Trong thiết kế này, một bộ tạo dao động cầu Viên tạo tín hiệu sin làm đầu vào cho điện cực kích thích của cảm biến, có tần số 127 kHz và biên độ điện áp là 10 V. Tín hiệu sin này được cung cấp tới điện cực kích thích của cảm biến điện dung. Tín hiệu đầu ra của cảm biến từ 2 điện cực cảm ứng cũng là tín hiệu sin và có biên độ thay đổi tỉ lệ với giá trị điện dung của tụ điện tương ứng. Hai tín hiệu này được đưa tới bộ khuếch đại thuật toán thực hiện chức năng tiền khuếch đại từng tín hiệu và khuếch đại vi sai để so sánh 2 tín hiệu. Sau đó, tín hiệu vi sai ở đầu ra bộ khuếch đại thuật toán sẽ được thực hiện tách sóng đường bao và thực hiện lọc thông thấp để loại bỏ thành phần cao tần. Cuối cùng, ở đầu ra của hệ thống cảm biến điện tử là một tín hiệu vi sai một chiều DC có giá trị

điện áp thể hiện sự sai khác ΔC giữa 2 giá trị điện dung tương ứng với 2 điện cực cảm ứng của cảm biến. Tín hiệu này có thể đưa vào các bộ thu thập dữ liệu hoặc bộ chuyển đổi tương tự – số để tính toán ra góc nghiêng tương ứng. Sơ đồ nguyên lý chi tiết của mạch điện cảm biến góc nghiêng điện tử được trình bày trong Hình 4.7 [24].

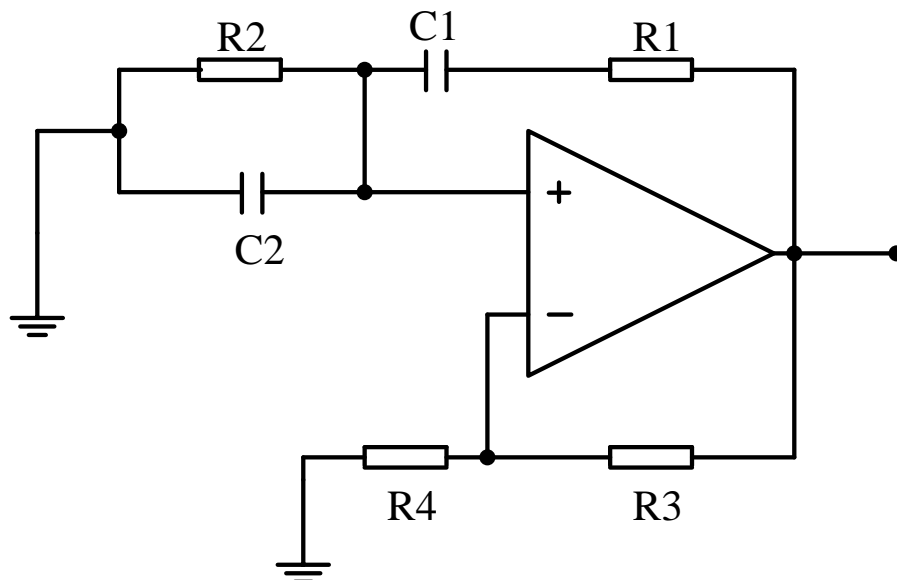


Hình 4.1: Sơ đồ khối mạch điện cảm biến góc nghiêng điện tử

4.1.2. Nguyên lý hoạt động của mạch điện cảm biến góc nghiêng điện tử

a. Mạch phát tín hiệu sin

Hình 4.2 là mạch phát nguồn tín hiệu sin sử dụng mạch dao động cầu Viên, dùng làm tín hiệu đầu vào của hệ thống mạch cảm biến.



Hình 4.2: Mạch phát nguồn tín hiệu sin

Trong đó: $C_1 = C_2 = C$; $R_1 = R_2 = R$. Khuếch đại thuật toán hoạt động ở chế độ khuếch đại không đảo [25]. Tần số tín hiệu ra của mạch dao động này được tính toán theo công thức (4-1) [25]:

$$f = \frac{1}{2\pi RC} \quad (4-1)$$

Điều kiện để mạch có thể dao động là [25]:

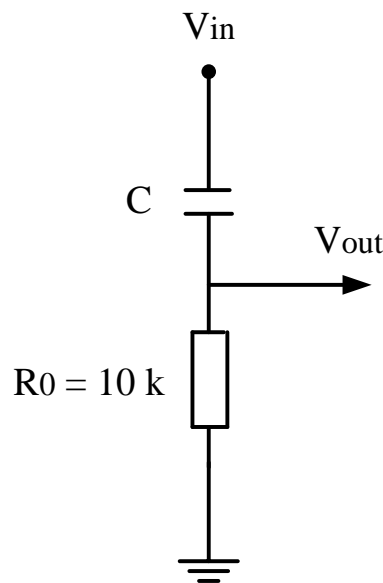
$$1 + \frac{R_3}{R_4} = 3 \quad (4-2)$$

$$\text{hay } R_3 = 2R_4$$

Thiết kế mạch điện cảm biến đo góc nghiêng điện tử được sử dụng trong đề tài lựa chọn giá trị cho linh kiện là $R = 2.2 \text{ k}\Omega$, $C = 560 \text{ pF}$. Theo công thức (4-1), tần số hoạt động của mạch là: 129kHz. Trên thực tế tần số tín hiệu của mạch dao động đo được là 127kHz, điều này xảy ra do sai số của linh kiện sử dụng trong chế tạo mạch điện gây ra.

b. Mạch chuyển đổi điện áp

Trong thiết kế cảm biến góc nghiêng được đề xuất, góc nghiêng được đo thông qua giá trị vi sai giữa 2 tụ điện C_1 và C_2 , vì vậy ta chỉ cần quan tâm tới sự thay đổi ΔC gây ra khi cảm biến nghiêng thay vì giá trị trực tiếp của tụ điện. Để có thể chuyển đổi từ sự thay đổi ΔC sang điện áp, một mạch điện như Hình 4.3 được sử dụng để thực hiện điều chế biên độ tín hiệu sin nguồn V_{in} theo sự thay đổi của điện dung ΔC .



Hình 4.3: Mạch chuyển đổi điện áp

Trong đó:

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

$$V_o = \frac{V_i \cdot R_o}{Z_c + R_o}$$

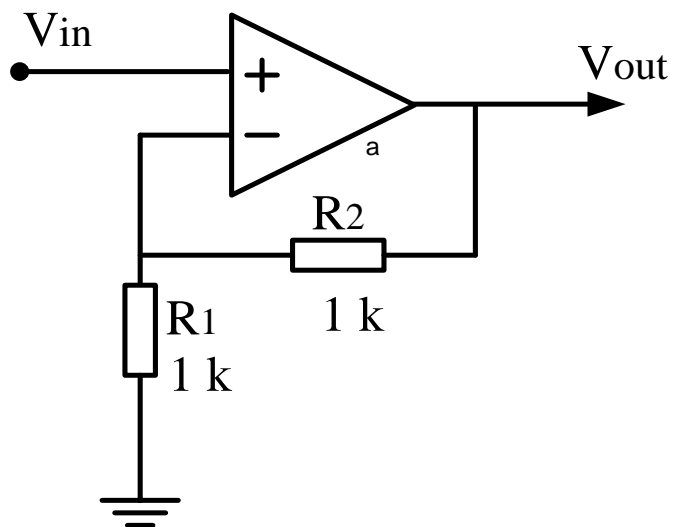
$$|V_o| = \frac{|V_i| \cdot R_o}{\sqrt{Z_c^2 + R_o^2}} \quad (4-3)$$

c. Mạch khuếch đại tín hiệu

Do sự thay đổi giá trị điện dung của cảm biến khi nghiêng là rất nhỏ, tín hiệu ở đầu ra bộ chuyển đổi điện áp được đưa vào bộ tiền khuếch đại trước khi đưa tới bộ khuếch đại vi sai. Hình 4.4 là sơ đồ một mạch khuếch đại không đảo được sử dụng trong hệ thống cảm biến này.

Hệ số khuếch đại của mạch [26]:

$$\frac{V_o}{V_i} \approx 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (4-4)$$

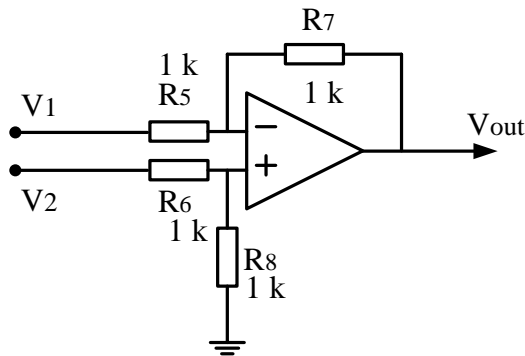


Hình 4.4: Mạch khuếch đại không đảo

d. Mạch khuếch đại vi sai

Tín hiệu từ tụ C_1 và tụ C_2 sau khi thực hiện tiền khuếch đại được đưa vào mạch khuếch đại vi sai như trong Hình 4.5 và thu được thành phần vi sai giữa 2 tín hiệu V_1 và V_2 . Điện áp đầu ra được cho bởi công thức (4-5) [26]:

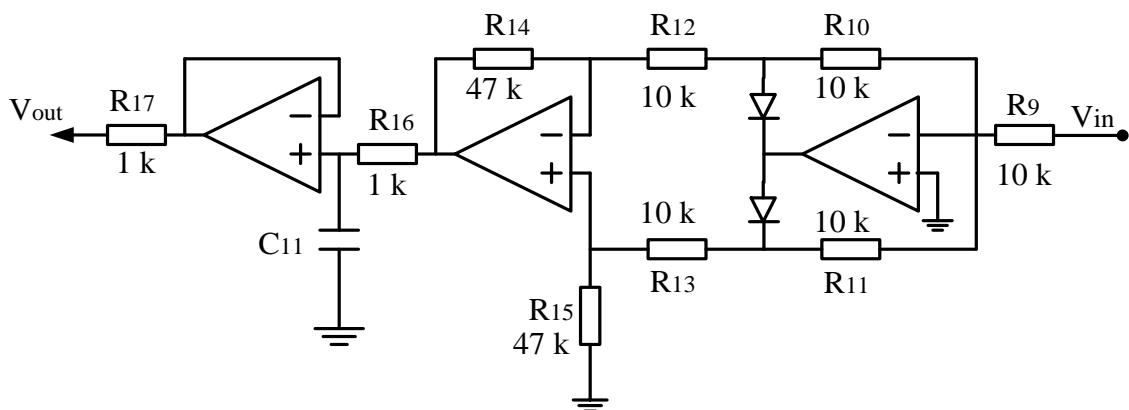
$$V_o = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1) \quad (4-5)$$



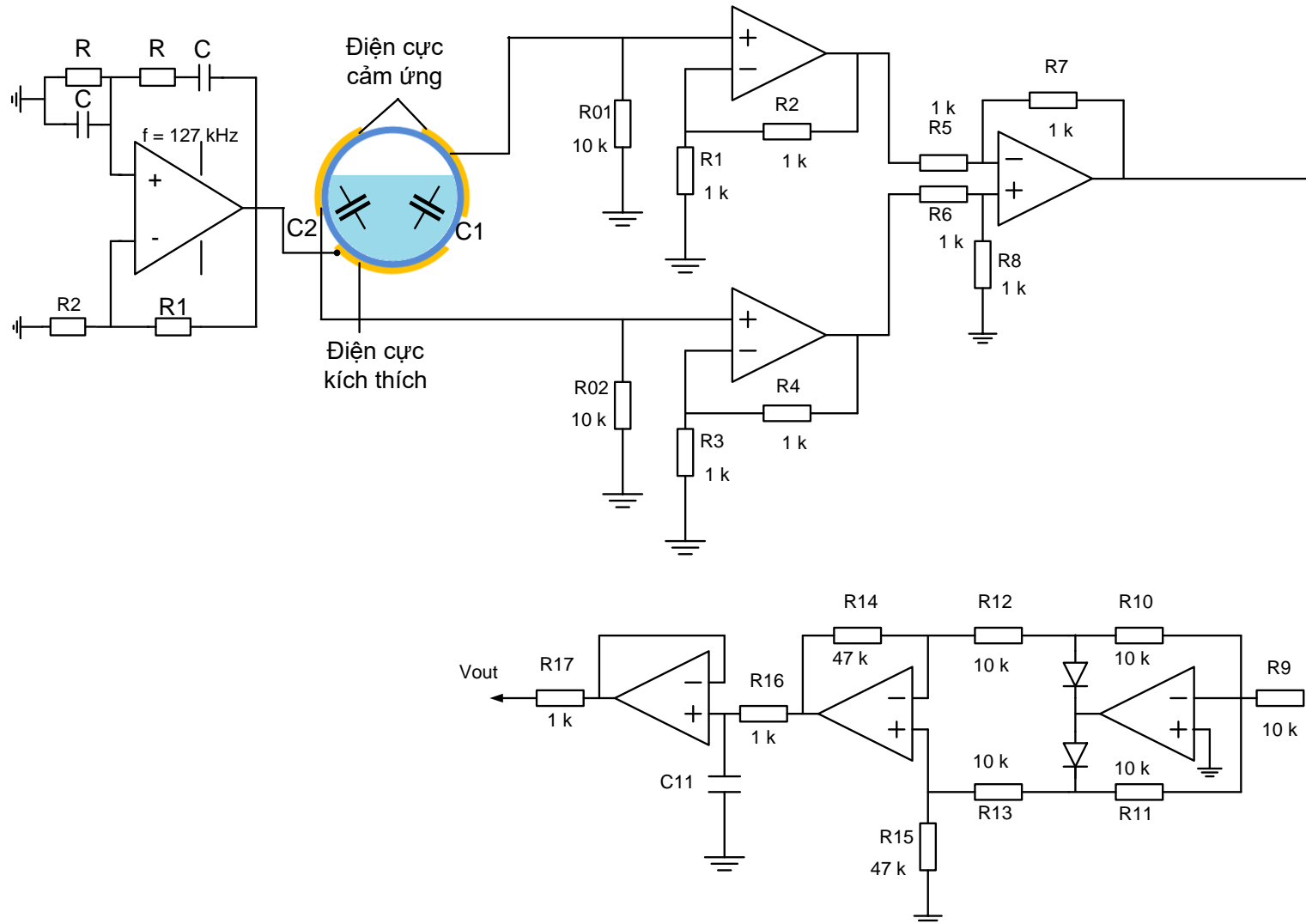
Hình 4.5: Mạch khuếch đại vi sai

e. Mạch tách sóng đường bao và lọc thông thấp

Khi sử dụng nguồn tín hiệu xoay chiều dạng hình sin để làm sóng mang và thực hiện điều biên tín hiệu đó theo thay đổi của cảm biến, dạng tín hiệu đầu ra cũng là dạng hình sin với biên độ tỉ lệ với điện dung thay đổi. Để tách sự thay đổi về biên độ trong tín hiệu ta có thể sử dụng mạch tách sóng đường bao hoặc bộ giải điều chế đồng bộ. Bộ giải điều chế đồng bộ có thể thực hiện được bằng cách kết hợp bộ nhân tương tự giữa tín hiệu điều biên và tín hiệu dao động ở tần số sóng mang, và bộ lọc thông thấp để loại bỏ thành phần 2ω [17]. Hình 4.6 là sơ đồ nguyên lý mạch tách sóng đường bao và lọc thông thấp được sử dụng.



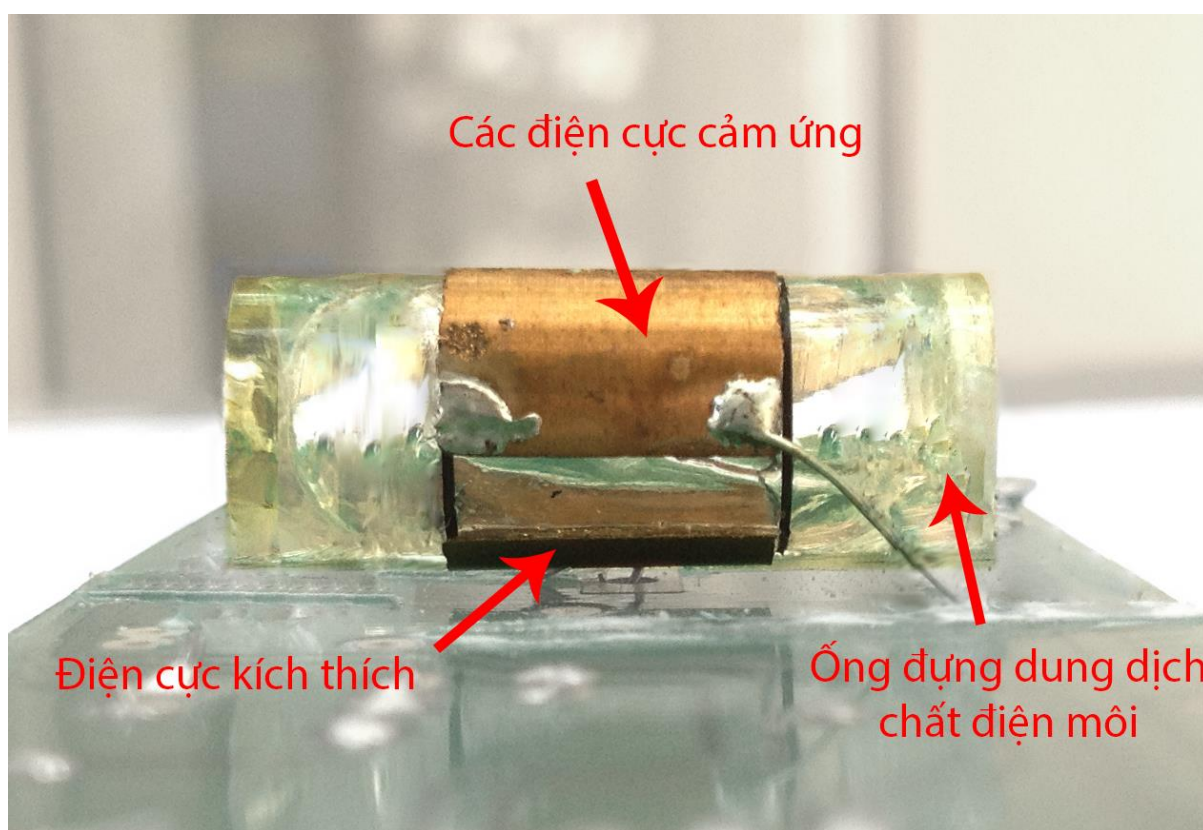
Hình 4.6: Mạch tách sóng đường bao và lọc thông thấp



Hình 4.7: Sơ đồ nguyên lý của mạch điện xử lý tín hiệu của cảm biến góc nghiêng điện tử kiểu điện dung ba cực cấu trúc vi sai

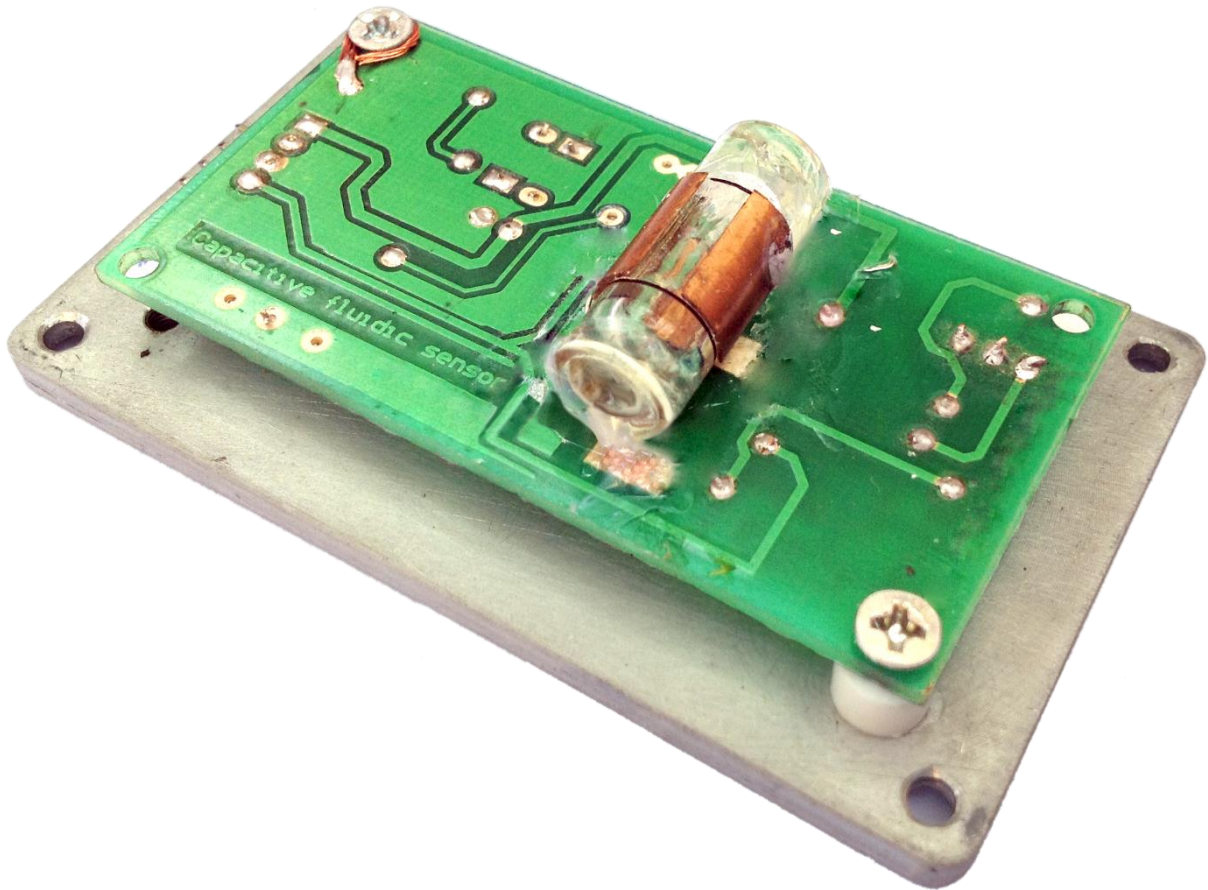
4.2. Thiết lập hệ đo đạc và thử nghiệm

Dựa trên các kết quả mô phỏng thiết kế đã thực hiện, cấu trúc cảm biến đề xuất đã được chế tạo thử nghiệm. Độ chính xác của cảm biến điện dung phụ thuộc lớn vào độ chính xác của quy trình chế tạo như độ phẳng của bề mặt điện cực, độ nghiêng, cạnh sườn, biến dạng và khoảng cách giữa các điện cực. Các điện cực đồng được gia công chính xác bằng công nghệ CNC và gắn lên những vị trí xác định quanh một ống hình trụ trong suốt như trong Hình 4.8. Các thông số kích thước hình học của điện cực được liệt kê trong Bảng 2. Ống nhựa trong suốt giúp cho quá trình căn chỉnh điểm cân bằng (điểm 0) của cảm biến được dễ dàng hơn. Chất lỏng điện môi là rượu được bơm vào ống với dung tích chiếm 75% thể tích ống. Đầu vào được bịt kín sau khi bơm chất lỏng để tránh chất lỏng bị bay hơi.



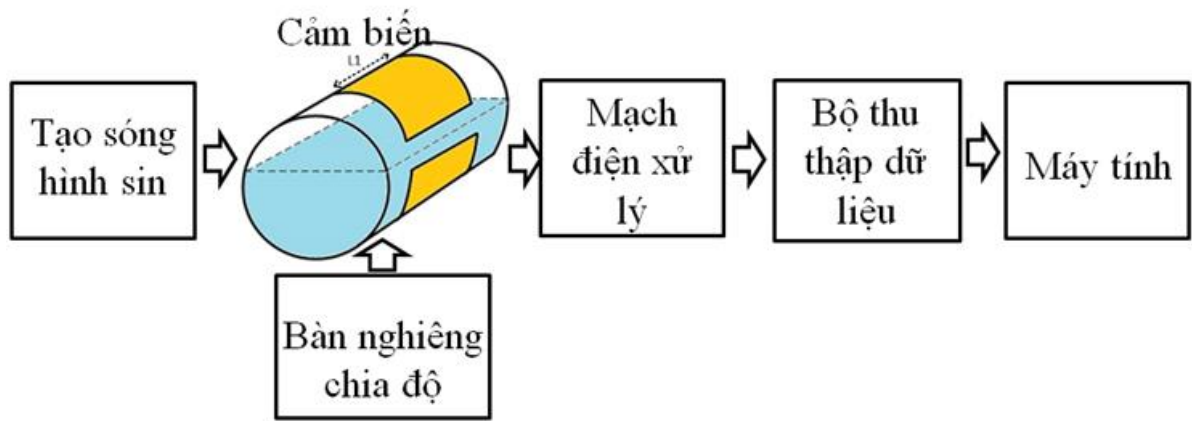
Hình 4.8: Cảm biến góc nghiêng điện tử hai pha lỏng – khí

Mạch điện cảm biến góc nghiêng điện tử như trình bày trong mục 4.1 được thiết kế, chế tạo và sử dụng để thử nghiệm cấu trúc cảm biến được đề xuất trên. Cảm biến được gắn trực tiếp lên mặt sau của mạch điện xử lý tín hiệu nhằm giảm thiểu nhiễu đường dây nối cũng như can nhiễu từ bên ngoài (Hình 4.9). Mạch điện này bao gồm mạch phát tín hiệu sin; khi được cấp nguồn điện áp, mạch điện tự tạo ra tín hiệu kích thích lên cảm biến và thu tín hiệu từ các điện cực cảm ứng của cảm biến, sau đó thực hiện việc xử lý tín hiệu thu được trước khi gửi tới bộ thu thập dữ liệu.

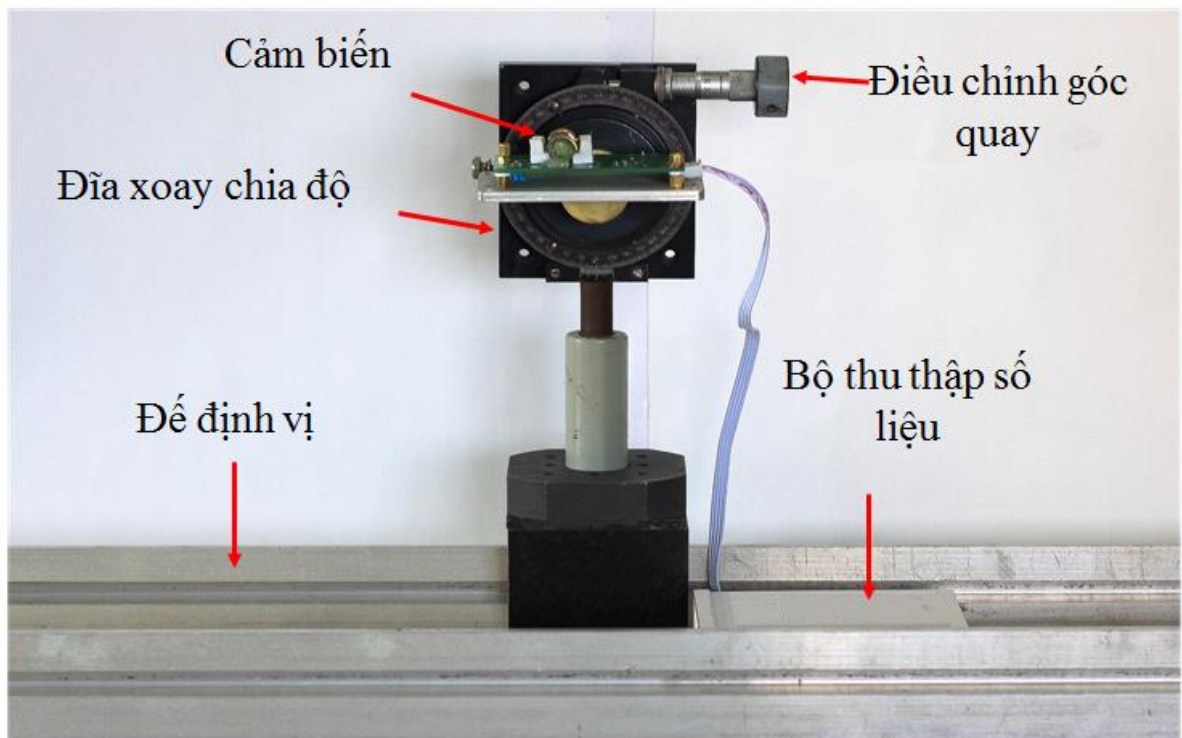


Hình 4.9: Cảm biến góc nghiêng gắn trên mạch điện xử lý tín hiệu

Hệ đo thử nghiệm cảm biến góc nghiêng điện tử được xây dựng như trong Hình 4.10. Hình 4.10(a) mô tả sơ đồ khối của hệ thống. Hệ đo bao gồm mạch cảm biến chứa cảm biến góc nghiêng được đặt trên một mặt phẳng giá đỡ có thể đo được góc nghiêng bằng thước chia độ. Thước chia độ có độ phân giải đến 0.1 độ. Mạch cảm biến bao gồm mạch phát sóng đưa tín hiệu hình sin kích thích vào điện cực kích thích. Tín hiệu đầu ra tại các điện cực cảm ứng của cảm biến sẽ được đưa vào bộ thu thập dữ liệu và hiển sóng trên máy tính. Bằng cách thay đổi góc nghiêng của cảm biến và đọc giá trị trên bảng chia của thước chia độ, tín hiệu đầu ra của bộ thu thập dữ liệu được so sánh và phân tích theo góc nghiêng thực tế đọc được của thước chia độ. Cảm biến được khảo sát góc nghiêng thay đổi trong khoảng từ -180° đến 180° với bước thay đổi là 1 độ. Toàn bộ hệ thống được gá lắp trên một đế định vị cố định trên một mặt phẳng. Trước khi thực hiện đo đạc, toàn bộ hệ thống được cân chỉnh thẳng bằng ở góc 0° . Hình 4.10(b) là hình ảnh thực tế của hệ thống đo thử nghiệm cảm biến góc nghiêng điện tử.



(a)



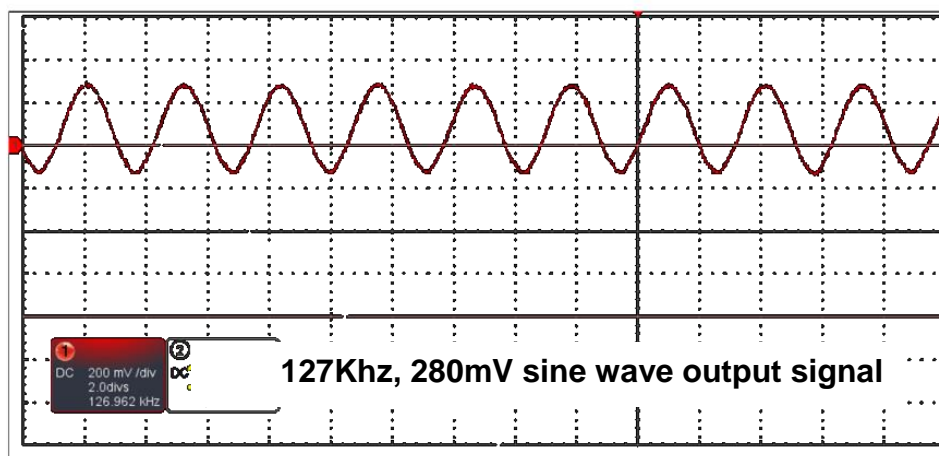
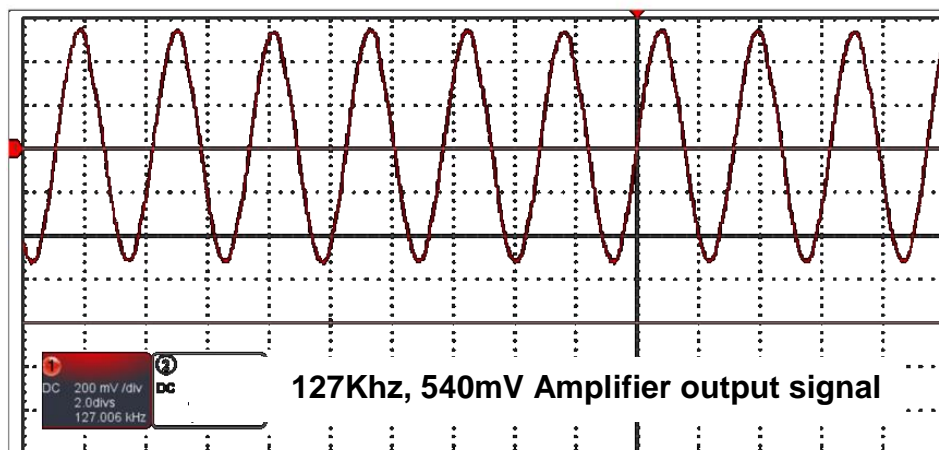
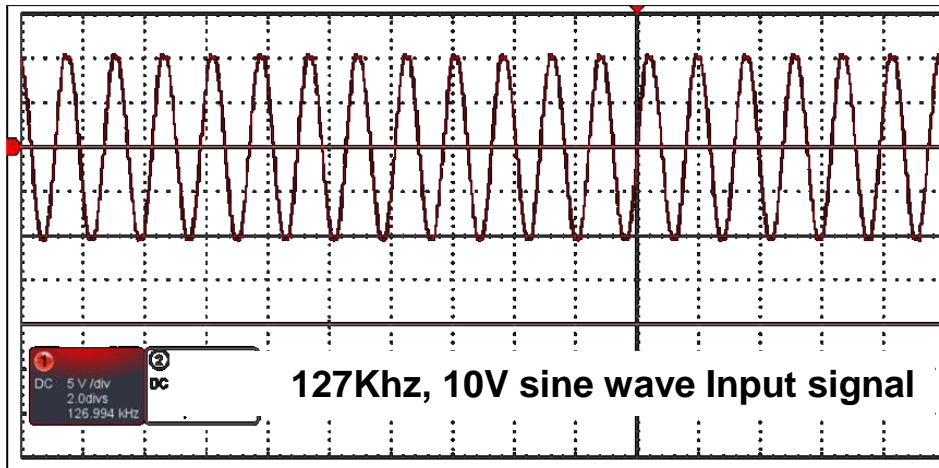
(b)

Hình 4.10: Hệ thống thí nghiệm đánh giá hoạt động cảm biến góc nghiêng;
 (a) Sơ đồ khối hệ thống; (b) Hình ảnh thực tế hệ thống.

4.3. Kết quả đo đạc và thảo luận

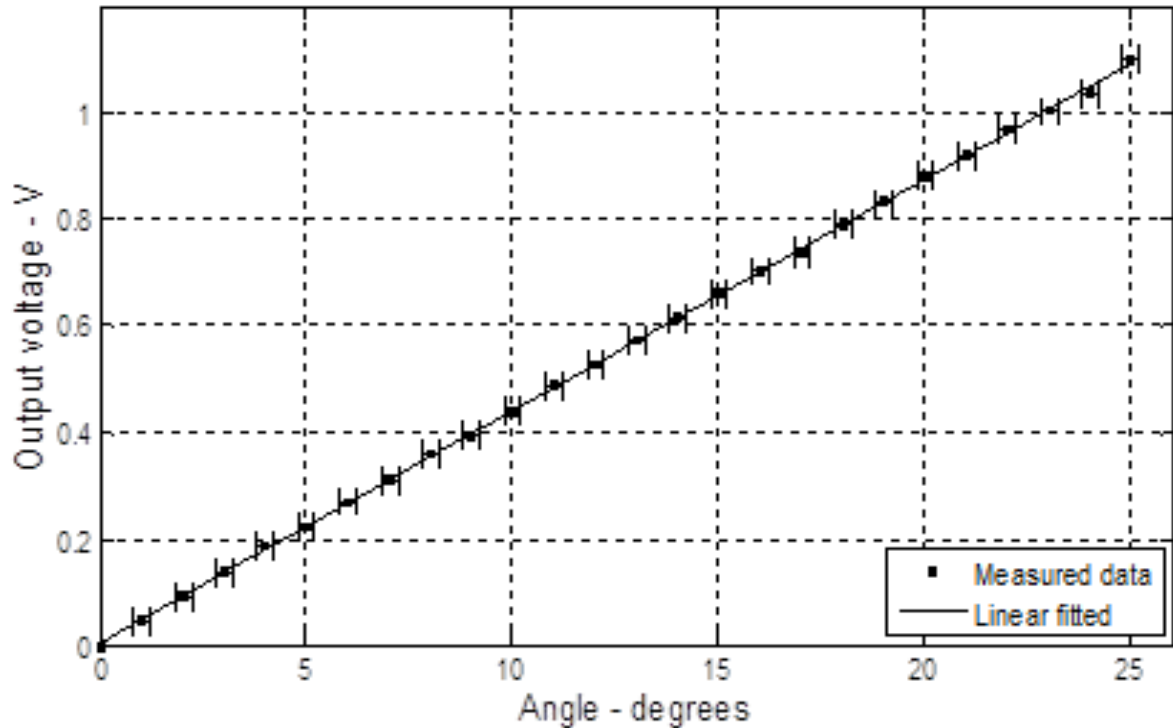
Dữ liệu thu được mô tả các xung tín hiệu vào ra của mạch cảm biến được trình bày trong Hình 4.11. Điện áp vào là tín hiệu sin với tần số 127 kHz, biên độ là 10 V (xem Hình 4.11(a)). Hình 4.11(b) là dạng tín hiệu đầu ra của hai điện cực cảm ứng sau khi qua bộ tiền khuếch đại. Tín hiệu này là tín hiệu sin ban đầu với tần số 127 kHz tuy nhiên biên độ tín hiệu lúc này, sau khi đi qua mạch chuyển đổi điện dung – điện áp (Hình 4.3) và tiền khuếch đại (Hình 4.4), tỉ lệ với giá trị điện dung của các tụ cảm ứng.

Hình 4.11(c) là dạng tín hiệu thu được của hai tín hiệu sau khi được so sánh bằng bộ khuếch đại vi sai. Sự khác nhau về biên độ tín hiệu trên hai kênh tín hiệu này tỉ lệ với góc nghiêng của cảm biến, sự khác nhau đó được thể hiện bằng biên độ của tín hiệu vi sai.



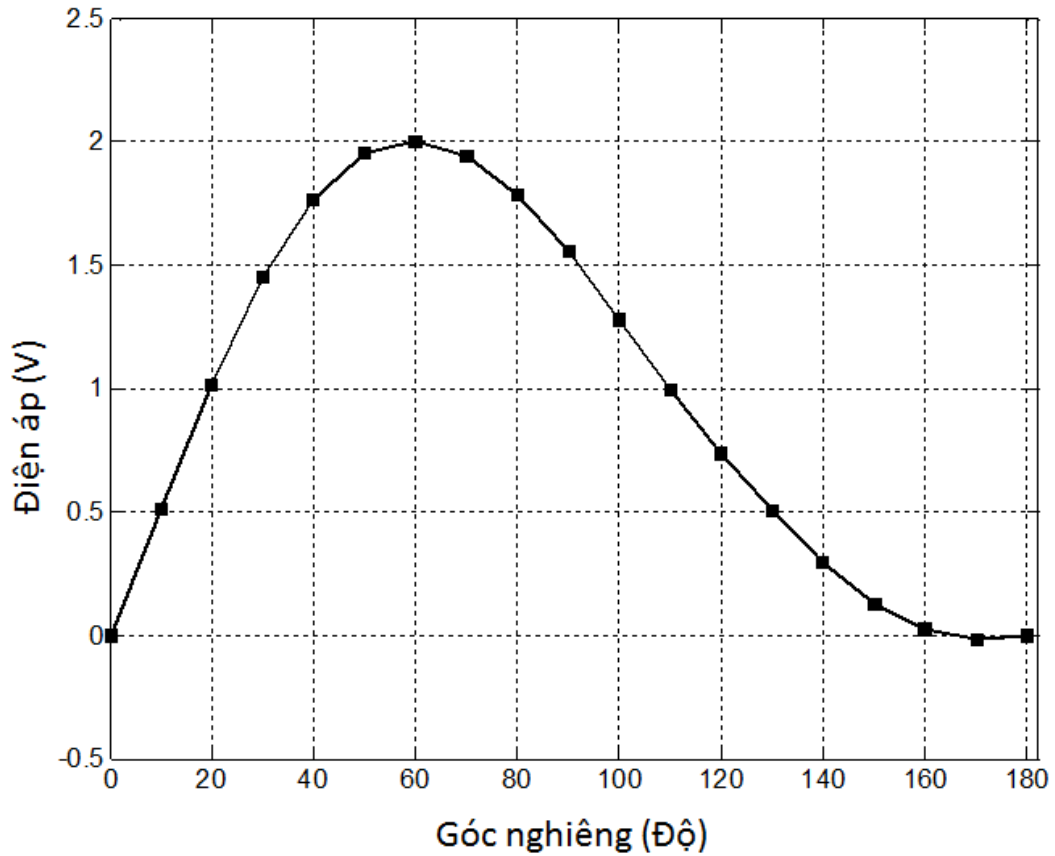
Hình 4.11: Các tín hiệu của mạch cảm biến

Tín hiệu vi sai của 2 kênh tín hiệu sau khi thực hiện tách sóng đường bao thu được biên độ của tín hiệu, sau đó được khuếch đại rồi đi qua bộ thu thập dữ liệu và xử lý trên máy tính. Hình 4.12 biểu diễn kết quả biên độ tín hiệu vi sai đo được khi góc nghiêng thay đổi từ 0° đến 25° . Kết quả là một đường thay đổi tuyến tính của điện áp từ 0V đến 1,09V tương ứng với góc nghiêng từ 0° đến 25° ; và có độ nhạy 40 mV/độ.

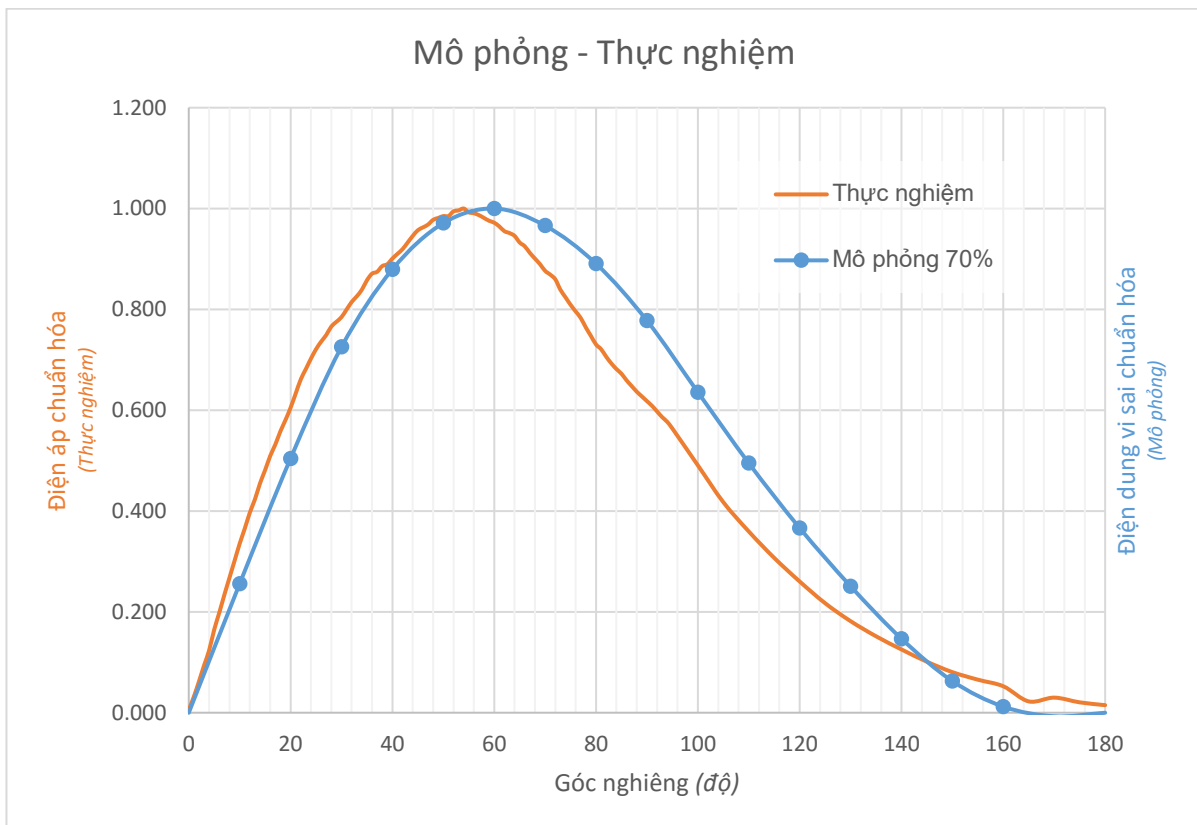


Hình 4.12: Tín hiệu đầu ra phụ thuộc vào dải góc nghiêng từ 0° đến 25°

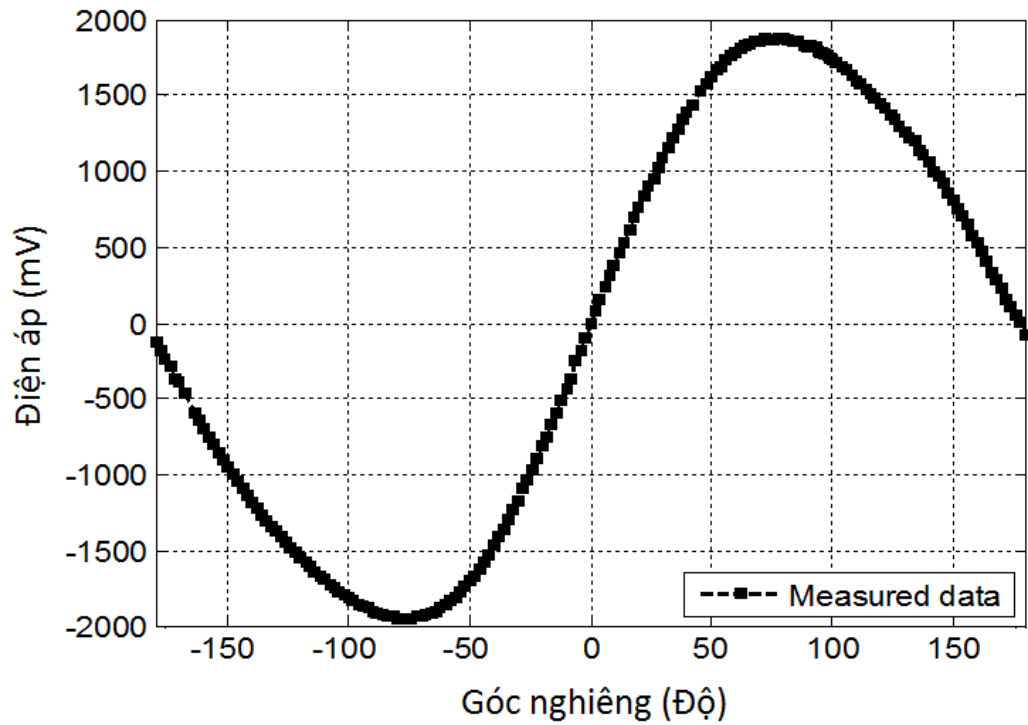
Hình 4.13 là kết quả khảo sát cảm biến trong dải từ 0° tới 180° . Đường phụ thuộc của tín hiệu đầu ra trở nên phi tuyến với góc nghiêng lớn hơn 50° như trong hình vẽ. Theo đó, độ nhạy cảm biến giảm dần khi góc nghiêng lớn trên 50° . So sánh kết quả này với kết quả tính toán mô phỏng trong cùng dải 0° tới 180° cho thấy kết quả thực nghiệm rất gần với kết quả mô phỏng (Hình 4.14). Kết quả khảo sát hoạt động của cảm biến trong dải -180° đến $+180^\circ$ được trình bày trong Hình 4.15. Ta có thể thấy cảm biến hoạt động tốt với góc nghiêng theo cả hai chiều, cùng chiều (góc nghiêng mang giá trị dương) và ngược chiều kim đồng hồ (góc nghiêng mang giá trị âm); lỗi ra cảm biến đối xứng qua điểm 0° .



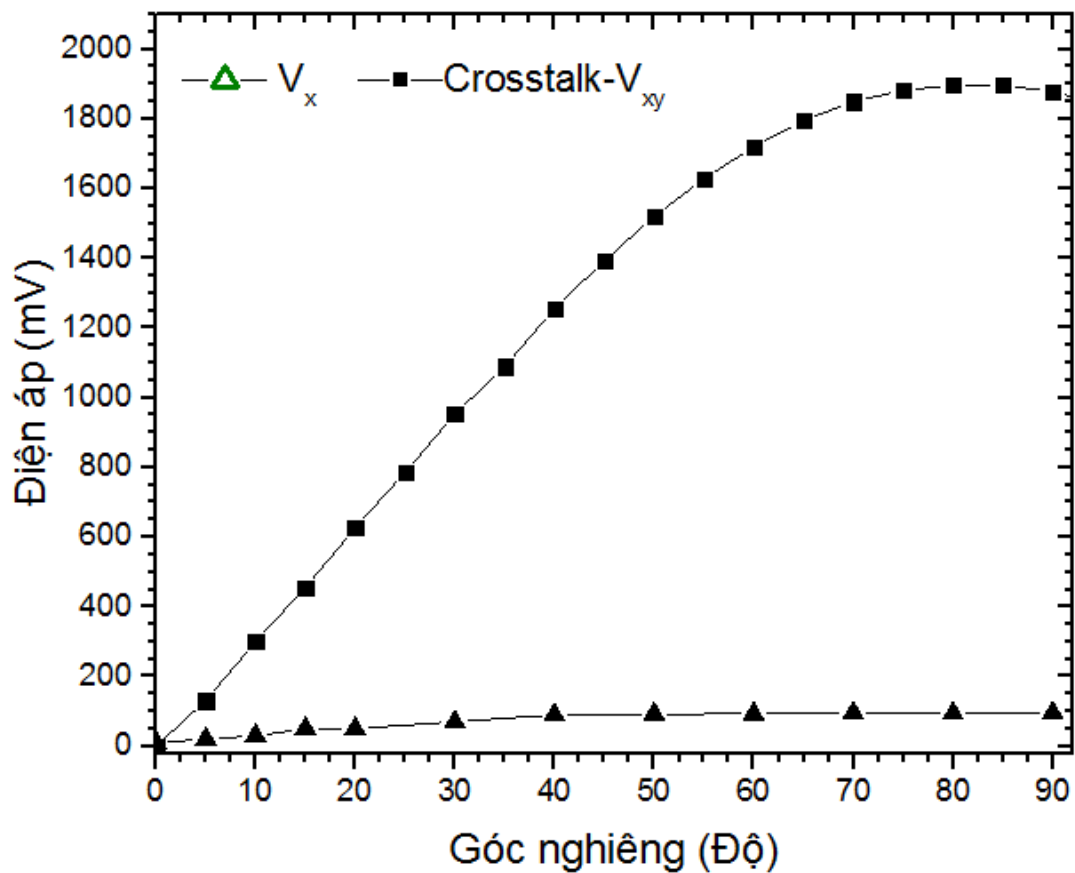
Hình 4.13: Sự thay đổi tín hiệu đầu ra khi góc nghiêng thay đổi từ 0° đến 180°



Hình 4.14: So sánh kết quả mô phỏng và đo đạc thực nghiệm (mức 70%)



Hình 4.15: Sự thay đổi tín hiệu đầu ra khi góc nghiêng thay đổi từ -180° đến 180°



Hình 4.16: Đồ thị biểu diễn ảnh hưởng góc nghiêng trên trục vuông góc với trục cảm biến tới lỗi ra (crosstalk)

Trong thực tế, thông thường các phép đo góc nghiêng cần các cảm biến hoạt động trong khoảng từ 0° đến 45° . Như vậy, cảm biến này hoàn toàn có thể đáp ứng được các yêu cầu đo trong thực tế. Cấu trúc 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° . Tuy nhiên, một số trường hợp đặc biệt trong thực tế có thể yêu cầu cảm biến góc nghiêng với dải đo lớn hơn. Để đạt được yêu cầu đo được góc nghiêng lớn với điện áp ra tuyến tính, 2 hoặc 3 cảm biến như thiết kế có thể được ghép với nhau với một góc lệch (offset) nhất định, tạo ra một hệ thống cảm biến phức hợp nhưng có độ chính xác cao hơn.

Hình 4.14 cho thấy sự khác nhau (sai số) giữa kết quả mô phỏng và kết quả đo thực nghiệm. Nguyên nhân dẫn đến sai số này là do mô hình mô phỏng là một mô hình lý tưởng, trong đó có lý tưởng hoá nhiều thông số cũng như ảnh hưởng của các nguồn nhiễu. Ngoài ra một số các hệ số sử dụng trong mô phỏng được tham khảo từ các thông số vật liệu trong các tài liệu kỹ thuật của vật liệu. Các giá trị này có thể đâu đó chưa thật khớp với các giá trị của hệ thống thực nghiệm.

Tuy nhiên, dạng tín hiệu kết quả đo mô phỏng và thực nghiệm giống nhau, điều này chứng tỏ mô hình mô phỏng phù hợp với thực tế. Các khác biệt giữa thực nghiệm và mô phỏng không lớn và có thể chấp nhận được, nhất là trong dải đồng biến của tín hiệu lỗi ra với góc nghiêng. Do đó các mô hình mô phỏng có thể được sử dụng để tối ưu hoạt động của hệ thống.

Bên cạnh đó, ảnh hưởng của góc nghiêng theo trục vuông góc với trục cảm nhận của cảm biến cũng đã được khảo sát (crosstalk). Kết quả đo được trình bày trên Hình 4.16. Có thể thấy với cấu trúc cảm biến đề xuất, ảnh hưởng của crosstalk là không đáng kể. Dựa trên những kết quả ban đầu thu được này có thể phát triển kết hợp 2 cảm biến đo góc nghiêng đặt vuông góc với nhau để tạo hệ thống đo góc nghiêng 2 trục.

KẾT LUẬN

Luận văn trình bày thiết kế và chế tạo một hệ cảm biến góc nghiêng điện tử cấu trúc điện môi hai pha lỏng – khí. Khi vị trí của bọt khí thay đổi do tác dụng của gia tốc trọng trường thì giá trị điện dung của cảm biến thay đổi theo từ đó tính được góc nghiêng của cảm biến. Tụ điện có cấu tạo là 3 bản cực bằng đồng, mỗi điện cực có chiều dài 11.0 mm, khoảng cách giữa các điện cực là 1.0 mm. Ưu điểm của cấu trúc này là loại bỏ được nhiễu chung trong kênh dẫn do các điện cực được thiết kế trên cùng một kênh dẫn, và với thiết kế mạch nêu trên, tín hiệu từ hai điện cực đầu ra của cảm biến sau khi qua bộ khuếch đại vi sai sẽ loại bỏ được tối ưu các nhiễu đường dây, nhiễu chung ở hai kênh đặc biệt là nhiễu điện từ, nhiễu 50 Hz.

Các kết quả đo ban đầu cho thấy tín hiệu đầu ra ổn định, đồng biến với góc nghiêng trong dải -90° đến $+90^\circ$, với độ tuyến tính cao trong dải -25° đến $+25^\circ$. Cảm biến có độ nhạy 40 mV/độ với độ phân dải 0.1 độ. Cảm biến hoạt động dựa trên nguyên lý vi sai, do đó về lý thuyết cảm biến không bị tác động của can nhiễu đồng pha. Với những tính năng và dải làm việc này, cảm biến có thể ứng dụng đo sự bằng của các khí tài quân sự, theo dõi dao động của tàu thuyền và nhiều ứng dụng tiềm năng khác.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA TÁC GIẢ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN VĂN

[1] Dang Dinh Tiep, Bui Ngoc My, Vu Quoc Tuan, Pham Quoc Thinh, Tran Minh Cuong, Bui Thanh Tung, Chu Duc Trinh, “Tilt Sensor Based on Three Electrodes Dielectric Liquid Capacitive Sensor” *2016 IEEE Sixth International Conference on Communications and Electronics* (đã được chấp nhận).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] S. M. Kuo and C. H. Lin, "Micro-impedance inclinometer with wide-angle measuring capability and no damping effect," *Sensors and Actuators, A: Physical*, vol. 143, no. 1, pp. 133-119, 2008.
- [2] D. Benz, T. Botzelmann, H. Kück and D. Warkentin, "On low cost inclination sensors made from selectively metallized polymer," *Sens. Actuators Phys.*, vol. 123–124, pp. 18-22, 2008.
- [3] Y.-C. Wang, L.-H. Shyu, E. Manske, C.-P. Chang and S.-S. Lin, "Automatic Calibration System for Precision Angle Measurement Devices," *Int. J. Autom. Smart Technol.*, vol. 4, no. 3, pp. 163-167, Sep. 2014.
- [4] J. A. Westphal, M. A. Carr, W. F. Miller and D. Dzurisin, "Expendable bubble tiltmeter for geophysical monitoring," *Rev. Sci. Instrum.*, vol. 54, no. 4, pp. 415-418, 1983.
- [5] Z. Fuxue, "Natural convection gas pendulum and its application in accelerometer and tilt sensor," *Progress in Natural Science*, vol. 15, no. 9, pp. 857-860, 2015.
- [6] L. Zhao and E. Yeatman, "Micro capacitive tilt sensor for human body movement detection," *Wearable and Implantable Body Sensor*, pp. 195-200, 2007.
- [7] P. M. Moubarak and P. Ben-Tzvi, "Design and analysis of a new piezoelectric MEMS tilt sensor," *ROSE 2011 - IEEE Int. Symp. Robot. Sens. Environ. Proc.*, pp. 83-88, 2011.

- [8] S. Das, "A Simple, Low Cost Optical Tilt Sensor," *Int. J. Electron. Electr. Eng.*, vol. 2, no. 3, pp. 235-241, 2014.
- [9] Y.-P. Tang and C.-G. Chen, "Design of Omni-Directional Tilt Sensor Based on Machine Vision," *J. Sens. Technol.*, vol. 01, no. 04, pp. 108-115, 2011.
- [10] C. H. Lee and S. S. Lee, "Study of capacitive tilt sensor with metallic ball," *ETRI J.*, vol. 36, no. 3, pp. 361-366, 2014.
- [11] B. Salvador, A. Luque and J. M. Quero, "Microfluidic capacitive tilt sensor using PCB-MEMS," *Ind. Technol. ICIT 2015 IEEE Int. Conf. On*, pp. 3356-3360, 2015.
- [12] J. Guo, P. Hu and J. Tan, "Analysis of a Segmented Annular Coplanar Capacitive Tilt Sensor with Increased Sensitivity," *Sensors*, vol. 16, no. 2, p. 133, 2016.
- [13] A. H. Robbins and W. C. Miller, *Circuit analysis: Theory and practice*, Albany: Delmar, 2000.
- [14] A. Heidary, "A Low-Cost Universal Integrated Interface for Capacitive Sensors," *Master's thesis*, 2010.
- [15] N. N. Viet, "Fluidic channel detection system using a differential C4D structure," University of Engineering and Technology, Vietnam National University, Hanoi, 2015.
- [16] T. H. Glisson, *Introduction to Circuit Analysis and Design*, Springer Science Business Media, 2011.
- [17] S. D. Senturia, *Microsystem design*, Kluwer academic publishers, 2002.
- [18] M. C. Hegg and A. V. Mamishev, "Influence of Variable Plate Separation on Fringing Electric Fields in Parallel-Plate Capacitors," *IEEE*, 2004.
- [19] P. Gründler, *Chemical Sensors*, Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.
- [20] R. Pallás-Areny and J. G. Webster, *Sensors and signal conditioning*, New York: Wiley, 2001.
- [21] R. A. Serway and J. W. Jewett, *Physics for scientists and engineers*, Scotland: Thomson, 2004.

- [22] D. D. Tiep, B. N. My, V. Q. Tuan, P. Q. Thinh, T. M. Cuong, B. T. Tung and C. D. Trinh, "Tilt Sensor Based on Three Electrodes Dielectric Liquid Capacitive Sensor," *2016 IEEE Sixth International Conference on Communications and Electronics (đã được chấp nhận)*.
- [23] J. O. Wilkes, "Introduction to COMSOL Multiphysics," 2009.
- [24] N. Đ. Hải, V. Q. Tuấn, P. Q. Thịnh and C. Đ. Trình, "Hệ thống cảm biến giọt chất lỏng trong kênh dẫn," *Hội nghị quốc gia về Điện tử - Truyền thông*, 2013.
- [25] M. H. Rashid, *Microelectronic Circuits Analysis and Design*, 2nd ed.
- [26] P. Gray and R. Meyer, *Analysis and Design of Analog Integrated Circuits*, 5th ed.