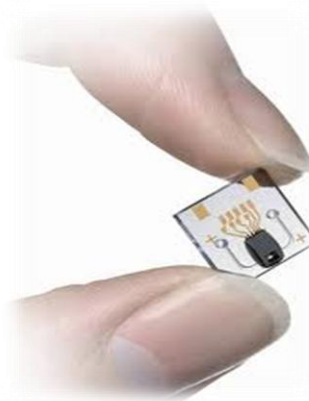


Bài giảng Kỹ Thuật Cảm Biến (sensors)

Hoang Si Hong

-----2011-----

**Faculty of Electrical Eng., Hanoi Univ. of Science and Technology (HUST),
Hanoi, VietNam**





Nguồn tham khảo

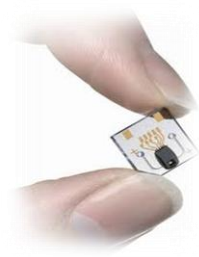
Note: Bài giảng môn học này được tham khảo, trích dẫn và lược dịch từ các nguồn sau:

✓ Sách

- Kỹ thuật đo lường các đại lượng điện tập 1, 2- Phạm Thượng Hàn, Nguyễn Trọng Quế....
- Các bộ cảm biến trong đo lường-Lê Văn Doanh...
- Các bộ cảm biến-Nguyễn Tăng Phô
- Đo lường điện và các bộ cảm biến: Ng.V.Hoà và [Hoàng Sĩ Hồng](#)
- Sensor technology handbook (edited by JON WILSON)
- Elements of Electronic Instrumentation and Measurement (Prentice-Hall Company)
- Sách giải thích đơn vị đo lường hợp pháp của Việt Nam

✓ Bài giảng và website:

- Bài giảng kỹ thuật cảm biến-[Hoàng Sĩ Hồng-BKHN\(2005\)](#)
- Bài giảng Cảm biến và kỹ thuật đo:P.T.N.Yến, Ng.T.L.Hương –BKHN (2010)
- Bài giảng MEMs ITIMS – BKHN
- Một số bài giảng về cảm biến và đo lường từ các trường đại học KT khác ở Việt Nam
- Website: sciendirect/sensors and actuators A and B



Nội dung môn học và mục đích

Nội dung

- Chapter 1: Khái niệm chung về Cảm biến (2b)
- Chapter 2: Cảm biến điện trở (2b)
- Chương 3: Cảm biến đo nhiệt độ (2b)
- Chương 4: Cảm biến quang (2b) và siêu âm
- Chương 5: **Cảm biến tĩnh điện (2b) và một số cảm biến tiệm cận**
- Chương 6: Cảm biến Hall và hoá điện
- Chương 7: Cảm biến và PLC(1b)

Mục đích: nắm được cấu tạo, nguyên lý hoạt động và ứng dụng của các loại cảm biến thông dụng trong công nghiệp và đời sống. Nắm được xu thế phát triển chung của công nghệ cảm biến trên thế giới.



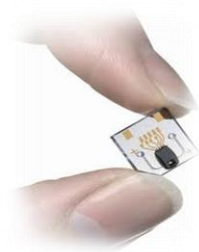
Chương 5: Cảm biến tĩnh điện và tiệm cận

Nội dung

- Cảm biến điện dung và tiệm cận
- Cảm biến áp điện



- Thụ động hay chủ động ?
- Khoảng cách phát hiện ?



Khái niệm và phân loại của cảm biến điện dung

1- Các cảm biến tụ điện đơn

Các cảm biến tụ điện đơn là một tụ điện phẳng hoặc hình trụ có một bản cực gắn cố định (bản cực tĩnh) và một bản cực di chuyển (bản cực động) liên kết với vật cần đo. Khi bản cực động di chuyển sẽ kéo theo sự thay đổi điện dung của tụ điện.

- Đối với cảm biến hình 4.13a: dưới tác động của đại lượng đo X_V , bản cực động di chuyển, khoảng cách giữa các bản cực thay đổi, kéo theo điện dung tụ điện biến thiên.

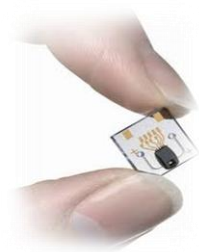
$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 s}{\delta}$$

ϵ - hằng số điện môi của môi trường.

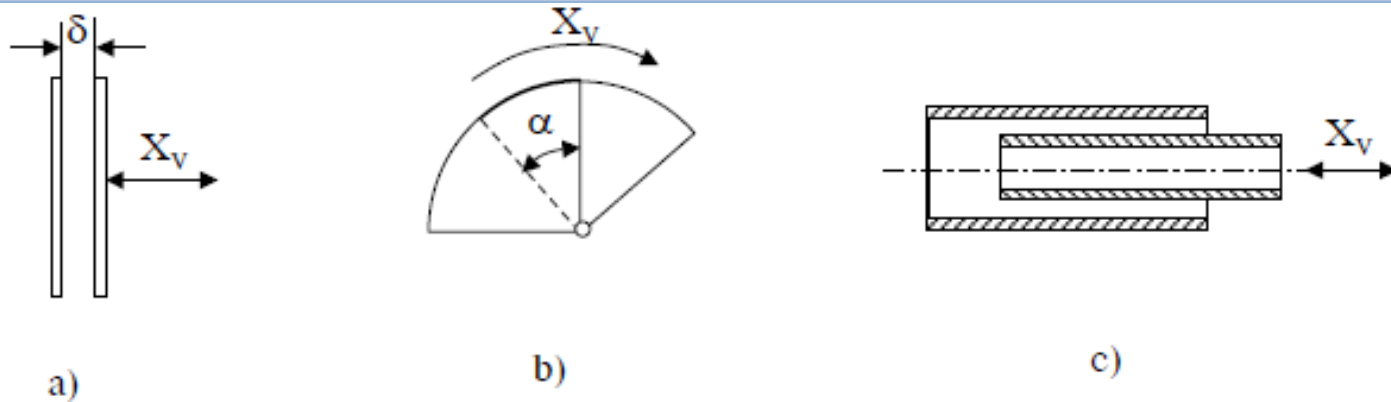
ϵ_0 - hằng số điện môi của chân không.

s - diện tích nằm giữa hai điện cực.

δ - khoảng cách giữa hai bản cực.



Cảm biến điện dung

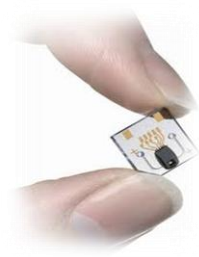


Hình 4.13 Cảm biến tụ điện đơn

- Đối với cảm biến hình 4.13b: dưới tác động của đại lượng đo X_v , bản cực động di chuyển quay, diện tích giữa các bản cực thay đổi, kéo theo sự thay đổi của điện dung tụ điện.

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{\delta} = \frac{\epsilon_0 \pi r^2}{360 \delta} \cdot \alpha \quad (4.11)$$

α - góc ứng với phần hai bản cực đối diện nhau.



Cảm biến điện dung

Đối với cảm biến hình 4.13c: dưới tác động của đại lượng đo X_v , bản cực động di chuyển thẳng dọc trục, diện tích giữa các bản cực thay đổi, kéo theo sự thay đổi của điện dung.

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0}{\log(r_2/r_1)} \cdot l \quad (4.12)$$

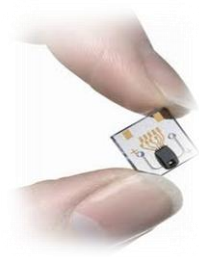
Xét trường hợp tụ điện phẳng, ta có:

$$C = \frac{\epsilon s}{\delta}$$

$$dC = \frac{\partial C}{\partial \epsilon} d\epsilon + \frac{\partial C}{\partial s} ds + \frac{\partial C}{\partial \delta} d\delta$$

Đưa về dạng sai phân ta có:

$$\Delta C = \frac{s_0}{\delta_0} \Delta \epsilon + \frac{\epsilon_0}{\delta_0} \Delta s - \frac{\epsilon_0 s_0}{(\delta_0 + \Delta \delta)^2} \Delta \delta \quad (4.13)$$



Cảm biến điện dung

Khi khoảng cách giữa hai bản cực thay đổi ($\epsilon = \text{const}$ và $s = \text{const}$), độ nhạy của cảm biến:

$$S_{C\delta} = \frac{\Delta C}{\Delta \delta} = -\frac{\epsilon_0 s_0}{(\delta_0 + \Delta \delta)^2} \quad (4.14)$$

Khi diện tích của bản cực thay đổi ($\epsilon = \text{const}$ và $\delta = \text{const}$), độ nhạy của cảm biến:

$$S_{Cs} = \frac{\Delta C}{\Delta s} = \frac{\epsilon_0}{\delta_0} \quad (4.15)$$

Khi hằng số điện môi thay đổi ($s = \text{const}$ và $\delta = \text{const}$), độ nhạy của cảm biến:

$$S_{C\epsilon} = \frac{\Delta C}{\Delta \epsilon} = \frac{s_0}{\delta_0} \quad (4.16)$$

Nếu xét đến dung kháng:

$$Z = \frac{1}{\omega C} = \frac{\delta}{\omega \epsilon s}$$
$$dZ = \frac{\partial Z}{\partial \epsilon} d\epsilon + \frac{\partial Z}{\partial s} ds + \frac{\partial Z}{\partial \delta} d\delta$$

Cảm biến điện dung

Đưa về dạng sai phân:

$$\Delta Z = -\frac{\delta_0}{\omega s_0 (\varepsilon_0 + \Delta \varepsilon)^2} \Delta \varepsilon - \frac{\delta_0}{\omega \varepsilon_0 (s_0 + \Delta s)^2} \Delta s + \frac{1}{\omega \varepsilon_0 s_0} \Delta \delta$$

Tương tự trên ta có độ nhạy của cảm biến theo dung kháng:

$$S_{Z\varepsilon} = -\frac{\delta_0}{\omega s_0 (\varepsilon_0 + \Delta \varepsilon)^2} \quad (4.17)$$

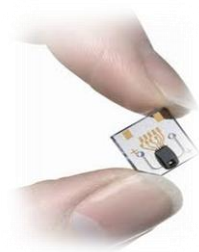
$$S_{Zs} = -\frac{\delta_0}{\omega \varepsilon_0 (s_0 + \Delta s)^2} \quad (4.18)$$

$$S_{Z\delta} = \frac{1}{\omega \varepsilon_0 s_0} \quad (4.19)$$

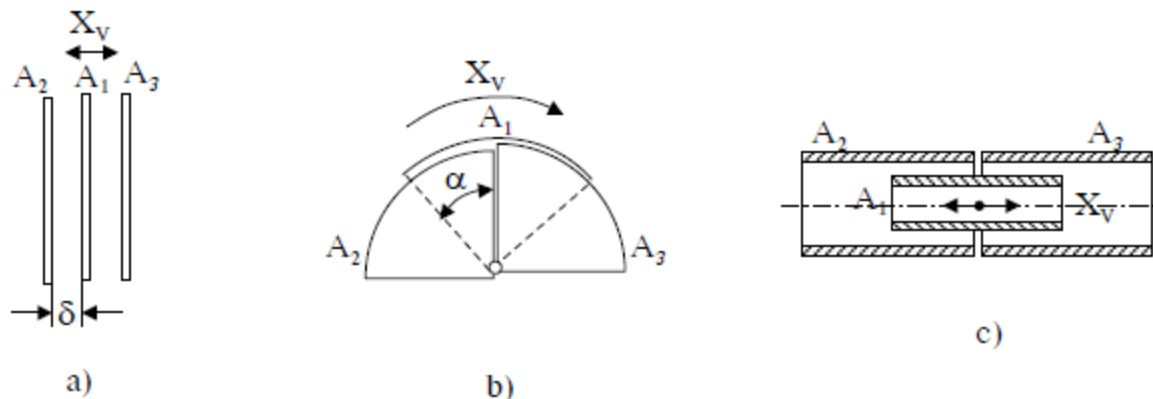
Từ các biểu thức trên có thể rút ra:

- Biến thiên điện dung của cảm biến tụ điện là hàm tuyến tính khi điện tích bản cực và hằng số điện môi thay đổi nhưng phi tuyến khi khoảng cách giữa hai bản cực thay đổi.
- Biến thiên dung kháng của cảm biến tụ điện là hàm tuyến tính khi khoảng cách giữa hai bản cực thay đổi nhưng phi tuyến khi điện tích bản cực và hằng số điện môi thay đổi.

Ngoài ra giữa hai bản cực khi có điện áp đặt vào sẽ phát sinh lực hút, lực này cần phải nhỏ hơn đại lượng đo.



Cảm biến điện dung tụ kép vi sai



Hình 4.14 Cảm biến tụ kép vi sai

Tụ kép vi sai có khoảng cách giữa các bản cực biến thiên dịch chuyển thẳng (hình 4.14a) hoặc có diện tích bản cực biến thiên dịch chuyển quay (hình 4.14b) và dịch chuyển thẳng (hình 4.14c) gồm ba bản cực. Bản cực động A_1 dịch chuyển giữa hai bản cực cố định A_2 và A_3 tạo thành cùng với hai bản cực này hai tụ điện có điện dung C_{21} và C_{31} biến thiên ngược chiều nhau.

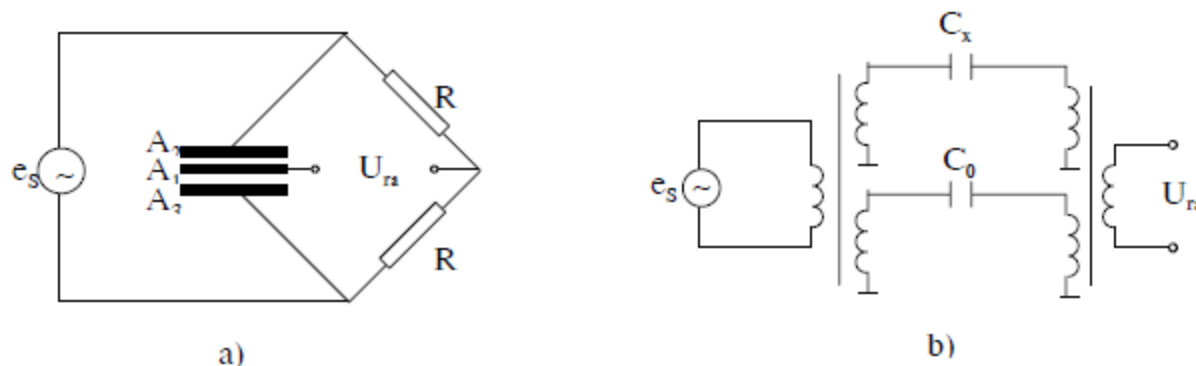
Độ nhạy và độ tuyến tính của tụ kép vi sai cao hơn tụ đơn và lực tương hỗ giữa các bản cực triệt tiêu lẫn nhau do ngược chiều nhau.

Thông thường mạch đo dùng với cảm biến điện dung là các mạch cầu không cân bằng cung cấp bằng dòng xoay chiều. Mạch đo cần thoả mãn các yêu cầu sau:

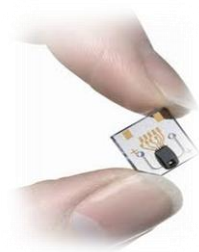
- Tổng trở đầu vào tức là tổng trở của đường chéo cầu phải thật lớn.
- Các dây dẫn phải được bọc kim loại để tránh ảnh hưởng của điện trường ngoài.
- Không được mắc các điện trở song song với cảm biến.
- Chống ẩm tốt.

Hình 4.15a là sơ đồ mạch cầu dùng cho cảm biến tụ kép vi sai với hai điện trở. Cung cấp cho mạch cầu là một máy phát tần số cao.

Hình 4.15b là sơ đồ mạch mạch cầu biến áp với hai nhánh tụ điện.



Hình 4.15 Mạch đo thường dùng với cảm biến tụ điện



Một số ứng dụng của cảm biến điện dung

Capacitive Proximity Sensors
(Cảm biến tiệm cận kiểu điện dung)



Cảm biến điện dung đo mức

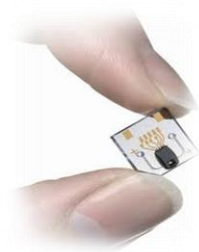


Cảm biến điện dung cho màn hình touch



Cảm biến điện dung đo độ ẩm

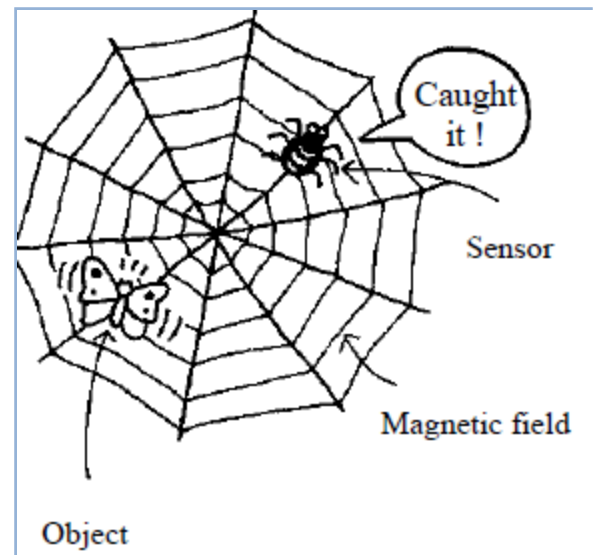
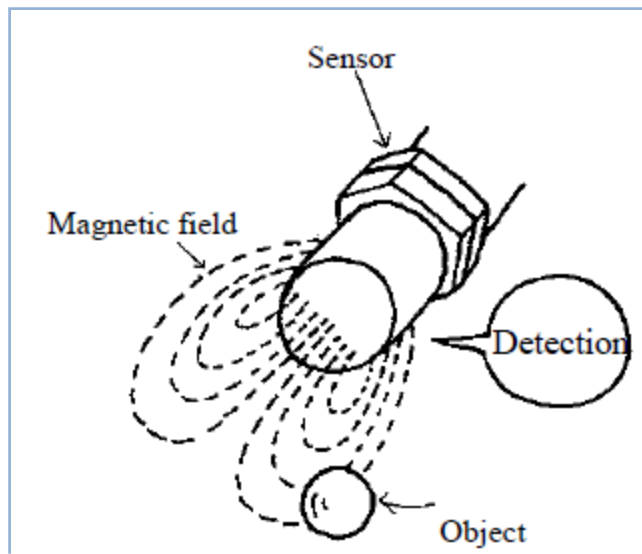
Cảm biến điện dung đo áp suất, gia tốc và lực

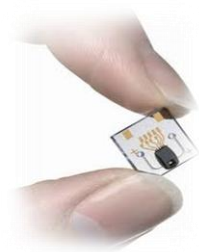


Thế nào là cảm biến tiệm cận ?

Là một thiết bị phát hiện đối tượng bằng phương pháp không tiếp xúc thông qua sự thay đổi trong trường từ/điện.

Cảm biến tiệm cận tạo ra một lưới các trường điện/từ (trường này được tạo ra bởi một mạch cộng hưởng), khi đối tượng đi vào trường của cảm biến và làm rối loạn các đường sức từ, kết quả sẽ được gửi đến mạch cộng hưởng và thông qua sự thay đổi này để phát hiện ra đối tượng. Nguyên lý làm việc nhìn chung như quá trình phát hiện mồi trên mạng nhện.





Phân loại cảm biến tiệm cận

Inductive (cảm ứng-
điện cảm)

Detection of metallic objects (kim loại)

Capacitive (điện dung)

Detection of metallic and non-metallic objects (kim loại và không phải kim loại)

Magnetic (từ tính)

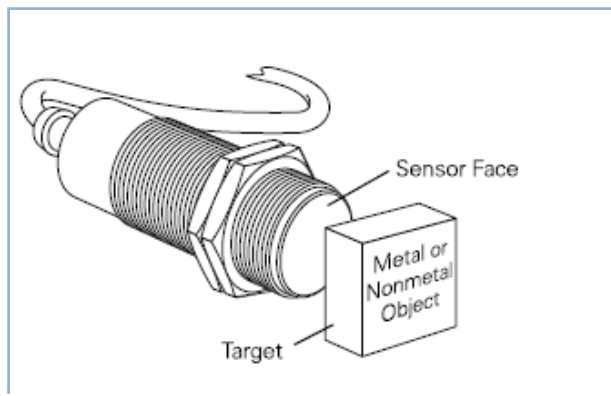
Detects the presence of permanent magnets (đối tượng từ)

Photoelectric (quang
điện)

Use light sensitive elements to detect objects (sử dụng phần tử nhạy sáng để phát hiện đối tượng)

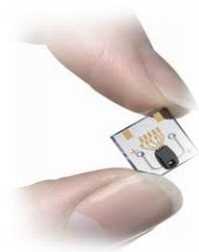
Ultrasonic (siêu âm)

sử dụng sóng siêu âm để phát hiện đối tượng kim loại và phi kim loại



Phát hiện đối tượng hoặc
đo khoảng cách ở phạm vi
mm-vài chục mm

<http://sensorsproximity.com/products/inductive.html>



Đặc điểm chung của cảm biến

- Khoảng cách hoạt động của cảm biến phụ thuộc vào bản chất vật liệu của đối tượng phát hiện. Ứng dụng rộng rãi trong các dây chuyền sản xuất như đo, đếm sản phẩm, xác định hành trình, phát hiện đối tượng

Table 1: INDUCTIVE SENSORS

Sensitivity when different metals are present.

Sn = operating distance.

Fe37 (iron)	1 x Sn
Stainless steel	0.9 x Sn
Brass- bronze	0.5 x Sn
Aluminum	0.4 x Sn
Copper	0.4 x Sn

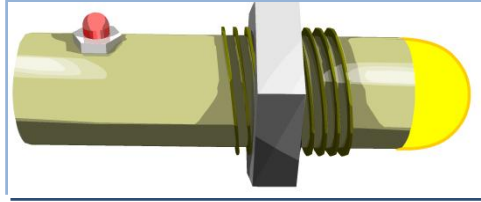
Table 2: CAPACITIVE SENSORS

Sensitivity when different materials are present.

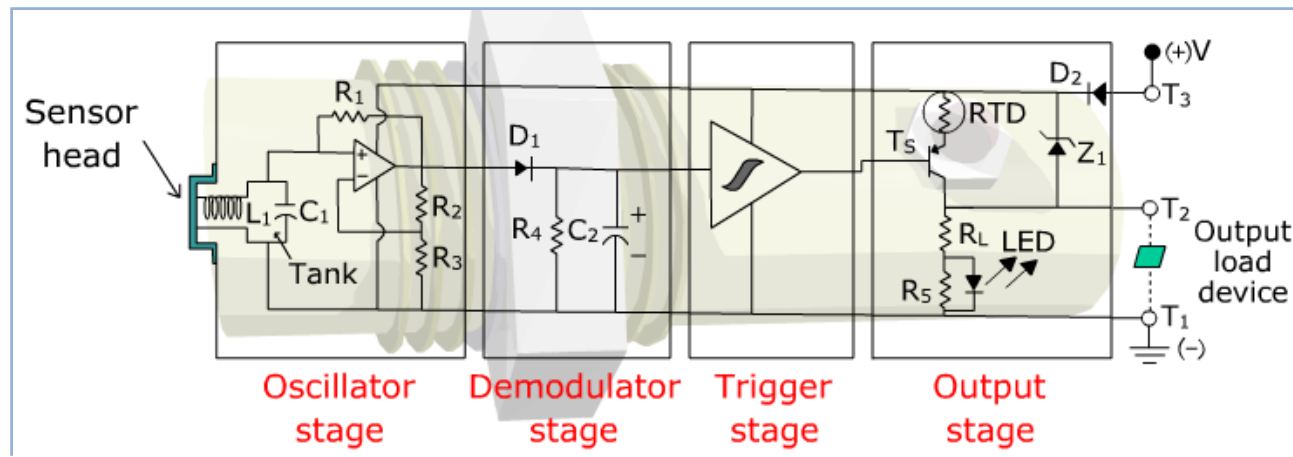
Sn = operating distance.

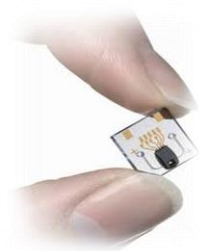
Metal	1 x Sn
Water	1 x Sn
Plastic	0.5 x Sn
Glass	0.5 x Sn
Wood	0.4 x Sn

Cấu tạo và nguyên lý của cảm biến tiệm cận cảm ứng



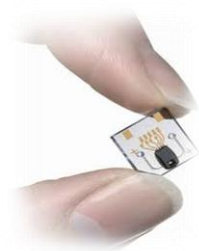
- Cấu tạo gồm các khối như hình vẽ.
- Bộ phận cảm nhận là một cuộn dây được cung cấp dòng có tần số cao, nó sẽ tạo ra một từ trường thay đổi xung quanh cuộn dây. Một vật kim loại nằm trong vùng từ trường này sẽ xảy ra hiệu ứng dòng Fuco. Theo định luật Lenz, dòng điện này có chiều chống lại nguyên nhân tạo nên nó, và kết quả tạo nên một từ thông ngược lại từ thông của cuộn dây, điều này dẫn đến hệ số tự cảm L thay đổi và trở kháng $Z=2\pi fL$. Trong đó $L = F(n, \eta, A, l)$ với n số vòng dây, η độ từ thẩm, A khoảng cách và l là kiểu vật liệu





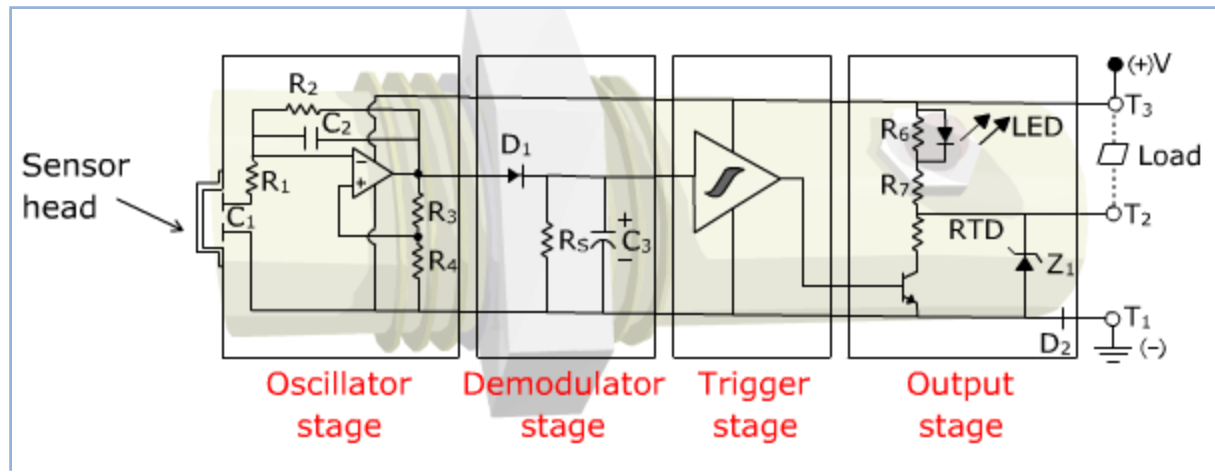
Ví dụ về phạm vi đo của cảm biến tiệm cận cảm ứng (Fargo)

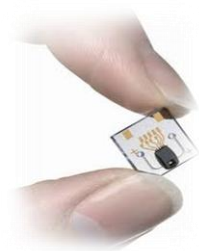
Type	Operating Distance	Voltage	Housing
4 mm diameter (not threaded)	0.8 mm	DC	Stainless Steel
5 mm diameter	0.8 mm	DC	Stainless Steel
6.5 mm diameter (not threaded)	2, 3 mm	DC	Stainless Steel
8 mm diameter	2, 3 mm	DC	Stainless Steel
12 mm diameter	2, 4, 8 mm	DC, AC	Nickel-plated Brass, Stainless Steel & Plastic*
18 mm diameter	5, 8, 16 mm	DC, AC	Nickel-plated Brass, Stainless Steel & Plastic*
30 mm diameter	10, 15, 20 mm	DC, AC	Nickel-plated Brass, & Plastic*
Rectangular (small)	2, 4, 5 mm	DC, AC	Anodized Aluminum, Plastic & Nickel-plated Brass
Rectangular (large)	15, 20, 10-60 mm	DC, AC	Plastic
High Temperature +120°C**	0.8, 1 mm	DC	Stainless Steel & Nickel-plated Brass
Ring	5, 12, 15, 22, 30, 44, 63, 100 mm hole size	DC	Plastic
Analog Current	0.1-1.5, 0.1-3, 0.1-6, 0.5-10, 0-6 mm	DC	Nickel-plated Brass & Plastic



Cấu tạo và nguyên lý của cảm biến tiệm cận điện dung

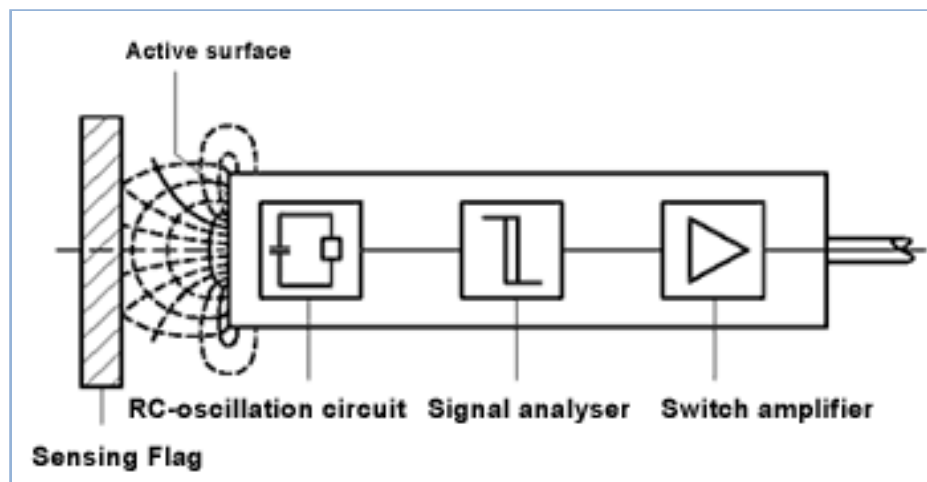
- Cấu tạo gồm các khối như hình vẽ.
- Bộ phận cảm nhận là một tụ điện được cấp dòng có tần số cao, nó sẽ tạo ra một điện trường thay đổi giữa hai bản cực với điện môi là không khí. Một vật kim loại hoặc phi kim nằm trong vùng gần hai bản cực sẽ tạo thành một lớp điện môi mới. Kết quả điện dung $C = \epsilon \times A/L$ (ϵ : hằng số điện môi, A diện tích bản cực và L khoảng cách giữa hai bản cực) thay đổi và dẫn đến tần số cộng hưởng sẽ thay đổi. Nếu hai bản cực tụ điện đặt trên một mặt phẳng không đối diện nhau, chúng ta có một cảm biến điện trường mà điện dung của tụ phụ thuộc vào chất làm điện môi vì vậy có thể phát hiện kim loại và phi kim.

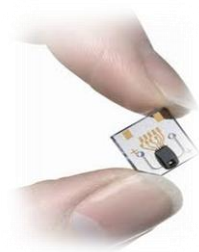




Ví dụ về phạm vi đo của cảm biến tiệm cận điện dung(Fargo)

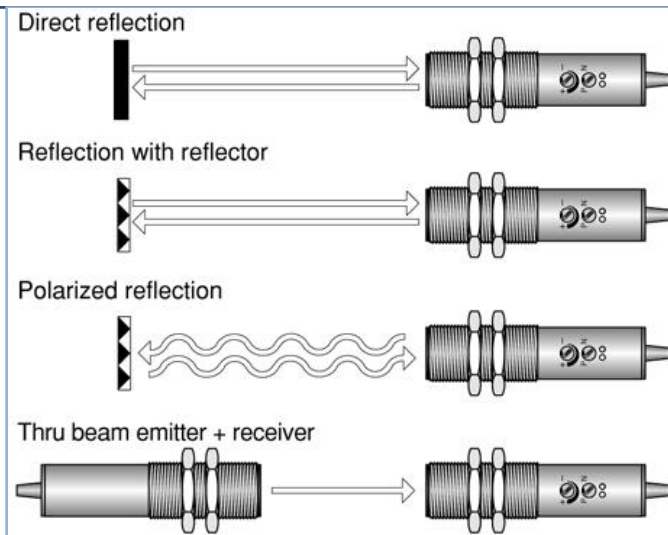
Type	Operating Distance	Voltage	Housing
18mm diameter	0-5, 0-10 mm	DC	Nickel-plated Brass & Plastic
30 mm diameter	0-20, 0-25 mm	DC, AC/DC	Nickel-plated Brass & Plastic
40 mm diameter	0-35 mm	DC	Plastic
Protective Housing			Plastic
High Temperature -200 to +250°C	5, 15 mm	AC	PTFE / Stainless Steel





Ví dụ về phạm vi đo của cảm biến tiệm cận quang điện (Fargo)

Type	Direct Reflection	Reflection with Reflector	Polarized Reflection with Reflector	Thru Beam	Voltage	Housing
18 mm diameter	10 cm	250 cm	100 cm	1500 cm	DC	Plastic
18 mm diameter	20, 40 cm	250 cm	100 cm	1500 cm	DC	Stainless Steel
18 mm diameter	20, 40 cm	250 cm	100 cm	1500 cm	AC	Plastic
Fork shape	13 mm				DC	Nickel-plated Brass

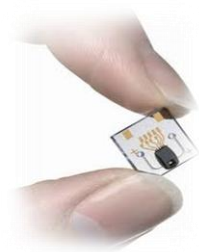




Ví dụ về phạm vi đo của cảm biến tiệm cận từ (Fargo)



Type	Operating Distance	Voltage	Housing
6.5, 8, 10, 12 mm diameter	depends on magnet	AC/DC	Nickel-plated Brass
Rectangular	10 mm	AC/DC	Anodized Aluminum & Plastic



Đo mức bằng cảm biến điện dung

Điện dung của một tụ phẳng được tính

C - điện dung của tụ điện

ϵ - hằng số điện môi của chất cách điện giữa hai bản cực

d - khoảng cách các điện cực

$$C = \frac{\epsilon S}{d}$$

Khi mức dầu ở 0 tức là trong thùng không có dầu, ta có

C_0 - điện dung của tụ khi điện môi là không khí

h - chiều cao bản cực

b - chiều rộng bản cực

d - khoảng cách các bản cực

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 hb}{d}$$

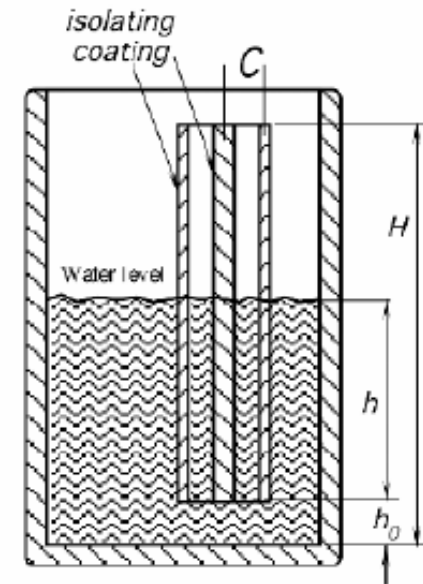
Khi đầy dầu

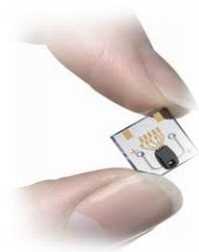
$$C_d = \frac{\epsilon_d hb}{d}$$

Khi dầu ở mức h_x ta chia được thành hai phần

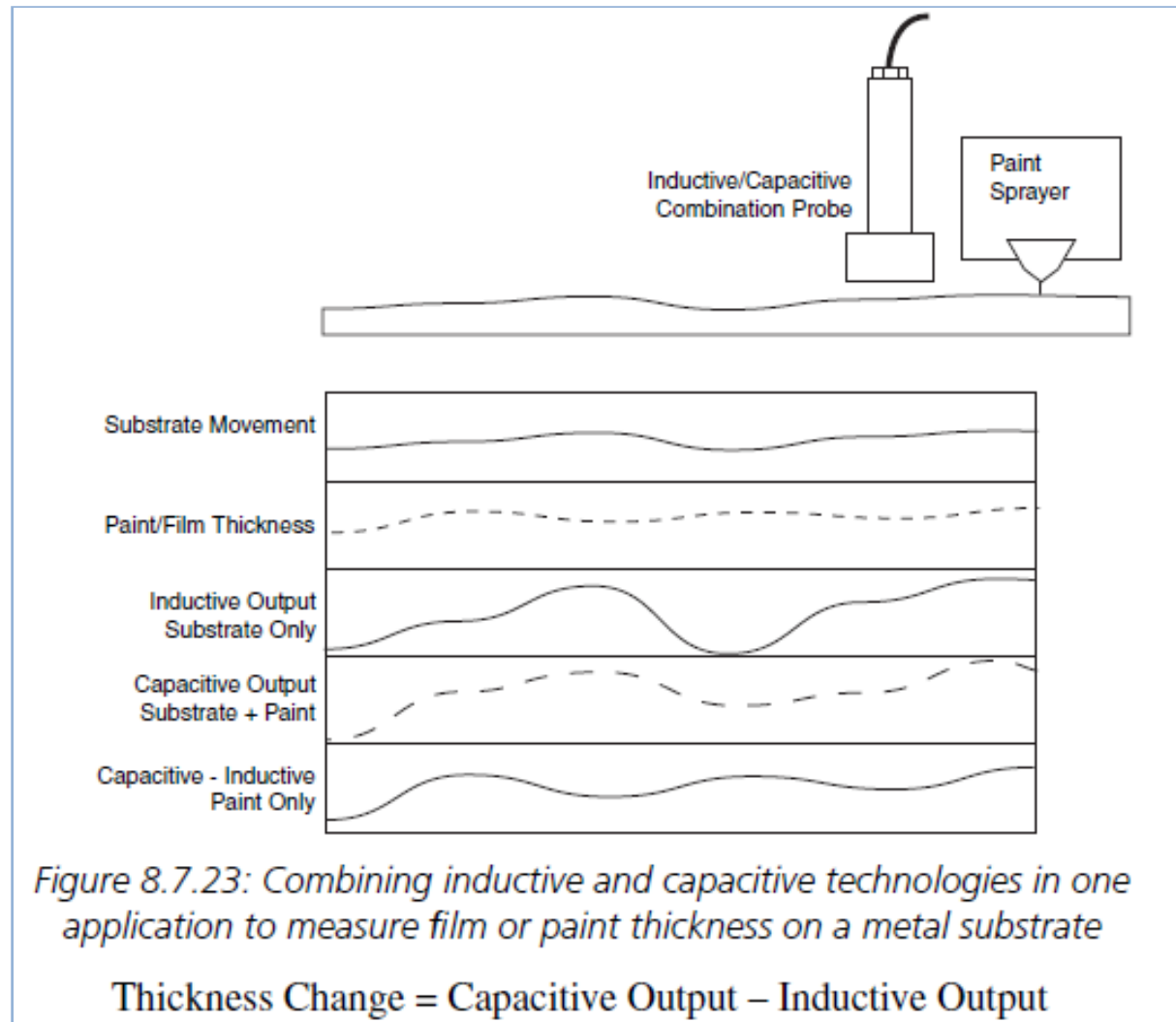
$$C_x = \frac{\epsilon_d h_x b}{d} + \frac{\epsilon_0 b(h - h_x)}{d}$$

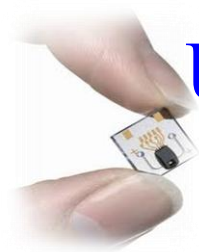
Đo C_x có thể suy ra h_x . Trong cảm biến này C_0 , C_x đều nhỏ (cỡ pF) vì thế nên mạch đo thường dùng ở tần số cao.





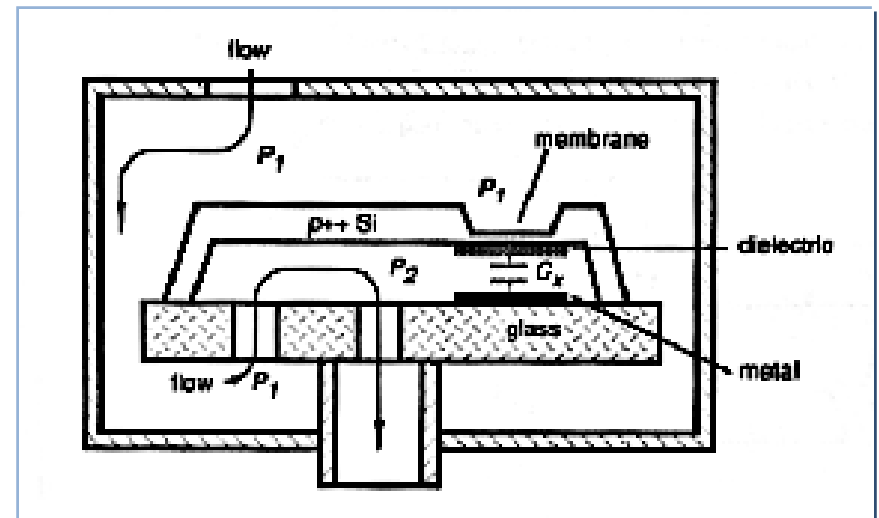
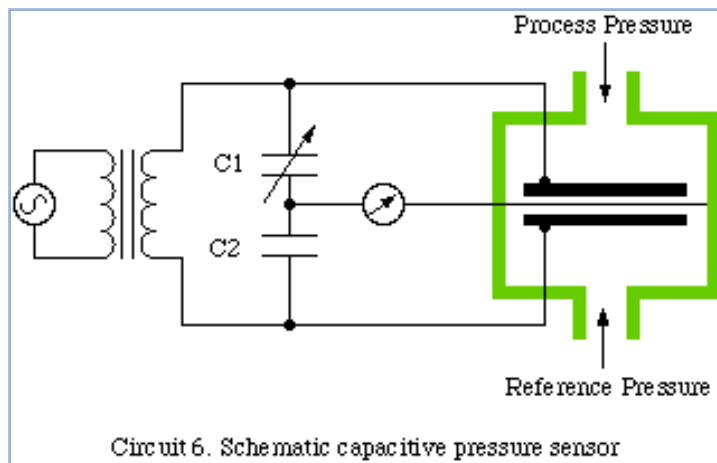
Ứng dụng cảm biến tiệm cận điện dung và cảm ứng đo độ dày của lớp sơn



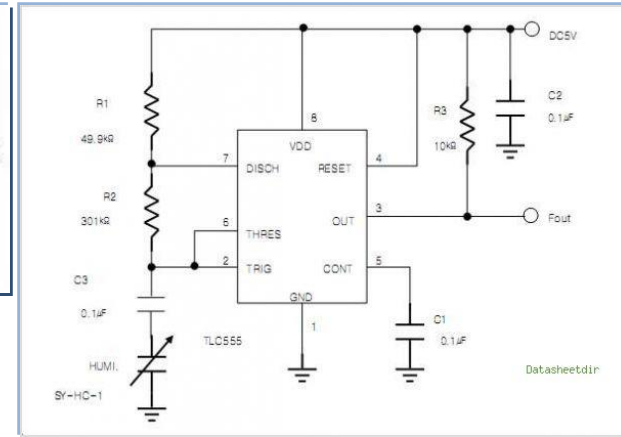
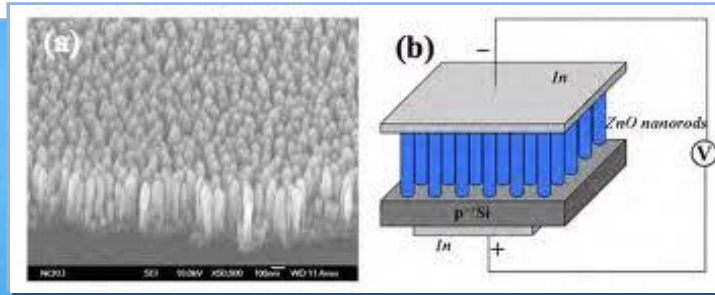
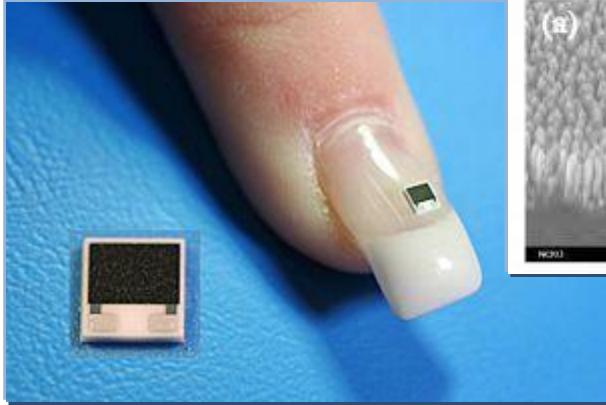


Ứng dụng cảm biến tiệm cận điện dung đo áp suất

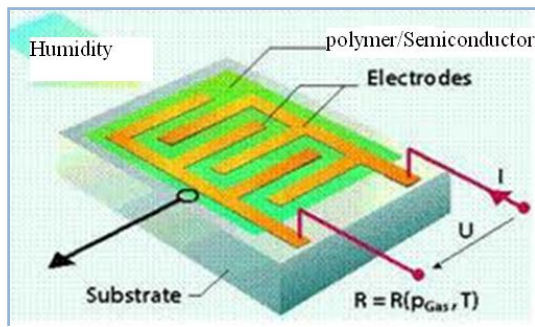
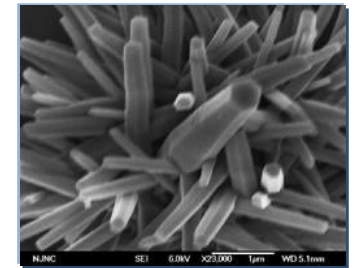
Capacitive pressure sensors use a thin diaphragm, usually metal or metal-coated quartz, as one plate of a capacitor. The diaphragm is exposed to the process pressure on one side and to a reference pressure on the other. Changes in pressure cause it to deflect and change the capacitance. The change may or may not be linear with pressure and is typically a few percent of the total capacitance. The capacitance can be monitored by using it to control the frequency of an oscillator or to vary the coupling of an AC signal. It is good practice to keep the signal-conditioning electronics close to the sensor in order to mitigate the adverse effects of stray capacitance. Circuit 6 is a schematic example.



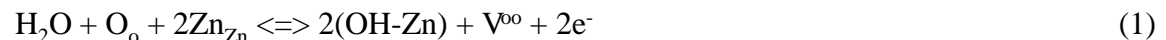
Ứng dụng cảm biến điện dung đo độ ẩm



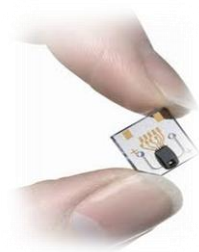
Relative humidity (RH) is the ratio of the partial pressure of water vapor present in a gas to the saturation vapor pressure of the gas at a given temperature.



The water vapor is adsorbed on the grain surface and in the pores and reacts reversibly with lattice Zn as follows [3]:



Where O_o is the lattice oxygen at the oxygen site and V^{oo} is the vacancy created at the oxygen site. Thus, the surface conductivity of the sensing film was increased by the increasing of free electrons number according to the increase in relative humidity.



Ứng dụng cảm biến điện dung cho màn hình kiểu touch

Indium Tin Oxide (ITO)

Basic Principle

The simplest form of a capacitor consists of two conductors, e.g. two metal plates, separated by an insulator. The following formula shows the parameters which influence capacitance:

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

$$\epsilon = \epsilon_0 * \epsilon_r$$

Where C is the capacitance

ϵ_r is the relative permittivity, also called dielectric constant, of the insulating material between the plates

ϵ_0 is the permittivity of free space (8.854×10^{-12} F/m)

A is the area of the plates

d is the distance between the plates

relative permittivity ϵ_r

air/vacuum: $\epsilon=1$

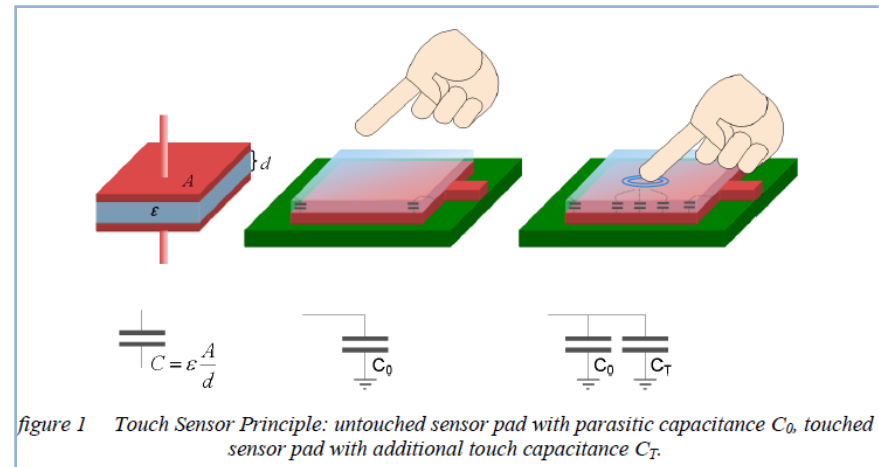
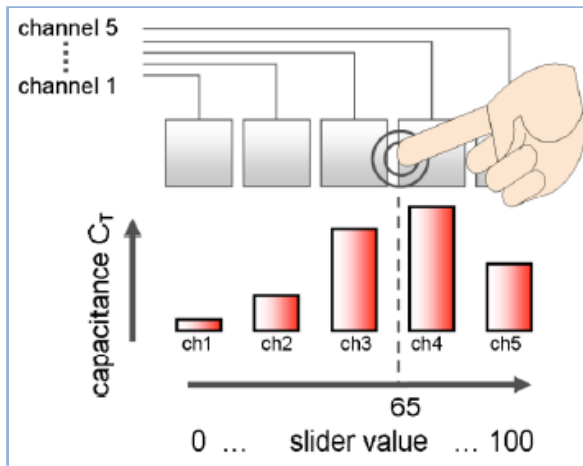
PE: $\epsilon=2$

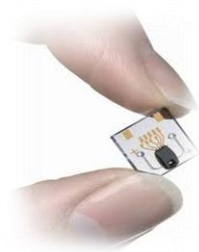
wood: $\epsilon=3$

ABS: $\epsilon=4$

glass: $\epsilon=7$

water: $\epsilon=80$





Ứng dụng cảm biến điện dung cho màn hình kiểu touch

Indium Tin Oxide (ITO)

The lack of mechanical components enables the implementation of capacitive touch based control elements on LCD panels. As the sensing pads are placed above the display, the user can touch directly onto the screen. Thus it is possible to generate context dependent, virtual buttons and other user friendly, intuitively control elements.

Usually the sensing pads are made of a thin layer of Indium Tin Oxide (ITO) which is deposited on a glass or transparent foil. ITO is conductive and optically transparent at the same time. However for increased conductivity, the ITO film thickness has to be increased which has a negative impact on transparency. I.e. thicker, better conductive layers become slightly visible. The sheet resistance of a typical ITO layer is in the range of some hundreds of Ohms/square. Depending on the track layout, the series resistance between a sensing pads and the connector can reach tens of kOhms.

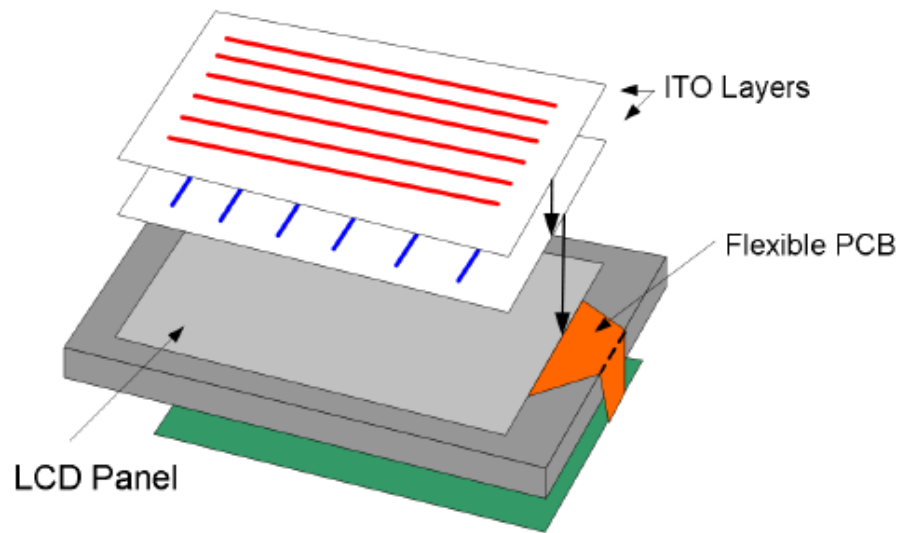
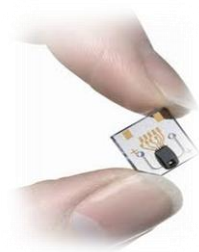


figure 7 Capacitive touch screen with matrix arrangement



Ứng dụng cảm biến điện dung cho màn hình kiểu touch

Indium Tin Oxide (ITO)

kiểu touch



figure 8 Capacitive touch screen with discrete sensing pads, consisting of one ITO layer

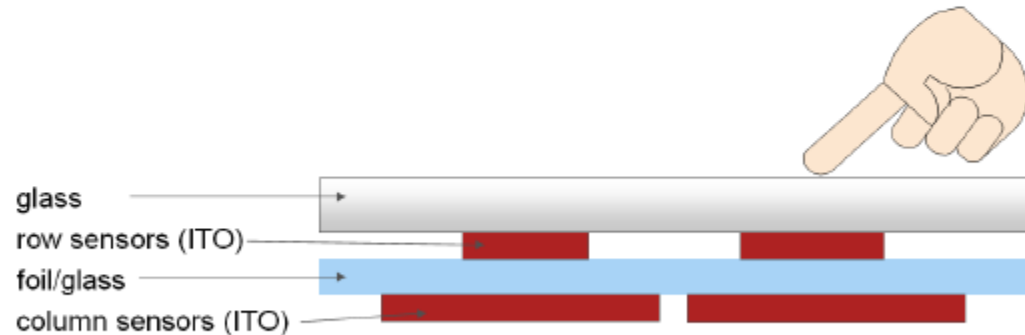


figure 9 High resolution capacitive touch screen with matrix arrangement, consisting of two ITO layers

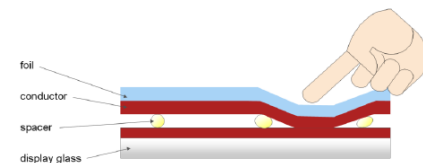
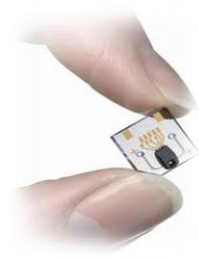


figure 10 Layout of a resistive touch screen with flexible foil as upper layer



Cảm biến áp điện

1- tính toán điện dung đo mức?

2-Cho đối tượng lựa chọn cảm biến tiệm cận?

Còn tiếp.....