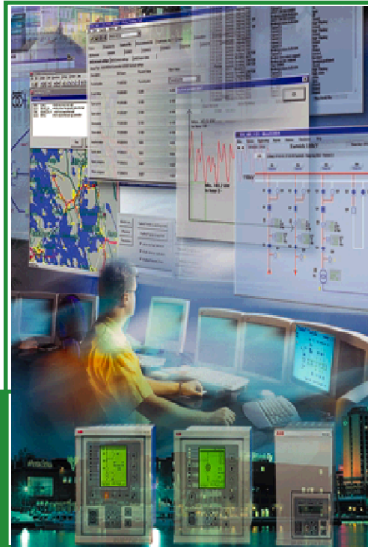


# TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI

## VIỆN ĐIỆN



## CẢM BIẾN VÀ XỬ LÝ TIN HIỆU

Nguyễn Thị Huế

BM: Kỹ thuật đo và Tin học công nghiệp

# Nội dung môn học

- ❖ Chương 1: Tổng quan về cảm biến và Các mạch xử lý trong đo lường
- ❖ Chương 2: Chuyển đổi nhiệt điện
- ❖ Chương 3: Chuyển đổi điện trở
- ❖ **Chương 4: Cảm biến tĩnh điện( áp điện, điện dung)**
- ❖ Chương 5: Chuyển đổi điện từ
- ❖ Chương 6: Chuyển đổi tĩnh điện Chuyển đổi điện tử và ion
- ❖ Chương 7: Chuyển đổi hóa điện
- ❖ Chương 8: Chuyển đổi khác

# Tài liệu tham khảo

## ➤ Sách:

- ❖ Kỹ thuật đo lường các đại lượng điện tập 1,2- Phạm Thượng Hàn, Nguyễn Trọng Quế....
- ❖ Đo lường điện và các bộ cảm biến: Ng.V.Hoà và Hoàng Sĩ Hồng

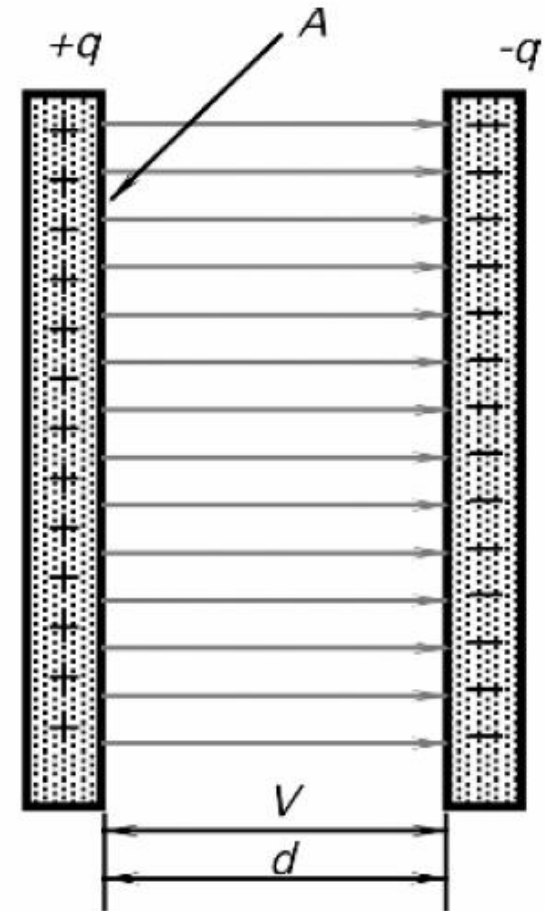
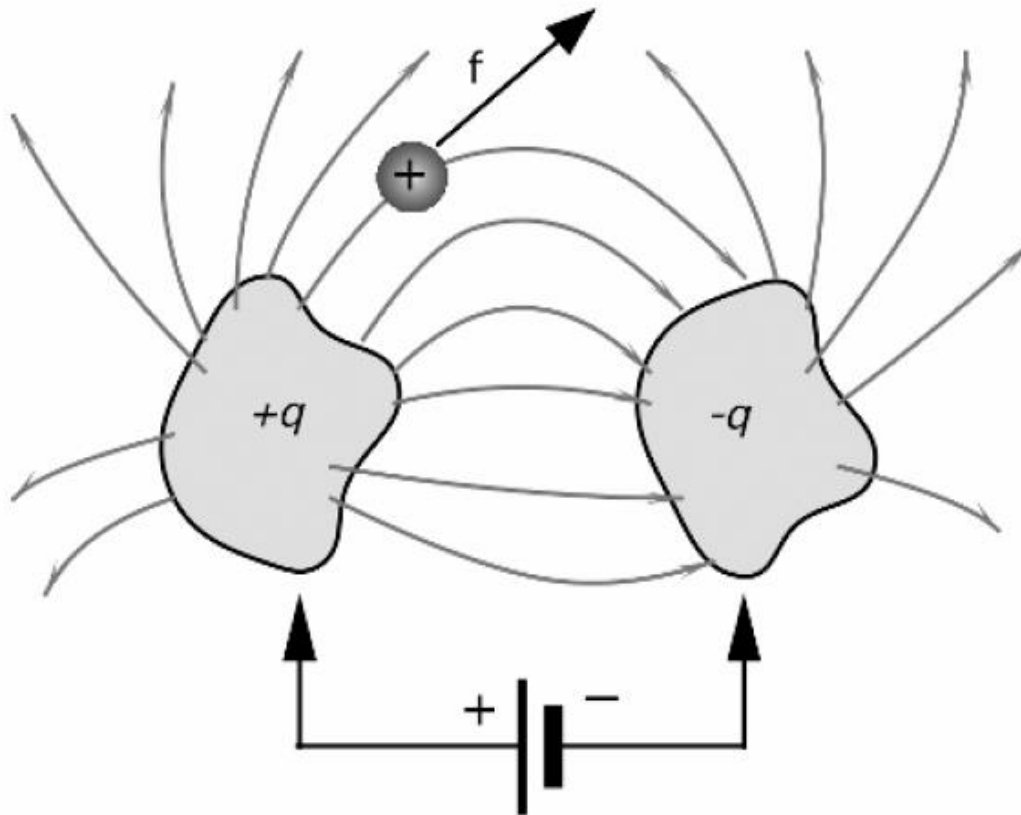
## ➤ Bài giảng và website:

- ❖ Bài giảng kỹ thuật đo lường và cảm biến-Hoàng Sĩ Hồng.
- ❖ Bài giảng Cảm biến và kỹ thuật đo: P.T.N.Yến, Ng.T.L.Huong, Lê Q. Huy
- ❖ Bài giảng MEMs ITIMS - BKHN

## ➤ Website: [sciencedirect.com/sensors](https://www.sciencedirect.com/sensors) and actuators A and B

# Cảm biến tĩnh điện

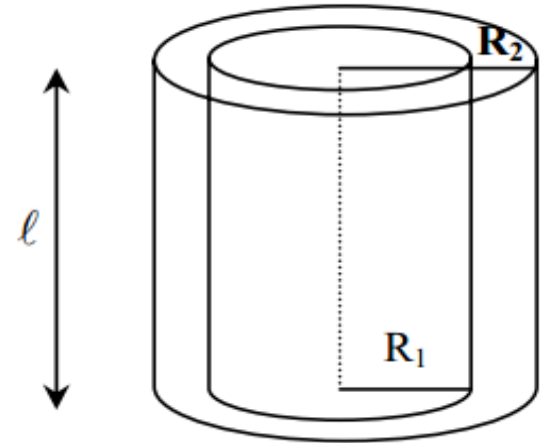
## ■ Cấu tạo và nguyên lý làm việc



## - Cấu tạo của tụ điện trụ:

- Là tụ điện có hai bản tụ có 2 mặt trụ đồng trục, bán kính  $R_1$  &  $R_2$  gần bằng nhau. Chiều cao  $l$ .
- Điện dung của tụ được tính theo công thức:

$$C = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 l}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}$$



Với : $\epsilon$  – hằng số điện môi giữa 2 bản tụ

$\epsilon_0$  – hằng số điện

# Cảm biến tĩnh điện

- Cấu tạo của tụ điện phẳng:
  - Là tụ điện có 2 bản tụ là hai tấm kim loại phẳng có cùng diện tích  $S$ , đặt song song với nhau và cách nhau một khoảng  $d$  rất nhỏ so với kích thước tụ.
  - Điện dung của tụ được tính theo công thức:

$$C = \epsilon \epsilon_0 \frac{S}{d}$$

Với :  $\epsilon$  – hằng số điện môi giữa 2 bản tụ  
 $\epsilon_0$  – hằng số điện

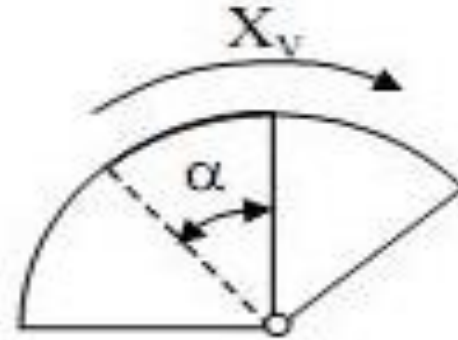


# Cảm biến tĩnh điện

## ■ Thay đổi tiết diện

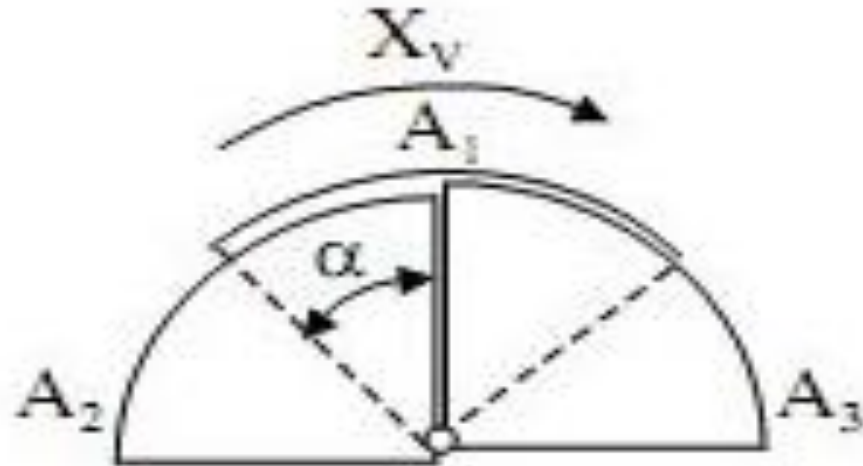
### ❖ Ứng dụng bài toán đo góc

$$C = \epsilon\epsilon_0 \frac{\pi R^2 \alpha}{d}$$



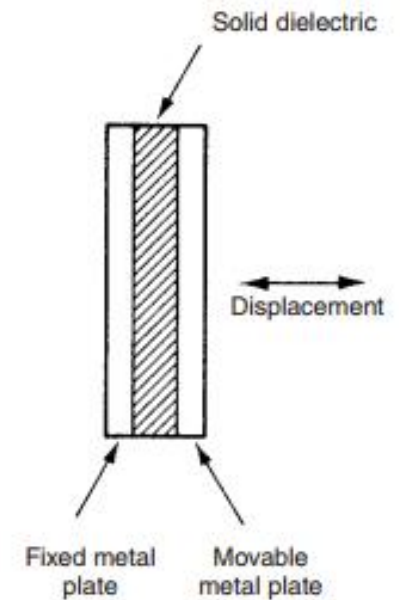
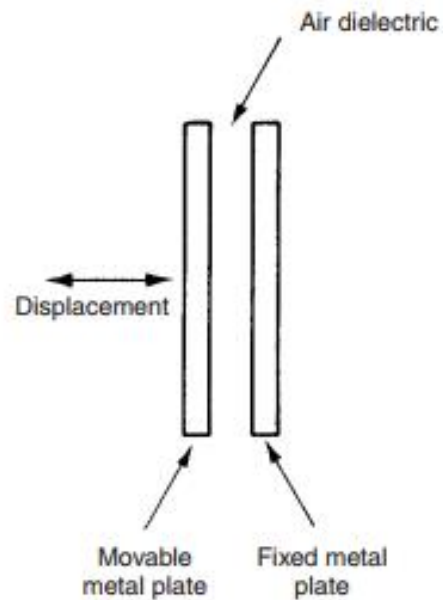
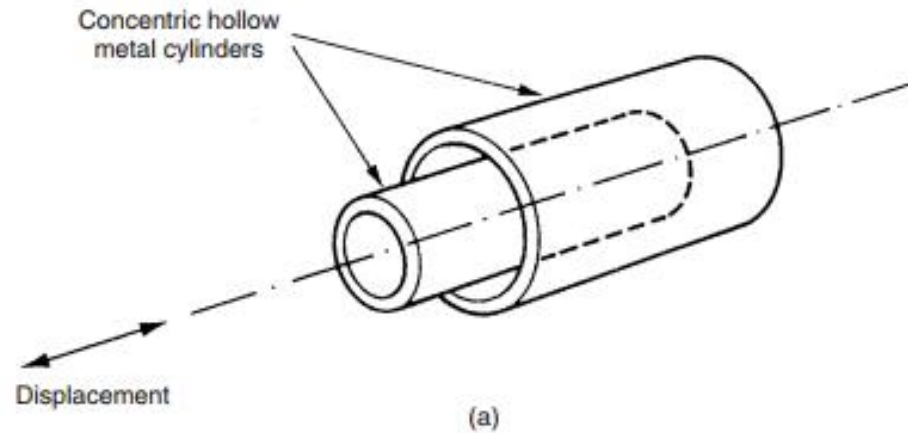
### ❖ Với

- R là bán kính
- Alpha là góc lệch



# Cảm biến tĩnh điện

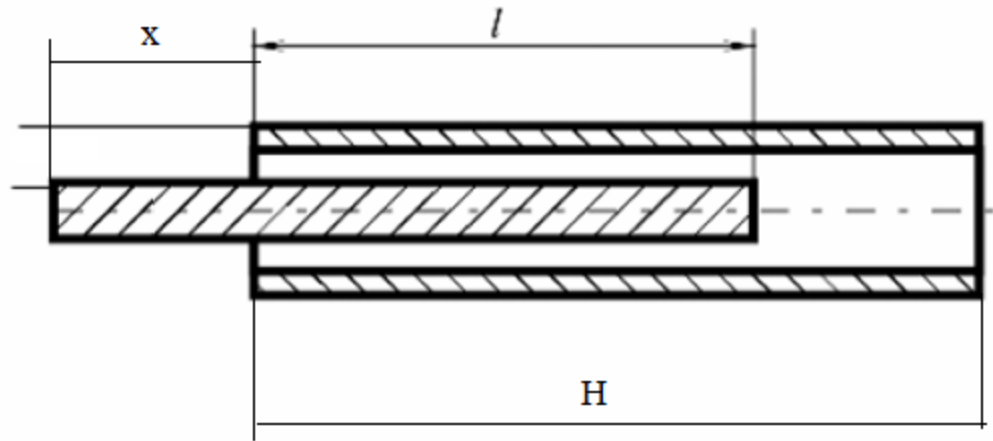
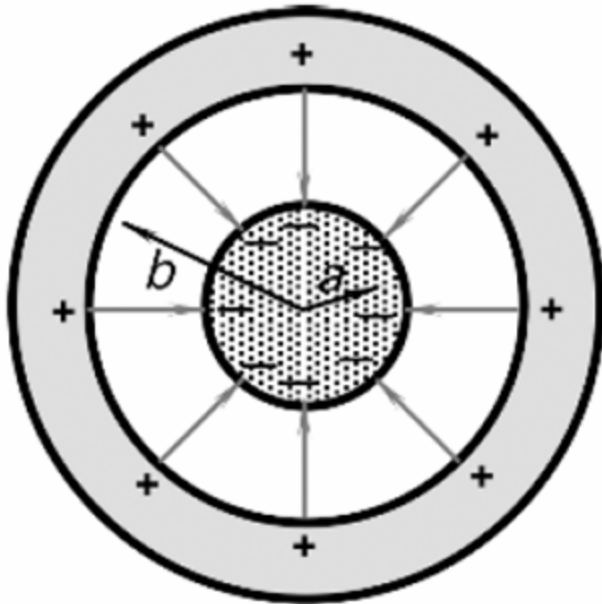
## ■ Thay đổi tiết diện





# Cảm biến tĩnh điện

## ■ Thay đổi tiết diện

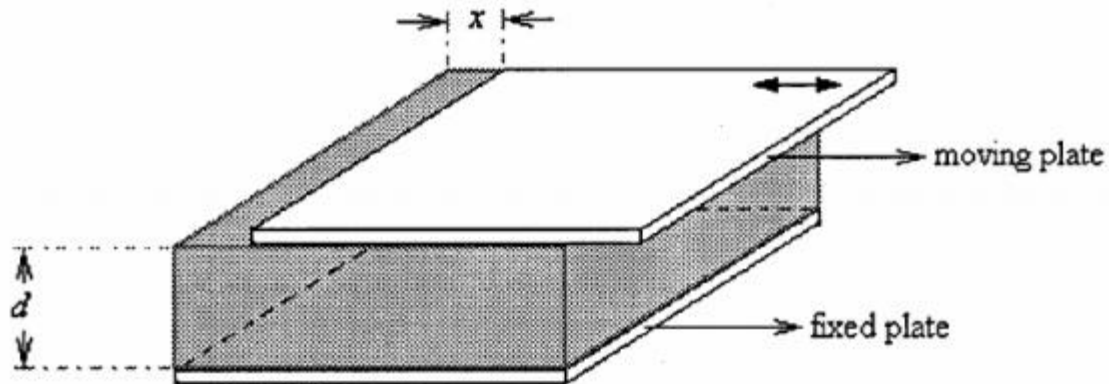


$$C = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 l}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 (H - x)}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}$$

# Cảm biến tĩnh điện

## ■ Thay đổi tiết diện

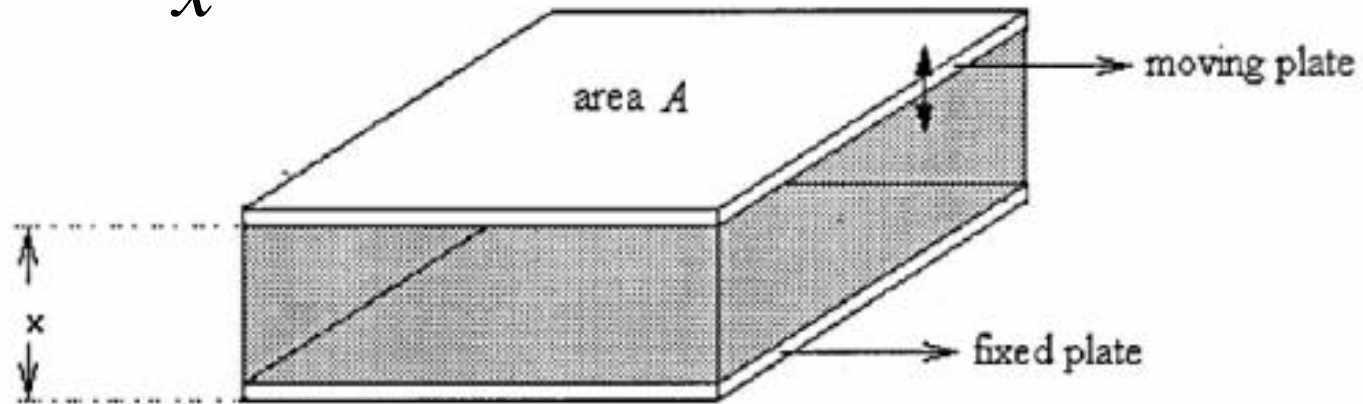
$$C = \epsilon\epsilon_0 \frac{(A - wx)}{d}$$



# Cảm biến tĩnh điện

## ■ Thay đổi khoảng cách các bản cực

$$C = \epsilon\epsilon_0 \frac{A}{x}$$

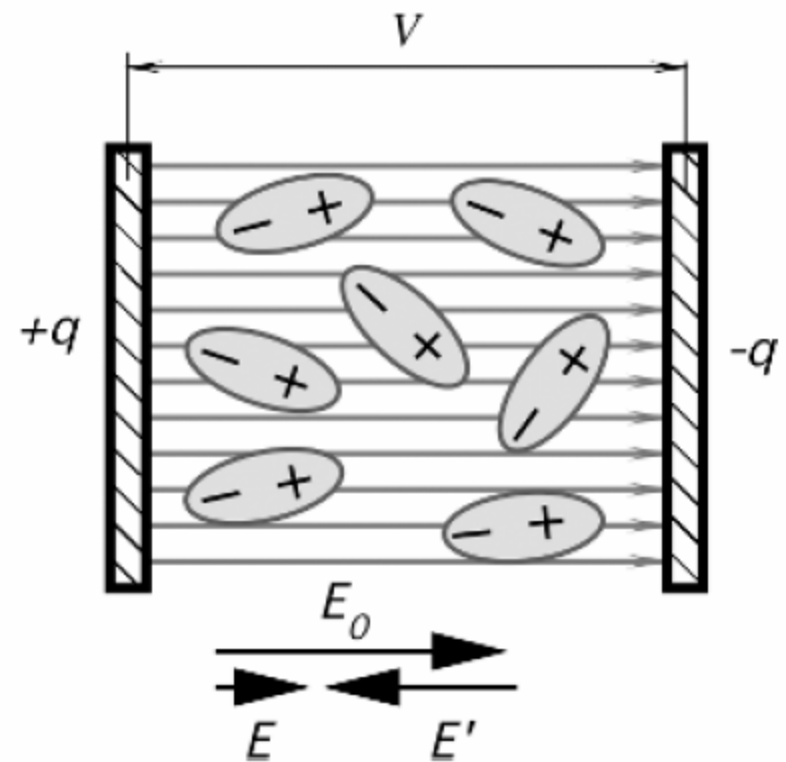
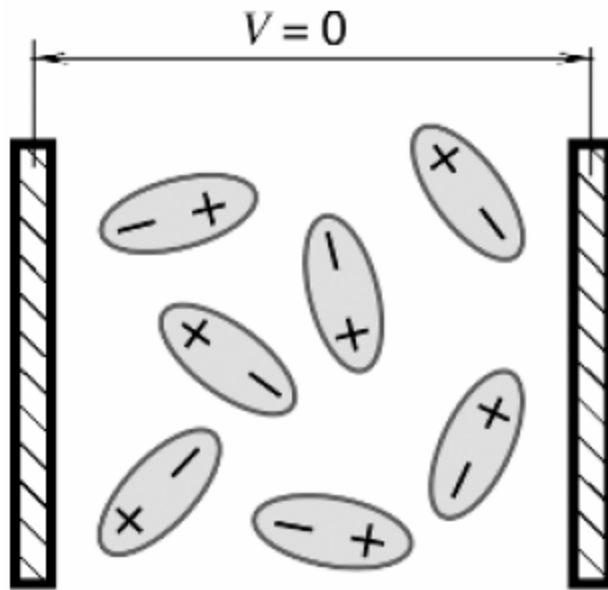


$$\frac{dC}{dx} = \epsilon\epsilon_0 \frac{A}{x^2}$$

$$\frac{dC}{C} = -\frac{dx}{x}$$

# Cảm biến tĩnh điện

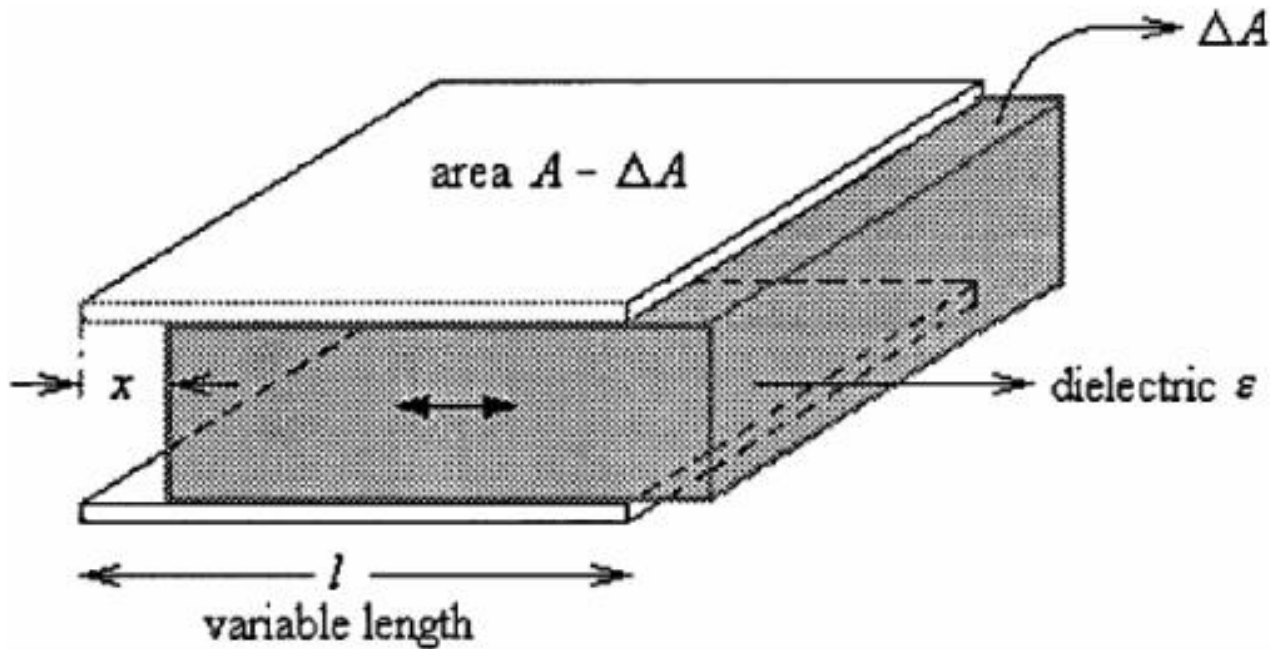
- Điện môi thay đổi



$$C = \epsilon\epsilon_0 \frac{S}{d}$$

# Cảm biến tĩnh điện

- Điện môi thay đổi

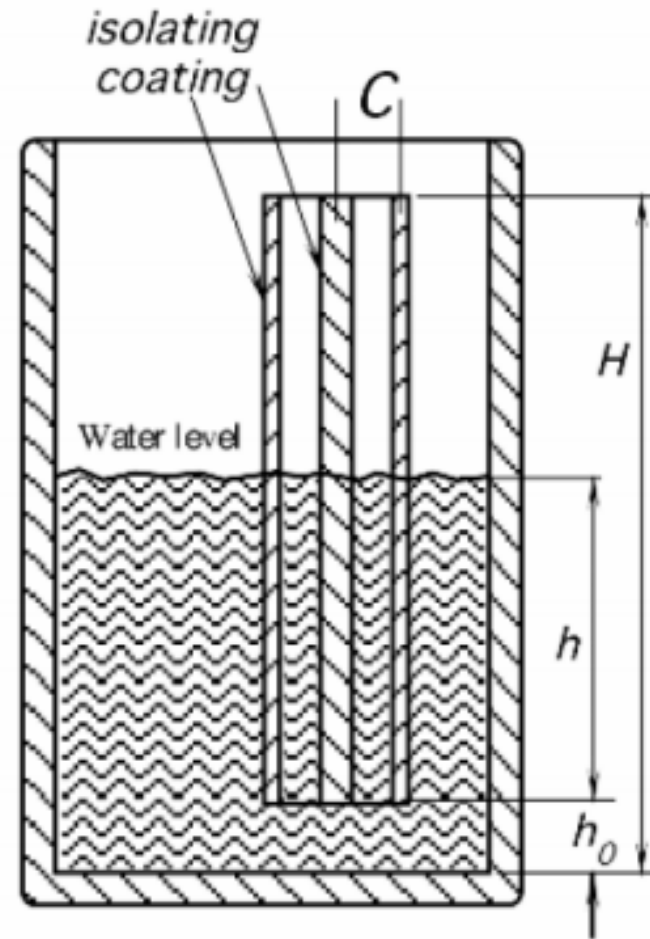


$$C = \epsilon_0 \epsilon_2 \frac{(A - \Delta A)}{d} + \epsilon_0 \epsilon_1 \frac{(\Delta A)}{d} = \frac{\epsilon_0 W}{d} (\epsilon_2 l - (\epsilon_2 - \epsilon_1) x)$$

# Cảm biến tĩnh điện

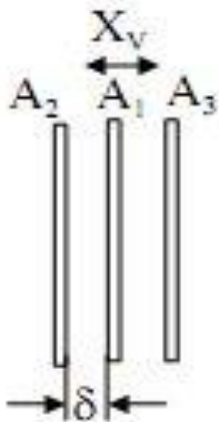
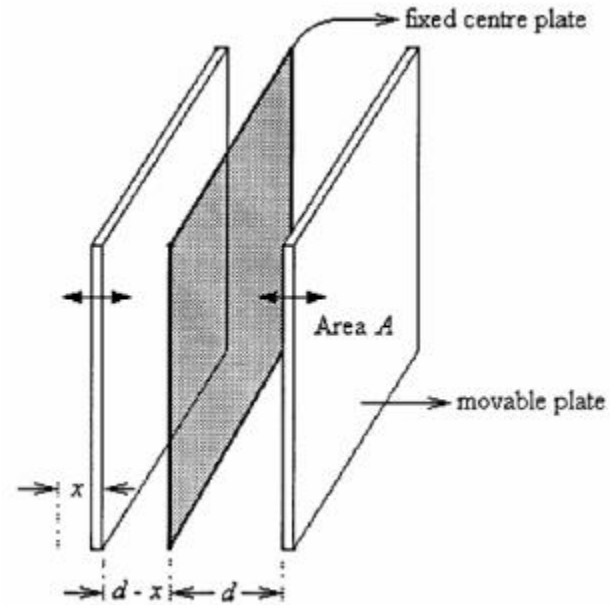
## ■ Điện môi thay đổi

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} [H + h(\epsilon - 1)]$$

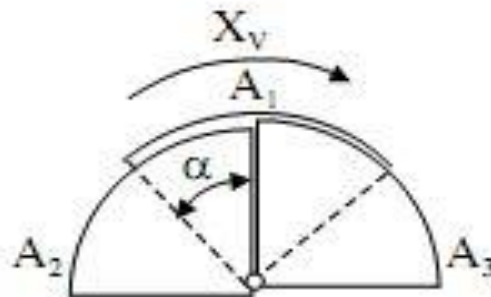


# Cảm biến tĩnh điện

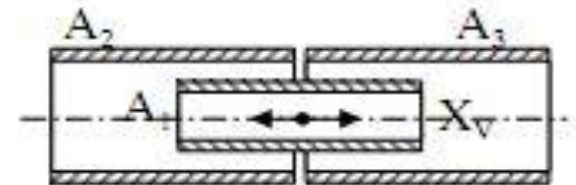
## ■ Cảm biến loại vi sai



a)



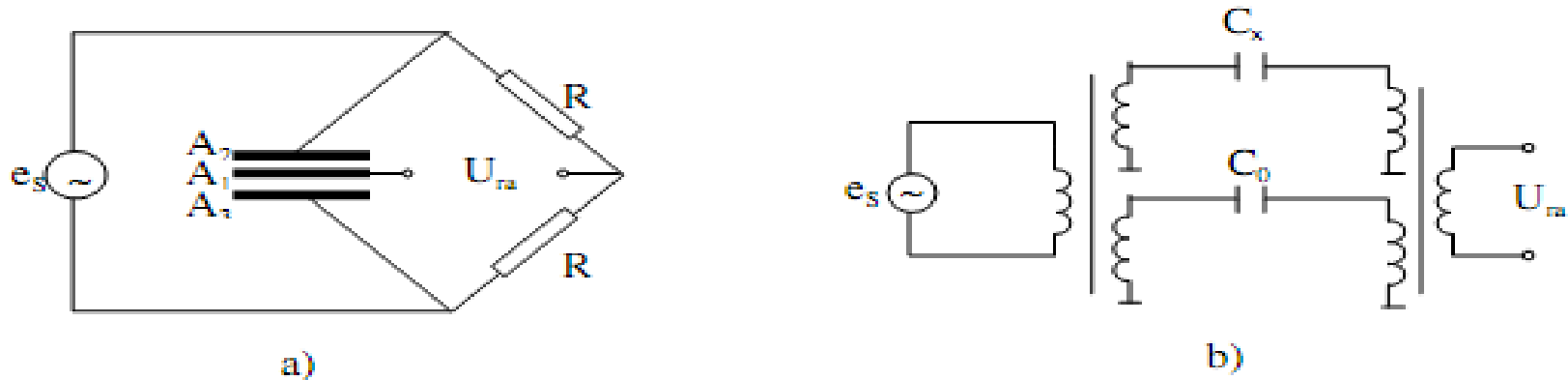
b)



c)

# Cảm biến tĩnh điện- Mạch đo

## ▪ Mạch cầu



Hình 4.15 Mạch đo thường dùng với cảm biến tụ điện

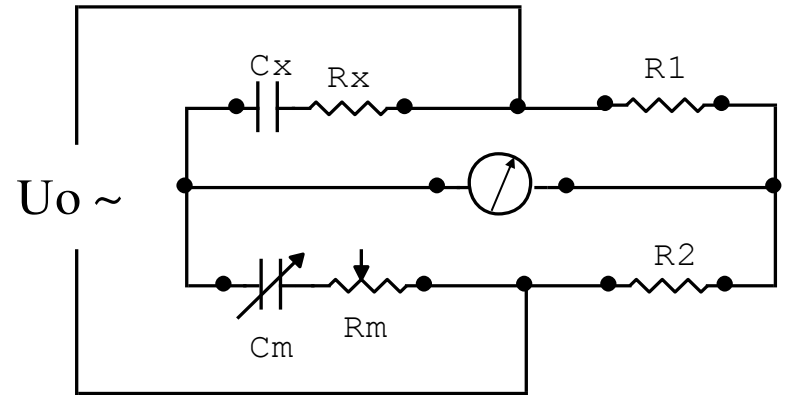
- Thông thường mạch đo dùng với cảm biến điện dung là các mạch cầu không cân bằng cung cấp bằng dòng xoay chiều



# a. Cầu đo tụ điện

- . Khi đó người ta mắc cầu như hình bên

- ❖  $C_x, R_x$  là nhánh tụ điện cần đo
- ❖  $C_m, R_m$  là nhánh tụ mẫu điều chỉnh



Cầu đo tụ điện có tổn hao nhỏ

Khi cầu cân bằng ta có mối quan hệ:  $Z_x \cdot Z_2 = Z_1 \cdot Z_m$

$$Z_x = R_x + \frac{1}{j\omega C_x}$$

$$Z_m = R_m + \frac{1}{j\omega C_m} \Rightarrow$$

$$Z_1 = R_1, \quad Z_2 = R_2$$

$$(R_x + \frac{1}{j\omega C_x}) \cdot R_2 = R_1 (R_m + \frac{1}{j\omega C_m})$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} R_2 \cdot R_x = R_1 \cdot R_m \\ R_2 / C_x = R_1 / C_m \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_m \\ C_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot C_m \end{cases}$$

## b. Cầu đo tụ điện

- Cầu cân bằng ta có điều kiện:

$$Z_x \cdot Z_2 = Z_1 \cdot Z_m$$

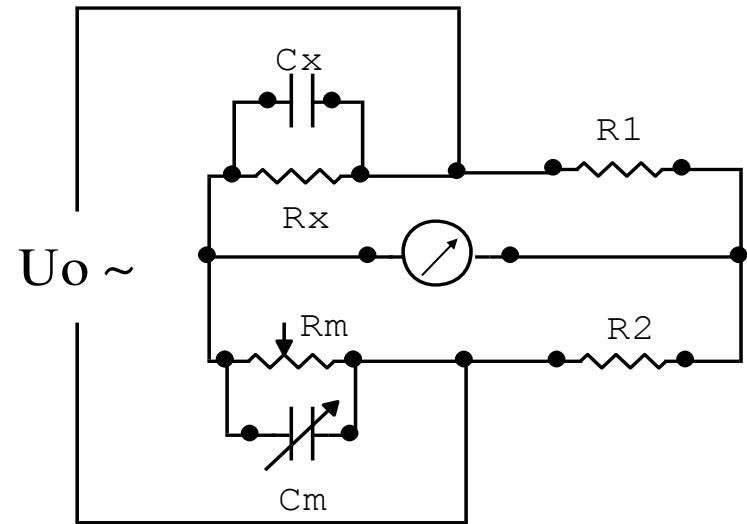
$$Z_x = \frac{R_x \cdot \frac{1}{j\omega C_x}}{R_x + \frac{1}{j\omega C_x}} = \frac{1}{1/R_x + j\omega C_x}$$

$$Z_m = \frac{R_m \cdot \frac{1}{j\omega C_m}}{R_m + \frac{1}{j\omega C_m}} = \frac{1}{1/R_m + j\omega C_m}$$

$$Z_1 = R_1 \quad Z_2 = R_2$$

$$\Rightarrow \frac{R_1}{1/R_m + j\omega C_m} = \frac{R_2}{1/R_x + j\omega C_x}$$

$$\Rightarrow R_1(1/R_x + j\omega C_x) = R_2(1/R_m + j\omega C_m)$$

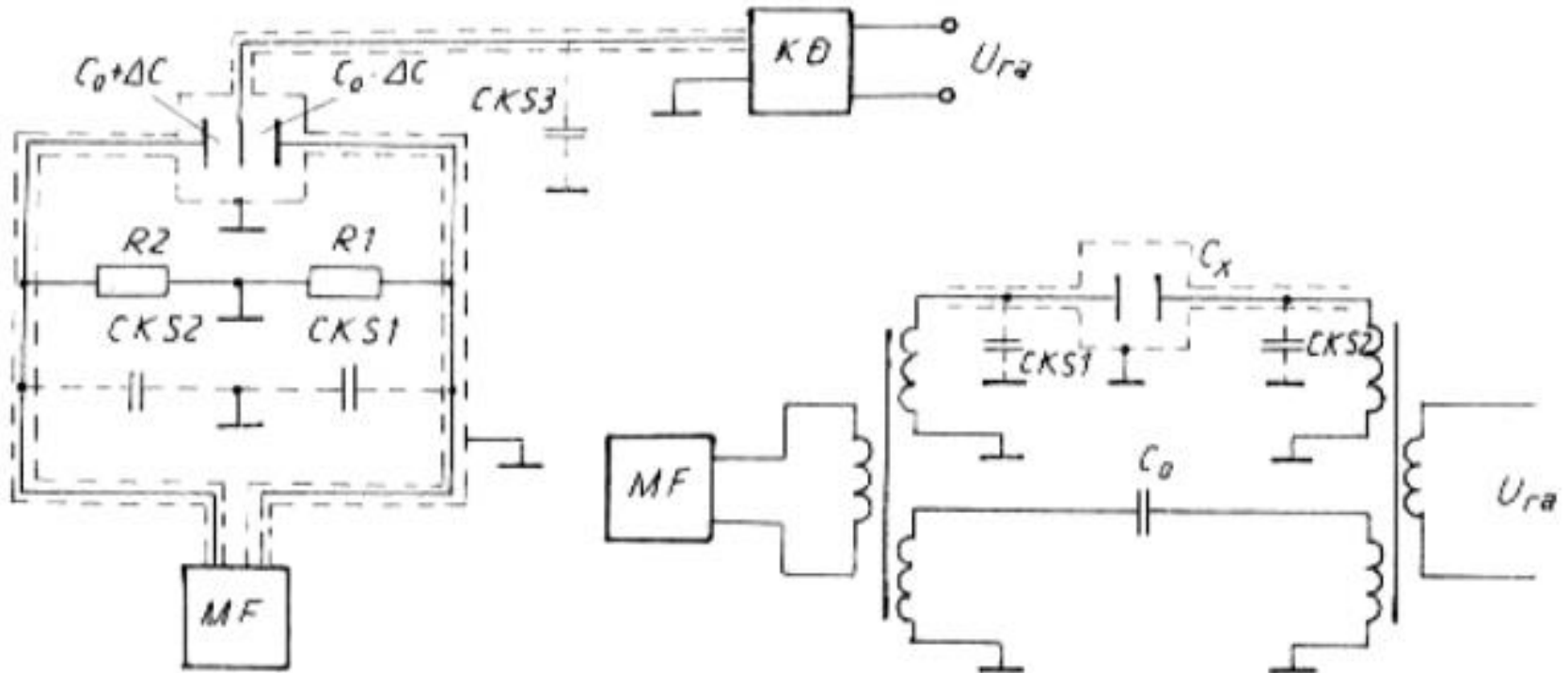


Cầu đo tụ điện có tổn hao lớn

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \frac{R_1}{R_x} = \frac{R_2}{R_m} \\ R_1 \cdot C_x = R_2 \cdot C_m \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_m \\ C_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot C_m \end{cases}$$

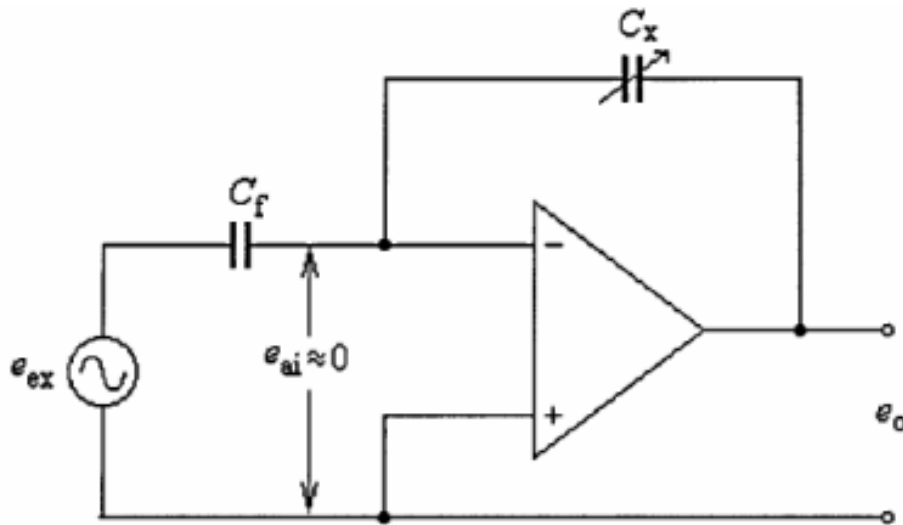
# Cảm biến tĩnh điện- Mạch đo

## ■ Mạch cầu



# Cảm biến tĩnh điện- Mạch đo

## ■ Mạch khuếch đại



$$1/C_f = \int i_f dt = e_{ex} - e_{ai} = e_{ex}$$

$$1/C_x = \int i_x dt = e_0 - e_{ai} = e_0$$

$$i_f + i_x - i_{ai} = 0 = i_f + i_x$$

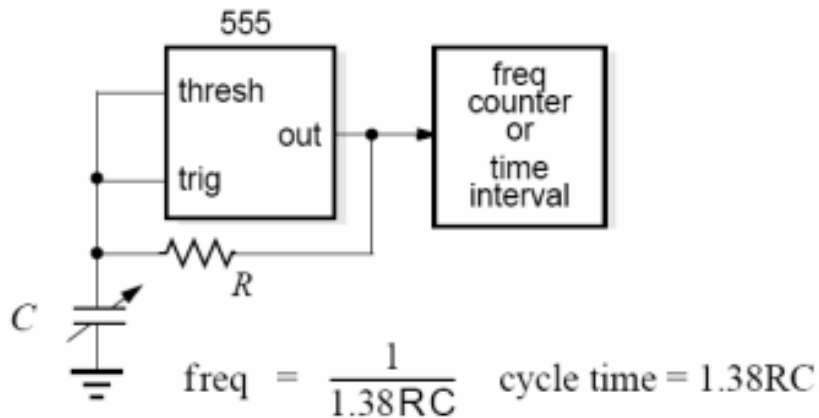
$$e_0 = -C_f e_{ex} / C_x$$

$$e_0 = -C_f x e_{ex} / \epsilon A$$

# Cảm biến tĩnh điện- Mạch đo

## ■ Mạch phát tần

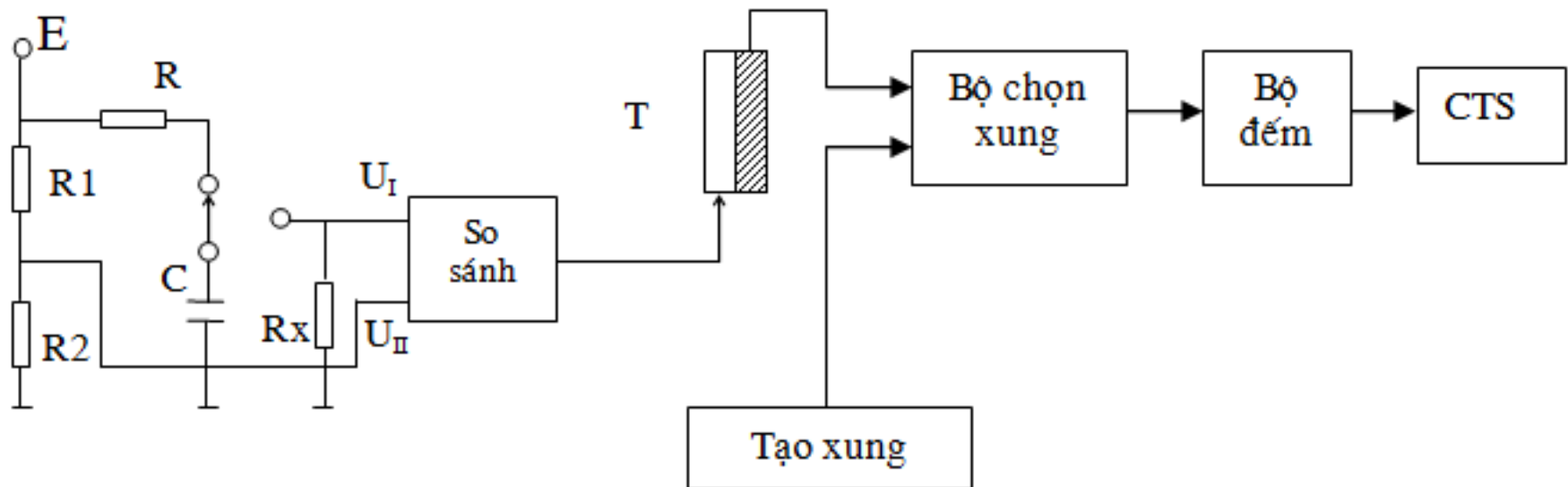
- Máy phát L-C.
- Cầu Wein ( R-C)
- Mạch đa hài



# Cảm biến tĩnh điện- Mạch đo

## ■ Mạch phát tần R-C

Hằng số thời gian của mạch dao động RC  $T = R_X C$



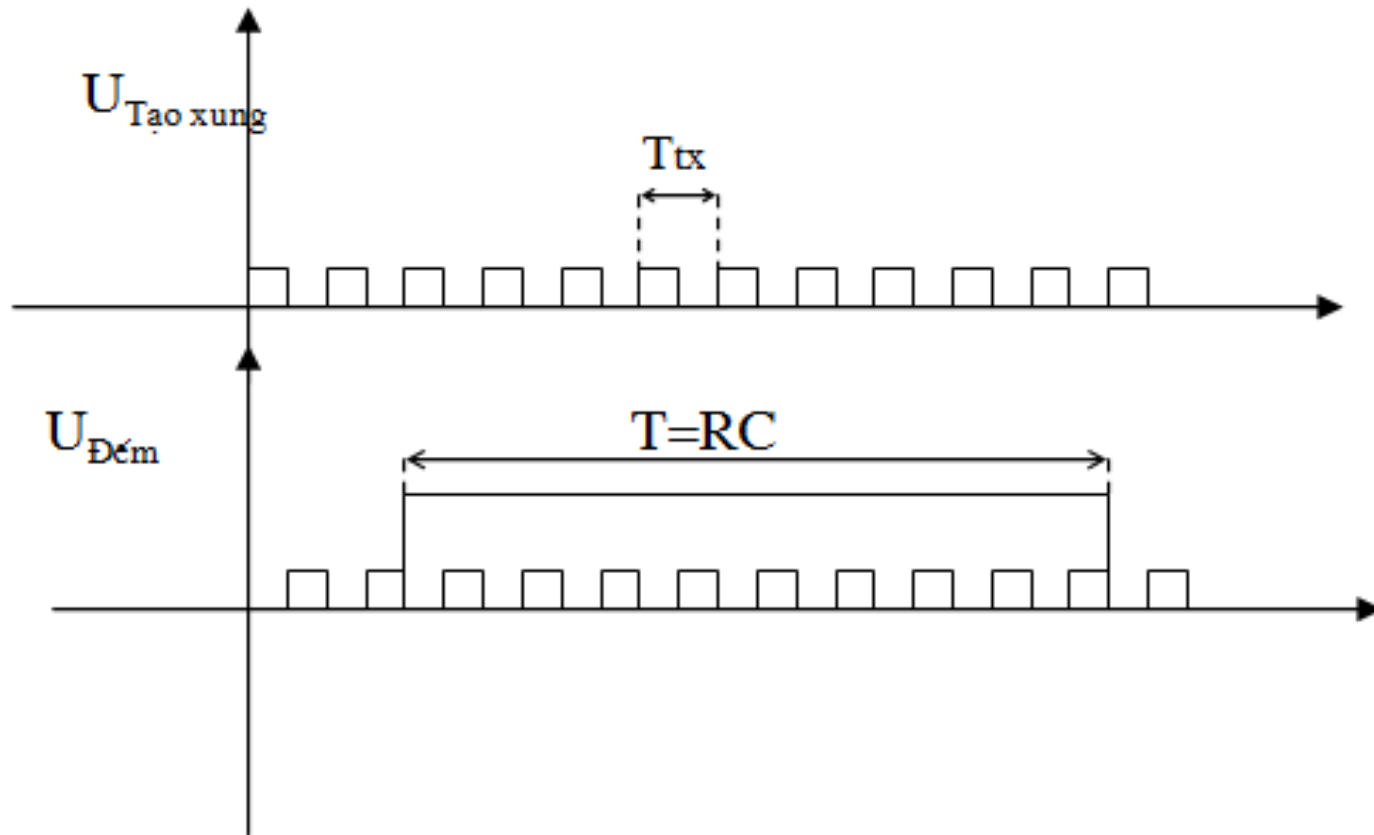
$$U_I = E.e^{-t/T}, t = T \Rightarrow U_T = E.e^{-1}$$

$$U_{II} = E.\frac{R2}{(R1 + R2)} = E.e^{-1}$$

# Cảm biến tĩnh điện- Mạch đo

## ■ Mạch đo

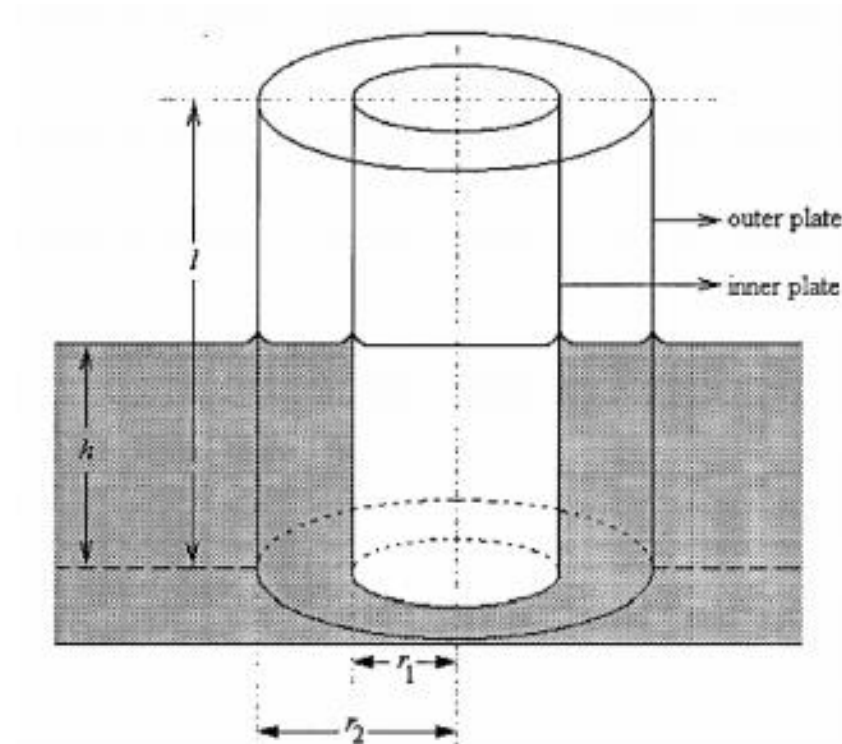
Ta có biểu đồ thời gian như sau :



Gọi số xung đếm được là  $m$ , ta có :  $T=R_x C=m.T_{tx} \Rightarrow$

# Cảm biến tĩnh điện- Ứng dụng

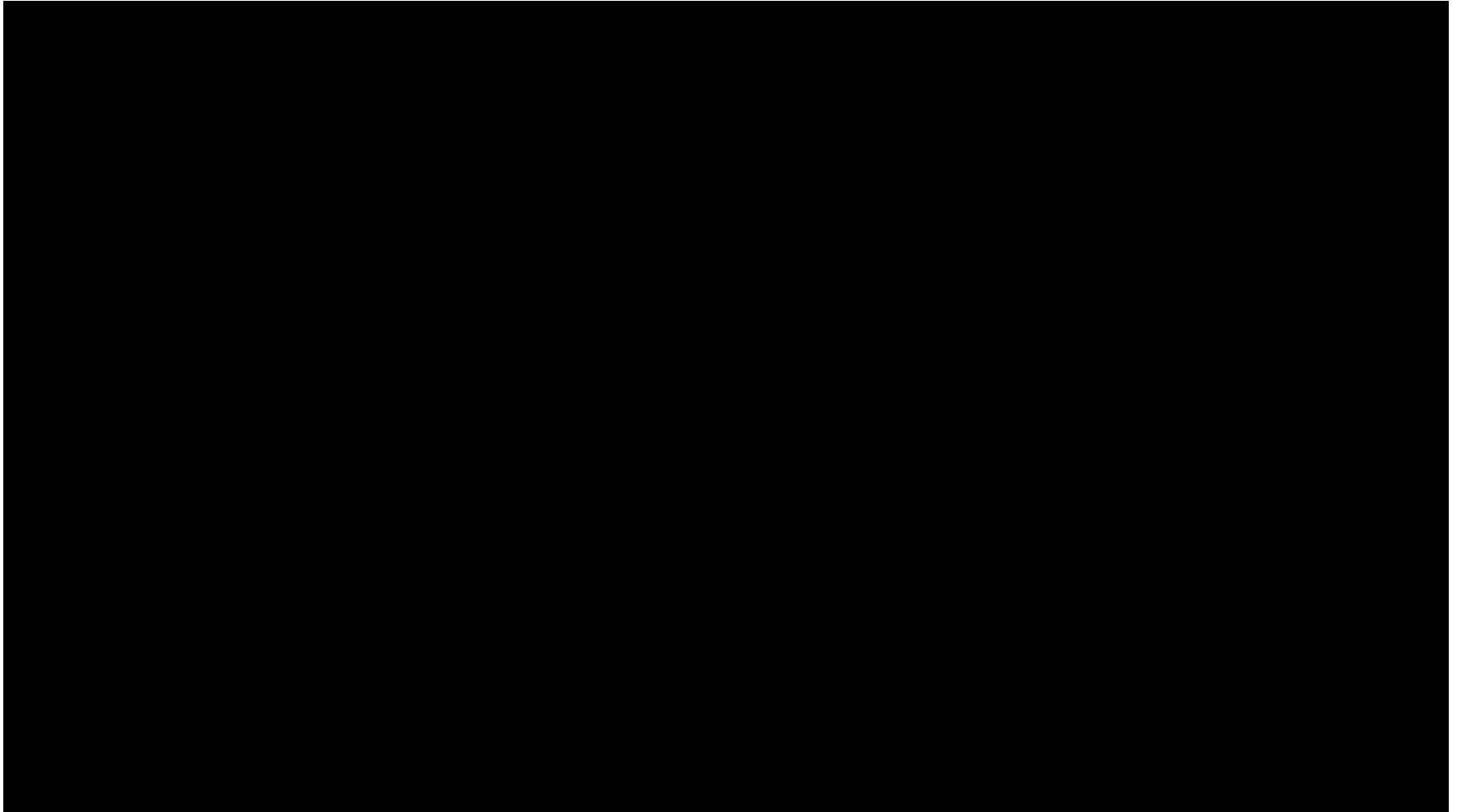
## ■ Đo mức chất lỏng hoặc hạt mịn





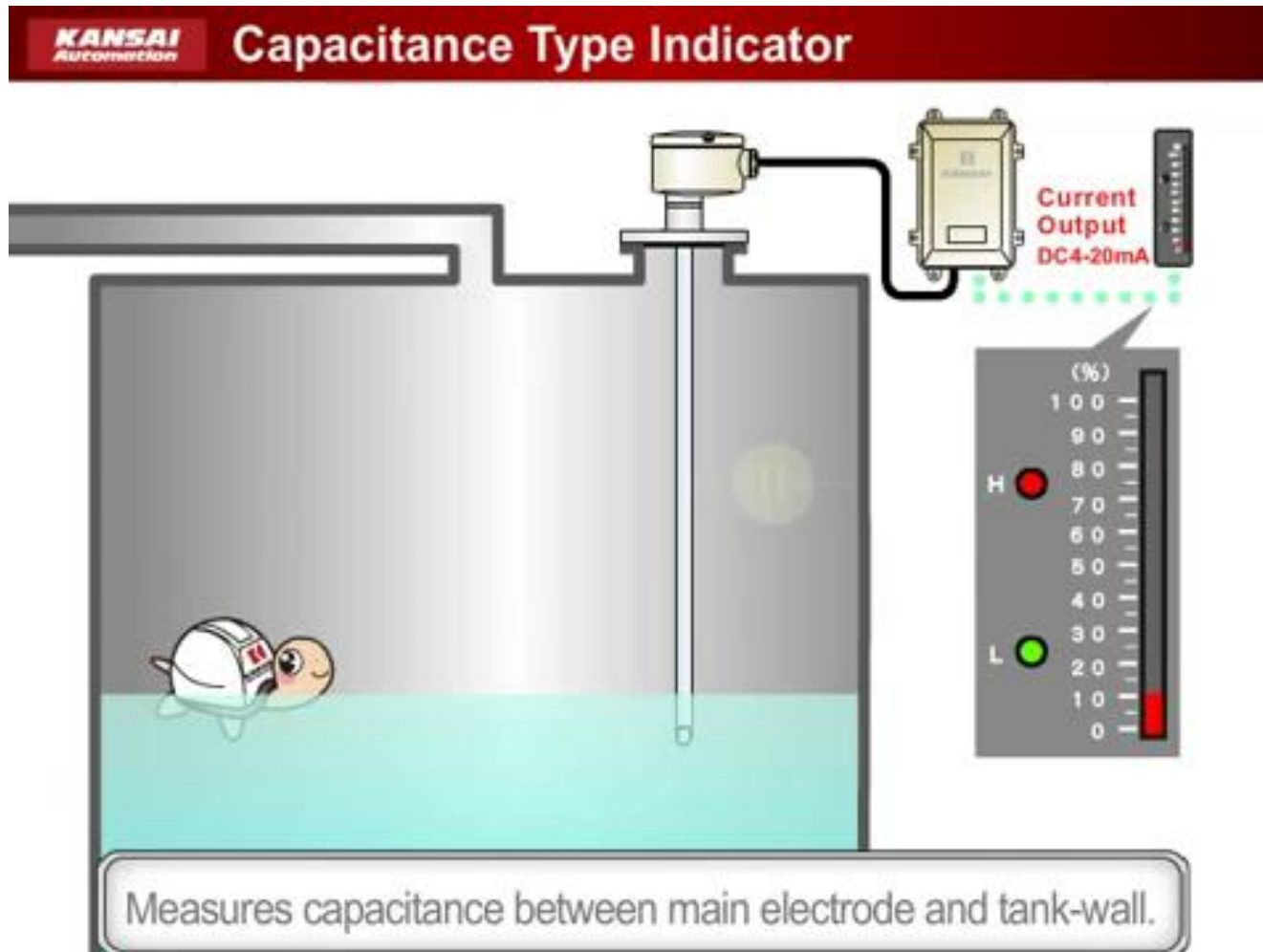
# Cảm biến tĩnh điện- Ứng dụng

- Đo mức chất lỏng hoặc hạt mịn



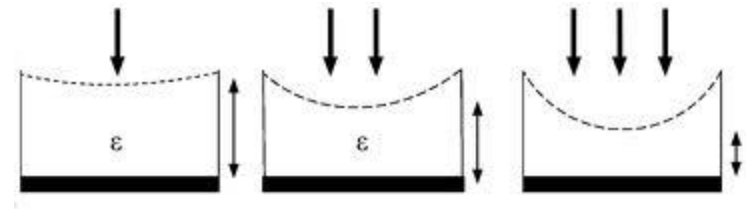
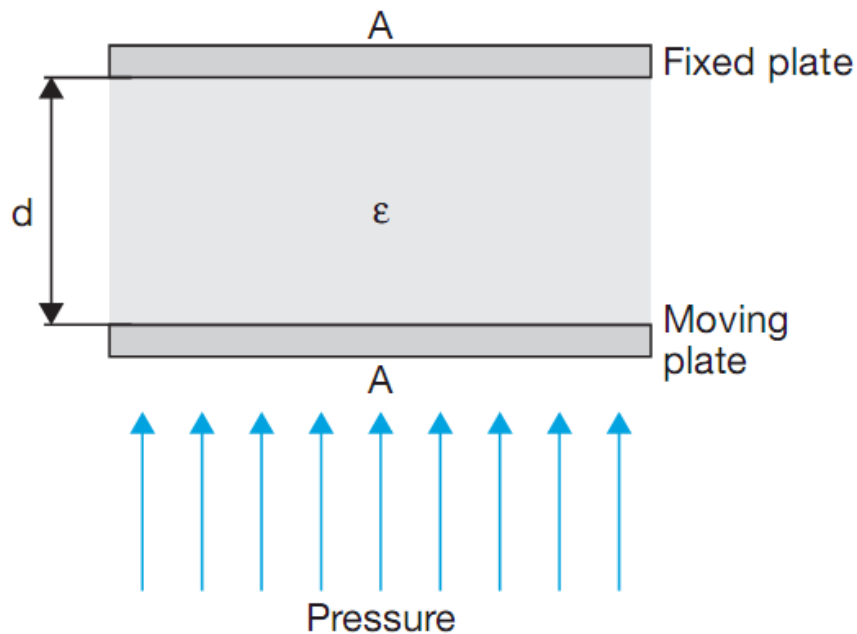
# Cảm biến tĩnh điện- Ứng dụng

## ■ Đo mức



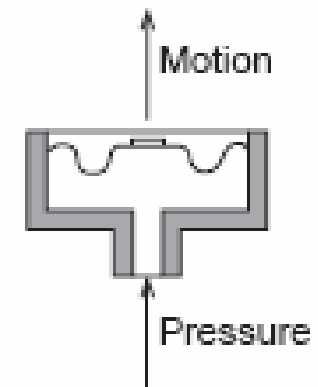
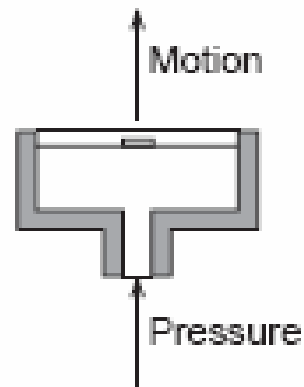
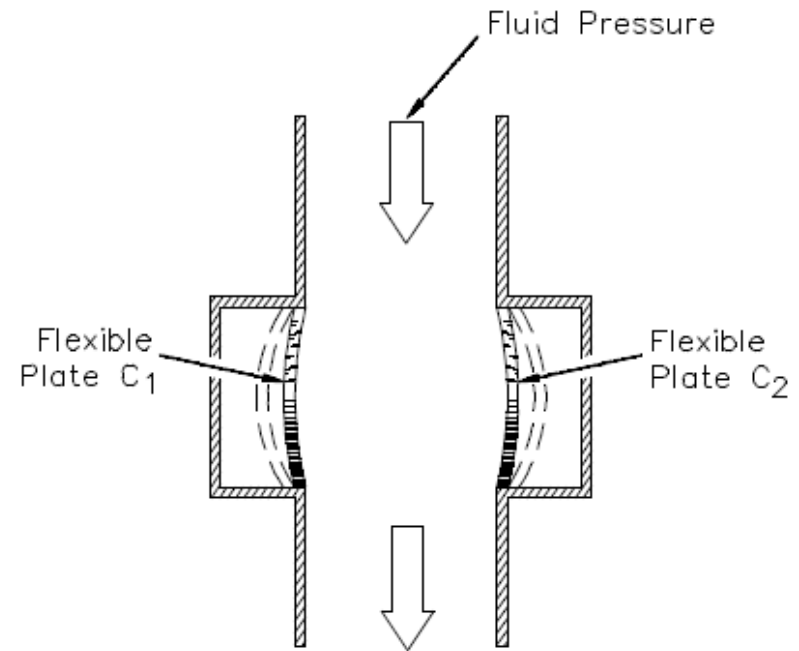
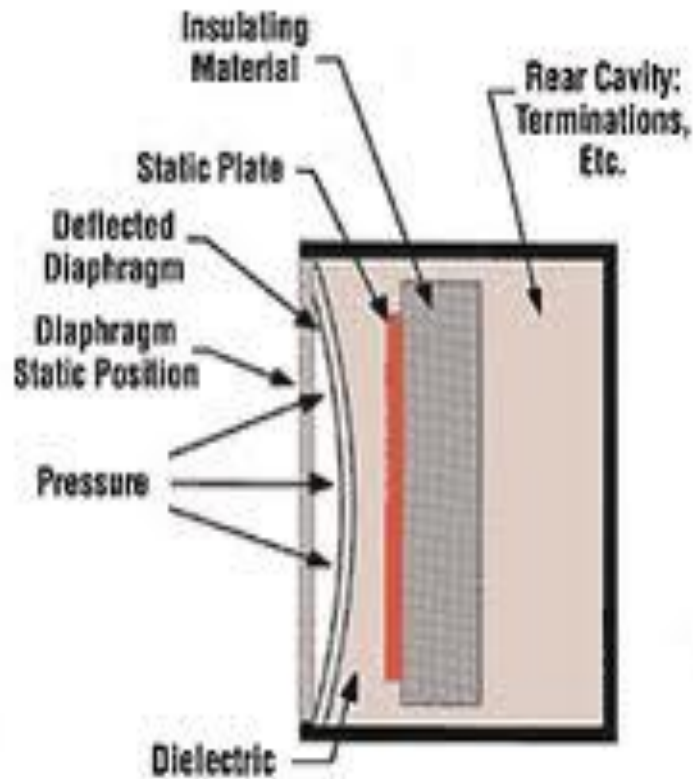
## ▶ Áp suất điện dung

- ◆ Gồm 2 bản cực, 1 bản cực cố định, 1 bản cực là màn chắn chịu tác động của áp suất
- ◆ Đo áp suất dựa vào điện dung của tụ điện



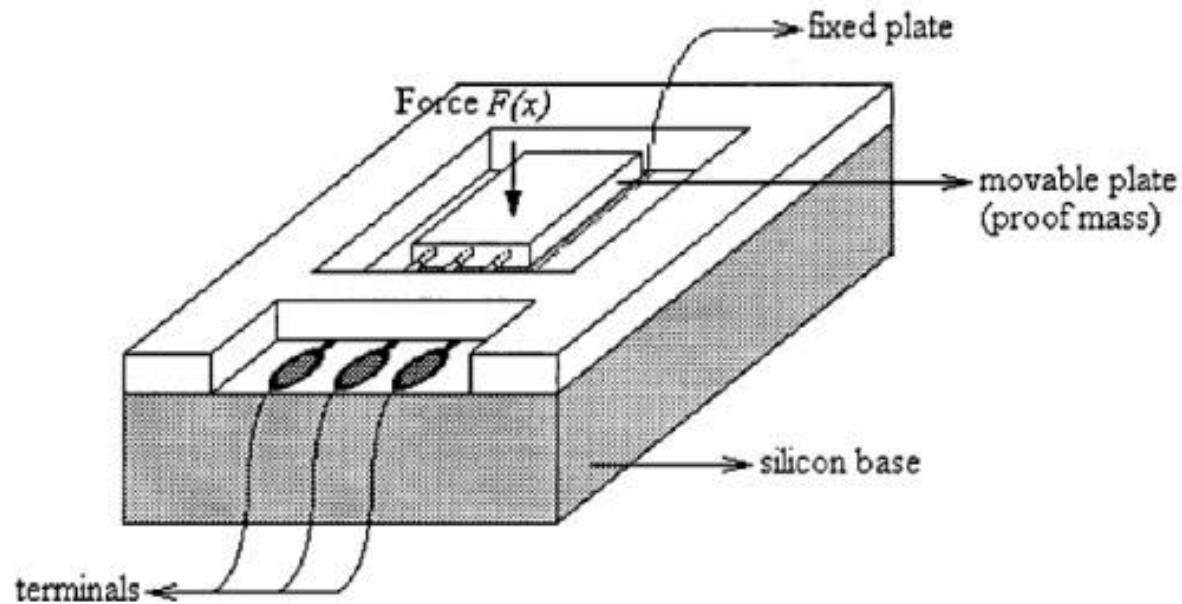
# Cảm biến tĩnh điện- Ứng dụng

## ► Loại điện dung



# Cảm biến tĩnh điện- Ứng dụng

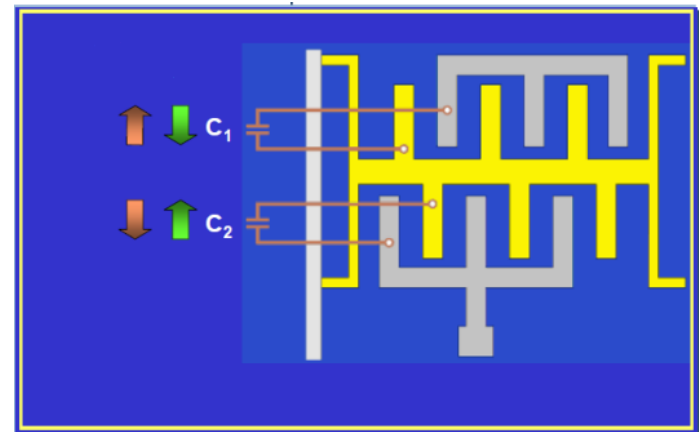
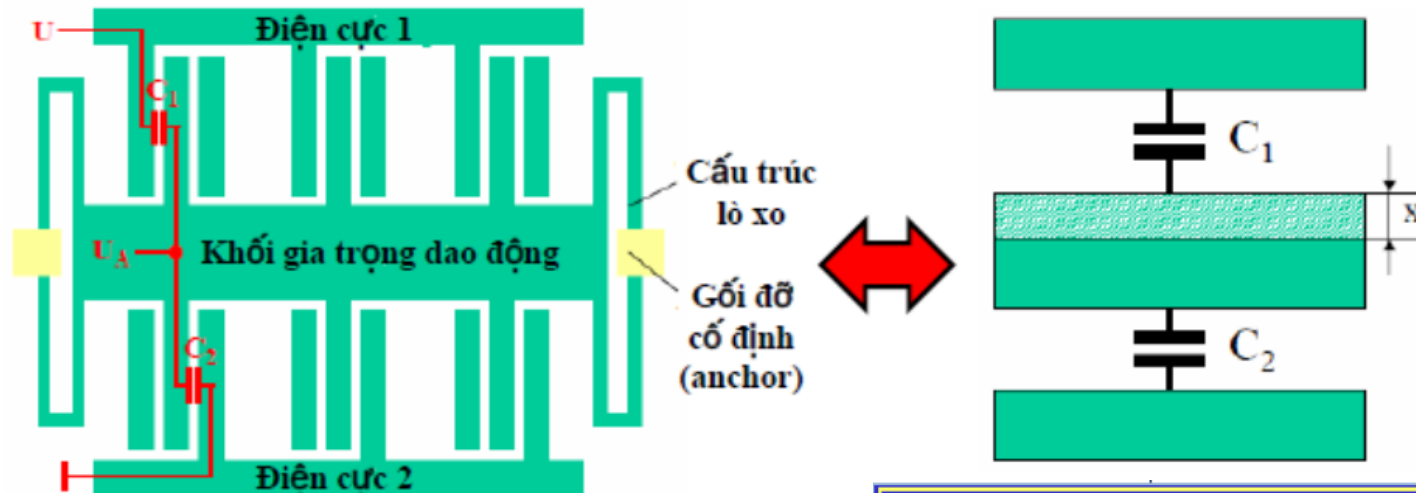
## ■ Đo gia tốc



# Cảm biến tĩnh điện- Ứng dụng

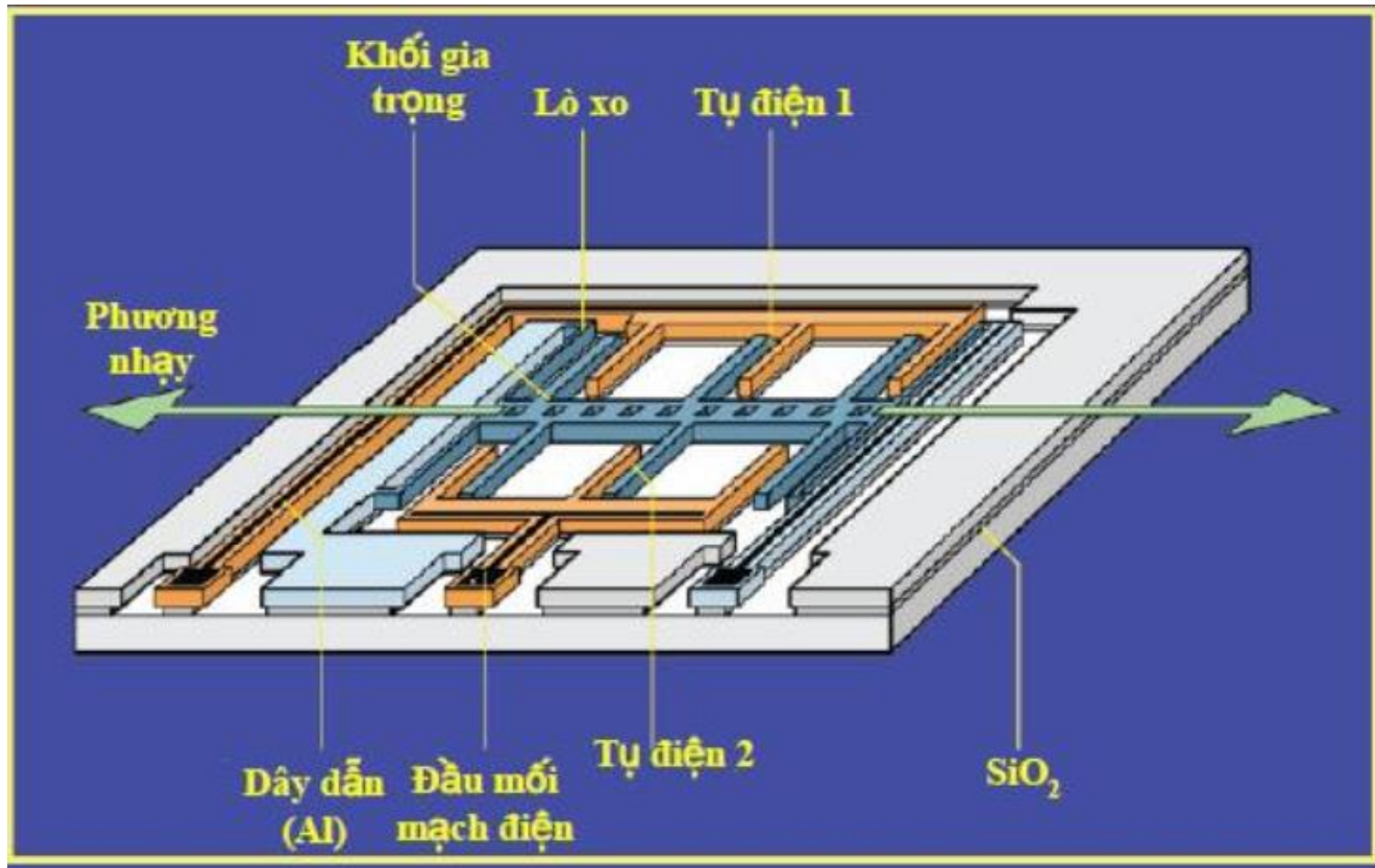
## ■ Đo gia tốc

☞ Cấu trúc kiểu điện cực răng lược



# Cảm biến tĩnh điện- Ứng dụng

## ■ Đo gia tốc



# Cảm biến tĩnh điện- Ứng dụng

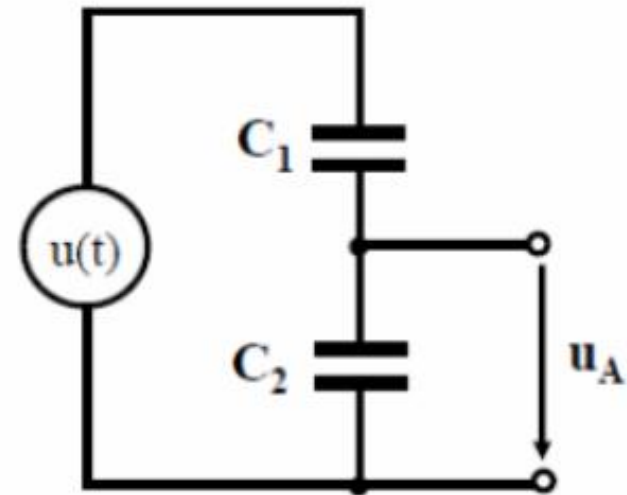
## ■ Đo gia tốc

### Nguyên lý đo

☞ Thế lối ra:  $u_A = u(t) \cdot \frac{\frac{1}{C_2}}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}} = u(t) \cdot \frac{1}{1 + \frac{C_2}{C_1}}$

Vi:  $\frac{C_2}{C_1} = \frac{d+x}{d-x} = \frac{d+a\frac{m}{k}}{d-a\frac{m}{k}}$

$$\Rightarrow u_A = \frac{1}{2} u(t) \left( 1 - \frac{m}{k \cdot d} a \right) \quad a = \frac{k}{m} \cdot x$$

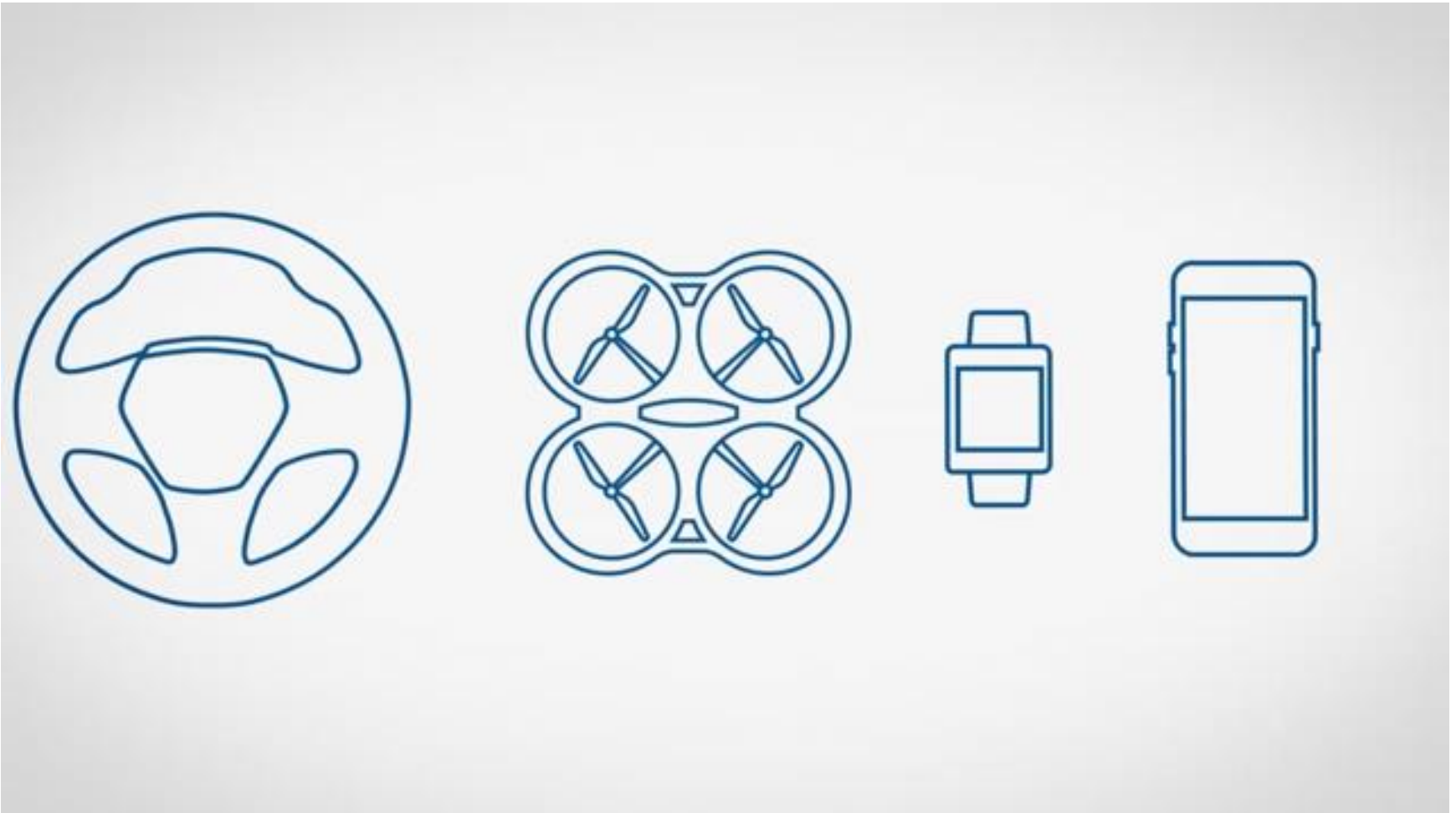


$u(t)$ : thế lối vào



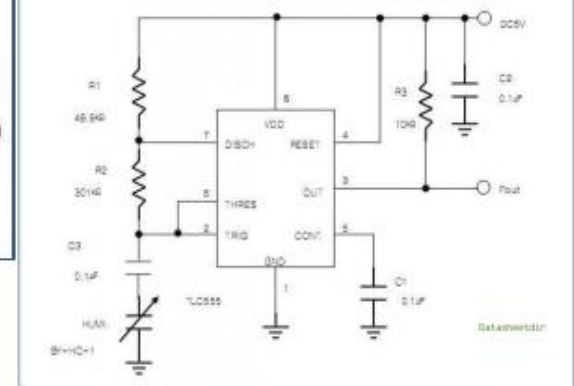
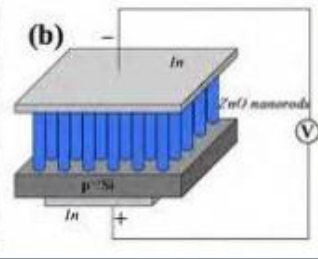
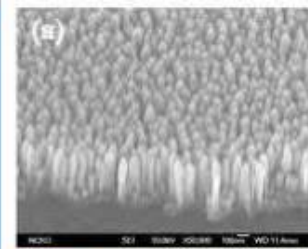
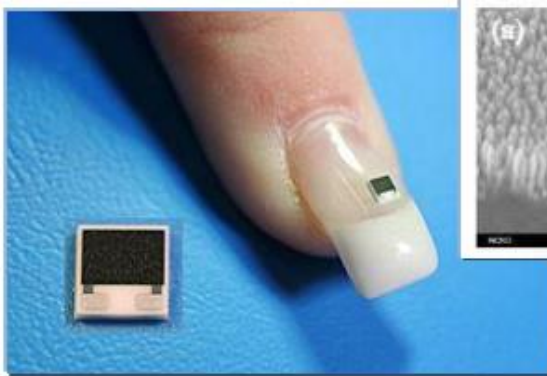
# Cảm biến tĩnh điện- Ứng dụng

## ■ Đo gia tốc

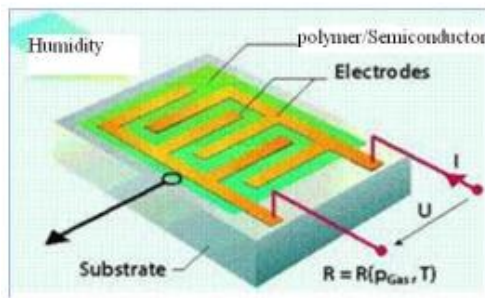
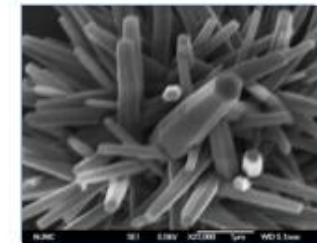


# Cảm biến tĩnh điện- Ứng dụng

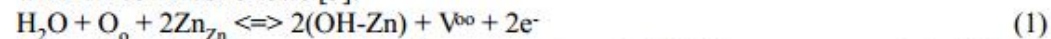
## ■ Đo độ ẩm



**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  $\text{O}_o$  is the lattice oxygen at the oxygen site and  $\text{V}^{\text{oo}}$  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.

# Cảm biến tĩnh điện- Ứng dụng

## ■ Màn hình cảm ứng

### 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

$\epsilon_r$  is the relative permittivity, also called dielectric constant, of the insulating material between the plates

$\epsilon_0$  is the permittivity of free space ( $8.854 \times 10^{-12}$  F/m)

A is the area of the plates

d is the distance between the plates

relative permittivity  $\epsilon_r$

air/vacuum:  $\epsilon=1$

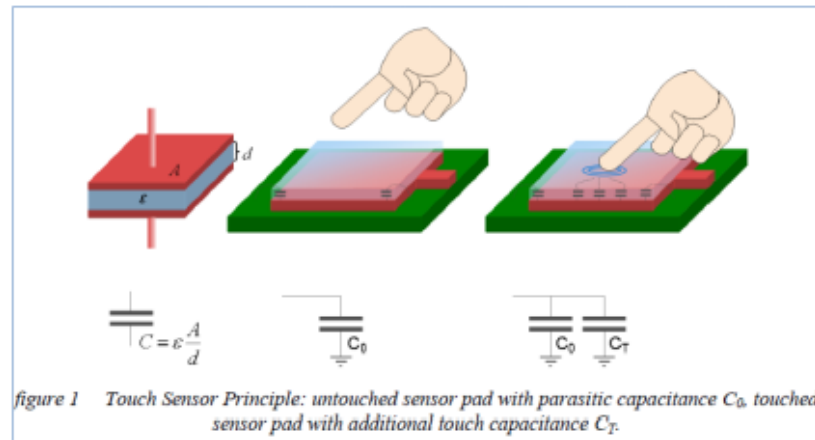
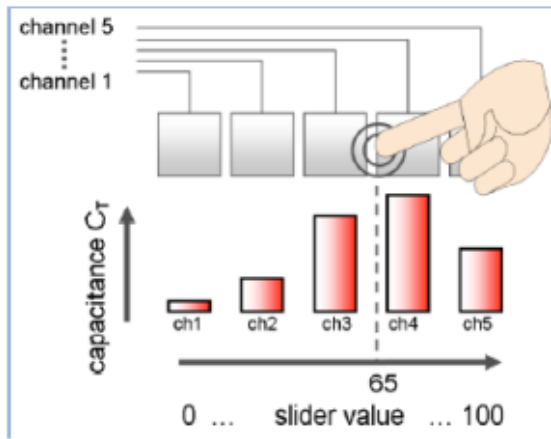
PE:  $\epsilon=2$

wood:  $\epsilon=3$

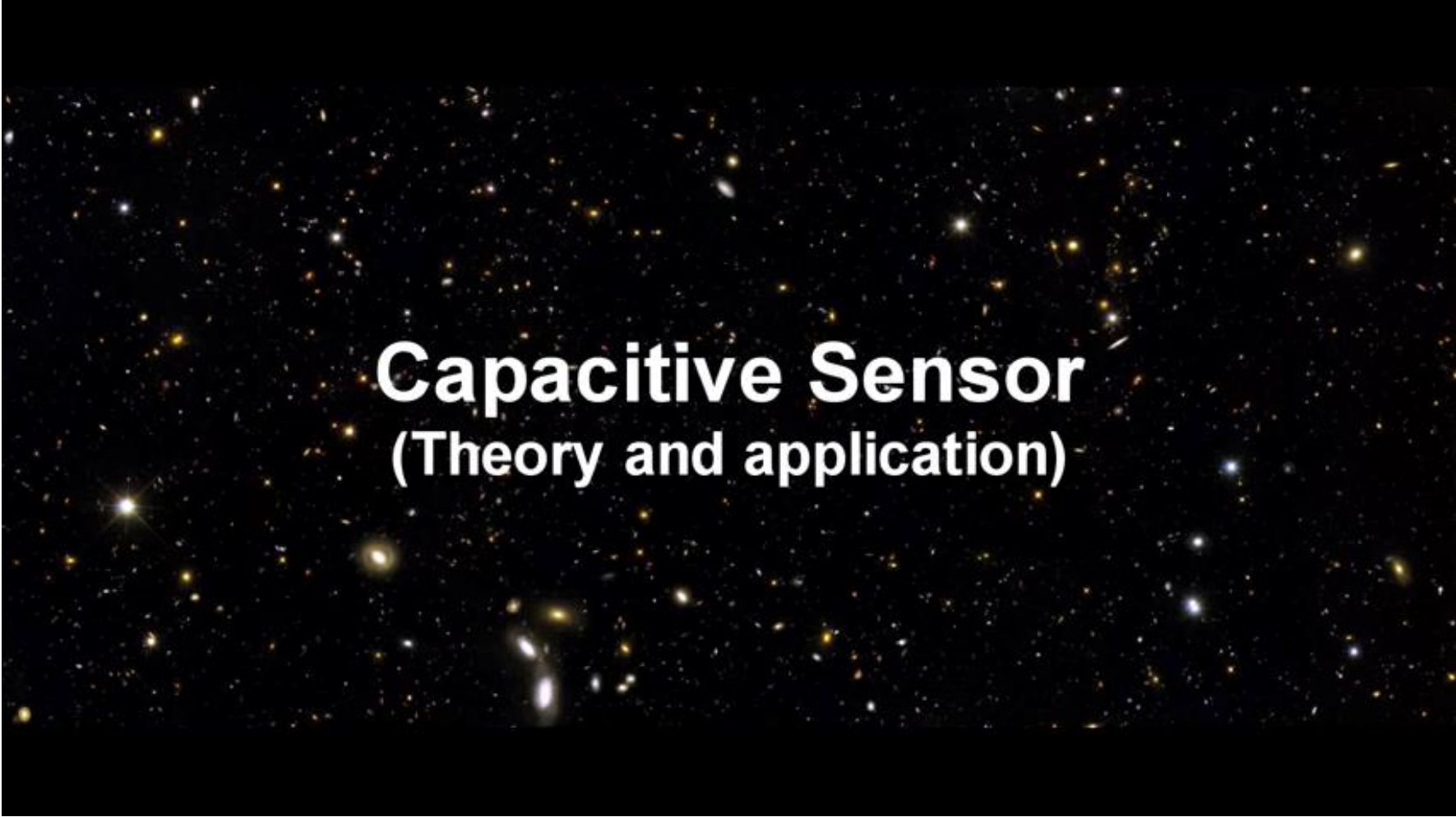
ABS:  $\epsilon=4$

glass:  $\epsilon=7$

water:  $\epsilon=80$



## ■ Màn hình cảm ứng



**Capacitive Sensor**  
(Theory and application)

# Cảm biến tiệm cận điện dung

- Cảm biến tiệm cận điện dung khi có mặt của đối tượng làm thay đổi điện dung  $C$  của bản cực.
- Cảm biến tiệm cận dung gồm 4 bộ phận chính: Cảm biến (các bản cực cách điện); mạch dao động; bộ phát hiện; mạch đầu ra. Tuy nhiên cảm biến dung không đòi hỏi đối tượng làm bằng kim loại. Đối tượng phát hiện là chất lỏng, vật liệu phi kim, thủy tinh, nhựa. Tốc độ chuyển mạch tương đối nhanh, có thể phát hiện đối tượng có kích thước nhỏ, phạm vi cảm nhận lớn.
- Cảm biến điện dung chịu ảnh hưởng bởi bụi và độ ẩm. Cảm biến điện dung có vùng cảm nhận lớn hơn vùng cảm nhận của cảm biến điện cảm



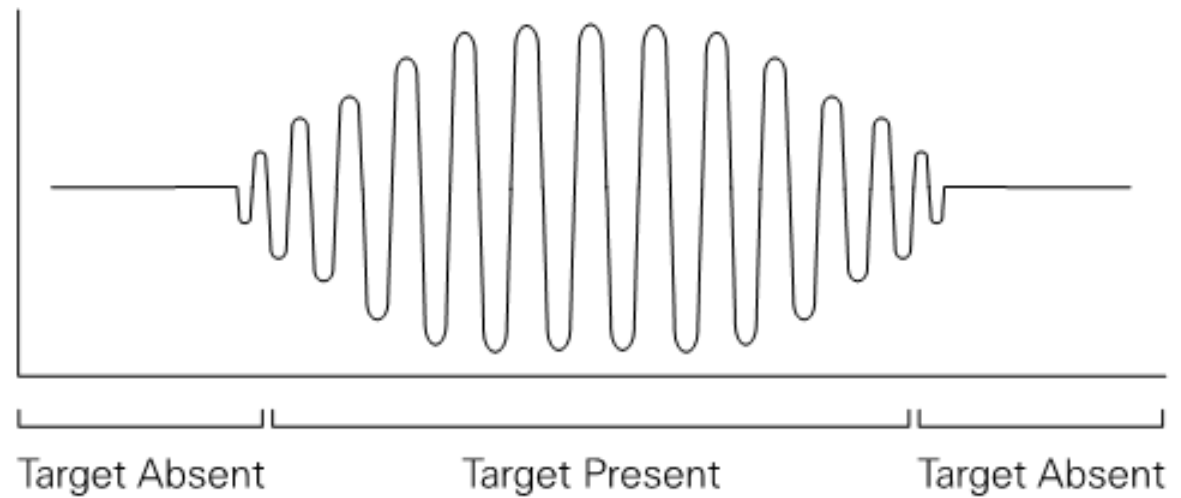
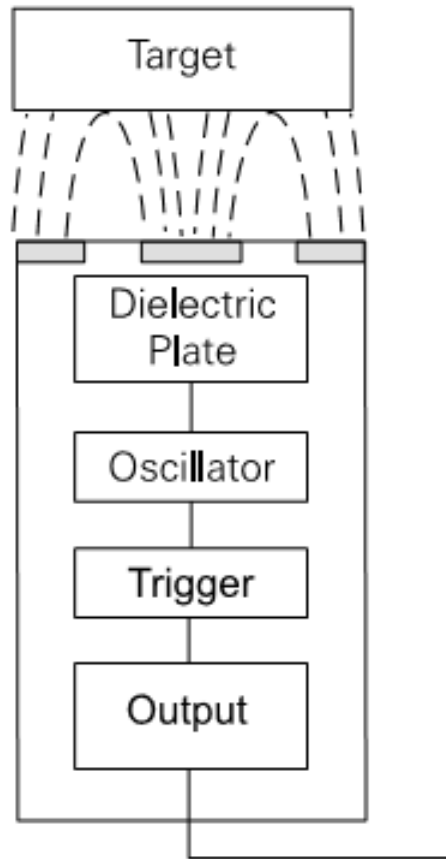


# Cảm biến tiệm cận loại điện dung

## ■ Cấu tạo và hoạt động

- ❖ Bề mặt của cảm biến điện dung có 2 bản cực kim loại có dạng đồng tâm.
- ❖ Khi đối tượng đến gần cảm biến, làm thay đổi điện dung trong mạch dao động và mạch dao động bắt đầu hoạt động.
- ❖ Mạch kích đo biên độ dao động và kích ngõ ra cảm biến thay đổi trạng thái khi biên độ đến mức chỉ định.

# Cảm biến tiệm cận loại điện dung



# Cảm biến tiệm cận loại điện dung





# Cảm biến tiệm cận loại điện dung

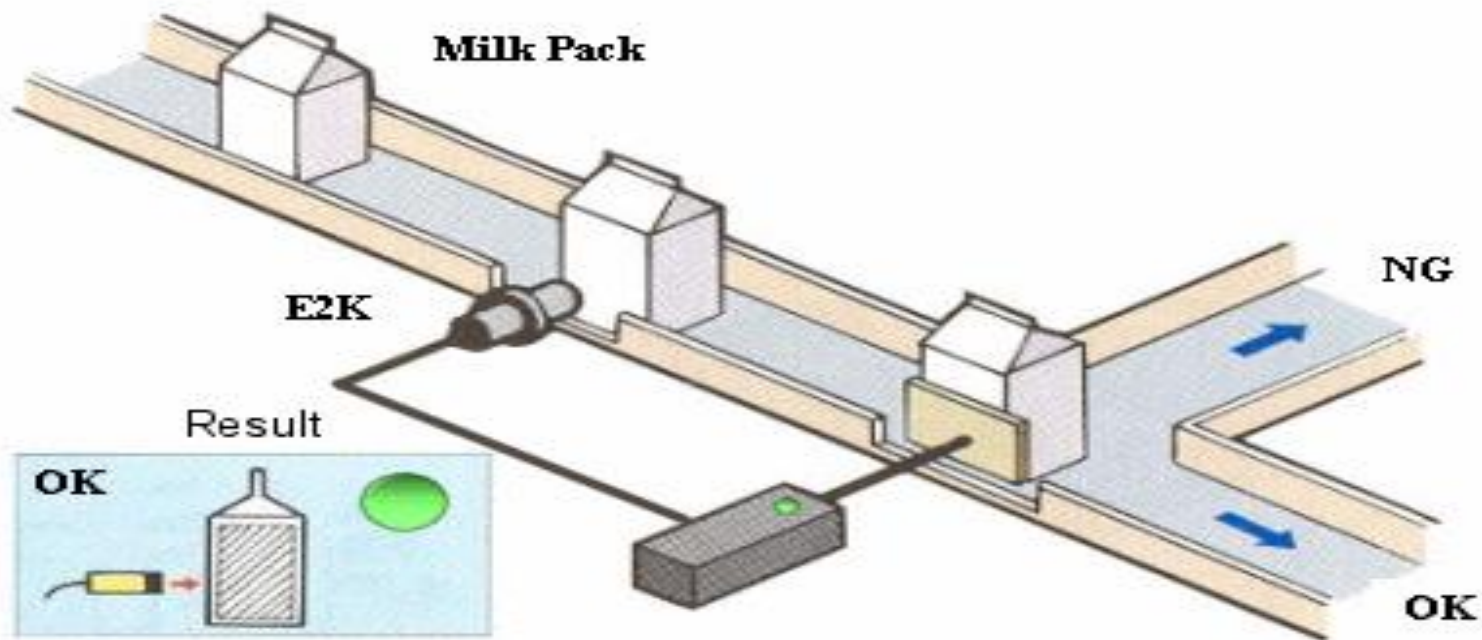
## ■ Ưu điểm

- ❖ Phát hiện được mọi vật liệu
- ❖ Ổn định và tốc độ cao
- ❖ Độ phân giải tốt
- ❖ Giá thấp

## ■ Nhược điểm

- ❖ Ảnh hưởng bởi nhiệt độ và độ ẩm
- ❖ Khó thiết kế
- ❖ Độ tuyến tính không cao
- ❖ Không chính xác bằng cảm biến loại cảm ứng

# Ứng dụng cảm biến tiệm cận



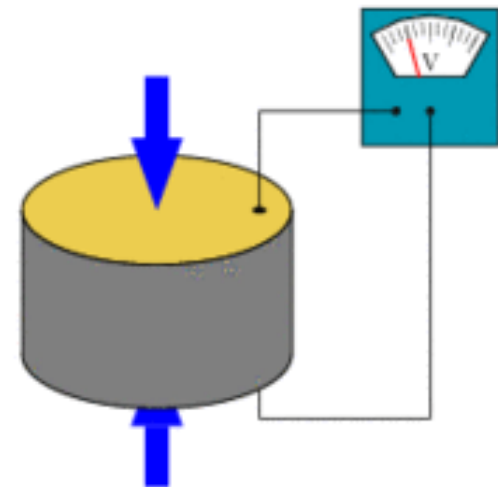
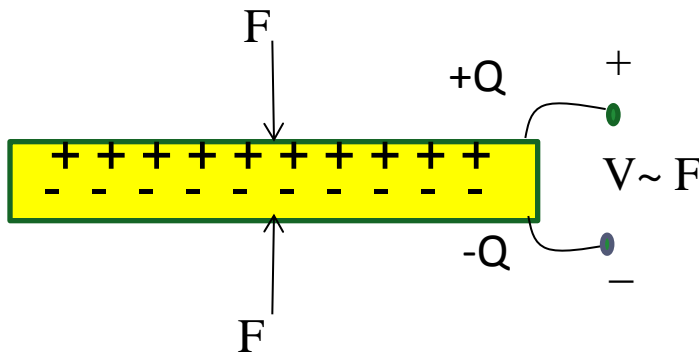
**E2K-C là sensor tiệm cận công suất lớn có thể phát hiện được chất lỏng bên trong hộp hay không (phát hiện độ rỗng của Hộp).**

# Cảm biến áp điện

## ■ Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

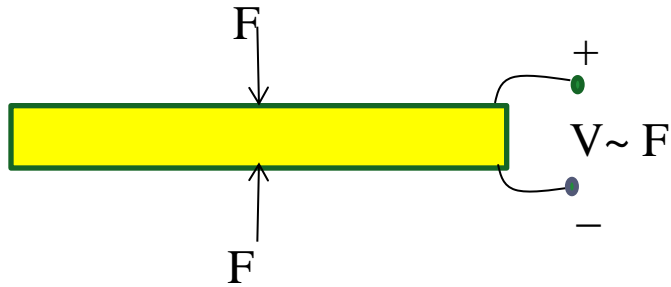
### ❖ Nguyên lý hoạt động:

- ✓ Dưới tác dụng của lực cơ học, tấm áp điện bị biến dạng, làm xuất hiện trên hai bản cực các điện tích trái dấu. Hiệu điện thế xuất hiện giữa hai bản cực ( $V$ ) tỉ lệ với lực tác dụng ( $F$ ).



# Cảm biến áp điện

## ■ Các dạng biến dạng cơ bản:



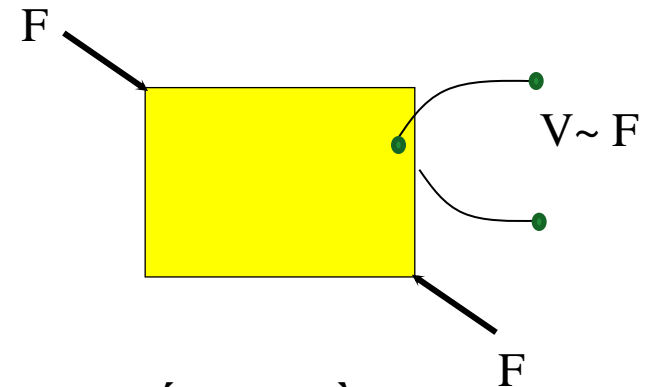
a) Theo chiều dọc



b) Theo chiều ngang



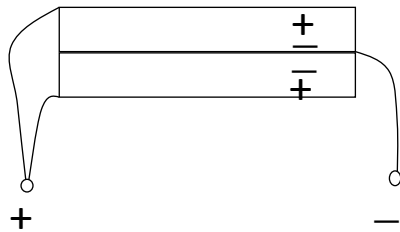
c) Cắt theo bề dày



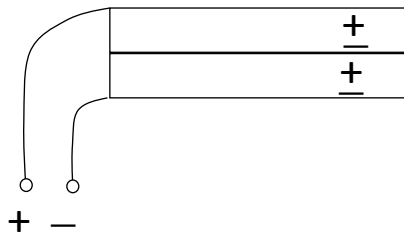
d) Cắt theo bề mặt

# Cảm biến áp điện

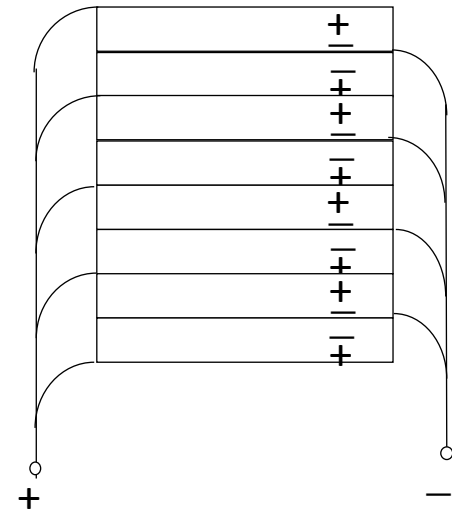
## ■ Cách ghép các phần tử áp điện thành bộ:



a) Hai phần tử song song  
 $C_b = 2C$

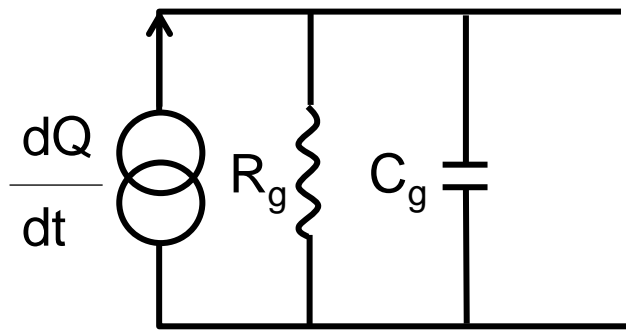


b) Hai phần tử nối tiếp  
 $C_b = 1/2C$ ,  $R_b = 2R$ ,  $V_b = 2V$



c) Nhiều phần tử song song

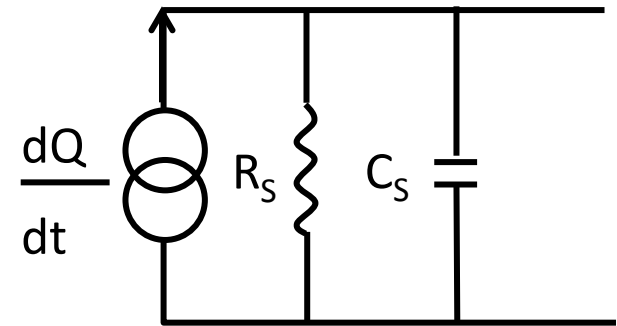
## Sơ đồ tương đương của cảm biến:



a) Trong dải thông có ích

$R_g$  - Điện trở trong của cảm biến

$C_g$  - Điện dung của cảm biến



b) Nối với mạch ngoài

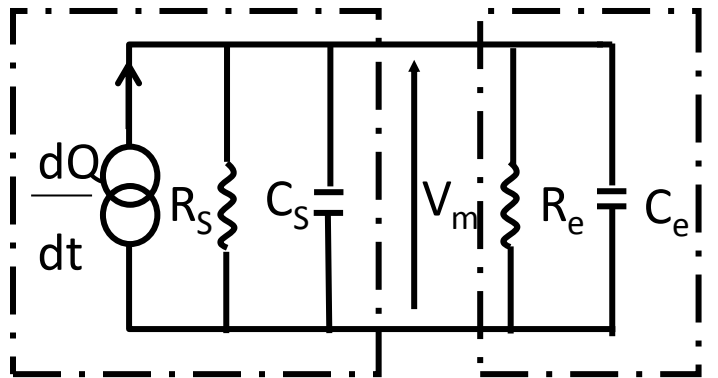
$$\frac{1}{R_s} = \frac{1}{R_g} + \frac{1}{R_1}$$

$$C_s = C_g + C_1$$

$R_1$  và  $C_1$ : điện trở và tụ tương đương với trở kháng cáp dẫn

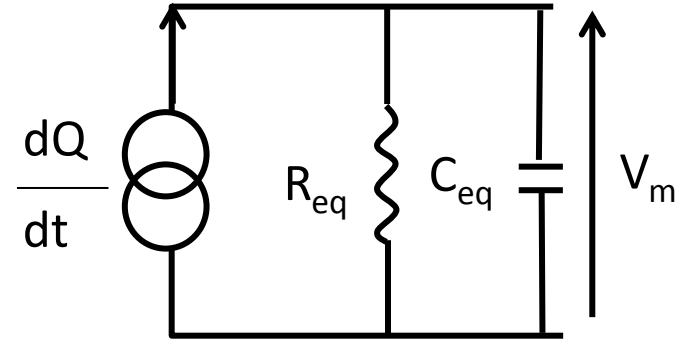
# Cảm biến áp điện

## Sơ đồ khuếch đại điện áp



Cảm biến  
và cáp nối

$Z_v$  của khuếch  
đại điện áp



Sơ đồ tương đương

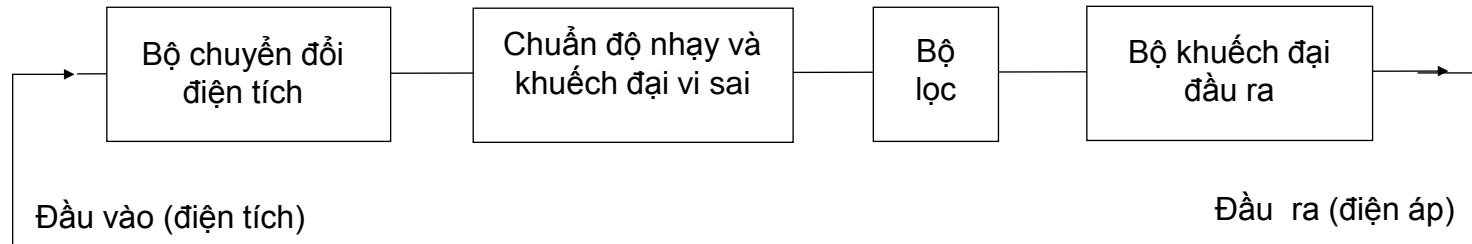
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_e}$$

$$C_{eq} = C_s + C_e$$

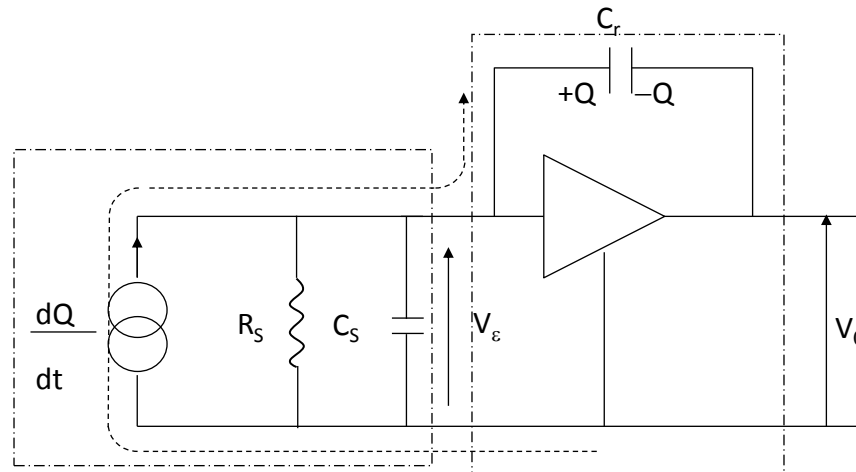
Điện áp ở cửa vào của bộ khuếch đại:  $V_m = \frac{Q}{C_q} \cdot \frac{R_{eq} C_{eq} P}{1 + R_{eq} C_{eq} P}$

# Cảm biến áp điện

## Sơ đồ khuếch đại điện tích



### a) Sơ đồ khối bộ chuyển đổi điện tích – điện áp



### b) Sơ đồ ghép nối cảm biến và bộ chuyển đổi điện tích - điện áp



# Cảm biến áp điện

- Trong mạch khuếch đại điện tích, sự di chuyển của điện tích ở lối vào sẽ gây nên ở lối ra một điện áp tỉ lệ với điện tích đầu vào. Bộ khuếch đại điện tích gồm một bộ biến đổi điện tích - điện áp đầu vào, một tầng chuẩn độ nhảy, một bộ lọc trung gian và một số tầng khuếch đại ở đầu ra để cung cấp tín hiệu ra .

# Cảm biến áp điện

## ■ Ứng dụng của áp điện

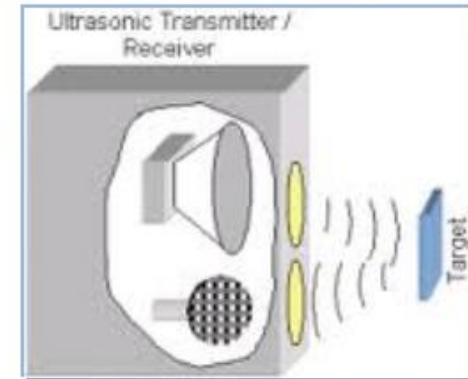
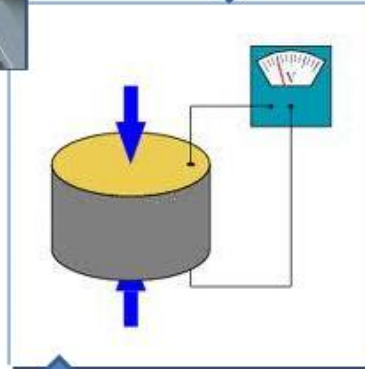
### PIEZOELECTRIC SENSORS FOR DYNAMIC PRESSURE



**Piezoelectric Force Sensors**

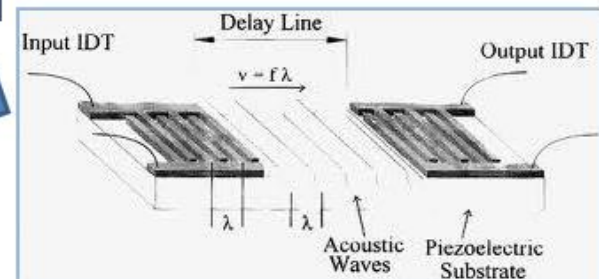


**Piezoelectric Accelerometers**



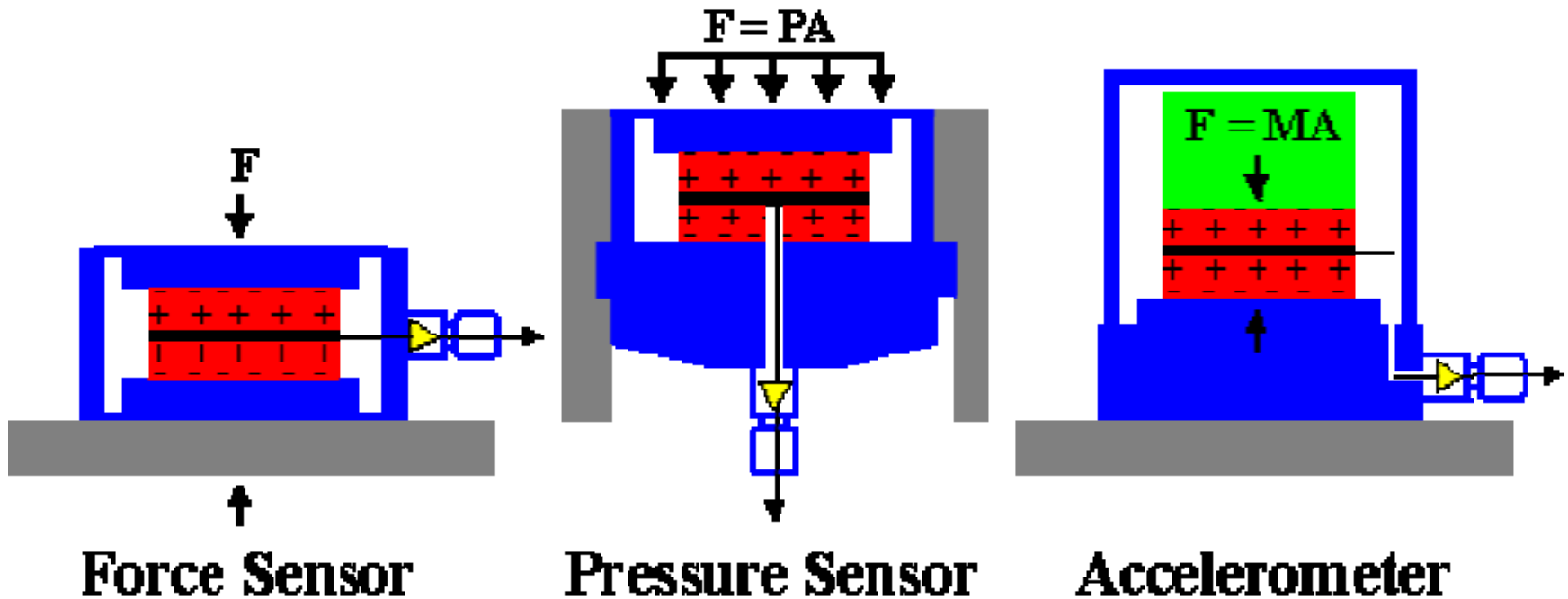
**Ultrasonic Sensors**  
(Piezoelectric microphone)

**SAW Sensors**



# Cảm biến áp điện

## ■ Ứng dụng của cảm biến áp điện

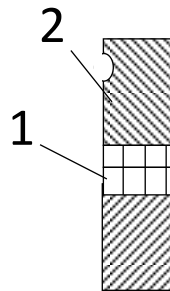


# Cảm biến áp điện

## ■ Cảm biến thạch anh kiểu vòng đệm đo lực

### ■ Các vòng đệm:

- Phiên cắt từ đơn tinh thể thạch anh nhạy với lực nén dọc theo

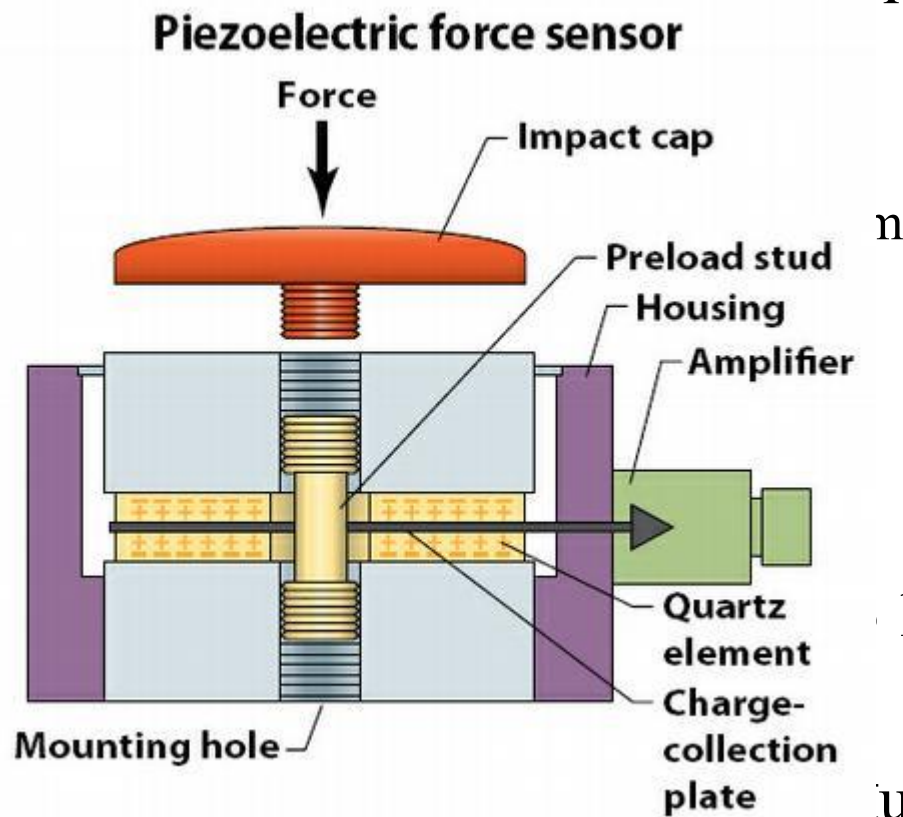


### ■ Đặc điểm:

- Chỉ nhạy thể đo lực

### ■ Giới hạn

1 cm) đến  $10^3$  kN ( với đường kính  $\sim 10$  cm).



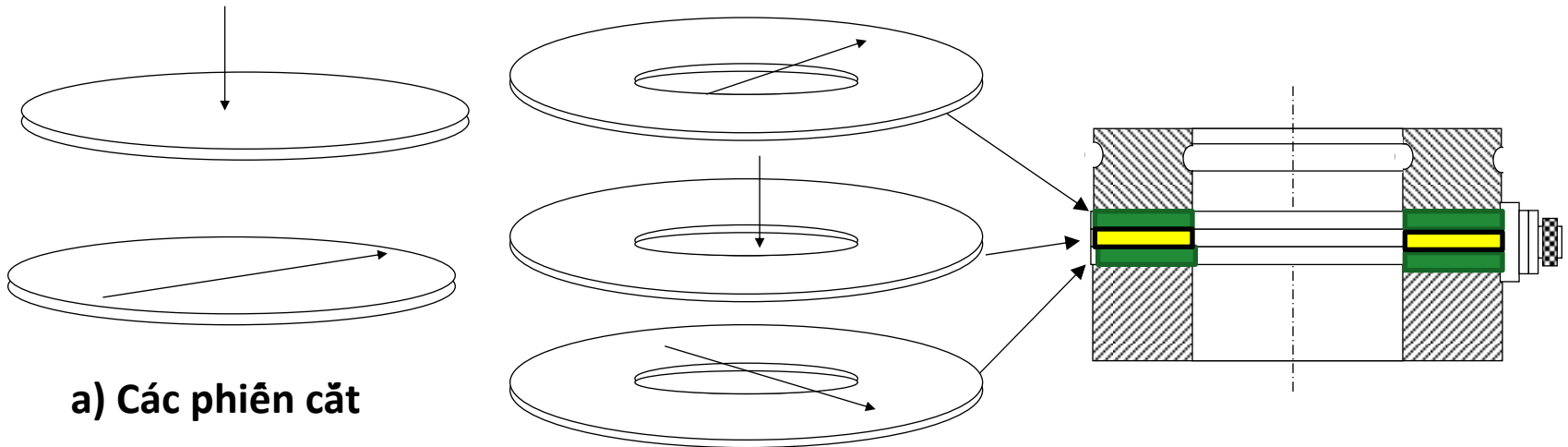
lực nén (có

ường kính  $\sim$

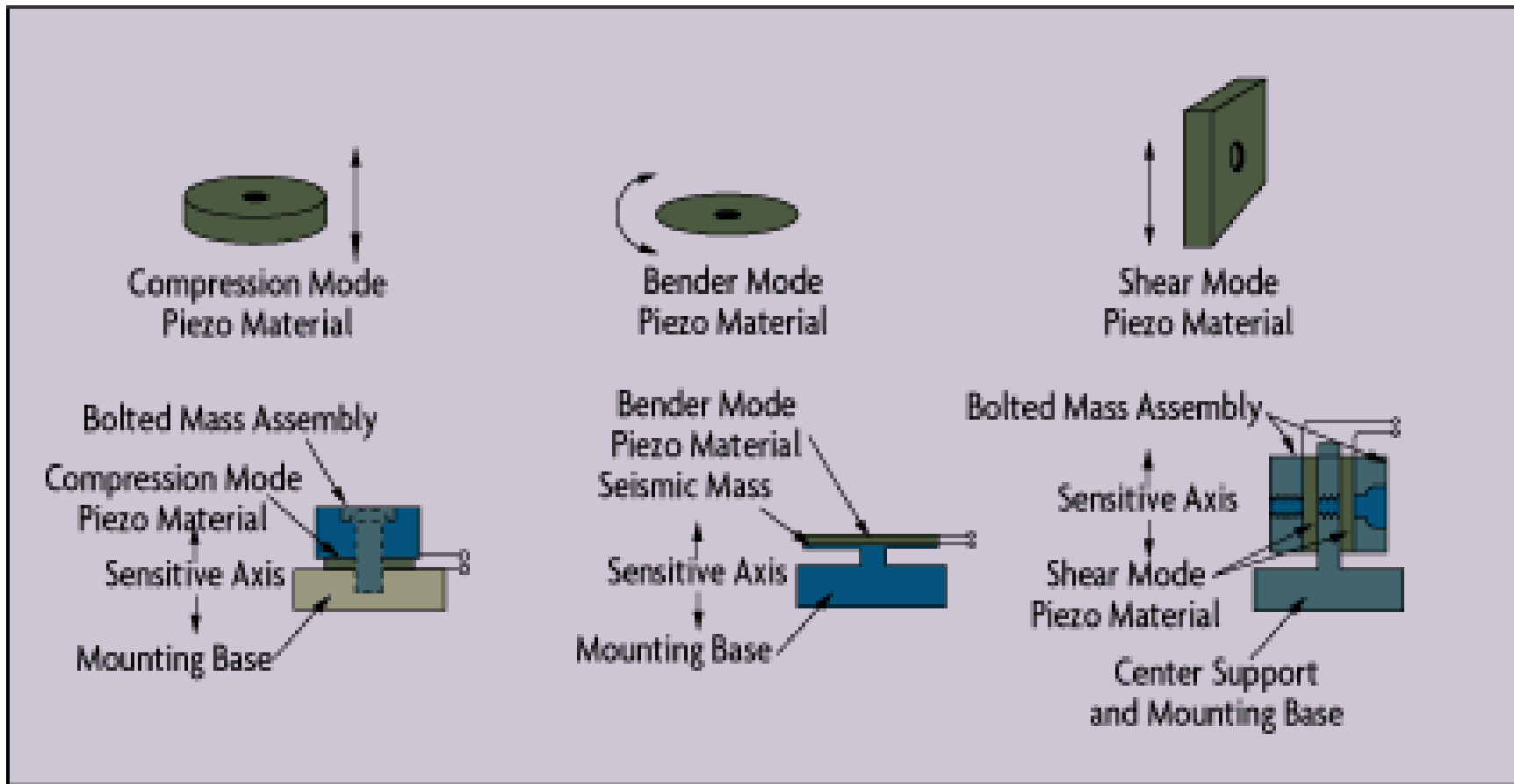
# Cảm biến áp điện

## ► CB thạch anh kiểu vòng đệm

### ◆ Nhiều vòng đệm:



b) Cảm biến ba  
thành phần vuông góc



Piezoelectric Sensor Element Designs