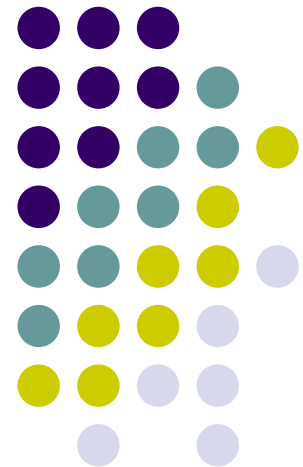


Kỹ thuật cảm biến

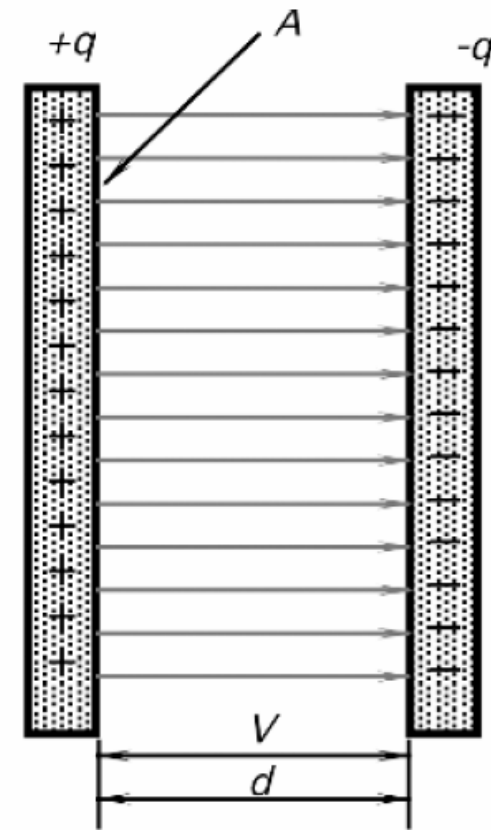
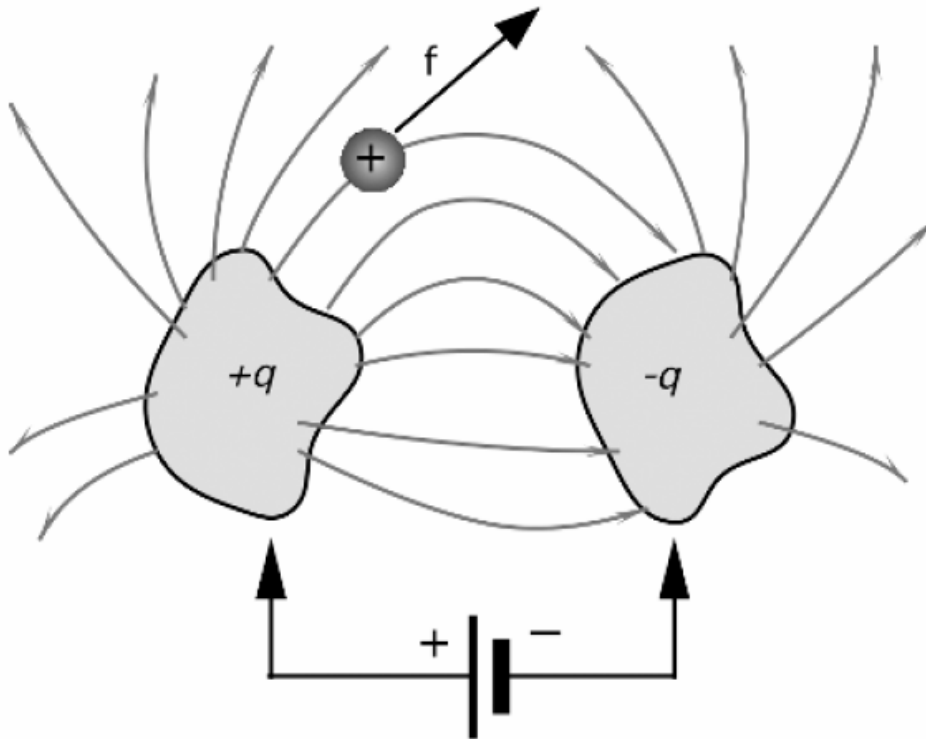
Cảm biến tĩnh điện





Cảm biến điện dung

- Cấu tạo và nguyên lý làm việc:



Cảm biến điện dung



$$\frac{q}{V} = C.$$

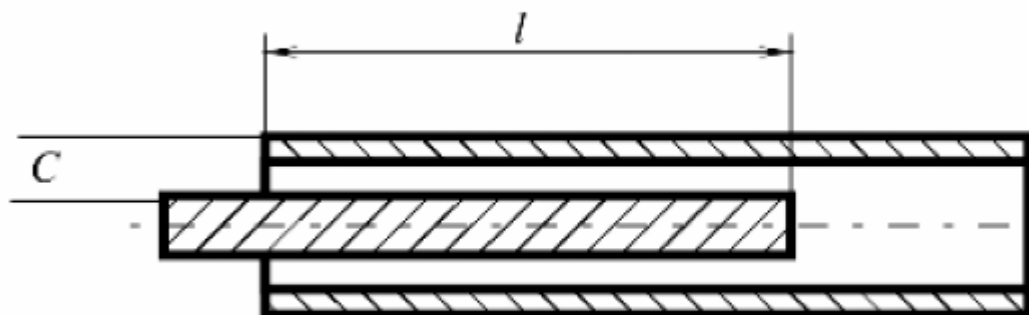
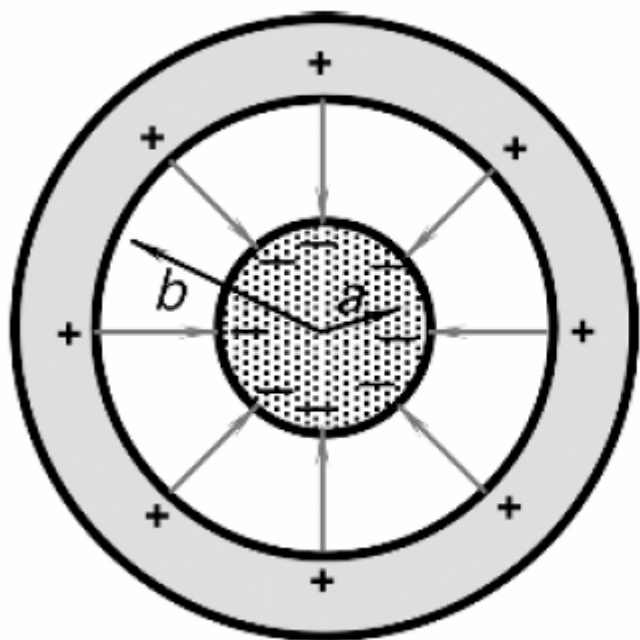
$$1 \text{ picofarad (pF)} = 10^{-12} \text{ F}$$

$$1 \text{ nanofarad (nF)} = 10^{-9} \text{ F}$$

$$1 \text{ microfarad (}\mu\text{F)} = 10^{-6} \text{ F}$$

$$\frac{V}{i} = -\frac{1}{j\omega C},$$

Cảm biến điện dung



Cảm biến điện dung



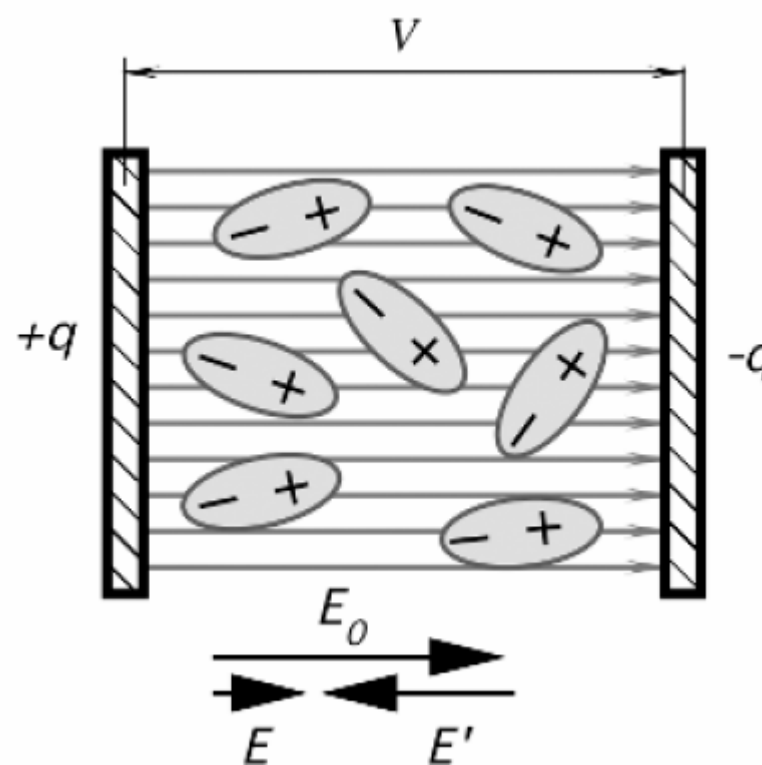
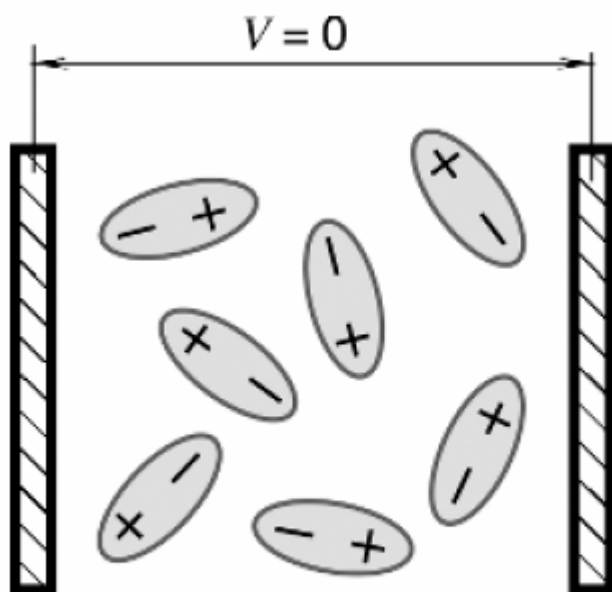
$$C = \frac{\varepsilon_0 A}{d}.$$

$$C = \frac{2\pi \varepsilon_0 l}{\ln(b/a)}.$$



Cảm biến điện dung

- Hằng số điện môi:



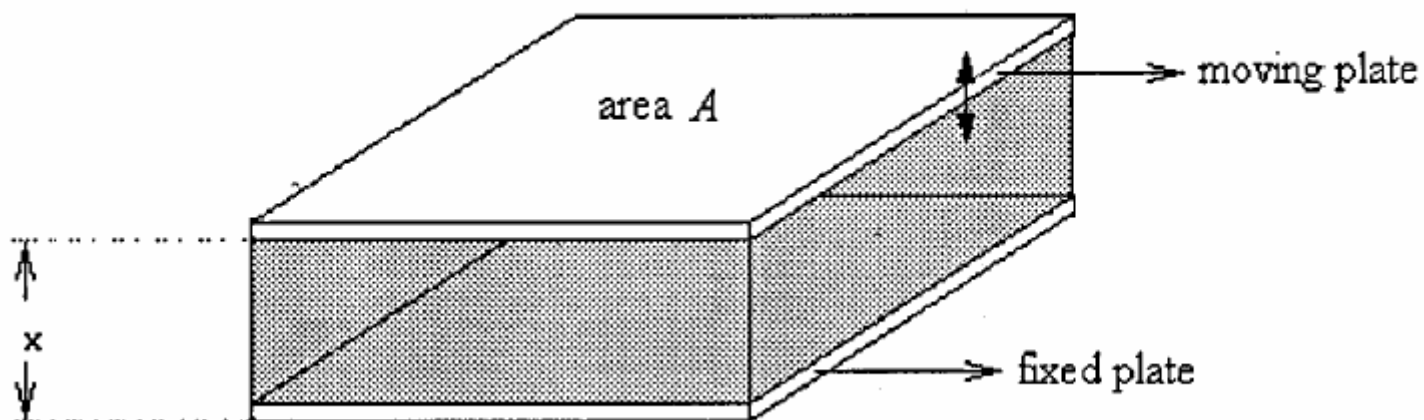
Cảm biến điện dung



$$C = \kappa \frac{q}{V_0} = \kappa C_0.$$

$$C = \frac{\kappa \varepsilon_0 A}{d}.$$

Cảm biến điện dung



Cảm biến điện dung



$$C(x) = \epsilon A / x = \epsilon_r \epsilon_0 A / x$$

where ϵ = the dielectric constant or permittivity

ϵ_r = the relative dielectric constant (in air and vacuum $\epsilon_r \approx 1$)

$\epsilon_0 = 8.854188 \times 10^{-12} \text{ F/m}^{-1}$, the dielectric constant of vacuum

x = the distance of the plates in m

A = the effective area of the plates in m^2

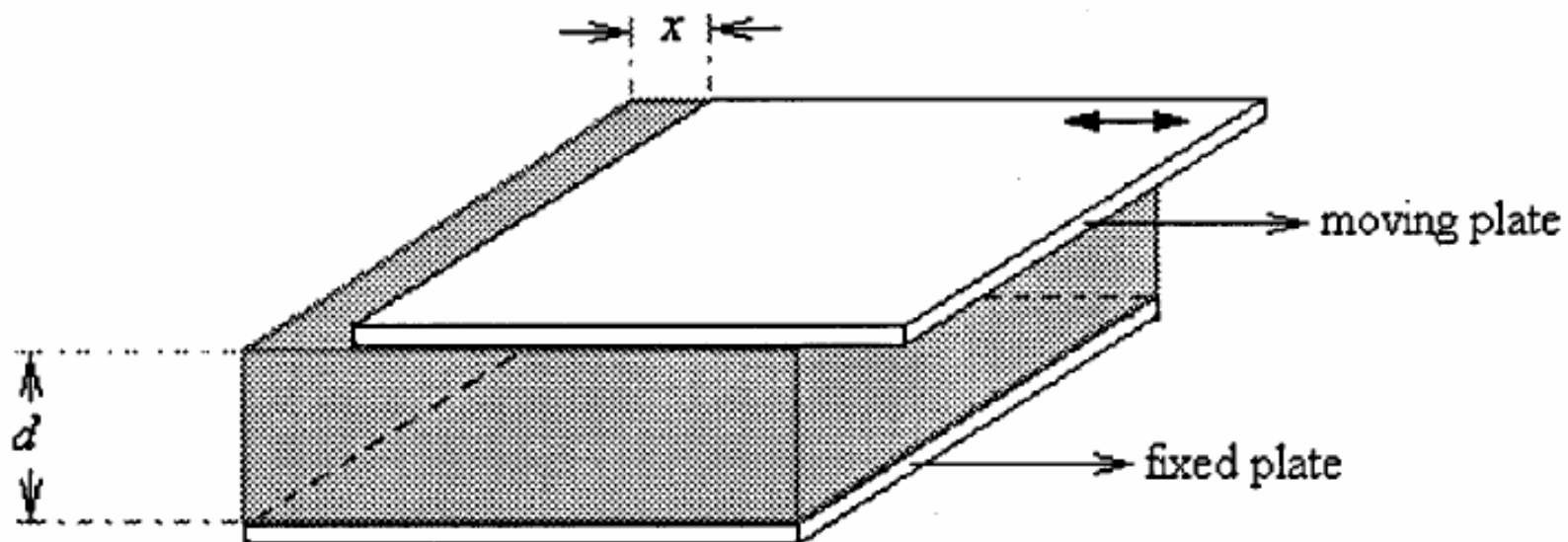
Cảm biến điện dung



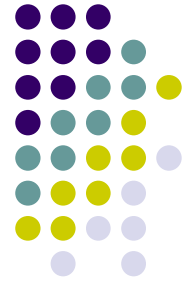
$$dC/dx = -\epsilon_r \epsilon_0 A / x^2$$

$$dC/C = -dx/x$$

Cảm biến điện dung



Cảm biến điện dung

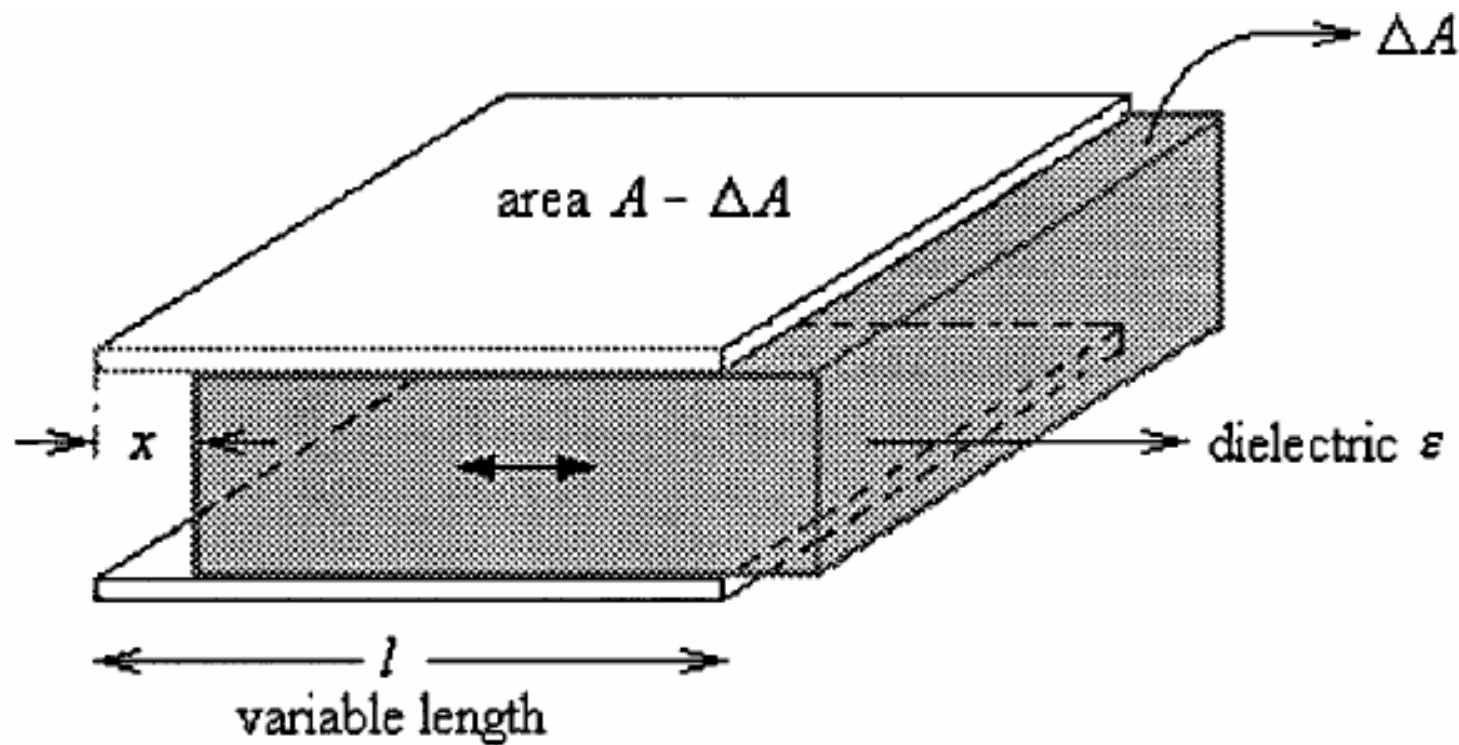


$$C = \epsilon_r \epsilon_0 (A - wx) / d$$

w = the width

wx = the reduction in the area due to movement of the plate

Cảm biến điện dung



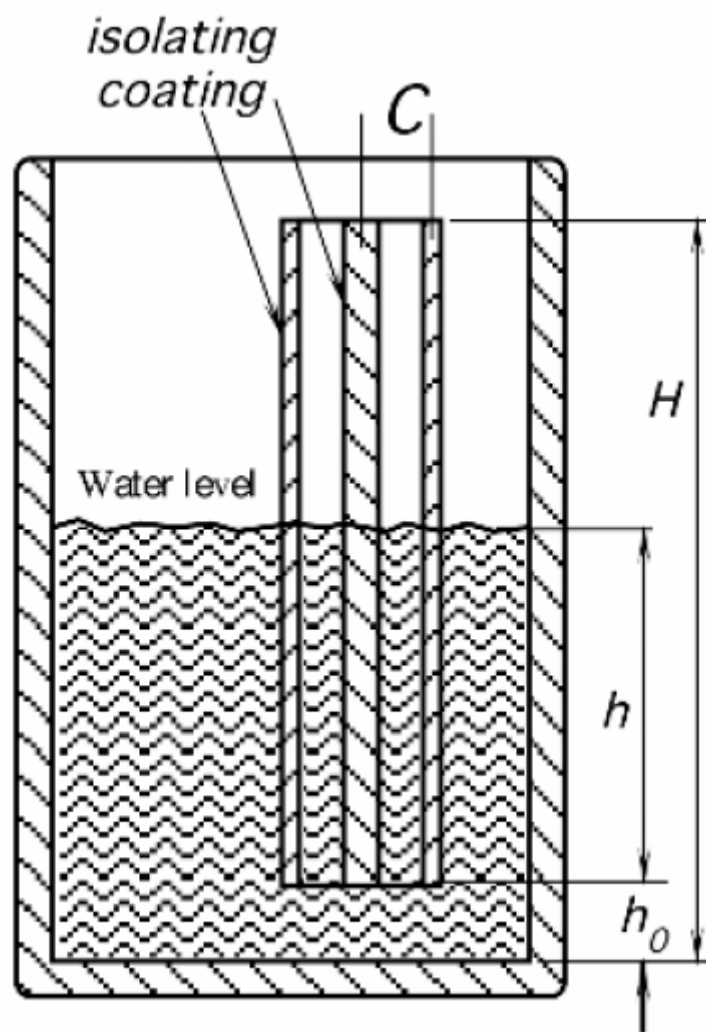
Cảm biến điện dung



$$C = \epsilon_0 w \left[\epsilon_2 l - (\epsilon_2 - \epsilon_1) x \right]$$

- ϵ_1 = the relative permittivity of the dielectric material
- ϵ_2 = the permittivity of the displacing material (e.g., liquid)

Cảm biến



Cảm biến điện dung



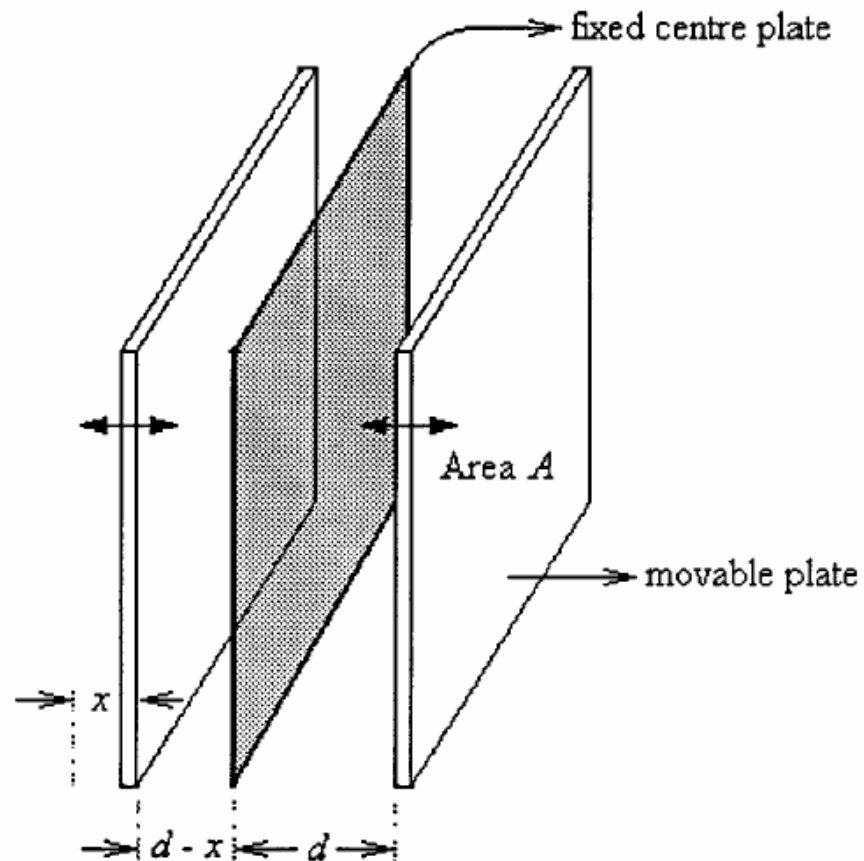
$$C_h = C_1 + C_2 = \varepsilon_0 G_1 + \varepsilon_0 \kappa G_2,$$

$$C_h = \frac{2\pi \varepsilon_0}{\ln(b/a)} [H - h(1 - \kappa)],$$



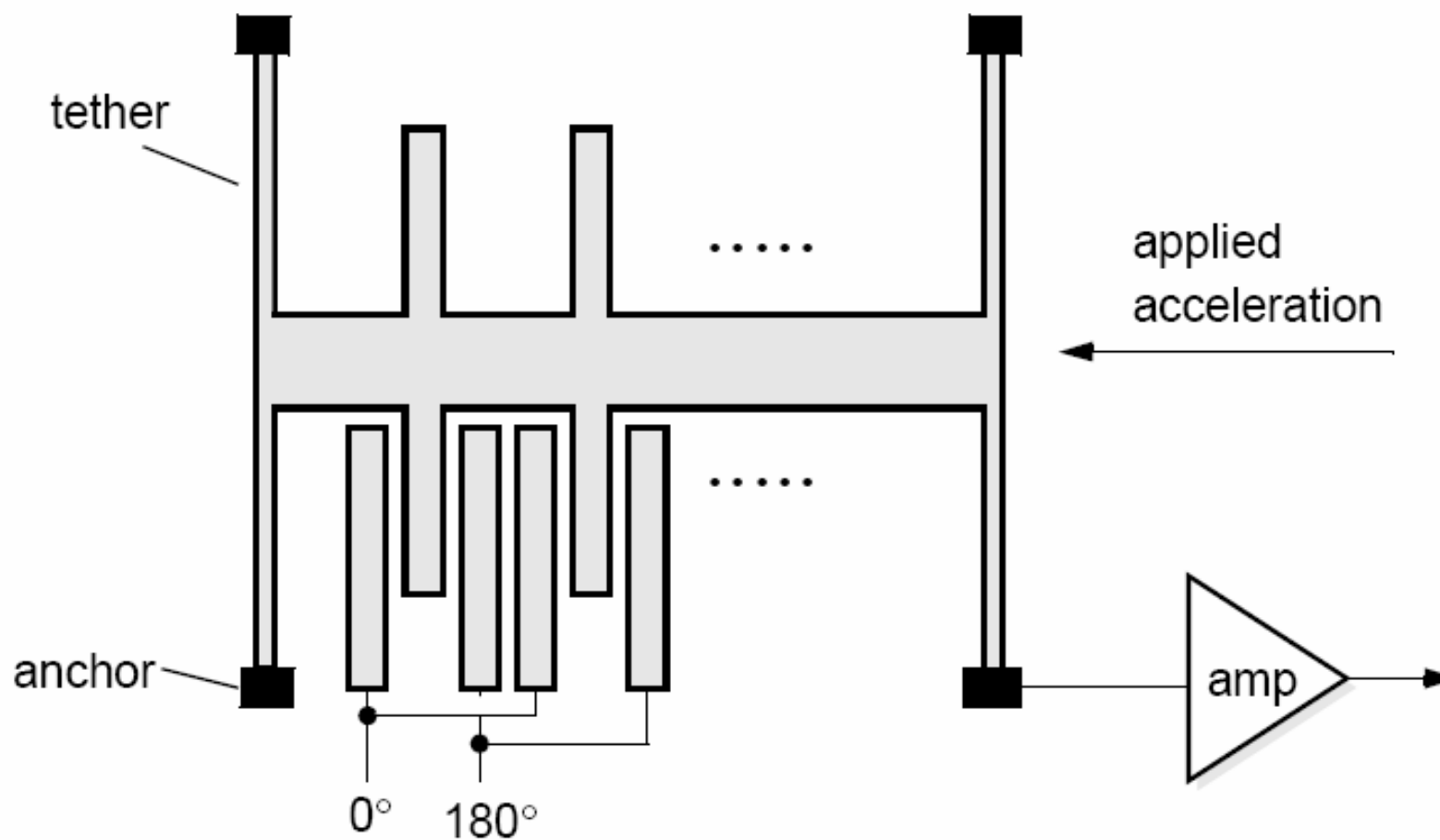
Cảm biến điện dung

- Cảm biến điện dung vi sai:



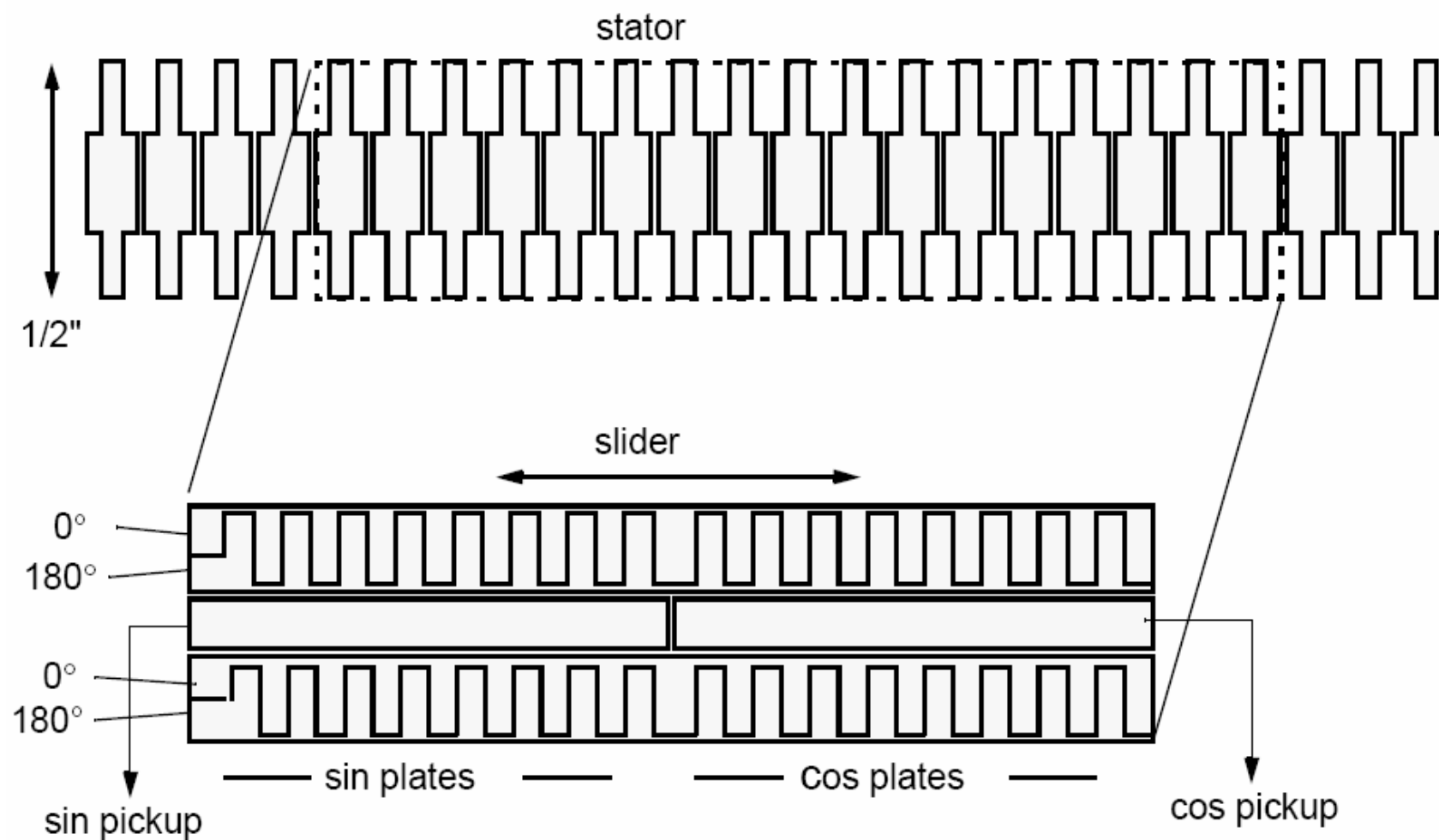


Cảm biến điện dung





Cảm biến điện dung





Cảm biến điện dung

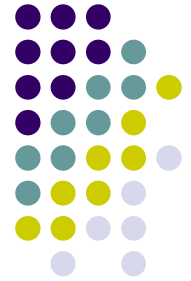
- Sự biến thiên tương đối của chuyển đổi điện dung là hàm tuyến tính khi tiết diện bản cực và hằng số điện môi thay đổi, nhưng phi tuyến khi khoảng cách giữa hai bản cực thay đổi.

- Sự biến thiên tương đối điện kháng của chuyển đổi điện dung là hàm tuyến tính khi khoảng cách giữa hai bản cực thay đổi ($\Delta\delta$) và phi tuyến với diện tích bản cực và hằng số điện môi thay đổi.

Trị số biến thiên tương đối Δs và $\Delta\epsilon/\epsilon_0$ thường đạt từ $0,15 \div 0,2$ đối với chuyển đổi đơn và $0,4$ với chuyển đổi mắc kiểu vi sai.

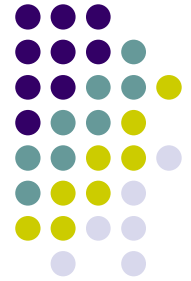
- Khi khoảng cách $\Delta\delta$ thay đổi, sự biến thiên điện kháng ΔX_c của chuyển đổi sẽ tăng khi ϵ_0 điện áp ra của mạch đo tăng lên. Tuy nhiên giảm khoảng cách δ giữa hai bản cực chỉ thực hiện đến một giá trị nào đó để tránh điện áp đánh thủng cách điện.

Cảm biến điện dung



Mặt khác giữa hai bản cực khi có điện áp đặt vào sẽ tính lực hút $F_h = -\frac{U^2}{2} \cdot \frac{\epsilon s}{\delta^2}$

lực này cần phải nhỏ hơn đại lượng đo. Đối với chuyển đồ mắc kiểu vi sai thì lực hút giữa hai bản tụ có môđun bằng nhau nhưng ngược chiều nhau nên bù lẫn nhau.



Cảm biến điện dung

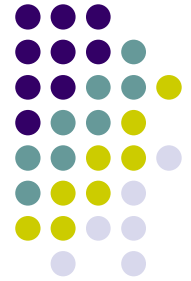
- Độ nhạy của chuyển đổi khi tính đến điện dung kí sinh: trong thực tế có điện dung kí sinh C_{ks} hình thành ở dây nối và bản thân cấu trúc của chuyển đổi làm độ nhạy của nó giảm đi:

$$\frac{\Delta C_{td}}{C_{td}} = \frac{\Delta C_0 / C_0}{1 + (C_{ks} / C_0)}$$

với: C_{td} - điện dung tác dụng.

Như vậy độ nhạy của chuyển đổi khi kể đến điện dung kí sinh là:

$$S'_\delta = \frac{\Delta x_{ctd}}{\Delta \delta / \delta_0} = \frac{1}{1 + C_{ks} / C_0}$$



Cảm biến điện dung

$$S'_s = \frac{\Delta x_{ctd} / x_{ctd}}{\Delta s / s_0} = \frac{-1}{1 + (\Delta s / s_0)^2} \cdot \frac{1}{1 + C_{ks} / C_0}$$

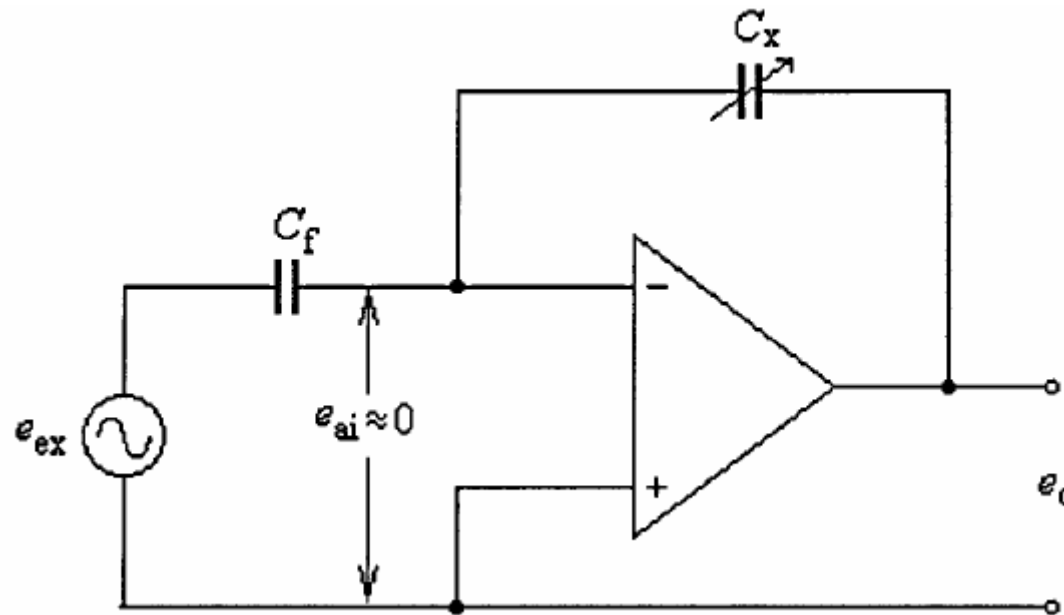
$$S'_\varepsilon = \frac{\Delta x_{ctd} / x_{ctd}}{\Delta \varepsilon / \varepsilon_0} = \frac{-1}{1 + (\Delta \varepsilon / \varepsilon_0)^2} \cdot \frac{1}{1 + C_{ks} / C_0}$$

Độ nhạy sẽ giảm nhiều khi C_{ks}/C_0 càng lớn.



Cảm biến điện dung

- Sử dụng mạch khuếch đại thuật toán





Cảm biến điện dung

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

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

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

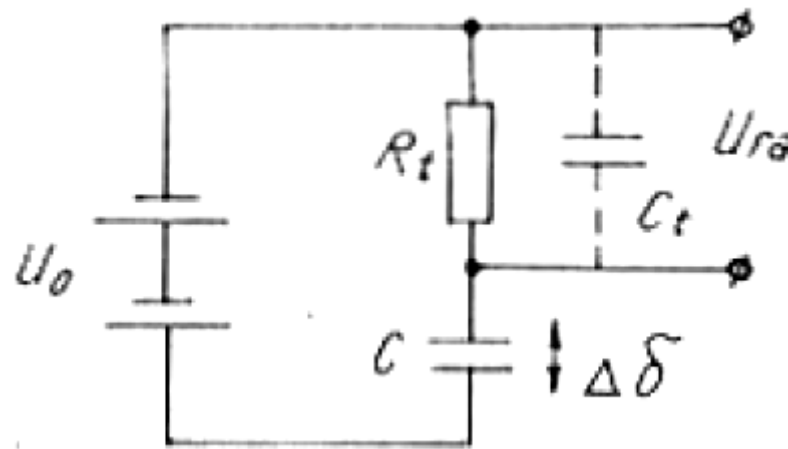
$$e_0 = -C_f e_{ex} / C_x$$

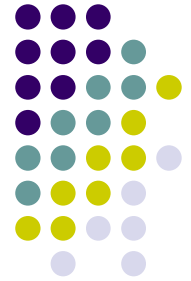
$$e_0 = -C_f x e_{ex} / \epsilon A$$



Cảm biến điện dung

- Đo dòng một chiều:





Cảm biến điện dung

$$U_0 = iR_t + \frac{1}{C} \int i dt$$

$$\Leftrightarrow U_0.C = iR_t.C + \int i dt$$

$$\Rightarrow U_0 \frac{dC}{dt} = R_t.C_0 \frac{di}{dt} + iR_t \frac{dC}{dt} + i$$

$$\tau \cdot \frac{dU_r}{dt} + U_r = \frac{\tau}{\delta_0} \cdot (U_0 - U_r) \cdot \frac{d\delta}{dt}$$

$\tau = R_t C_0$ = hằng số thời gian của mạch.



Cảm biến điện dung

Với điều kiện $\Delta\delta \ll \delta_0$ và $U_r \ll U_0$

$$\tau \cdot \frac{dU_r}{dt} + U_r = \frac{\tau}{\delta_0} \cdot U_0 \cdot \frac{d\delta}{dt}$$

toán tử Laplace:

$$(\tau p + 1) \cdot U_r = \frac{\tau}{\delta_0} \cdot U_0 \cdot (\delta p)$$

$$S(p) = \frac{U_r}{\delta} = \frac{U_0}{\delta_0} \cdot \frac{\tau p}{1 + \tau p}$$



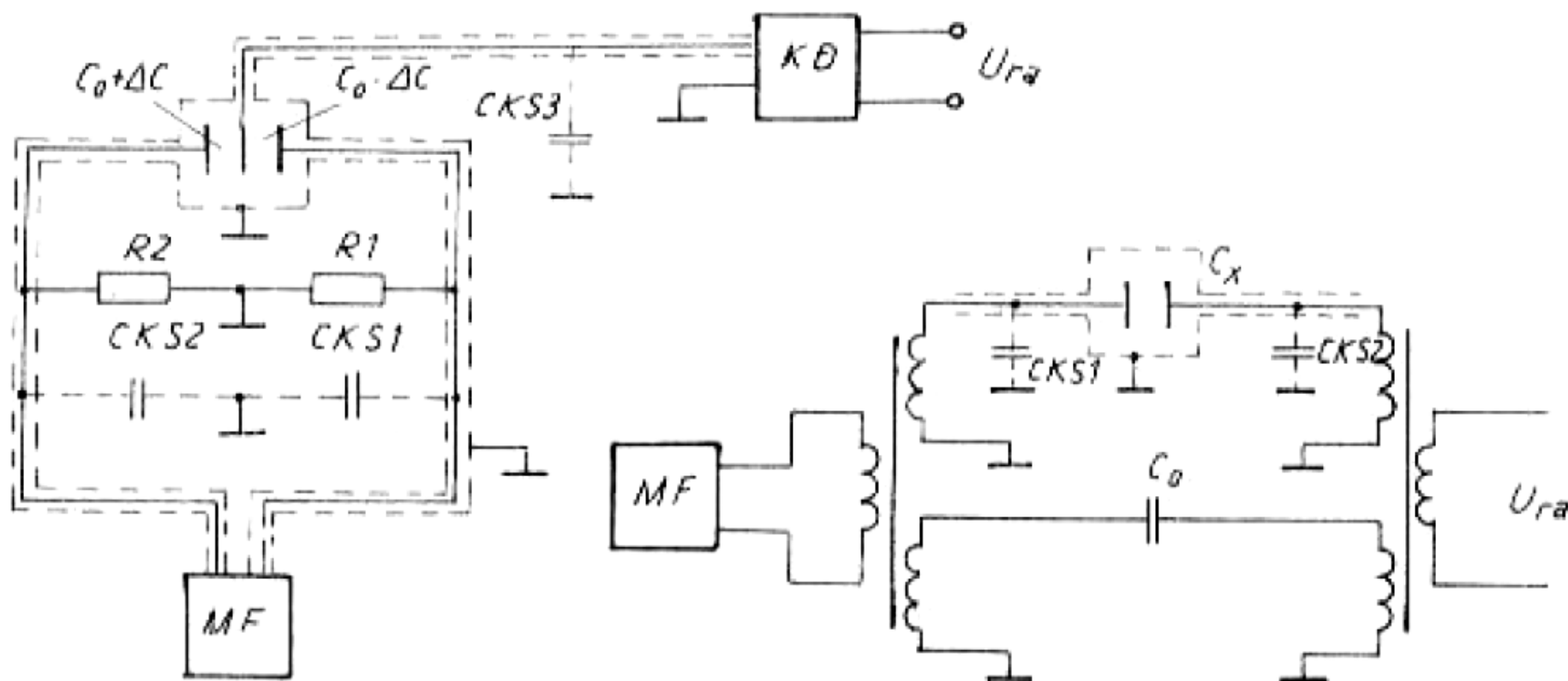
Cảm biến điện dung

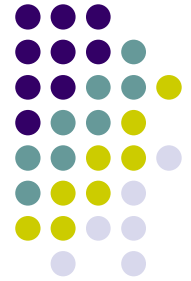
- Đo biên độ rung: trong trường hợp này hằng số thời gian $\tau = R_t C_0$ phải lớn, bằng cách tăng R_t (tăng điện trở của khuếch đại)
- Đo tốc độ (đạo hàm của di chuyển): thì ngược lại, hằng số thời gian $\tau = R_t C_0$ phải rất nhỏ

Cảm biến điện dung



- Mạch cầu:





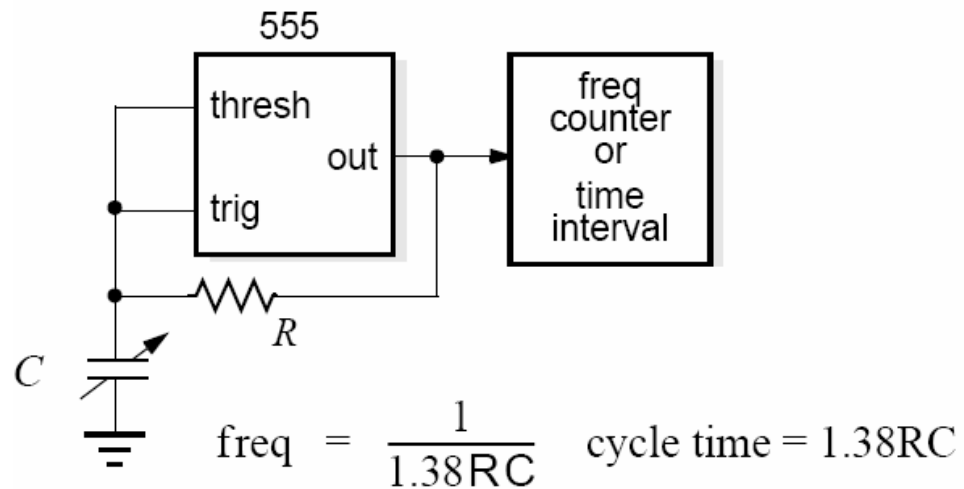
Cảm biến điện dung

- Tổng trở vào tức là điện trở của đường chéo cầu phải thật lớn
- Các dây dẫn được bọc kim để tránh ảnh hưởng của điện trường ngoài
- Không được mắc điện trở song song với chuyển đổi làm tổng trở của nó
- Chống ẩm tốt.
- Tần số nguồn cung cấp cần phải cao, để tăng công suất ra của chuyển đổi có thể tới hàng chục MHz.



Cảm biến điện dung

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





Cảm biến điện dung

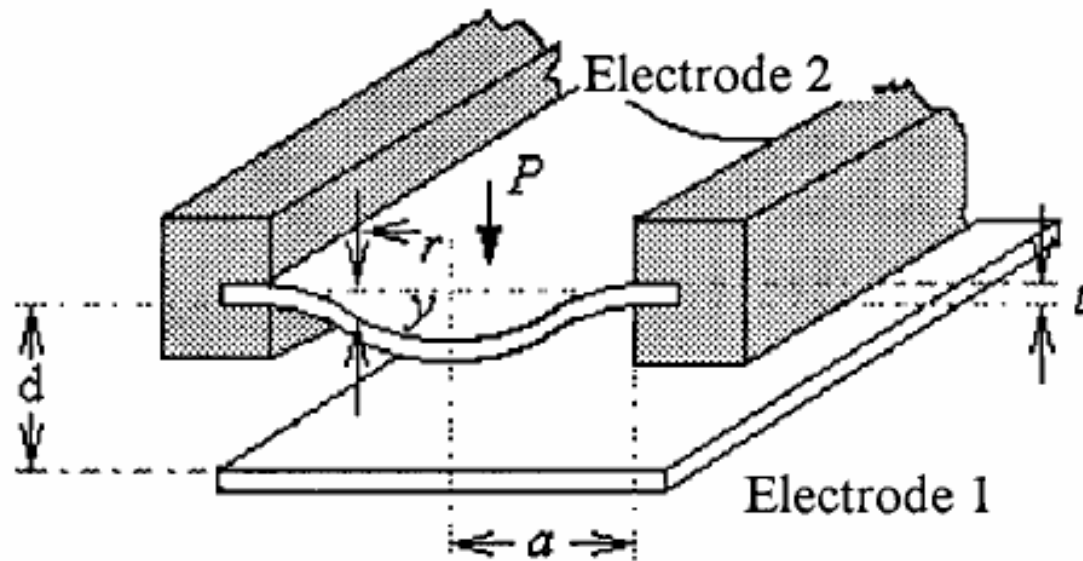
Ứng dụng:

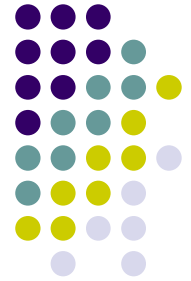
- Loại có khe hở không khí thay đổi được dùng đo những di chuyển nhỏ (từ vài micrômét đến vài milimét).
- Nếu dùng chuyển đổi điện dung trong mạch cung cấp điện áp một chiều có thể đo được tốc độ, độ dịch chuyển biến thiên của các đại lượng khác có thể biến đổi thành di chuyển (lực, áp suất, gia tốc).
- Loại có điện tích bản cực thay đổi dùng đo các di chuyển lớn (hơn 1cm) và di chuyển góc (đến 270°).
- Chuyển đổi có điện môi ϵ thay đổi dùng để đo độ ẩm (vải, chất dẻo), đo mức nước, chiều dày của các vật cách điện, đo lực.
- Chuyển đổi có tổn hao điện môi thay đổi (mạch đo dùng đo góc tổn hao tg δ của tụ trong mạch xoay chiều) dùng để xác định các tham số vật lý của vật liệu nào đó đặt giữa hai bản cực...



Cảm biến điện dung

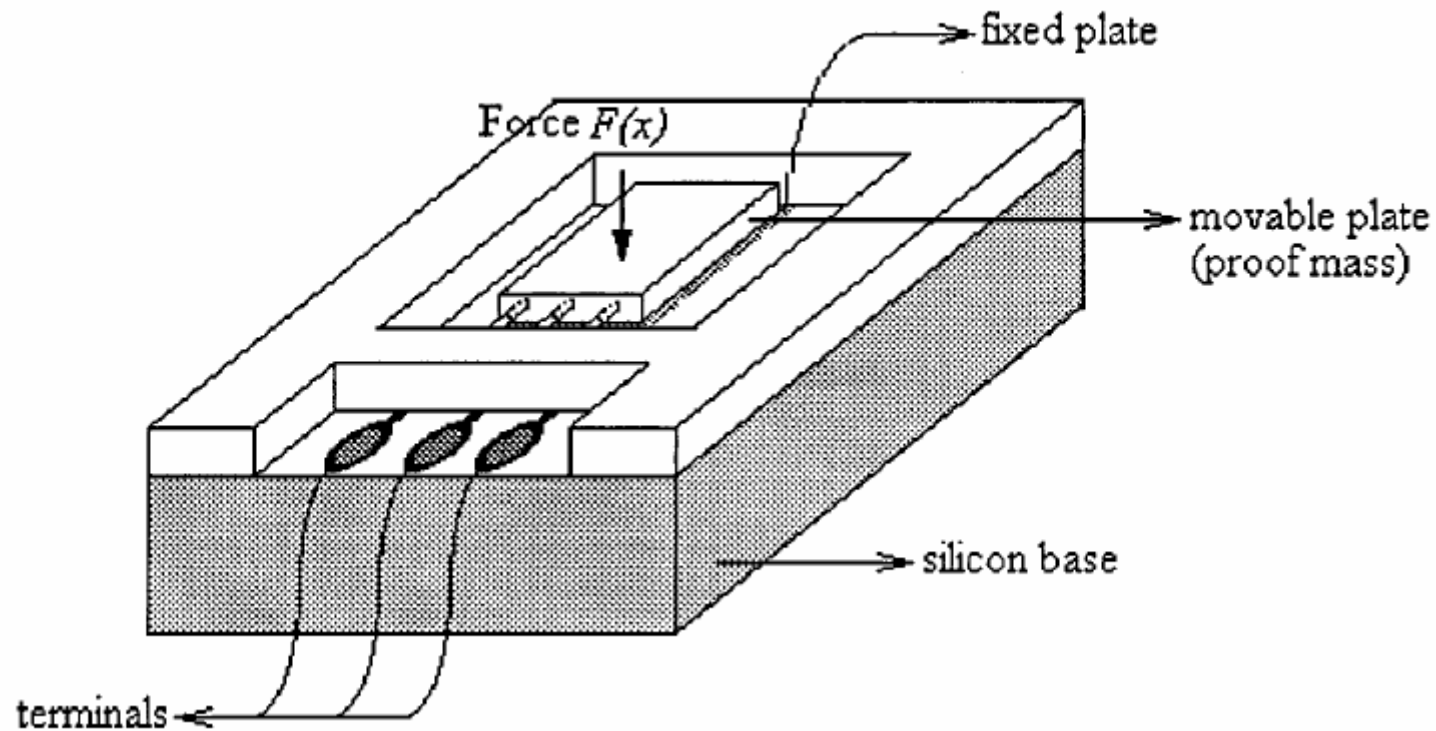
- Đo áp suất:





Cảm biến điện dung

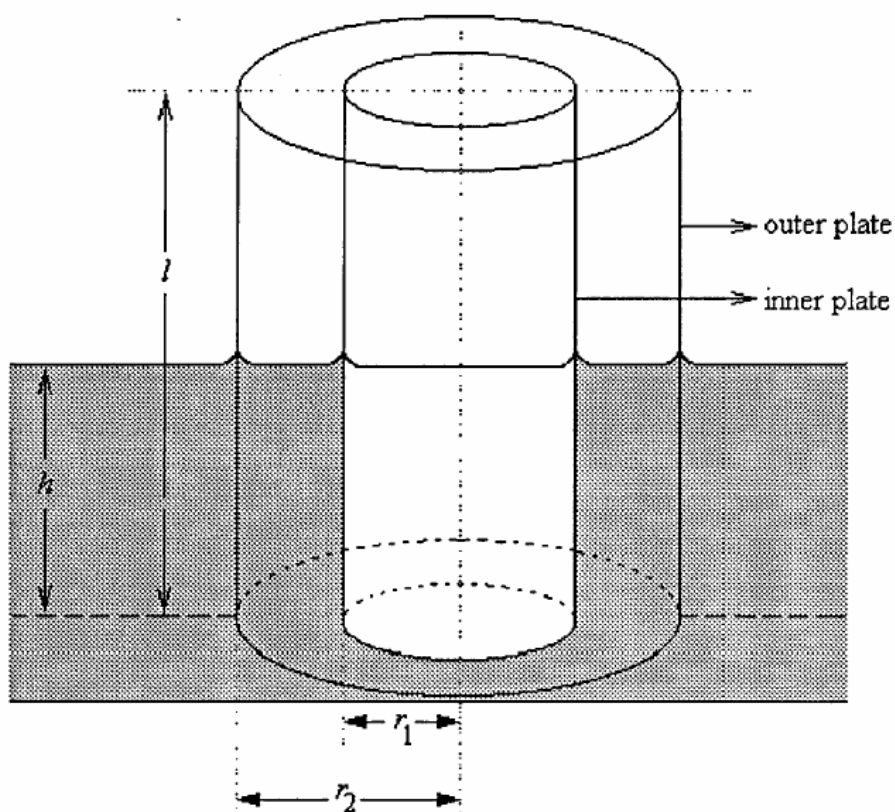
- Đo lực và đo gia tốc:





Cảm biến điện dung

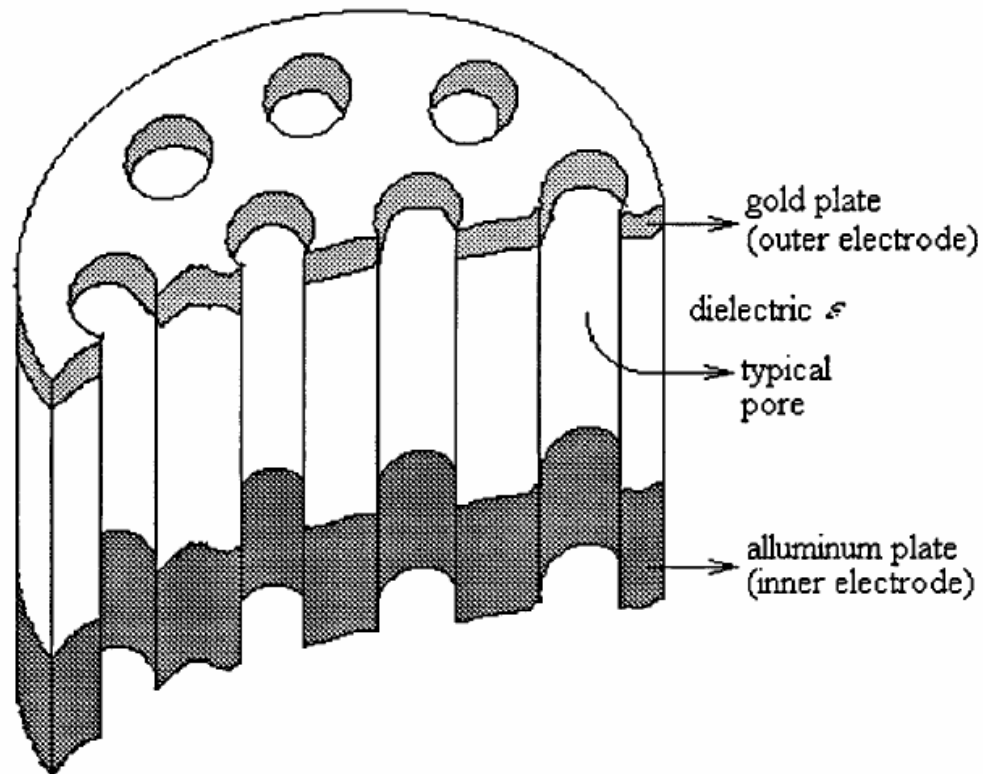
- Đo mức chất lỏng hay chất rắn dạng hạt mịn:

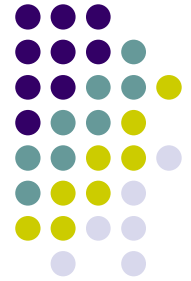




Cảm biến điện dung

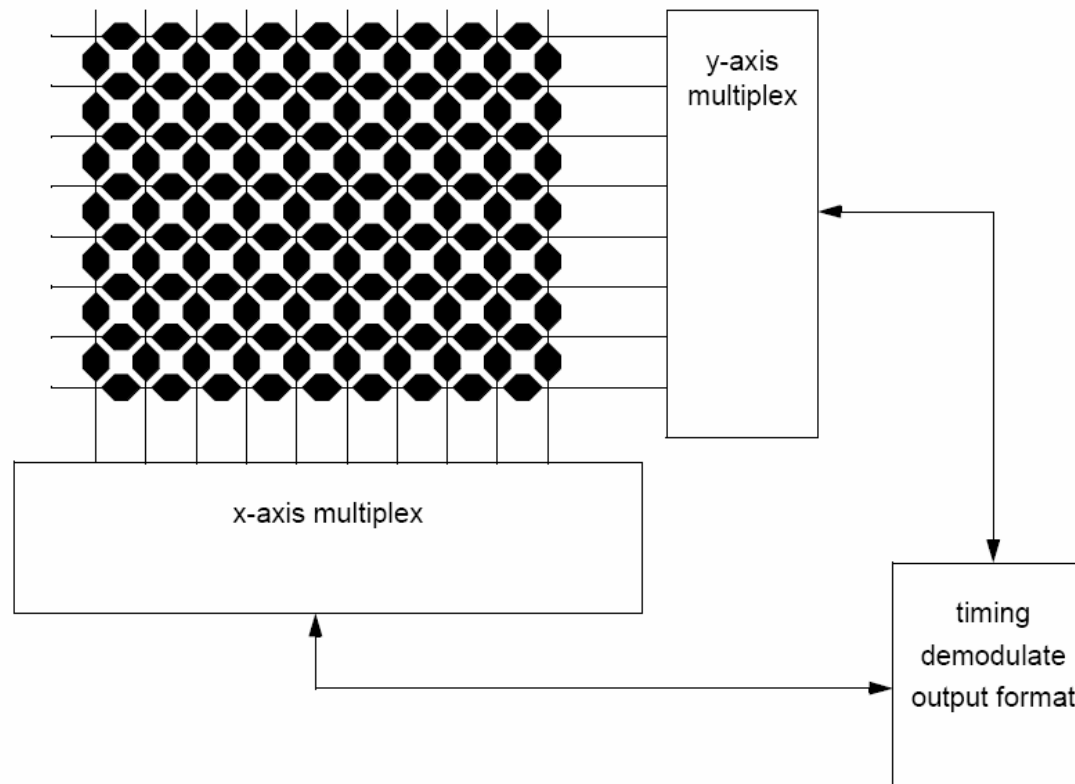
- Đo độ ẩm của không khí:

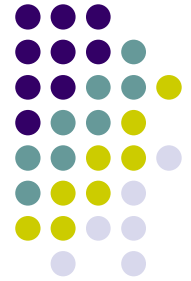




Cảm biến điện dung

- Cảm biến điện dung 2D



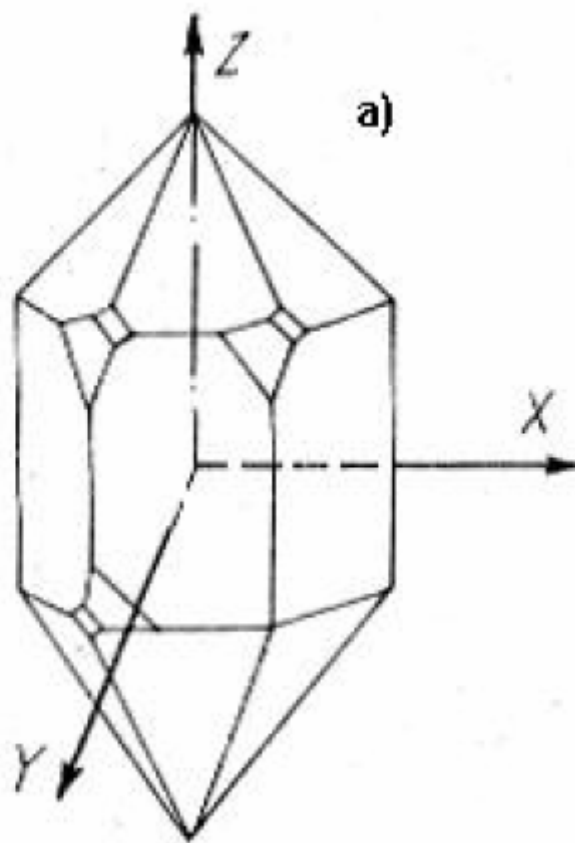


Cảm biến áp điện (Piezoelectric)

- Hiệu ứng áp điện thuận: vật liệu khi chịu tác động của lực cơ học biến thiên thì trên bề mặt của nó xuất hiện các điện tích, khi lực ngừng thì điện tích cũng mất.
- Hiệu ứng áp điện nghịch: điện trường gây ra sự biến dạng cơ học của vật liệu.

$$\frac{\Delta x}{x} = d_1 E_x$$

Cảm biến áp điện (Piezoelectric)



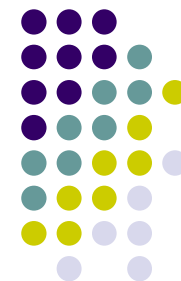


Cảm biến áp điện (Piezoelectric)

- Thạch anh có 3 trục chính: trục điện, trục quang và trục cơ.
 - *Lực F_x tác động theo trục điện X : gây ra hiệu ứng điện dọc với điện tích:*

$$q_x = d_1 \cdot F_x$$

với d_1 là hằng số áp điện (còn gọi là môđun áp điện).



Cảm biến áp điện (Piezoelectric)

- Lực F_y tác động theo trục cơ Y: gây ra hiệu ứng áp điện ngang với điện tích là:

$$q_y = -d_1 \cdot \frac{y}{x} \cdot F_y$$

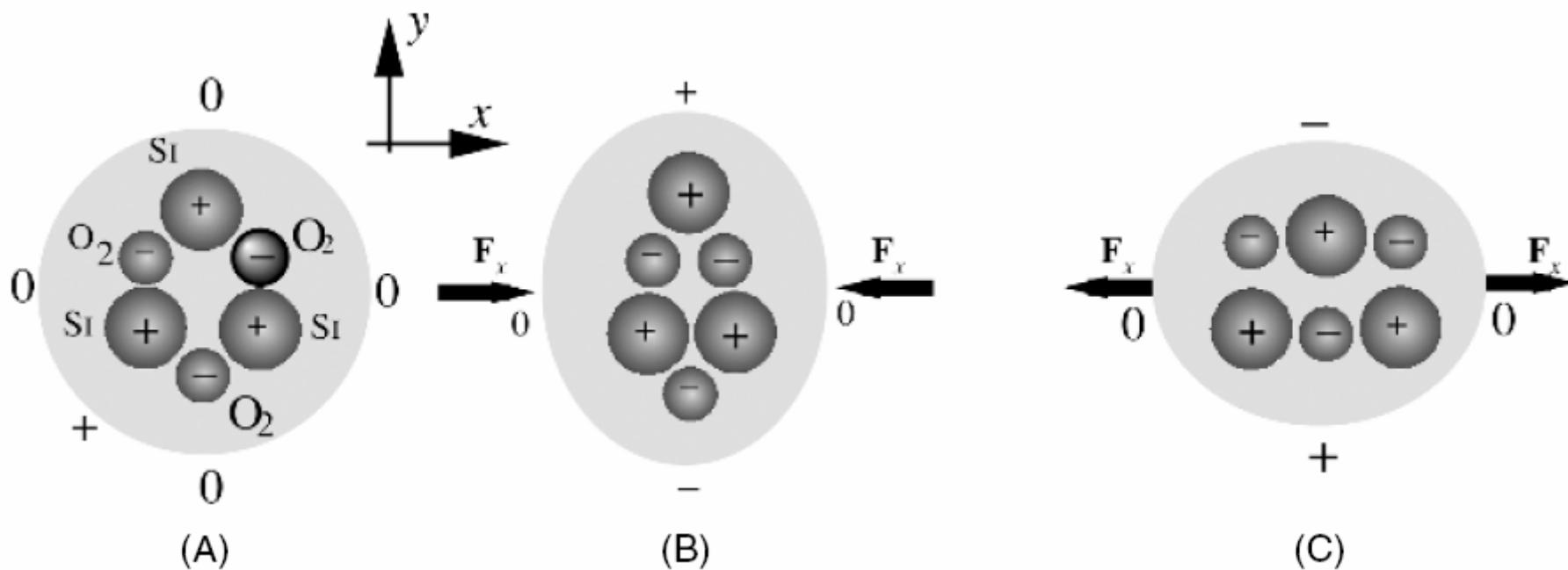
với: y, x là kích thước của chuyển đổi tương ứng theo trục X và Y.

Dấu của điện tích q_x và q_y ngược nhau, nghĩa là lực F_x nén sẽ làm xuất hiện điện tích cùng dấu khi F_y là lực kéo và ngược lại.

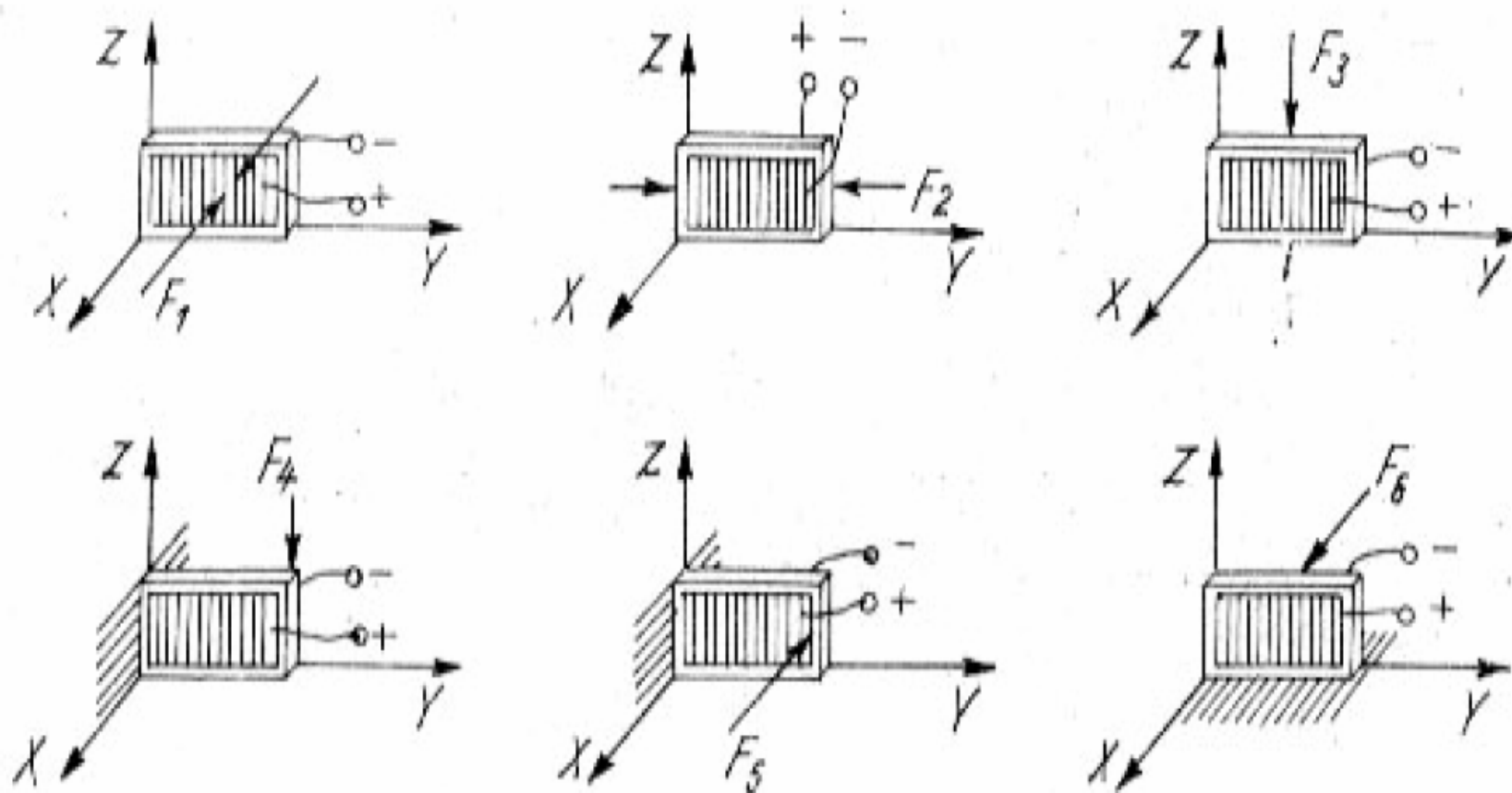
- Lực tác dụng theo trục quang Z: không xảy ra hiệu ứng áp điện.

Trường hợp các cạnh của chuyển đổi không song song với các trục chính hoặc lực tác động không song song với các trục thì điện tích sinh ra sẽ có giá trị nhỏ hơn.

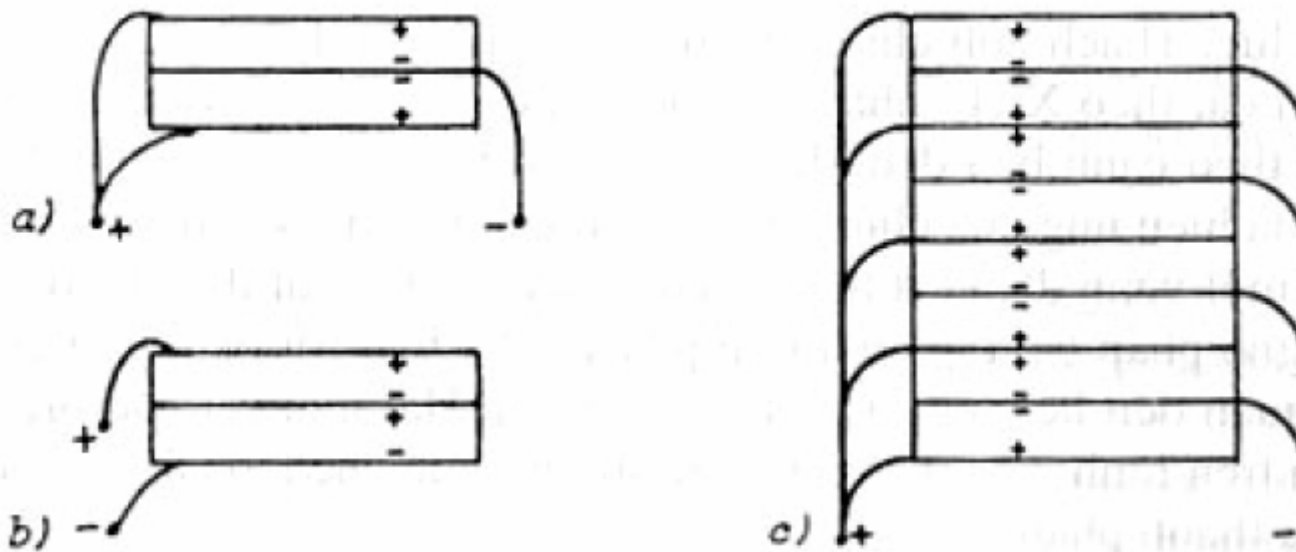
Cảm biến áp điện (Piezoelectric)

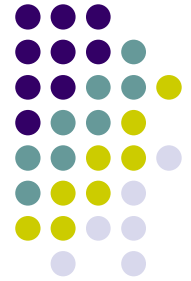


Cảm biến áp điện (Piezoelectric)



Cảm biến áp điện (Piezoelectric)



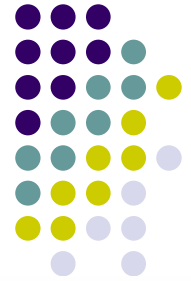


Cảm biến áp điện (Piezoelectric)

- *Thạch anh*: là vật liệu tự nhiên hoặc tổng hợp với các đặc tính:

- Hằng số áp điện: $d_1 = 2,1 \cdot 10^{-12} \text{ C/N}$
- Hằng số điện môi: $\epsilon = 39,8 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$
- Ứng suất cho phép: $\sigma = 70 \div 100 \text{ N/mm}^2$
- Điện trở suất: $\rho = 10^{16} \Omega/\text{m}$, phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ và các trục.

Ở nhiệt độ 200°C thì d_1 không phụ thuộc nhiệt độ, từ $200^\circ\text{C} \div 500^\circ\text{C}$ thì d_1 thay đổi đáng kể, từ nhiệt độ 537°C thì tính chất áp điện bị phá hủy.



Cảm biến áp điện (Piezoelectric)

- *Muối BariTitanat ($BaTiO_3$)*: là loại vật liệu tổng hợp với các đặc tính:
 - Hằng số áp điện: $d_1 = 107.10^{-12}$ C/N, tuy nhiên hằng số áp điện không phải là hằng số mà trong nhiều trường hợp nó bị giảm tới 20% trong 2 năm.
 - Hằng số điện môi: $\epsilon = 1240.10^{-11}$ F/m
 - Môđun đàn hồi: $E = 115.10^3$ N/mm²
 - Các tính chất của BariTitanat phụ thuộc nhiều vào lượng tạp chất, công nghệ chế tạo và điện áp phân cực.
 - Do có hiện tượng trễ nên đặc tính $q = f(F)$ không tuyến tính

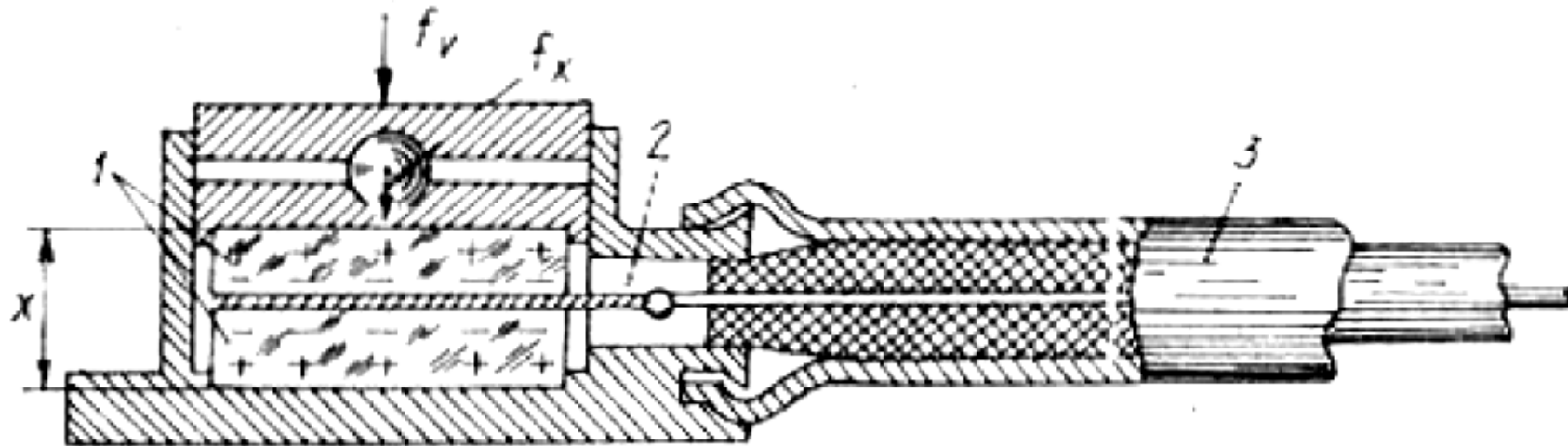
Tuy nhiên do có độ bền cơ học cao, giá thành thấp và có thể chế tạo dưới hình dạng bất kỳ nên loại vật liệu này được sử dụng rộng rãi.

Hiện nay đã tìm ra các loại vật liệu áp điện khác như Titanát chì ($PbTiO_3$), Ziriconat chì ($PbZnO_3$) có môđun áp điện lớn hơn $BaTiO_3$ gấp tới 4 lần.

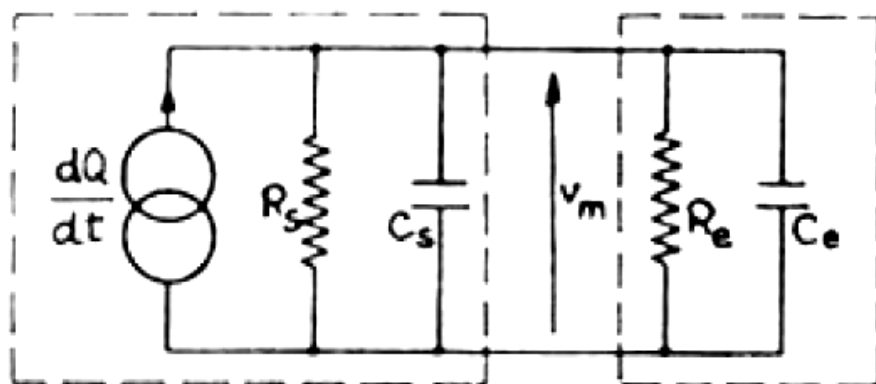
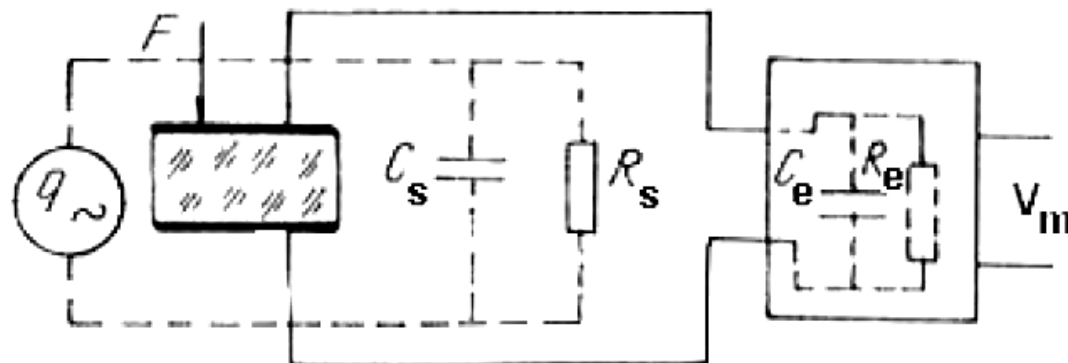
Cảm biến áp điện (Piezoelectric)



- Mạch đo:

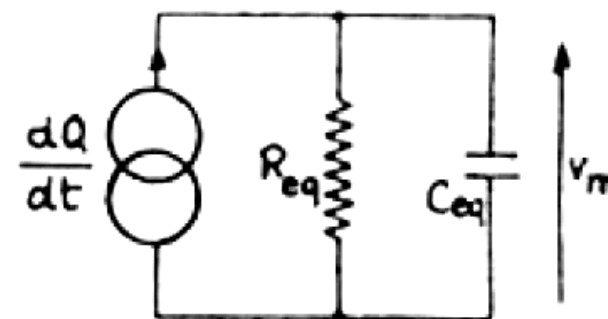


Cảm biến áp điện (Piezoelectric)



cảm biến và đường nối

trở kháng vào và bộ
khuếch đại điện thế



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

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



Cảm biến áp điện (Piezoelectric)

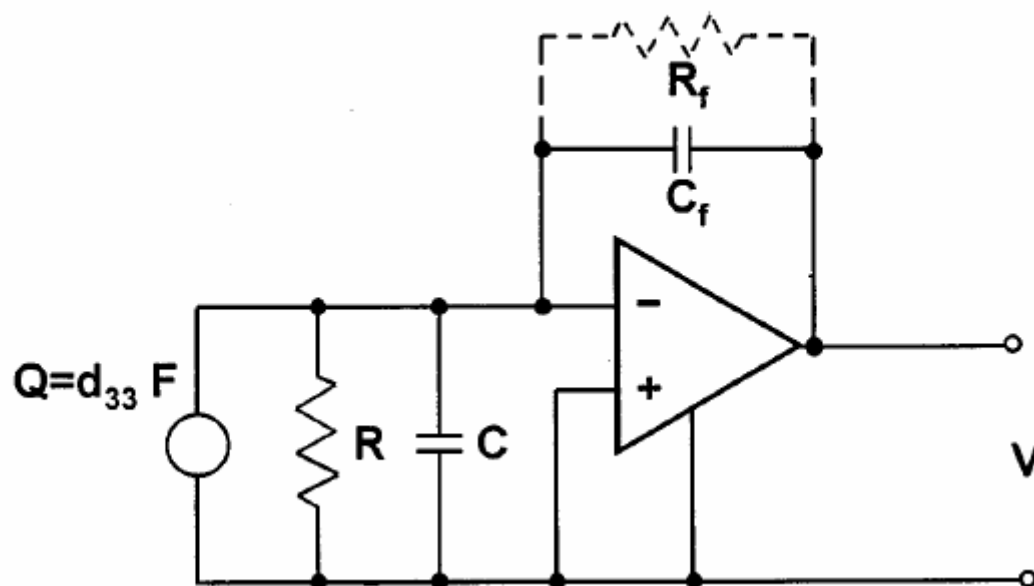
- Mạch đo có tổng trở vào rất lớn.
- Chỉ đo được các lực biến thiên.
- Khi tần số cao thì sai số không đáng kể. để giảm sai số phải tăng hằng số thời gian.

$$\tau = R_{eq} \cdot C_{eq} = \frac{R_s \cdot R_e}{R_s + R_e} \cdot (C_s + C_e)$$

- Độ nhạy thực tế

$$S = \frac{d_1}{C} \cdot \frac{sE}{mx} \cdot \frac{1}{\omega_0^2}$$

Cảm biến áp điện (Piezoelectric)



Cảm biến áp điện (Piezoelectric)



- *Ảnh hưởng của dây cáp nối chuyển đổi:* khi sử dụng chuyển đổi áp điện cần tính đến hiệu ứng của dây cáp nối chuyển đổi vì trong điều kiện bị rung bản thân dây cáp cũng sinh ra điện tích do đó làm sai lệch kết quả đo. Trong thực tế với độ rung ở tần số $60 \div 80 \text{ kHz}$ điện tích do dây cáp rung sinh ra có thể lớn hơn điện tích do dây cáp rung sinh ra có thể lớn hơn điện tích của bản thân phần tử áp điện vì vậy phải sử dụng loại cáp đặc biệt chống rung (ví dụ loại ABK).

Cảm biến áp điện (Piezoelectric)



Ứng dụng: chuyển đổi áp điện được dùng để đo lực biến thiên (đến 10^3N), đo áp suất $10^2(\text{N/mm}^2)$ và gia tốc (tới 10^3g) trong dải tần từ $0,5\div 100\text{kHz}$.

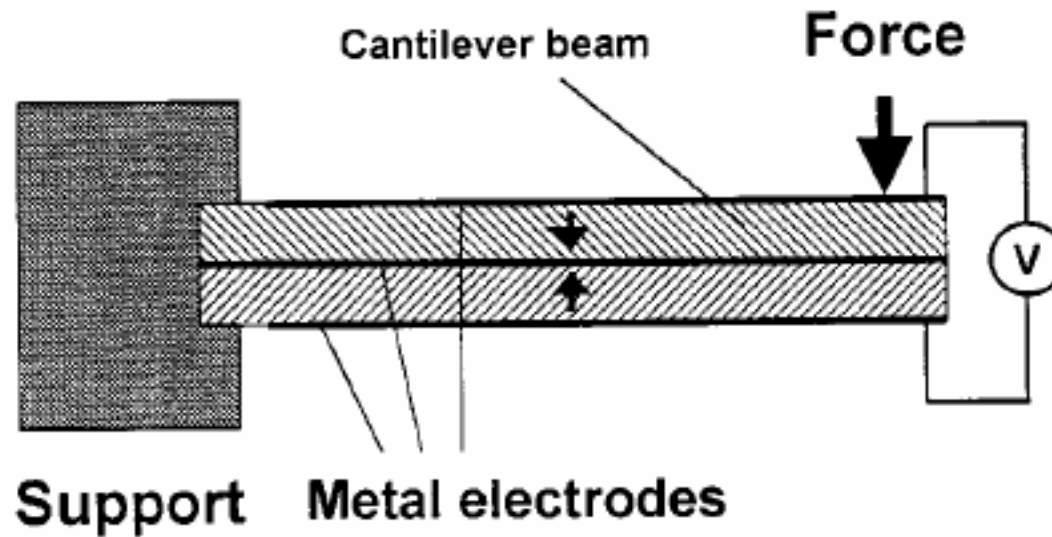
Ưu điểm của chuyển đổi loại này là cấu trúc đơn giản, kích thước nhỏ, độ tin cậy cao, có khả năng đo các đại lượng biến thiên nhanh. Nhược điểm của nó là không đo được lực tĩnh, khó khắc độ.

Cảm biến áp điện (Piezoelectric)



- Làm mạch thu và phát trong cảm biến siêu âm.

Cảm biến áp điện (Piezoelectric)



Cảm biến áp điện (Piezoelectric)

