INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA
CURSO 2017-2018

Tema 5
SENSORES CAPACITIVOS
PARTE 2

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID

Introducción

Un poco de electromagnetismo básico...

En un sensor capacitivo tipo plano, la capacidad asociada es

$$C = \frac{\varepsilon \cdot S}{d}$$

- **ε**, o permitidad dieléctrica del medio
- **S**, o superficie de las placas constituyentes
- **d**, o distancia de separación entre ellas (idealmente muy pequeña)

En uno de tipo cilíndrico hueco, la capacidad equivalente es:

$$C = \frac{2 \cdot \pi \varepsilon \cdot H}{\ln(R_{EXT}) - \ln(R_{INT})}$$

- **ε**, o permitividad dieléctrica del medio
- **H**, o longitud del cilindro
- **R_{EXT}**, **R_{INT}**, o radios exterior e interior

¿Qué parámetro puede variar?

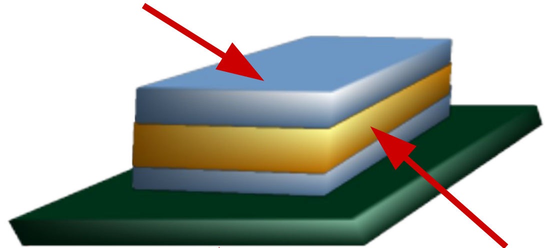
En ambos casos, las variaciones de la permitividad se transmiten linealmente a la capacidad.

Las variaciones de las dimensiones tienen comportamiento menos claros.

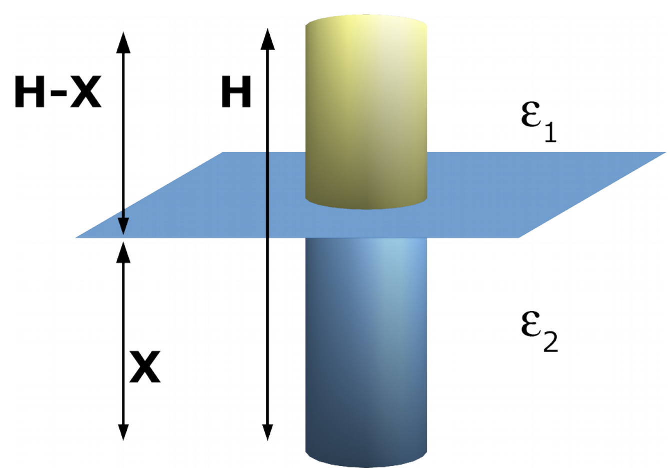
Algunos ejemplos...

Variaciones de la permitividad

Ejemplos clásicos: Sensores de humedad y de nivel



Sensor de humedad
Una capa metálica porosa permite el intercambio de humedad con el ambiente. El dieléctrico es un polímero u óxido metálico cuya permitividad crece linealmente con la humedad relativa.



Construible *ad hoc*

Sensor de nivel de líquido
El condensador cilíndrico del dibujo puede entenderse como dos condensadores en paralelo con impedancias:

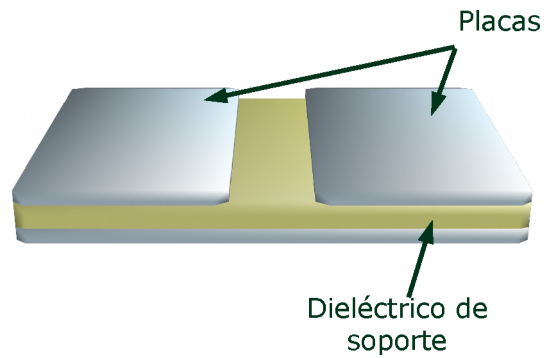
$$C_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_1 (H - x)}{\ln(R_{EXT}) - \ln(R_{INT})} \qquad C_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_2 \cdot x}{\ln(R_{EXT}) - \ln(R_{INT})}$$

Con lo que, en total:

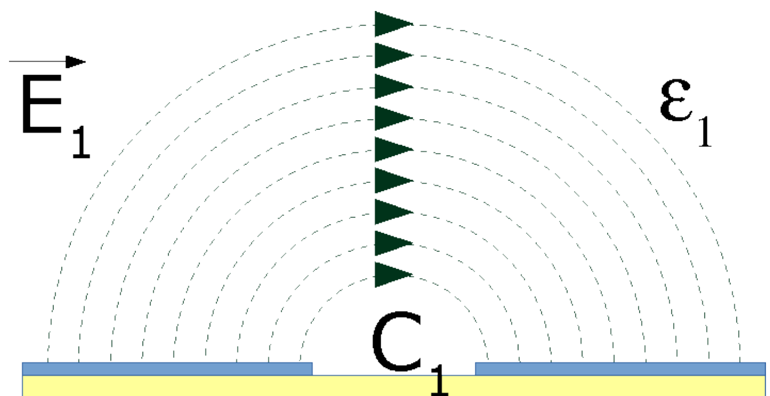
$$C_T = \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_1 \cdot H}{\ln(R_{EXT}) - \ln(R_{INT})} + \frac{2 \cdot \pi \cdot (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}{\ln(R_{EXT}) - \ln(R_{INT})} \cdot x$$

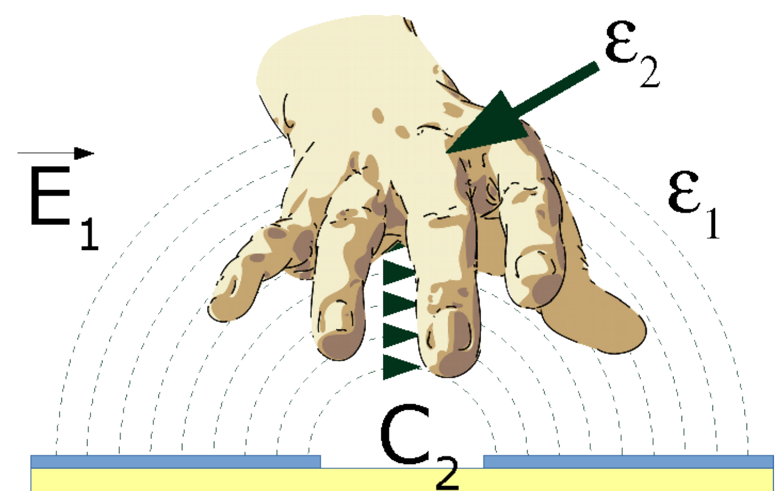
Variaciones de la permitividad

Ejemplos todo/nada: Sensores de proximidad



Sensor de proximidad
La figura adjunta muestra un condensador con placas coplanarias. La expresión exacta de la capacidad es difícil de obtener. Sin embargo, no nos interesa su valor sino que cambie.

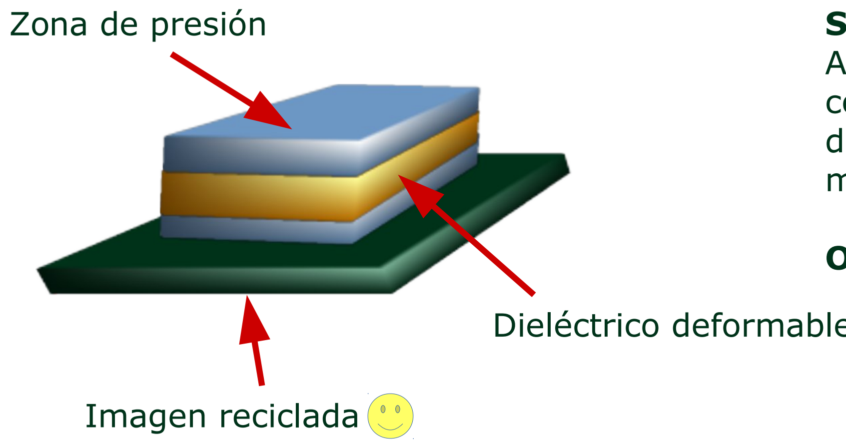




Encendido por contacto, pantallas de móviles, etc.

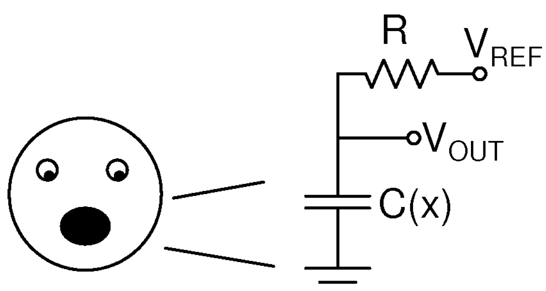
Variaciones de la distancia

Ejemplos: Sensor de presión y micrófono capacitivo



Sensor de presión
Al ejercer presión sobre una capa del condensador, el dieléctrico se deforma disminuyendo **d** y aumentando **S**. Esto ayuda a medir el esfuerzo.

Ojo: El dieléctrico no se deforma uniformemente.



Micrófono capacitivo
Un sistema RC es alimentado por una referencia constante, V_{REF}. Las ondas sonoras provocan pequeños desplazamientos de las placas:

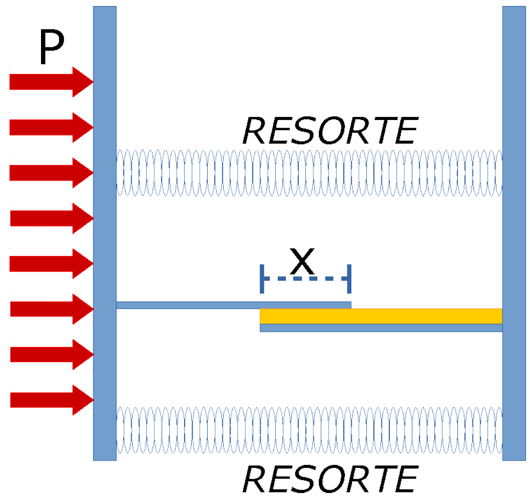
$$d(t)=d_0+a\cdot f(t)\rightarrow C(t)=\frac{\varepsilon\cdot S}{d_0+a\cdot f(t)}$$

Y se genera una ecuación no lineal:

$$R\cdot C(t)\cdot\frac{dV_{OUT}}{dt}+V_{OUT}=R\cdot\frac{\varepsilon\cdot S}{d_0+a\cdot f(t)}\cdot\frac{dV_{OUT}}{dt}+V_{OUT}=V_{REF}$$

Variaciones de la superficie

Ejemplos: Sensor de desplazamiento y acelerómetros



Sensor de desplazamiento

La idea de este sensor de desplazamiento (o, por ejemplo, de presión), consiste en crear un condensador cuya anchura aumente con el desplazamiento y, con ello, la capacidad del sistema.

$$C(x)=\frac{\varepsilon\cdot a\cdot x}{d}=\frac{\varepsilon\cdot a\cdot x_0}{d}+\frac{\varepsilon\cdot a\cdot\Delta x}{d}=C_0+\frac{\varepsilon\cdot a}{d}\cdot\Delta x$$

Acelerómetro

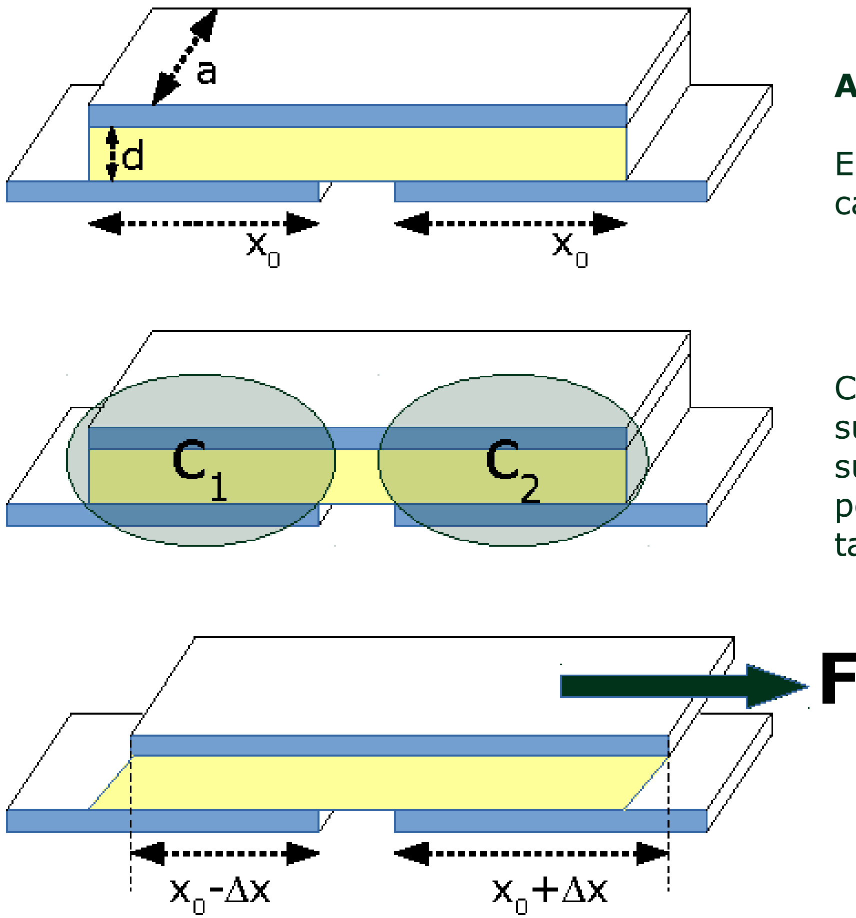
Si al sensor anterior se le coloca una masa inercial y se coloca en un vehículo, los desplazamientos de la pared móvil permiten determinar el valor de la aceleración.

Es posible integrar algo similar a pequeña escala en sistemas integrados:
MEMS (**M**icro**E**lectro**M**echanical **S**ystems)

Sin embargo, mejor capacidades diferenciales

Capacidades diferenciales

Ejemplo: Cambios relativos en la superficie



Acelerómetro

En la estructura adjunta, se crean dos capacidades iguales en serie de valor:

$$C_{10} = C_{20} = \frac{\varepsilon \cdot a \cdot x_0}{d}$$

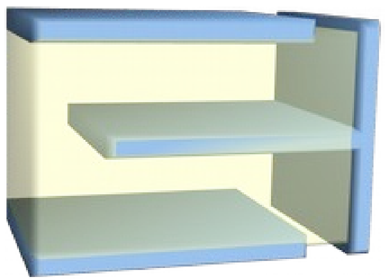
Cuando se produce un desplazamiento de la placa superior, las capacidades cambian aunque su suma permanece constante. Esta variación permite calcular el desplazamiento relativo y, por tanto, la fuerza aplicada.

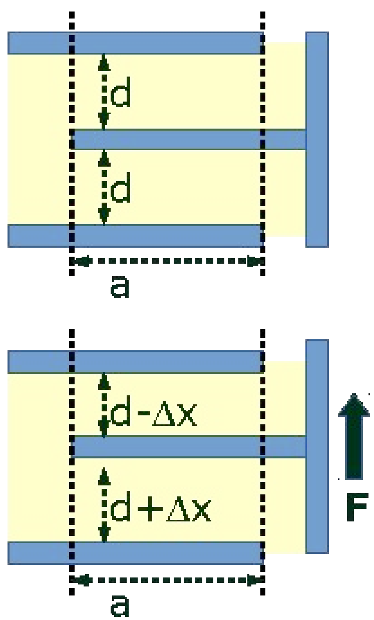
$$C_1 = \frac{\varepsilon \cdot a \cdot (x_0 - \Delta x)}{d} = C_{10} \cdot \left(1 - \frac{\Delta x}{x_0}\right)$$

$$C_2 = \frac{\varepsilon \cdot a \cdot (x_0 + \Delta x)}{d} = C_{10} \cdot \left(1 + \frac{\Delta x}{x_0}\right)$$

Capacidades diferenciales

Ejemplo: Cambios relativos en la distancia





Acelerómetro

En cambio, en la estructura adjunta se van a medir cambios en las distancias entre placas. El problema viene de que, al estar en el denominador, la relación es no lineal:

$$C_{10}=C_{20}=\frac{\varepsilon\cdot a\cdot b}{d_0}$$

El desplazamiento de la placa central modifica simultáneamente las dos capacidades:

$$C_1=\frac{\varepsilon\cdot a\cdot b}{d_0-\Delta x}\approx C_{10}\cdot\left(1+\frac{\Delta x}{x_0}\right)$$

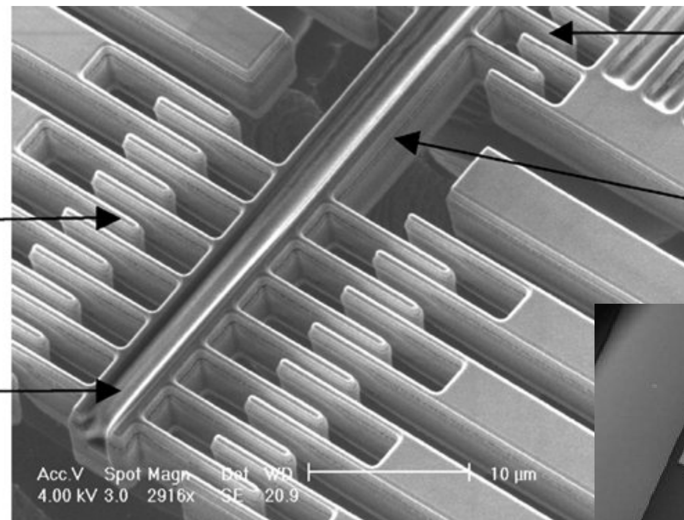
$$C_2=\frac{\varepsilon\cdot a\cdot b}{d_0+\Delta x}\approx C_{10}\cdot\left(1-\frac{\Delta x}{x_0}\right)$$

Ante pequeños desplazamientos, el sistema puede considerarse diferencial. Sin embargo, en la realidad la placa central se comba como un junco.

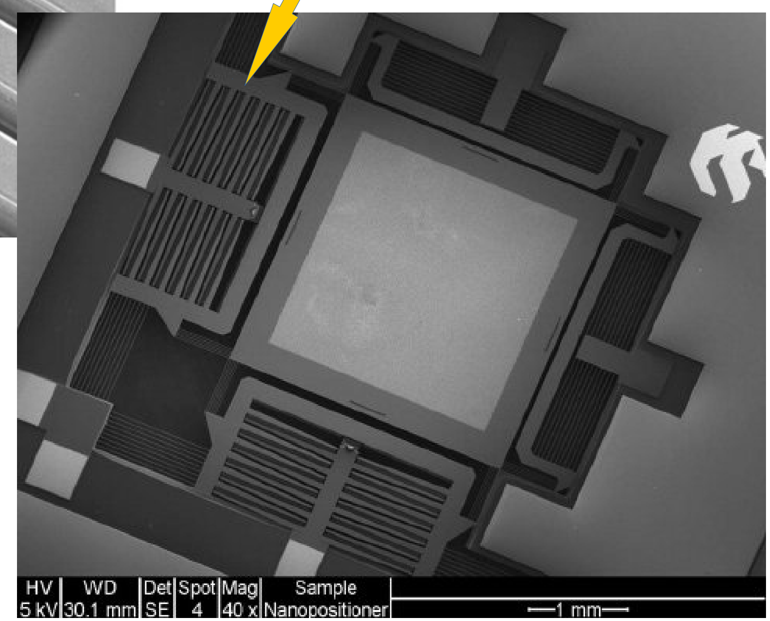
Ventaja: Reducible a tamaños micrométricas (MEMS)

Capacidades diferenciales

Ejemplo: MEMS



La estructura en peine aumenta la superficie efectiva.



Imágenes tomadas de artículos en IEEEXplore