

Sensores Integrados em Silício

IE012

Sensores Capacitivos

Professor Fabiano Fruett

UNICAMP – FEEC - DSIF
Sala 207

www.dsif.fee.unicamp.br/~fabiano

Equações

$$C = \frac{Q}{V}$$

Intensidade do campo elétrico

$$E = \frac{V}{d}$$

Densidade do fluxo elétrico

$$D = \frac{Q}{A}$$

Permissividade absoluta

$$\varepsilon = \frac{D}{E}$$

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

Permissividade relativa

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$$

$$\varepsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

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

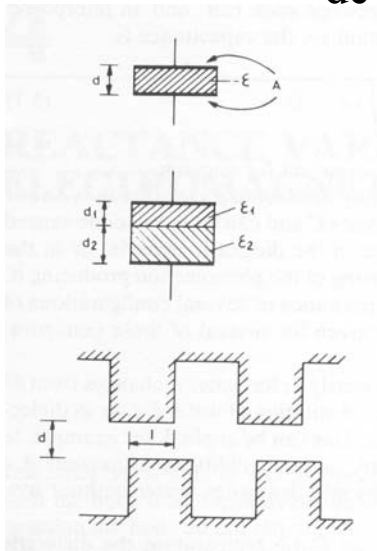
Sensores capacitivos microeletrônicos

- Mecânicos
 - Pressão
 - Aceleração
 - Tilt
- Químicos
 - Umidade
 - Concentração

Constante dielétrica

Dielétrico	ϵ_r
Ar(seco)	1,0006
Água@ 0 °C	88
Água@ 25 °C	80
Água@ 100 °C	55
Al ₂ O ₃	8,8
Si	3,8
SiO ₂	3,8
Papel	3,5
Vidro	6

Capacitância para algumas configurações de interesse



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

$$C = \frac{A}{\frac{d_1}{\epsilon_1} + \frac{d_2}{\epsilon_2}}$$

$$C = \frac{n\epsilon_0 lw}{d}$$

Fonte: W. Chr. Heerens, Application of capacitance techniques in sensor design, J. Phys. E: Sci. Instrum. 19 (1986), 897-906

Vantagens dos sensores mecânicos capacitivos

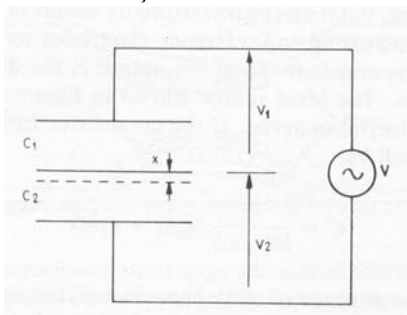
- Sensores sem contato
- Geralmente possuem alta estabilidade e repetibilidade. Pois a capacitância é independente das propriedades condutoras das placas (resistência de folha).
- Apresentam baixa deriva térmica, pois a constante dielétrica varia pouco com a temperatura. Normalmente não precisam de compensação em temperatura.
- Adequados para grande faixa de temperatura
- Adequados para pequenos deslocamentos. Exemplo: Sensor para baixo nível de pressão. Geralmente possuem grande sensibilidade para uma pequena faixa.

Limitações

- Efeito de borda
- Linearidade
- Impedância de saída
- Força eletrostática

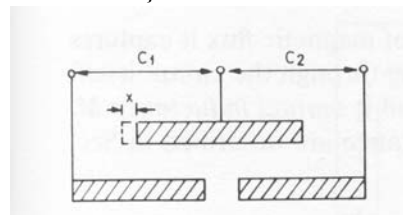
Capacitor diferencial

Variação da distância

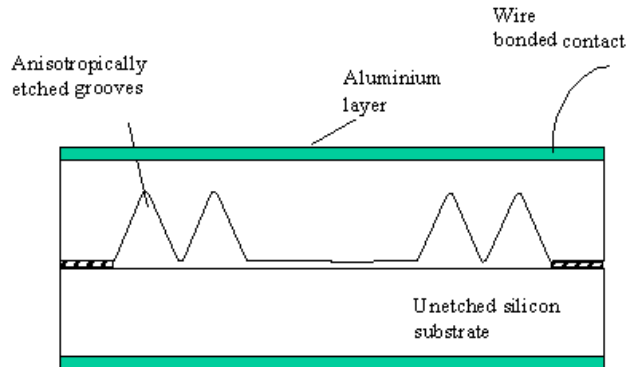


$$C_1 = \frac{\epsilon A}{d+x} \quad C_2 = \frac{\epsilon A}{d-x}$$

Variação da área efetiva

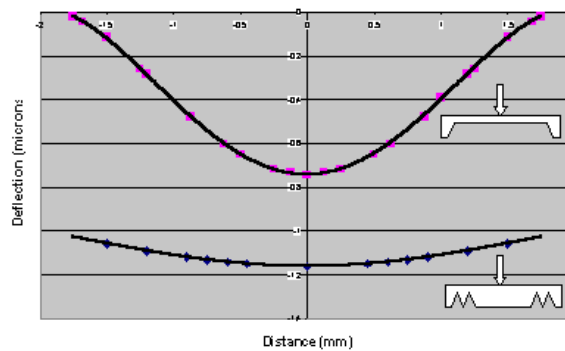


Sensor de pressão



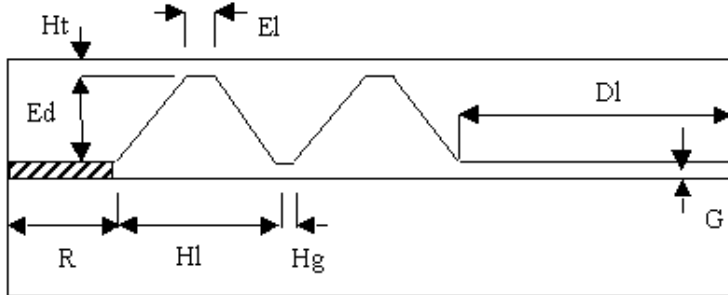
Fonte: <http://www.usitt.ecs.soton.ac.uk/>

Simulação FEA da curvatura do eletrodo superior



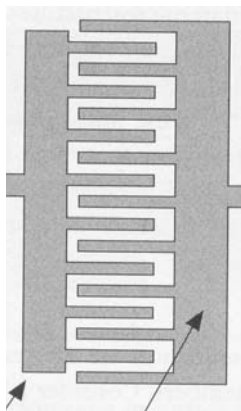
Geometria

Objetivo de projeto: Medir pressão absoluta de 0-8 bar

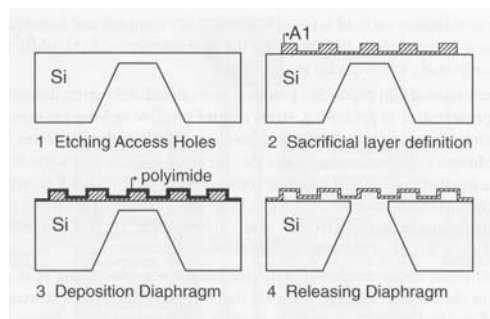


$H_t=200$, $E_l=200$, $E_d=100$, $R=750$, $H_l=800$, $H_g=100$, $D_l=1500$, $G=2$
[μm]

Capacitores em polisilício

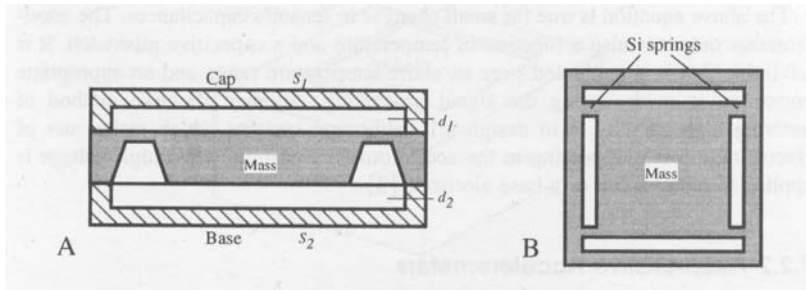


Fixo Móvel



Micromáquinas de superfície

Acelerômetro



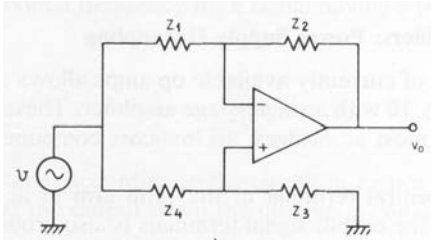
$$\Delta_d = \frac{F_m}{k}$$

Fonte: J. Fraden, Handbook of Modern sensors, AI

Circuitos de read-out para sensores capacitivos

- Ponte de impedância
- Multivibrador astável
- Oscilador de relaxação
- Amplificador de carga

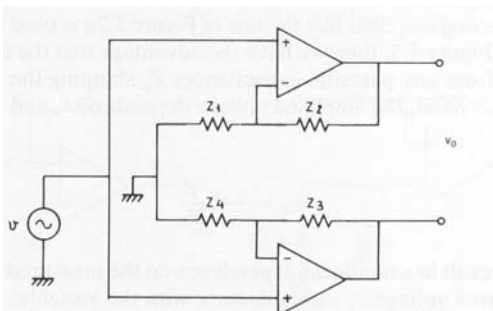
Pseudoponte para sensor capacitivo não diferencial



Considerações sobre linearidade

$$v_0 = v \frac{\frac{Z_3}{Z_4} - \frac{Z_2}{Z_1}}{1 + \frac{Z_3}{Z_4}}$$

Pseudoponte para sensor capacitivo diferencial



$$v_0 = v \left(\frac{Z_2}{Z_1} - \frac{Z_3}{Z_4} \right)$$

Multivibrador astável

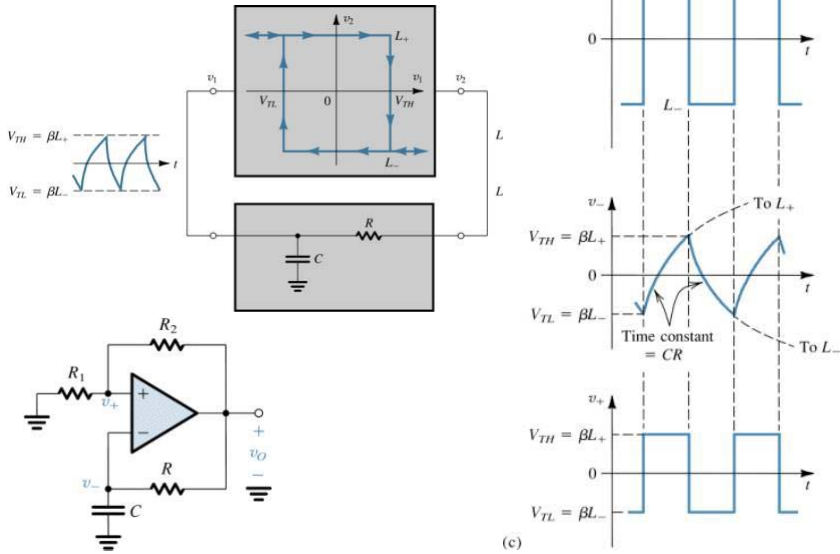
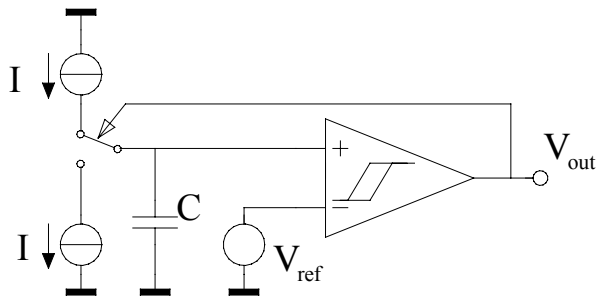


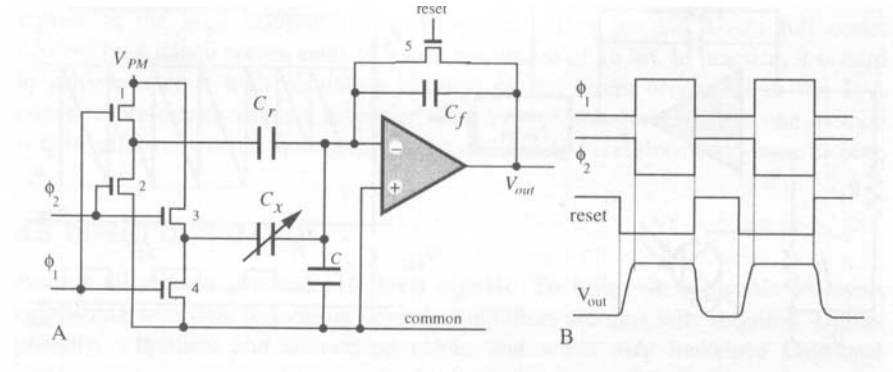
Fig. 12.24

Oscilador de relaxação

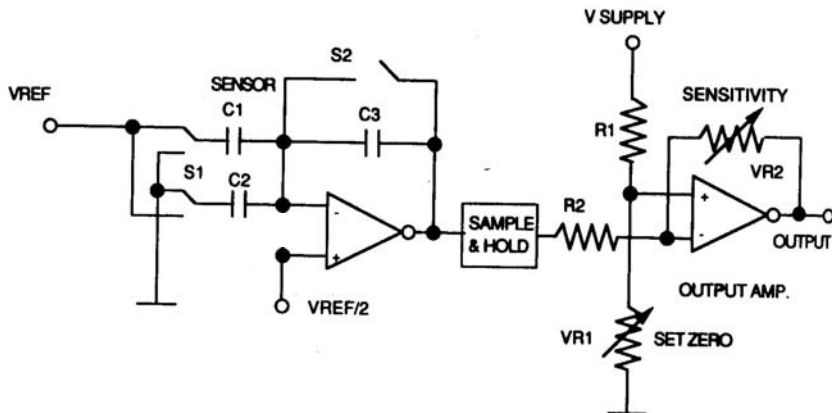


$$T = \frac{2V_H C}{I}$$

Amplificador de carga



Amplificador de carga e circuito condicionador



Sistema em malha fechada

