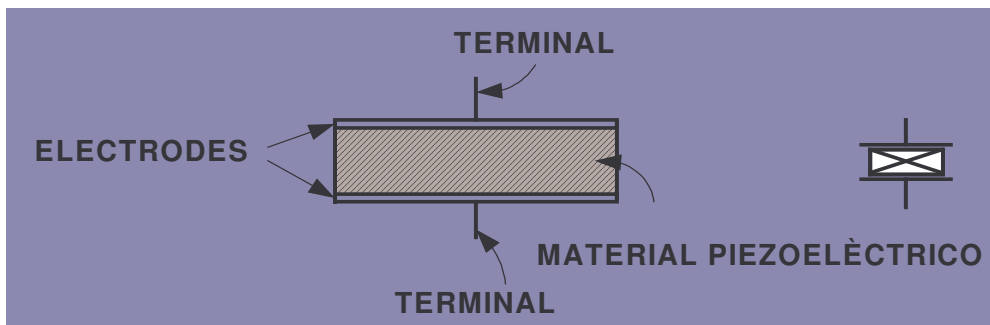
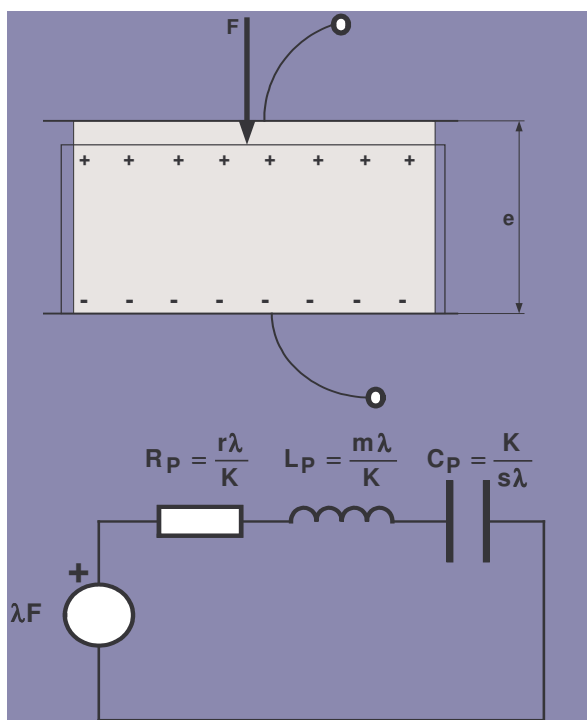


Sensors piezoelèctrics

- Aparició de càrrega elèctrica quan un cristall es sotmet a una deformació
- Naturals (Quarz, turmalina): estables però efecte piezoelèctric dèbil
- Sintètics (titanat de bari, titanat-circonat de plom): menys estables però efecte piezoelèctric major



Comportament mecànic-elèctric



$$F = m \frac{d^2 x}{dt^2} + r \frac{dx}{dt} + sx$$

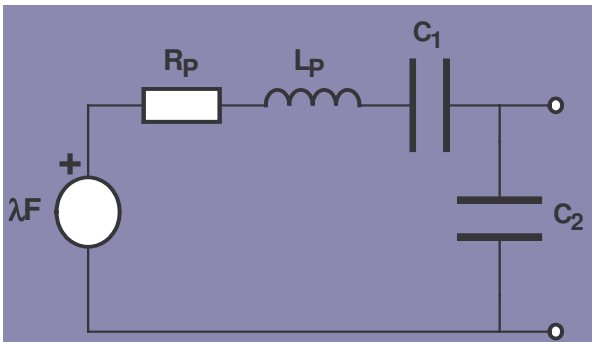
$$q = k' \frac{x}{e} \quad \text{Efecte piezoelèctric}$$

$$F = \frac{m}{K} \frac{di}{dt} + \frac{r}{K} i + \frac{s}{K} \int i dt$$

$$K \equiv \frac{k'}{e}$$

$\lambda \equiv$ factor de conversió dimensional

Comportament elèctric



$$V = \lambda F = R_P i + L_P \frac{di}{dt} + \frac{1}{C_P} \int i dt$$

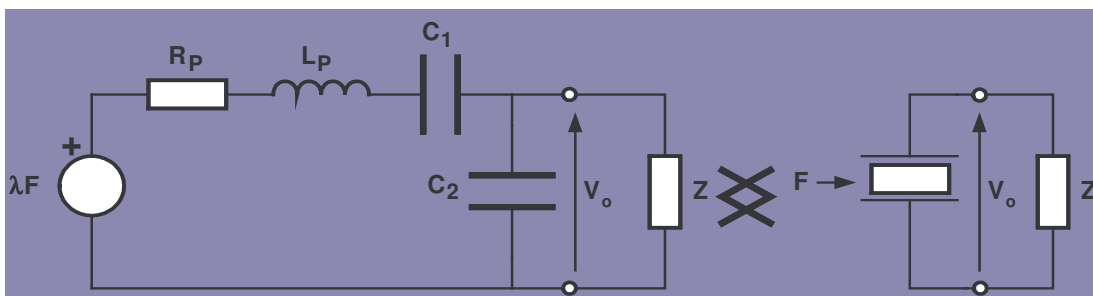
$$\frac{1}{C_P} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

$$C = C_1 + C_2$$

$$C_2 = \frac{C + \sqrt{C^2 - 4 \frac{k}{\lambda s} C}}{2}$$

$$C_1 = \frac{C - \sqrt{C^2 - 4 \frac{k}{\lambda s} C}}{2}$$

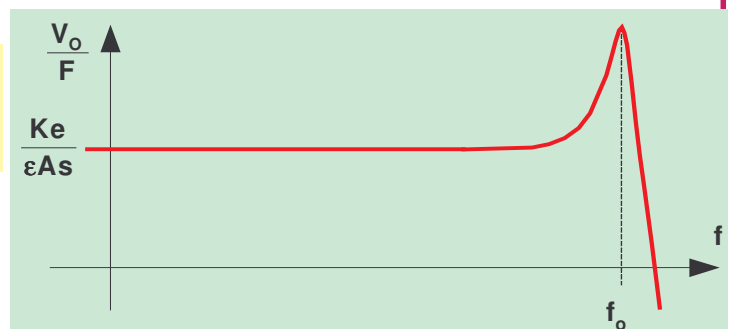
Comportament elèctric



$$V_o = \lambda F \frac{C_P}{C_2} \frac{1}{\sqrt{(1 - \omega^2 L_P C_P)^2 + \omega^2 R_P^2 C_P^2}}$$

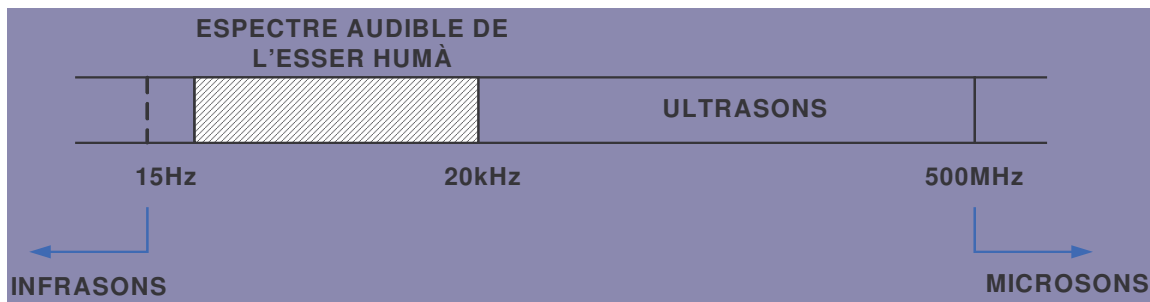


$$Z \rightarrow \infty$$

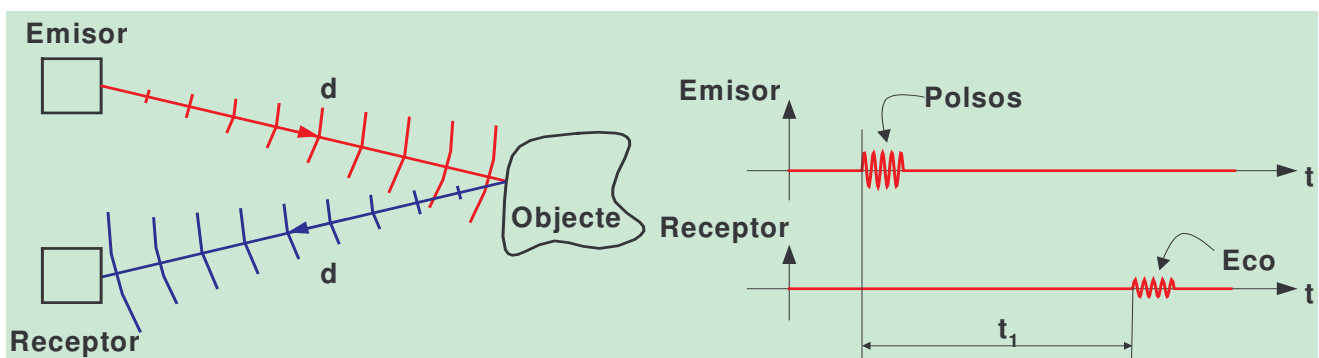


Ultrasons

- Vibracions en un medi elàstic amb freq superiors a uns 20kHz
- Són ones mecàniques (no electromagnètiques)



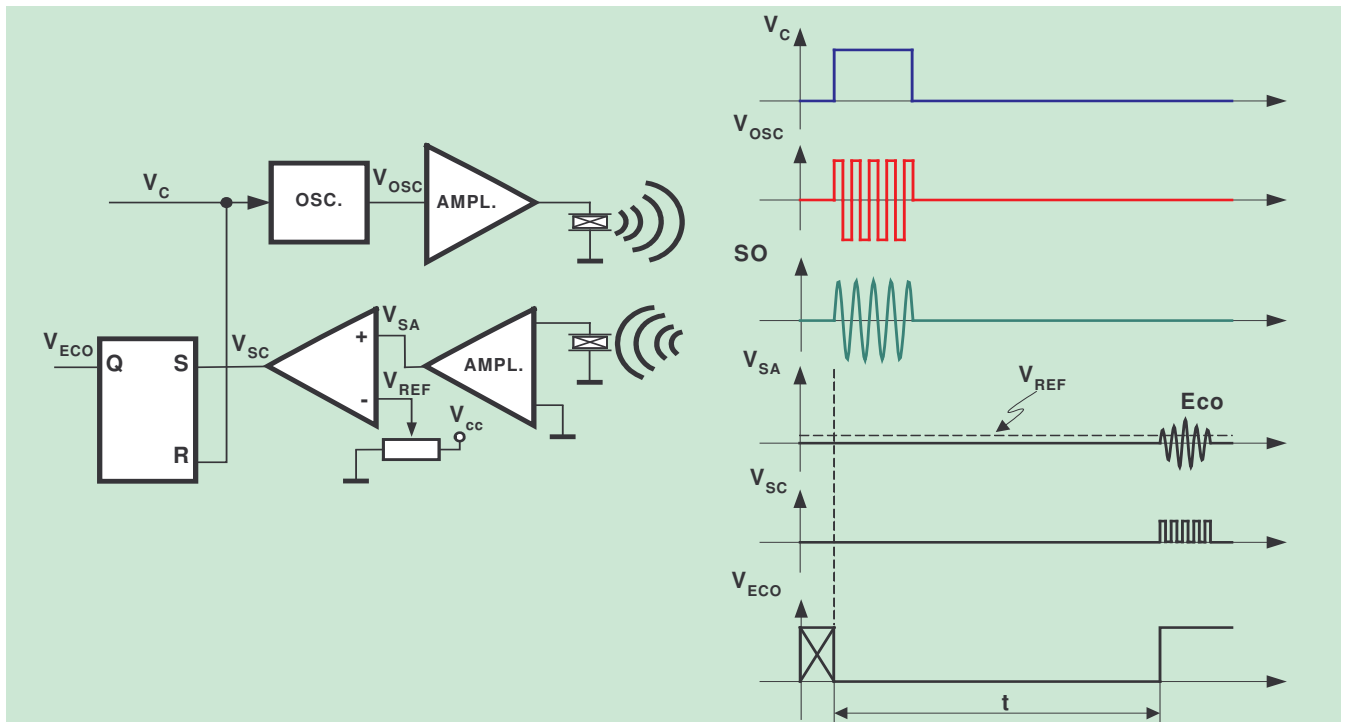
Tècnica impuls-eco



$$d = \frac{ct_1}{2}$$

c : velocitat del sò en el medi de propagació

Tècnica impuls-eco



Tema 6 : Condicionament de senyal per sensors capacitius

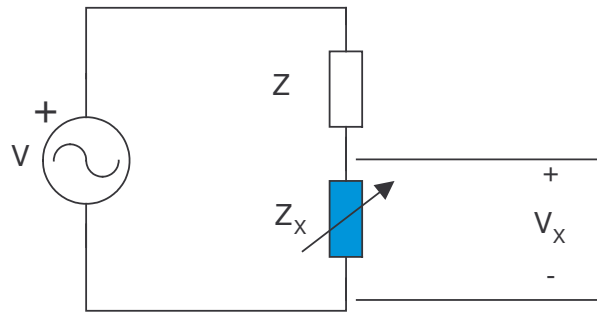
Continguts

- Introducció
- Mètodes basats en observació de tensió
 - Divisor de tensió
 - Pont d'alterna
 - Aplicació de llei d'Ohm
- Mètodes basats en observació de freqüència
 - Conceptes bàsics
 - Exemples varis

Introducció

- Un sensor capacitiu es comporta com un condensador la capacitat del qual varia amb la variable física que es mesura
- Exemple: podem pensar en un sensor d'humitat que es comporta com un condensador variable
- Necessitarem **font alterna** + mitjà per detectar variacions
- El condicionament del senyal ha de transformar la variació de capacitat en una variació d'una magnitud més fàcil de mesurar:
 - Variació de tensió analògica
 - Valor pic a pic, valor eficaç, valor mig de l'ona rectificada
 - Variació de freqüència
 - Adaptació digital (codi digital)
- Normalment C petits (menors de 100pF)
 - S'utilitzen fonts de freqüències relativament altes (>10kHz)

Divisors de tensió



- Si $Z_x = Z_0(1+x)$

$$V_x = \frac{Z_0(1+x)}{Z + Z_0(1+x)} = \frac{1+x}{2+x} \quad (\text{Si } Z = Z_0)$$

– Comportament no lineal, i a més impedàncies paràsites poden alterar el resultat

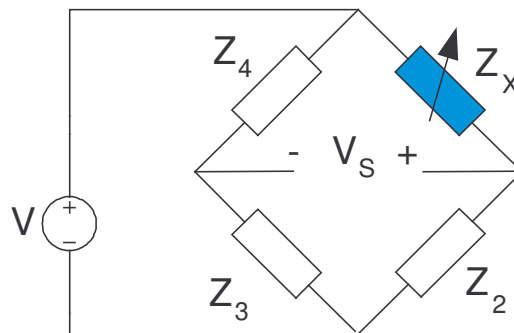
- Si $Z = Z_0(1-x)$ i $Z_x = Z_0(1+x)$

– Cas transductor diferencial

– Offset $V/2$

$$V_x = \frac{V}{2}(1+x)$$

Ponts d'alterna



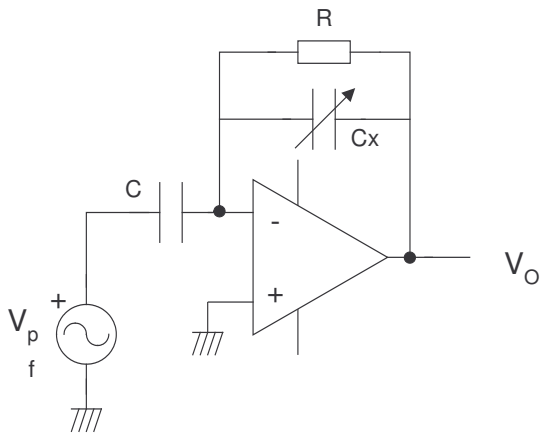
- Si $Z_x = Z_0(1+x)$ i $Z_2 = Z_3 = Z_4 = Z_0$

$$V_s = \frac{-x}{2(2+x)} V$$

- S'elimina la tensió fixa $V/2$ d'abans, però es perd linealitat

Mesura de tensió (Aplicació Llei Ohm)

- Sigui un sensor capacitiu del tipus $C_x = C_0 \frac{1}{1+x}$



$$\frac{V_o}{V_p} = \frac{-Z_x // R}{Z_C} = \frac{-RCs(1+x)}{1+x+RC_0s}$$

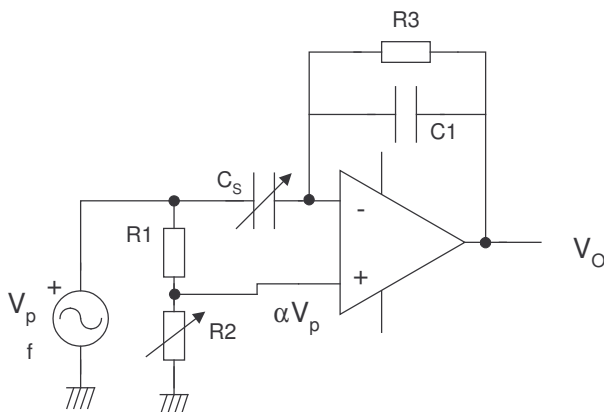
– Si R és molt gran (R nomès es posa per polarització)

- Sortida = senyal de la mateixa freqüència que l'entrada i amplitud dependent de la posició del sensor

$$\frac{V_o}{V_p} = \frac{-C(1+x)}{C_0}$$

Variació de tensió

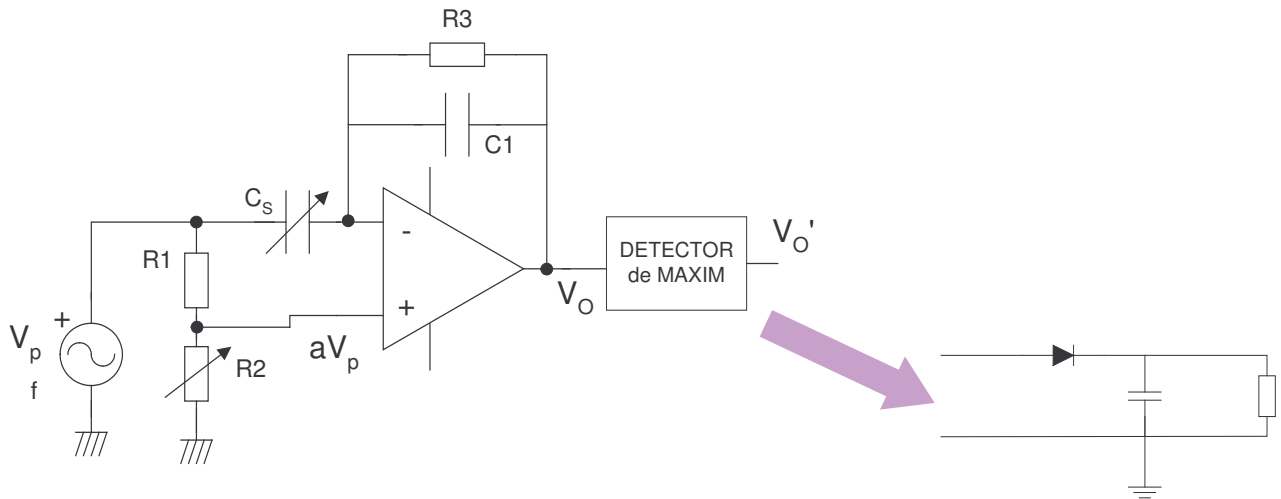
- Alternativa per sensors del tipus $C_s = C_0(1+x)$
 - Introduïm a més possibilitat d'ajust del guany i del zero
 - Introducció de resistències R1 i R2 (tensió al terminal no inversor)



$$V_o = \left[\alpha - (1-\alpha) \frac{C_s}{C_1} \right] V_p$$

Variació de tensió

- Circuit de sortida complet
 - Exemple: mesura de màxim
 - Circuit detector de màxim: díode + condensador + resistència

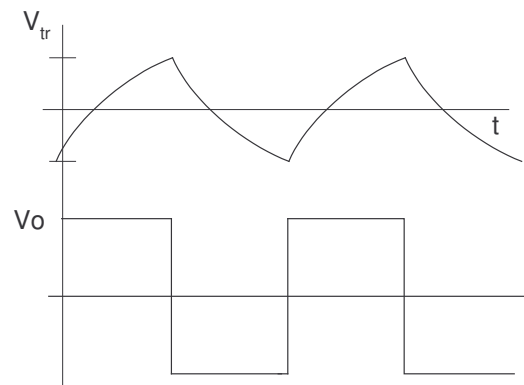
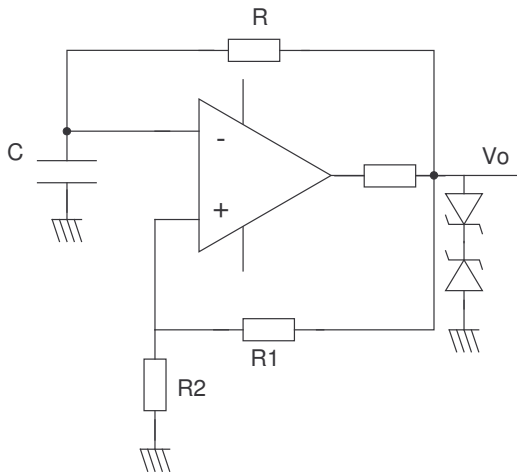


Variació de freqüència

- Emparam oscil.ladors, la freqüència dels quals depèn de la capacitat del sensor
 - Variacions al sensor impliquen variacions a C i per tant a freqüència
- Característiques
 - ✓ Major immunitat al soroll
 - ✓ Conversió a digital simple (comptadors)
 - ✗ Normalment no linealitat
 - ✗ Problemes d'estabilitat tèrmica o deriva en l'oscil.lador
- Alternatives (*reparar apunts de Tècniques Analògiques*)
 - Oscil.ladors senoidals
 - Pont de Wien, per corrent de fase, ...
 - Oscil.ladors no senoidals (ona quadrada)
 - Astable (oscil.lador de relaxació)
 - Circuits integrats: el 555

Variació de freqüència

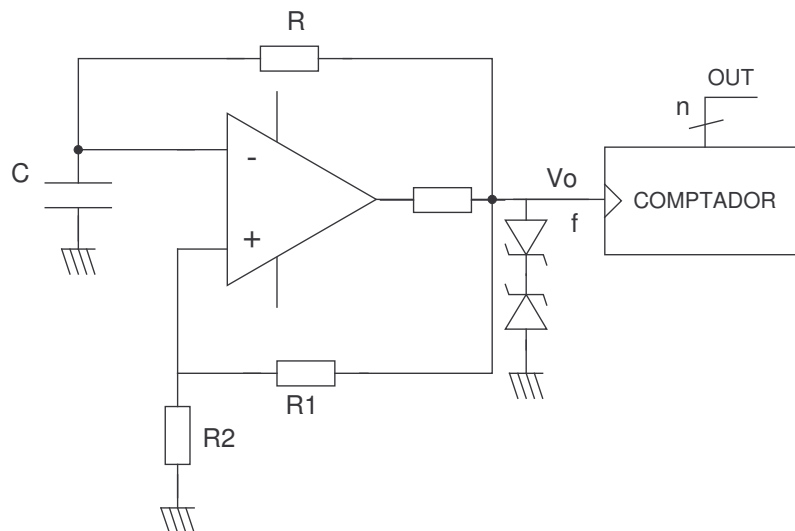
- Exemple : Oscil.lador de relaxació



$$T = 2RC \ln \left(1 + \frac{2R_1}{R_2} \right)$$

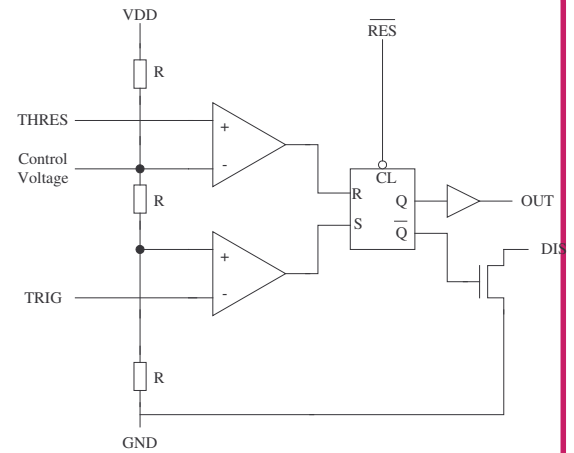
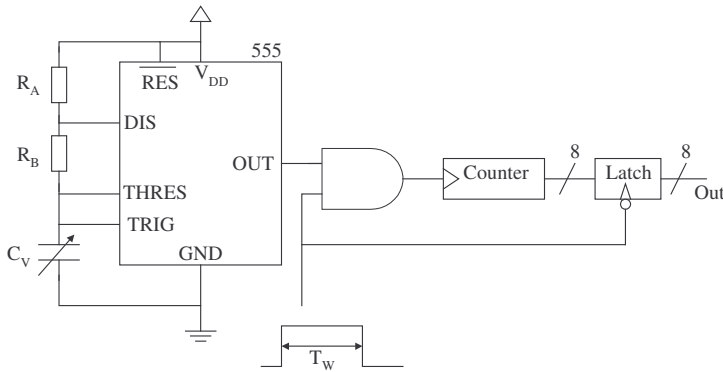
Variació de freqüència

- Exemple : Oscil.lador de relaxació amb sortida digital



Variació de freqüència

- Mesura de Capacitat amb un 555



- Condensador C_V variable (entre 10pF i 100pF).
- Condicionament: Timer 555 configurat com a multivibrador + Comptador

$$f = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B)C_V} = \frac{K}{C_V} \quad \begin{matrix} \curvearrowright \\ \curvearrowleft \end{matrix} \quad \begin{matrix} f_{\min} = \frac{K}{100p} \\ f_{\max} = \frac{K}{10p} \end{matrix} \quad \begin{matrix} \rightarrow \\ \rightarrow \end{matrix} \quad \begin{matrix} \text{Output} \\ = 256 \end{matrix} \quad \rightarrow \quad T_W = \frac{10p}{K} 256$$

Variació de freqüència

$$f = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B)C_V} = \frac{K}{C_V} \quad \begin{matrix} \curvearrowright \\ \curvearrowleft \end{matrix} \quad \begin{matrix} f_{\min} = \frac{K}{100p} \\ f_{\max} = \frac{K}{10p} \end{matrix} \quad \begin{matrix} \rightarrow \\ \rightarrow \end{matrix} \quad \begin{matrix} \text{Output} \\ = 256 \end{matrix} \quad \rightarrow \quad T_W = \frac{10p}{K} 256$$

- La sortida digital corresponent a $C_V = 100p$ serà

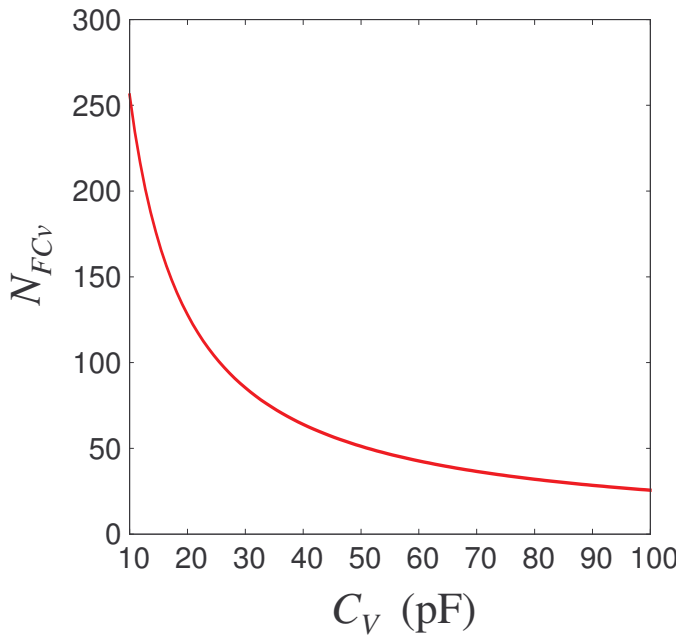
$$N_{F \min} = \frac{T_W}{T_{\max}} = \frac{\frac{10p}{K} 256}{\frac{100p}{K}} = 25.6$$

- I en general

$$N_{FC_V} = \frac{T_W}{T_{C_V}} = \frac{\frac{10p}{K} 256}{\frac{C_V p}{K}} = \frac{2560}{C_V \text{ (en pF)}}$$

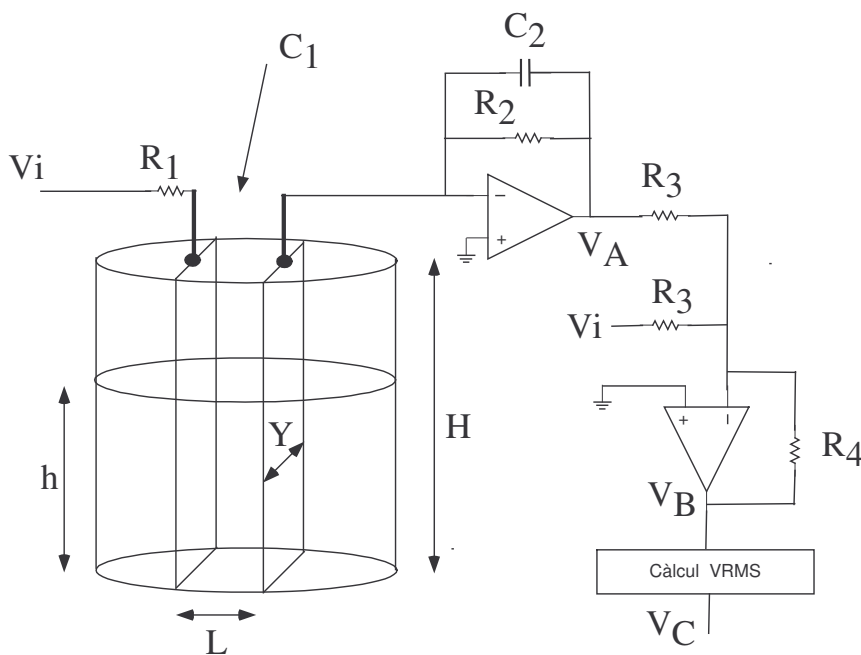
Variació de freqüència

- Relació sortida digital N_{FCv} vs. C_v (pF) (no lineal)



$$N_{FCv} = \frac{T_W}{T_{Cv}} = \frac{\frac{10p}{K} 256}{\frac{C_v p}{K}} = \frac{2560}{C_v (\text{en pF})}$$

Més exemples



$$C_2 = C_{1,\text{mínim}}$$

$$C_1 = a \cdot h + b = a \cdot h + C_2$$

$$V_A \approx -\frac{C_1}{C_2} V_i \approx -\left(\frac{a \cdot h}{C_2} + 1\right) V_i$$

$$\frac{1}{R_1 C_1} \gg \omega \gg \frac{1}{R_2 C_2}$$

$$V_B = -\frac{R_4}{R_3} (V_A + V_i) \approx \frac{R_4}{R_3} \frac{a \cdot h}{C_2} V_i$$

$$V_C \approx \frac{R_4}{R_3} \frac{a \cdot h}{C_2} V_i(\text{rms})$$

Més exemples

