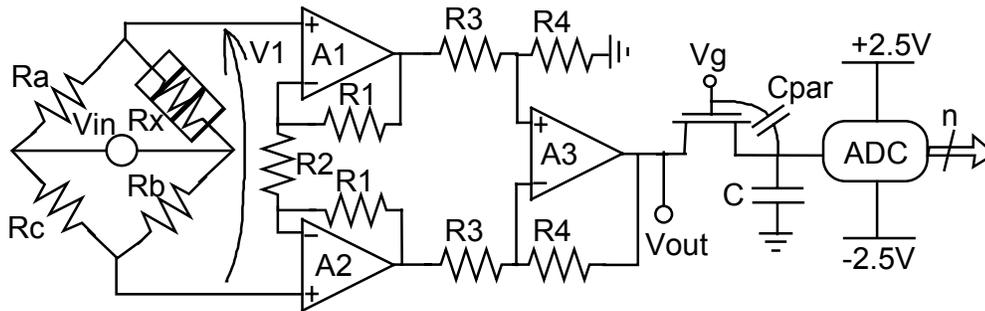


Fondamenti di Elettronica - Ingegneria Elettronica - AA 2003/2004 - 14 luglio 2004

Traccia di soluzione

Esercizio 1



$$V_{in} = 2V$$

$$R_a = R_b = R_c = 100\Omega$$

$$R_1 = 2k\Omega$$

$$R_2 = 1k\Omega$$

$$R_3 = 4k\Omega$$

$$R_4 = 20k\Omega$$

$$C = 3.3nF$$

$$A_0 = 90dB$$

$$\tau_0 = 50ms$$

a) $V_1 = V_1(\Delta T)$

$$R_x = R_{x,o} + \alpha(T - T_o) = R_{x,o} + aT$$

dove

$$R_{x,o} = 100\Omega$$

$$\alpha = 0.384\Omega/^\circ C$$

Quindi, con un semplice partitore di tensione

$$V_1 = V_{in} \left(\frac{R_x}{R_x + R_a} - \frac{R_b}{R_b + R_c} \right) = \frac{0.384\Omega/^\circ C \cdot T}{200\Omega + 0.384\Omega/^\circ C \cdot T} [V]$$

b) $V_{out} = V_{out}(\Delta T)$

Grazie alla retroazione la tensione V_1 si ritrova ai capi della resistenza R_2 , che risulta, quindi, percorsa da una corrente

$$I_{R_2} = \frac{V_1}{R_2}$$

$$V_{out} = \frac{V_1}{R_2} (R_1 + R_2 + R_1) \frac{1}{R_3 + R_3} (R_4 + R_4) = V_1 \left(1 + \frac{2R_1}{R_2} \right) \frac{R_3}{R_4} = 25 \frac{0.384\Omega/^\circ C \cdot T}{200\Omega + 0.384\Omega/^\circ C \cdot T} [V]$$

c) Numero di bit ADC

La variazione di tensione pari a $1^\circ C$ e' circa di 40 mV come si puo' evincere dalla tabella sottostante.

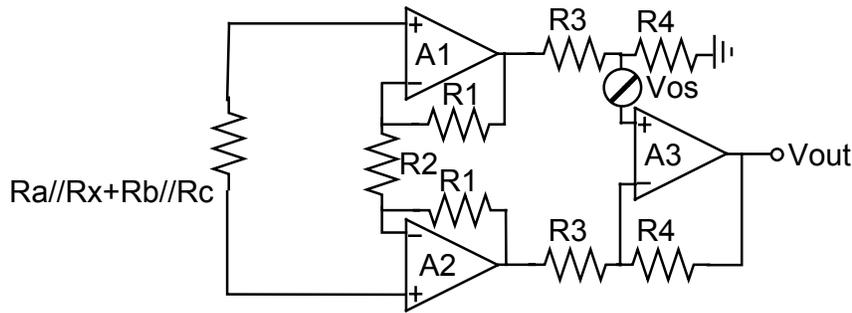
Temperatura	V_{out}
-25°C	-1.26V
-24°C	-1.21V
-1°C	-48mV
1°C	+48mV
+49°C	2.15V
+50°C	2.19V

Pertanto l' LSB dell'ADC deve essere inferiore a 40 mV.

$$LSB = \frac{V_{ref}^+ - V_{ref}^-}{2^n} < 40mV$$

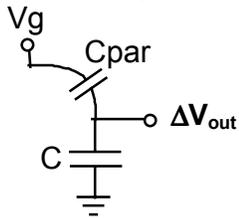
$$2^n > \frac{5V}{40mV} = 125 \Rightarrow n_{BIT, \min} = 7bit$$

d) Effetto della tensione di offset



$$V_{out} = \pm V_{os} \left(1 + \frac{R_4}{R_3} \right) = \pm 150mV \cong \pm 3^\circ C$$

e) Errore per iniezione di carica



$$\Delta V_{out} = \frac{C_{par}}{C_{par} + C} \Delta V_g = 6.06mV$$

$$1LSB = \frac{5V}{2^7} = 39.1mV$$

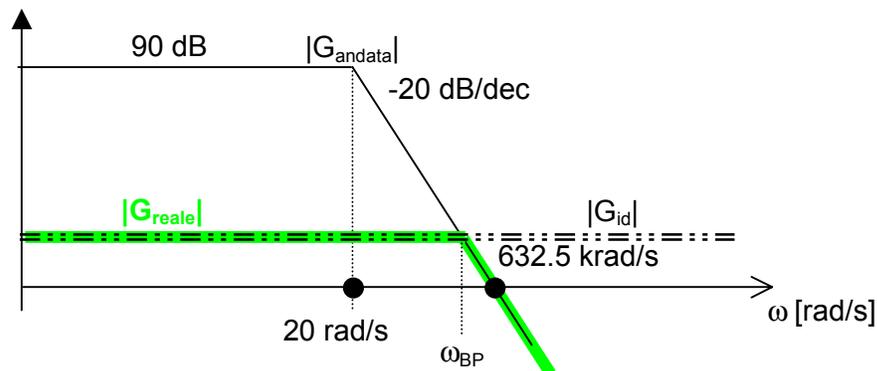
L'errore per l'iniezione di carica e' pari a $\frac{6.06mV}{39.1mV} = 0.15LSB$.

e) Banda

Per calcolare il guadagno reale, procediamo per via grafica. Calcoliamo il guadagno d'anello ed il guadagno d'andata.

$$G_{loop}(s) = -\frac{R_2}{2} \frac{1}{R_1 + \frac{R_2}{2}} \frac{A_0}{1+s\tau}$$

$$G_{andata}(s) = -G_{id}(s) \cdot G_{loop}(s) = -\left(1 + \frac{R_1}{\frac{R_2}{2}} \right) \frac{R_2}{2} \frac{1}{R_1 + \frac{R_2}{2}} \frac{A_0}{1+s\tau} = A(s)$$



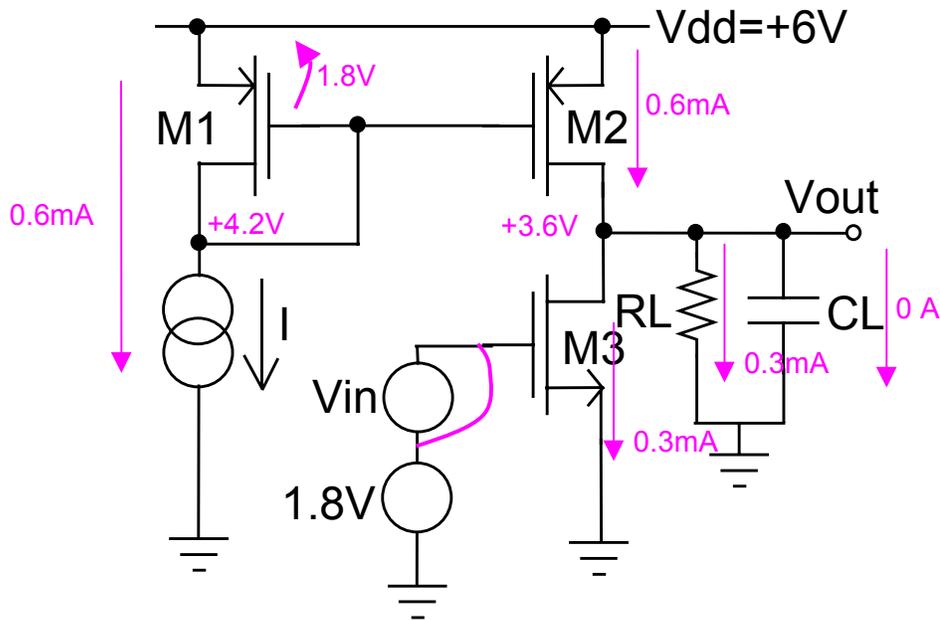
Poiche' il sistema e' a singolo polo il prodotto guadagno-banda e' costante:

$$|G_{id}(0)| \cdot \omega_{BP} = |G_{andata}(0)| \cdot \frac{1}{\tau}$$

$$\omega_{BP} = \frac{|G_{andata}(0)|}{|G_{id}(0)|} \frac{1}{\tau} = 126.5krad/s \Rightarrow f_{BP} = 20.1kHz$$

Esercizio 2

a) Polarizzazione



I MOSFET operano in zona di saturazione e $g_{m,n}=0.6\text{mA/V}$, $g_{m,p}=1.2\text{mA/V}$.

b) Guadagno a bassa frequenza ($r_o=\infty$)

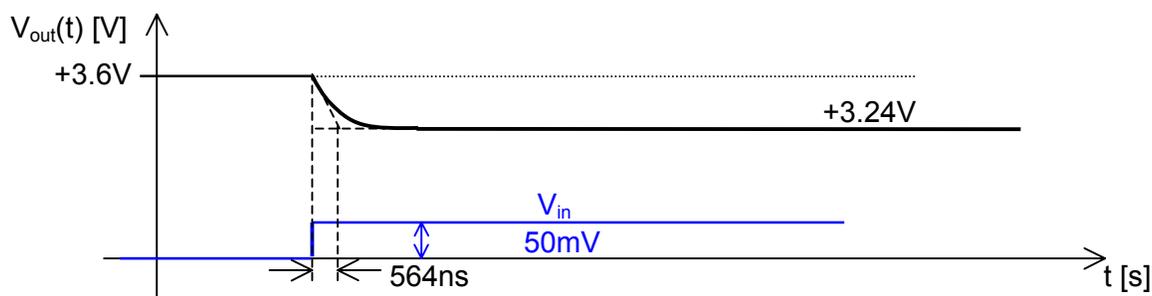
$$\left. \frac{V_{out}}{V_{in}} \right|_{LF}(s) = -g_{m,n} R_L = -7.2$$

c) Guadagno a bassa frequenza ($r_o=50\text{k}\Omega$)

$$\left. \frac{V_{out}}{V_{in}} \right|_{LF}(s) = -g_{m,n} (R_L // r_{o,M2} // r_{o,M3}) R_L = -4.86$$

d) Tensione di uscita

C_L introduce un polo con costante di tempo $\tau = R_L C_L = 564\text{ns}$.



e) Resistenza R da sostituire al generatore di corrente

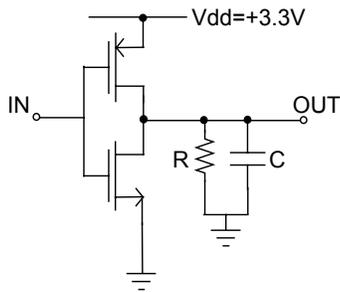
$$R = \frac{4.2\text{V}}{I} = 7\text{k}\Omega$$

f) Numero di quadri per la resistenza R

$$R_{quadro} = \frac{1}{q\mu_p D} = 312\Omega / \text{quadro}$$

$$n^\circ \text{quadri} = \frac{R}{R_{quadro}} = 22.4 \approx 23 \text{quadri}$$

Esercizio 3



a) Tensione di uscita con IN low

$$V_{GS,n} = 0 < V_{T,n} \Rightarrow \text{NMOS off} \Rightarrow I_{D,n} = 0$$

$$V_{GS,p} = -3.3V < V_{T,p} \Rightarrow \text{PMOS on}$$

ma a differenza di un inverter con carico esclusivamente capacitivo, per la presenza della resistenza R $I_{D,p} \neq 0$.

Ipotizziamo il pMOS in saturazione e calcoliamo la sua corrente di drain

$$I_{D,p} = k_p (V_{GS,p} - V_{T,p})^2 = 1.254 \text{ mA}$$

$$V_{OUT} = I_{D,p} R = 250.8 \text{ mV} > V_{T,p}$$

Quindi il PMOS e' effettivamente in zona di saturazione e $V_{OUT} = 0.251 \text{ V}$.

b) Regioni di funzionamento MOS con IN low e high

IN LOW

come visto al punto precedente

NMOS off

PMOS saturo

IN HIGH

$$V_{GS,n} = +3.3V > V_{T,n} \Rightarrow \text{NMOS on}$$

$$V_{GS,p} = 0 > V_{T,p} \Rightarrow \text{PMOS off}$$

$$I_{D,p} = 0 \Rightarrow I_{D,n} = 0 \text{ e } V_{OUT} = 0V$$

$$V_{GD,n} = +3.3V > V_{T,n} \Rightarrow \text{NMOS ohmico}$$

c) Soglia di commutazione

Calcoliamo la soglia di commutazione di questa famiglia di inverter

$$\begin{cases} |I_{D,n}| = |I_{D,p}| \\ V_{OUT} = V_{IN} \end{cases} \Rightarrow k_n (V_{GS,n} - V_{T,n})^2 = k_p (V_{GS,p} - V_{T,p})^2$$

L'equazione da risolvere e', quindi,

$$k_n (V_{IN} - V_{T,n})^2 = k_p [(V_{IN} - V_{DD}) - V_{T,p}]^2$$

da cui

$$V_{IN} = +1.39V$$

La soglia di commutazione di questa famiglia di inverter e' pari a +1.39V, quindi il segnale OUT in presenza della resistenza R NON puo' essere usato per pilotare un inverter di questa famiglia poiche', non superando mai la soglia di commutazione, non lo farebbe commutare.