

Fondamenti di elettronica - Seconda prova (4 febbraio 2003)

Traccia di soluzione

Esercizio 1

1.

L'operazionale e' in configurazione invertente. La funzione di trasferimento puo' essere calcolata per via analitica:

$$G_{id}(s) = -\frac{Z_2(s)}{Z_1(s)}$$

dove:

$$Z_1(s) = \frac{R_1}{1+sC_1R_1} + R_2 = (R_1 + R_2) \frac{1+sC_1(R_1 // R_2)}{1+sC_1R_1}$$

$$Z_2(s) = \frac{R_3}{1+sC_2R_3}$$

oppure direttamente per ispezione del circuito:

$$G_{id}(s) = G_{id}(0) \frac{1+s\tau_z}{(1+s\tau_{p1})(1+s\tau_{p2})}$$

dove

$$\tau_z = C_1R_1 = 319\mu s \rightarrow f_z = 500Hz$$

$$\tau_{p1} = C_1(R_1 // R_2)$$

$$\tau_{p2} = C_2R_3 = 1\mu s \rightarrow f_{p2} = 159Hz$$

Ad alta frequenza la capacita' C2 e' un circuito aperto, la capacita' C1 e' un cortocircuito. Pertanto il guadagno ad alta frequenza risulta:

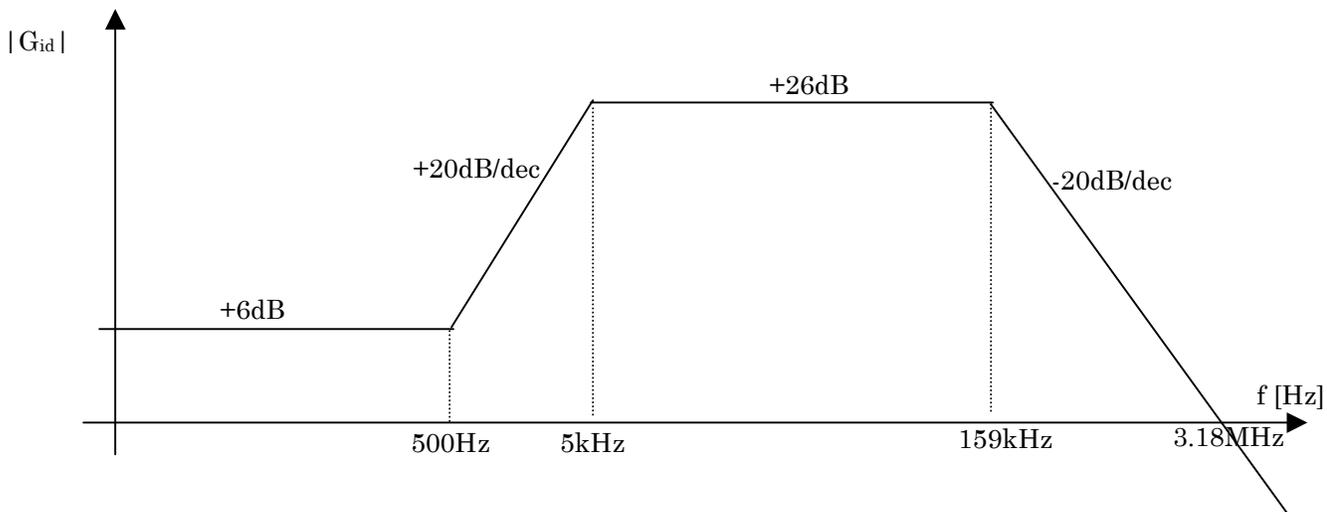
$$G_{id}|_{HF} = -\frac{R_3}{R_2} = -20 \rightarrow R_2 = R_3 / 20 = 10k\Omega$$

quindi

$$G_{id}(0) = -\frac{R_3}{R_1 + R_2} = -2$$

$$\tau_{p1} = C_1(R_1 // R_2) = 31.9\mu s \rightarrow f_{p1} = 5kHz$$

Il diagramma di Bode del modulo della funzione di trasferimento risulta



2.

Una frequenza di 100 kHz e' compresa nella banda in cui il guadagno e' pari a -20, pertanto la sinusoide di frequenza 100kHz sara' amplificata di un fattore -20.

La tensione di offset e' una tensione continua, quindi le due capacita' sono circuiti aperti ed il guadagno per la tensione di offset (generatore di tensione in serie al morsetto non invertente) risulta:

$$G_{os} = 1 + \frac{R_3}{R_1 + R_2} = 3$$

3.

Per calcolare il G_{loop} apriamo l'anello sul generatore di tensione comandato dell'operazionale ed applichiamo un generatore di tensione di prova a valle del taglio. Valutiamo, quindi, la tensione che si sviluppa a monte del taglio. Dal momento che calcoliamo il G_{loop} in continua le due capacita' sono circuiti aperti.

$$G_{loop} = -\frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_3} A_o = -3.3 \cdot 10^4$$

4.

La retroazione controlla la tensione del nodo di uscita e tende ad abbassare l'impedenza di uscita del circuito rispetto a quella che si avrebbe quando la retroazione non e' attiva.

$$R_{out} = \frac{R_{out}^0}{1 - G_{loop}^*(0)}$$

$$G_{loop}^* = -\frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_3 + r_{out}} A_o = -3.3 \cdot 10^4$$

$$R_{out}^0 = r_{out} \parallel (R_1 + R_2 + R_3) = 100\Omega$$

$$R_{out} = \frac{100\Omega}{3.3 \cdot 10^4} = 3m\Omega$$

5.

Dobbiamo calcolare la massima pendenza del segnale in uscita dal circuito e confrontarlo con il valore di SR dell'amplificatore operazionale

$$\left. \frac{dv_{out}}{dt} \right|_{\max} = \Delta V_{in} \cdot G_{id} \cdot \omega \cdot \cos(\omega t) \Big|_{\max} = 2\pi f G_{id} \Delta V_{in}$$

$$SR = 2\pi f G_{id} \Delta V_{in}$$

$$f = 143 \text{ kHz}$$

Tale frequenza e' effettivamente compresa nella banda di frequenze in cui il guadagno del circuito e' pari a -20 e, quindi, e' congruente la scelta fatta di usare il guadagno pari a -20 nel calcolo.

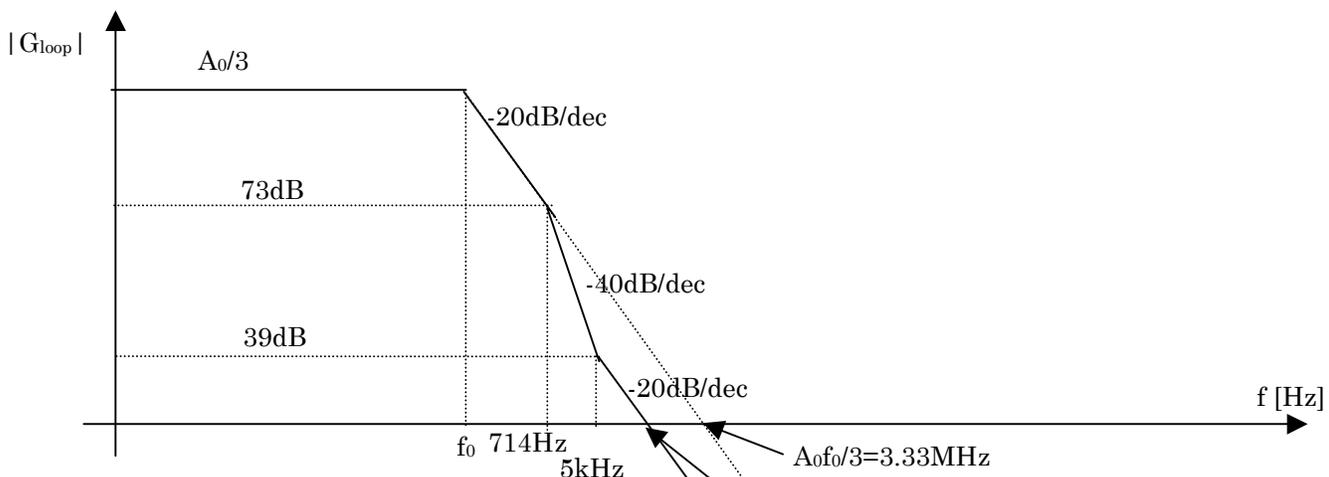
6.

Dobbiamo calcolare l'andamento in frequenza del guadagno d'anello e stimare il margine di fase per valutare la stabilita' del circuito. La capacita' C_2 deve essere trascurata, quindi e' come se fosse un circuito aperto. Conosciamo solo il prodotto guadagno-larghezza di banda e non singolarmente A_0 e f_0 Procediamo per ispezione.

$$G_{loop}(s) = -A_o \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \frac{1 + s\tau_z}{(1 + s\tau_0)(1 + s\tau_p)}$$

$$\tau_p = C_1 [R_1 \parallel (R_2 + R_3)] = 223\mu s \rightarrow f = 714 \text{ Hz}$$

$$\tau_z = C_1 (R_1 \parallel R_2) = 31.86\mu s \rightarrow f = 5 \text{ kHz}$$



Poiche' l'attraversamento dell'asse 0dB da parte del G_{loop} avviene circa due decadi dopo lo zeroil margine di fase sara' di circa 90° e pertanto il circuito e' incondizionatamente stabile.

Esercizio 2

1.

La scelta delle resistenze R_a e R_b deve essere fatta per traslare la tensione di uscita del primo operazionale a meta' della dinamica dell'ADC (1.65V).

Pertanto

$$\begin{cases} V_{outDC1} = 1.65V = \frac{R_a}{R_a + R_b} V_{DD} |G_{non-inv}| \\ I_{div} = 100\mu A = \frac{V_{DD}}{R_a + R_b} \end{cases}$$

$$G_{non-inv} = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 11$$

$$\rightarrow R_a = 1.5k\Omega \quad R_b = 31.5k\Omega$$

2.

$$\frac{V_{pp}}{1000} |G_{inv}| = \frac{V_{FS}}{2^n}$$

$$G_{inv} = -\frac{R_2}{R_1} = -10$$

$$n = \ln_2 \left(\frac{V_{FS}}{V_{pp}} \frac{1000}{|G_{inv}|} \right) = 11$$

$$LSB = \frac{V_{FS}}{2^n} = 1.61mV$$

$$LSB_{in} = \frac{LSB}{|G_{inv}|} = \frac{V_{FS}}{2^n |G_{inv}|} = 161\mu V$$

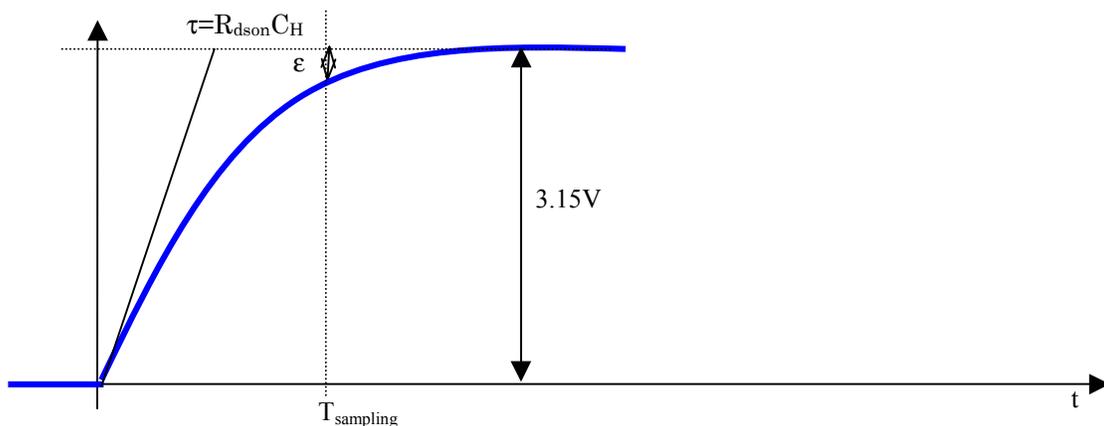
3.

Per avere R_{dson} virtualmente infinita occorre avere $|V_{GS}| = |V_T| = 0.7V$.

Quindi V_G deve essere piu' piccola di una tensione di soglia rispetto al massimo valore del segnale in uscita dal primo operazionale per garantire che il p-MOS sia spento. Il massimo valore del segnale in uscita dal primo operazionale e' pari a +3.15V, quindi la tensione di gate richiesta e' pari a +2.45V.

4.

Un tensione di -150 mV in ingresso al primo operazionale si traduce in una tensione di +3.15V in uscita dal primo operazionale.



$$\epsilon = \Delta V \exp\left(-\frac{T_{sampling}}{\tau}\right)$$

$$\epsilon = 1LSB$$

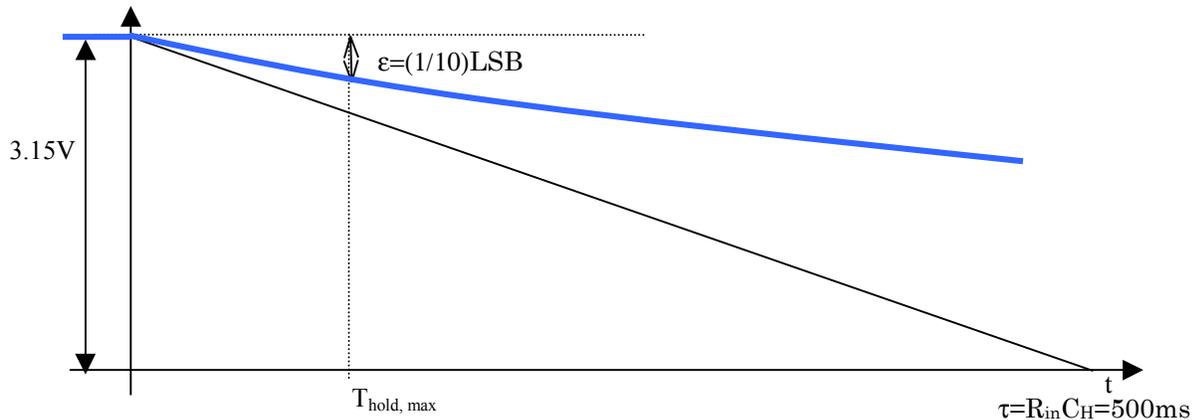
$$\tau = 66ns \rightarrow R_{DSon} = 66\Omega$$

5.

Occorre innanzitutto calcolare la resistenza di ingresso mostrata dal buffer costituito dall'amplificatore operazionale 2. Trattandosi di un circuito retroazionato la resistenza di ingresso sarà data da:

$$R_{in} = R_{in0}(1 - G_{loop}^*) = R_{id}(1 + A_o) = 500k\Omega(1 + 1000) = 500M\Omega$$

La capacità di hold C_H si scaricherà durante la fase di hold sulla resistenza da $500 M\Omega$. L'andamento del segnale ai capi della capacità nella fase di hold è il seguente:



$$\epsilon = \frac{1}{10} LSB = \frac{V_{FS}}{2^n} \frac{1}{10} = 161\mu V$$

$$\tau = R_{in} C_H = 500ms$$

$$\epsilon = \Delta V [1 - \exp(-T_{hold,max} / \tau)]$$

↓

$$T_{hold,max} = -\tau \left[\ln\left(1 - \frac{\epsilon}{\Delta V}\right) \right] = 25.6\mu s \ll \tau$$

6.

Per un ADC a gradinata il tempo di conversione dipende dall'ampiezza del segnale che deve essere convertito. Il massimo valore del tempo di conversione è dato da

$$T_{conv,max} = \frac{2^n}{f_{ck}} = \frac{2^{11}}{10MHz} = 204.8\mu s$$

Per garantire la correttezza del dato in uscita dall'ADC si deve avere $T_{hold} \geq T_{conv}$, quindi

$$T_{hold,min} = T_{conv} = 204.8\mu s$$