

Fondamenti di Elettronica – Ingegneria Elettronica – A.A. 2003/2004
Soluzione 2a prova in itinere – 5 febbraio 2004

Esercizio 1

a)

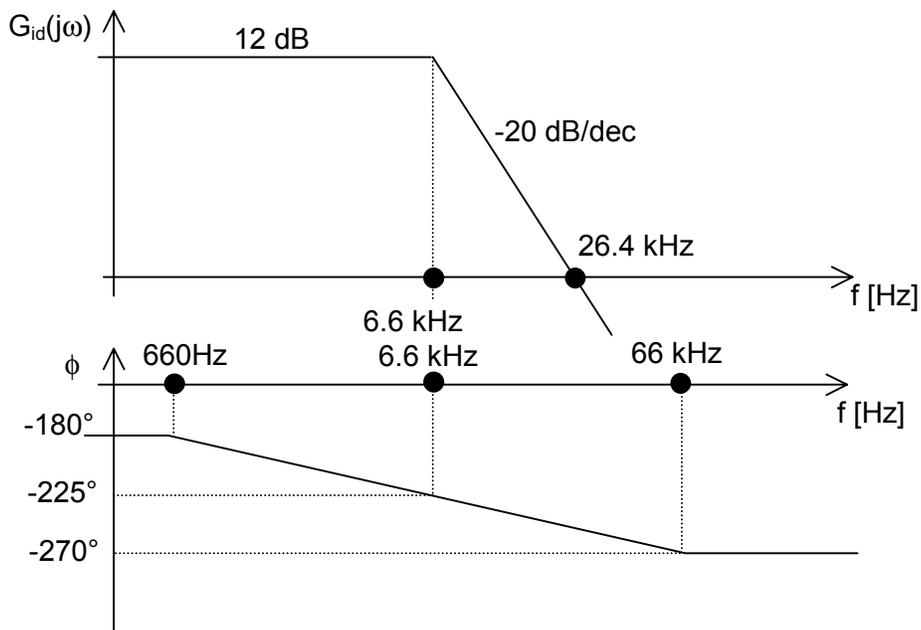
Grazie alla retroazione il morsetto invertente e' un nodo di terra virtuale, quindi:

$$V_{out}|_A = -\frac{V_{in}}{R_1} R_2 \frac{1}{1+sC_2R_2}$$

$$G_{ideale}(s) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1+sC_2R_2}$$

Quindi il guadagno ideale ha un polo con costante di tempo $\tau_p = C_2R_2 = 24\mu s$ ed un guadagno in

continua $G_{ideale}(0) = \frac{-R_2}{R_1} = 4$.



b)

Per valutare la stabilita' del sistema e calcolare il margine di fase dobbiamo calcolare il guadagno d'anello del circuito:

$$G_{loop}(s) = G_{loop}(0) \frac{1+s\tau_z}{1+s\tau_p} \frac{1}{1+s\tau_0}$$

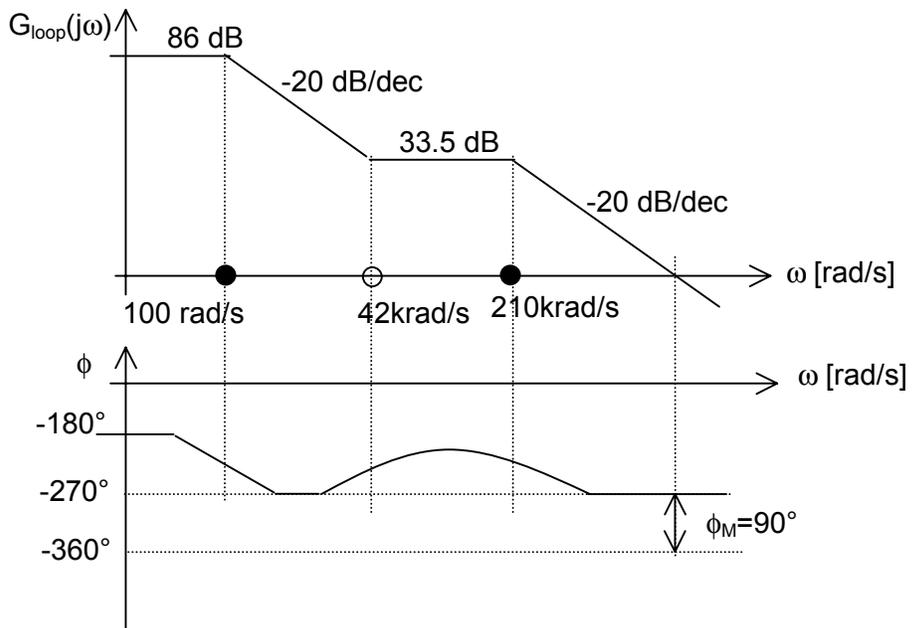
$$G_{loop}(0) = -A_0 \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 20000$$

$$\tau_p = C_2(R_1 // R_2) = 4.8\mu s$$

$$\tau_z = C_2R_2 = 24\mu s$$

$$\tau_0 = 10ms$$

Il circuito e' incondizionatamente stabile ed il margine di fase e' pari a $+90^\circ$.



c)

Calcoliamo le soglie di scatto del trigger di Schmitt non invertente, ricorrendo al principio di sovrapposizione degli effetti.

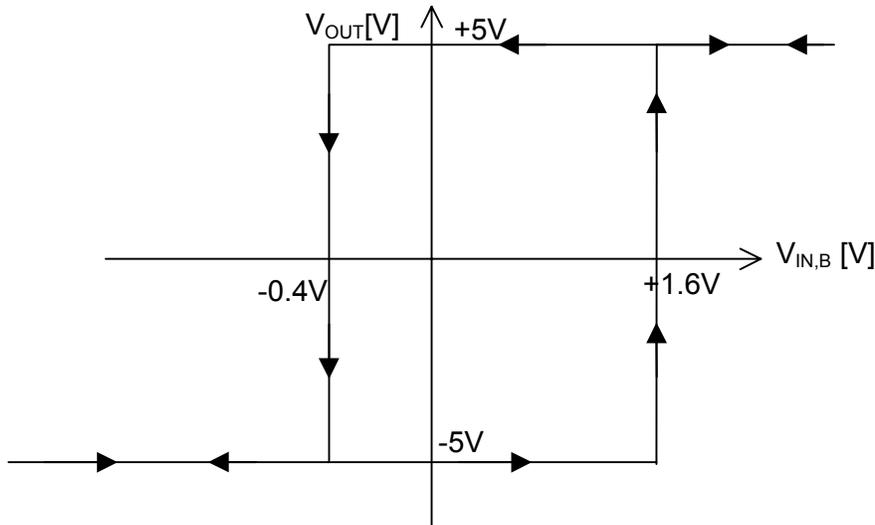
$$v^+ = V_{out} \frac{R_3}{R_3 + R_4} + V_{in,B} \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

Poiche' la tensione di uscita satura a $\pm V_{dd}$ possiamo calcolare le soglie di scatto ponendo $v^+ = V_{REF}$.

$$V_{TH}^+ = V_{dd} \frac{R_3}{R_4} + V_{REF} \frac{R_3 + R_4}{R_4} = +1.6V$$

$$V_{TH}^- = -V_{dd} \frac{R_3}{R_4} + V_{REF} \frac{R_3 + R_4}{R_4} = -0.4V$$

La caratteristica di trasferimento ingresso-uscita risulta, quindi, la seguente:

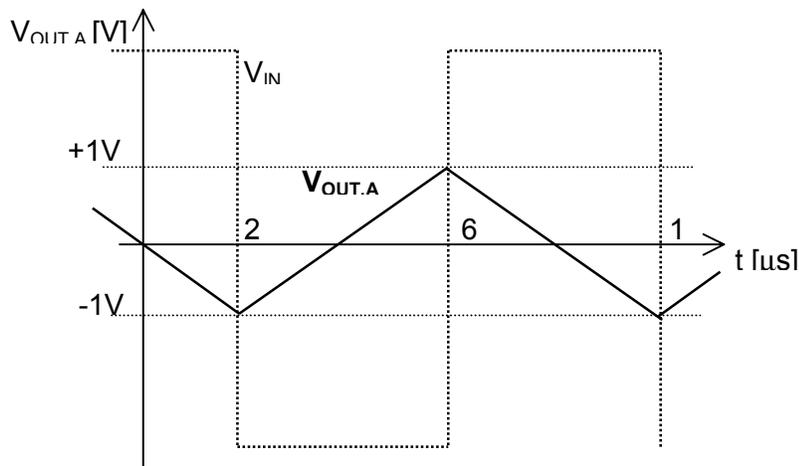


d)

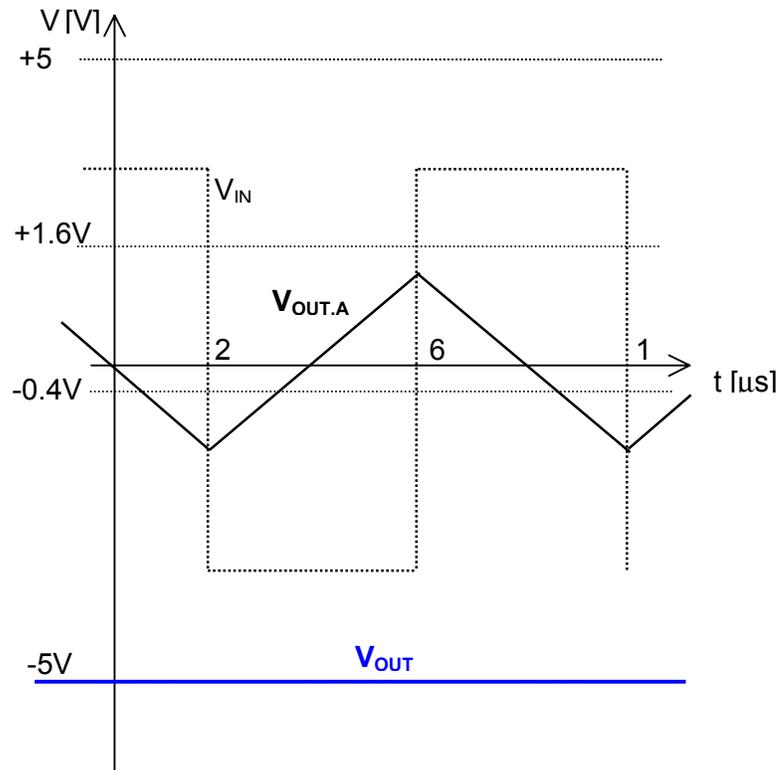
Poiche' il semiperiodo dell'onda quadra in ingresso ($4\mu s$) e' molto piu' piccolo della costante di tempo del filtro passa basso ($24\mu s$), esso si comportera' sostanzialmente come un integratore ideale. Pertanto il segnale di uscita sara' un'onda triangolare. Dato che il filtro passa basso conserva il valor medio del segnale, l'onda triangolare e' centrata attorno all'asse a 0V. La pendenza dell'onda triangolare in uscita e' data da

$$\frac{dV}{dt} \cong \frac{i_c(t)}{C_2} = -\frac{V_{in}}{R_1 C_2} = -\frac{3V}{200k\Omega * 30pF} = -0.5V / \mu s$$

Il grafico del segnale in uscita dal blocco A e', pertanto, il seguente:



e) L'uscita del trigger di Schmitt e' sempre a $-V_{dd}$, poiche' l'onda triangolare non supera mai la soglia di scatto positiva pari a $+1.6V$



Esercizio 2

a)

Per poter sfruttare l'intera dinamica dell'ADC, il segnale in uscita dall'amplificatore non invertente deve essere compreso tra 0 e 3.3V. Per il principio di sovrapposizione degli effetti:

$$V_{out,1} = V_{in} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - V_b \frac{R_2}{R_1}$$

da cui si ricava $R_2 = 20k\Omega$ e $V_b = -165mV$.

Per calcolare il valore quadratico medio dell'errore di quantizzazione riferito all'ingresso calcoliamo l'ampiezza di 1LSB

$$LSB = \frac{V_{FS}}{2^{13}} = 0.4mV$$

$$LSB_{in} = \frac{LSB}{G_{id}} = 36.6\mu V \Rightarrow \sigma_{q,in}^2 = \frac{LSB_{in}}{12} = (10.6\mu V r.m.s.)^2$$

b)

Il PMOS e' acceso quando $V_G < (V_{out1,min} + V_{T,p})$ ed e' spento quando $(V_G < V_{out1,max} + V_{T,p})$. Poiche' $V_{out1,min} = 0V$ e $V_{out1,max} = 3.3V$, per avere il PMOS spento occorre una tensione di gate maggiore o uguale a $+2.5V$.

Calcoliamo ora la tensione di gate che garantisce una $R_{ds,on}$ di 33Ω .

$$R_{ds,on} = \frac{1}{2k_p (V_{GS} - V_{T,p})}$$

$$|V_{GS}| = |V_{T,p}| + \frac{1}{2k_p R_{ds,on}}$$

da cui si ricava che la tensione di gate necessaria e':

$$|V_G - V_{out,min}| = |V_G| = |V_{T,p}| + \frac{1}{2k_p R_{ds,on}} = -6.9V.$$

c)

Il tempo di conversione per un ADC a gradinata e'

$$T_{conv} = \frac{2^n}{f_{ck}} = \frac{2^{13}}{8MHz} = 1.024ms$$

Quindi $T_{HOLD,min} = T_{conv} = 1.024ms$, durante questo tempo la tensione memorizzata sulla capacita' di hold si scarica sulla resistenza di ingresso del buffer. La resistenza di ingresso del buffer e' data da:

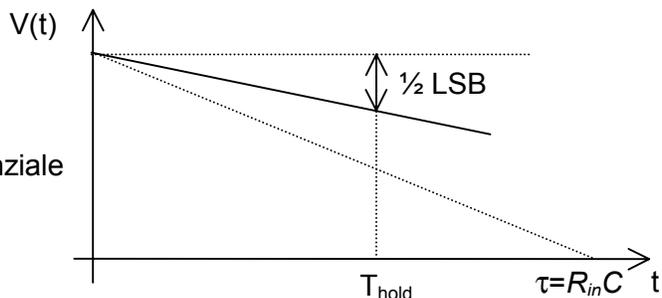
$$R_{in} = R_{id}(1 + A_0)$$

$$\left(\Delta V - \frac{1}{2}LSB\right) = \Delta V \exp\left(-\frac{T_{hold}}{\tau}\right)$$

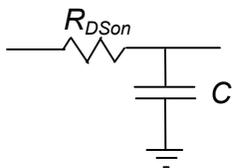
da cui la resistenza di ingresso differenziale cercata e' data da

$$R_{in} = \frac{\tau}{C} = 3.6G\Omega$$

$$R_{id,min} = \frac{R_{in}}{1 + A_0} = 360k\Omega$$



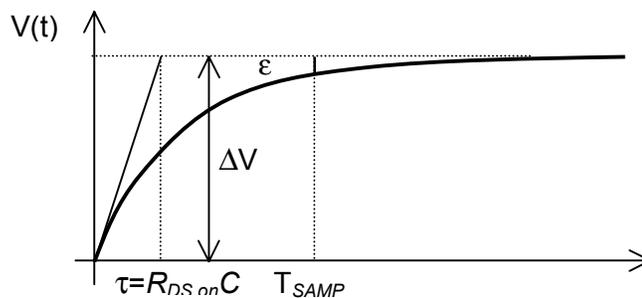
d)



$$\Delta V = V_{in,pp} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 3.3V$$

$$\tau = R_{DS,on}C = 155ns$$

$$\varepsilon = \Delta V \exp\left(-\frac{T_{SAMP}}{\tau}\right) = 181mV = 449LSB$$



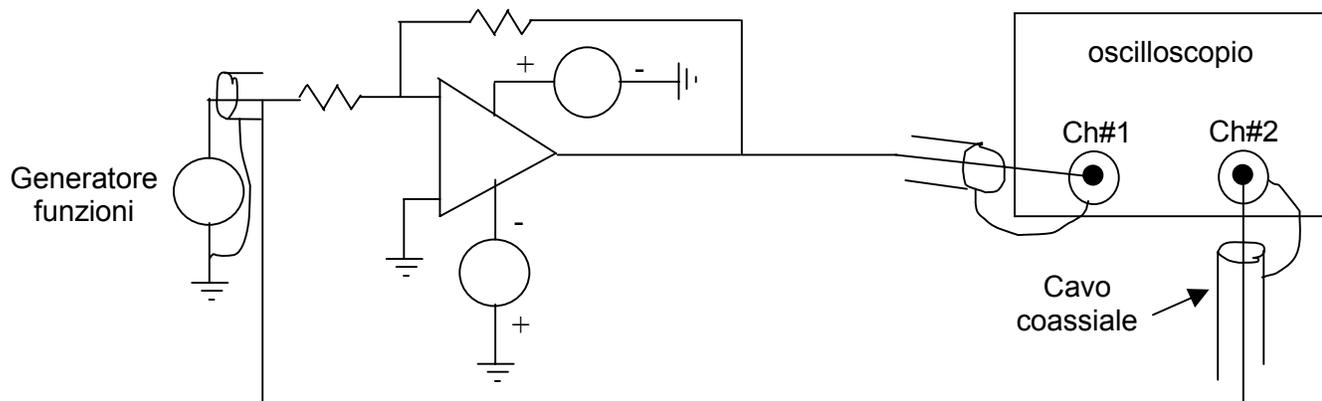
t

Esercizio 3

a)

La strumentazione necessaria per caratterizzare la risposta in frequenza dell'amplificatore invertente e':

- 2 alimentatori per fornire le tensioni di alimentazione V_{dd} e V_{ss} all'amplificatore operazionale
- 1 generatore di funzioni in grado di fornire in uscita un'onda sinusoidale di cui sia possibile regolare ampiezza e frequenza.
- 1 oscilloscopio con due canali



b)

La misura viene effettuata applicando in ingresso un segnale sinusoidale di ampiezza opportunamente scelta, di cui viene fatta variare la frequenza nell'intervallo stabilito, ad esempio 10 Hz – 10 MHz, con una ragionevole finezza (ad es. cinque punti ogni decade).

1. Accensione degli alimentatori preregolati alla corretta tensione.
2. Selezione dell'ampiezza della sinusoide da applicata in ingresso. Si sceglierà un'ampiezza sufficientemente piccola (compatibilmente con il rumore e i disturbi che si osservano) in modo da non incorrere in limitazioni da *slew-rate* o da non far saturare l'amplificatore operazionale.
3. Selezione della frequenza della sinusoide.
4. Sull'oscilloscopio è visualizzata sul canale 1 la sinusoide di uscita e sul canale 2 la sinusoide di ingresso. Vengono misurate mediante i cursori l'ampiezza della sinusoide di ingresso, l'ampiezza della sinusoide di uscita, la distanza temporale tra due punti omologhi (ad esempio il massimo) nella sinusoide di ingresso ed in quella di uscita ed il periodo della sinusoide.
5. Si ripetono i punti 3 e 4 per tutte le frequenze scelte.
6. Si ricava il guadagno dello stadio ad ogni frequenza (ottenibile anche come inverso del periodo misurato), come rapporto tra l'ampiezza della sinusoide di uscita e l'ampiezza della sinusoide di ingresso e lo sfasamento come rapporto tra la distanza temporale tra i punti omologhi ed il periodo, rapportata a 360° .
7. Si riportano i risultati ottenuti su scala logaritmica (o semilogaritmica se si è avuta l'accortezza di convertire in dB i valori dei guadagni misurati).
8. Si infittisce il grafico tracciato, se necessario, effettuando nuove misure nei punti in cui si hanno variazioni significative del modulo e/o della fase.
9. La frequenza in corrispondenza della quale si ha uno scostamento di 3dB dal diagramma asintotico fornisce la banda del circuito in esame.