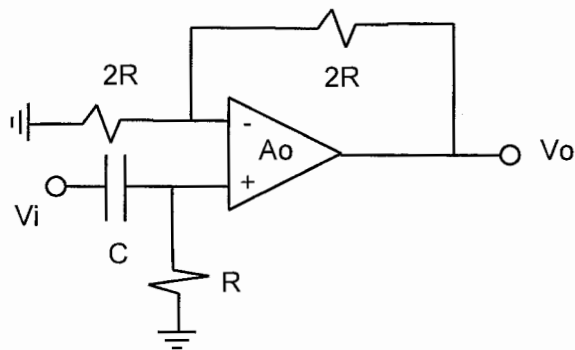


Indicare chiaramente la domanda a cui si sta rispondendo. Ad esempio 1a) ...

**Esercizio 1**



$$A_0 = 10^5$$

$$R = 10 \text{ k}\Omega$$

$$C = 3.18 \text{ }\mu\text{F}$$

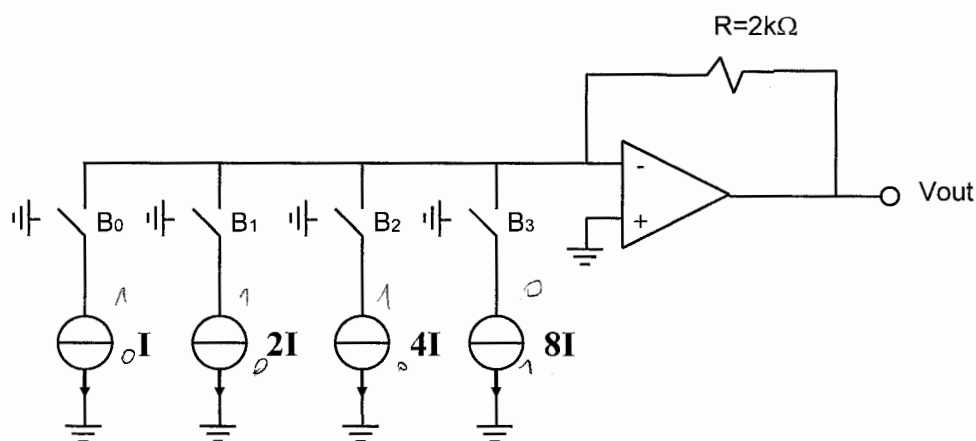
$$v_i(t) = 5\text{V} + V_1 \cdot \sin(2\pi f_1 \cdot t) + V_2 \cdot \sin(2\pi f_2 \cdot t)$$

$$\text{dove } V_1 = 3\text{V}, f_1 = 5\text{kHz}$$

$$V_2 = 1\text{V}, f_2 = 5\text{MHz}$$

- Disegnare il diagramma di Bode quotato del modulo di  $V_0/V_i$ , sapendo che  $\text{GBWP} = 1\text{MHz}$ .
- Disegnare il diagramma di Bode quotato della fase di  $V_0/V_i$ .
- Calcolare la  $v_0(t)$  prodotta dalla  $v_i(t)$  assegnata.
- Supponendo che l'amplificatore operazionale abbia uno slew rate  $\text{SR} = 0.1\text{V}/\mu\text{s}$ , ci si possono aspettare distorsioni da slew rate nella risposta  $v_0(t)$  calcolata al punto precedente? Giustificare la risposta.
- Calcolare il guadagno d'anello  $G_{\text{loop}}$  e disegnarne la rappresentazione di Bode, in modulo e fase.
- L'amplificatore è stabile? Giustificare la risposta con riferimento al margine di fase.
- Calcolare l'errore in uscita dovuto alla tensione di offset e alle correnti di polarizzazione.

**Esercizio 2**



- Quali sono i valori minimo e massimo dell'uscita  $V_{\text{out}}$ ? Calcolare il minimo salto di tensione in uscita (LSB o risoluzione).
- Calcolare il valore minimo del guadagno in continua dell'operazionale,  $A_0$ , che garantisce un errore a transitorio esaurito (errore statico) minore o uguale a  $\frac{1}{2}$  LSB.
- Sapendo che il tempo a disposizione per effettuare una conversione è di  $1 \mu\text{s}$ , calcolare il minimo valore del prodotto guadagno-banda necessario per avere un errore dovuto al transitorio minore di  $\frac{1}{2}$  LSB.
- L'offset di tensione dell'operazionale contribuisce alla non idealità (differenziale o integrale) del convertitore? E le correnti di bias? Giustificare le risposte.
- È possibile che la caratteristica sia non monotona nel passare dal codice 0111 a 1000. Supponendo che ciò sia dovuto solo a un errore del valore della corrente del generatore comandato dal MSB, quanto deve valere, al minimo, questo errore per avere una caratteristica non-monotona?

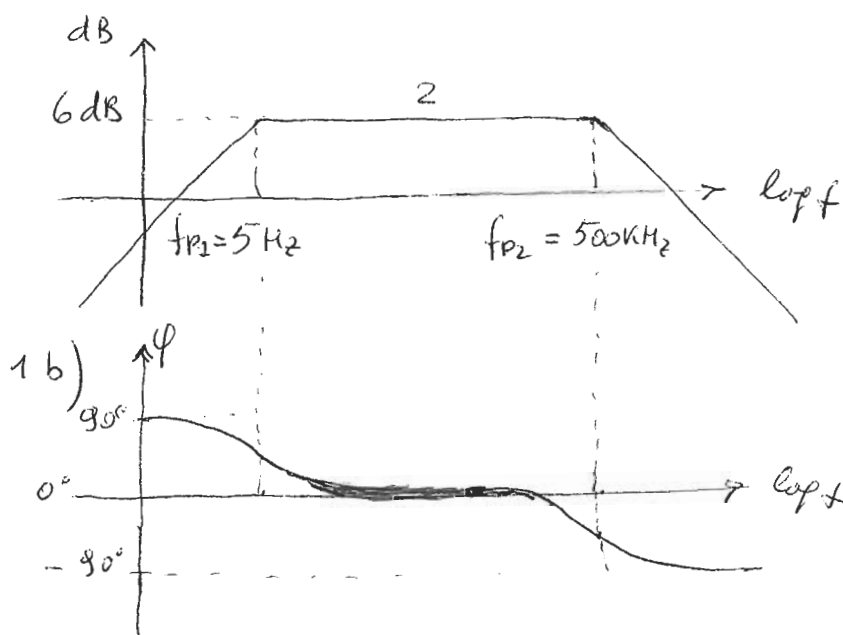
Traccia delle soluzioni

- 1) a) Dal nodo + all'uscita siamo in presenza di una configurazione amplificatrice non invertente con guadagno  $= \left(1 + \frac{2R}{2R}\right) = 2$  e banda passante  $BW = \frac{1 \text{ MHz}}{2} = 500 \text{ kHz}$ , quindi

$$V_o = V_+ \frac{2}{1 + \frac{1}{2\pi \cdot 500 \text{ kHz}}}$$

$$\text{Ma } V_+ = V_i \frac{\Delta RC}{1 + \Delta RC} = \frac{\Delta RC}{1 + \frac{1}{2\pi \cdot 5 \text{ Hz}}}$$

Quindi  $\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{\Delta RC}{1 + \frac{1}{2\pi \cdot 5 \text{ Hz}}} \cdot \frac{2}{1 + \frac{1}{2\pi \cdot 500 \text{ kHz}}}$



$$\varphi = 90 - \arctg \frac{f}{f_{p1}} - \arctg \frac{f}{f_{p2}}$$

- 1c) La continua del segnale di ingresso (5V) viene tagliata dal condensatore C. La componente sinusoidale a 5 kHz è a centro banda, per cui viene trasmessa in uscita con guadagno pari a 2 e sfasamento nullo. La componente a 5 MHz si trova una decade oltre il secondo polo  $f_{p2}$  per cui viene trasmessa con guadagno 0.2 e sfasamento di una  $-90^\circ$

$$V_o(t) = \underbrace{2 \cdot V_1}_{0V} \sin(2\pi \cdot 5 \text{ kHz} t) + \underbrace{0.2 V_2}_{0.2V} \sin(2\pi \cdot 5 \text{ MHz} t - 90^\circ)$$

$$1d) \frac{dV_o}{dt} = 6.2\pi \cdot 5\text{kHz} + 0.2 \cdot 2\pi \cdot 5\text{MHz} =$$

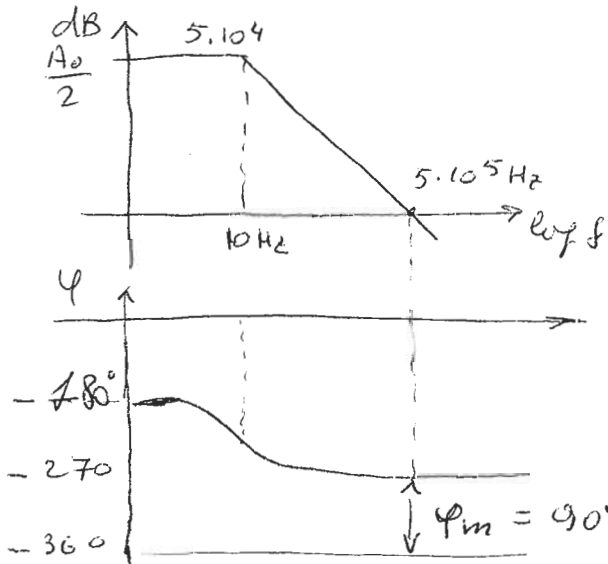
$$= 0.188\text{V}/\mu\text{s} + 6.28\text{V}/\mu\text{s} > 0.1\text{V}/\mu\text{s} = \text{SR}$$

L'uscita verrà distorta

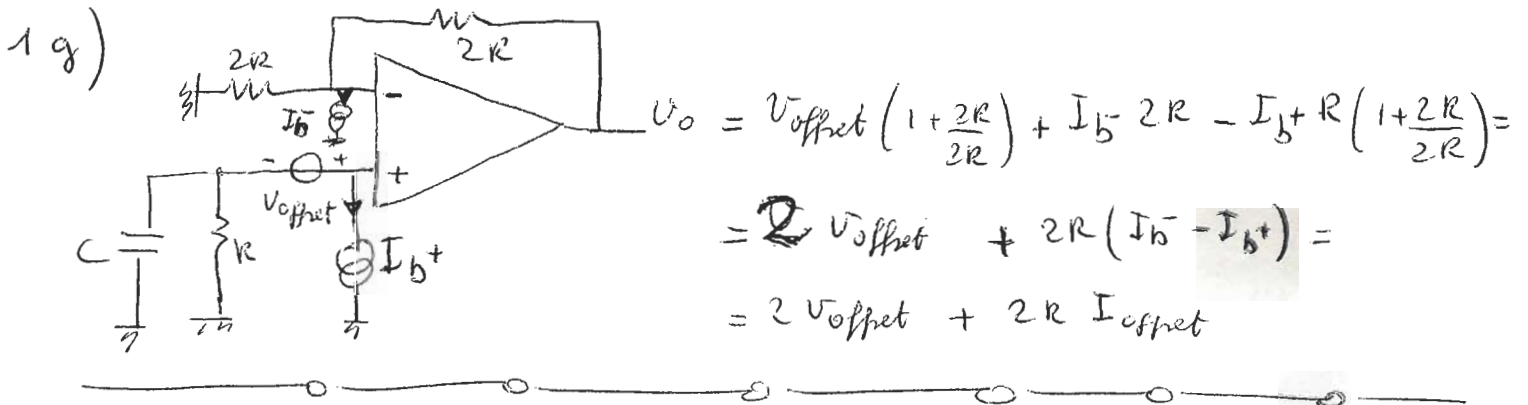
$$1e) G_{\text{loop}} = - \frac{A_o}{2} \frac{1}{1 + \frac{j}{2\pi \cdot 10\text{Hz}}}$$

Il polo dell'A.C. si trova

$$\omega f_p = \frac{GBWP}{A_o} = 10\text{Hz}$$



$$1f) \varphi_m = 90^\circ \Rightarrow \text{stabile}$$



$$2a) V_{\text{out min}} = 0\text{V} \quad V_{\text{out max}} = 15\text{I} \cdot R = 3\text{V} \quad \text{LSB} = 0.2\text{V}$$

$$2b) \text{Errore statico massimo} = I_{\text{max}} (G_{\text{id}} - G_{\text{reale}}) \text{ deve essere } < \frac{1}{2} \text{LSB}$$

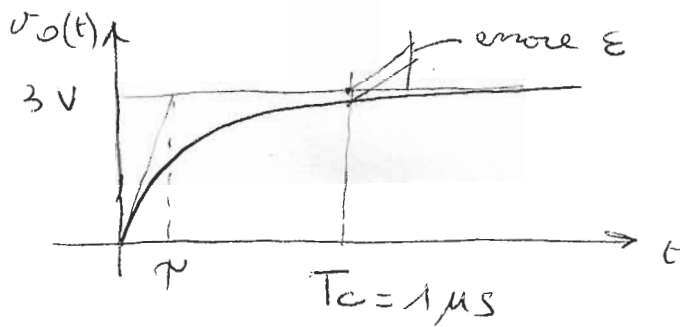
$$\text{dove } G_{\text{id}} = R \quad G_{\text{reale}} = \frac{R}{1 - \frac{1}{G_{\text{loop}}(0)}} \quad \text{con } G_{\text{loop}}(0) = -A_o$$

Quindi

$$I_{\text{max}} \left( R - \frac{R}{1 + \frac{1}{A_o}} \right) = \frac{I_{\text{max}} R}{A_o + 1} < \frac{1}{2} \text{LSB}$$

$$\text{Si trova } A_o > \frac{I_{\text{max}} R}{\frac{1}{2} \text{LSB}} - 1 = \frac{3\text{V}}{0.1\text{V}} - 1 = 29$$

2c) Consideriamo la transizione dell'ingresso da 0000 a 1111  
 la risposta del ~~del~~ convertitore sarà del tipo

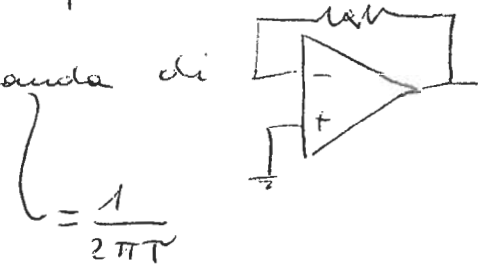


Vogliamo che  $\epsilon < \frac{1}{2} \text{ LSB}$   
 Dobbiamo trovare  $\tau$

$$\epsilon = 3V - 3V \left(1 - e^{-\frac{T_c}{\tau}}\right) \leq \frac{1}{2} \text{ LSB} = 0.1V$$

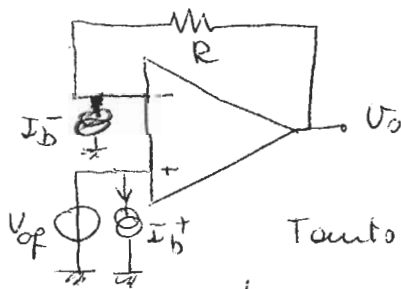
$$e^{-\frac{T_c}{\tau}} < \frac{0.1V}{3V} \Rightarrow \frac{T_c}{\tau} \geq \ln 30$$

Essendo reazionato totalmente, la banda di  
 coincide con il GBWP dell'A.O.



$$\text{Quindi } \text{GBWP} \geq \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2\pi} \frac{\ln 30}{1\mu\text{s}} \cong 540 \text{ KHz}$$

2d)



$I_{b+}$  non contribuisce a  $v_o$

$$v_o = v_{of} + I_{b-} R + v_o \text{ DAC ideale}$$

Tanto  $v_{of}$  quanto  $I_{b-}$  introducono errori  
 che provocano la traslazione delle  $v_o$  di un DAC  
 ideale, quindi danno luogo a errori di linearità  
 integrale ma non a errori di linearità differenziale.

2e)

$$0111 \rightarrow 7RI$$

$$1000 \rightarrow 8RI \text{ (senza ideale)}$$

$$1000 \rightarrow (8I + \Delta I_{err}) \cdot R$$

Per avere non monotonicità deve accadere che

$$(8I + \Delta I_{err}) R < 7RI \text{ da cui } \Delta I_{err} < -I = -0.1 \mu A$$

Quindi  $\Delta I_{err}$  è negativa e in modulo  $>$  di  $0.1 \mu A$