

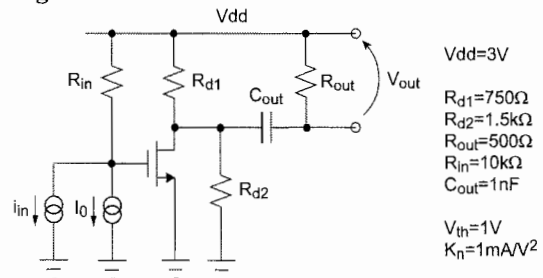
13 Luglio 2006

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

Esercizio 1. Si consideri l'amplificatore mostrato in Fig.1:

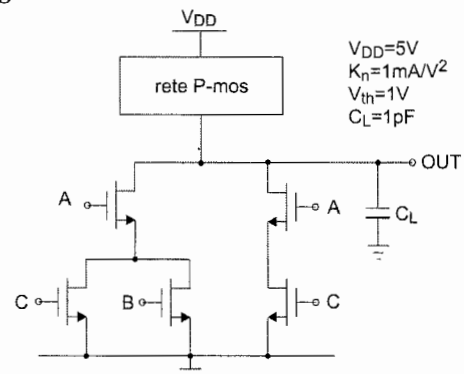
- determinare tutte le correnti e le tensioni del circuito per $I_0=100\mu\text{A}$ e $i_{in}=0\text{A}$;
- determinare la funzione di trasferimento v_{out}/i_{in} e disegnarne i diagrammi di Bode quotati del modulo e della fase;
- ricavare e disegnare l'andamento della tensione $V_{out}(t)$ (almeno due periodi, polarizzazione più segnale) su un grafico quotato, per $I_0=100\mu\text{A}$ e $i_{in}=10\mu\text{A}\cdot\cos(2\pi f_0 t)$, per $f_0=5\text{kHz}$ e $f_0=5\text{MHz}$.

Fig.1

**Esercizio 2.** Si consideri la porta logica di Fig.2:

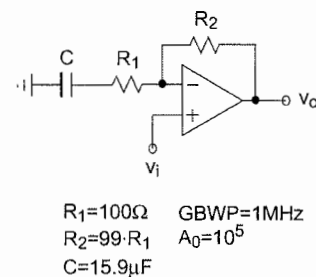
- indicare la funzione logica svolta dal circuito;
- realizzare la rete P-mos col numero minimo di transistors;
- calcolare il tempo di propagazione quando gli ingressi commutano dalla configurazione ABC=000 alla ABC=101.

Fig.2

**Esercizio 3.** Si consideri l'amplificatore di fig.3:

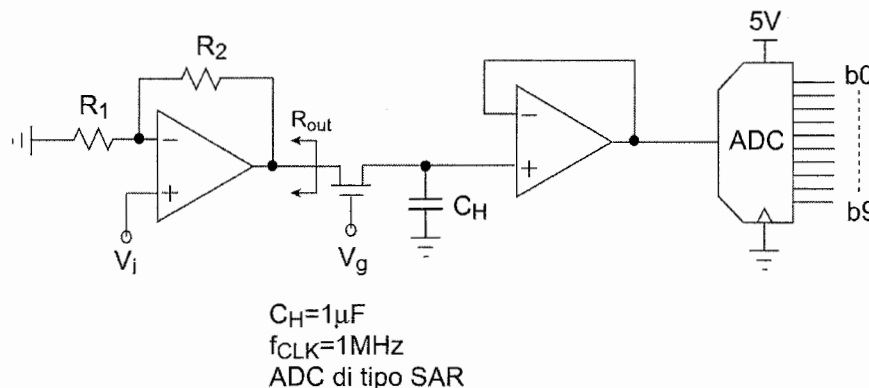
- Trovare $v_o(s)/v_i(s)$ e disegnare il diagramma di Bode quotato di modulo e fase, supponendo l'A.O. ideale.
- Calcolare Gloop(s) e valutare la stabilità del circuito.
- Assumendo che $SR=0.1\text{V}/\mu\text{s}$, verificare eventuali limitazioni di SR nel caso in cui il segnale d'ingresso sia una sinusoide di ampiezza **100mV** e frequenza **100Hz**.

Fig.3

**Esercizio 4.** Si consideri il sistema d'acquisizione dati di fig.4:

- Sapendo che il segnale di ingresso ha una dinamica compresa tra **0** e **50mV**, e supponendo ideali gli A.O., scegliere i valori di **R1** e **R2** in modo da adattare il segnale alla dinamica dell'ADC.
- Supponendo che $A_0=10^5$ e che la resistenza di uscita del A.O. è $r_u=100\Omega$, calcolare la **Rout** dell'amplificatore di ingresso.
- Sapendo che la resistenza del MOS (quando è acceso) vale $r_{sw}=100\Omega$, calcolare il minimo valore di t_{sample} .
- Qual è il massimo valore accettabile per I_{bias}^+ del buffer?

Fig.4



Soluzioni Esercizio n° 1:

a) $V_G = V_{DD} - R_{in} \cdot I_D = 2V \Rightarrow V_{GS} = V_G = 2V \Rightarrow V_{GS} = 1V$

bp: MOS saturato $\Rightarrow I_D = K_n \cdot V_{GS}^2 = 1mA$

$$V_D = V_{DD} - R_{D1} \cdot \left(I_D + \frac{V_D}{R_{D2}} \right) = V_{DD} - R_{D1} \cdot I_D - V_D \frac{R_{D1}}{R_{D2}}$$

$$V_D \left(1 + \frac{R_{D1}}{R_{D2}} \right) = V_{DD} - R_{D1} \cdot I_D \Rightarrow V_D = \frac{V_{DD} - R_{D1} \cdot I_D}{1 + \frac{R_{D1}}{R_{D2}}} = 1.5V$$

\Downarrow
MOS saturato

$$I_{R_{D2}} = \frac{V_D}{R_{D2}} = 1mA \Rightarrow I_{R_{D1}} = 2mA$$

$$V_{GS} = 0V \quad g_m = \frac{2I_D}{V_{GS}} = 2mA/V$$

b) $A_{v_{GS}} = -g_m \cdot R_{in} \quad A_{v_{out}} = \frac{g_m \cdot R_{D1} \parallel R_{D2} \parallel R_{out}}{1 + s\tau}$

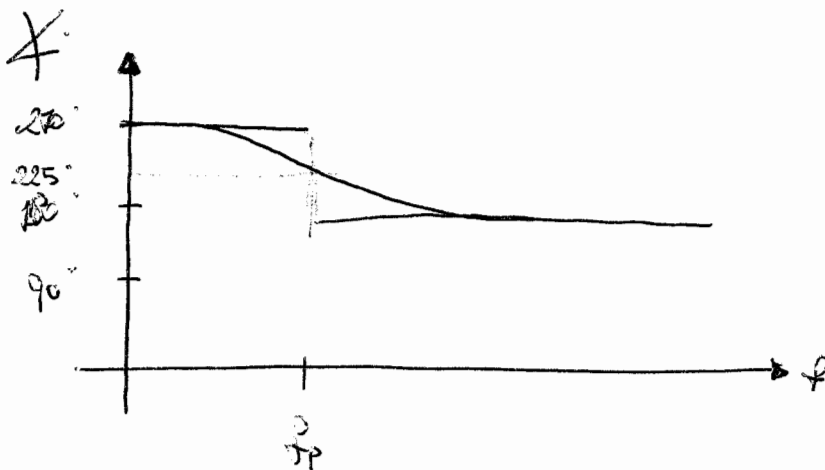
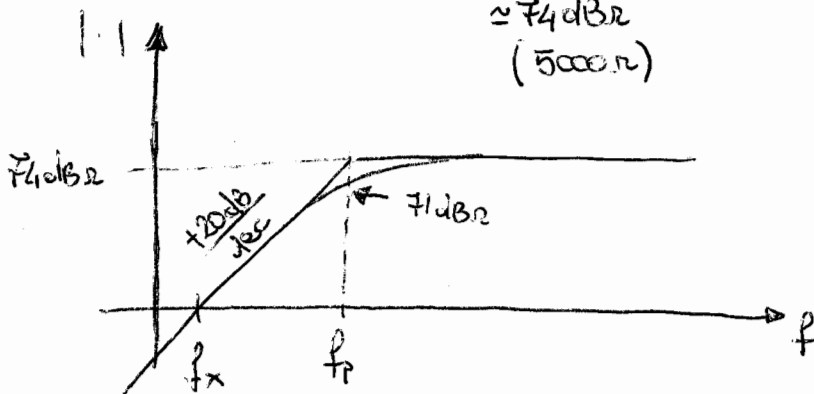
$$i_d = g_m v_{gs} \quad \tau = (R_{D1} \parallel R_{D2} + R_{out}) \cdot C_{out} = 1\mu s \Rightarrow f_p = \frac{1}{2\pi\tau} \approx 160kHz$$

$$\frac{A_{v_{out}}}{i_{in}} = -g_m \cdot R_{in} \cdot R_{D1} \parallel R_{D2} \parallel R_{out} \cdot \frac{s\tau}{1 + s\tau}$$

$$\approx 74dB$$

$$(5000\Omega)$$

$$f_x = \frac{f_p}{g_m \cdot R_{in} \cdot R_{D1} \parallel R_{D2} \parallel R_{out}} = 32Hz$$



e) per $f_0 = 5 \text{ kHz}$: il guadagno è : $74 \text{ dB} + 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{5 \text{ kHz}}{160 \text{ kHz}} \right) \approx 44 \text{ dB}$
 la fase è : 270°
 (156 Ω)

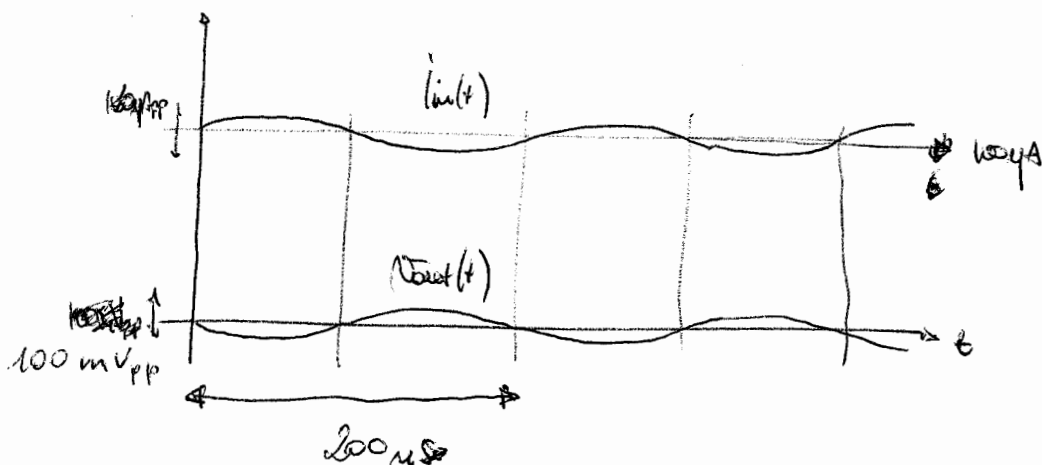
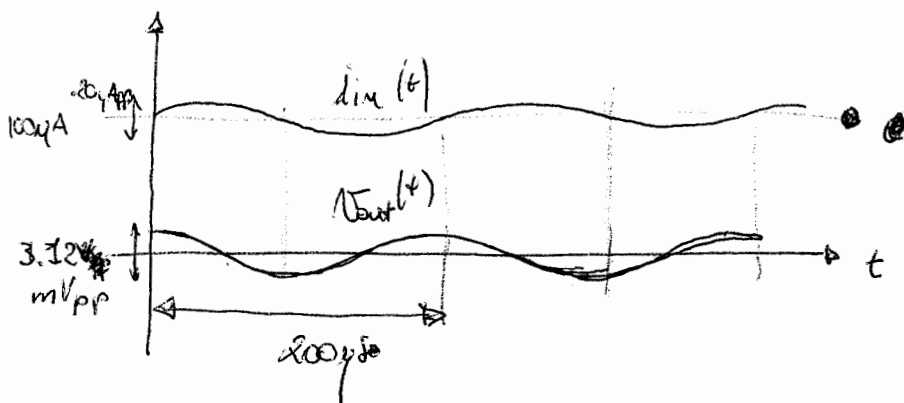
per $f_0 = 5 \text{ kHz}$: il guadagno è : $5 \text{ K}\Omega$
 la fase è : 180°

$$f_0 = 5 \text{ kHz} : V_{out}(t) = -10 \mu\text{A} \cdot 156 \Omega \cdot \sin(2\pi \cdot 5 \text{ kHz} \cdot t + 90^\circ)$$

$$= -1.56 \text{ mV} \cdot \cos(2\pi \cdot 5 \text{ kHz} \cdot t)$$

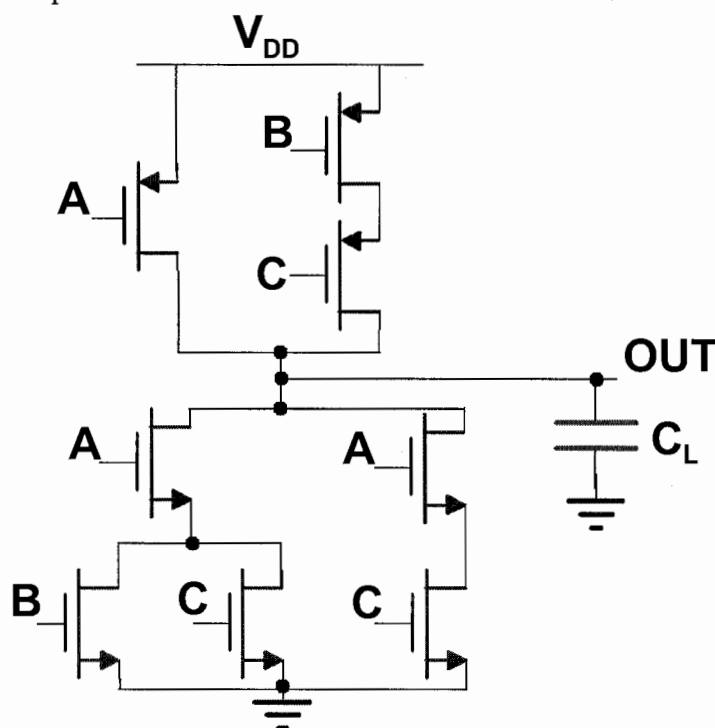
$$f_0 = 5 \text{ kHz} : V_{out}(t) = -10 \mu\text{A} \cdot 5 \text{ K}\Omega \cdot \sin(2\pi \cdot 5 \text{ kHz} \cdot t)$$

$$= -50 \text{ mV} \cdot \sin(2\pi \cdot 5 \text{ kHz} \cdot t)$$

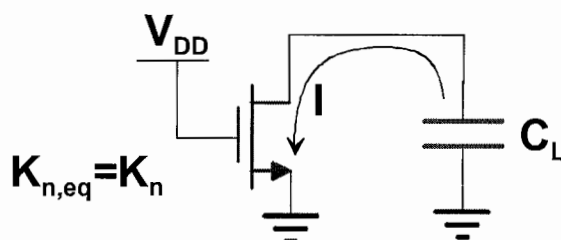


Es. 2

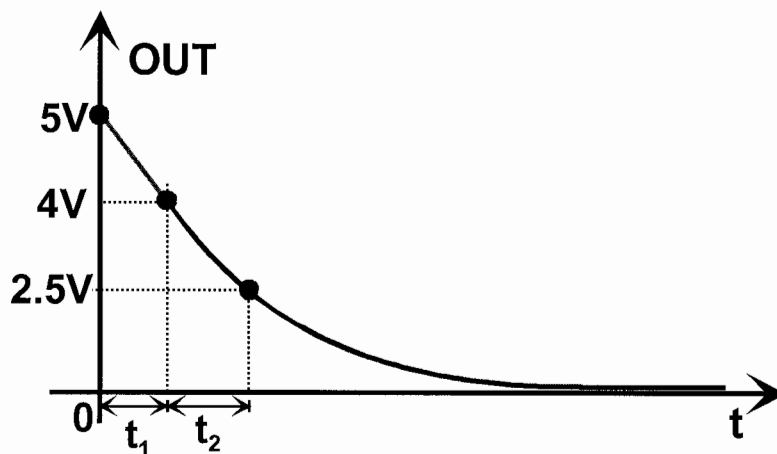
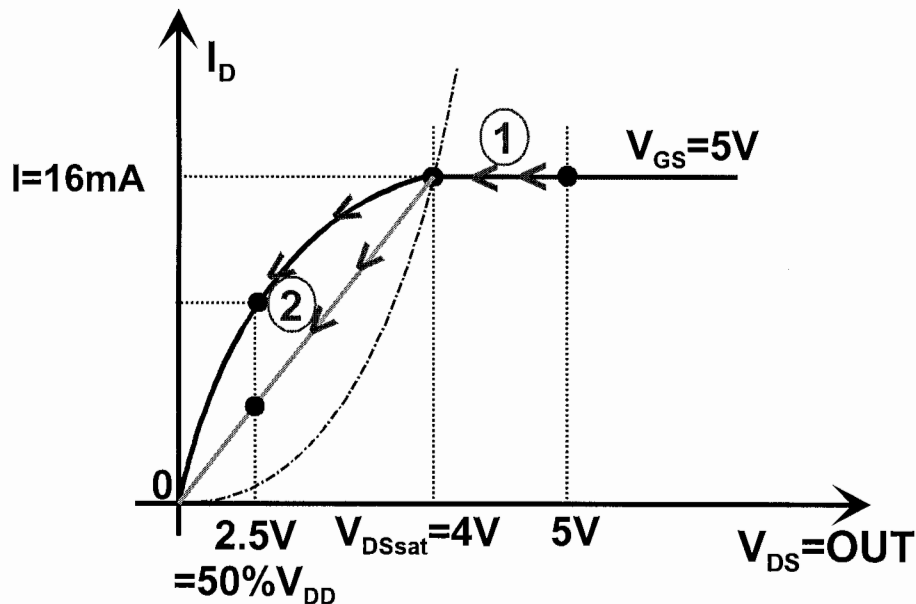
- a) La funzione logica svolta dal circuito è $OUT = NOT (A AND (B OR C))$.
 b) Il ramo di destra della rete n-MOS composto dai transistori comandati dai segnali A e C è ridondante. Infatti, il loro contributo alla funzione logica è già incluso nel ramo di sinistra. Pertanto la rete p-MOS può essere realizzata usando solo 3 transistori:



- c) La transizione $ABC=000 \rightarrow ABC=101$ fa commutare l'uscita OUT da alta a bassa: il condensatore C_L si scarica attraverso la serie dei due nMOS A e C, gli unici transistor accesi durante questa commutazione. Per il calcolo del tempo di commutazione, la serie di due MOSFET può essere in prima approssimazione sostituita da un unico MOSFET equivalente con lunghezza di canale pari al doppio della lunghezza di ciascun singolo MOSFET e con larghezza pari alla larghezza dei MOSFET originali. Si ottiene quindi che il MOSFET equivalente ha un rapporto di forma pari a $\frac{1}{2}$ di quello di un singolo MOSFET. Quindi $K_{n,eq1} = \frac{1}{2} K_n = 0.5 \text{ mA/V}^2$. Inoltre, ci sono due rami messi in parallelo con i segnali A e C. Risulta quindi che durante la commutazione $ABC=000 \rightarrow ABC=101$ ci sono due rami composti dai MOSFET A e C in parallelo. Quindi il MOSFET equivalente ha un K_n doppio: $K_{n,eq} = 2 \cdot K_{n,eq1} = K_n = 1 \text{ mA/V}^2$. Una volta sostituito il MOSFET alla rete di nMOS originaria, si calcola il tempo di commutazione del seguente circuito equivalente:



Per l'analisi della transizione è utile considerare il luogo dei punti percorso durante la commutazione sulle caratteristiche $I_{DS}(V_{DS})$ dell'nMOS equivalente. Durante tutta la commutazione, il luogo dei punti è rappresentato dalla curva a $V_{GS}=5V$. Il punto iniziale è identificato da $V_{DS}=5V$. Per $V_{DS} = V_{OUT}$ compresa tra $V_{DD} = 5V$ e $V_{DSsat} = V_{DD} - V_{Tn} = 4V$, l'n-MOS è saturo ed è modellizzabile con un generatore di corrente $I = K_{n,eq} \cdot (V_{DD} - V_{Tn})^2 = 16mA$. In questo primo tratto ($4V < V_{DS} < 5V$) la capacità viene scaricata a corrente costante. Data la carica da portar via da C pari a $Q=C \cdot \Delta V$ con ΔV la variazione di tensione che subisce C ($\Delta V=1V$), il tempo impiegato per percorrere questo tratto a corrente costante vale $t_1=Q/I=1pF \cdot (5V-4V)/16mA=62.5ps$. Per $V_{DS} < V_{DSsat}$ l'n-MOS è in zona lineare ed è modellizzabile con una resistenza che approssima l'andamento della curva I_{DS} vs. V_{DS} in zona lineare: $R_{eq} = V_{DSsat} / I = 250\Omega$. Secondo l'approssimazione con R_{eq} , per V_{out} compresa tra V_{DSsat} e $50\% \cdot V_{DD} = 2.5V$ (tensione di soglia logica) si ha una scarica esponenziale di C attraverso R_{eq} con costante di tempo $\tau=R_{eq}C=0.25ns$: $2.5V = 4V \cdot \exp(-t_2 / \tau)$ da cui $t_2 = 117.5ps$. Quindi il tempo totale per completare la commutazione (da V_{DD} a $V_{DD}/2$) vale $t_{HL}=t_1+t_2=180ps$.



Esercizio n° 3

$$a) \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = 1 + \frac{R_2}{Z_1} \quad Z_1 = \frac{1}{sC} + R_1 = \frac{1 + sR_1C}{sC}$$

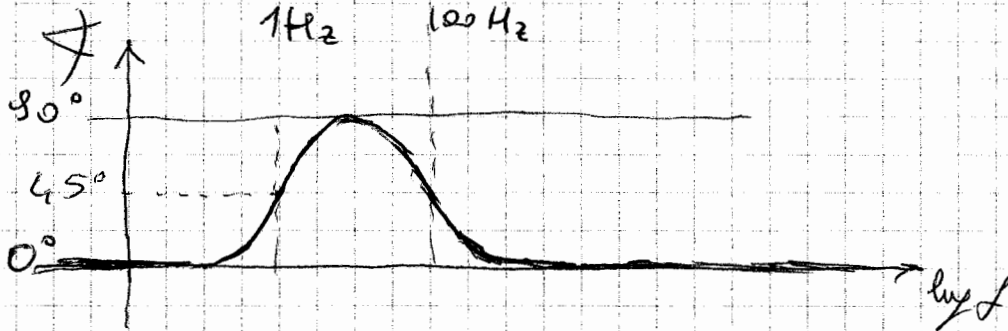
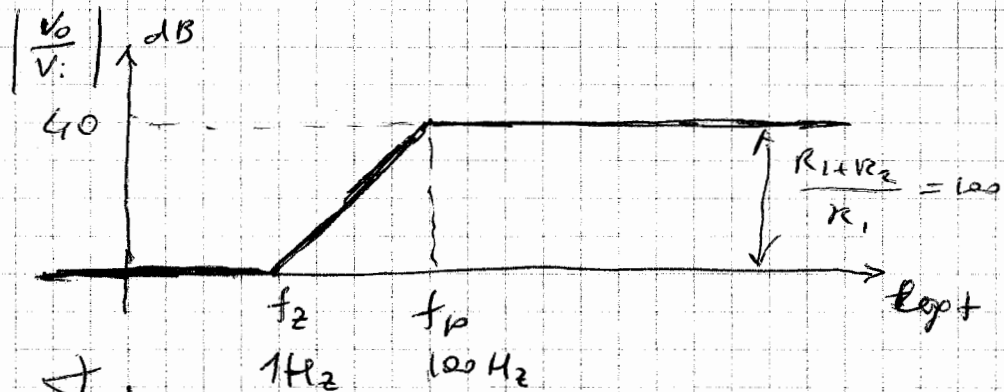
$$= 1 + \frac{sCR_2}{1 + sR_1C} = \frac{1 + s(R_1 + R_2)C}{1 + sR_1C}$$

$$\tau_z = (R_1 + R_2)C = 158 \text{ ms}$$

$$f_z = \frac{1}{2\pi\tau_z} = 1 \text{ Hz}$$

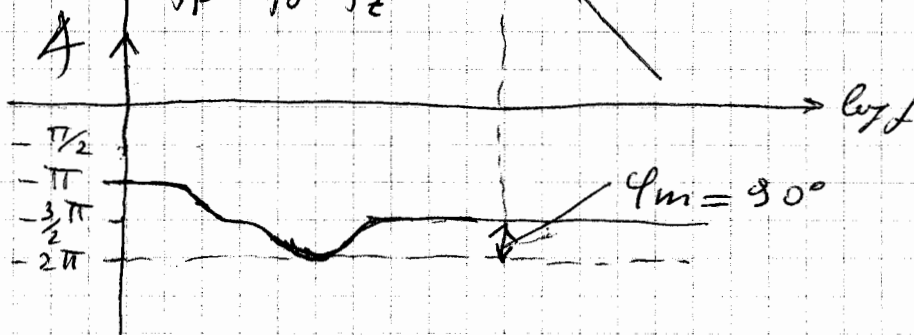
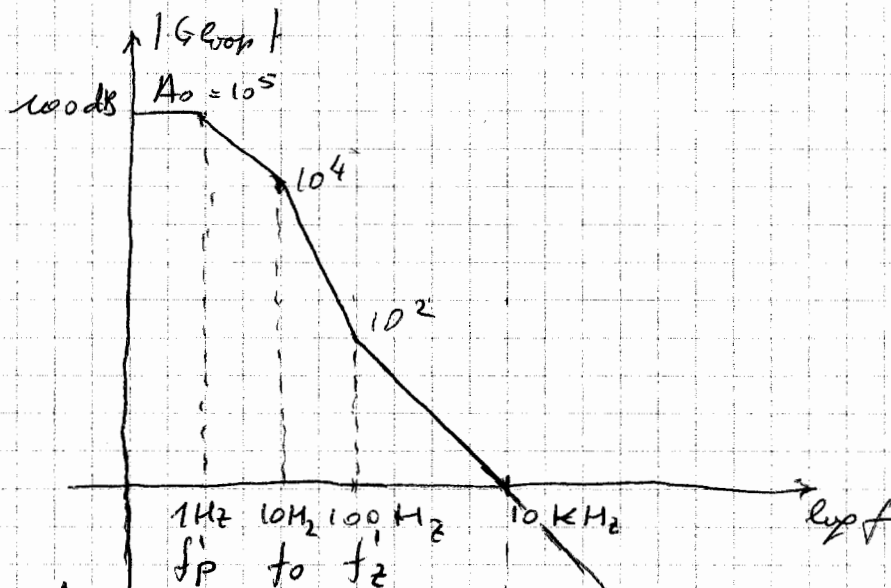
$$\tau_p = R_1C = 1.58 \text{ ms}$$

$$f_p = \frac{1}{2\pi\tau_p} = 100 \text{ Hz}$$



$$b) G_{loop} = - \frac{A(s) Z_1}{R_2 + Z_1} = - \frac{A_0}{1 + \frac{s}{2\pi f_0}} \cdot \frac{1 + sR_1C}{1 + s(R_1 + R_2)C}$$

$$f_0 = \frac{GBWP}{A_0} = 10 \text{ Hz}, \quad f'_z = 100 \text{ Hz}, \quad f'_p = 1 \text{ Hz}$$



Stabile con margine
di fase $\phi_m = 90^\circ$

$$c) \left| \frac{V_o}{V_i} (j 2\pi \cdot 100 \text{ Hz}) \right| = \frac{100}{\sqrt{2}} \approx 71$$

$$V_o(t) = 71 \cdot V_i \sin(2\pi \cdot 100 t) = 7,1 \text{ V}_{\text{rms}} (2\pi \cdot 100 t)$$

$$\left. \frac{dV_o(t)}{dt} \right|_{\text{max}} = 7,1 \cdot 2\pi \cdot 100 \approx 0,0045 \text{ V}/\mu\text{s} < 0,1 \frac{\text{V}}{\mu\text{s}}$$

Non c'è distorsione da S.R.

Esercizio 4

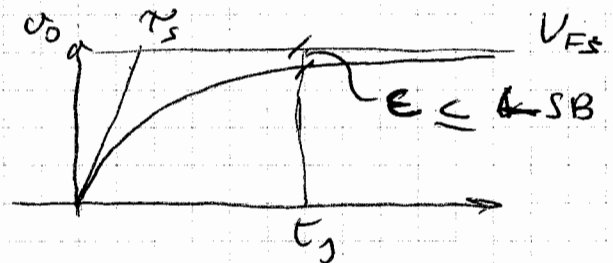
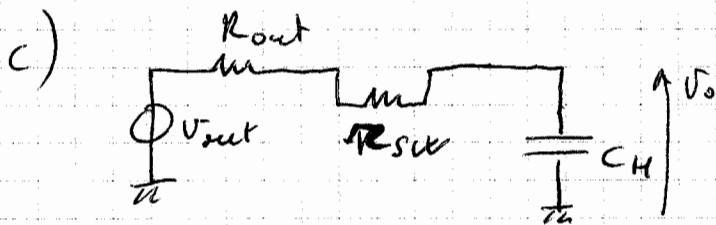
$$a) G = \frac{V_{FS \text{ ADC}}}{V_{in|_{\text{max}}}} = \frac{5 \text{ V}}{50 \text{ mV}} = 100 \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = 99$$

per esempio $R_1 = 1 \text{ k}$, $R_2 = 99 \text{ k}\Omega$

$$b) \text{ Ad anello aperto } R_{out} = r_u // (R_1 + R_2) \approx r_u = 100 \Omega$$

$$R_{out} = \frac{r_{out}}{1 - G_{\text{loop}}}$$

$$G_{\text{loop}} = -\frac{A_0 R_1}{R_u + R_1 + R_2} \approx -10^3 \quad R_{out} = 0,1 \Omega$$



$$LSB = \frac{5 \text{ V}}{2^{10}} \approx 5 \text{ mV}$$

$$\left(LSB = \frac{V_{FS}}{2^{10}} \right)$$

$$\tau_j \approx R_{scr} \cdot C_H = 100 \mu\text{s}$$

Caso peggiore

$$E_{\text{max}} = V_{FS} - \left(V_{FS} (1 - e^{-t_j/\tau_s}) \right) = V_{FS} e^{-t_j/\tau_s} \leq LSB$$

$$e^{-t_j/\tau_s} \leq \frac{1}{2^{10}} \quad \tau_s > 6,8 \tau_s \Rightarrow t_j > 680 \mu\text{s}$$

$$d) T_{\text{conv}} = 10 \times 1 \mu\text{s} = 10 \mu\text{s} \quad \left(T_{\text{conv}} = n^{\circ} \text{ bit} \times \frac{1}{f_{\text{clk}}} \right)$$

$$I_b^+ \cdot T_{\text{conv}} = Q_{CH} \quad \Delta V = \frac{Q_{CH}}{C_H} = \frac{I_b^+ \cdot T_{\text{conv}}}{C_H} \leq LSB$$

$$I_b^+_{\text{max}} < \frac{LSB \cdot C_H}{T_{\text{conv}}} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-6}} = 5 \cdot 10^{-4} = 500 \mu\text{A}$$