

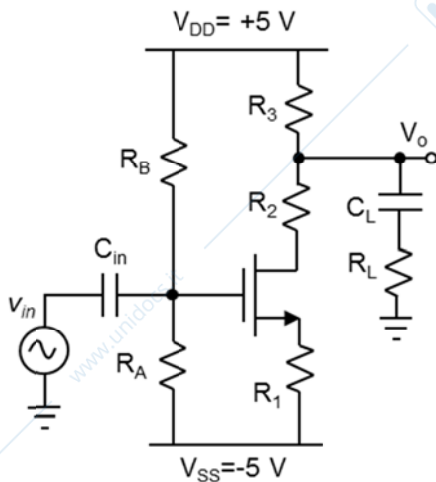
Fondamenti di Elettronica – Ing. AUTOMATICA - AA 2018/2019

Appello del 7 Febbraio 2020

**Indicare chiaramente la domanda a cui si sta rispondendo. Ad esempio 1a) ...
Motivare i punti salienti dello svolgimento, riportare il solo risultato (grafico o numerico) non e' sufficiente
Durata prova: 3h**

Esercizio 1.

Si consideri lo stadio a MOSFET in figura.

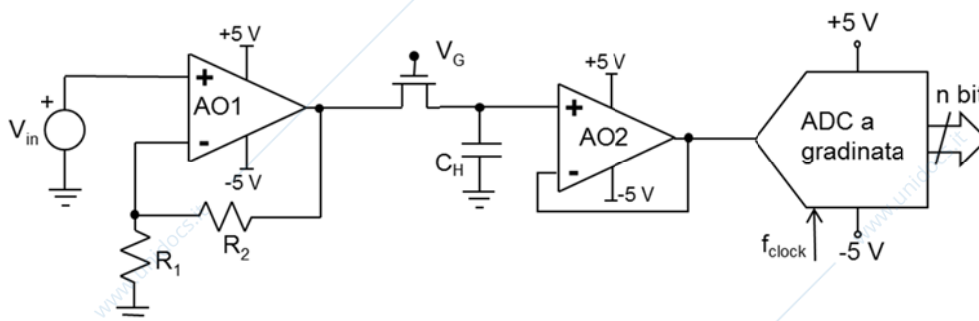


- Polarizzare il circuito, dimensionando il valore di R_1 tale che la corrente di drain sia 1.5 mA.
- Calcolare il guadagno v_o/v_{in} ad alta frequenza (ovvero a frequenza "infinita").
- Assumendo che il segnale di ingresso sia caratterizzato da frequenze nella banda da 1 kHz a 1 MHz, determinare in quale intervallo di valori deve essere scelta la capacita' di ingresso C_{in} per garantire trasferimento unitario del segnale al nodo di gate ($v_g/v_{in}=1$).
- Determinare la funzione di trasferimento $v_o/v_{in}(s)$ e tracciarne il diagramma di Bode del modulo (si assuma qui $C_{in}=10$ nF). Calcolare l'espressione simbolica del guadagno asintotico nei tratti dove l'andamento e' piatto.

Dati: $R_A=30$ k Ω , $R_B=70$ k Ω , $R_2=2$ k Ω , $R_3=2$ k Ω , $R_L=10$ k Ω , $C_L=100$ pF
 $k=0.96$ mA/V², $V_T=1$ V.

Esercizio 2.

Si consideri la catena di conversione A/D in figura. Gli amplificatori operazionali sono ideali ove non diversamente specificato e saturano alle tensioni di alimentazione. La tensione di ingresso V_{in} e' un segnale audio con frequenze comprese nella banda 20 Hz – 20 kHz.

**Dati:**

$$R_1=1$$
 k Ω , $R_2=100$ k Ω

$$k_n=3$$
 mA/V², $V_{Tn}=1$ V

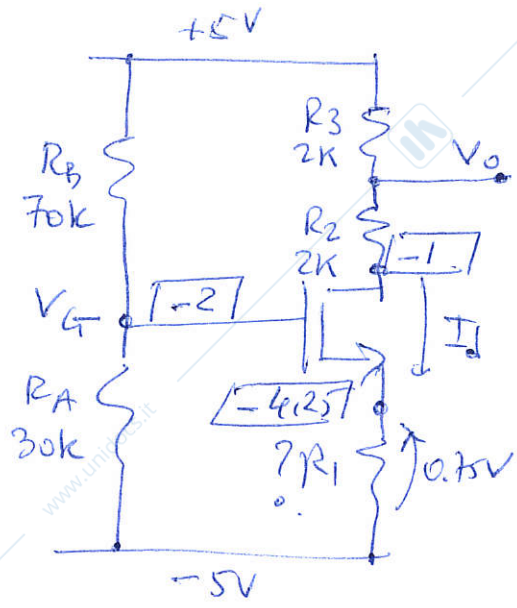
$$C_H=1$$
 nF

$$f_{clock}=700$$
 MHz

- Determinare il guadagno ideale del primo stadio e il minimo numero di bit che deve avere l'ADC affinché l'errore di quantizzazione riportato all'ingresso sia inferiore a 10 μ V.
- Assumendo ora che A.O.1 abbia prodotto guadagno-banda $GBW=(A_0f_0)$ finito, calcolare il valore minimo di GBWP che garantisca guadagno piatto nella banda del segnale di ingresso.
- Sia $I_{bias}=20$ nA la corrente di bias media ai morsetti dell'A.O.1. Determinare l'effetto complessivo delle correnti di bias e confrontarlo con il LSB dell'ADC (si assuma $n=13$ bit per l'ADC).
- Calcolare il valore limite della tensione di accensione ($V_{G,ON}$) e di spegnimento ($V_{G,OFF}$) dell'interruttore nMOS.
- Assumendo $n=13$ bit per l'ADC, calcolare il tempo di conversione (massimo) dell'ADC.
- Assumendo che il tempo di sample sia $T_{sample}=1$ μ s e che la frequenza di campionamento sia pari a 50 kHz, determinare la massima corrente di bias dell'A.O.2 ($I_{bias,MAX}$) che puo' essere accettata, ovvero che generi errori $<$ LSB (con $n=13$ bit per l'ADC).

ES. 1

a) Polarizzazione



0.3
 $V_G = -5V + 10V \times \frac{R_A}{R_A + R_B} = -2V$

$I_D = 1.5 \text{ mA}$ (data)

Hip. Mos saturo:

$I_D = k V_{OD}^2 \rightarrow V_{OD} = \sqrt{\frac{I_D}{k}} = 1.25 \text{ V}$

$\rightarrow V_{GS} = 2.25 \text{ V}$

$\rightarrow R_1 = \frac{-4.25 \text{ V} - (-5 \text{ V})}{I_D} = \frac{0.75 \text{ V}}{1.5 \text{ mA}} = 0.5 \text{ k}\Omega$

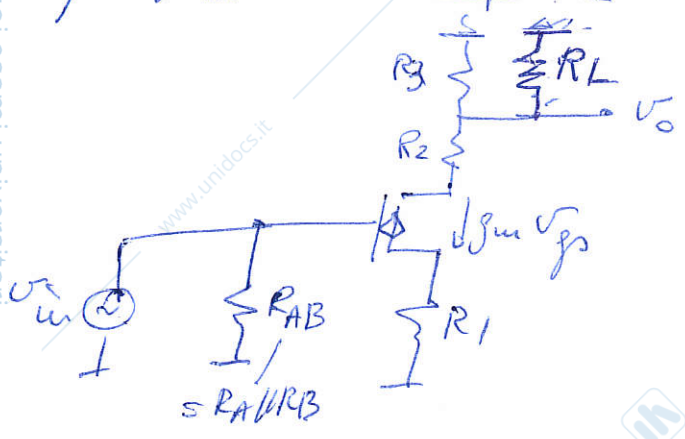
Verifica saturazione:

$V_d = 5 \text{ V} - 4 \text{ k}\Omega \times 1.5 \text{ mA} = -1 \text{ V}$

$V_{ds} = (-1) - (-4.25) = 3.25 > V_{OD} \checkmark$

(oppure: $V_{gd} = (-2) - (-1) = -1 \text{ V} < V_T = 1 \text{ V}$)

b) V_o/V_{in} ad alta frequenza (C_{in} e C_L chise)



$g_m = \frac{2 \times I_D}{V_{OD}} = \frac{3 \text{ mA}}{1.25 \text{ V}} = 2.4 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$

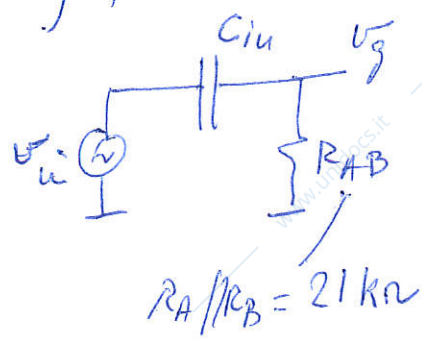
Stadio con carico su S e D:

$V_g = V_{in}$

$V_o = V_{in} \left(\frac{-g_m R_3 / R_2}{1 + g_m R_1} \right)$

$\rightarrow \frac{V_o}{V_{in}} \text{ (A.F.)} = \frac{-g_m R_3 / R_2}{1 + g_m R_1} = \frac{-2.4 \times 2}{1 + 2.4 \times 0.5} = \frac{-4.8}{2.2} = -1.818$

c) $f_{in} \in [1 \text{ kHz}, 1 \text{ MHz}]$



$\frac{V_g}{V_{in}} = \frac{S C_{in} R_{AB}}{1 + S C_{in} R_{AB}}$

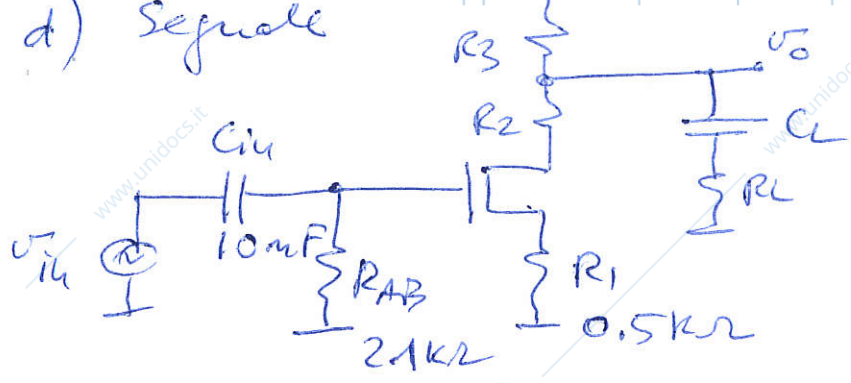
$| \frac{V_g}{V_{in}} | = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi f C_{in} R_{AB})^2}}$



$f_{in} \gg f_{AB}$ da cui:

$C_{in} \approx \frac{1}{2\pi R_{AB} \times 1 \text{ kHz}} = 7.58 \times 10^{-9} \text{ F} = 7.58 \text{ nF}$

d) Segnale



$R_3 // (R_L + \frac{1}{sC_L})$

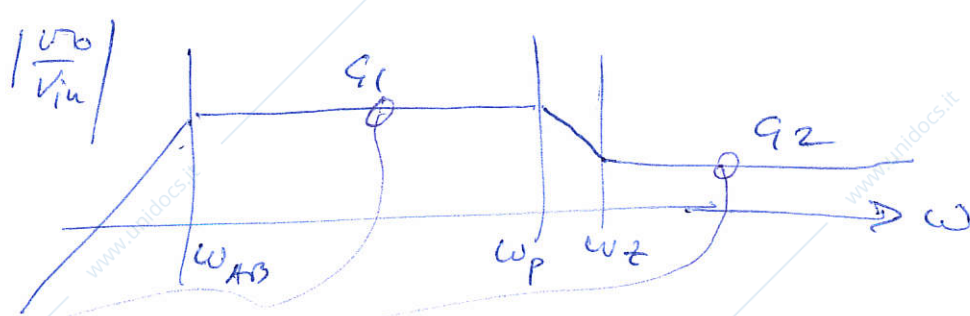
$$\frac{v_B}{v_{in}} = \frac{s R_{AB} C_{jn}}{1 + s R_{AB} C_{jn}} \times \frac{g_m}{1 + g_m R_1} \times \left[\frac{R_3}{R_3 + R_L + \frac{1}{sC_L}} \times \left(R_L + \frac{1}{sC_L} \right) \right] =$$

$$= \frac{s R_{AB} C_{jn}}{1 + s R_{AB} C_{jn}} \times \frac{g_m R_3}{1 + g_m R_1} \frac{1 + s C_L R_L}{1 + s C_L (R_3 + R_L)}$$

$$\omega_{AB} = \frac{1}{R_{AB} C_{jn}} = \frac{1}{2k \times 10 nF} = \frac{1}{20 \mu s} = 4.76 \text{ krad/s}$$

$$\omega_P = \frac{1}{C_L (R_3 + R_L)} = \frac{1}{12k \times 100 pF} = \frac{1}{1.2 \mu s} = 833.3 \text{ krad/s}$$

$$\omega_Z = \frac{1}{C_L R_L} = \frac{1}{10k \times 100 pF} = \frac{1}{1 \mu s} = 1000 \text{ krad/s}$$



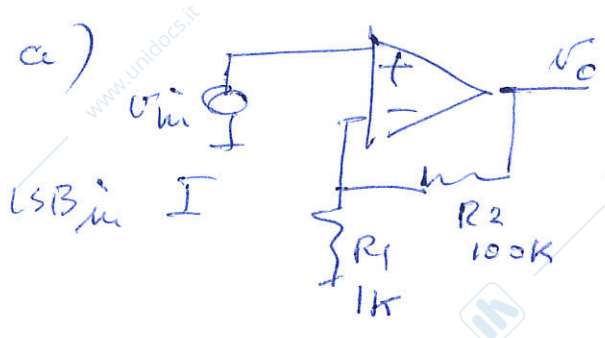
$$G_1 \approx \frac{g_m R_3}{1 + g_m R_1} = 2.182 \quad (\omega_{AB} \ll \omega \ll \omega_P, \omega_Z)$$

$$G_2 \approx \frac{g_m R_3}{1 + g_m R_1} \times \frac{R_L}{R_3 + R_L} = 1.818 \quad (\omega_P, \omega_Z \ll \omega)$$

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

Es. 2



$$\left| \frac{v_o}{v_{in}} \right| = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 101$$

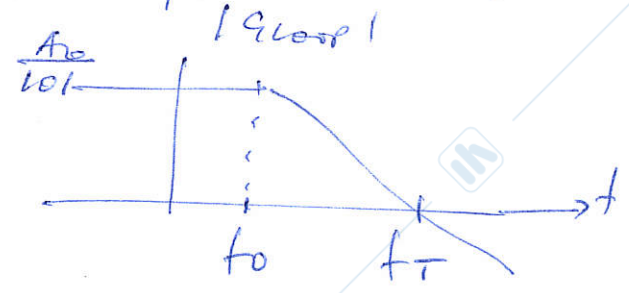
$I_{LSB_{ADC}}$

$$LSB_{ADC} = \frac{10V}{2^n} = G_{id} \times LSB_{in} = 101 \times 10 \mu V = 1.01 mV$$

$$\rightarrow 2^n > \frac{10V}{1.01 mV} = 9901 \rightarrow n > \log_2(9901) = 13.27 \rightarrow n = 14$$

b) Aogo finito. Calcolo G_{loop} del primo stadio:

$$G_{loop}(s) = -A(s) \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



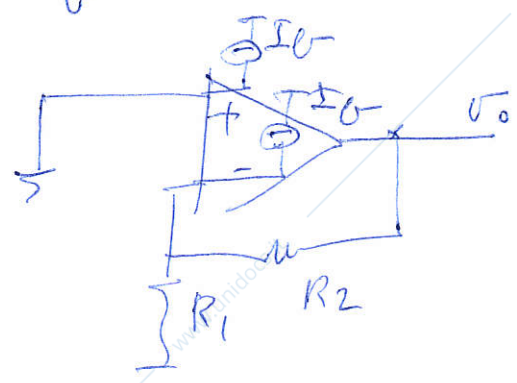
$$f_T = A_{0fo} \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{A_{0fo}}{101}$$

f_T corrisponde al polo ad anello chiuso, ovvero la frequenza fino alla quale $G_{reale} \sim G_{ideale}$

$$\rightarrow f_T = 10 \times 20 kHz = 200 kHz \rightarrow A_{0fo} = 101 \times f_T \approx 20 MHz$$

fattore di guadagno G_{BWP}

c) $I_Q = 20 \mu A$



$$v_o = v_o / I_Q = R_2 I_Q = 100 k\Omega \times 20 \mu A = 2000 \mu V = 2 mV$$

Si confronta direttamente con le LSB_{ADC} ($n = 13$ bit):

$$LSB_{ADC} = \frac{10V}{2^{13}} = 1.22 mV$$

$$\rightarrow v_o / I_Q = 2 mV = \frac{2 mV}{1.22 mV / LSB_{ADC}} = 1.6 LSB$$

d) V_{G1ON} e V_{G1OFF}

d1) accensione: dev'essere $V_{GS} > V_T = 1V$

$$V_{G1ON} - V_S > V_T \rightarrow V_{G1ON} > V_S /_{max} + V_T = \underline{\underline{6V}}$$

↑ caso peggiore

$V_S /_{max}$ prendo 5V (alim. positiva A.0.1)

d2) spegnimento: dev'essere $V_{GS} \leq V_T$

$$V_{G1OFF} - (V_S) \leq V_T \rightarrow V_{G1OFF} \leq V_S /_{min} + V_T = \underline{\underline{-4V}}$$

↑ caso peggiore

$V_S /_{min}$ prendo (-5)V (alim. negativa A.0.1)

e) T_{conv} ADC a graduate:

$$T_{conv} \leq 2^n \times \frac{1}{f_{clk}} = 2^{13} \frac{1}{700 \text{ MHz}} = 11.7 \mu\text{s} \quad (\text{massimo, avendo scelto } 2^{13})$$

f) $I_{b,max}$ a A.0.2

$$T_{sample} = 1 \mu\text{s}$$

$$f_c = \frac{1}{T_c} = \frac{1}{(T_{sample} + T_{hold})} = 50 \text{ kHz} \rightarrow T_c = 20 \mu\text{s}$$

Si ha che $T_{hold} = 20 \mu\text{s} - 1 \mu\text{s} = \underline{19 \mu\text{s}}$

La corrente di bias, integrata sulla C_H durante T_{hold} , non deve generare una tensione $> \text{LSB}$.

$$\Delta V = \frac{I_b \cdot T_{hold}}{C_H} < \text{LSB}_{ADC} \rightarrow I_b < \frac{C_H \text{LSB}_{ADC}}{T_{hold}} = \frac{10^{-9} \text{ F} \times 1.22 \times 10^3 \text{ V}}{1.9 \times 10^{-5} \text{ s}} = \underline{\underline{64.2 \mu\text{A}}}$$