

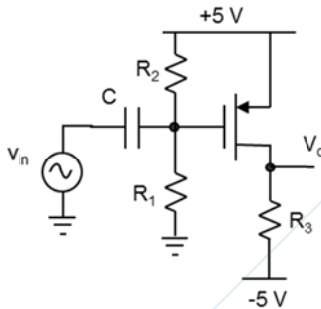
Fondamenti di Elettronica – Ing. AUTOMATICA - AA 2015/2016

Appello del 19 Luglio 2016

**Indicare chiaramente la domanda a cui si sta rispondendo. Ad esempio 1a) ...
Risolvere per prime le domande in grassetto (domande obbligatorie)**

Esercizio 1.

Si consideri l'amplificatore a MOSFET in figura.



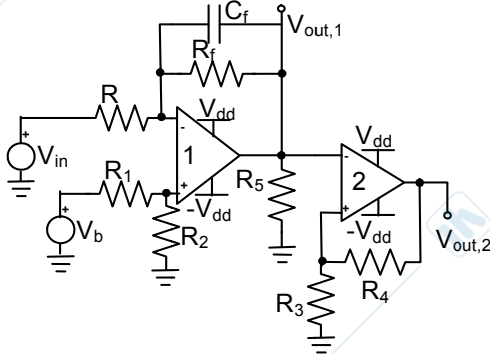
$$k = 2 \text{ mA/V}^2, V_T = -1 \text{ V}$$

$$R_1 = 60 \text{ k}\Omega, R_2 = 40 \text{ k}\Omega, R_3 = 1 \text{ k}\Omega$$

- Polarizzare il circuito.**
- Determinare il guadagno di piccolo segnale v_o/v_{in} ad alta frequenza.**
- Assumendo che il segnale di ingresso abbia uno spettro di frequenze nella banda 1kHz – 100kHz, determinare il valore di C tale da poterla considerare un corto circuito per il segnale. Disegnare il corrispondente diagramma di Bode del modulo di v_o/v_{in} .
- Si determini la massima ampiezza di un gradino positivo applicato all'ingresso in modo da non introdurre distorsioni nella risposta del circuito.

Esercizio 2.

Si consideri il circuito mostrato in figura. Si assuma che gli amplificatori operazionali saturino alle tensioni di alimentazione. V_{in} e' il segnale di ingresso mentre V_b e' una tensione costante.



$$V_{dd} = 5 \text{ V}$$

$$R_1 = 200 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 300 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = 30 \text{ k}\Omega$$

$$R_4 = 60 \text{ k}\Omega$$

$$R_5 = 3 \text{ k}\Omega$$

$$C_f = 1 \text{ pF}$$

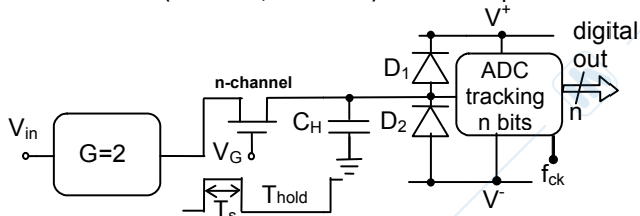
$$R_f = 100 \text{ k}\Omega$$

$$R = 1 \text{ k}\Omega$$

- Determinare l'espressione della tensione di uscita $V_{out,1}$ in funzione di V_{in} e di V_b , a bassa frequenza, assumendo un guadagno ad anello aperto in continua dell'A.O. pari a $A_0 = 80 \text{ dB}$.**
- Determinare l'ampiezza del ciclo di isteresi ed il valore medio delle soglie di scatto relativamente al circuito comparatore, mostrando in dettaglio i calcoli effettuati per determinare tali valori.
- Determinare la massima ampiezza del rumore sovrapposto al segnale di ingresso V_{in} che non causi commutazioni spurie nel comparatore. Si assumano gli amplificatori operazionali ideali e C_f un circuito aperto.

Esercizio 3.

Si consideri la catena di acquisizione mostrata in figura. I segnali di ingresso sono dei rettangoli con ampiezze comprese nell'intervallo (-200 mV, +200 mV) e durata 8 μs . I due diodi sono ideali con tensione di accensione 0.7 V.



$$V^+ = -V^- = 2.5 \text{ V}$$

$$k = 40 \text{ mA/V}^2$$

$$V_{Tn} = 0.8 \text{ V}$$

$$C_H = 33 \text{ nF}$$

$$f_{ck} = 20 \text{ MHz}$$

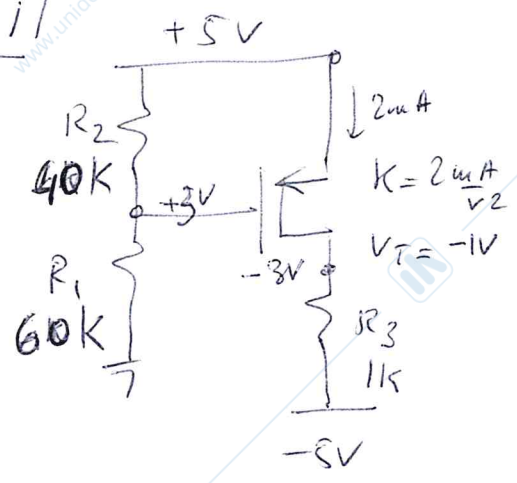
- Determinare il numero di bit che l'ADC deve possedere per garantire una risoluzione migliore di 2 mV riferita all'ingresso. Determinare quindi il valore di 1 LSB riferito all'ingresso.**
- Determinare la minima tensione di comando V_G da applicare al gate del transistor del circuito di Sample & Hold che garantisca errori minori di 1 LSB con un tempo di Sample pari a 100 ns.**
- Nelle ipotesi che l'ADC sia a 10 bit e assumendo un tempo di Hold pari al tempo di conversione massimo, determinare la massima corrente inversa dei due diodi supposti identici che garantisca un errore inferiore a $1 \text{ LSB}/8$.

T.E. 19/10/2016

1

ES. 11

1a)



$$V_G = 5V \times \frac{60k\Omega}{100k\Omega} = 3V$$

$$V_{GS} = -2V$$

$$I_D = \frac{2mA}{V^2} (1V)^2 = 2mA \quad (\text{Hyp. SAT})$$

$$V_D = -5V + \frac{1k\Omega \times 2mA}{2V} = -3V$$

$$V_{DS} = -3V - 5V = -8V < V_{GS} - V_T = -1V \quad \text{ok SATURO}$$

1b)

$$g_m = \frac{2I_D}{|V_{GS}|} = \frac{2 \times 2mA}{1V} = 4mA/V$$

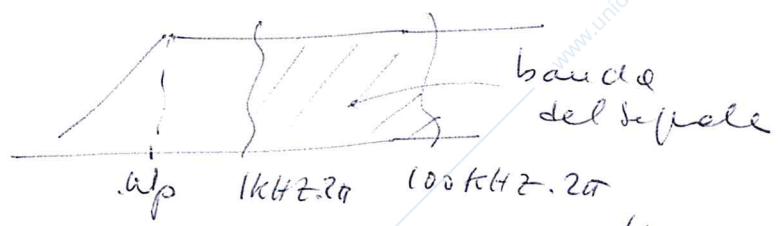
Ad alta freq. C è dominante $\rightarrow V_o = V_{in}$

$$\rightarrow V_o = -g_m R_3 V_p = -g_m R_3 V_{in}$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} / A.F. = -g_m R_3 = -4 \frac{mA}{V} \times \frac{1k\Omega}{\frac{V}{mA}} = \underline{\underline{-4}}$$

1c)

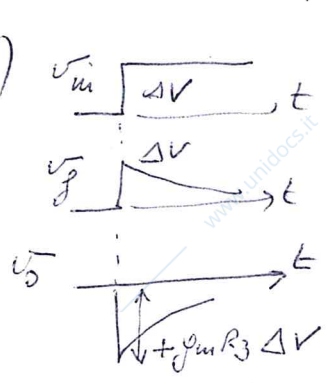
Il circuito di accoppiamento CR in ingresso è un passa alto con freq. critica $\omega_p = \frac{1}{C(R_1 || R_2)}$



Per trasmettere il segnale senza attenuazioni deve essere: $\omega_p \ll 2\pi \cdot 1kHz$

Prendendo $\omega_p = \frac{1}{10} 2\pi 1kHz \rightarrow C = \underline{\underline{66.3 nF}}$

1d)



Un gradino positivo all'ingresso produce un gradino a $t=0^+$ con segno opposto all'uscita di ampiezza $-g_m R_3 \Delta V$.
 Considerando che la polarizzazione del Drain è $V_D = -3V$, il segnale in uscita può muoversi verso il basso al massimo di $2V$.

quindi:

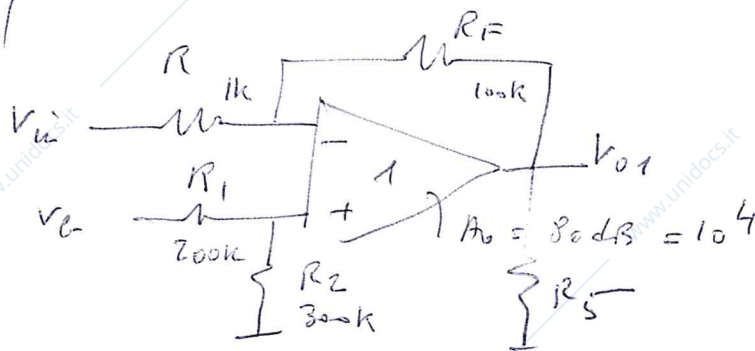
$$V_o \Big|_{\max} = -2V = - \int_{\text{in}} R_3 v_{in} \Big|_{\max} = - \int_{\text{in}} R_3 \Delta V \Big|_{\max}$$

$$\rightarrow \Delta V \Big|_{\max} = \frac{2V}{\int_{\text{in}} R_3} = \frac{2V}{4} = \underline{0.5V}$$

Per ΔV massimo il pros si spogge e l'uscita rimane saturata a $-5V$.

ES. 2

2a)



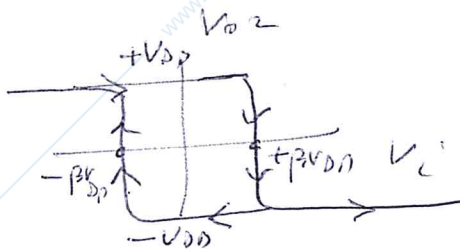
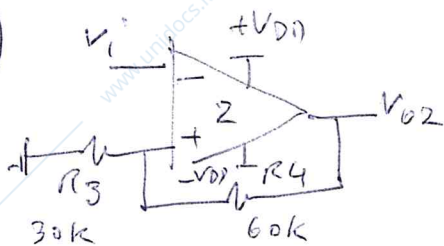
$$V_o / V_{in} = V_{in} \left(-\frac{R_F}{R} \right) \cdot \frac{-G_{LF}}{1-G_{LF}} = V_{in} (-100) \frac{100}{101}$$

$$V_o / V_{cc} = V_{cc} \frac{R_2}{R_1+R_2} \left(1 + \frac{R_F}{R} \right) \cdot \frac{-G_{LF}}{1-G_{LF}} = V_{cc} (+101) \frac{100}{101}$$

il loop in continua (G_{LF}) è lo stesso per entrambe le F.d.T.

$$G_{LF} = -A_o \frac{R}{R+R_F} = -10^4 \times \frac{1}{101} \approx -100$$

2b)



Assumendo $V_{02} = +V_{DD} = +5V$, cerco la tensione di salto per V_{in} :

↳ Condizione di salto: $v^+ \leq V_{in}$

$$\rightarrow V_{DD} \frac{R_3}{R_3+R_4} \leq V_{in}$$

$$\rightarrow \boxed{V_{in}} \geq V_{DD} \frac{R_3}{R_3+R_4} = \boxed{3V_{DD}} = \frac{30}{90} \times 5V = \underline{+1.67V}$$

Assumendo ora $V_{02} = -V_{DD} = -5V$, trovo analogamente la nuova tensione di salto per V_{in} :

↳ Condizione di salto: $v^+ \geq V_{in} \rightarrow -V_{DD} \frac{R_3}{R_3+R_4} \geq V_{in}$

$$\rightarrow \boxed{V_{in}} \leq \boxed{-3V_{DD}} = \underline{-1.67V}$$

2c) L'area sotto della isteresi del comparatore è pari a $2V_{DD} = 3.33V$ (vedi pto 2b).

Quindi, assumendo che il rumore abbia media nulla, la massima ampiezza V_{th} tollerata è pari a $\pm \frac{3.33V}{2}$ all'ingresso del 20 stadio (comparatore).

Riportando questa ampiezza all'ingresso del 1° stadio (in banda freq., C_F alta), si ottiene:

$$V_{in}/\text{NUMORE} = \pm \frac{3.33V}{2} \frac{1}{(V_{th}/V_{in})_{D.F.}} = \pm \frac{3.33V}{2} \frac{1}{100} = \pm 16.7 \mu V$$

$A_{0,1} = \infty$
↓
D.F.

ES. 3

3a) Risoluzione richiesta in ingresso $\Delta V_{in} < 2 \mu V$
 → Risoluzione richiesta ingresso ADC: $\Delta V_{ADC} < 9 \times \Delta V_{in} = 4 \mu V$
 → 10 bit richiesto:

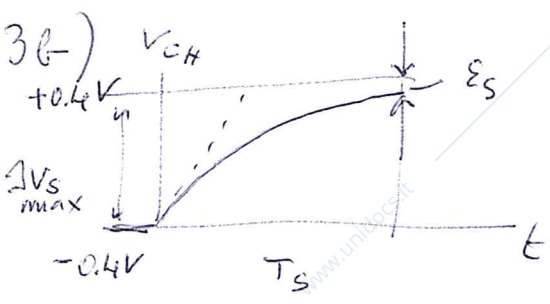
$$2^n > \frac{(V^+ - V^-)}{9 \times \Delta V_{in}} = \frac{5V}{4 \mu V} = 1250 \text{ livelli}$$

$n=10, 2^n = 1024$
 $n=11, 2^n = 2048 \rightarrow OK$

Con $n=11$ si ha:

$$LSB_{ADC} = \frac{5V}{2048} = 2.4 \mu V$$

$$LSB_{in} = \frac{LSB_{ADC}}{9} = 1.2 \mu V$$



Errore di sample: $E_s = \Delta V_s e^{-T_s/\tau_s}$
 Nel caso peggiore $\Delta V_s / \text{max} = 9 \times \Delta V_{in} / \text{max} = +0.4V - (-0.4V) = 0.8V$
 Quindi, con $T_s = 100ns$, la condizione su E_s è:
 $E_s / \text{max} = \Delta V_s / \text{max} e^{-T_s/\tau_s} < LSB_{ADC}$

da cui si ottiene: $\tau_s = \frac{T_s}{3.51} = \frac{100 \text{ ns}}{3.51} = \underline{\underline{28.5 \text{ ns}}}$ 4

Essendo $\tau_s = C_H R_{mos} \rightarrow R_{mos} \leq \frac{\tau_s}{C_H} = \frac{28.5 \text{ ns}}{33 \text{ nF}} = \underline{\underline{0.864 \Omega}}$

Il valore trovato di R_{mos} ci consente di trovare la minima tensione di gate V_G da applicare nella fase di Slew

Al fine di avere $R_{mos} = \frac{1}{2kV_{OD}} < 0.864 \Omega \rightarrow \underline{\underline{V_{OD} > 14.47V}}$

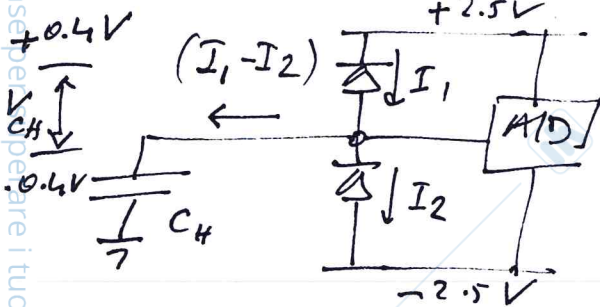
Da cui: $V_{GS|on} \geq V_{OD} + V_T = 15.27V$

$\rightarrow V_{G|on} = V_{GS|on} + \boxed{V_S|_{MAX}} = 15.27V + 0.4V = \underline{\underline{15.67V}}$
 $\uparrow V_S = -0.4V \left[+0.4V \right] \leftarrow \text{CASO PEGGIORE}$

3c)

$n=10$, ADC tracking $\rightarrow T_{conv} = \frac{1}{f_{clk}} = 50 \text{ ns}$.

Si assume $T_{Hold} = T_{conv} = 50 \text{ ns}$



D_1, D_2 sempre pol. INVERSA

hanno lo stesso I_S

I diodi D_1, D_2 sono identici $\rightarrow I_{1,2} = \boxed{I_S} \left(e^{\frac{V_{1,2}}{V_T}} - 1 \right)$

Considerando che la tensione su C_H varia tra $-0.4V$ e $+0.4V$, i diodi D_1, D_2 possono avere una diversa tensione inversa e quindi una differenza di corrente $(I_1 - I_2)$ che può generare un errore su C_H .

Nel caso più estremo ($V_{CH} = \pm 0.4V$) si ha $V_1 = -2.1V$, $V_2 = -2.9V$ per cui essendo $|V_1|, |V_2| \gg V_T = 0.025V$ possiamo assumere $I_1 - I_2 \approx I_S - I_S = \phi$.

Ad. es. (per $I_S = 1 \mu A$) $\rightarrow \begin{cases} I_1 = 3.3 \times 10^{-43} \text{ A} \\ I_2 = 4.2 \times 10^{-47} \text{ A} \end{cases}$

$\rightarrow (I_1 - I_2) \approx I_1 = 3.3 \times 10^{-43} \text{ A}$

$\rightarrow \Delta V_{CH} = \frac{2 \times (I_1 - I_2) \times T_{Hold}}{C_H} \approx 10^{-42} \text{ V}$ del tutto trascurabile