

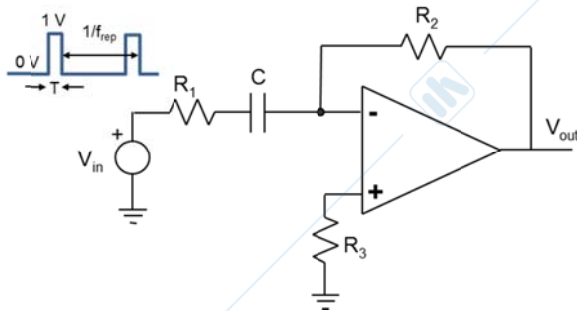
Fondamenti di Elettronica – Ing. AUTOMATICA - AA 2015/2016

Appello del 30 Giugno 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 in figura. L'A.O. e' ideale ove non diversamente specificato.



Dati:

$R_1=1 \text{ k}\Omega,$

$R_2=10 \text{ k}\Omega$

$C=10\text{nF}$

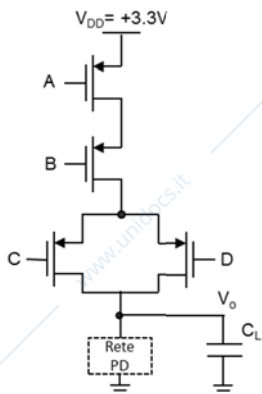
- Determinare il guadagno ideale dell'amplificatore e tracciarne il diagramma di Bode del modulo.**
- Determinare il valore di R_3 al fine di compensare l'effetto delle correnti di bias dell'A.O., assunte uguali, sulla tensione di uscita. Se le correnti di bias avessero una piccola differenza (offset) pari a $I_{OS}=100 \text{ nA}$, calcolare la tensione in uscita dovuta a I_{OS} con il valore di R_3 precedentemente trovato.

Si consideri ora il segnale di ingresso rappresentato in figura, ovvero una sequenza di rettangoli, da 0V a 1V, ciascuno di durata $T=1 \mu\text{s}$.

- Tracciare il grafico temporale della tensione di uscita $V_{out}(t)$, calcolando le coordinate di tutti i punti significativi, quando la frequenza di ripetizione dei rettangoli sia $f_{rep}=1 \text{ kHz}$.
- A causa di una interferenza ineliminabile, e' presente all'ingresso un disturbo sinusoidale a 50Hz e di ampiezza 1V sovrapposto alla sequenza di rettangoli. Calcolare il massimo errore in uscita dovuto al disturbo.
- Si determini l'intervallo di frequenze in cui il guadagno reale dell'amplificatore sia ben approssimabile con il guadagno ideale quando si impiega un A.O. con $GBWP=10 \text{ MHz}$ e $A_0=10^5$. Si giudichi se la limitazione di banda che ne consegue sia compatibile con il segnale in ingresso.

Esercizio 2.

Si consideri la porta logica mostrata in figura:



Dati:

$V_{DD}=3.3 \text{ V}$

$|k_p|=\frac{1}{2}(\mu_p C_{ox})'(W/L)_p = 0.25 \text{ mA/V}^2$

$\mu_n/\mu_p=2.5$

$(W/L)_p=20$

$V_{T,n}=|V_{T,p}|=1\text{V}$

$C_L=10 \text{ pF}$

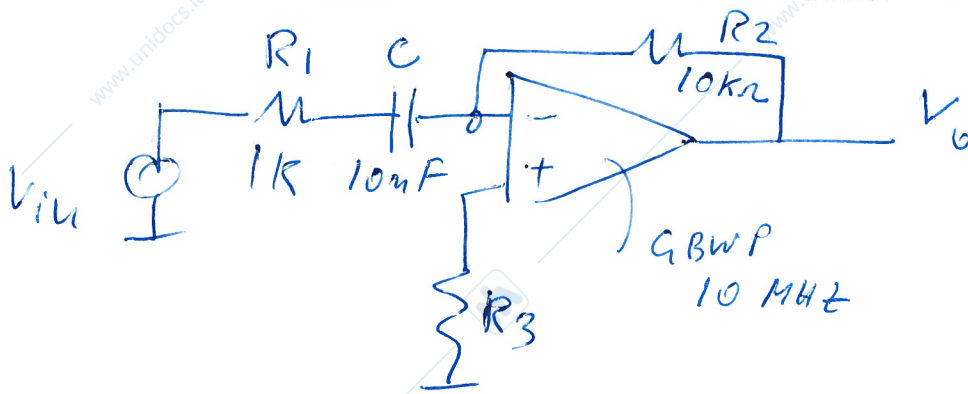
- Determinare la funzione logica della porta e disegnare lo schematico della rete di Pull-Down.**
- Calcolare il valore del rapporto di forma $(W/L)_n$ dei transistori nMOS al fine di uguagliare il tempo di transizione $H \rightarrow L$ piu' lento con il tempo di transizione $L \rightarrow H$ piu' lento.
- Si consideri la transizione $ABCD=(1111) \rightarrow (0000)$ al tempo $t=0$. Determinare la corrente circolante in C_L a $t=0+$.

Esercizio 3.

Si supponga di dover digitalizzare con risoluzione di 12 bit un segnale audio 20 Hz – 20 kHz.

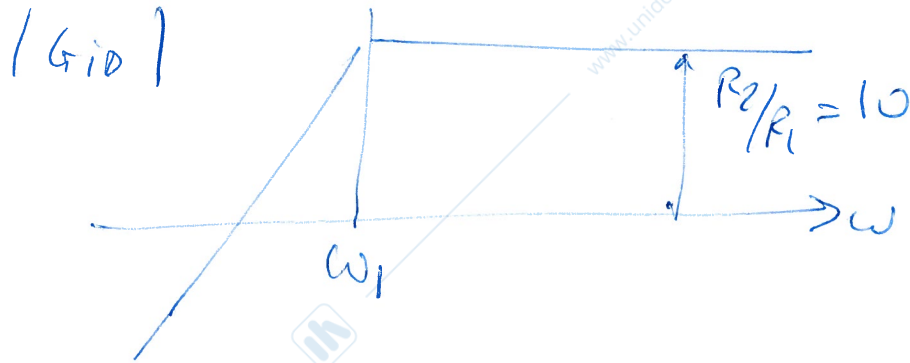
- Si calcolino i tempi di conversione dei seguenti tipi di convertitore A/D, nel caso in cui la frequenza di clock sia 100 MHz: i) ADC a gradinata, ii) ADC SAR, iii) ADC a doppia rampa. A fronte dei risultati ottenuti si giudichi quali dei 3 ADC siano compatibili con la conversione A/D del segnale audio in ingresso.
- Si supponga che il segnale di ingresso V_{in} sia connesso ad un ADC *tracking* (o ad inseguimento) direttamente, ovvero senza la cella di *Sample & Hold*. Disponendo di un clock di 20 MHz, determinare la massima frequenza del segnale di ingresso che puo' essere digitalizzata correttamente (si assuma che la sinusoide $V_{in}(t)$ abbia ampiezza tale da coprire l'intero intervallo analogico di conversione).

Soluzioni T.E. 30/4/2016

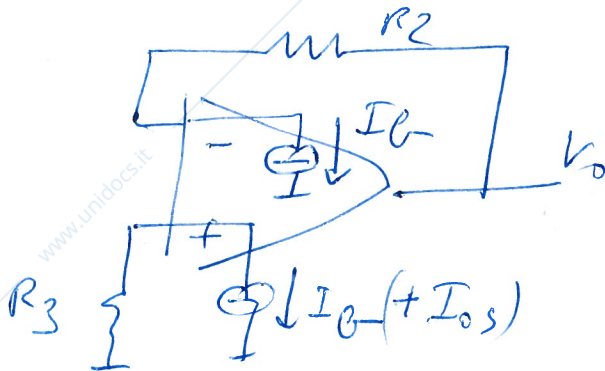


1a)
$$G_{id} = \frac{R_2}{R_1 + \frac{1}{sC}} = \frac{sCR_2}{1 + sCR_1}$$

$$\omega_1 = \frac{1}{R_1 C} = \frac{1}{10 \mu s} = 10^5 \text{ rad/s}$$



1b) correnti di bias



con $I_B^- = I_B^+ = I_B$

$$V_o / I_B^- = R_2 I_B$$

$$V_o / I_B^+ = -(R_3 I_B)$$

$$\rightarrow V_o / \left(\frac{I_B^+}{I_B^-} = \frac{I_B^-}{I_B^+} = I_B \right) = (R_2 - R_3) I_B = 0$$

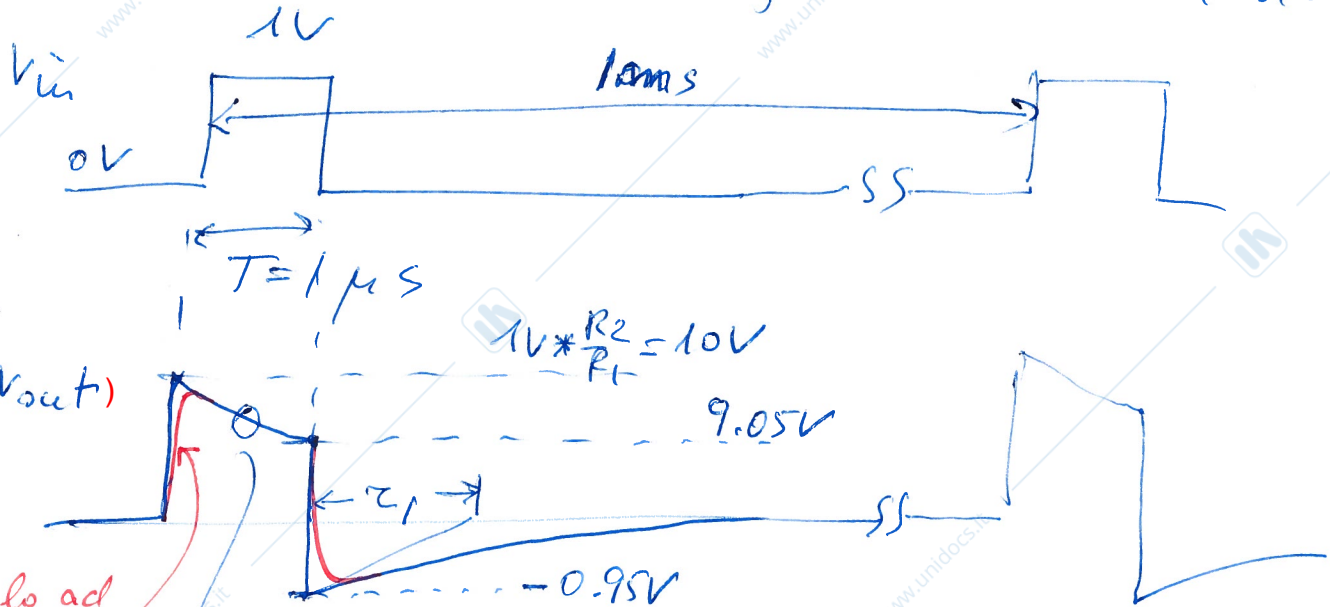
$$\rightarrow R_3 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$$

In presenza di offset, assumo $I_B^+ = I_B + I_{os}$ offset
 Posso considerare solo l'effetto di $I_B^+ = I_{os}$ dato che il termine I_B è comune ad entrambi i nodi e si compensa con $R_3 = R_2$.

Quindi si ha:

$$\left| \frac{V_o}{I_B = I_{os}} \right| = |R_3 I_{os}| = 10 \text{ k}\Omega \times 100 \text{ nA} = \underline{1 \text{ mV}}$$

1c) È un amplificatore passa-alto con $\omega_p = 10^5 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$.
Essendo la cost. di tempo del polo $\tau_1 = \frac{1}{\omega_p} = 10 \mu\text{s}$
 $\ll 1/f_{\text{freq}} = 1 \text{ ms}$, posso considerare la
risposta ad un rettangolo isolato ($V_o(0^-) = 0 \text{ V}$)



polo ad
alta freq.
 $\tau = \frac{1}{\omega_p} = 10 \mu\text{s}$

$$V_{out}(t) = 10 \times \frac{R_2}{R_1} e^{-t/\tau_1} \quad (0 < t < T)$$

$$V_{out}(T^-) = 10 \text{ V} \times e^{-T/\tau_1} = 10 \text{ V} \times 0.905 = 9.05 \text{ V}$$

$$V_{out}(T^+) = 9.05 \text{ V} - 10 \text{ V} = -0.95 \text{ V}$$

1d) $f_{in} = 50 \text{ Hz}$, $A_{in} = 1 \text{ V}$

$$|G_{ID}(j2\pi f_{in})| = \frac{R_2}{R_1} \frac{\omega_{in}}{\omega_p} = 10 \times \frac{2\pi 50}{10^5} = 0.0314$$

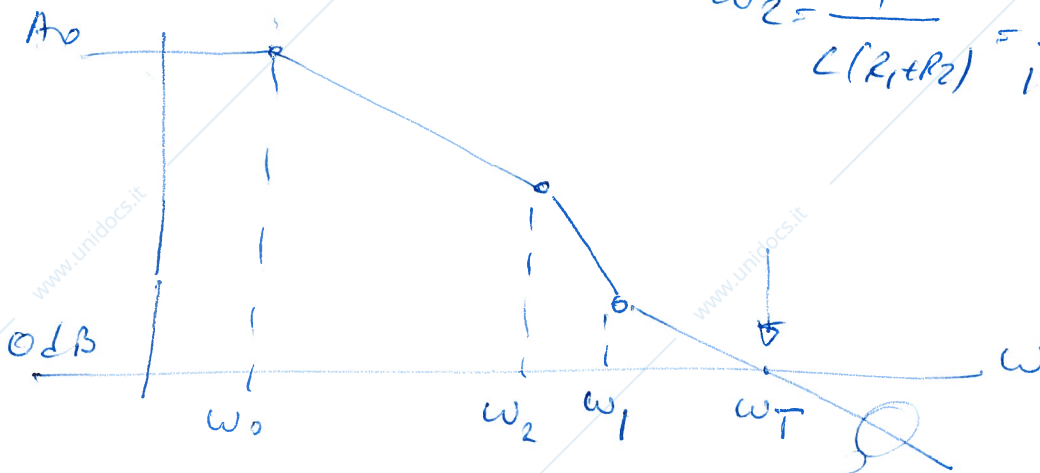
$$\rightarrow V_{o|_{\text{max}}} = A_{in} \times |G_{ID}(j2\pi f_{in})| = 1 \text{ V} \times 0.0314 = \underline{31.4 \text{ mV}}$$

1e.) Calcolo il guadagno di anello:

$$G_L = \frac{R_1 + \frac{1}{sC}}{R_1 + R_2 + \frac{1}{sC}} [-A(s)] = -A(s) \frac{1 + sCR_1}{1 + sC(R_1 + R_2)}$$

$$\omega_1 = \frac{1}{CR_1} = \frac{1}{10 \mu s} = 10^5 \text{ rad/s}$$

$$\omega_2 = \frac{1}{C(R_1 + R_2)} = \frac{1}{110 \mu s} = 9.1 \times 10^4 \text{ rad/s}$$



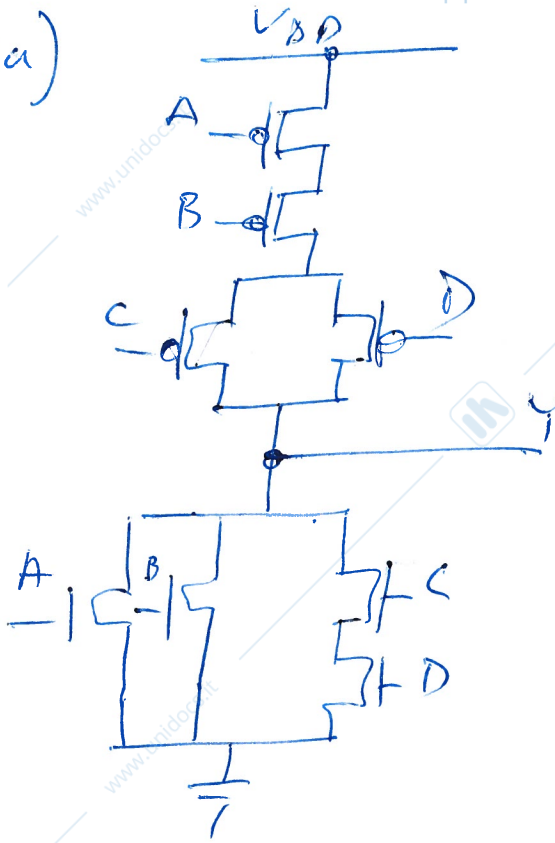
$$\hookrightarrow \text{per } \omega \gg \omega_1 \rightarrow |G_L| \sim \frac{A_0 \omega_0}{\omega} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \frac{A_0 \omega_0}{\omega_T} \frac{R_1}{R_1 + R_2} &= 1 \rightarrow \omega_T = (A_0 \omega_0) \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \\ &= 5.7 \times 10^6 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

$$\left(\tau_T = \frac{1}{\omega_T} = 175 \text{ ns} \right)$$

Considerando che la durata del singolo rettangolo $T = 1 \mu s \Rightarrow \frac{1}{\omega_T} = 175 \text{ ns}$, l'effetto del polo ad anello chiuso ad ω_T è trascurabile ma non del tutto trascurabile.

2a)



Funzione logica:

dalla rete di pull-up:

$$Y = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot (\bar{C} + \bar{D})$$

oppure dalla rete di pull-down:

$$\bar{Y} = A + B + C \cdot D$$

Verifica:

$$\bar{Y} = \overline{\bar{A} \bar{B} (\bar{C} + \bar{D})} = \dots = A + B + C \cdot D$$

ok

2b) Transistori più lente:

$$\text{- pull-up: } k_{eq/p} = \frac{1}{3} k_p$$

$$\text{- pull-down: } k_{eq/n} = \frac{1}{2} k_n$$

$$A \text{ finché } t_{\text{pull-up}} \approx t_{\text{pull-down}} \Rightarrow k_{eq/p} = k_{eq/n}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{3} k_p = \frac{1}{2} k_n \rightarrow \boxed{k_n = \frac{2}{3} k_p} = 0.1667 \frac{\mu A}{V^2}$$

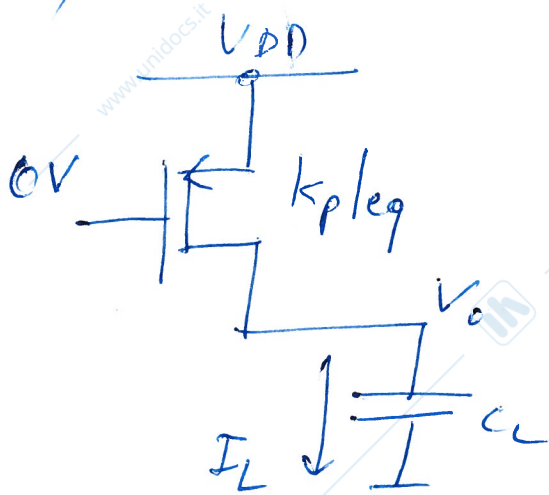
quindi:

$$k_n = \frac{2}{3} k_p \Rightarrow \frac{1}{2} \left(\mu_n \left(\frac{W}{L} \right)_n \right) = \frac{2}{3} \left[\frac{1}{2} \left(\mu_p \left(\frac{W}{L} \right)_p \right) \right]$$

$$\Rightarrow \left(\frac{W}{L} \right)_n = \left(\frac{W}{L} \right)_p \cdot \frac{\mu_p}{\mu_n} \cdot \frac{2}{3} = 20 \times \frac{1}{2.5} \times \frac{2}{3} = \underline{\underline{5.33}}$$

2c) ABCD = 1111 → 0000

5



$$k_{pleg} = \frac{(\frac{1}{2} k_p) \cdot (2 k_p)}{\frac{1}{2} k_p + 2 k_p} = \frac{2}{5} k_p$$

tutti pmos accen'

Utilizzando il modello con il pmos equivalente, la corrente a $t=0^+$ è quella di saturazione con $|V_{od}| = |V_{DD} - V_p|$

$$\begin{aligned} \rightarrow I_L(0^+) &= I_{D_{sat}} = k_{pleg} V_{OD}^2 = \frac{2}{5} \times 0.25 \frac{\mu A}{V^2} \times (2.3V)^2 = \\ &= \underline{0.53 \mu A} \end{aligned}$$

3a) ADC a gradinata: $T_{conv} = 2^{12} + \frac{1}{f_{ck}} = 4.096 \times 10^{-4} s$

ADC SAR: $T_{conv} = 13 + \frac{1}{f_{ck}} = 1.3 \times 10^{-6} s$

ADC doppia rampa: $T_{conv} = 2 \times 2^{12} + \frac{1}{f_{ck}} = 8.192 \times 10^{-4} s$

Per convertire correttamente un segnale di ripreso con $f_{in(max)} = 20 kHz \rightarrow$ la freq. di camp. $\rightarrow f_c$

$$f_c \gg 2 \times f_{in(max)} = 40 kHz.$$

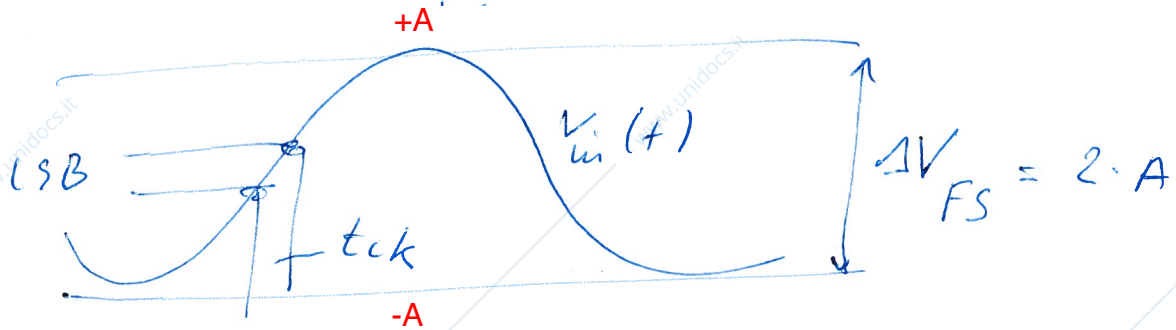
Essendo $f_c \approx \frac{1}{T_s + T_{conv}} \approx \frac{1}{T_{conv}}$

- ① 2.4 kHz (NO)
- ② 770 kHz (SI)
- ③ 1.2 kHz (NO)

NOTA:
 Thold $\approx T_{conv}$
 $f_c = 1/T_{camp} = 1/(T_{sample} + Thold)$

3b)

6



$$V_{in}(t) = A \sin 2\pi f_{in} t$$

A affinché ADC tracking rimanga "aggiornato" al segnale V_{in} , deve essere:

$$\left. \frac{dV_{in}}{dt} \right|_{max} = 2\pi f_{in} A < \frac{LSB}{T_{ck}} = LSB \times f_{ck}$$

$$\Rightarrow f_{in} < \left(\frac{LSB}{2\pi A} \right) \times f_{ck} = \frac{1}{\pi} \frac{1}{2^n} f_{ck} = \underline{\underline{1554 \text{ Hz}}}$$

$$\frac{LSB}{2A} = \frac{LSB}{\Delta V_{FS}} = \frac{1}{2^n}$$

no

non sufficiente
per il segnale
ancora 20-20 kHz