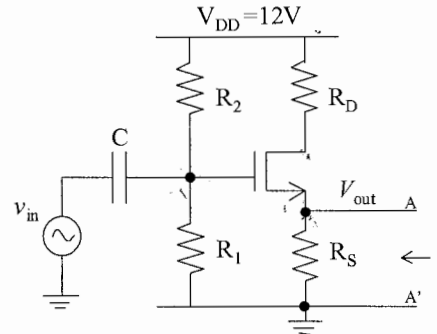


Indicare chiaramente la domanda a cui si sta rispondendo. Ad esempio 1a) ...

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

- Calcolare la polarizzazione del circuito.
- Determinare il guadagno di piccolo segnale v_{out}/v_{in} ad alta frequenza (C chiusa).
- Dimensionare C in modo da far passare senza attenuazione segnali con frequenze maggiori di 1 kHz e tracciare il diagramma di Bode **quotato** del guadagno v_{out}/v_{in} (modulo e fase).
- Il segnale di ingresso $v_{in}(t)=10V*\sin(2\pi*10Hz*t)$ puo' essere considerato un 'piccolo' segnale? Giustificare la risposta.



$R_1=10\text{ k}\Omega, R_2=10\text{ k}\Omega, R_D=1\text{ k}\Omega, R_S=1\text{ k}\Omega$
 $V_T=1\text{ V}, k=4\text{ mA/V}^2$

Fig.1

Esercizio 2. Si consideri la porta logica CMOS mostrata in figura 2a, che esegue la funzione logica $Y = \overline{(A + B + C)} \cdot D$

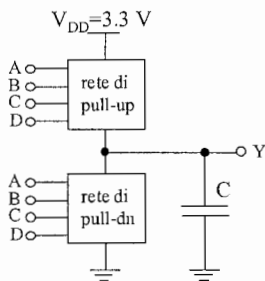


Fig.2a

$V_{Tn}=|V_{Tp}|=0.8\text{ V}$
 $\frac{1}{2} \mu_n C_{ox}=0.1\text{ mA/V}^2$
 $\frac{1}{2} \mu_p C_{ox}=0.04\text{ mA/V}^2$
 $(W/L)_n=5$
 $(W/L)_p=10$
 $C=4\text{ pF}$

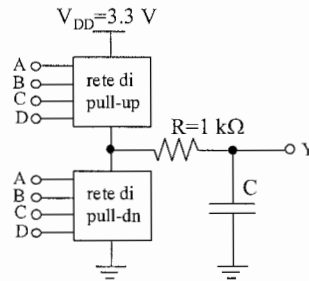


Fig.2b

- Disegnare la rete di pull-up e la rete di pull-down (motivare sinteticamente la risposta).
- Calcolare il tempo di commutazione della transizione $ABCD=1110 \rightarrow ABCD=0101$ e disegnare il grafico di $Y(t)$.
- Si consideri ora di modificare la porta di Fig.2a come mostrato in Fig.2b. Calcolare nuovamente il tempo di commutazione della transizione specificata al punto precedente.

Esercizio 3: Si consideri il seguente amplificatore, al cui ingresso è applicato un gradino di tensione di ampiezza 1V.

- Calcolare la risposta al gradino di $V_{out}(t)$, supponendo che lo slew rate dell'amp. op. sia infinito e che $GBWP=10\text{ MHz}$. Disegnare inoltre l'andamento di $V_{out}(t)$ su di un grafico quotato.
- Se lo slew rate è pari a $10\text{ V}/\mu\text{s}$, vale ancora la risposta precedente? Giustificare la risposta e disegnare l'andamento di $V_{out}(t)$ su di un grafico quotato.
- Sapendo che $R=1\text{ k}\Omega$ quanta corrente eroga l'amplificatore operativo a transitorio esaurito?
- Se l'amplificatore operativo ha una corrente massima di 3 mA , qual è il valore limite della resistenza carico che può essere connessa all'uscita, con il segnale d'ingresso dato? E' un limite superiore o inferiore? ($R=1\text{ k}\Omega$)

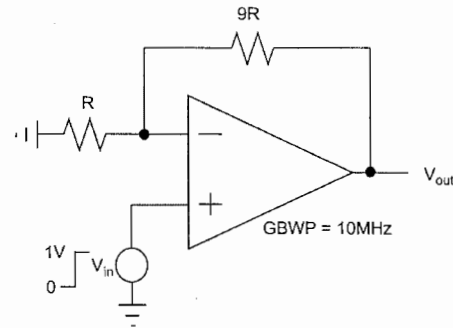
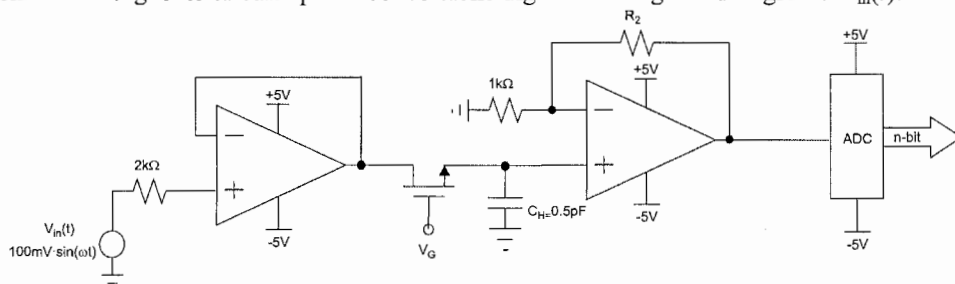


Fig.3

Esercizio 4: Si consideri il seguente circuito per la conversione digitale del segnale di ingresso $V_{in}(t)$:



- Dimensionare R_2 per sfruttare tutta la dinamica dell'ADC, per il segnale d'ingresso dato.
- Sapendo che $n=10$ bit, quanto vale la massima carica tollerabile, iniettata dallo switch?
- Se l'amplificatore operativo del primo stadio ha delle correnti di offset pari a $I^+ = I^- = 0.2\mu\text{ A}$, determinare, in termini di LSB, l'errore introdotto da queste correnti.

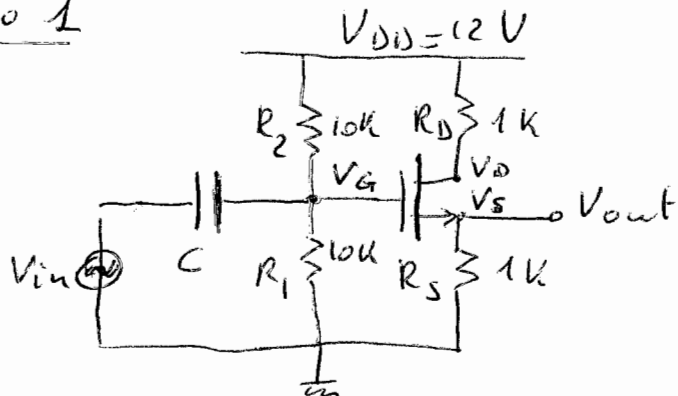
Fondamenti di Elettronica

Appello del 14/07/05

Traccia della soluzione della prova scritta

Esercizio 1

a)



$$V_T = 1V \quad K = 4 \text{ mA/V}^2$$

$$V_G = 6V \quad I_D = K (V_{GS} - V_T)^2$$

$$V_S = I_D R_S \quad I_D = K (6 - I_D \cdot 10^{-3} - V_T)^2$$

$$I_D = \begin{cases} 12 \text{ mA} & \text{da scartare} \\ 4 \text{ mA} \end{cases}$$

$$V_{GS} = 4V > V_T \quad V_D = 8V \Rightarrow \text{MOS in saturazione}$$

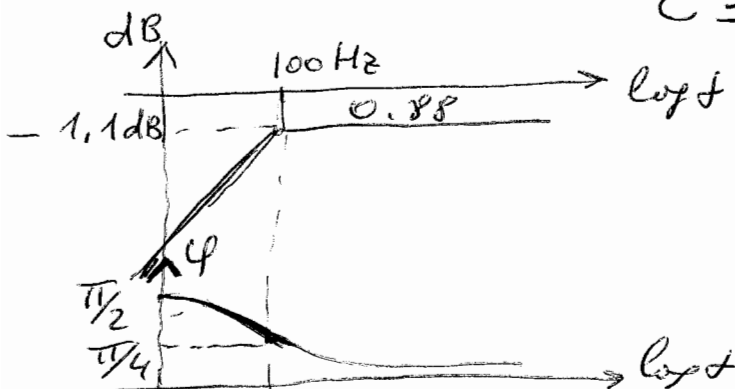
$$g_m = 8 \text{ mA/V} \quad \frac{1}{g_m} = 125 \Omega$$

$$b) \quad \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_S}{\frac{1}{g_m} + R_S} = \frac{1}{1.125} = 0.88$$

c) Posizioniamo il polo ^{almeno} ω_p decade prima del segnale: $f_p \leq 100 \text{ Hz}$

$$f_p \leq \frac{1}{2\pi C R_{eq}} \leq 100 \text{ Hz} \quad R_{eq} = R_1 // R_2 = 500 \Omega$$

$$C \geq 3.2 \mu\text{F}$$



①

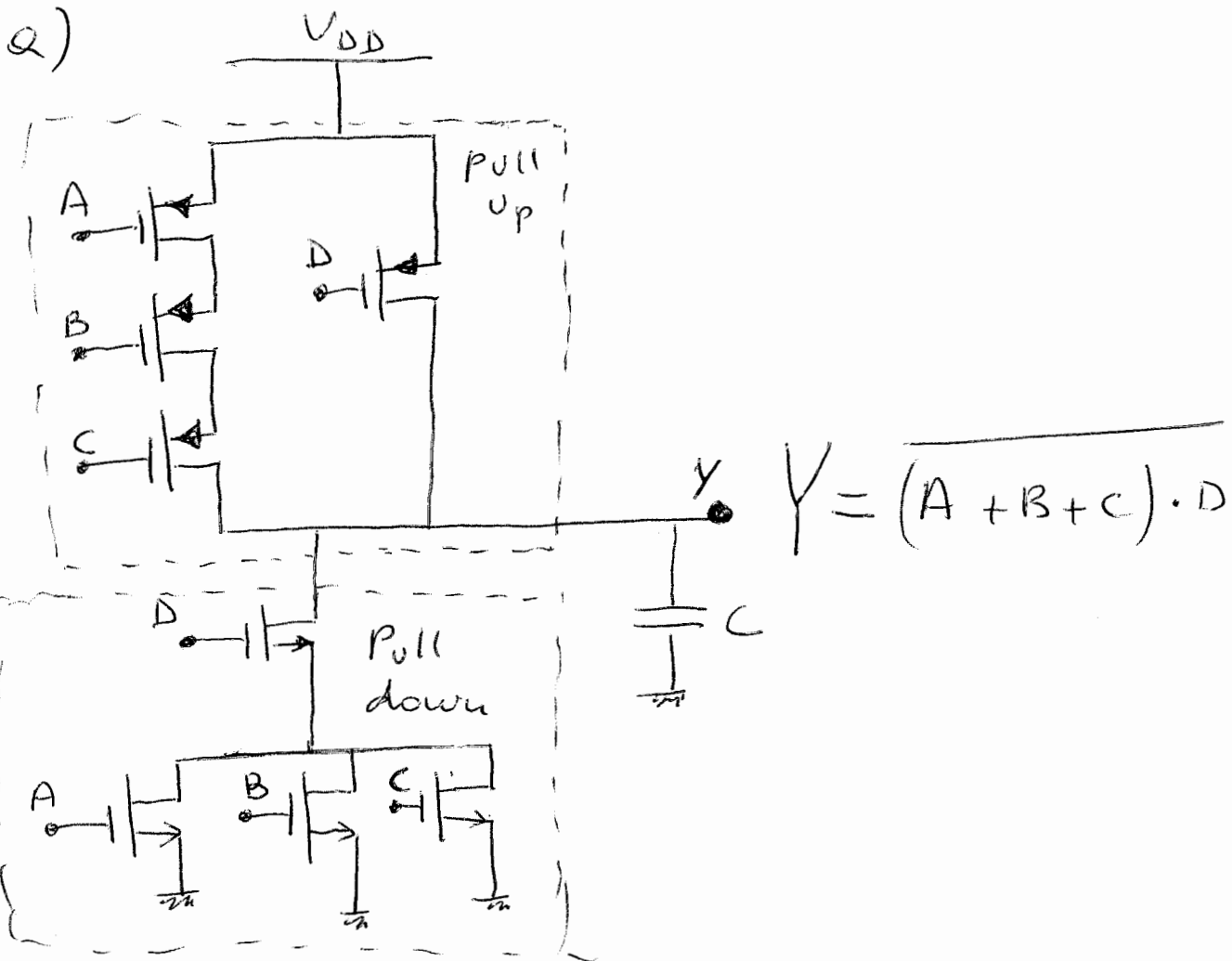
c) Avendo posto f_p a 100 Hz, a valle di C V_{in} viene attenuato di un fattore 10, quindi $V_g = \frac{10 V_{in}(2\pi \cdot 100 Hz t)}{10}$

quindi

$$V_{gs} = \frac{V_g}{\frac{1}{g_m} + R_s} \cdot \frac{1}{g_m} = 0.11 V_g \approx \frac{1}{100} V_{in} \ll V_{DD} = 2V$$

V_{gs} risulta \ll di $V_{overdrive}$ ($= 2V$) quindi V_{in} è un piccolo segnale per l'amplificatore MOS diseguito.

Esercizio 2)

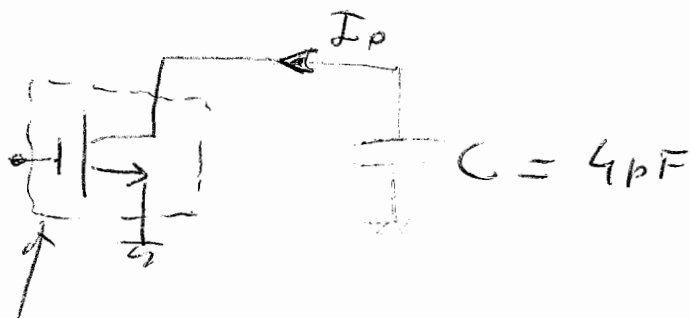


b) La transizione data da passare Y da H a L: il condensatore C si carica attraverso la serie dei due nMOS D e B, serie di portanti rappresentate con un unico MOS equivalente.

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{eq} = \frac{5}{2}$$

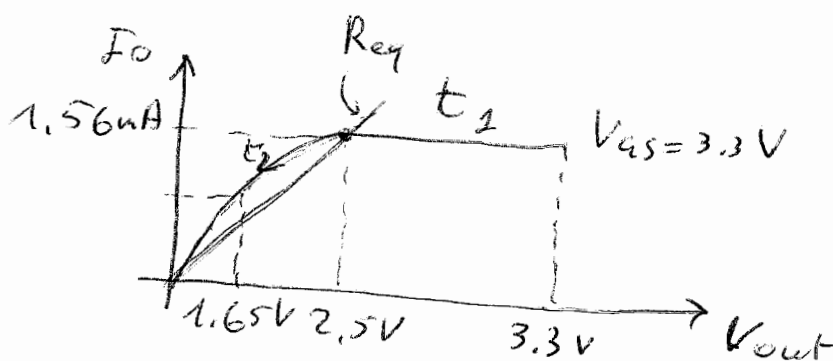
$$I_0 = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_{eq} (V_{GS} - V_T)^2 = 1.56 \mu A$$

$\underbrace{0.1 \text{ mA/V}^2}_{\mu_n C_{ox}} \quad \underbrace{5/2}_{\left(\frac{W}{L}\right)_{eq}} \quad \begin{matrix} \uparrow & \uparrow \\ V_{GS} & V_T \\ 3.3 \text{ V} & 0.5 \text{ V} \end{matrix}$



nMos equivalente

$$R_{eq} = \frac{2.5 \text{ V}}{1.56 \mu A} = 1600 \Omega$$



La tensione in C sale linearmente fino a 2.5 V, poi il mos equivalente entra in zona ohmica e la tensione diventa esponenziale, con

$$\tau = R_{eq} C = 6.4 \text{ ns}$$

$$I_0 \cdot t_1 = C (3.3 - 2.5)$$

$$t_1 = \frac{4 \cdot 10^{-12} \cdot 0.8}{1.56 \cdot 10^{-3}} = 2.05 \text{ ns}$$

Calcoliamo il tempo di scarica esponenziale fino alla tensione di soglia ($= \frac{V_{DD}}{2} = 1.65 \text{ V}$)

$$2.5 e^{-\frac{t_2}{\tau}} = 1.65 \text{ V} \quad t_2 = 2.65 \text{ ns}$$

$$t_{HL} = t_1 + t_2 = 4.70 \text{ ns}$$

c) Inserendo la resistenza $R = 1k\Omega$ tra C e il MOS equivalente, si genera una caduta di tensione su R che porta il MOS equivalente a lavorare sempre in zona ohmica per tutto il tempo di scarica.

Fatti $\Delta V_R = I_0 \cdot R = 1.56 V$

$$V_{DS} = 3.3 - 1.56 = 1.74 V < V_{DS_{sat}} = 2.5 V$$

C si scarica esponenzialmente con

$$\tau = C (R_{eq} + R) = 4 \cdot 10^{-12} \cdot 2.6 \cdot 10^3 = 10.4 ns$$

calcoliamo il tempo di scarica fino alla tensione di soglia

$$1.65 V = 3.3 V e^{-\frac{t_{HL}}{\tau}}$$

$$t_{HL} = 7.2 ns$$

Esercizio 3

a) Configurazione non invertente con $G = 1 + \frac{R_f}{R} = 10$

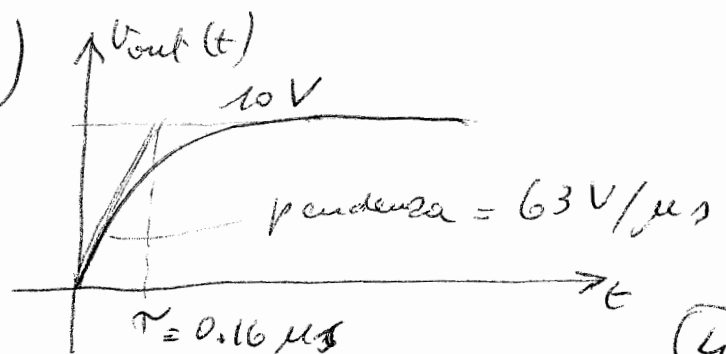
Banda passante della configurazione

non invertente $BW = \frac{GBWP}{G} = 1 MHz$

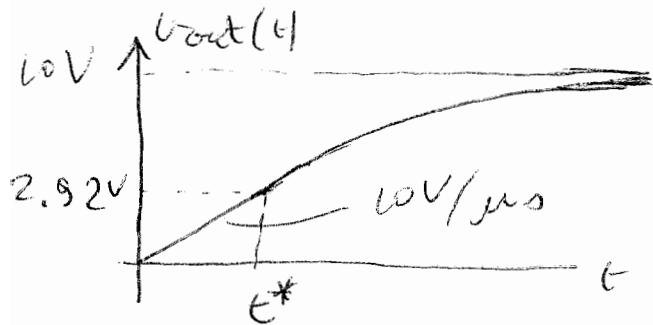
τ del Polo dell'amplificatore non invertente $\tau = \frac{1}{2\pi BW} = 0.16 \mu s$

Risposta al gradino esponenziale con cost. tempo = τ

$$V_{out}(t) = 10 (1 - e^{-t/\tau})$$



b) Con $SR = 10 \text{ V}/\mu\text{s}$ la risposta del punto a) cambia, non essendo più ampiezze pendenze in unità riprovi a $10 \text{ V}/\mu\text{s}$.



L'unità sale con $10 \text{ V}/\mu\text{s}$ fino a t^* , poi sale esponenzialmente come in a).

Calcolo di t^*

$$\frac{dV_{out}(t^*)}{dt} = 10 \text{ V}/\mu\text{s} \quad t^* = 0,29 \mu\text{s}$$

$$V_{out}(t^*) = 2,92 \text{ V}$$

c) $I_0 = 1 \text{ mA}$

d) $R_L = \frac{10 \text{ V}}{2 \text{ mA}} = 5 \text{ k}\Omega$, massima R_L utilizzabile

Esercizio 4

a) $G = \frac{5 \text{ V}}{100 \text{ mV}} = 50 \Rightarrow 1 + \frac{R_2}{1 \text{ k}\Omega} = 50 \quad R_2 = 49 \text{ k}\Omega$

b) $1 \text{ LSB} = \frac{10 \text{ V}}{1024} = 9,76 \text{ mV} (\approx 10 \text{ mV})$

$\Delta Q_{inettate} = C_M \cdot \Delta V$ dove $\Delta V \cdot G < 0,5 \text{ LSB}$

da cui $\Delta V \leq 97,6 \mu\text{V} \Rightarrow \Delta Q_{inett.} = 4,88 \cdot 10^{-17} \text{ C} \approx 0,05 \text{ fC}$

c) $I_{bias}^+ \cdot 2 \text{ k} = 0,4 \text{ mV} = V_{errore in}$

$V_{errore out} = V_{errore in} \cdot 50 = 20 \text{ mV} \approx 2 \text{ LSB}$

(5)