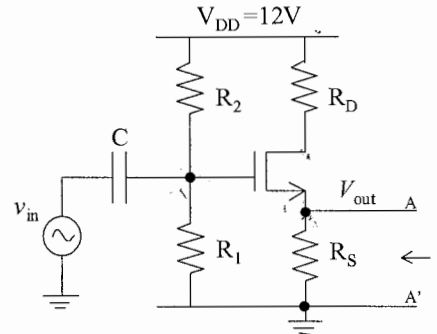


Indicare chiaramente la domanda a cui si sta rispondendo. Ad esempio 1a) ...

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

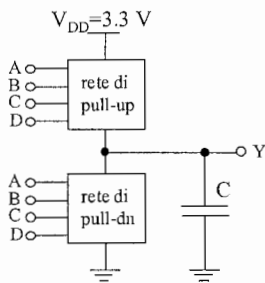


Fig.2a

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

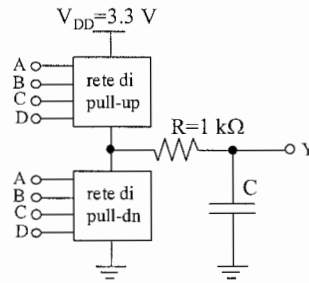


Fig.2b

- 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 operazionale a transitorio esaurito?
- Se l'amplificatore operazionale ha una corrente massima di  $3\text{ mA}$ , 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? ( $R=1\text{ k}\Omega$ )

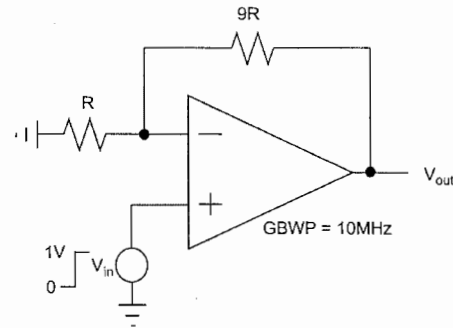
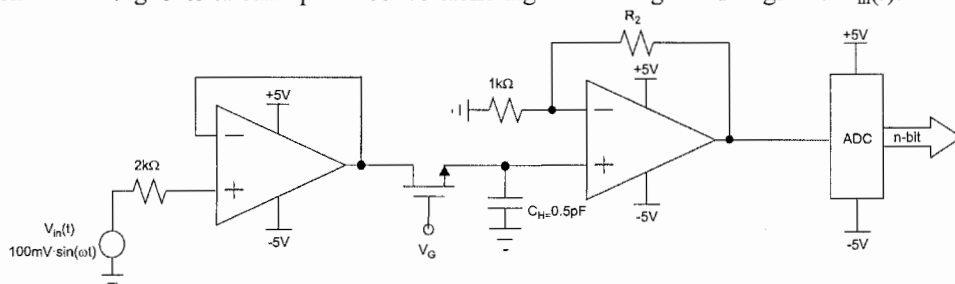


Fig.3

**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 operazionale 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.

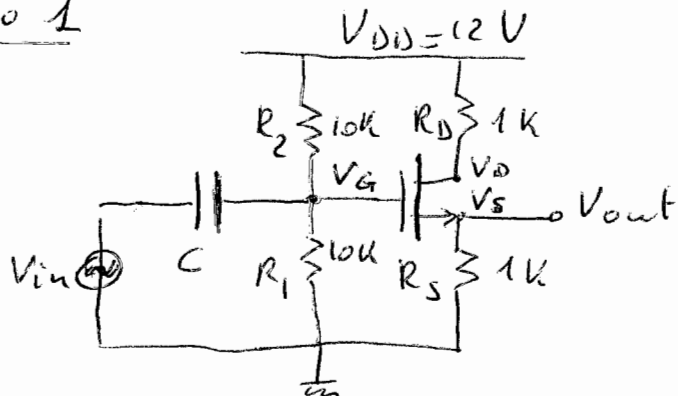
# Fondamenti di Elettronica

Appello del 14/07/05

Traccia della soluzione della prova scritta

## Esercizio 1

a)



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

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

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

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

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

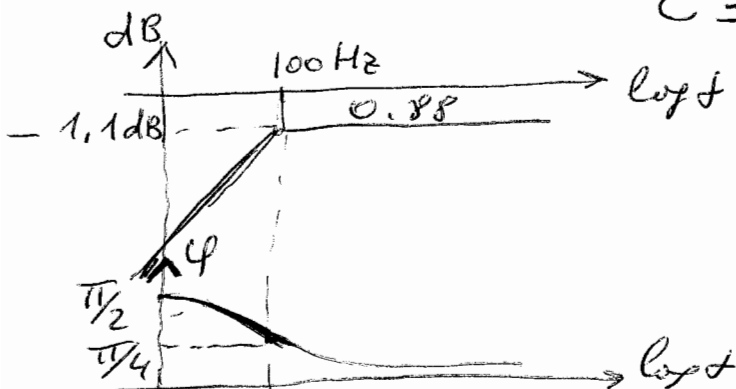
$$g_m = 8 \text{ mA/V} \quad \frac{1}{g_m} = 125 \Omega$$

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

c) Posizioniamo il polo <sup>almeno</sup>  $\omega_p$  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

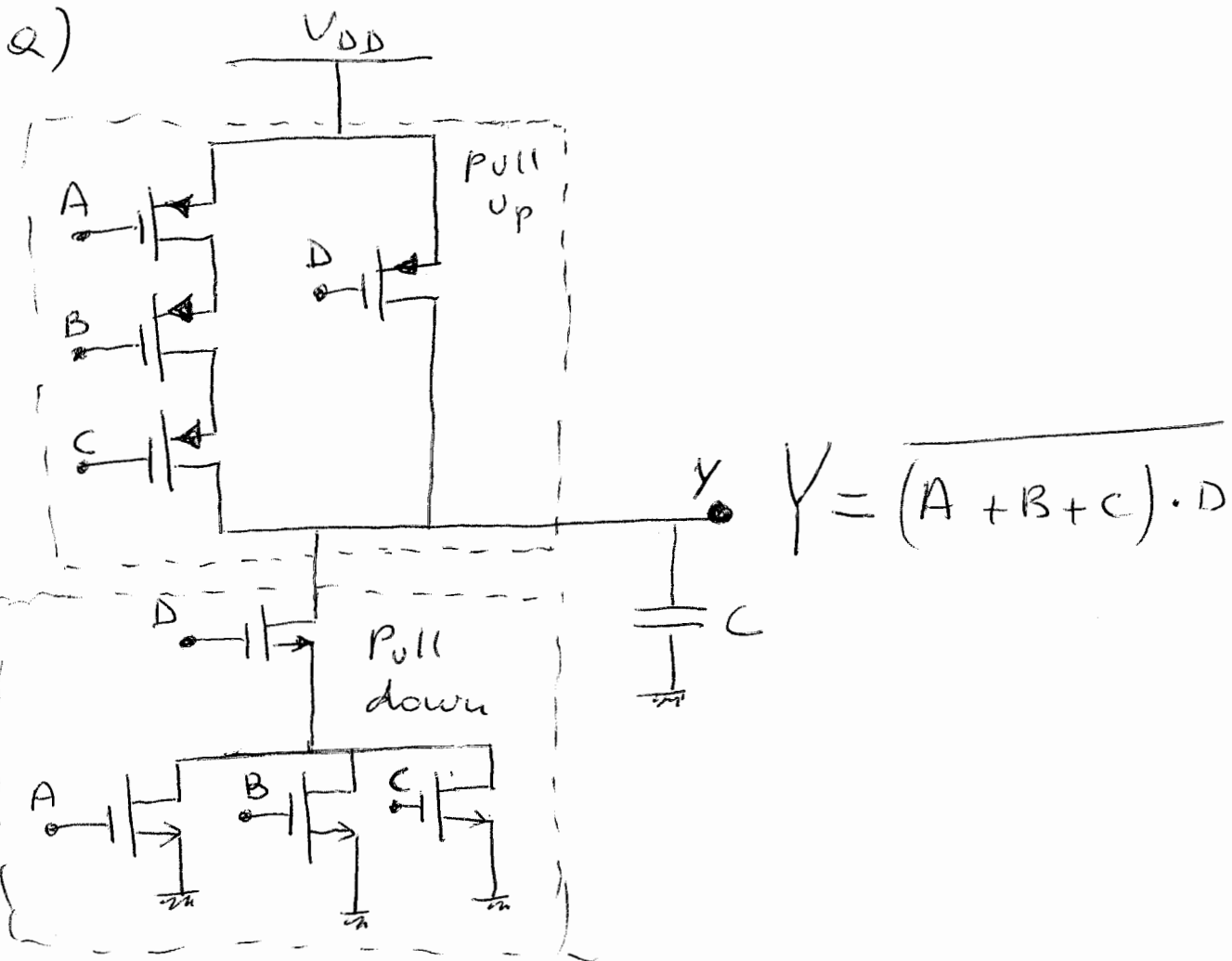
c) Avendo posto  $f_p$  a 100 Hz, a valle di  $C$   $V_{in}$  viene attenuato di un fattore 10, quindi  $V_g = \frac{10 V_{in}(2\pi \cdot 100 \text{ Hz})}{10}$

quindi

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

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

## Esercizio 2)

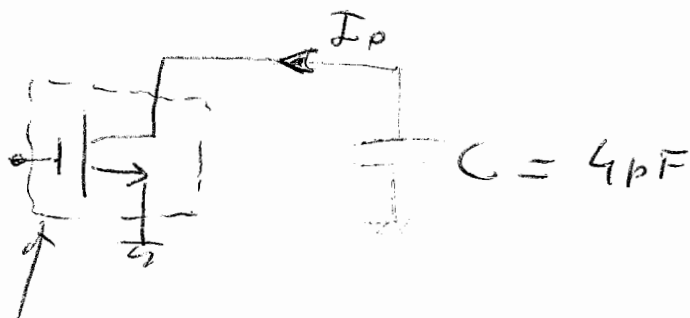


b) La transizione data da passare  $Y$  da H a L: il condensatore  $C$  si carica attraverso la serie dei due nMOS D e B, serie di portanti rappresentate con un unico MOS equivalente.

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

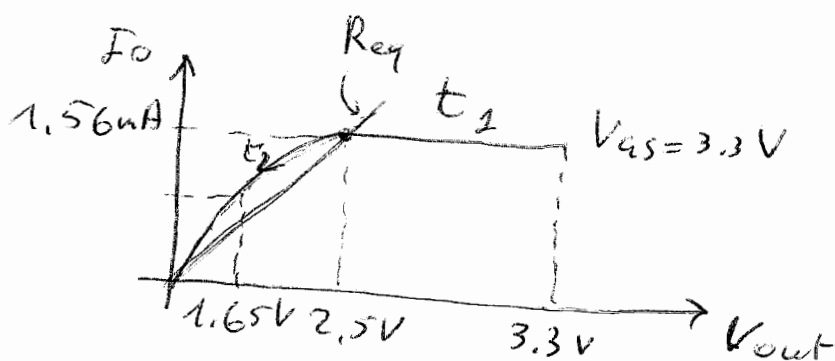
$$I_0 = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_{eq} (V_{GS} - V_T)^2 = 1.56 \mu A$$

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



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 carica 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  $G = 1 + \frac{R_f}{R} = 10$

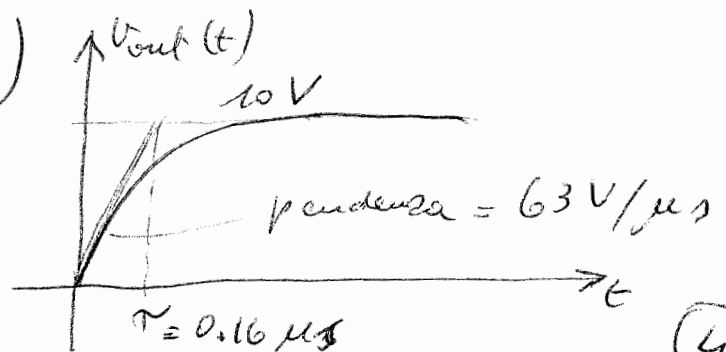
Banda passante della configurazione

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

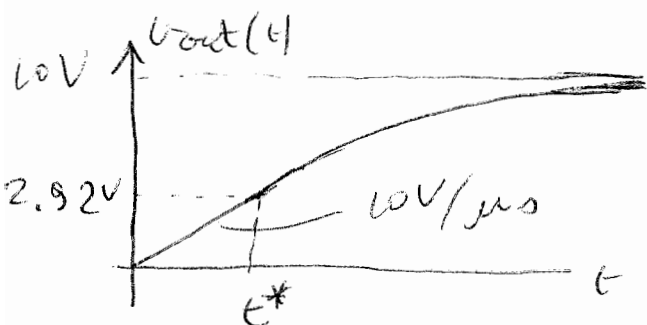
$\tau$  del Polo dell'amplificatore non invertente  $\tau = \frac{1}{2\pi BW} = 0.16 \mu s$

Risposta al gradino esponenziale con cost. tempo =  $\tau$

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



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



L'uscita 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)