

# Fondamenti di Elettronica - Ingegneria Elettronica - a.a. 2008/09

## Prima prova in itinere – 21 novembre 2008 – Traccia di soluzione

### Esercizio 0

#### a) Andamento temporale della tensione di uscita $V_{out}$

La costante di tempo del circuito è pari a

$$\tau = (R_1 + R_2)C = 1.98 \mu s$$

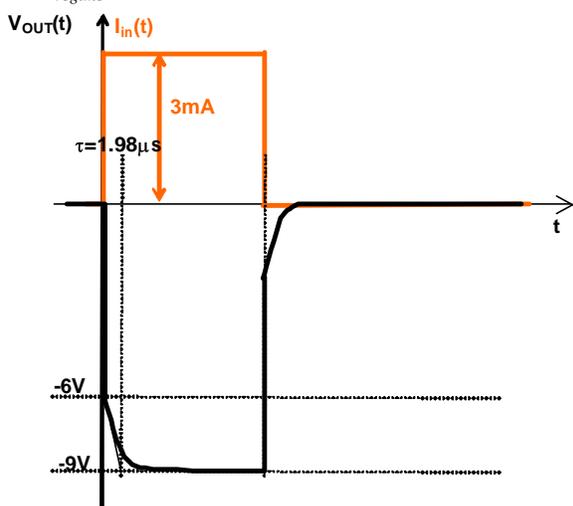
per cui la forma d'onda di uscita va a regime entro il tempo  $\Delta T$ . Posso applicare il principio di sovrapposizione degli effetti poiché il circuito è lineare. Ovviamente  $V_1$  non dà alcun contributo. Anche la tensione  $V_2$  non dà alcun contributo a  $V_{out}$  poiché è una tensione continua, il condensatore è, quindi, assimilabile ad un circuito aperto e la tensione  $V_{out}$  è prelevata rispetto a massa. Consideriamo ora la corrente  $I_{in}$ . Sul fronte la capacità non può variare istantaneamente la tensione ai suoi capi, perciò il contributo della sola  $I_{in}$  alla tensione di uscita è pari a:

$$V_{out}(0^+) = -I_{in}(R_1 // R_2) = -6V$$

Per determinare l'andamento completo della tensione di uscita calcoliamo il valore dell'uscita a regime.

Il valore di tensione cui va a regime, sempre considerando il solo generatore di corrente  $I_{in}$  si ottiene considerando la capacità un circuito aperto:

$$V_{out}|_{regime} = -I_{in,max} R_1 = -9V$$



### Esercizio 1

#### a) Carica immagazzinata con $\Delta T = 100 \mu s$

A regime la capacità è un circuito aperto, per calcolare la carica immagazzinata su di essa è sufficiente conoscere la tensione ai capi della capacità e poi applicare la relazione  $Q = C V$ .

A regime la tensione ai capi della capacità è dovuta al solo generatore  $V_2$  ed è, pertanto, pari a  $1 V$ . La carica immagazzinata nella capacità è, quindi, pari a

$$Q = CV = 220 pF \cdot 1V = 220 pC$$

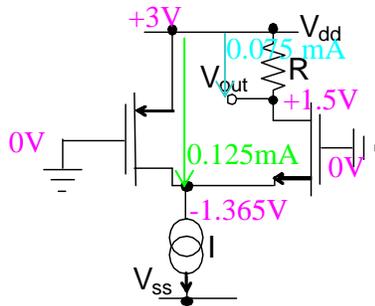
#### b) Carica immagazzinata con $\Delta T = 1 \mu s$

Poiché siamo interessati alla carica immagazzinata a regime, non importa la durata dell'impulso, pertanto la carica immagazzinata è comunque pari a  $220 pF$ .

### Esercizio 2

#### a) Polarizzazione

La capacità è un circuito aperto, il generatore di tensione di segnale è spento e, quindi, è un corto circuito. Ipotizziamo i MOSFET in zona di saturazione.



I transistori operano in zona di saturazione e le transconduttanze valgono:

$$g_{m,1} = 2k_p(V_{GS,1} - V_{Tp}) = 0.1mS$$

$$g_{m,2} = 2k_n(V_{GS,2} - V_{Tn}) = 0.173mS$$

### b) Trasferimento $V_{out}/V_{in}$ a bassa frequenza

$$i_{M1} = g_{m,1}v_{in} = -i_{M2}$$

Quindi il trasferimento ingresso-uscita di piccolo segnale a bassa frequenza risulta pari a

$$\left. \frac{v_{out}}{v_{in}} \right|_{LF} = -g_{m,1}R = -2$$

### c) dimensionamento capacita' C

Il condensatore C introduce un polo con costante di tempo dato dal prodotto della capacita' del condensatore per la resistenza in parallelo ai suoi morsetti:

$$\tau = C \frac{1}{g_{m,2}}$$

e nessuno zero al finito. Pertanto il circuito sara' in grado di amplificare i segnali con frequenza inferiori a una decade prima della frequenza del polo:

$$f_{signal,max} \leq \frac{f_p}{10} = \frac{1}{2\pi\tau} \frac{1}{10}$$

da cui possiamo ricavare il valore della capacita':

$$C \leq \frac{g_{m,2}}{2\pi f_{signal,max}} \frac{1}{10} = 1.84pF$$

### d) resistenza finita generatore di corrente

Possiamo approssimativamente calcolare la corrente che scorre nella resistenza finita del generatore di corrente ipotizzando che questa sia trascurabile rispetto alla corrente I.

$$I_{r0} = \frac{V_{s,2} - V_{ss}}{r_0} = 14\mu A$$

Tale corrente risulterebbe pari al 7% della corrente del generatore I e, quindi, possiamo in prima approssimazione affermare che la polarizzazione del circuito non subisca variazioni sostanziali. Effettivamente, pero', tutta la corrente che fluisce in  $r_0$  fluira' in M2, poiche' M1 ha  $V_{GS}$  fissata e, quindi, per affermare che sia trascurabile dobbiamo confrontarla con i 75  $\mu A$  di M2 di cui e' il 19%, non esattamente trascurabile. La dipendenza come la radice quadrata della  $V_{GS}$  dalla corrente del transistor attenua un po' tale variazione.

Per il guadagno di piccolo segnale occorre calcolare la partizione tra la  $r_0$  e la  $1/g_{m,2}$ .

$$\left. \frac{v_{out}}{v_{in}} \right|_{LF} = -g_{m,1} \frac{r_0}{\frac{1}{g_{m,2}} + r_0} R = -1.9$$

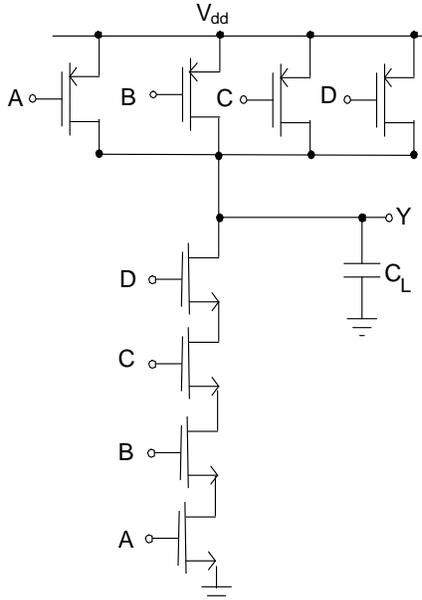
## Esercizio 3

### a) Rete di pull-up e pull-down

Per prima cosa occorre minimizzare l'espressione della funzione logica svolta dal circuito che, quindi, risulta:

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

Pertanto, la funzione logica svolta e' quella di una NAND a quattro ingressi e la rete logica è la seguente (per la giustificazione delle scelte effettuate si veda il libro di testo – naturalmente la risposta qui data entro parentesi non sarebbe soddisfacente nel corso di un compito scritto ☺!!):



### b) Intervallo tensioni che garantiscono che il pMOSFET equivalente operi in saturazione

L'inverter equivalente e' costituito da un pMOSFET equivalente caratterizzato da un fattore di forma pari a

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{p,eq} = 4 \left(\frac{W}{L}\right)_p = 20$$

e da un nMOSFET equivalente caratterizzato da un fattore di forma pari a

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{n,eq} = \frac{1}{4} \left(\frac{W}{L}\right)_n = \frac{5}{4}$$

Perche' il pMOSFET equivalente operi in saturazione, innanzitutto esso deve essere acceso, quindi  $I_N = '0'$  (zero logico, corrispondente a 0V. Perche' il pMOSFET equivalente sia anche saturo occorre che  $V_{GD} > V_{Tp}$ .

$$V_{GD} = 0 - Y$$

da cui

$$Y < -V_{Tp} = 0.45 \text{ V}$$

Quindi la tensione di uscita deve essere compresa tra 0 e 0.45V per garantire la saturazione del pMOSFET equivalente.

### c) Tempo necessario perche' il pMOSFET equivalente esca dalla saturazione

Per calcolare il tempo necessario perche' il pMOSFET equivalente esca dalla zona di saturazione calcoliamo il tempo necessario perche' la tensione ai capi della capacita' raggiunga gli 0.45 V (calcolati al punto precedente). Si ricordi che poiche' il pMOSFET sta operando in saturazione, la capacita' e' caricata a corrente costante pari alla corrente di saturazione del pMOSFET equivalente.

$$\Delta T = \frac{Q_{0.45V}}{I_{sat_p}} = \frac{C_L \cdot 0.45V}{\frac{1}{2} \mu_p C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_{p,eq} (V_{GS} - V_{Tp})^2} = 3.2ns$$

### Esercizio 4

Perche' si accenda il diodo  $D_1$  occorre che la tensione ai suoi capi sia di almeno 0.7 V, secondo la polarita' corretta, pertanto  $D_1$  e' on se la tensione al terminale positivo di  $D_1$  e' maggiore di 2.7 V.

Perche' il diodo  $D_2$  sia acceso occorre che la tensione ai suoi capi sia di almeno 0.7V, secondo la polarita' corretta, pertanto  $D_2$  e' on se la tensione al terminale positivo di  $D_2$  e' minore, o, al piu' uguale a -0.7V. Si puo' concludere, quindi, che i due diodi non saranno mai contemporaneamente accesi. Questo semplifica notevolmente i calcoli.

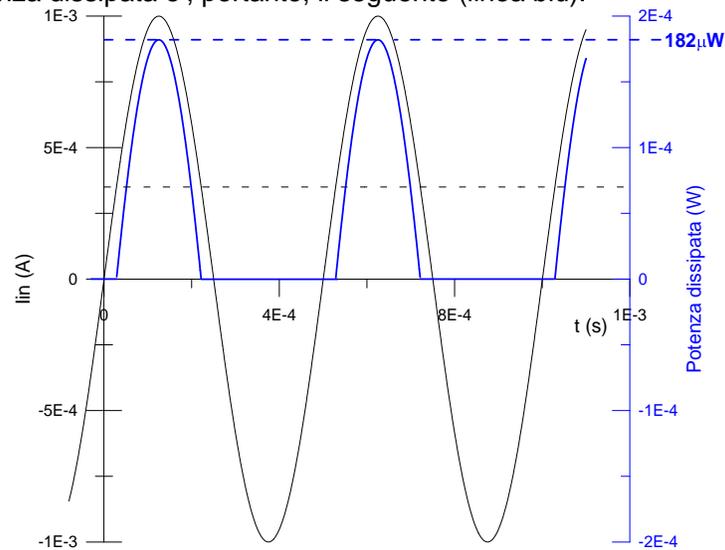
Il diodo  $D_2$  dissipa potenza solo quando e' acceso. Calcoliamo per quali correnti di ingresso la tensione al terminale positivo di  $D_2$  e' pari a -0.7V, cio' accade quando  $I_{in}$  e' pari a 0.35 mA.

Calcoliamo la corrente che circola nel diodo  $D_2$  quando e' on. Sostituiamo al diodo  $D_2$  un generatore di tensione da 0.7 V con la polarita' corretta e al diodo  $D_1$ , spento, un circuito aperto. Appliciamo, quindi, il principio di sovrapposizione degli effetti (ora possiamo farlo perche' il circuito e' lineare):

$$I_{D2} = \frac{-0.7V}{R_2 + R_3} + \frac{R_2}{R_2 + R_3} I_{in}$$

Il valore massimo di tale corrente (in corrispondenza alla massima corrente di ingresso) e' pari a 260  $\mu$ A. Pertanto la massima potenza dissipata e' pari a 182  $\mu$ W.

Il grafico della potenza dissipata e', pertanto, il seguente (linea blu):



This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.