

Fondamenti di Elettronica – Ing. AUTOMATICA - AA 2014/2015 - 1 ottobre 2015

Esercizio A

Si consideri il circuito digitale di figura.

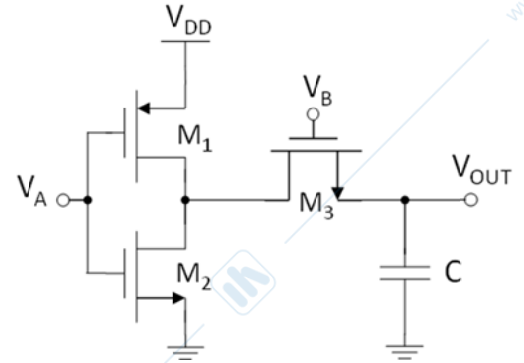
$k_1=1\text{mA/V}^2$; $k_2=2\text{mA/V}^2$; $k_3=5\text{mA/V}^2$, $V_T=0.5\text{V}$, $C=10\text{pF}$; $V_{DD}=3.3\text{V}$

1) Determinare la tensione di uscita V_{OUT} per i seguenti casi:

- a. $V_A=V_B=0\text{V}$,
- b. $V_A=0\text{V}$, $V_B=V_{DD}$;
- c. $V_A=V_{DD}$, $V_B=0\text{V}$;
- d. $V_A=V_B=V_{DD}$;

assumendo in ciascun caso il condensatore C inizialmente scarico.

- 2) Stimare l'istante t^* a cui V_{OUT} raggiunge il livello $V_{DD}/2$ a seguito della transizione $V_A=0\text{V} \rightarrow V_{DD}$ con V_B costante a V_{DD} .
- 3) Siano A e B dei clock con frequenza 1MHz e 200kHz, rispettivamente. Tracciare l'andamento temporale qualitativo dell'uscita tra 0 e $10\mu\text{s}$ assumendo i fronti dei due clock allineati a $t=0\text{s}$. Calcolare inoltre la potenza dissipata dal circuito.
- 4) Si assuma ora che i transistori MOS in regime di interdizione (off) abbiano una corrente di perdita modellizzabile con una resistenza tra source e drain $R_p=10\text{G}\Omega$. Tracciare il diagramma temporale quotato dell'uscita a seguito della transizione ($V_A=0\text{V}$, $V_B=V_{DD}$) \rightarrow ($V_A=V_{DD}$, $V_B=0\text{V}$) (suggerimento: si considerino i transistori MOS accesi in regime ohmico).

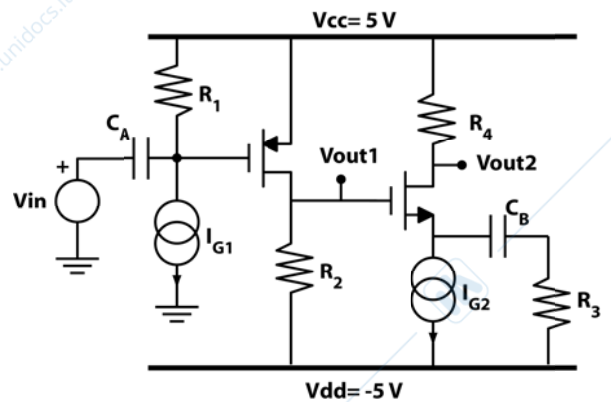


Esercizio B

Si consideri il circuito in figura:

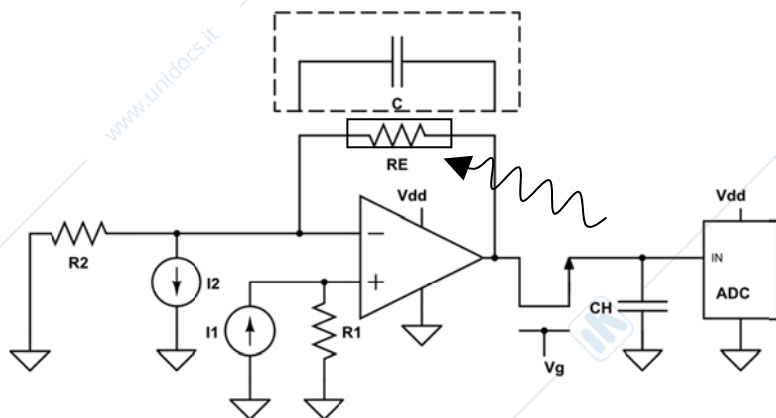
$R_1=5\text{ k}\Omega$ $I_{G1}=240\text{ }\mu\text{A}$ $V_{Tn}=1\text{V}$
 $R_2=12.5\text{ k}\Omega$ $I_{G2}=150\text{ }\mu\text{A}$ $k_n=0.6\text{mA/V}^2$
 $R_3=2\text{ k}\Omega$ $C_A=2\text{ }\mu\text{F}$ $|V_{Tp}|=0.8\text{V}$
 $R_4=20\text{ k}\Omega$ $C_B=5\text{ nF}$ $|k_p|=2\text{mA/V}^2$

- a) Determinare la polarizzazione del circuito (corrente in tutti i rami, tensione su tutti i nodi).
- b) Determinare il guadagno di piccolo segnale del primo stadio $G_1(s)=V_{OUT1}/V_{IN}$ a media frequenza (C_A chiusa, C_B aperta) e ad alta frequenza (C_A e C_B chiuse)
- c) Determinare il guadagno di piccolo segnale complessivo $G(s)=V_{OUT2}/V_{IN}$ a media frequenza e ad alta frequenza.
- d) Rappresentare in un diagramma di Bode quotato l'andamento del modulo del guadagno di piccolo segnale di $G(s)=V_{OUT2}/V_{IN}$.



Esercizio C

Il circuito in figura è usato per misurare l'energia emessa da una sorgente di fotoni. Tale scopo è ottenuto tramite il resistore RE, la cui resistenza è dipendente dall'energia secondo la relazione data.



Dati:
 $V_{dd}=5\text{ V}$
 $I_1=I_2=2\text{ mA}$
 $R_2=1\text{ k}\Omega$, $R_1=500\text{ }\Omega$
 $RE=R_0+\alpha E$ con $R_0=1\text{ k}\Omega$ e $\alpha=0.01\Omega/\text{eV}$
 $C=1\text{ nF}$
 $V_t=0.6\text{ V}$
 Numero bit ADC=10.

Si trascuri inizialmente la capacità C e si considerino l'OPAMP e l'interruttore MOS ideali.

- a) Determinare l'espressione della tensione di ingresso all'ADC in funzione dell'energia. Calcolare quindi l'intervallo di energie che è possibile campionare e l'LSB dell'ADC espresso in elettronvolt (eV)
- b) Calcolare l'effetto massimo, in Volt e in unita' LSB, dovuto ad un offset $V_{os}=10\text{mV}$ e a correnti di bias $I_b=100\text{nA}$ dell'OPAMP
- c) Dimensionare i valori della tensione V_g , con un margine di 200 mV, per avere un corretto funzionamento del S&H

Collegare adesso la capacità C a ponte della resistenza RE e si consideri che l'OPAMP abbia $A_o=10^6$ e $GBWP=10\text{ MHz}$:

- d) Valutare la stabilità del circuito quando l'interruttore MOS è aperto e l'energia $E=0\text{ eV}$

Traccia soluzione

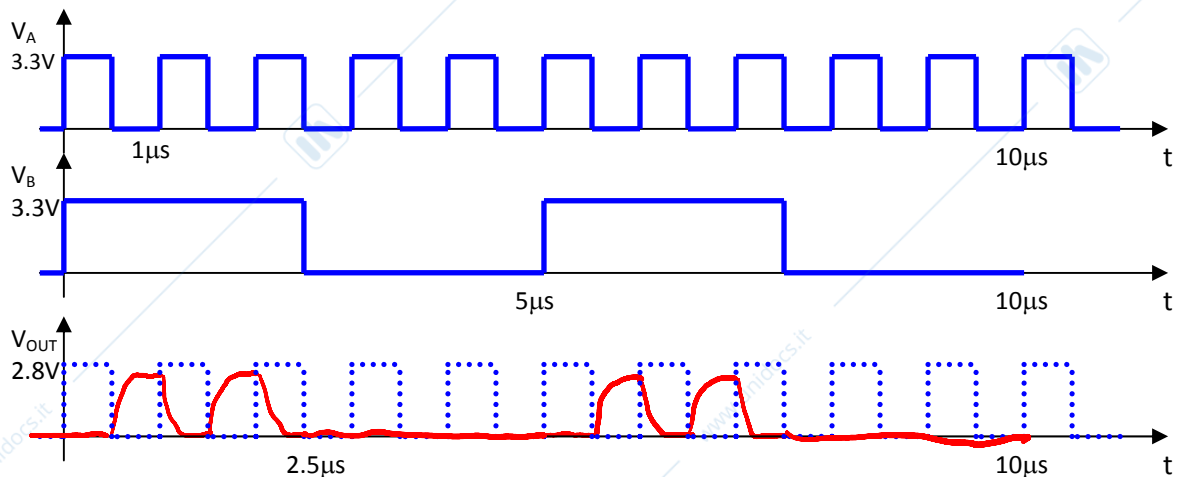
Es. A

1)

V_A	V_B	V_{OUT}
0V	0V	0V
0V	3.3V	2.8V
3.3V	0V	0V
3.3V	3.3V	0V

- 2) Inizialmente il condensatore è carico a 2.8V. Quando avviene la transizione il condensatore è scaricato a 0V dalla serie di M2 e M3. Il transistor equivalente ($k_{eq}=1.43 \text{ mA/V}^2$) opera durante tutto il transitorio in regime ohmico ed è approssimabile con una resistenza $R_{eq}=2.8V/I_{D,sat} = 250\Omega$ con $I_{D,sat}= 11.2\text{mA}$ (corrente inizialmente portata dal transistor equivalente). Imponendo che la scarica esponenziale con $\tau=R_{eq}\cdot C= 2.5\text{ns}$ raggiunga $V_{DD}/2$ partendo da 2.8V si trova il tempo richiesto: $t_{V_{DD}/2} \approx -\tau \cdot \ln(1.65/2.8) = 1.3\text{ns}$

3)



Il condensatore viene caricato e scaricato tra 0V e 2.8V due volte ogni 5µs portando a un consumo di potenza di:

$$P_d = V_{DD} \cdot C \cdot 2.8V \cdot \frac{2}{5\mu s} = 37\mu W$$

- 4) La tensione di uscita è inizialmente a 2.8V. A seguito della transizione il transistor M_3 si spegne ed è modellizzabile da una resistenza R_p che collega C all'inverter. Dato che le resistenze R_p di perdita di M_1 e M_3 sono molto maggiori della resistenza di canale di M_2 (89Ω) il transitorio di scarica è approssimabile con un andamento esponenziale da 2.8V a 0V con costante di tempo $\tau = R_p \cdot C = 0.1\text{s}$.