

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:

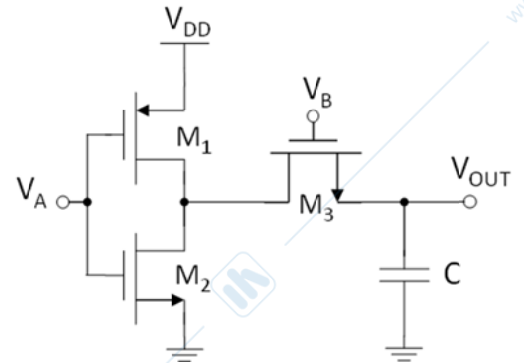
- $V_A=V_B=0\text{V}$ ,
- $V_A=0\text{V}$ ,  $V_B=V_{DD}$ ;
- $V_A=V_{DD}$ ,  $V_B=0\text{V}$ ;
- $V_A=V_B=V_{DD}$ ;

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).

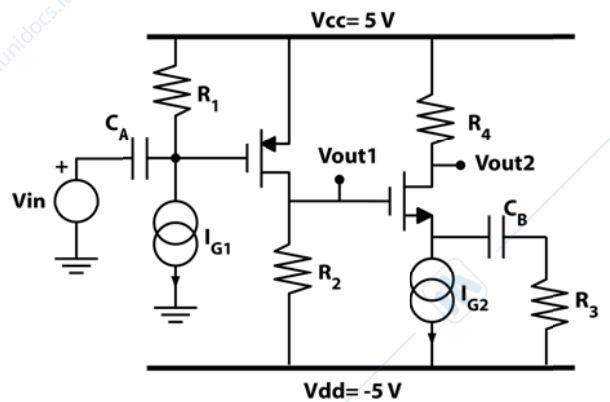


**Esercizio B**

Si consideri il circuito in figura:

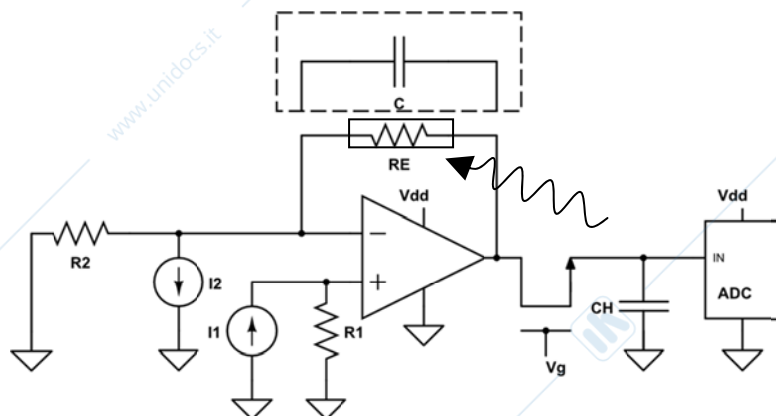
$R_1=5\text{ k}\Omega$        $I_{G1}=240\text{ }\mu\text{A}$        $V_{Tn}=1\text{V}$   
 $R_2=12.5\text{ k}\Omega$      $I_{G2}=150\text{ }\mu\text{A}$        $k_n=0.6\text{mA/V}^2$   
 $R_3=2\text{ k}\Omega$          $C_A=2\text{ }\mu\text{F}$          $|V_{Tp}|=0.8\text{V}$   
 $R_4=20\text{ k}\Omega$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

- Determinare la polarizzazione del circuito (corrente in tutti i rami, tensione su tutti i nodi).
- 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)
- Determinare il guadagno di piccolo segnale complessivo  $G(s)=V_{OUT2}/V_{IN}$  a media frequenza e ad alta frequenza.
- 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.

- 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)
- 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
- 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  $GBWP=10\text{ MHz}$  :

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

## Traccia soluzione

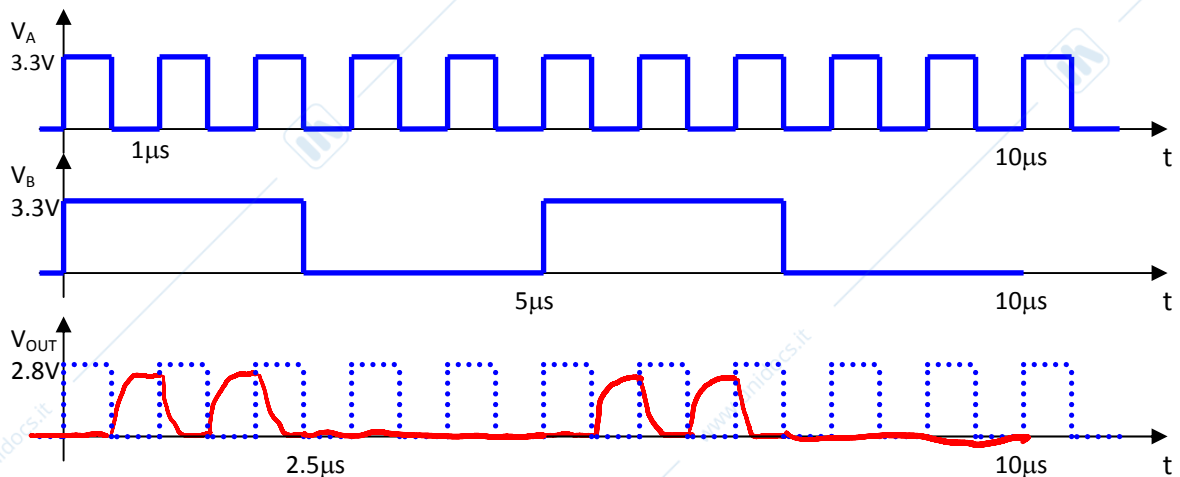
Es. A

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  $5\mu\text{s}$  portando a un consumo di potenza di:

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

- 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  $M_2$  ( $89\Omega$ ) il transitorio di scarica è approssimabile con un andamento esponenziale da 2.8V a 0V con costante di tempo  $\tau = R_p \cdot C = 0.1\text{s}$ .