

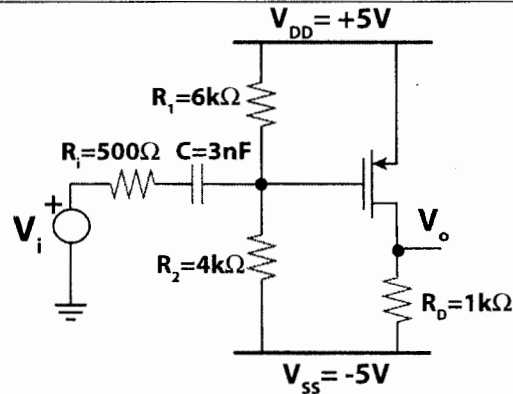
Fondamenti di Elettronica – Ingegneria Automatica e Informatica

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

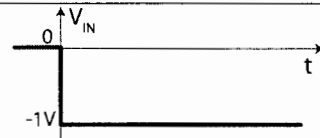
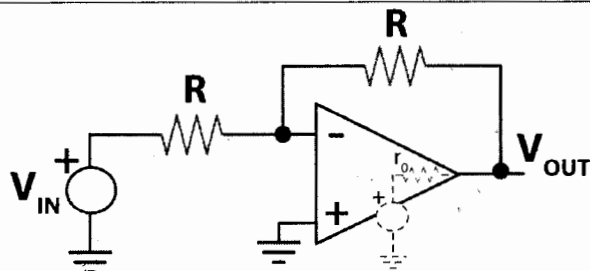
Es. 1

Si consideri il circuito in figura in cui il p-MOSFET ha $k_p = 0.25 \text{ mA/V}^2$, $V_T = -2 \text{ V}$.

- Polarizzare il circuito.
- Calcolare il guadagno V_o/V_i in funzione della frequenza e tracciarne i diagrammi di Bode di modulo e fase quotati.
- Si consideri un segnale a gradino in ingresso, di ampiezza $V_i = 20 \text{ mV}$. Calcolare il segnale in uscita e tracciarne l'andamento temporale quotato.
- Si consideri un segnale sinusoidale $V_i = 20 \text{ mV} \cdot \sin(2\pi f t)$, con $f = 100 \text{ kHz}$. Si calcoli il segnale in uscita e se ne tracci l'andamento temporale quotato.



Es. 2



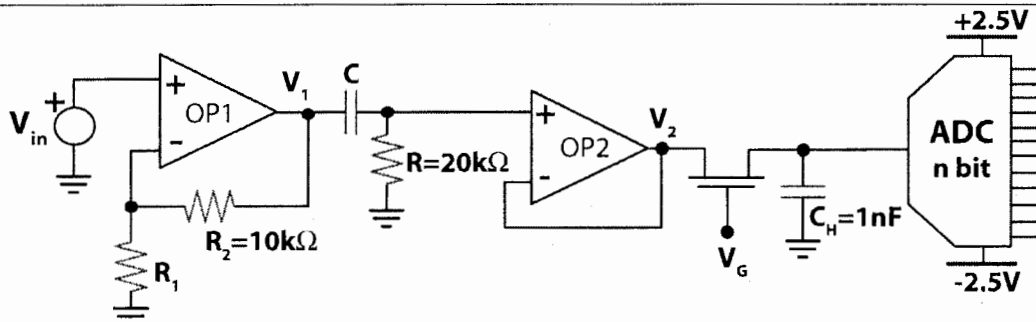
$\text{GBWP} = 1 \text{ MHz}$, $A_0 = 10^5$

$R = 10 \text{ k}\Omega$

Resistenza d'uscita dell'OpAmp $r_o = 100 \Omega$

- Calcolare la risposta al segnale d'ingresso e disegnarne l'andamento nel tempo in un grafico quotato.
- Se l'OpAmp ha uno $\text{SR} = 1 \text{ V}/\mu\text{s}$, il segnale di ingresso V_{IN} può essere considerato un piccolo segnale per l'amplificatore? Giustificare la risposta e commentarla.
- Calcolare la resistenza d'uscita dell'amplificatore.

Es. 3



Con un ADC si vuole convertire digitalmente con una precisione dell'1/1000 la sola componente sinusoidale di un segnale $V_{\text{in}} = A \cdot \sin(2\pi f t) + B$, dove $A = 100 \text{ mV}$, $B = 100 \text{ mV}$, $f = 100 \text{ kHz}$.

- Supponendo di disporre di amplificatori operazionali ideali e assumendo $C = \infty$, dimensionare R_1 e il numero di bit n dell'ADC in modo da ottenere la precisione richiesta. Quanto vale l'LSB riportato in ingresso?
- Assumendo ora $C = (2.5/\pi) \text{ nF}$, quanto vale in termini di LSB l'errore introdotto dalla rete RC? Come si può rimediare a tale errore?
- Assumendo per l'n-MOS $V_T = 1 \text{ V}$, si trovi la condizione cui deve soddisfare la tensione V_G affinché il MOSFET presenti una resistenza infinita nella fase di Hold.
- Supponendo che l'ADC abbia una $R_{\text{IN}} = 1 \text{ M}\Omega$, qual è il massimo tempo di Hold T_H compatibile con un errore di 1 LSB?
- Quale deve essere la minima frequenza di campionamento f_{Cmin} di V_{in} ? Assumendo per T_H il valore calcolato al punto d), trovare il massimo valore dell'intervallo di tempo T_S in cui il MOSFET resta acceso, che sia compatibile con f_{Cmin} .

Es. 4

- Disegnare lo schema circuitale di una cella di memoria RAM statica in tecnologia CMOS e descriverne sinteticamente il funzionamento.
- Mostrare che la cella disegnata ha due punti di lavoro stabili.

FdE - Appello del 1 settembre 2008

Traccia della soluzione

1a) $V_g = V_{SS} + \frac{V_{DD} - V_{SS}}{R_1 + R_2} \cdot R_2 = -5 + \frac{10}{10} \cdot 4 = -1 \text{ V}$

$|V_{GS}| = 6 \text{ V}$ $I_d = K_p (|V_{GS}| - |V_T|)^2 = 0.25 \cdot (4)^2 = 4 \text{ mA}$

$V_D = V_O = V_{SS} + I_D R_D = -5 + 4 \cdot 1 = -1 \text{ V}$ Mos satur

$g_m = 2K_p V_{GS} = 0.5 \cdot 4 = 2 \text{ mA/V}$ $1/g_m = 500 \Omega$

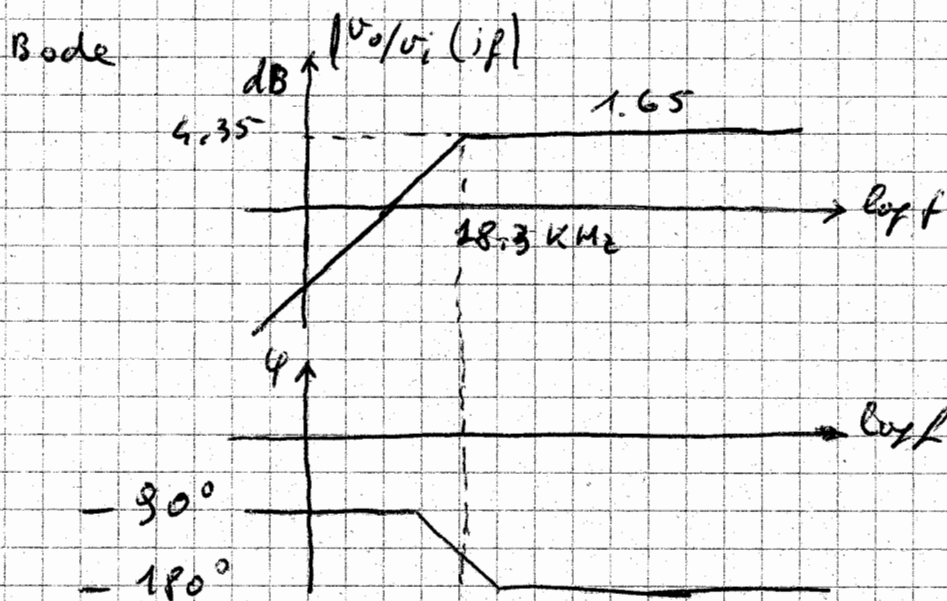
1b) $V_O = -g_m R_D V_{GS} = -g_m R_D V_g$

$V_g = \frac{V_i \cdot (R_1 // R_2)}{R_i + \frac{1}{sC} + R_1 // R_2} = V_i \frac{s R_1 // R_2 C}{1 + sC(R_i + R_1 // R_2)}$

$G(s) = \frac{V_O(s)}{V_i(s)} = -g_m R_D \frac{s R_1 // R_2 C}{1 + sC(R_i + R_1 // R_2)}$

$\tau = (R_i + R_1 // R_2) C = (0.5 + 2.5) \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^{-8} = 8.7 \mu\text{s}$

$\left| \frac{V_O}{V_i}(jf) \right|_{f \rightarrow \infty} = g_m R_D \frac{R_1 // R_2}{R_i + R_1 // R_2} = 1.65$ $f_p = \frac{1}{2\pi\tau} = 18.3 \text{ kHz}$



1c) $V_O(t) = -1.65 \cdot 20 \cdot 10^{-3} e^{-t/\tau} - 1 \text{ V} = -33 \cdot 10^{-3} e^{-t/\tau} - 1 \text{ V}$

The figure shows a transient response plot of $V_O(t)$ versus time t . The output voltage starts at -1.033 V and decays exponentially towards -1 V. The time constant τ is indicated on the plot.

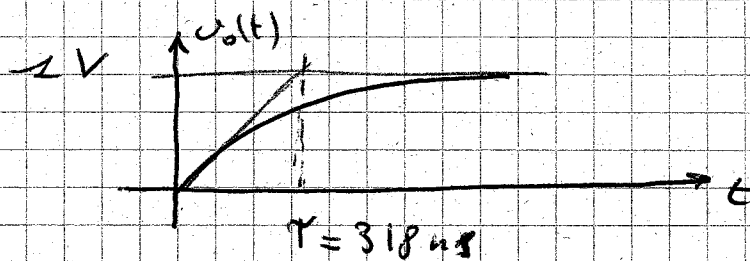
1 d) $v_o(t) = |G(f=100 \text{ kHz})| \cdot 20 \cdot 10^{-3} \text{ mV} (2\pi \cdot 100 \text{ kHz} + \varphi(f=100 \text{ kHz}))$
 dove $|G(f=100 \text{ kHz})| \approx 1.65$ $\varphi(100 \text{ kHz}) = -163^\circ$

2 a) la banda dell'amplificatore invertente con guadagno -1
 è pari a $BW = \frac{GBWP}{2}$ cui corrisponde una $\tau = \frac{1}{2\pi BW}$
 $= 318 \text{ ns}$

L'amplificatore ha però una $T(s) = \frac{G(s)}{1+s\tau}$ dove $G(s) = -1$

la risposta al gradino è quindi di tipo esponenziale
 con costante di tempo τ

$$v_o(t) = G(s) \cdot -1 \text{ V} (1 - e^{-t/\tau}) = 1 \text{ V} (1 - e^{-t/\tau})$$



2 b) la massima pendenza di $v_o(t)$ si ha per $t=0$ e vale
 $\frac{1 \text{ V}}{318 \cdot 10^{-9}} = 3.14 \text{ V}/\mu\text{s} > SR$ quindi la risposta nel
 tempo sarebbe distorta dallo SR

e $v_o(t)$ non può essere considerato un piccolo segnale poiché non
 siamo in presenza di una risposta lineare

2 c) $R_{out} = \frac{R_{open loop}}{1 - G_{loop}(s)} = \frac{R_o // 2R}{1 + \frac{A_o}{2}} \approx \frac{2R_o}{A_o} = 2 \text{ m}\Omega$

$$3a) \quad G = 25 \quad \frac{R_2}{R_1} = 24 \quad R_1 = \frac{10k}{24} = 417\Omega \quad n = 10$$

$$LSB = \frac{5V}{2^{10}} = 4.88 \mu V \quad LSB_{ref. imp.} = \frac{LSB}{G} = 0.195$$

$$3b) \quad T(s) = \frac{V_2}{V_1} = \frac{R}{\frac{1}{sC} + R} = \frac{sRC}{1 + sRC} \quad |T(j\omega)| = \frac{\omega RC}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}$$

$$|T(j\omega)|_{\omega = 2\pi \cdot 100kHz} = 0.995$$

$$\text{A } 100 \text{ kHz il guadagno vale dunque } G(100kHz) = 25 \cdot 0.995 = 24.875$$

$$\text{Errore } \epsilon = 100 \mu V (25 - 24.875) = 12.5 \mu V$$

$$\epsilon_{LSB} = \frac{12.5}{4.88} = 2.56 \text{ LSB}$$

Per rimediare bisogna aumentare il guadagno dell'amplificatore e fare in modo che il nuovo guadagno G' sia tale che

$$G' \cdot 0.995 = 25 \Rightarrow G' = 25.125$$

Per avere il nuovo guadagno possiamo mettere in serie a R_2 un potenziometro da 100Ω e posizionarlo opportunamente



$$3c) \quad \text{Perché il mos non satura occorre che } V_G < V_{C_{min}} + V_E = -2.5 + 1 = -1.5V$$

$$3d) \quad \frac{I_{scarica} \cdot T_{hold}}{C} < 1 \text{ LSB} = 4.88 \mu V$$

$$T_H < \frac{4.88 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-9}}{I_{scarica}}$$

$$I_{scarica} \approx \frac{2.5V}{1M\Omega} \text{ se } T_H \ll RC = 1ms$$

$$T_H \approx \frac{4.88 \cdot 10^{-12}}{2.5 \cdot 10^{-6}} \approx 1.95 \mu s \quad (< RC, \text{ ipotesi su } I_{scarica} \text{ verificata})$$

$$3e) \quad f_{cmin} = 2f = 200kHz \quad T_{comp} = \frac{1}{f_{cmin}} = 5 \mu s$$

$$T_S + T_H \leq T_{comp} \Rightarrow T_S < T_{comp} - T_H \approx 3 \mu s$$