

Sistemi Elettronici, Tecnologie e Misure
Appello del 29/6/2020

Nome:	_____
Cognome:	_____ SOLUZIONE _____
Matricola:	_____

ATTENZIONE

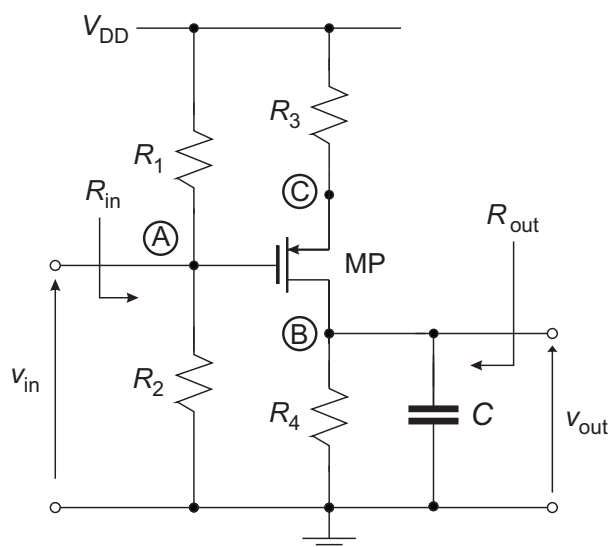
1. Compilare subito questa pagina con nome, cognome e numero di matricola
2. Per i quesiti a risposta multipla, la risposta errata determina la sottrazione di un punteggio pari a metà del valore della risposta esatta
3. Riportare le **risposte esatte** dei quesiti a risposta multipla nella tabella posta all'inizio della relativa sezione
4. Le risposte ai vari quesiti vanno riportate **esclusivamente** nello spazio reso disponibile immediatamente dopo il quesito stesso
5. Si può fare uso di fogli di brutta **bianchi** resi disponibili a cura dello studente. La brutta non deve essere consegnata
6. Non si possono utilizzare libri, appunti o formulari

Domande a risposta multipla

	1	2	3	4	5	6
a						X
b			X			
c	X					
d		X		X	X	

- In un amplificatore invertente basato su operazionale ideale, il resistore che collega il morsetto invertente all'uscita è sostituito da un diodo, con anodo collegato al morsetto invertente e catodo collegato all'uscita. Per $v_{in} > 0$ il circuito che si ottiene si comporta come
 - amplificatore esponenziale invertente
 - integratore invertente
 - amplificatore logaritmico invertente
 - derivatore invertente
- Un transistor nMOS polarizzato in regione di saturazione la transconduttanza di piccolo segnale g_m è esprimibile in funzione delle grandezze nel punto di funzionamento a riposo come:
 - $g_m = \lambda I_D$
 - $g_m = \frac{I_D}{V_{GS}}$
 - $g_m = \frac{I_D}{(V_{GS} - V_{TH})^2}$
 - $g_m = \frac{2I_D}{V_{GS} - V_{TH}}$
- Un amplificatore operazionale con prodotto banda-guadagno pari a 1MHz, resistenze d'ingresso e uscita trascurabili (cioè $R_{in,d} \rightarrow \infty$, $R_{in,cm} \rightarrow \infty$, $R_{out} = 0$), è utilizzato in configurazione *voltage follower*. La banda del *voltage follower* è pari a:
 - 900Hz
 - 1MHz
 - 2MHz
 - 500kHz
- In un comparatore di soglia senza isteresi realizzato a partire da un amplificatore operazionale:
 - è presente retroazione negativa
 - è presente retroazione positiva
 - sono sempre presenti sia retroazione positiva, sia retroazione negativa
 - non è presente alcuna rete di retroazione (circuito ad anello aperto)
- Per ricavare il circuito equivalente per il piccolo segnale di un amplificatore:
 - i generatori di tensione costanti nel tempo possono essere sostituiti con circuiti aperti
 - i condensatori possono essere sempre sostituiti da circuiti aperti
 - è necessario assumere che i segnali applicati siano in banda
 - è necessario conoscere il punto di funzionamento a riposo dei dispositivi non lineari
- Un amplificatore di corrente è ottenuto collegando in cascata un amplificatore di transresistenza descritto dai parametri $R_{m,1}$, $R_{in,1}$, $R_{out,1}$, (tutti finiti e non nulli) ed un amplificatore di transconduttanza descritto dai parametri $g_{m,2}$ finito e non nullo, $R_{in,2} \rightarrow \infty$, $R_{out,2} \rightarrow \infty$. L'amplificazione di corrente complessiva A_i della cascata dei due stadi è data da:
 - $R_{m,1}g_{m,2}$
 - $R_{m,1}g_{m,2} \frac{R_{in,1}}{R_{in,1} + R_{out,1}}$
 - $\frac{g_{m,2}R_{m,1}}{1 + g_{m,2}R_{out,1}}$
 - $R_{in,1}g_{m,2}$

Esercizio n. 1



$$\begin{aligned}
 R_1 &= 500\text{k}\Omega & \text{per MP:} \\
 R_2 &= 500\text{k}\Omega & \beta = 400\mu\text{A/V}^2 \\
 R_3 &= 50\text{k}\Omega & V_{TH} = 0.7\text{V} \\
 R_4 &= 500\text{k}\Omega & \lambda = 0
 \end{aligned}$$

$$C = \frac{100}{2\pi} \text{ pF}$$

$$V_A = 900\text{mV}$$

$$V_B = 1\text{V}$$

$$V_C = 1.7\text{V}$$

$$V_{DD} = 1.8\text{V}$$

Con riferimento al circuito in figura:

1. verificare il funzionamento del transistor MP in regione di saturazione;
2. determinarne i parametri di piccolo segnale di MP nel punto di lavoro;
3. assumendo che il condensatore C si comporti in banda come un circuito aperto, determinare - in condizioni di piccolo segnale - l'amplificazione di tensione $A_v = v_{out}/v_{in}$
4. assumendo che il condensatore C si comporti in banda come un circuito aperto, determinare - in condizioni di piccolo segnale - la resistenza d'ingresso R_{in} e la resistenza d'uscita R_{out} indicate in figura;
5. determinare l'amplificazione di tensione di piccolo segnale nel dominio della frequenza $A_v(s) = V_{out}(s)/V_{in}(s)$;
6. tracciare i diagrammi di Bode di modulo e fase dell'amplificazione $A_v(s) = V_{out}(s)/V_{in}(s)$ determinata al punto precedente;
7. si supponga che lo stadio amplificatore sia collegato alla porta d'ingresso ad una sorgente che presenta tensione a vuoto v_s e resistenza interna $R_s = 250\text{k}\Omega$ e che piloti un carico $R_L = 500\text{k}\Omega$ collegato alla porta d'uscita. Sia la sorgente, sia il carico sono accoppiati in AC mediante condensatori che si possono considerare come corto circuiti nella banda del segnale. Determinare l'amplificazione di tensione $A_{v,s} = v_{out}/v_s$ nelle condizioni descritte.

Soluzione

1. Per il transistor MP:

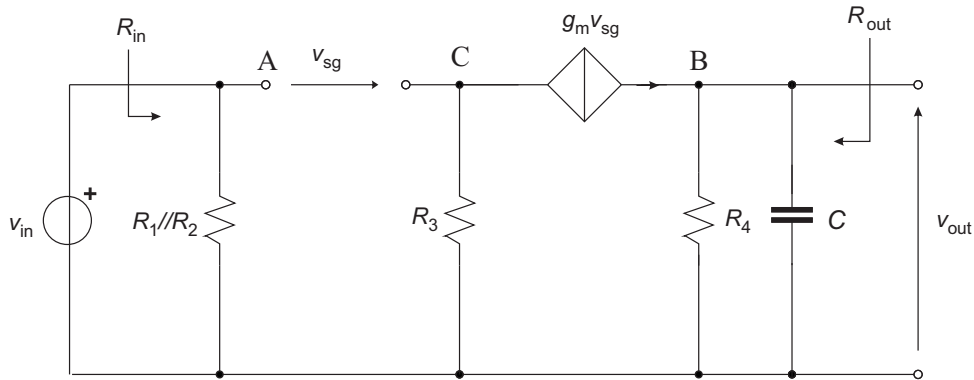
$$V_{SG} = V_C - V_A = 1.7V - 0.9V = 800mV > V_{TH} = 700mV$$

e

$$V_{SD} = V_C - V_B = 1.7V - 1V = 700mV > V_{SG} - V_{TH} = 100mV$$

Il transistor MP è dunque polarizzato in regione di saturazione.

2. La transconduttanza di piccolo segnale può essere valutata come $g_m = \beta(V_{SG} - V_{TH}) = 40 \mu S$. La conduttanza di uscita è nulla essendo $\lambda = 0$.



Il circuito equivalente per il piccolo segnale è quello riportato sopra in figura. Si tratta di uno stadio *source comune* con resistore sul *source*.

3. Amplificazione di Tensione A_v in banda

È possibile ricavare la tensione di controllo v_{sg} dalla KVL alla maglia d'ingresso:

$$v_{in} = -v_{sg} - g_m v_{sg} R_3$$

da cui:

$$v_{sg} = -\frac{v_{in}}{1 + g_m R_3}$$

la tensione d'uscita v_{out} vale pertanto:

$$v_{out} = g_m R_4 v_{sg} = -\frac{g_m R_4}{1 + g_m R_3} v_{in}.$$

Quindi:

$$A_v = v_{out}/v_{in} = -\frac{g_m R_4}{1 + g_m R_3} = -\frac{20}{3} = -6.66 \quad (16.5dB)$$

4. Resistenza d'ingresso e d'uscita:

dal circuito equivalente di piccolo segnale, per la resistenza d'ingresso si ricava direttamente per ispezione:

$$R_{in} = R_1 \parallel R_2 = 250k\Omega$$

Per la resistenza d'uscita, applicando un generatore di test i_t alla porta d'uscita e spegnendo il generatore d'ingresso, la corrente che scorre nel generatore pilotato è nulla, pertanto

$$v_t = i_t R_4$$

e la resistenza d'uscita è data da:

$$R_{out} = R_4 = 500k\Omega$$

5. Considerando il condensatore C nel circuito equivalente per il piccolo segnale, si può calcolare l'amplificazione di tensione nel dominio della frequenza come:

$$A_v(s) = -\frac{g_m Z_4}{1 + g_m R_3}$$

dove

$$Z_4 = \frac{R_4}{1 + sCR_4}.$$

Ossia:

$$A_v(s) = -\frac{g_m R_4}{1 + g_m R_3} \cdot \frac{1}{1 + sCR_4} = k \frac{1}{1 - s/s_p}$$

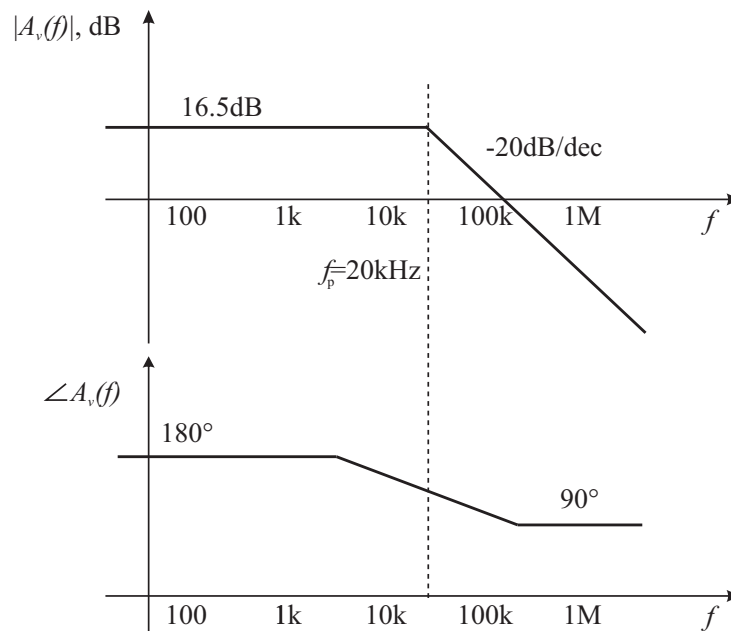
La costante moltiplicativa vale quindi:

$$k = -\frac{g_m R_4}{1 + g_m R_3} = -6.66$$

e la frequenza di taglio del polo è:

$$f_p = \frac{|s_p|}{2\pi} = \frac{1}{2\pi R_4 C} = 20\text{kHz}.$$

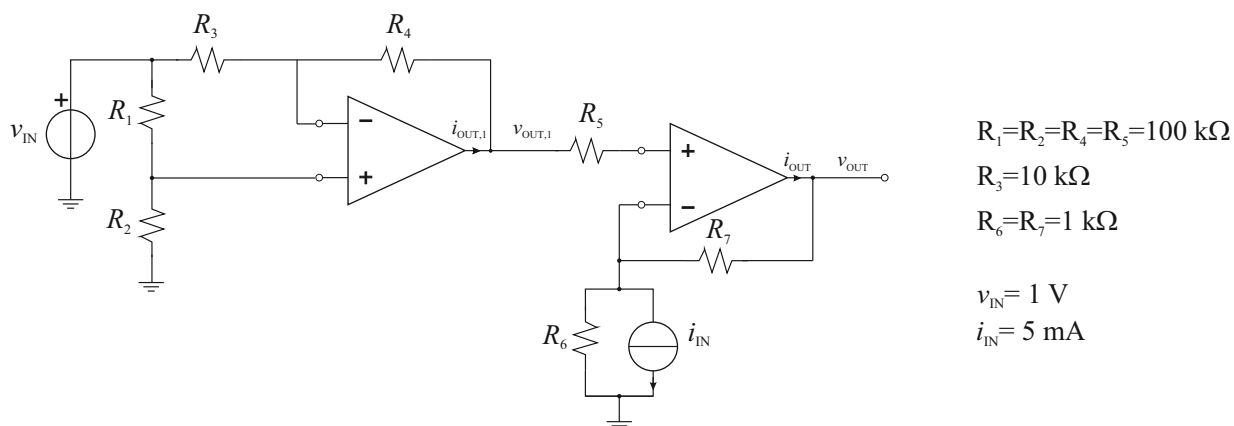
6. I diagrammi di Bode del circuito sono rappresentati in figura.



7. Nelle condizioni descritte al punto 7:

$$A_{v,s} = \frac{v_{\text{out}}}{v_s} = \frac{R_{\text{in}}}{R_{\text{in}} + R_s} A_v \frac{R_L}{R_{\text{out}} + R_L} = -1.66 \quad (4.4\text{dB})$$

Esercizio 2.1



Nel circuito in figura

1. determinare l'espressione analitica e il valore numerico delle tensioni $v_{OUT,1}$ e v_{OUT} ,
2. determinare l'espressione analitica e il valore numerico delle correnti $i_{OUT,1}$ e i_{OUT} ,
3. determinare l'intervallo dei valori che può assumere l'errore in continua sulla tensione d'uscita, assumendo che l'*input offset voltage* massimo (in modulo) riportato sui dati di targa di tutti gli operazionali presenti sia pari a $V_{OFF} = 5\text{ mV}$ e che *input bias current* ed *input offset current* siano entrambe trascurabili.

Soluzione

1. Espressione della tensione d'uscita:

Denominando con V_1^+ la tensione del morsetto non invertente dell'OPAMP nel primo stadio, si ha:

$$V_1^+ = \frac{V_{IN}}{2} = 0.5 \text{ V}$$

La tensione di uscita è

$$v_{OUT,1} = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) V_1^+ - \frac{R_4}{R_3} v_{IN} = 11V_1^+ - 10v_{IN}$$

$$v_{OUT} = \left(1 + \frac{R_7}{R_6}\right) v_{OUT,1} + R_7 i_{IN} = 2v_{OUT,1} + 1k\Omega \cdot i_{IN}$$

Ovvero

$$v_{OUT,1} = -4.5v_{IN} = -4.5 \text{ V}$$

$$v_{OUT} = 2v_{OUT,1} + 1k\Omega \cdot i_{IN} = -4 \text{ V}.$$

2. Espressione della corrente d'uscita:

Denominando con V_1^+ la tensione del morsetto non invertente dell'OPAMP nel primo stadio, si ha:

$$i_{OUT,1} = \frac{v_{OUT,1} - V_1^+}{R_4} = 10^{-5} \text{ S} \cdot (v_{OUT,1} - V_1^+)$$

$$i_{OUT} = \frac{v_{OUT} - v_{OUT,1}}{R_7} = 10^{-3} \text{ S} \cdot (v_{OUT} - v_{OUT,1})$$

Ovvero

$$i_{OUT,1} = -0.05 \text{ mA}$$

$$i_{OUT} = 0.5 \text{ mA}$$

3. Le due tensioni di offset contribuiscono alla tensione di uscita come:

$$v_{OUT} = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \left(1 + \frac{R_7}{R_6}\right) V_{OFF,1} + \left(1 + \frac{R_7}{R_6}\right) V_{OFF,2} = 22 V_{OFF,1} + 2 V_{OFF,2}$$

ovvero

$$\Delta V_{OUT} \in (-120, 120) \text{ mV}.$$