

Sistemi Elettronici, Tecnologie e Misure
Appello del 15/2/2019

Nome:	_____
Cognome:	_____ SOLUZIONE _____
Matricola:	_____

ATTENZIONE

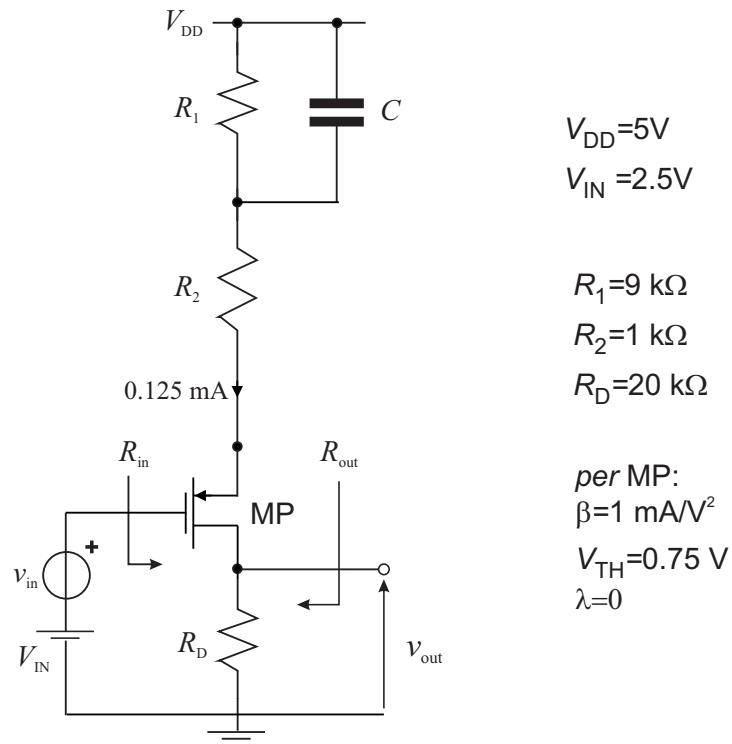
1. Compilare subito questa pagina con nome, cognome e numero di matricola
2. Per i quesiti a risposta multipla, la risposta errata determina la sottrazione di un punteggio pari a metà del valore della risposta esatta
3. Riportare le **risposte esatte** dei quesiti a risposta multipla nella tabella posta 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	X		
b						X
c	X	X				
d					X	

- 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 un amplificatore di tensione invertente con amplificazione di tensione in banda -9. La banda dell'amplificatore di tensione invertente è pari a:
 - 900Hz
 - 10MHz
 - 100kHz
 - 90kHz
- In un circuito contenente un diodo ideale D si è fatta l'ipotesi che il diodo sia in conduzione. L'ipotesi è verificata se:
 - $v_D < 0$
 - $v_D > 0$
 - $i_D > 0$
 - $i_D < 0$
- In uno stadio amplificatore MOS *source comune*, descritto dai parametri A_v , R_{in} e R_{out} :
 - è sempre $A_v < 0$ (stadio invertente)
 - R_{in} dipende dalla transconduttanza g_m del transistor MOS
 - R_{out} dipende dalla transconduttanza g_m del transistor MOS
 - l'ingresso è applicato al terminale di *gate* e l'uscita è prelevata al terminale di *source* del transistor
- In un amplificatore differenziale:
 - se il CMRR è infinito, la tensione d'uscita non dipende dalla tensione di modo comune in ingresso
 - se il CMRR è nullo, la tensione d'uscita non dipende dalla tensione di modo comune in ingresso
 - se il CMRR è finito, la tensione d'uscita non dipende dalla tensione di modo comune in ingresso
 - se il CMRR è finito, la tensione d'uscita non dipende dalla tensione di modo differenziale in ingresso
- Un amplificatore di transresistenza è ottenuto collegando in cascata un amplificatore di corrente descritto dai parametri $A_{i,1}$, $R_{in,1}$, $R_{out,1}$, (tutti finiti e non nulli) ed un amplificatore di transresistenza descritto dai parametri $R_{m,2}$ finito e non nullo, $R_{in,2} = 0$, $R_{out,2} = 0$. La transresistenza complessiva R_m della cascata dei due stadi è data da
 - $A_{i,1} R_{in,1}$
 - $R_{m,2}$
 - $A_{i,1} R_{m,2} \frac{R_{out,1}}{R_{in,1} + R_{out,1}}$
 - $A_{i,1} R_{m,2}$
- In un integratore invertente basato su operazionale ideale (indicare quale delle seguenti affermazioni è errata):
 - è presente un condensatore C collegato tra ingresso invertente ed uscita
 - l'impedenza d'ingresso del circuito è capacitiva ed è pari all'impedenza del condensatore C che compare nella rete di retroazione
 - la resistenza d'uscita in continua è nulla
 - la resistenza d'ingresso vista dalla sorgente in continua è finita e non nulla

Esercizio n. 1



Con riferimento al circuito in figura:

1. verificare il funzionamento del transistor MOS in regione di saturazione;
2. nel limite statico (C aperto), determinare in condizioni di piccolo segnale: $A_v = v_{out}/v_{in}$, R_{in} e R_{out} come indicato in figura (sono richieste le espressioni analitiche ed i valori numerici);
3. assumendo $C = 10\text{ nF}$, calcolare la funzione di trasferimento in frequenza $A_v(s) = V_{out}(s)/V_{in}(s)$ e tracciarne il diagramma di Bode in modulo e fase;
4. alla frequenza $f = 500\text{ kHz}$ l'amplificatore viene collegato a una sorgente di tensione con resistenza di sorgente pari a $R_s = 100\Omega$ ed a un carico $R_L = 20\text{ k}\Omega$. Quale sarà il guadagno di tensione dello stadio in queste condizioni?

Soluzione

Dai dati in figura $I_D = 0.125 \text{ mA}$.

$$V_{SG} - V_{TH} = \sqrt{\frac{2I_D}{\beta}} = 0.5 \text{ V}$$

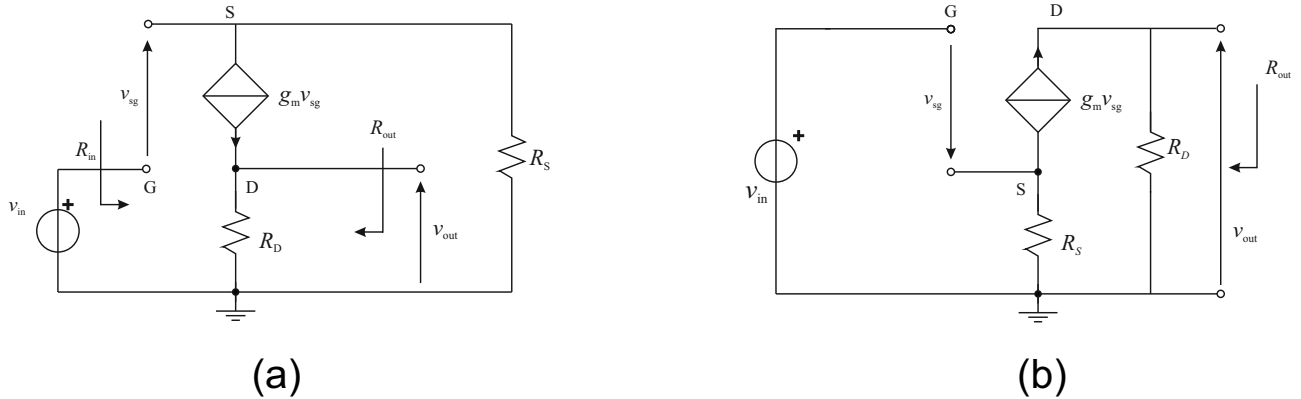
ovvero $V_{SG} = 1.25 \text{ V}$. In continua $V_G = 2.5$ e $V_S = 3.75 \text{ V}$.

$$V_D = R_D I_D = 2.5 \text{ V}$$

quindi $V_{SD} = 1.25 \text{ V}$. Poichè $V_{SD} > V_{SG} - V_{TH}$ il transistor è in saturazione.

La transconduttanza è $g_m = \beta(V_{SG} - V_{TH}) = 0.5 \text{ mS}$. La conduttanza di uscita è nulla.

Considerando il condensatore C come un circuito aperto e definendo $R_S = R_1 + R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, il circuito di piccolo segnale è (le forme (a) e (b) sono equivalenti)



Si tratta di uno stadio a source comune con resistenza sul source.

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

$$v_{out} = R_D g_m v_{sg} = -\frac{g_m R_D}{1 + g_m R_S} v_{in} \Rightarrow A_v = -\frac{g_m R_D}{1 + g_m R_S} = -\frac{10}{6} = -1.66 \text{ (4.43 dB)}$$

La resistenza di ingresso è infinita, mentre per la resistenza di uscita si deve porre $v_{in} = 0$ e inserire un generatore di test in uscita. Si osservi che se $v_{in} = 0$ allora $v_{sg} = -g_m R_S v_{sg}$ che ha come unica soluzione $v_{sg} = 0$. Essendo spento il generatore pilotato, la resistenza di uscita è uguale a R_D .

Inserendo il condensatore, $R_S \rightarrow Z_S$

$$Z_S = R_2 + R_1 \parallel \frac{1}{sC} = \frac{R_1}{1 + sCR_1} + R_2 = \frac{R_1 + R_2 + sCR_1 R_2}{1 + sCR_1}$$

Il guadagno

$$A_v = -\frac{R_D g_m}{1 + g_m Z_S} = -\frac{g_m R_D}{1 + g_m (R_1 + R_2)} \frac{1 + sCR_1}{1 + s \frac{CR_1(1 + g_m R_2)}{1 + g_m (R_1 + R_2)}}$$

La funzione di trasferimento è del tipo

$$A_v = A_0 \frac{1 - s/s_z}{1 - s/s_p}$$

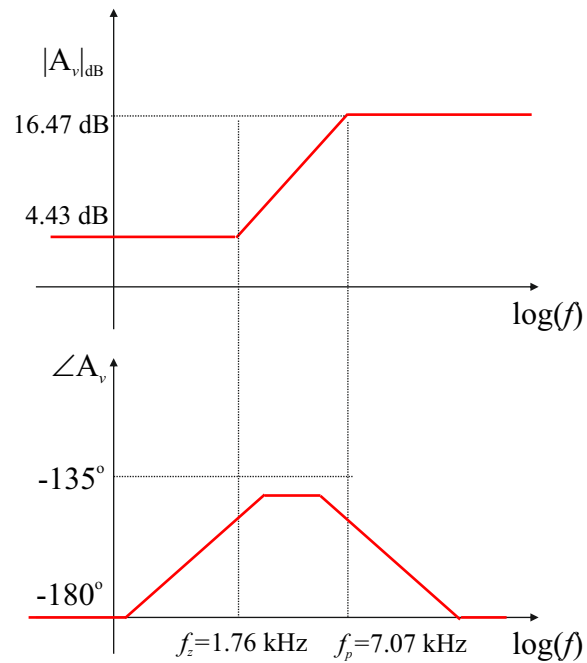
con

$$A_0 = -\frac{g_m R_D}{1 + g_m (R_1 + R_2)}; \quad s_z = -\frac{1}{CR_1}; \quad s_p = -\frac{1 + g_m (R_1 + R_2)}{CR_1 (1 + g_m R_2)};$$

Le frequenze dello zero e del polo sono

$$f_z = \frac{|s_z|}{2\pi} = 1.76 \text{ kHz}; \quad f_p = \frac{|s_p|}{2\pi} = 7.07 \text{ kHz};$$

La frequenza del polo è solo $[1 + g_m (R_1 + R_2)] / (1 + g_m R_2) = 4$ volte più alta della frequenza dello zero (meno di una decade). La fase per frequenza $f = 0$ è ± 180 (stadio invertente). Tra f_z e f_p la fase dovrebbe salire di 90° (zero negativo), ma la frequenza del polo è troppo ravvicinata per raggiungere tale valore. La fase ritorna al valore di bassa

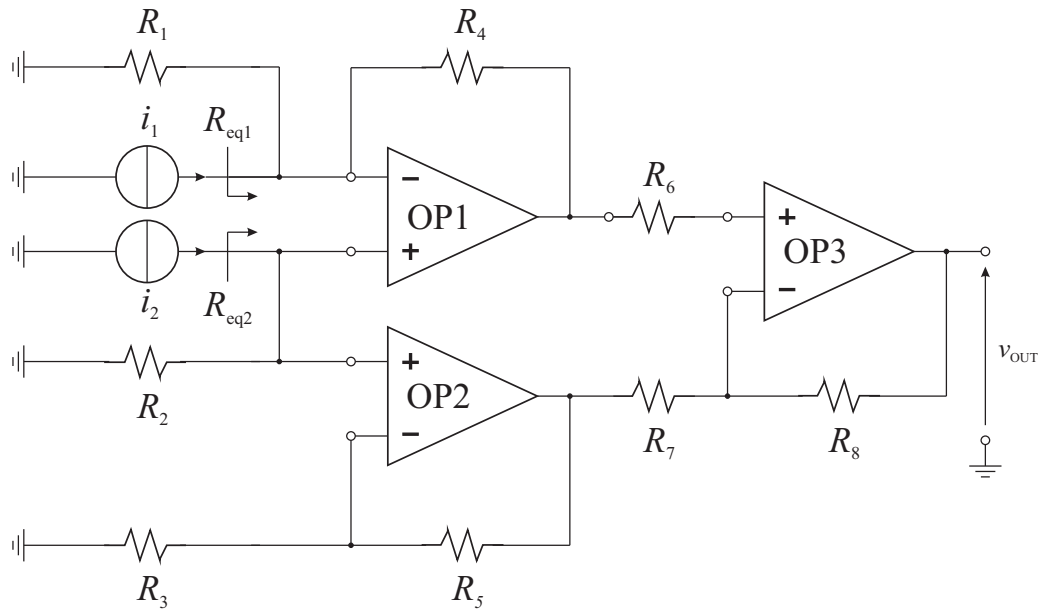


frequenza al di sopra del polo. Il guadagno ad alta frequenza è $A_v = -\frac{g_m R_D}{1 + g_m R_2} = -6.66$ (16.47 dB) corrispondente al guadagno dello stadio con R_1 cortocircuitata.

La resistenze di ingresso e uscita dello stadio sono invariate.

Per la frequenza di 500 kHz il condensatore può essere considerato un corto circuito. Lo stadio non subisce influenza dalla sorgente di tensione poichè presenta resistenza di ingresso infinita. Sul carico si ha effetto di partizione della tensione. Poichè il carico R_L è pari alla resistenza di uscita dello stadio, la tensione di uscita verrà dimezzata, così come il guadagno: $A_v = -3.33$ (10.6 dB).

Esercizio 2.



Nel circuito in figura si assuma $R_1 \dots R_8 = R = 10\text{k}\Omega$ e si determini:

1. la tensione d'uscita v_{OUT} , assumendo che gli amplificatori operazionali siano ideali (sono richieste: l'espressione simbolica di v_{OUT} in funzione di $R_1, \dots R_8$ e l'espressione di v_{OUT} ottenuta sostituendo i valori numerici delle resistenze);
2. l'intervallo dei valori che può assumere l'errore in continua sulla tensione d'uscita v_{OUT} , assumendo che l'*input offset voltage* massimo (in modulo) riportato sui dati di targa di tutti gli operazionali presenti sia pari a 5mV e che *input bias current* ed *input offset current* siano entrambe trascurabili.
3. le resistenze equivalenti R_{eq1} ed R_{eq2} viste ai capi dei generatori di corrente i_1 ed i_2 , assumendo che gli operazionali siano ideali;

Soluzione

1. Espressione della tensione d'uscita:

$$\begin{aligned}
 v_{\text{out}} &= \left[R_2 i_2 \left(1 + \frac{R_4}{R_1} \right) - R_4 i_1 \right] \left(1 + \frac{R_8}{R_7} \right) - \frac{R_8}{R_7} \left(1 + \frac{R_5}{R_3} \right) R_2 i_2 \\
 &= 2R (i_2 - i_1) \\
 &= 20\text{k}\Omega (i_2 - i_1)
 \end{aligned}$$

2. Errore in continua sull'uscita:

$$\begin{aligned}
 \Delta V_{\text{OUT}} &= V_{\text{OFF1}} \left(1 + \frac{R_4}{R_1} \right) \left(1 + \frac{R_8}{R_7} \right) - V_{\text{OFF2}} \frac{R_8}{R_7} \left(1 + \frac{R_5}{R_3} \right) + V_{\text{OFF3}} \left(1 + \frac{R_8}{R_7} \right) \\
 &= 4V_{\text{OFF1}} - 2V_{\text{OFF2}} + 2V_{\text{OFF3}}
 \end{aligned}$$

Nei casi peggiori:

$$\Delta V_{\text{OUT,max}} = 4V_{\text{OFF1,max}} - 2V_{\text{OFF2,min}} + 2V_{\text{OFF3,max}} = 8|V_{\text{OFF,max}}| = 40\text{mV}$$

$$\Delta V_{\text{OUT,min}} = 4V_{\text{OFF1,min}} - 2V_{\text{OFF2,max}} + 2V_{\text{OFF3,min}} = -8|V_{\text{OFF,max}}| = -40\text{mV}$$

3. Resistenze equivalenti:

$$R_{\text{eq1}} = 0$$

$$R_{\text{eq2}} = R_2 = 10\text{k}\Omega$$