

**Sistemi Elettronici, Tecnologie e Misure**  
**Appello del 12/2/2024**

Nome:	_____
Cognome:	_____ <b>SOLUZIONE</b> _____
Matricola:	_____

**ATTENZIONE**

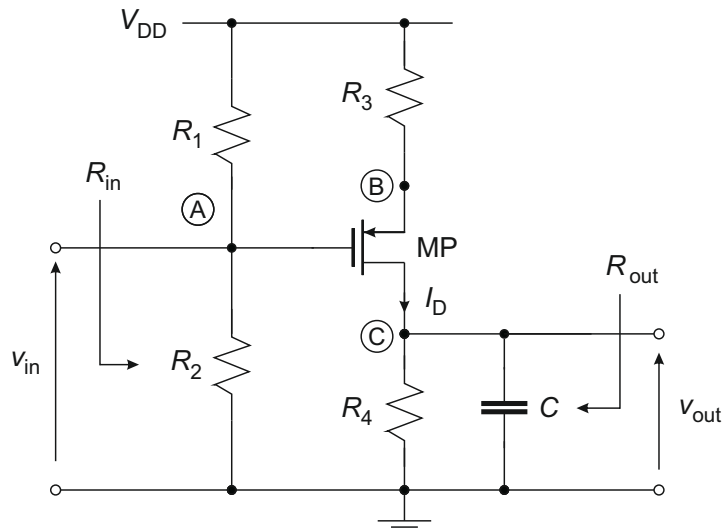
1. Compilare subito questa pagina con nome, cognome e numero di matricola
2. Per i quesiti a risposta multipla, la risposta errata determina la sottrazione di un punteggio pari a metà del valore della risposta esatta
3. Riportare le **risposte esatte** dei quesiti a risposta multipla nella tabella posta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

- Un amplificatore di transresistenza è ottenuto collegando in cascata un amplificatore di corrente con amplificazione  $A_{i,1}$ ,  $R_{in,1} = 0$  e  $R_{out,1}$  finita e non nulla, ed un amplificatore di transresistenza descritto dai parametri  $R_{m,2}$ ,  $R_{in,2}$  e  $R_{out,2}$ , tutti finiti e non nulli. La transresistenza complessiva  $R_m$  della cascata dei due stadi è data da
  - $A_{i,1} R_{in,2} \frac{R_{in,2}}{R_{in,2} + R_{out,1}}$
  - $A_{i,1} R_{m,2} \frac{R_{in,2}}{R_{in,2} + R_{out,1}}$
  - $A_{i,1} R_{m,2} \frac{R_{out,1}}{R_{in,2} + R_{out,1}}$
  - $A_{i,1} R_{in,2} \frac{R_{out,1}}{R_{in,2} + R_{out,1}}$
- Un amplificatore differenziale fornisce in uscita una tensione  $v_{out} = 101v^+ - 99v^-$ . Le amplificazioni differenziale ( $A_{d,dB}$ ), di modo comune ( $A_{cm,dB}$ ) ed il CMRR valgono:
  - $A_{d,dB} = 40 \text{ dB}$ ,  $A_{cm,dB} = 6 \text{ dB}$ , CMRR = 34 dB
  - $A_{d,dB} = 40 \text{ dB}$ ,  $A_{cm,dB} = -6 \text{ dB}$ , CMRR = 44 dB
  - $A_{d,dB} = 20 \text{ dB}$ ,  $A_{cm,dB} = -3 \text{ dB}$ , CMRR = 17 dB
  - $A_{d,dB} = 20 \text{ dB}$ ,  $A_{cm,dB} = 3 \text{ dB}$ , CMRR = 17 dB
- Un amplificatore operazionale con guadagno in banda di 100 dB, prodotto banda-guadagno pari a 100 kHz, resistenze d'ingresso e uscita trascurabili (cioè  $R_{in,d} \rightarrow \infty$ ,  $R_{in,cm} \rightarrow \infty$ ,  $R_{out} = 0$ ), è utilizzato in configurazione amplificatore invertente con amplificazione di tensione  $A_v = -3$ . La banda dell'amplificatore invertente è pari a:
  - 300 kHz
  - 33 kHz
  - 100 kHz
  - 25 kHz
- Un amplificatore di transconduttanza basato su operazionale presenta  $G_M = 1 \text{ mS}$  e pilota un carico  $R_L = 10 \text{ k}\Omega$ . Se l'ingresso ha dinamica  $(-1, +2) \text{ V}$ , la minima dinamica della tensione d'uscita  $\Delta V_{min}$  richiesta all'operazionale è:
  - $\Delta V_{min} = (-1, 2) \text{ V}$
  - non ci sono requisiti su  $\Delta V_{min}$  perchè l'uscita dell'amplificatore è in corrente
  - $\Delta V_{min} = (-1.1, 2.2) \text{ V}$
  - $\Delta V_{min} = (-11, 22) \text{ V}$

## Esercizio n. 1



$$\begin{aligned}
 R_1 &= 100\text{k}\Omega & \text{per MP:} \\
 R_2 &= 400\text{k}\Omega & \beta = 2\text{mA/V}^2 \\
 R_3 &= 40\text{k}\Omega & V_{TH} = 0.5\text{V} \\
 R_4 &= 200\text{k}\Omega & \lambda = 0 \\
 R_5 &= 10\text{k}\Omega \\
 R_6 &= 15\text{k}\Omega \\
 C &= 100/(2\pi) \text{ pF} \\
 V_A &= 4\text{V} \\
 V_B &= 4.6\text{V} \\
 V_C &= 2\text{V} \\
 V_{DD} &= 5\text{V}
 \end{aligned}$$

Con riferimento al circuito in figura:

1. verificare il funzionamento del transistor MP in regione di saturazione e determinarne i parametri di piccolo segnale nel punto di lavoro;
2. assumendo che il condensatore  $C$  si comporti come un circuito aperto nella banda del segnale, determinare - in condizioni di piccolo segnale e in banda - l'amplificazione di tensione  $A_{v0} = v_{out}/v_{in}$ , la resistenza d'ingresso  $R_{in}$  e la resistenza d'uscita  $R_{out}$  indicate in figura;
3. determinare l'amplificazione di tensione di piccolo segnale nel dominio della frequenza  $A_v(s) = V_{out}(s)/V_{in}(s)$ ;
4. tracciare i diagrammi di Bode del modulo e della fase di  $A_v(s)$  determinata al punto precedente.

**Soluzione**

1. Per il transistor MP:

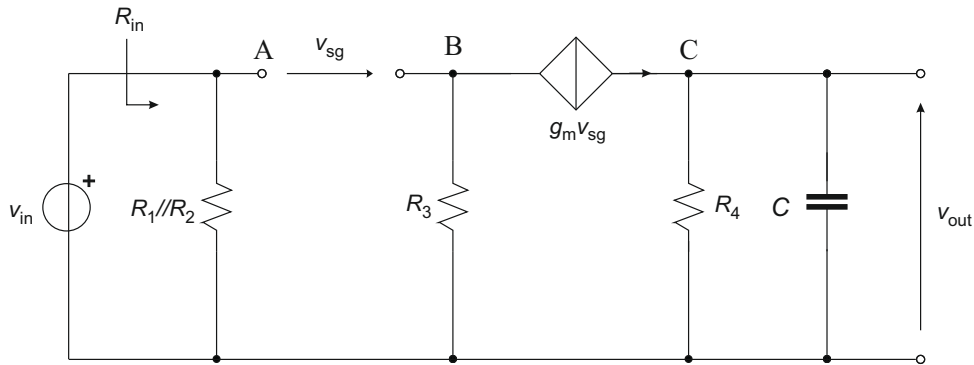
$$V_{SG} = V_B - V_A = 4.6 \text{ V} - 4 \text{ V} = 600 \text{ mV} > V_{TH} = 500 \text{ mV}$$

e

$$V_{SD} = V_B - V_C = 4.6 \text{ V} - 2 \text{ V} = 2.6 \text{ V} > V_{SG} - V_{TH} = 100 \text{ mV}$$

Il transistor MP è dunque polarizzato in regione di saturazione.

La transconduttanza di piccolo segnale può essere valutata come  $g_m = \beta(V_{SG} - V_{TH}) = 200 \mu\text{S}$ . La conduttanza di uscita è nulla essendo  $\lambda = 0$ .



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

- Amplificazione di Tensione  $A_v$  in banda

Dalla KVL alla maglia d'ingresso si ha che:

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

da cui

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

Considerando  $C$  come un circuito aperto, si ha poi che la tensione d'uscita  $v_{out}$  vale:

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

Quindi:

$$A_{v0} = v_{out}/v_{in} = -\frac{g_m R_4}{1 + g_m R_3} = -4.44 \quad (12.95 \text{ dB})$$

- Resistenza d'ingresso:

dal circuito equivalente di piccolo segnale, si ricava direttamente per ispezione:

$$R_{in} = R_1 \parallel R_2 = 80 \text{ k}\Omega$$

- 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:

$$R_{out} = R_4 = 200 \text{ k}\Omega$$

3. Considerando il condensatore  $C$  nel circuito equivalente per il piccolo segnale

$$A_v(s) = V_{\text{out}}/V_{\text{in}} = -\frac{g_m Z}{1 + g_m R_3}$$

con

$$Z(s) = R_4 \parallel \frac{1}{sC} = \frac{R_4}{1 + sCR_4}$$

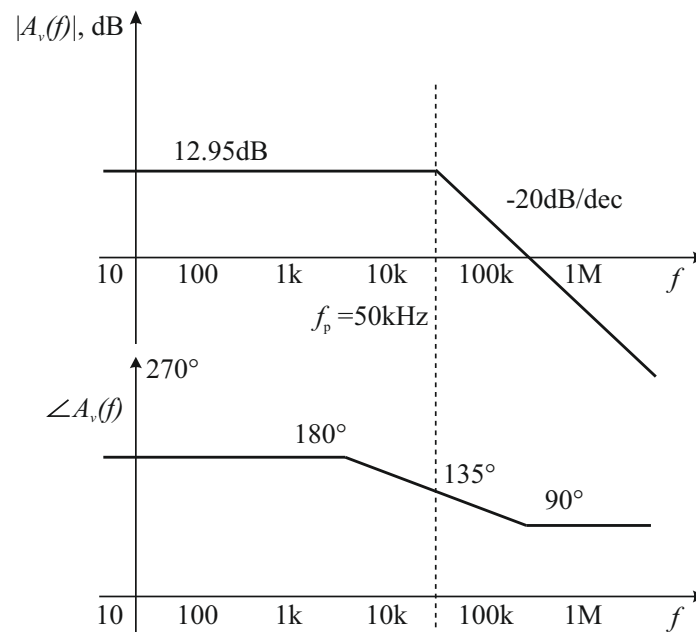
da cui:

$$A_v(s) = V_{\text{out}}/V_{\text{in}} = -\frac{g_m R_4}{1 + g_m R_3} \frac{1}{1 + sCR_4} = \frac{A_{v0}}{1 + sCR_4}$$

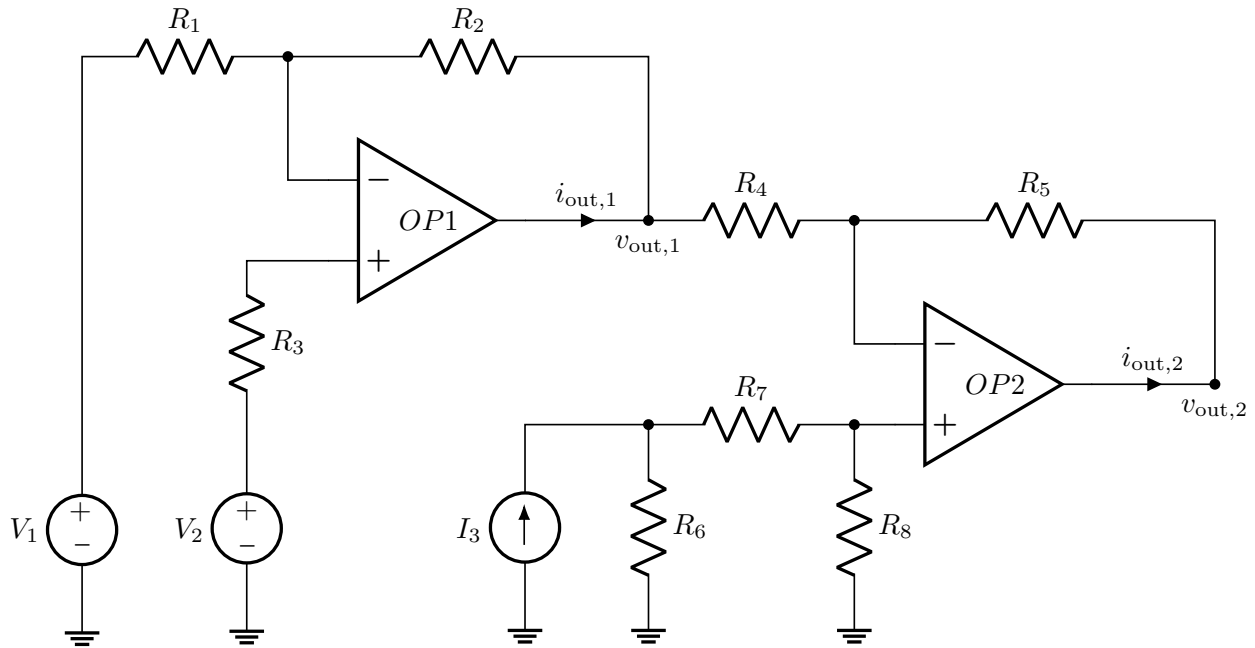
La funzione di trasferimento presenta un polo semplice con frequenza di taglio finita e non nulla:

$$f_p = \frac{|s_p|}{2\pi} = \frac{1}{2\pi R_4 C} = 50 \text{ kHz}.$$

I diagrammi di Bode del circuito sono pertanto quelli rappresentati in figura.



## Esercizio n. 2.



Nel circuito in figura  $R_1 = R_3 = R_4 = R_6 = R_7 = R_8 = R = 1 \text{ k}\Omega$  e  $R_2 = R_5 = 5R = 5 \text{ k}\Omega$ .

Determinare:

1. l'espressione delle tensioni di uscita  $v_{\text{out},1}$  e  $v_{\text{out},2}$ , assumendo che gli amplificatori operazionali siano ideali;
2. l'espressione delle correnti di uscita  $i_{\text{out},1}$  e  $i_{\text{out},2}$ , assumendo che gli amplificatori operazionali siano ideali;
3. la massima dinamica della corrente  $I_3$  che consente di mantenere  $OP2$  in linearità assumendo  $V_1 = V_2 = 0$  e i seguenti dati di targa per gli amplificatori operazionali:
  - dinamica di ingresso di modo comune  $\pm 18 \text{ V}$
  - dinamica di tensione di uscita  $\pm 20 \text{ V}$
  - dinamica di corrente di uscita  $\pm 5 \text{ mA}$

Soluzione:

1. Tensioni:

$$v_{\text{out},1} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_2 - \frac{R_2}{R_1} V_1 = 6V_2 - 5V_1$$

$$v_{\text{out},2} = \left(1 + \frac{R_5}{R_4}\right) \frac{R_6 R_8}{r_6 + R_7 + R_8} I_3 - \frac{R_5}{R_4} V_{\text{out},1} = 25V_1 - 20V_2 + 2000\Omega I_3$$

2. Correnti:

$$i_{\text{out},1} = \frac{V_{\text{out},1} - V_1}{R_1 + R_2} - i_{\text{out},2} = -6 \text{ mSV}_1 + 7 \text{ mSV}_2 - \frac{I_3}{3}$$

$$i_{\text{out},2} = \frac{V_{\text{out},2} - V_{\text{out},1}}{R_4 + R_5} = 5 \text{ mSV}_1 - 6 \text{ mSV}_2 + \frac{I_3}{3}$$

3. Massima dinamica di  $I_3 = \pm 10 \text{ mA}$  (limitata dalla tensione di uscita)