

**Sistemi Elettronici, Tecnologie e Misure**  
**Appello del 10/9/2019**

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	5	6
a			X			
b						X
c	X			X		
d		X			X	

1. Un amplificatore di tensione presenta funzione di trasferimento

$$A_v(s) = \frac{\frac{s}{s_0}}{\left(1 - \frac{s}{s_{p1}}\right) \left(1 - \frac{s}{s_{p2}}\right) \left(1 - \frac{s}{s_{p3}}\right)}$$

con  $s_0 = 2\pi \cdot 10\text{Hz}$ ,  $s_{p1} = -2\pi \cdot 100\text{Hz}$ ,  $s_{p2} = -2\pi \cdot 10\text{kHz}$  e  $s_{p3} = -2\pi \cdot 33\text{kHz}$ . Ne segue che:

- (a) la banda si estende tra 10Hz e 33kHz e l'amplificazione in banda vale 3300
  - (b) la banda si estende tra 100Hz e 10kHz e l'amplificazione in banda vale 100
  - (c) la banda si estende tra 100Hz e 10kHz e l'amplificazione in banda vale 10
  - (d) la banda si estende tra 10kHz e 33kHz e l'amplificazione in banda vale 3.3
2. Una funzione di trasferimento vale 10 per  $s = 0$  e presenta un polo ed uno zero, entrambi reali negativi. A frequenza molto maggiore delle frequenze di taglio del polo e dello zero, la fase della funzione di trasferimento:

- (a) è  $90^\circ$
- (b) è  $180^\circ$
- (c) è  $-90^\circ$
- (d) è  $0^\circ$

3. In un circuito contenente un diodo ideale  $D$  si è fatta l'ipotesi che il diodo sia in OFF. L'ipotesi è verificata se:

- (a)  $v_D < 0$
- (b)  $v_D > 0$
- (c)  $i_D > 0$
- (d)  $i_D < 0$

4. In un amplificatore invertente basato su operazionale ideale:

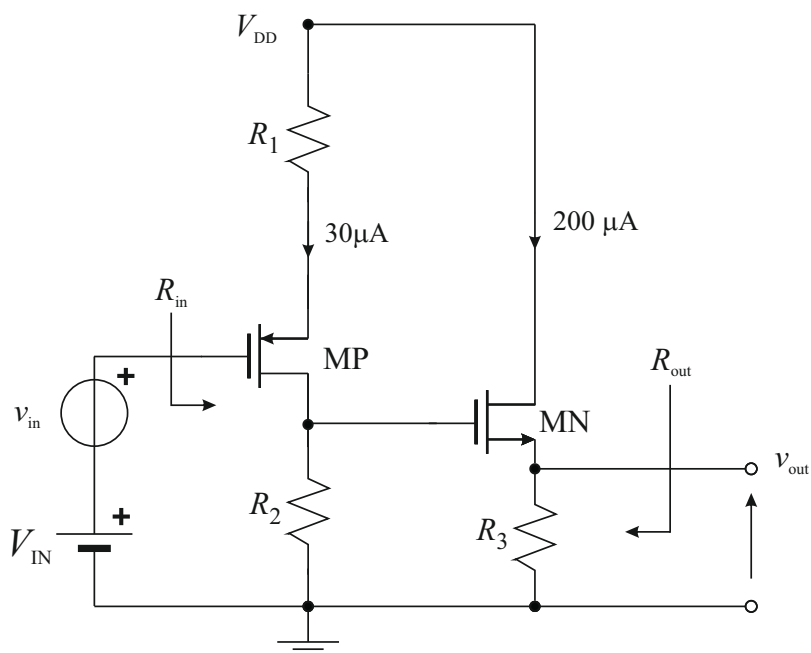
- (a) la resistenza d'ingresso è infinita e la resistenza d'uscita è nulla;
- (b) la resistenza d'ingresso è nulla e la resistenza d'uscita è infinita;
- (c) la resistenza d'ingresso è finita e non nulla e la resistenza d'uscita è nulla;
- (d) la resistenza d'ingresso è infinita e la resistenza d'uscita è finita e non nulla

5. La transconduttanza di piccolo segnale  $g_m$  di un transistor nMOS in regione di saturazione può essere espressa in funzione delle grandezze nel punto di lavoro Q come:

(a)  $g_m = \frac{I_D}{V_{GS} - V_{TH}}$     (b)  $g_m = \sqrt{\frac{\beta}{I_D}}$     (c)  $g_m = \lambda I_D$     (d)  $g_m = \sqrt{2\beta I_D}$

6. Un amplificatore di transresistenza 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 tensione descritto dai parametri  $A_{v,2}$ ,  $R_{in,2}$ ,  $R_{out,2}$  tutti finiti e non nulli. La transresistenza complessiva  $R_m$  della cascata dei due stadi è data da

- (a)  $R_{m,1}$
- (b)  $R_{m,1} A_{v,2} \frac{R_{in,2}}{R_{in,2} + R_{out,1}}$
- (c)  $A_{v,2} R_{in,2} \frac{R_{in,2}}{R_{in,2} + R_{out,1}}$
- (d)  $R_{m,1} A_{v,2}$

**Esercizio 1.**

$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 120 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = 16 \text{ k}\Omega$$

$$V_{DD} = 5 \text{ V}$$

$$V_{IN} = 4.3 \text{ V}$$

per MP:

$$\beta = 6 \text{ mA/V}^2$$

$$V_{TH} = 0.3 \text{ V}$$

$$\lambda = 0$$

per MN:

$$\beta = 40 \text{ mA/V}^2$$

$$V_{TH} = 0.3 \text{ V}$$

$$\lambda = 0$$

Con riferimento allo stadio in figura

1. verificare la regione di funzionamento di MP e MN e determinarne i parametri del modello per il piccolo segnale;
2. determinare  $A_v = v_{out}/v_{in}$ , la resistenza di ingresso  $R_{in}$  e la resistenza di uscita  $R_{out}$  (espressioni simboliche e valori numerici);
3. dare una rappresentazione dello stadio in termini di *amplificatore di tensione*;
4. supponendo che lo stadio debba operare fino alla frequenza di 100 kHz, e  $v_{in}$  sia un segnale sinusoidale, qual è la massima ampiezza di picco che può avere senza incorrere in limitazioni di linearità? Si assuma lo *slew rate* dello stadio pari a  $|SR| = 1 \text{ V}/\mu\text{s}$ .

Regione di funzionamento Transistore MP

$$V_S = 4.7 \text{ V}; V_D = 3.6 \text{ V}; V_G = 4.3 \text{ V}$$

$$V_{SG} = 0.4 \text{ V}; V_{SG} - V_{TH} = 0.1 \text{ V} > 0$$

$$V_{SD} = 1.1 \text{ V} > V_{SG} - V_{TH}$$

$$g_{mp} = 600 \mu\text{S}; r_{0p} = \infty$$

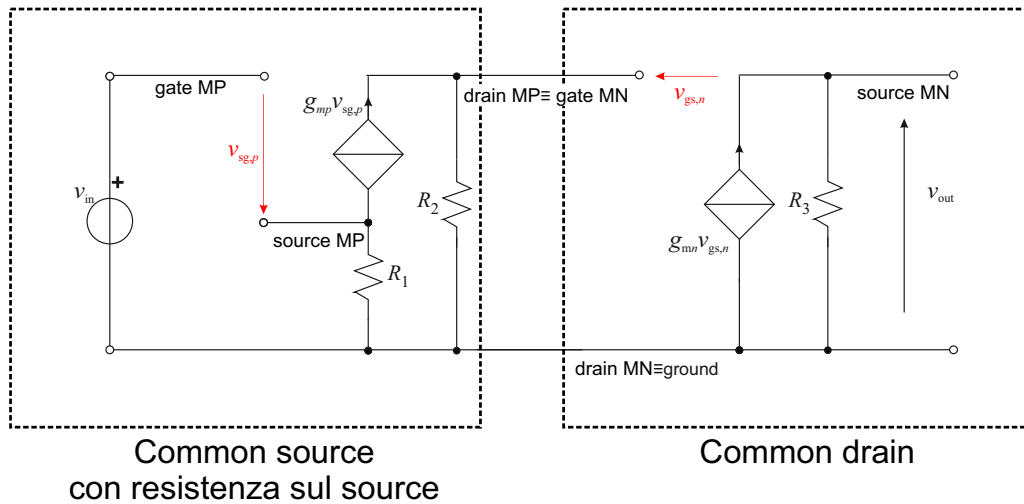
Regione di funzionamento Transistore MN

$$V_S = 3.2 \text{ V}; V_D = 5 \text{ V}; V_G = 3.6 \text{ V}$$

$$V_{GS} = 0.4 \text{ V}; V_{GS} - V_{TH} = 0.1 \text{ V} > 0$$

$$V_{DS} = 1.8 \text{ V} > V_{GS} - V_{TH}$$

$$g_{mn} = 4 \text{ mS}; r_{0n} = \infty$$

Analisi dello stadio Stadio

Primo stadio:

$$A_{v1} = -\frac{g_{mp}R_2}{1 + g_{mp}R_1} = -10.28 \text{ (20.24 dB)}; R_{in1} = \infty; R_{out1} = R_2 = 120 \text{ k}\Omega$$

Secondo stadio:

$$A_{v2} = -\frac{g_{mn}R_3}{1 + g_{mn}R_3} = 0.9846 \text{ (-0.13 dB)}; R_{in} = \infty; R_{out} = \frac{R_3}{1 + g_{mn}R_3} = 249 \simeq 250 \Omega$$

Guadagno della cascata:  $A_v = A_{v1}A_{v2} = -10.127$ ; impedenza di ingresso della cascata:  $R_{in} = \infty$ ; impedenza di uscita della cascata:  $R_{out} = \frac{R_3}{1 + g_{mn}R_3} = 250 \Omega$ . Non c'è effetto di carico del secondo stadio sull'uscita del primo.

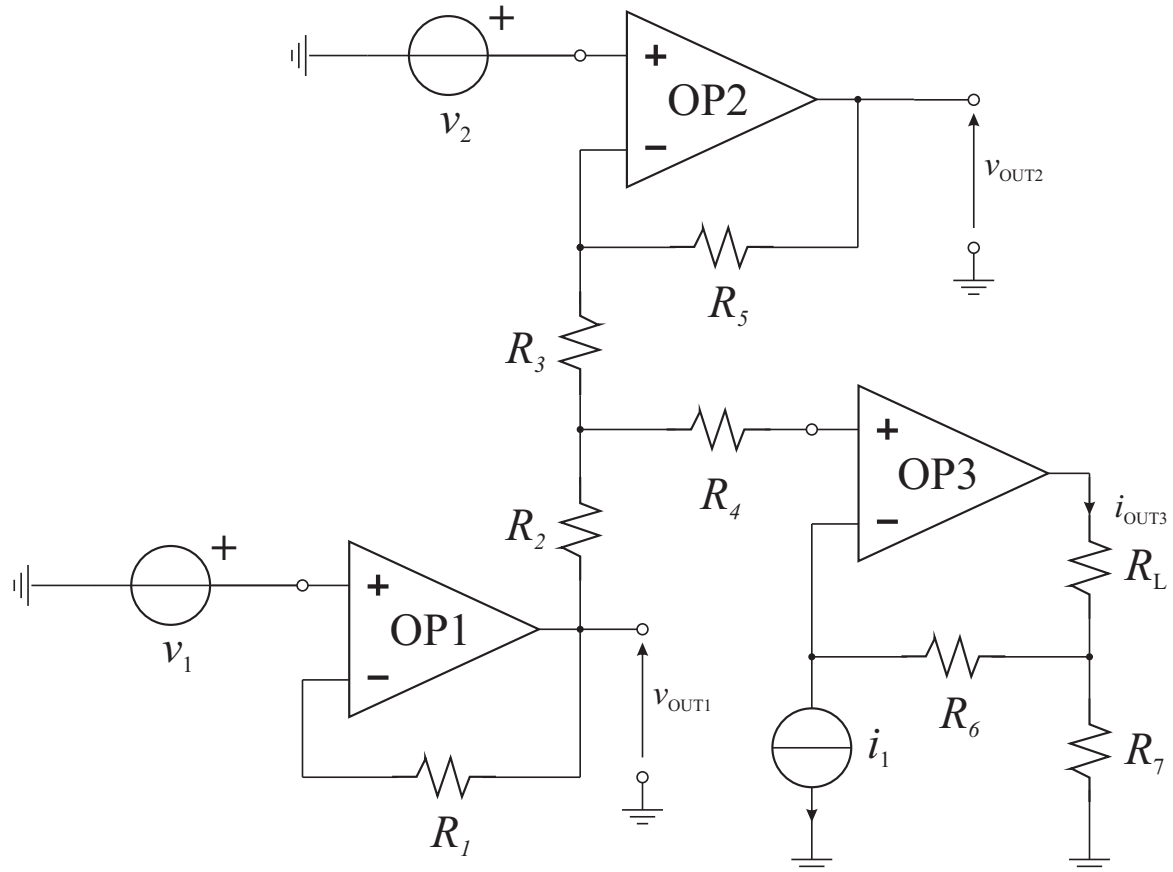
Limitazione della dinamica

Alla massima frequenza  $f = 100 \text{ kHz}$ , deve essere

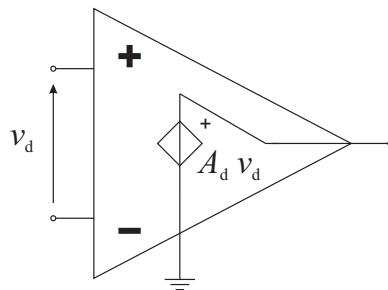
$$2\pi f |A_v| v_{in} < |\text{SR}|$$

da cui  $v_{in} < 0.157 \text{ V}$ .

## Esercizio 2.



Circuito considerato nell'Esercizio 2.



Circuito equivalente di OP1 per il terzo punto dell'Esercizio 2.

Con riferimento al circuito in figura, si determinino:

1. le espressioni delle tensioni  $v_{OUT1}$  e  $v_{OUT2}$  e della corrente  $i_{OUT3}$  in funzione degli ingressi  $v_1$ ,  $v_2$  e  $i_1$  e di  $R_1$ ,  $\dots$ ,  $R_7$ , assumendo che gli amplificatori operazionali siano ideali;
2. l'intervallo dei valori che può assumere l'errore in continua su  $v_{OUT1}$ ,  $v_{OUT2}$  e  $i_{OUT3}$ , assumendo  $R_1 = R_2 = \dots = R_7 = R_L = 10\text{k}\Omega$ , che l'input offset voltage massimo (in modulo) riportato sui dati di targa di tutti gli operazionali presenti sia pari a 10mV e che input bias current ed input offset current siano entrambe trascurabili;
3. l'espressione di  $v_{OUT1}$  assumendo che OP2 ed OP3 siano ideali e che OP1 presenti amplificazione di tensione differenziale  $A_d = 10^3$ , resistenze d'ingresso per il modo differenziale e per il modo comune infinite e resistenza d'uscita nulla (come da circuito equivalente).

**Soluzione**

1. Espressioni delle tensioni  $v_{OUT1}$  e  $v_{OUT2}$  e della corrente  $i_{OUT3}$ :

$$\begin{aligned} v_{OUT1} &= v_1 \\ v_{OUT2} &= v_2 \left( 1 + \frac{R_5}{R_2 + R_3} \right) - v_1 \frac{R_5}{R_2 + R_3} \\ i_{OUT3} &= i_1 \left( 1 + \frac{R_6}{R_7} \right) - \left( \frac{v_1}{R_7} \frac{R_3}{R_2 + R_3} + \frac{v_2}{R_7} \frac{R_2}{R_2 + R_3} \right) \end{aligned}$$

2. Errori in continua sulle uscite:

$$\begin{aligned} \Delta V_{OUT1} &= V_{OFF1} \\ \Delta V_{OUT2} &= V_{OFF2} \left( 1 + \frac{R_5}{R_2 + R_3} \right) - V_{OFF1} \frac{R_5}{R_2 + R_3} \\ &= \frac{3}{2} V_{OFF2} - \frac{1}{2} V_{OFF1} \\ \Delta I_{OUT3} &= \frac{V_{OFF1}}{R_7} \frac{R_3}{R_2 + R_3} + \frac{V_{OFF2}}{R_7} \frac{R_2}{R_2 + R_3} + \frac{V_{OFF3}}{R_7} \\ &= 50\mu S \cdot V_{OFF1} + 50\mu S \cdot V_{OFF2} + 100\mu S \cdot V_{OFF3} \end{aligned}$$

Nei casi peggiori:

$$\Delta V_{OUT1, \max} = 10\text{mV}$$

$$\Delta V_{OUT1, \min} = -10\text{mV}$$

$$\Delta V_{OUT2, \max} = 20\text{mV}$$

$$\Delta V_{OUT2, \min} = -20\text{mV}$$

$$\Delta I_{OUT3, \max} = 2\mu\text{A}$$

$$\Delta I_{OUT3, \min} = -2\mu\text{A}$$

3. Espressione di  $v_{OUT1}$  considerando OP1 a guadagno finito:

$$v_{OUT1} = \frac{A_d}{1 + A_d} v_1 = 0.999 \cdot v_1$$