# Sistemi Elettronici, Tecnologie e Misure Appello del 28/6/2022

Nome:	
Cognome:	
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

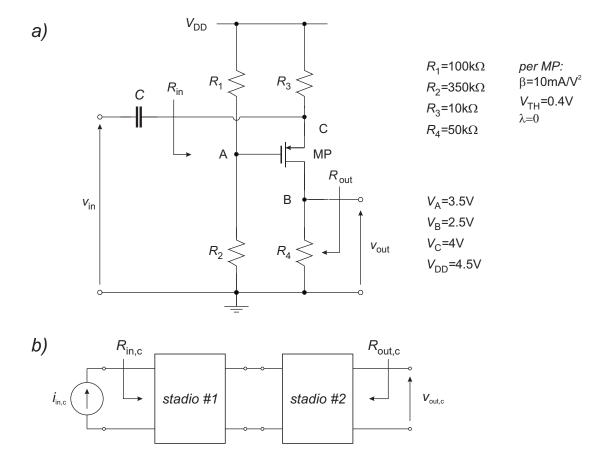
	1	2	3	4	5	6
a				X		
b	X	X	X			
c						X
d					X	

- 1. Un amplificatore differenziale fornisce in uscita una tensione  $v_{\rm out}=100.05v^+-99.95v^-$ , detta  $A_{\rm d}$  l'amplificazione differenziale,  $A_{\rm cm}$  l'amplificazione di modo comune e CMRR il rapporto di reiezione del modo comune:
  - (a)  $A_{\rm d} = 20 \, {\rm dB}, A_{\rm cm} = 20 \, {\rm dB}, {\rm CMRR} = 40 \, {\rm dB}$
  - (b)  $A_{\rm d} = 40 \, \text{dB}, A_{\rm cm} = -20 \, \text{dB}, \text{CMRR} = 60 \, \text{dB}$
  - (c)  $A_{\rm d}=100\,{\rm dB},\,A_{\rm cm}=-0.5\,{\rm dB},\,{\rm CMRR}=100.5\,{\rm dB}$
  - (d)  $A_{\rm d} = 40\,{\rm dB},\, A_{\rm cm} = 20\,{\rm dB},\, {\rm CMRR} = 20\,{\rm dB}$
- 2. Un amplificatore operazionale con guadagno in banda di  $100\,\mathrm{dB}$ , prodotto banda-guadagno pari a  $10\mathrm{MHz}$ , resistenze d'ingresso e uscita trascurabili (cioè  $R_{\mathrm{in,d}} \to \infty, R_{\mathrm{in,cm}} \to \infty, R_{\mathrm{out}} = 0$ ), è utilizzato in configurazione amplificatore di tensione invertente con amplificazione di tensione  $A_{\mathrm{v}} = -3$ . La banda dell'amplificatore di tensione invertente è pari a:
  - (a) 3.3 MHz
  - (b) 2.5 MHz
  - (c) 10 MHz
  - (d) 250 kHz
- 3. In un comparatore di soglia non-invertente con isteresi realizzato a partire da un amplificatore operazionale:
  - (a) è presente retroazione negativa
  - (b) è presente retroazione positiva
  - (c) è presente sia retroazione positiva sia retroazione negativa
  - (d) non è presente alcuna rete di retroazione (circuito ad anello aperto)
- 4. La banda di un blocco funzionale analogico:
  - (a) deve includere la banda del segnale con un certo margine, ma è opportuno che non sia molto più ampia, per evitare di amplificare rumore fuori banda
  - (b) deve essere più ampia della banda del rumore in ingresso, per evitare che il rumore sia distorto
  - (c) deve essere la più ampia possibile, per evitare perdita di informazione
  - (d) deve essere inclusa nella banda del segnale ed è opportuno che sia decisamente più stretta della banda del segnale, così da non amplificare nè il rumore fuori banda, nè il rumore in banda
- 5. La resistenza d'uscita di piccolo segnale  $r_{\rm o}$  di un transistore nMOS in regione di saturazione può essere espressa in funzione delle grandezze nel punto di lavoro Q come:

(a) 
$$r_{\rm o} = \frac{V_{\rm GS} - V_{\rm TH}}{I_{\rm D}}$$
 (b)  $r_{\rm o} = \frac{1}{\sqrt{2\beta I_{\rm D}}}$  (c)  $r_{\rm o} = \frac{V_{\rm D}}{I_{\rm D}}$  (d)  $r_{\rm o} = \frac{1}{\lambda I_{\rm D}}$ 

- 6. In un amplificatore di transconduttanza basato su operazionale:
  - (a) la dinamica della tensione d'uscita dell'operazionale non è d'interesse, essendo l'uscita in corrente.
  - (b) la tensione di offset in ingresso non ha alcun effetto sulla corrente d'uscita.
  - (c) la dinamica d'ingresso per il modo comune dell'operazionale deve includere la dinamica del segnale d'ingresso.
  - (d) la dinamica della corrente d'uscita dell'operazionale non è d'interesse, essendo l'uscita in tensione.

#### Esercizio n. 1



Con riferimento al circuito in figura a):

- 1. verificare il funzionamento del transistore MP in regione di saturazione e determinarne i parametri di piccolo segnale nel punto di lavoro;
- 2. assumendo che il condensatore C si comporti in banda come un corto circuito, determinare in condizioni di piccolo segnale l'amplificazione di tensione  $A_{\rm v0} = v_{\rm out}/v_{\rm in}$ , la resistenza d'ingresso  $R_{\rm in}$  e la resistenza d'uscita  $R_{\rm out}$  indicate in figura a), nella banda del segnale;
- 3. si supponga di collegare in cascata due stadi analoghi a quello riportato in Fig.a), così come indicato in Fig.b). Con riferimento alla cascata dei due stadi, determinare in condizioni di piccolo segnale e con riferimento ad un segnale in banda l'amplificazione di transresistenza  $R_{\rm m,c} = v_{\rm out,c}/i_{\rm in,c}$ , la resistenza di ingresso  $R_{\rm in,c}$  e la resistenza d'uscita  $R_{\rm out,c}$  indicate in Fig.b).

#### **Soluzione**

#### 1. Per il transistore MP:

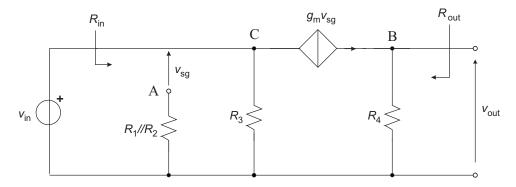
$$V_{\rm SG} = V_{\rm C} - V_{\rm A} = 4{\rm V} - 3.5{\rm V} = 500\,{\rm mV} > V_{\rm TH} = 400\,{\rm mV}$$

e

$$V_{\rm SD} = V_{\rm C} - V_{\rm B} = 4 \text{V} - 2.5 \text{V} = 1.5 \,\text{V} > V_{\rm SG} - V_{\rm TH} = 100 \,\text{mV}$$

Il transistore MP è dunque polarizzato in regione di saturazione.

La transconduttanza di piccolo segnale può essere valutata come  $g_m = \beta(V_{\rm SG} - V_{\rm TH}) = 1 \, {\rm mS}$ . 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 gate comune.
  - Amplificazione di Tensione  $A_{\rm v}$  in banda:

È possibile ricavare la tensione di controllo  $v_{
m sg}=v_{
m in}$  si ricava subito:

$$v_{\text{out}} = g_{\text{m}} R_4 v_{\text{sg}} = g_{\text{m}} R_4 \cdot v_{\text{in}}.$$

Quindi:

$$A_{\rm v0} = v_{\rm out}/v_{\rm in} = g_{\rm m}R_4 = 50$$
 (34 dB)

• Resistenza d'ingresso:

Dal circuito equivalente di piccolo segnale, applicando un generatore di tensione di test  $v_{\rm t}$  in ingresso si ha che:

$$i_{\rm t} = g_{\rm m} v_{\rm t} + \frac{v_{\rm t}}{R_3}$$

da cui:

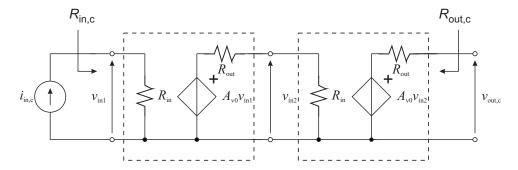
$$R_{\rm in} = \frac{v_{\rm t}}{i_{\rm t}} = \frac{R_3}{1 + g_{\rm m}R_3} = \frac{10}{11}\,{\rm k}\Omega = 909\,\Omega$$

• Resistenza d'uscita:

Dal momento che spegnendo il generatore d'ingresso la corrente del generatore pilotato è nulla, si ricava subito

$$R_{\rm out} = R_4 = 22 \,\mathrm{k}\Omega.$$

3. A partire dal modello a doppio bipolo dell'amplificatore in Fig.a), dove  $A_{\rm v0}$ ,  $R_{\rm in}$  ed  $R_{\rm out}$  sono quelli valutati al punto precedente, è possibile valutare i parametri richiesti per i due stadi in cascata con riferimento al circuito equivalente in figura:



Si ottiene pertanto:

$$v_{\rm out,c} = i_{\rm in,c} \cdot A_{\rm v0}^2 \frac{R_{\rm in}^2}{R_{\rm in} + R_{\rm out}}$$

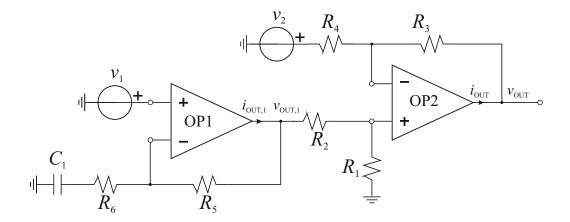
da cui:

$$R_{\rm m,c} = \frac{v_{\rm out,c}}{i_{\rm in,c}} = A_{\rm v0}^2 \frac{R_{\rm in}^2}{R_{\rm in} + R_{\rm out}} = 90.17\,{\rm k}\Omega;$$

$$R_{\rm in,c} = R_{\rm in} = 909 \,\Omega;$$

$$R_{\rm out,c} = R_{\rm out} = 22 \,\mathrm{k}\Omega.$$

## Esercizio 2.



### Nel circuito in figura:

$$\begin{split} R_1 &= R_2 = R_4 = 10 \text{ k}\Omega \\ R_6 &= 1 \text{ k}\Omega \\ R_3 &= R_5 = 110 \text{ k}\Omega \\ C_1 &= 1/(2\pi) \text{ nF.} \end{split}$$

#### Determinare:

- 1. l'espressione in continua delle tensioni  $v_{\text{OUT},1}$ e  $v_{\text{OUT}}$  in funzione degli ingressi  $v_1$  e  $v_2$ ;
- 2. l'intervallo di valori che può assumere la  $v_{\rm OUT}$  quando tutti i generatori sono spenti, assumendo che tutti gli operazionali presentino input offset voltage (max.) pari a 0.5 mV e offset di corrente trasqurabili;
- 3. l'espressione della funzione di trasferimento  $A_{\rm v1}=v_{\rm OUT}/v_{\rm 1}$ , disegnandone i diagrammi di Bode del modulo e della fase.

1. Espressione delle tensioni d'uscita:

$$\begin{aligned} v_{\text{out},1} &= v_1 \\ v_2^+ &= v_{\text{out},1} \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{2} v_1 \\ v_{\text{out}} &= v_2^+ \left( 1 + \frac{R_3}{R_4} \right) - v_2 \frac{R_3}{R_4} = 6 v_1 - 11 v_2 \end{aligned}$$

2. OFFSET della tensione d'uscita: 
$$v_{\rm out} = \left(v_{\rm OFF,1}\frac{R_1}{R_1+R_2}+v_{\rm OFF,2}\right)\left(1+\frac{R_3}{R_4}\right) = 6v_{\rm OFF,1}+12v_{\rm OFF,2}$$
 
$$v_{\rm out} \in [-9,9] \text{ mV}.$$

3. Funzione di trasferimento:

$$\begin{split} A_v &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} \left( 1 + \frac{R_3}{R_4} \right) \frac{1 + s \left( R_5 + R_6 \right) C_1 \right)}{1 + s R_6 C_1} \\ f_z &= \frac{1}{2 \pi C_1 \left( R_5 + R_6 \right)} = 9 \text{ kHz} \\ f_p &= \frac{1}{2 \pi C_1 \left( R_6 \right)} = 1 \text{ MHz} \end{split}$$

