

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

Nome: _____
Cognome: _____
Matricola: _____

ATTENZIONE

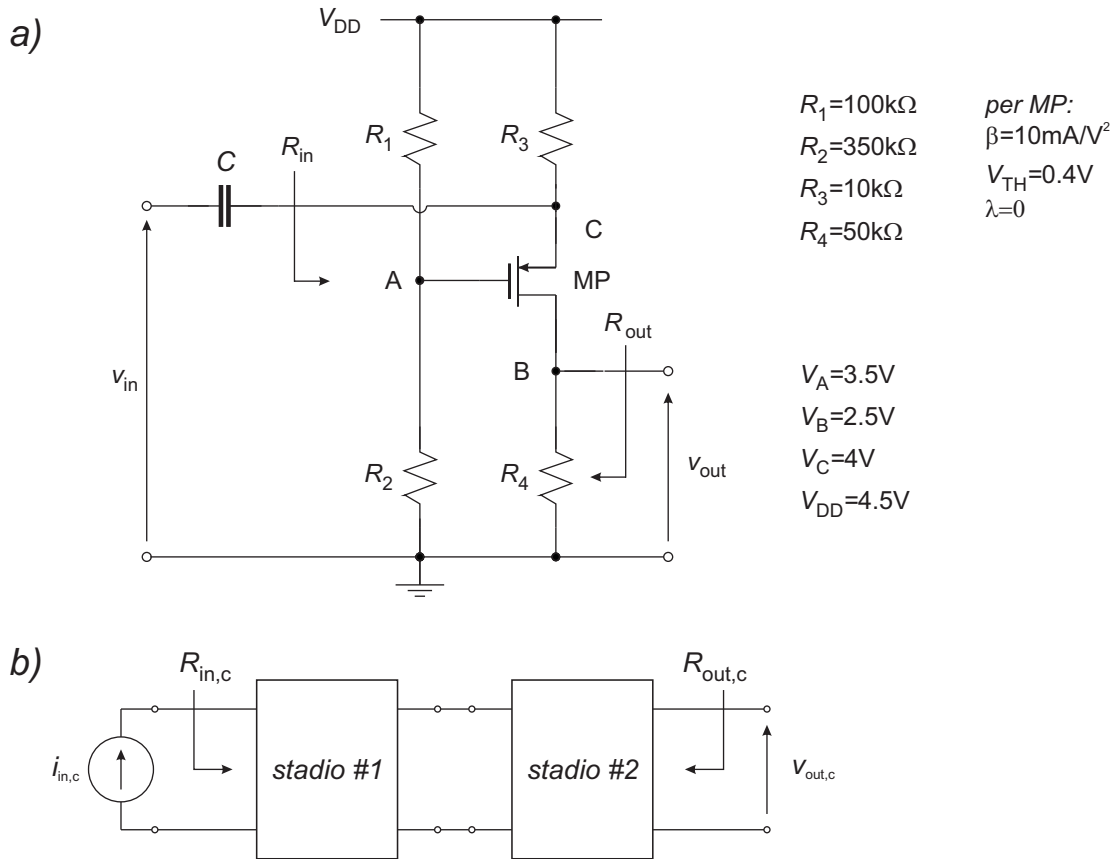
1. Compilare subito questa pagina con nome, cognome e numero di matricola
2. Per i quesiti a risposta multipla, la risposta errata determina la sottrazione di un punteggio pari a metà del valore della risposta esatta
3. Riportare le **risposte esatte** dei quesiti a risposta multipla nella tabella posta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

- Un amplificatore differenziale fornisce in uscita una tensione $v_{\text{out}} = 100.05v^+ - 99.95v^-$, detta A_d l'amplificazione differenziale, A_{cm} l'amplificazione di modo comune e CMRR il rapporto di reiezione del modo comune:
 - $A_d = 20 \text{ dB}$, $A_{\text{cm}} = 20 \text{ dB}$, CMRR = 40 dB
 - $A_d = 40 \text{ dB}$, $A_{\text{cm}} = -20 \text{ dB}$, CMRR = 60 dB
 - $A_d = 100 \text{ dB}$, $A_{\text{cm}} = -0.5 \text{ dB}$, CMRR = 100.5 dB
 - $A_d = 40 \text{ dB}$, $A_{\text{cm}} = 20 \text{ dB}$, CMRR = 20 dB
- Un amplificatore operazionale con guadagno in banda di 100 dB, prodotto banda-guadagno pari a 10 MHz, resistenze d'ingresso e uscita trascurabili (cioè $R_{\text{in,d}} \rightarrow \infty$, $R_{\text{in,cm}} \rightarrow \infty$, $R_{\text{out}} = 0$), è utilizzato in configurazione amplificatore di tensione invertente con amplificazione di tensione $A_v = -3$. La banda dell'amplificatore di tensione invertente è pari a:
 - 3.3 MHz
 - 2.5 MHz
 - 10 MHz
 - 250 kHz
- In un comparatore di soglia non-invertente con isteresi realizzato a partire da un amplificatore operazionale:
 - è presente retroazione negativa
 - è presente retroazione positiva
 - è presente sia retroazione positiva sia retroazione negativa
 - non è presente alcuna rete di retroazione (circuitto ad anello aperto)
- La banda di un blocco funzionale analogico:
 - 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
 - deve essere più ampia della banda del rumore in ingresso, per evitare che il rumore sia distorto
 - deve essere la più ampia possibile, per evitare perdita di informazione
 - 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
- La resistenza d'uscita di piccolo segnale r_o di un transistor nMOS in regione di saturazione può essere espressa in funzione delle grandezze nel punto di lavoro Q come:
 - $r_o = \frac{V_{\text{GS}} - V_{\text{TH}}}{I_D}$
 - $r_o = \frac{1}{\sqrt{2}\beta I_D}$
 - $r_o = \frac{V_D}{I_D}$
 - $r_o = \frac{1}{\lambda I_D}$
- In un amplificatore di transconduttanza basato su operazionale:
 - la dinamica della tensione d'uscita dell'operazionale non è d'interesse, essendo l'uscita in corrente.
 - la tensione di offset in ingresso non ha alcun effetto sulla corrente d'uscita.
 - la dinamica d'ingresso per il modo comune dell'operazionale deve includere la dinamica del segnale d'ingresso.
 - 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 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 in banda come un corto circuito, determinare - in condizioni di piccolo segnale - 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 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 $R_{m,c} = v_{out,c}/i_{in,c}$, la resistenza di ingresso $R_{in,c}$ e la resistenza d'uscita $R_{out,c}$ indicate in Fig.b).

Soluzione

1. Per il transistor MP:

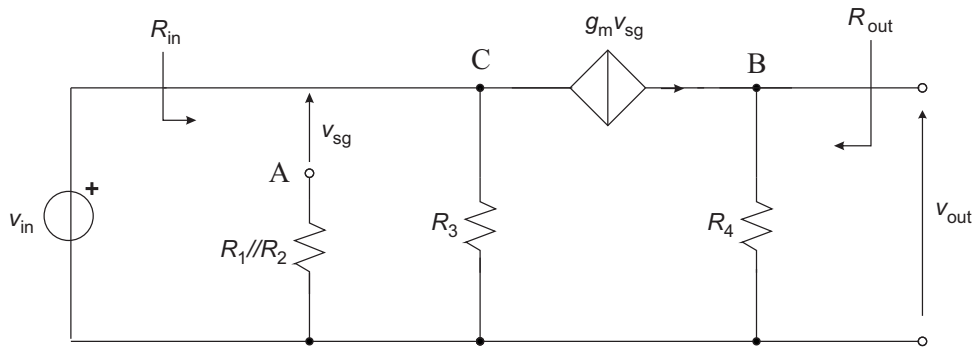
$$V_{SG} = V_C - V_A = 4V - 3.5V = 500\text{ mV} > V_{TH} = 400\text{ mV}$$

e

$$V_{SD} = V_C - V_B = 4V - 2.5V = 1.5V > V_{SG} - V_{TH} = 100\text{ mV}$$

Il transistor MP è dunque polarizzato in regione di saturazione.

La transconduttanza di piccolo segnale può essere valutata come $g_m = \beta(V_{SG} - V_{TH}) = 1\text{ mS}$. 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_v in banda:

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

$$v_{out} = g_m R_4 v_{sg} = g_m R_4 \cdot v_{in}.$$

Quindi:

$$A_{v0} = v_{out}/v_{in} = g_m R_4 = 50 \quad (34\text{ dB})$$

- Resistenza d'ingresso:

Dal circuito equivalente di piccolo segnale, applicando un generatore di tensione di test v_t in ingresso si ha che:

$$i_t = g_m v_t + \frac{v_t}{R_3}$$

da cui:

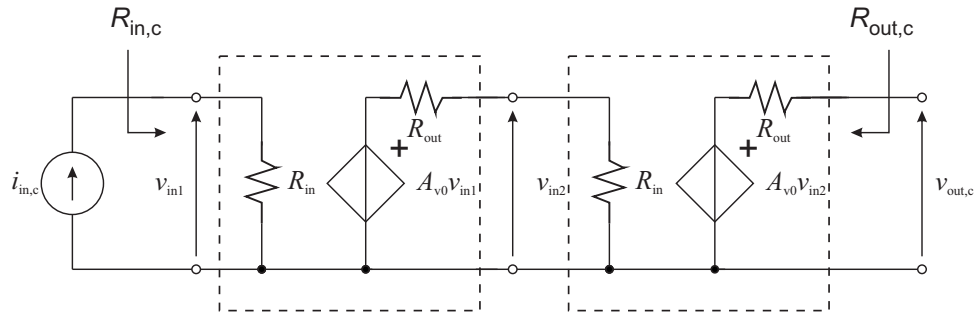
$$R_{in} = \frac{v_t}{i_t} = \frac{R_3}{1 + g_m R_3} = \frac{10}{11}\text{ k}\Omega = 909\text{ }\Omega$$

- Resistenza d'uscita:

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

$$R_{out} = R_4 = 22\text{ k}\Omega.$$

3. A partire dal modello a doppio bipolo dell'amplificatore in Fig.a), dove A_{v0} , R_{in} ed R_{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:

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

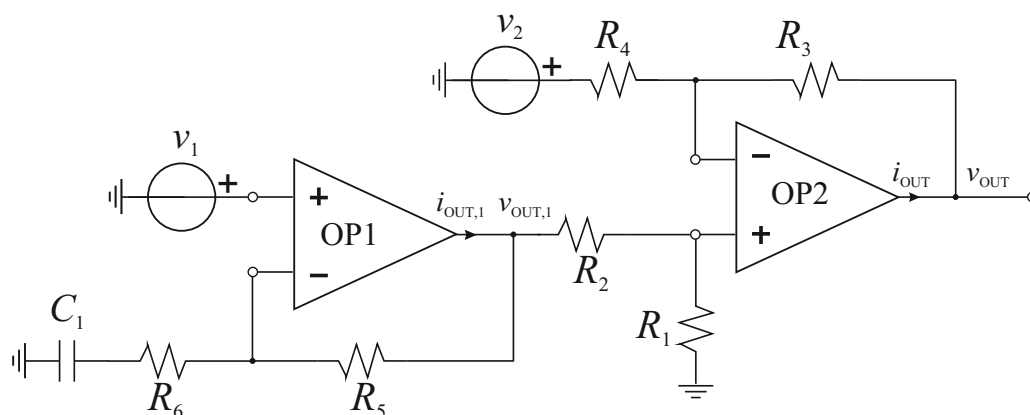
da cui:

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

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

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

Esercizio 2.



Nel circuito in figura:

$$R_1 = R_2 = R_4 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_6 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = R_5 = 110 \text{ k}\Omega$$

$$C_1 = 1/(2\pi) \text{ nF.}$$

Determinare:

1. l'espressione in continua delle tensioni $v_{\text{OUT},1}$ e v_{OUT} in funzione degli ingressi v_1 e v_2 ;
2. l'intervallo di valori che può assumere la v_{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 trascurabili;
3. l'espressione della funzione di trasferimento $A_{v1} = v_{\text{OUT}}/v_1$, disegnandone i diagrammi di Bode del modulo e della fase.

1. Espressione delle tensioni d'uscita:

$$v_{\text{out},1} = v_1$$

$$v_2^+ = v_{\text{out},1} \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{2} v_1$$

$$v_{\text{out}} = v_2^+ \left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right) - v_2 \frac{R_3}{R_4} = 6v_1 - 11v_2$$

2. OFFSET della tensione d'uscita:

$$v_{\text{out}} = \left(v_{\text{OFF},1} \frac{R_1}{R_1 + R_2} + v_{\text{OFF},2}\right) \left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right) = 6v_{\text{OFF},1} + 12v_{\text{OFF},2}$$

$$v_{\text{out}} \in [-9, 9] \text{ mV.}$$

3. Funzione di trasferimento:

$$A_v = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right) \frac{1 + s(R_5 + R_6)C_1}{1 + sR_6C_1}$$

$$f_z = \frac{1}{2\pi C_1 (R_5 + R_6)} = 9 \text{ kHz}$$

$$f_p = \frac{1}{2\pi C_1 (R_6)} = 1 \text{ MHz}$$

