

**Sistemi Elettronici, Tecnologie e Misure**  
**Appello Straordinario del 18/5/2022**

Nome: \_\_\_\_\_  
Cognome: \_\_\_\_\_ **SOLUZIONE** \_\_\_\_\_  
Matricola: \_\_\_\_\_

**ATTENZIONE**

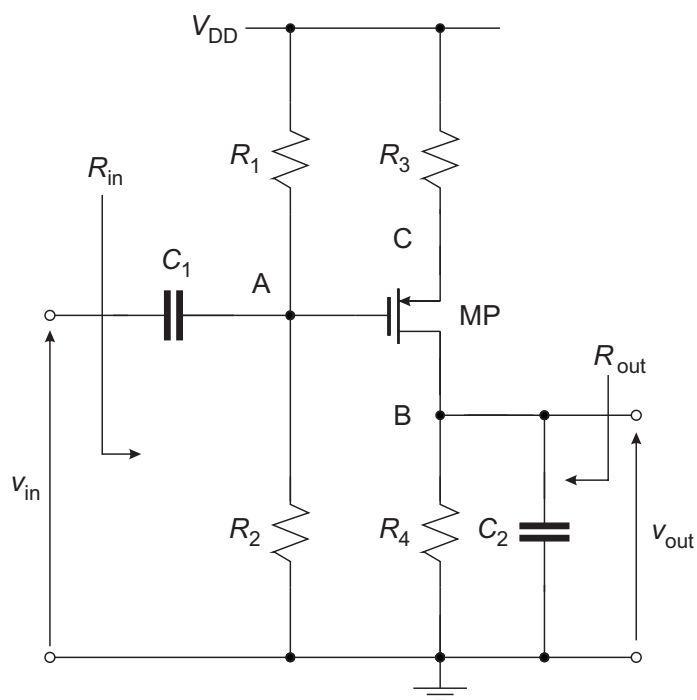
1. Compilare subito questa pagina con nome, cognome e numero di matricola
2. Per i quesiti a risposta multipla, la risposta errata determina la sottrazione di un punteggio pari a metà del valore della risposta esatta
3. Riportare le **risposte esatte** dei quesiti a risposta multipla nella tabella posta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

- In un circuito contenente un diodo semi-ideale  $D$  con  $V_\gamma = 0.7\text{V}$  si è fatta l'ipotesi che il diodo sia OFF. L'ipotesi è verificata se e solo se:
  - $v_D < 0.7\text{V}$
  - $v_D > 0.7\text{V}$
  - $i_D > 0$
  - $v_D < -0.7\text{V}$
- 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:
  - $g_m = \frac{2I_D}{V_{GS} - V_{TH}}$
  - $g_m = \sqrt{\frac{\beta}{I_D}}$
  - $g_m = \lambda I_D$
  - $g_m = \frac{I_D}{(V_{GS} - V_{TH})^2}$
- Un amplificatore operazionale con guadagno in banda di 100 dB, prodotto banda-guadagno pari a 10 MHz, resistenze d'ingresso e uscita trascurabili (cioè  $R_{in,d} \rightarrow \infty$ ,  $R_{in,cm} \rightarrow \infty$ ,  $R_{out} = 0$ ), è utilizzato in configurazione *voltage follower*. La banda del *voltage follower* è pari a:
  - 100 Hz
  - 10 MHz
  - 100 MHz
  - 500 kHz
- In un comparatore di soglia 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 (circuito ad anello aperto)
- Per ricavare il circuito equivalente per il piccolo segnale di un amplificatore:
  - i generatori di tensione costanti nel tempo possono essere sostituiti con circuiti aperti
  - i condensatori possono essere sempre sostituiti da circuiti aperti
  - è necessario assumere che i segnali applicati siano in banda
  - è necessario conoscere il punto di funzionamento a riposo dei dispositivi non lineari
- Un amplificatore di transconduttanza è ottenuto collegando in cascata un amplificatore di tensione descritto dai parametri  $A_{v,1}$ ,  $R_{in,1}$  (finita e non nulla) e  $R_{out,1} = 0$  ed un amplificatore di transconduttanza descritto dai parametri  $G_{m,2}$ ,  $R_{in,2}$ ,  $R_{out,2}$  (tutti finiti e non nulli). La transconduttanza complessiva  $G_m$  della cascata dei due stadi è data da
  - $A_{v,1} G_{m,2}$
  - $A_{v,1} G_{m,2} \frac{R_{in,1}}{R_{in,2} + R_{out,2}}$
  - $A_{v,1} G_{m,2} \frac{R_{out,2}}{R_{in,2} + R_{out,2}}$
  - $G_{m,2}$

## Esercizio n. 1



$$R_1 = 150\text{k}\Omega$$

$$R_2 = 350\text{k}\Omega$$

$$R_3 = 10\text{k}\Omega$$

$$R_4 = 22\text{k}\Omega$$

$$V_A = 3.5\text{V}$$

$$V_B = 2.2\text{V}$$

$$V_C = 4\text{V}$$

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

per MP:

$$\beta_p = 5\text{mA/V}^2$$

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

$$\lambda = 0$$

$$C_1 = \frac{10}{2\pi} \text{ nF}$$

$$C_2 = \frac{10}{2\pi} \text{ pF}$$

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  $C_1$  si comporti in banda come un corto circuito e che il condensatore  $C_2$  si comporti in banda come un circuito aperto, 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, nella banda del segnale;
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:

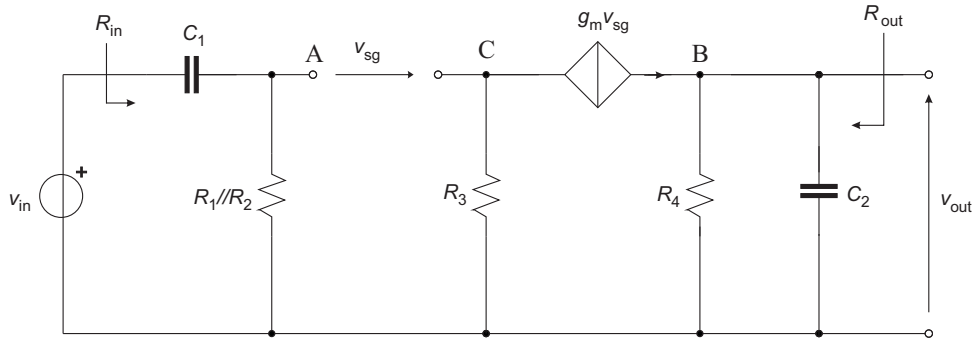
$$V_{SG} = V_C - V_A = 4V - 3.5V = 500\text{ mV} > V_{TH} = 300\text{ mV}$$

e

$$V_{SD} = V_C - V_B = 4V - 2.2V = 1.8V > V_{SG} - V_{TH} = 200\text{ mV}$$

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 *source comune* con resistore sul *source*.

- Amplificazione di Tensione  $A_v$  in banda

È possibile ricavare la tensione di controllo  $v_{sg}$  dalla KVL alla maglia d'ingresso:

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

da cui:

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

la tensione d'uscita  $v_{out}$  vale pertanto:

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

Quindi:

$$A_{v0} = v_{out}/v_{in} = -\frac{g_m R_4}{1 + g_m R_3} = -\frac{22}{11} = -2 \quad (6\text{ dB})$$

- Resistenza d'ingresso:

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

$$R_{in} = R_1 \parallel R_2 = 105\text{ k}\Omega$$

- 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:

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

3. Considerando il condensatore  $C$  nel circuito equivalente per il piccolo segnale, si può calcolare l'amplificazione di tensione nel dominio della frequenza come:

$$A_v(s) = \frac{R_1 \parallel R_2}{R_1 \parallel R_2 + \frac{1}{sC_1}} \cdot \frac{-g_m Z_4}{1 + g_m R_3}$$

dove

$$Z_4 = \frac{R_4}{1 + sC_2 R_4}.$$

Ossia:

$$A_v(s) = -\frac{g_m R_4}{1 + g_m R_3} \cdot \frac{sC_1 R_1 \parallel R_2}{(1 + sC_1 R_1 \parallel R_2)(1 + sC_2 R_4)} = A_{v0} \frac{sC_1 R_1 \parallel R_2}{(1 - s/s_{p1})(1 - s/s_{p2})}$$

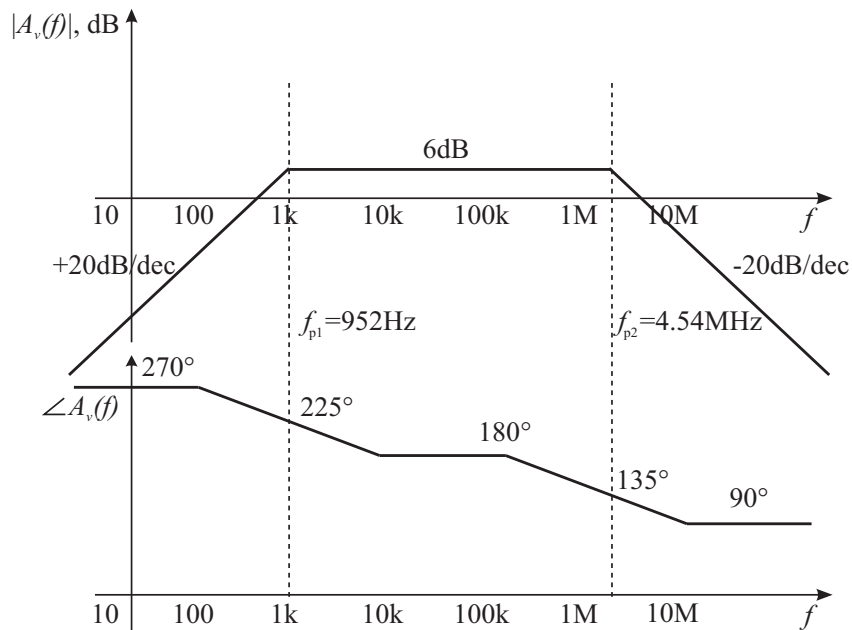
La funzione di trasferimento presenta uno zero nell'origine ( $s_z = 0$ ) e due poli con frequenze di taglio finite e non nulle: e la frequenza di taglio del primo polo è:

$$f_{p1} = \frac{|s_{p1}|}{2\pi} = \frac{1}{2\pi R_1 \parallel R_2 C_1} = 952 \text{ Hz.}$$

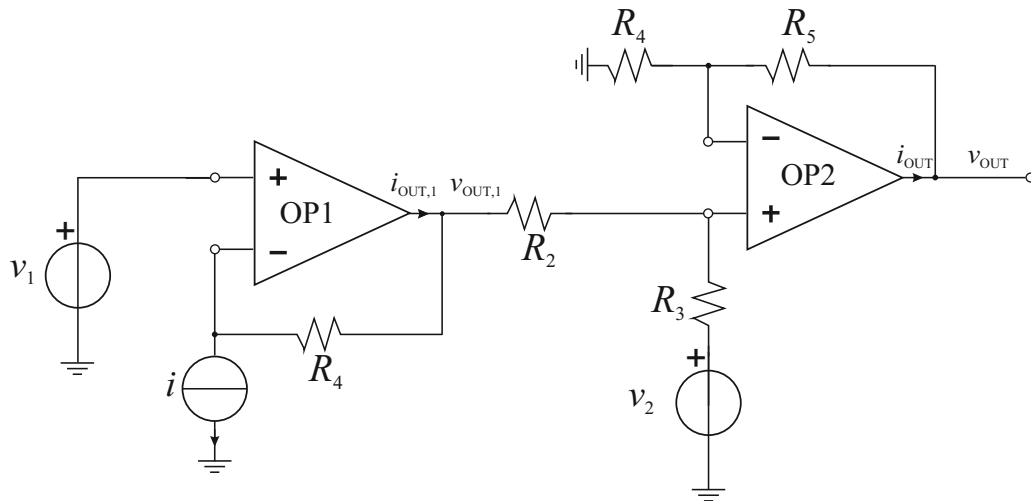
mentre la frequenza di taglio del secondo polo è:

$$f_{p2} = \frac{|s_{p2}|}{2\pi} = \frac{1}{2\pi R_4 C_2} = 4.54 \text{ MHz.}$$

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



## Esercizio 2.



Nel circuito in figura si ha:  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R = 1\text{k}\Omega$  e  $R_5 = 5R$ . Determinare:

1. l'espressione delle tensioni  $v_{\text{OUT},1}$  e  $v_{\text{OUT}}$  in funzione degli ingressi  $v_1$ ,  $v_2$  e  $i$ ;
2. l'espressione delle correnti  $i_{\text{OUT},1}$  e  $i_{\text{OUT}}$  in funzione degli ingressi  $v_1$ ,  $v_2$  e  $i$ ;
3. la minima dinamica di uscita della tensione e della corrente di OP1 e OP2 considerando  $i = 0$ ,  $v_1 \in [-1, 1]$  V e  $v_2 \in [-1, 1]$  V.

## 1. Espressione delle tensioni d'uscita:

$$v_{\text{out},1} = v_1 + R_1 i = v_1 + 1k\Omega \cdot i$$

$$v_2^+ = v_{\text{out},1} \frac{R_3}{R_2 + R_3} + v_2 \frac{R_2}{R_2 + R_3} = \frac{1}{2} (v_1 + 1k\Omega \cdot i + v_2)$$

$$v_{\text{out}} = v_2^+ \left(1 + \frac{R_5}{R_4}\right) = 3 (v_1 + 1k\Omega \cdot i + v_2)$$

2. Espressione delle correnti d'uscita ( $G = 1/R$ ):

$$i_{\text{out},1} = i + \frac{v_{\text{out},1} - v_2^+}{R_2} = \frac{3}{2}i + \frac{1}{2}Gv_1 - \frac{1}{2}Gv_2$$

$$i_{\text{out}} = \frac{v_{\text{out}} - v_2^+}{R_5} = \frac{v_2^+}{R_4} = \frac{1}{2} (i + Gv_1 + Gv_2)$$

3. Dinamica di uscita in tensione OP1:  $(v_{\text{out},\text{min}}, v_{\text{out},\text{max}}) = [-1, 1] \text{ V}$ Dinamica di uscita in tensione OP2:  $(v_{\text{out},\text{min}}, v_{\text{out},\text{max}}) = [-6, 6] \text{ V}$ Dinamica di uscita in corrente OP1:  $(v_{\text{out},\text{min}}, v_{\text{out},\text{max}}) = [-1, 1] \text{ mA}$ Dinamica di uscita in corrente OP2:  $(v_{\text{out},\text{min}}, v_{\text{out},\text{max}}) = [-1, 1] \text{ mA}$