

Sistemi Elettronici, Tecnologie e Misure
Appello del 12/9/2022

Nome:	_____
Cognome:	_____ SOLUZIONE _____
Matricola:	_____

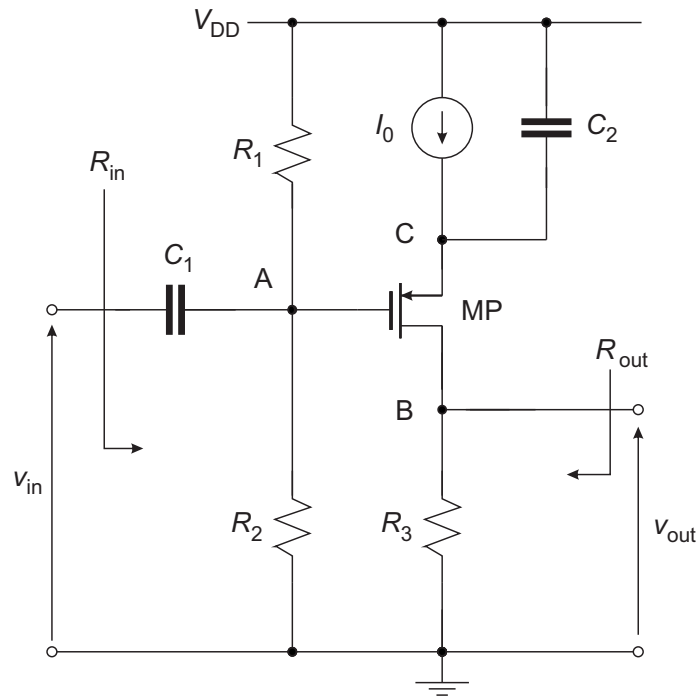
ATTENZIONE

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		
b	X					
c		X			X	
d						X

- Un amplificatore differenziale fornisce in uscita una tensione $v_{\text{out}} = 101v^+ - 99v^-$, detta A_d l'amplificazione differenziale, A_{cm} l'amplificazione di modo comune e CMRR il rapporto di reiezione del modo comune:
 - $A_d = 40 \text{ dB}$, $A_{\text{cm}} = 0 \text{ dB}$, CMRR = 40 dB
 - $A_d = 40 \text{ dB}$, $A_{\text{cm}} = 6 \text{ dB}$, CMRR = 34 dB
 - $A_d = 100 \text{ dB}$, $A_{\text{cm}} = 0 \text{ dB}$, CMRR = 100 dB
 - $A_d = 0 \text{ dB}$, $A_{\text{cm}} = 40 \text{ dB}$, CMRR = 40 dB
- In un circuito contenente un diodo semi-ideale D con $V_\gamma = 0.6\text{V}$ si è fatta l'ipotesi che il diodo sia ON. L'ipotesi è verificata se e solo se:
 - $v_D < 0.6\text{V}$
 - $v_D > 0.6\text{V}$
 - $i_D > 0$
 - $v_D < -0.6\text{V}$
- In uno stadio amplificatore MOS a singolo transistor di tipo *drain comune*, detta A_v l'amplificazione di tensione di piccolo segnale si ha che:
 - $A_v > 0$ (stadio non-invertente) e $A_v < 1$
 - $A_v < 0$ (stadio invertente) e $|A_v| < 1$
 - $A_v < 0$ (stadio invertente) e $|A_v| > 1$
 - $A_v > 0$ (stadio non-invertente) e $A_v > 1$
- In un derivatore invertente basato su operazionale ideale (indicare quale delle seguenti affermazioni è errata):
 - è presente un condensatore C collegato tra ingresso invertente ed uscita
 - l'impedenza d'ingresso del circuito è capacitiva ed è pari all'impedenza del condensatore C
 - la resistenza d'uscita in continua è nulla
 - la resistenza d'ingresso vista dalla sorgente in continua è infinita
- In un circuito contenente due amplificatori operazionali, la tensione d'uscita per ingresso nullo risulta pari a $V_{\text{OUT},0} = 3 \cdot V_{\text{OFF},1} - V_{\text{OFF},2}$, dove $V_{\text{OFF},1}$ e $V_{\text{OFF},2}$ sono le tensioni di offset in ingresso dei due operazionali utilizzati. Se sui datasheet degli operazionali è indicato $|V_{\text{OFF},\text{max}}| = 5 \text{ mV}$, si ha:
 - $-10\text{mV} < V_{\text{OUT},0} < 10\text{mV}$
 - $-20\text{mV} < V_{\text{OUT},0} < 10\text{mV}$
 - $-20\text{mV} < V_{\text{OUT},0} < 20\text{mV}$
 - $-10\text{mV} < V_{\text{OUT},0} < 20\text{mV}$
- In un amplificatore di transresistenza, per evitare effetti di carico per qualsiasi possibile sorgente o carico deve essere:
 - $R_{\text{in}} = 0$, $R_{\text{out}} \rightarrow \infty$
 - $R_{\text{in}} \rightarrow \infty$, $R_{\text{out}} \rightarrow \infty$
 - $R_{\text{in}} \rightarrow \infty$, $R_{\text{out}} = 0$
 - $R_{\text{in}} = 0$, $R_{\text{out}} = 0$



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

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

$$R_3 = 22 \text{ k}\Omega$$

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

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

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

$$I_0 = 100 \mu\text{A}$$

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

per MP:

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

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

$$\lambda = 0$$

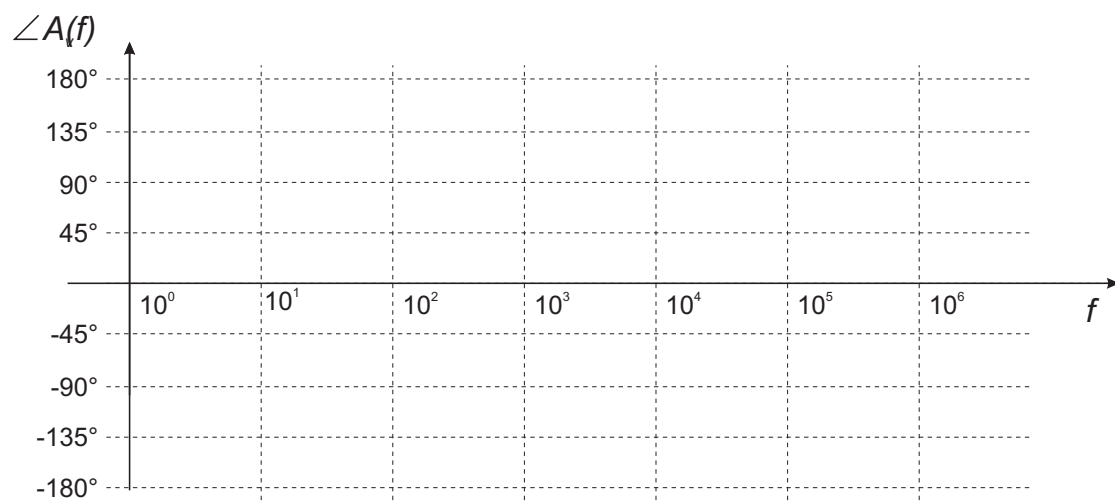
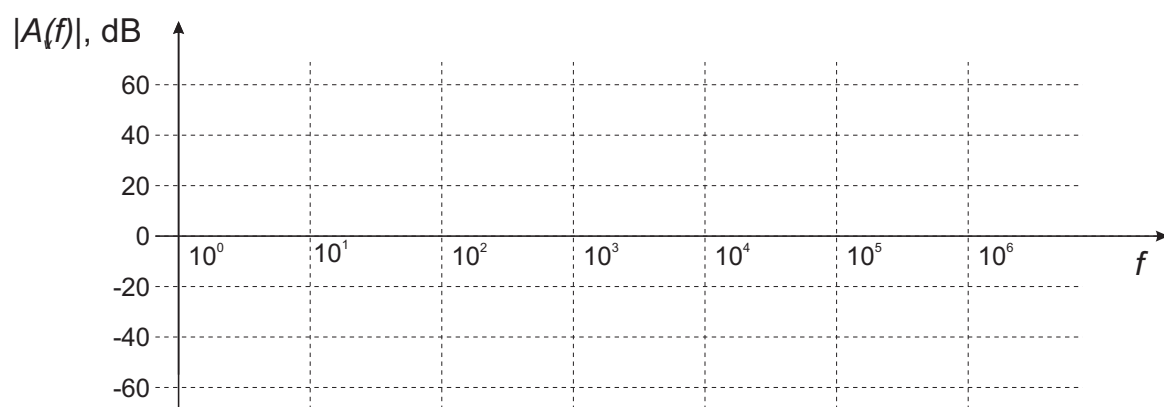
$$C_1 = \frac{10}{2\pi} \text{ nF}$$

$$C_2 = \frac{10}{2\pi} \mu\text{F}$$

Esercizio n. 1

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 i condensatori C_1 e C_2 si comportino entrambi come cortocircuiti 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:

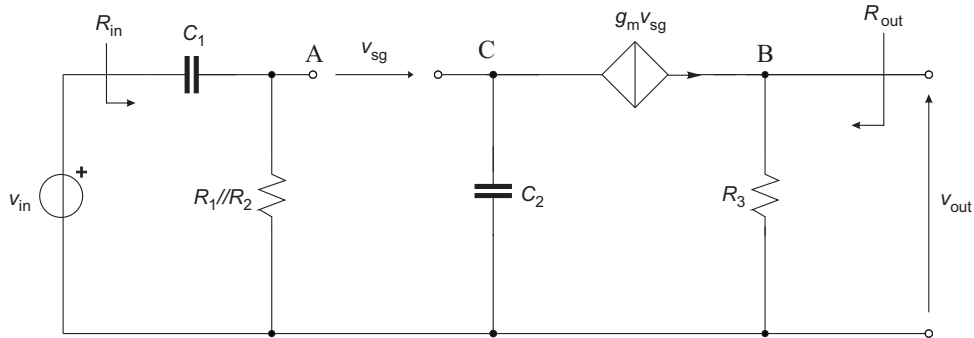
$$V_{SG} = V_C - V_A = 4V - 3.5V = 500\text{ mV} > V_{TH} = 300\text{ mV}$$

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*.

- Amplificazione di Tensione A_v in banda

Considerando C_1 e C_2 come cortocircuiti, si ha che $v_{sg} = -v_{in}$, per cui la tensione d'uscita v_{out} vale:

$$v_{out} = -g_m R_3 v_{in}.$$

Quindi:

$$A_{v0} = v_{out}/v_{in} = -g_m R_3 = -22 \quad (26.8\text{ dB})$$

- 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

$$v_t = i_t R_3$$

e la resistenza d'uscita è data da:

$$R_{out} = R_3 = 22\text{ k}\Omega$$

3. Considerando i condensatori C_1 e C_2 nel circuito equivalente per il piccolo segnale, dalla KVL alla maglia d'ingresso:

$$V_{sg} = -\frac{g_m}{sC_2} V_{sg} - V_{in} \frac{R_1 \parallel R_2}{R_1 \parallel R_2 + \frac{1}{sC_1}}$$

da cui:

$$V_{sg} = -V_{in} \frac{sC_1(R_1 \parallel R_2)}{sC_1(R_1 \parallel R_2) + 1} \frac{s\frac{C_2}{g_m}}{s\frac{C_2}{g_m} + 1}$$

e

$$V_{out} = g_m R_3 V_{sg} = -V_{in} \frac{sC_1(R_1 \parallel R_2)}{sC_1(R_1 \parallel R_2) + 1} \frac{sC_2 R_3}{s\frac{C_2}{g_m} + 1}.$$

Ne segue pertanto che:

$$A_v(s) = -\frac{sC_1(R_1 \parallel R_2)}{sC_1(R_1 \parallel R_2) + 1} \frac{sC_2R_3}{s\frac{C_2}{g_m} + 1}$$

La funzione di trasferimento presenta uno zero doppio nell'origine ($s_{z1,2} = 0$) e due poli con frequenze di taglio finite e non nulle. La frequenza di taglio del primo polo è:

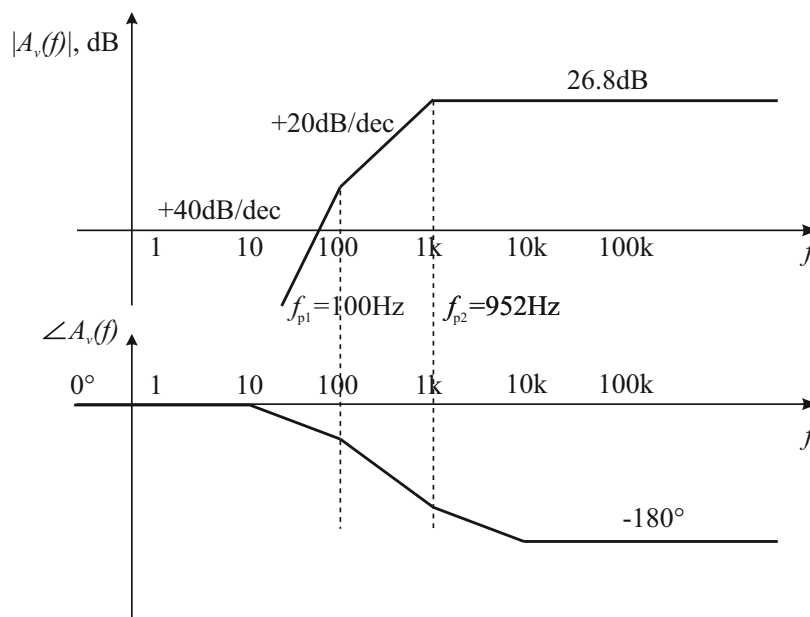
$$f_{p1} = \frac{|s_{p1}|}{2\pi} = \frac{g_m}{2\pi C_2} = 100 \text{ Hz.}$$

mentre la frequenza di taglio del secondo polo è:

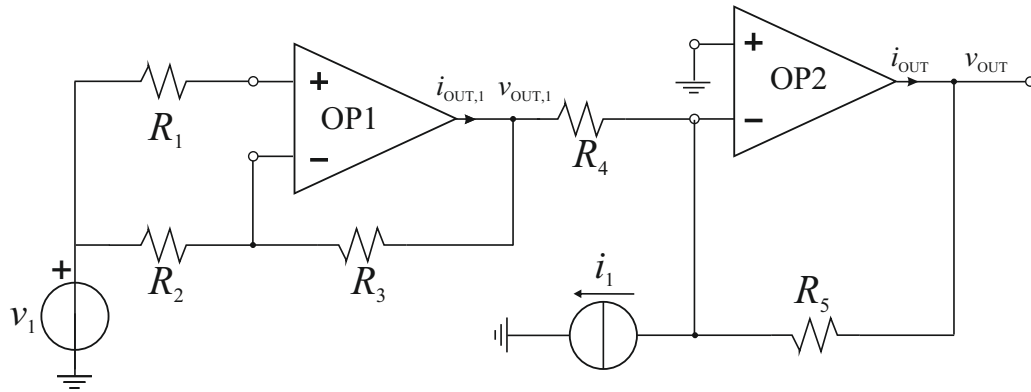
$$f_{p2} = \frac{|s_{p2}|}{2\pi} = \frac{1}{2\pi(R_1 \parallel R_2)C_1} = 952 \text{ Hz.}$$

Considerando che l'amplificazione in banda valutata al punto precedente corrisponde al valore asintotico di $A_v(j2\pi f)$ per $f \rightarrow \infty$, è immediato quotare l'asse delle ordinate del diagramma di Bode del modulo.

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



Esercizio n. 2.



Con riferimento al circuito in figura, assumendo $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 1\text{ k}\Omega$ e $R_5 = 10\text{ k}\Omega$, determinare:

1. l'espressione delle tensioni $v_{\text{OUT},1}$ e v_{OUT} ;
2. l'espressione delle correnti $i_{\text{OUT},1}$ e i_{OUT} ;
3. la massima dinamica della tensione di ingresso v_1 compatibile con il funzionamento in linearità di entrambi gli operazionali, assumendo che $i_1 = 0$ e che i due operazionali presentino entrambi dinamica della tensione d'uscita $\Delta V_{\text{OUT,max}} = (0, 5)\text{ V}$ e dinamica della corrente d'uscita $\Delta I_{\text{OUT,max}} = (-0.25, +0.25)\text{ mA}$.

1. Espressioni delle tensioni richieste:

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

$$v_{\text{OUT}} = -\frac{R_5}{R_4} v_1 + R_5 i_1 = -10 v_1 + 10 \text{ k}\Omega i_2$$

2. Espressioni delle correnti richieste:

$$i_{\text{OUT},1} = \frac{v_1}{R_4} = 1 \text{ mS } v_1$$

$$i_{\text{OUT}} = -i_{\text{OUT},1} + i_1$$

3. Dinamica del segnale d'ingresso:

$$\begin{cases} 0 \text{ V} < v_{\text{OUT},1} < 5 \text{ V} \\ -0.25 \text{ mA} < i_{\text{OUT},1} < 0.25 \text{ mA} \\ 0 \text{ V} < v_{\text{OUT}} < 5 \text{ V} \\ -0.25 \text{ mA} < i_{\text{OUT}} < 0.25 \text{ mA} \end{cases}$$

Ponendo $i_1 = 0$:

$$\begin{cases} 0 \text{ V} < v_1 < 5 \text{ V} \\ -0.25 \text{ mA} < 1 \text{ mS } v_1 < 0.25 \text{ mA} \\ 0 \text{ V} < -10 v_1 < 5 \text{ V} \\ -0.25 \text{ mA} < -1 \text{ mS } v_1 < 0.25 \text{ mA} \end{cases}$$

ovvero:

$$\begin{cases} 0 \text{ V} < v_1 < 5 \text{ V} \\ -0.25 \text{ V} < v_1 < 0.25 \text{ V} \\ -0.5 \text{ V} < v_1 < 0 \text{ V} \\ -0.25 \text{ V} < -v_1 < 0.25 \text{ V} \end{cases}$$

Si osserva che non esiste nessun valore di v_1 che soddisfi contemporaneamente tutte le disequazioni.