

Sistemi Elettronici, Tecnologie e Misure
Appello del 23/6/2021

Nome:	_____
Cognome:	_____ SOLUZIONE _____
Matricola:	_____

ATTENZIONE

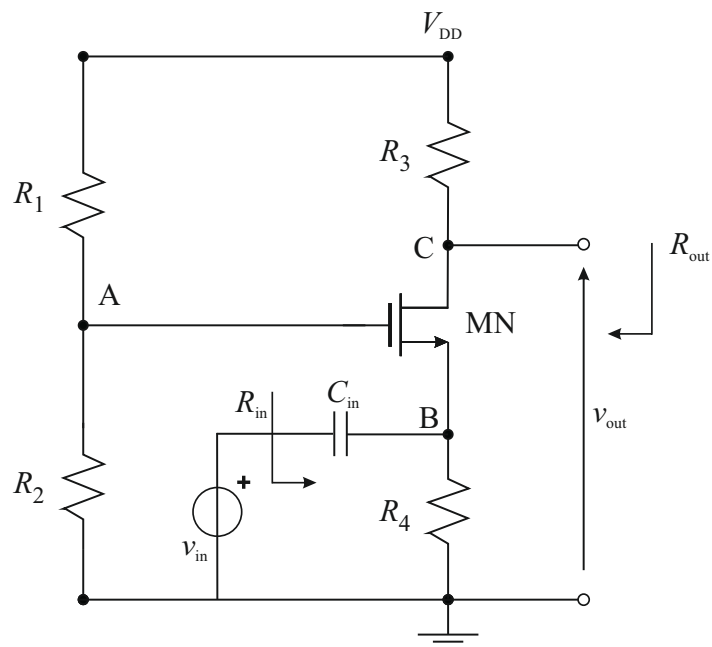
1. Compilare subito questa pagina con nome, cognome e numero di matricola
2. Per i quesiti a risposta multipla, la risposta errata determina la sottrazione di un punteggio pari a metà del valore della risposta esatta
3. Riportare le **risposte esatte** dei quesiti a risposta multipla nella tabella posta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

- In un diodo ideale in interdizione (stato OFF), la tensione tra anodo e catodo:
 - è sempre positiva o nulla
 - è sempre negativa o nulla
 - è sempre nulla
 - dipende dal verso della corrente che scorre nel diodo
- In uno stadio amplificatore MOS a singolo transistor di tipo *source comune*, detta A_v l'amplificazione di tensione:
 - $A_v > 0$ (stadio non-invertente) e $|A_v|$ può essere maggiore di 1
 - $A_v < 0$ (stadio invertente) e $|A_v|$ può essere maggiore di 1
 - $A_v < 0$ (stadio invertente) e $|A_v|$ è necessariamente minore di 1
 - $A_v > 0$ (stadio non-invertente) e $|A_v|$ è necessariamente minore di 1
- In un comparatore di soglia senza isteresi realizzato a partire da un amplificatore operazionale:
 - è presente retroazione negativa
 - è presente retroazione positiva
 - sono sempre presenti sia retroazione positiva sia retroazione negativa
 - l'operazionale è utilizzato ad anello aperto
- Nel ricavare il punto di funzionamento a riposo di un amplificatore:
 - i generatori di tensione costanti nel tempo possono essere sostituiti con cortocircuiti
 - i condensatori possono essere sempre sostituiti da circuiti aperti
 - i generatori di corrente variabili nel tempo possono essere sostituiti con cortocircuiti
 - gli induttori possono essere sempre sostituiti da circuiti aperti
- Un amplificatore di transresistenza è ottenuto collegando in cascata un amplificatore di corrente con amplificazione di corrente $A_{i,1}$ ed ideale dal punto di vista degli effetti di carico, ed un amplificatore di transresistenza con transresistenza $R_{m,2}$, $R_{in,2}$ finita e non nulla e $R_{out,2} = 0$. La transresistenza complessiva R_m della cascata dei due stadi è data da
 - $A_{i,1} R_{in,2}$
 - $R_{m,2}$
 - $A_{i,1} R_{in,2} \frac{R_{m,2}}{R_{in,2} + R_{m,2}}$
 - $A_{i,1} R_{m,2}$
- In un amplificatore invertente basato su operazionale che presenta amplificazione di tensione pari a -2 , è utilizzato un operazionale nei cui dati di targa si legge *input offset voltage* (max.): 5mV, e che si può assumere ideale sotto tutti gli altri aspetti. La tensione d'uscita V_{OUT} dell'amplificatore invertente per segnale d'ingresso nullo potrà variare nell'intervallo:
 - $-10\text{mV} < V_{OUT} < 10\text{mV}$
 - $-10\text{mV} < V_{OUT} < 0$
 - $-15\text{mV} < V_{OUT} < 15\text{mV}$
 - $-5\text{mV} < V_{OUT} < 5\text{mV}$

Esercizio 1.



$$R_1 = 3R_2$$

$$R_2 = 100 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = 500 \text{ k}\Omega$$

$$R_4 = 50 \text{ k}\Omega$$

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

$$V_A = 1.25 \text{ V}$$

$$V_B = 0.25 \text{ V}$$

$$V_C = 2.5 \text{ V}$$

per MN:

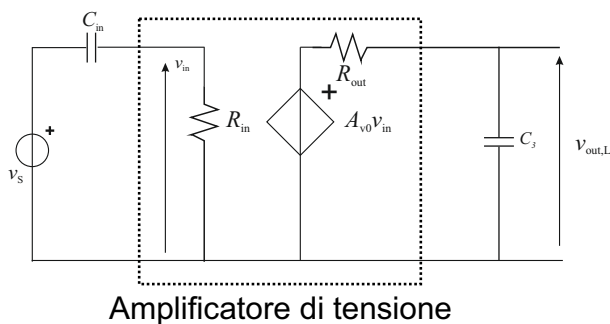
$$\beta = 1 \text{ mA/V}^2$$

$$V_{TH} = 0.9 \text{ V}$$

$$\lambda = 0$$

Con riferimento allo stadio in figura

1. verificare la regione di funzionamento di MN e determinarne i parametri del modello per il piccolo segnale;
2. determinare a centro banda, ovvero con $C_{in} \rightarrow \infty$, il guadagno $A_v = v_{out}/v_{in}$, la resistenza di ingresso R_{in} e la resistenza di uscita R_{out} (espressione simbolica e valore numerico);
3. Si dia una rappresentazione dello stadio in termini di *amplificatore di tensione*;
4. Per i valori assegnati di C_{in} e C_3 , determinare l'espressione del guadagno $A_v(s) = v_{out}/v_{in}$ dello stadio in figura



$$C_{in} = 12/(2\pi) \text{ }\mu\text{F}$$

$$C_3 = 36/(2\pi) \text{ pF}$$

5. Disegnare il diagramma di Bode del modulo e della fase di $A_v(s)$.

Regione di funzionamento e Parametri di piccolo segnale Transistore MN

$$V_{GS} = V_A - V_B = 1 \text{ V}; \quad V_{GS} - V_{TH} = 0.1 \text{ V} > 0;$$

$$V_{DS} = V_C - V_B = 2.25 \text{ V} > V_{GS} - V_{TH};$$

Non richiesto: $I_D = 5 \mu\text{A}$.

$$g_m = \beta_n (V_{GS} - V_{TH}) = 100 \mu\text{S}; \quad r_0 = \infty$$

Analisi Stadio a centro banda

Sostituendo C_{in} con un corto circuito e C_{out} con un circuito aperto, ottiene uno stadio a gate comune (sinistra in Figura 1).

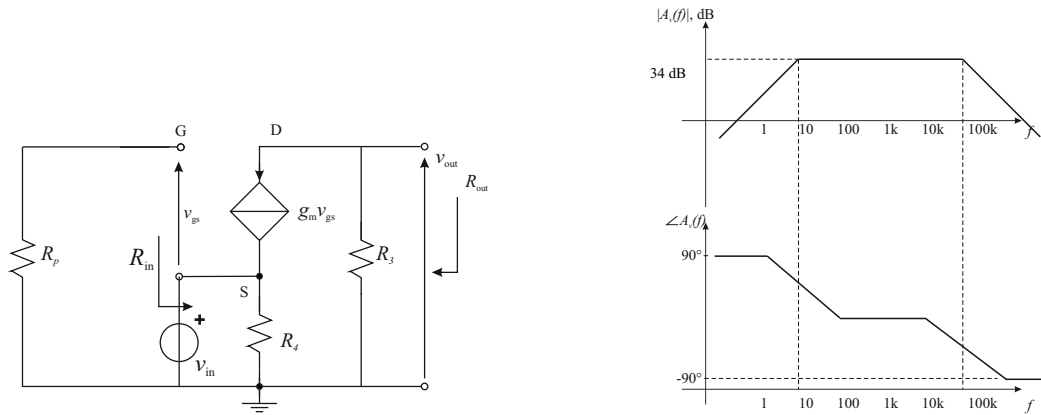


Figura 1: sinistra: Circuito di piccolo segnale dello stadio. Destra: Diagramma di Bode del guadagno

$$v_{gs} = -v_{in}$$

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

$$A_{v0} = g_m R_3 = 50 \text{ (34 dB)}; \quad R_{out} = R_3 = 500 \text{ k}\Omega$$

Per la resistenza di ingresso

$$i_{in} = \frac{v_{in}}{R_4} - g_m v_{gs} = \frac{v_{in}}{R_4} + g_m v_{in}$$

da cui

$$R_{in} = \frac{1}{1/R_4 + g_m} = \frac{R_4}{1 + g_m R_4} = 8.34 \text{ k}\Omega;$$

Analisi in frequenza dello Stadio

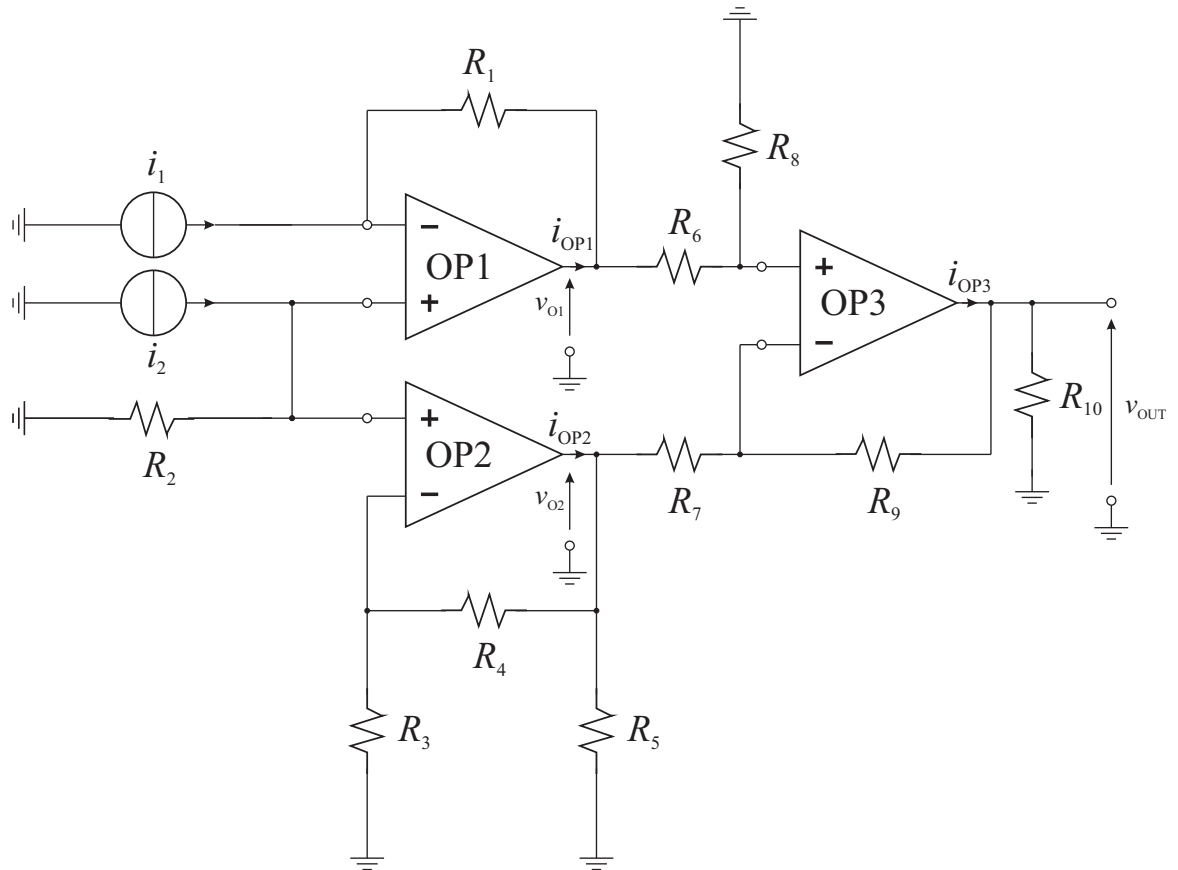
$$A_v = A_{v0} \frac{sC_{in}R_{in}}{1 + sC_{in}R_{in}} \frac{1}{1 + sC_3R_3}$$

Presenta uno zero semplice nell'origine e due poli alla frequenza

$$f_{p1} = \frac{1}{2\pi C_{in}R_{in}} \simeq 10 \text{ Hz}; \quad f_{p2} = \frac{1}{2\pi C_3R_3} \simeq 55 \text{ kHz}.$$

Cfr. diagrammi di Bode (destra in Figura 1).

Esercizio 2.



Assumendo $R_i = 1 \text{ k}\Omega$, $\forall i \in [1, 10]$ e considerando gli operazionali ideali, determinare:

1. l'espressione delle tensioni v_{O1} , v_{O2} e v_{OUT} ;
2. la minima dinamica della tensione d'uscita richiesta agli operazionali OP1, OP2 e OP3 per garantirne il funzionamento in linearità, assumendo che la dinamica di entrambi i segnali d'ingresso i_1 ed i_2 sia $(-1\text{mA}, +1\text{mA})$;
3. l'espressione delle correnti di uscita degli operazionali i_{OP1} , i_{OP2} e i_{OP3} ;

1. Espressioni delle tensioni richieste:

$$v_{O1} = -R_1 i_1 + R_2 i_2 = R(i_2 - i_1) = 1 \text{ k}\Omega \cdot (i_2 - i_1)$$

$$v_{O2} = R_2 i_2 \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) = 2R i_2 = 2 \text{ k}\Omega \cdot i_2$$

$$v_{OUT} = v_{O1} \frac{R_8}{R_6 + R_8} \left(1 + \frac{R_9}{R_7}\right) - \frac{R_9}{R_7} v_{O2} = v_{O1} - v_{O2} = -R(i_2 + i_1) = -1 \text{ k}\Omega \cdot (i_2 + i_1)$$

2. Dinamica della tensione d'uscita degli operazionali:

Essendo:

$$\max v_{O1} = R(i_{2,\max} - i_{1,\min}) = 2 \text{ V}$$

$$\min v_{O1} = R(i_{2,\min} - i_{1,\max}) = -2 \text{ V}$$

la minima dinamica della tensione d'uscita richiesta per il corretto funzionamento di OP1 nel circuito considerato è (-2V,+2V).

Utilizzando le espressioni delle tensioni ricavate al punto precedente, con considerazioni analoghe si ricava che la minima dinamica della tensione d'uscita richiesta per il corretto funzionamento di OP2 e di OP3 nel circuito considerato è pari a (-2V,+2V) per entrambi gli operazionali.

3. Espressioni delle correnti richieste:

$$i_{OP1} = -i_1 + \frac{v_{O1}}{R_6 + R_8} = -\frac{3}{2} i_1 + \frac{1}{2} i_2$$

$$i_{OP2} = \left(v_{O2} - v_{O1} \frac{R_8}{R_6 + R_8}\right) \frac{1}{R_7} + \frac{v_{O2}}{R_5} + \frac{v_2^+}{R_3} = \frac{1}{2} i_1 + \frac{9}{2} i_2$$

$$i_{OP3} = \frac{v_{OUT}}{R_{10}} - \left(v_{O2} - v_{O1} \frac{R_8}{R_6 + R_8}\right) \frac{1}{R_7} = -\frac{3}{2} i_1 - \frac{5}{2} i_2$$