

**Sistemi Elettronici, Tecnologie e Misure**  
**Appello Straordinario del 3/5/2023**

Nome: \_\_\_\_\_  
Cognome: \_\_\_\_\_  
Matricola: \_\_\_\_\_

**ATTENZIONE**

1. Compilare subito questa pagina con nome, cognome e numero di matricola
2. Gli studenti del corso 05QXVOA (8 crediti, a.a. 2022/23) sono tenuti a rispondere solo ai primi quattro quesiti teorici a risposta multipla, gli studenti del corso 04QXVOA (10 crediti, a.a. 2021/22 e precedenti) sono tenuti a rispondere a tutti e sei i quesiti. Gli esercizi sono identici per i corsi 05QXVOA e 04QXVOA
3. Per i quesiti a risposta multipla, la risposta errata determina la sottrazione di un punteggio pari a metà del valore della risposta esatta
4. Riportare le **risposte esatte** dei quesiti a risposta multipla nella tabella posta all'inizio della relativa sezione
5. Le risposte ai vari quesiti vanno riportate **esclusivamente** nello spazio reso disponibile immediatamente dopo il quesito stesso
6. Si può fare uso di fogli di brutta **bianchi** resi disponibili a cura dello studente. La brutta non deve essere consegnata
7. 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				

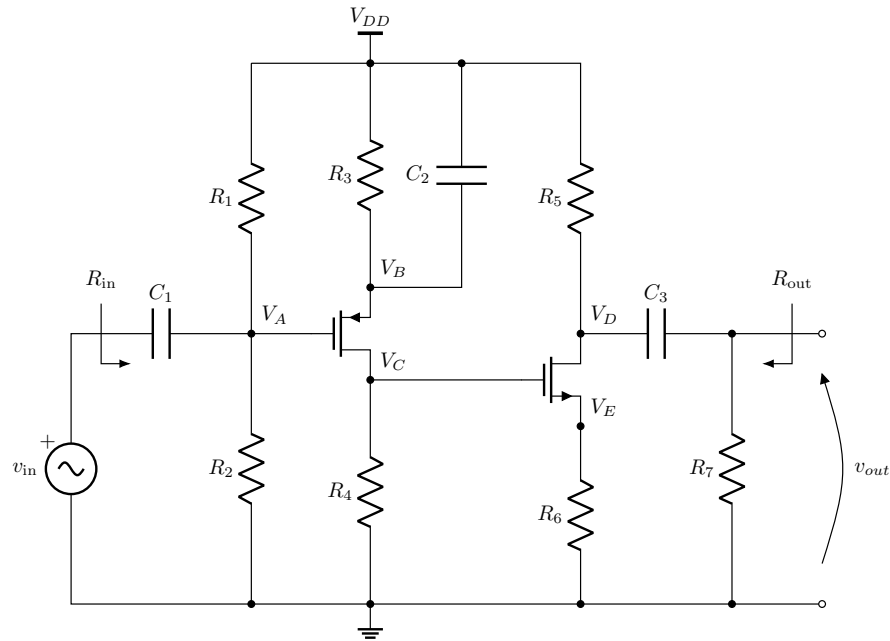
**Domande 1.-4. per tutti gli studenti (05QXVOA e 04QXVOA)**

- 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 amplificatore invertente con amplificazione  $A_v = -1$ . La banda dell'amplificatore di tensione è pari a:
  - 2.5 MHz
  - 5 MHz
  - 10 MHz
  - 20 MHz
- In uno stadio amplificatore MOS a singolo transistor di tipo *gate comune*, detta  $A_v$  l'amplificazione di tensione di piccolo segnale si ha che:
  - l'uscita è prelevata al terminale di *source* e  $A_v > 0$  (stadio non-invertente)
  - l'uscita è prelevata al terminale di *source* e  $A_v < 0$  (stadio invertente)
  - l'uscita è prelevata al terminale di *drain* e  $A_v < 0$  (stadio invertente)
  - l'uscita è prelevata al terminale di *drain* e  $A_v > 0$  (stadio non-invertente)
- In un amplificatore di tensione non invertente basato su operazionale ideale:
  - la resistenza d'ingresso è infinita e la resistenza d'uscita è nulla;
  - la resistenza d'ingresso è nulla e la resistenza d'uscita è infinita;
  - la resistenza d'ingresso è finita e non nulla e la resistenza d'uscita è nulla;
  - la resistenza d'ingresso è infinita e la resistenza d'uscita è finita e non nulla
- In amplificatore di tensione non invertente basato su operazionale con  $A_v = 2$  è applicata una tensione d'ingresso costante  $V_{IN}$ , la porta d'uscita è collegata ad un carico di  $1k\Omega$  e la corrente che scorre nella rete di retroazione è trascurabile. Supponendo che la dinamica della tensione d'uscita dell'operazionale sia  $\Delta V = (-5V, 10V)$  e che la dinamica della corrente d'uscita dell'operazionale sia  $\Delta I = (-5mA, 5mA)$ , in quale dei seguenti casi l'amplificatore opera in linearità?
  - $V_{IN} = -3V$
  - $V_{IN} = -1V$
  - $V_{IN} = 3V$
  - $V_{IN} = 5V$

**Domande 5.-6. per i soli studenti del corso 04QXVOA (10 crediti, frequenza a.a. 2021/22 o precedenti)**

- Un raddrizzatore a singola semionda è costituito da un generatore di tensione sinusoidale  $v_{in}$ , un diodo ideale  $D$  ed un resistore  $R$  collegati in serie. Quali di queste affermazioni è corretta
  - quando  $D$  è OFF, la tensione ai capi di  $D$  è nulla
  - quando  $D$  è OFF, la tensione ai capi di  $R$  è  $v_{in}$
  - quando  $D$  è OFF, la tensione ai capi di  $R$  è nulla
  - quando  $D$  è ON, la tensione ai capi di  $R$  è nulla
- In un circuito contenente un solo diodo semi-ideale con tensione ON pari a  $V_\gamma$ , si è fatta l'ipotesi che il diodo sia ON. L'ipotesi sarà verificata se:
  - $i_D < 0$
  - $i_D > 0$
  - $v_D < V_\gamma$
  - $v_D > V_\gamma$

## Esercizio n. 1



*p*MOS:  $\beta_p = 4 \text{ mA/V}^2$ ,  $V_{THp} = 0.5 \text{ V}$ ,  $\lambda_p = 0$

*n*MOS:  $\beta_n = 5 \text{ mA/V}^2$ ,  $V_{THn} = 0.3 \text{ V}$ ,  $\lambda_n = 0$

Tensioni DC:  $V_{DD} = 5 \text{ V}$ ,  $V_A = 3.5 \text{ V}$ ,  $V_B = 4.2 \text{ V}$ ,  $V_C = 2 \text{ V}$ ,  $V_D = 2.5 \text{ V}$ ,  $V_E = 1.5 \text{ V}$

Resistori:  $R_1 = 30 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 70 \text{ k}\Omega$ ,  $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_4 = R_5 = 25 \text{ k}\Omega$ ,  $R_6 = 15 \text{ k}\Omega$ ,  $R_7 = 100 \text{ k}\Omega$

Con riferimento al circuito in figura:

1. verificare il funzionamento dei transistori in regione di saturazione e determinare i parametri di piccolo segnale nel punto di lavoro;
2. determinare, in condizioni di piccolo segnale, l'amplificazione di tensione  $A_v = v_{out}/v_{in}$ , la resistenza d'ingresso  $R_{in}$  e la resistenza di uscita  $R_{out}$ , assumendo che tutti i condensatori ( $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$ ) si comportino come cortocircuiti nella banda del segnale applicato (disegnare il circuito equivalente e riportare sia l'espressione analitica sia i risultati numerici di  $A_v$ ,  $R_{in}$  e  $R_{out}$ );
3. disegnare l'amplificatore di tensione equivalente del circuito dato nella banda del segnale.

Regione di funzionamento e Parametri di piccolo segnale Transistore MP

$$V_{SG} = V_B - V_A = 0.7 \text{ V}; \quad V_{SG} - V_{TH} = 0.2 \text{ V} > 0;$$

$$V_{SD} = V_B - V_C = 2.2 \text{ V} > V_{SG} - V_{TH};$$

Non richiesto:  $I_D = 80 \mu\text{A}$ .

$$g_{mp} = \beta_n (V_{SG} - V_{TH}) = 800 \mu\text{S}; \quad r_0 = \infty$$

Regione di funzionamento e Parametri di piccolo segnale Transistore MN

$$V_{GS} = V_C - V_E = 0.5 \text{ V}; \quad V_{GS} - V_{TH} = 0.2 \text{ V} > 0;$$

$$V_{DS} = V_D - V_E = 1 \text{ V} > V_{GS} - V_{TH};$$

Non richiesto:  $I_D = 100 \mu\text{A}$ .

$$g_{mn} = \beta_n (V_{GS} - V_{TH}) = 1 \text{ mS}; \quad r_0 = \infty$$

Analisi Stadio a centro banda

Sostituendo  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$  con un corto circuito, ottiene una cascata di due stadi a source comune.

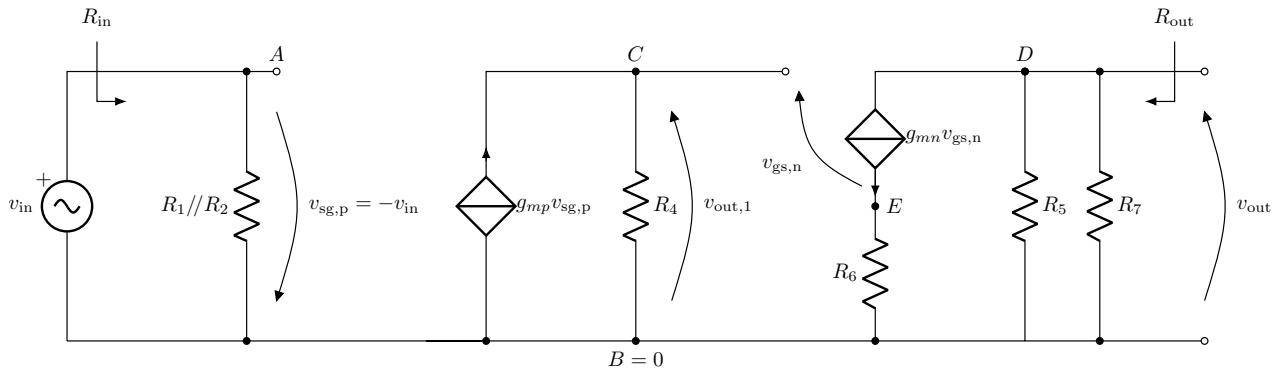


Figura 1: Circuito di piccolo segnale dello stadio.

Primo stadio:

$$v_{sg,p} = -v_{in}$$

$$v_{out,1} = -R_4 g_{mp} v_{sg,p}$$

Secondo stadio:

Defininendo  $R_p = R_5 // R_7 = 20 \text{ k}\Omega$ :

$$v_{gs,n} = v_{out,1} - v_{R6}$$

$$v_{out} = -\frac{g_{mn} R_p}{1 + g_{mn} R_6} v_{out,1}$$

$$v_{out} = \frac{g_{mn} g_{mp} R_4 R_p}{1 + g_{mn} R_6} v_{in}$$

$$A_v = \frac{g_{mn} g_{mp} R_4 R_p}{1 + g_{mn} R_6} = 25 (\approx 28 \text{ dB})$$

$$R_{in} = R_1 // R_2 = 21 \text{ k}\Omega$$

$$R_{out} = R_p = 20 \text{ k}\Omega$$

Infine, considerando sempre i condensatori come corto-circuiti, l'amplificatore di tensione equivalente al circuito dato è:

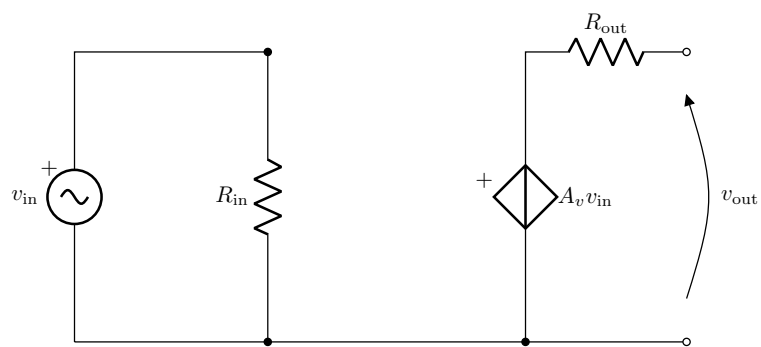
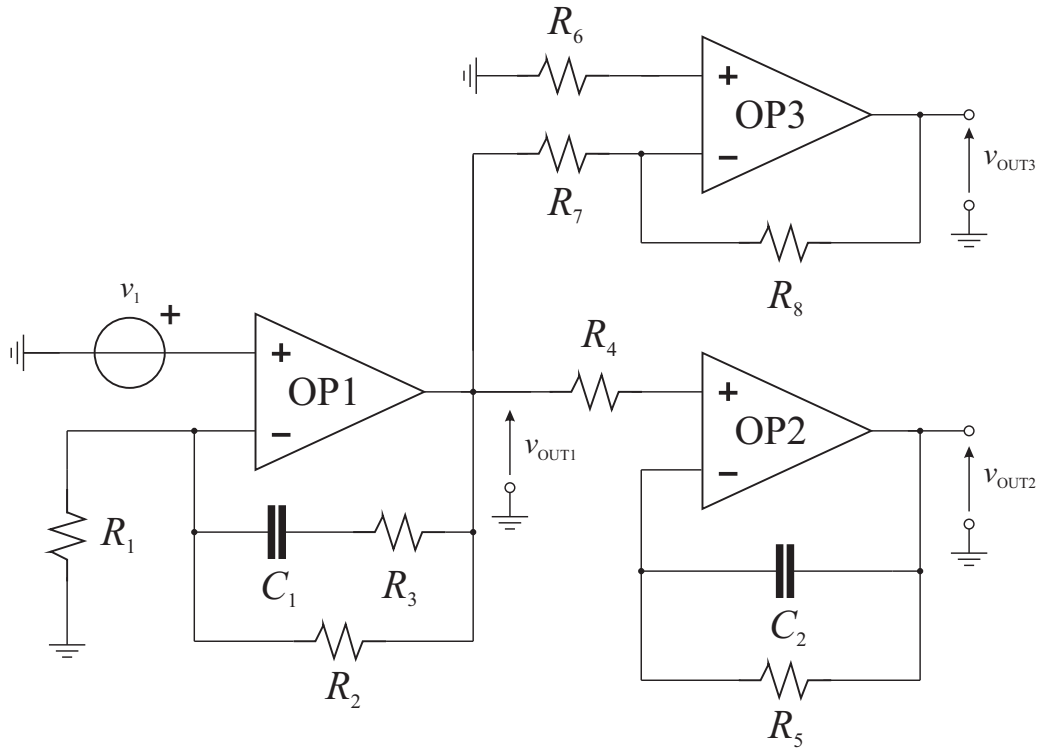


Figura 2: Circuito amplificatore di tensione equivalente.

## Esercizio 2.



Nel circuito in figura  $R_1 = 3R$ ,  $R_2 = 9R$ ,  $R_3 = R$ ,  $R_4 \dots R_8 = 5R$  con  $R = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $C_1 = C_2 = C = \frac{10}{2\pi} \text{ nF}$  e gli amplificatori operazionali si possono considerare ideali salvo indicazioni diverse. Determinare:

1. l'espressione delle tensioni  $v_{\text{OUT1}}$ ,  $v_{\text{OUT2}}$  e  $v_{\text{OUT3}}$  in funzione dell'ingresso  $v_1$  e delle resistenze  $R_1 \dots R_8$ , assumendo che  $C_1$  e  $C_2$  si comportino come circuiti aperti;
2. la funzione di trasferimento  $H(s) = \frac{V_{\text{out1}}(s)}{V_1(s)}$  nel dominio della frequenza in funzione di  $R$  e  $C$ , specificando le pulsazioni di poli e zeri;
3. i diagrammi di Bode in modulo e fase della funzione di trasferimento  $H(s)$  ottenuta al punto precedente;
4. la funzione di trasferimento  $H_2(s) = \frac{V_{\text{out2}}(s)}{V_1(s)}$ ;
5. l'intervallo in cui può variare l'uscita  $V_{\text{OUT3}}$  in continua quando il generatore di segnale è spento, assumendo che per tutti gli amplificatori operazionali la tensione di *offset* in ingresso massima indicata sui dati di targa sia pari a 10 mV e si possano considerare ideali sotto tutti gli altri aspetti.

1. Espressioni delle tensioni d'uscita:

$$v_{OUT1} = v_1 \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = 4 \cdot v_1$$

$$v_{OUT2} = v_{OUT1} = 4 \cdot v_1$$

$$v_{OUT3} = -\frac{R_8}{R_7} v_{OUT1} = -4 \cdot v_1$$

2. Funzione di trasferimento  $H(s)$  nel dominio della frequenza:

$$H(s) = \frac{V_{out2}(s)}{V_1(s)} = \frac{V_{out1}(s)}{V_1(s)} = 1 + \frac{Z_2}{Z_1}$$

$$\text{dove } Z_2 = R_2 \parallel \left( \frac{1}{sC_1} + R_3 \right) = \frac{R_2(1+sC_1R_3)}{1+sC_1(R_2+R_3)} = \frac{9R(1+sRC)}{1+s10RC} \text{ e } Z_1 = R_1 = 3R.$$

Sostituendo, si ricava:

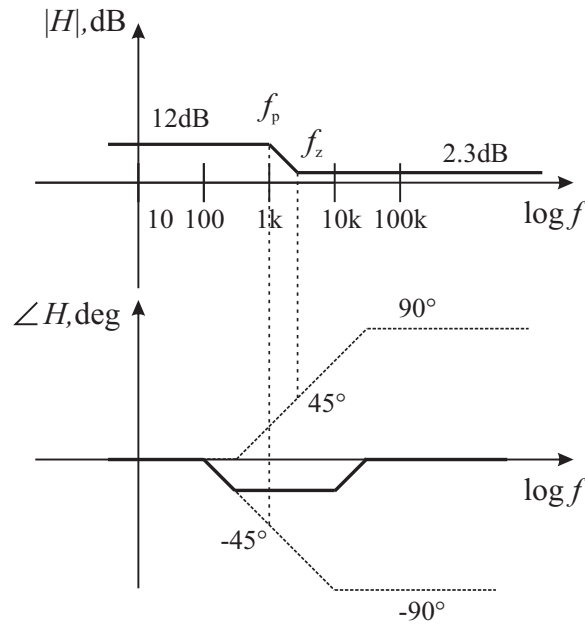
$$H(s) = \frac{V_{out1}(s)}{V_1(s)} = \frac{3(1+RCs)}{1+10RCs} + 1 = \frac{3+3RCs+1+10RCs}{1+10RCs} = \frac{4+13RCs}{1+10RCs} = 4 \cdot \frac{1+\frac{13}{4}RCs}{1+10RCs}$$

La funzione di trasferimento presenta pertanto uno zero  $s_z$  reale negativo ed un polo  $s_p$  reale negativo a pulsazioni e frequenze di taglio:

$$s_z = -\frac{4}{13} \frac{1}{RC} = -19.3 \text{ rad/ms} \quad \rightarrow \quad f_z = \frac{|s_z|}{2\pi} = 3.08 \text{ kHz}$$

$$s_p = -\frac{1}{10RC} = -6.28 \text{ rad/ms} \quad \rightarrow \quad f_p = \frac{|s_p|}{2\pi} = 1 \text{ kHz}$$

3. I diagrammi di Bode di  $H(s)$  sono quindi quelli riportati sotto in figura:



4. Dal momento che né in  $R_4$  né in  $Z = R_5 \parallel \frac{1}{sC_2}$  scorre corrente,  $V_{out2} = V_{out1}$ . Ne segue che:

$$H_2(s) = \frac{V_{out2}(s)}{V_1(s)} = \frac{V_{out1}(s)}{V_1(s)} = H(s)$$

dove  $H(s)$  è la funzione di trasferimento valutata al punto 2.

5. Spegnerendo  $v_1$  ed introducendo il modello per lo studio degli errori in continua per ciascun operazionale, si ottiene:

$$V_{OUT3} = -\frac{R_8}{R_7} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) V_{OFF1} + \left( 1 + \frac{R_8}{R_7} \right) V_{OFF3} = -4 V_{OFF1} + 2 V_{OFF3}$$

ne segue che  $V_{OUT3} \in (-60; +60) \text{ mV}$ .