

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
 SECONDA SESSIONE 2016 – SEZIONE A
 SETTORE INFORMAZIONE
 Prova Pratica di Progettazione
 TEMA N. 5: BIOMEDICA

Si vuole progettare un sistema di misura per monitorare la pressione carotidea che ha componenti frequenziali tra 0.05 Hz e 150 Hz e assume valori tipici nell'intervallo 60-180 mmHg. A tale scopo, l'elemento piezoelettrico di Figura 1 viene utilizzato come sensore di pressione p , dove $p = F/(wl)$.

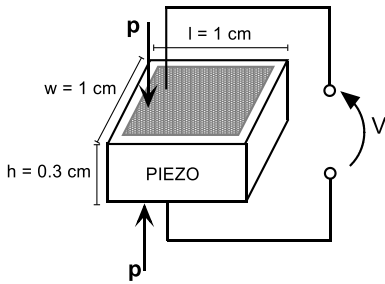


Figura 1

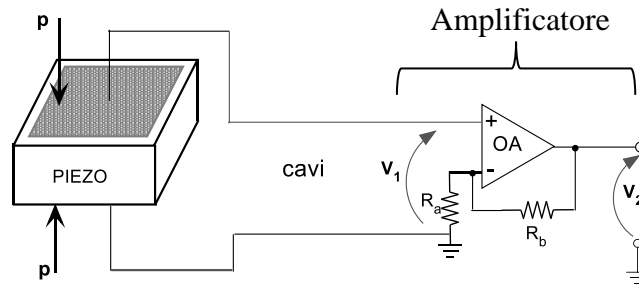


Figura 2

Parametri fisici dell'elemento piezoelettrico: costante di carica $d = 190 \text{ pC/N}$, resistenza di perdita $R_s = \infty$ costante dielettrica relativa $\epsilon_r = 1700$. Inoltre, costante dielettrica del vuoto $\epsilon_0 = 9 \text{ pF/m}$.

1) La relazione V - p del sensore può essere descritta dalla seguente equazione:

$$V = \frac{K_q}{C_s} \cdot p$$

dove $K_q = d \cdot w \cdot l$ e C_s è la capacità del piezoelettrico. Calcolare il valore di C_s (in pF) e il valore di K_q (in pC/mmHg) ricordando che $1 \text{ mmHg} = 133.3 \text{ Pa}$.

2) Disegnare l'analogo elettrico del sensore piezoelettrico di Figura 1 e calcolare il valore della sensibilità del sensore $K_o = K_q / C_s$ (in mV/mmHg).

Il sensore è collegato a un amplificatore di tensione come indicato in Figura 2. L'OA ha resistenza di ingresso di modo comune $R_c = 200 \text{ M}\Omega$. I cavi introducono una capacità parassita $C_{\text{cavi}} = 290 \text{ pF}$.

3) Con riferimento alla Figura 2, disegnare l'analogo elettrico del sistema piezo+cavi+ R_{in} (dove R_{in} è la resistenza di ingresso dell'amplificatore). Scrivere la funzione di trasferimento $G_1(s)$ che lega V_1 alla pressione p , determinando il valore del guadagno K_1 in banda passante (in mV/mmHg) e il valore della costante di tempo τ (in s).

4) Con riferimento a $G_1(j2\pi f)$, determinare il valore della frequenza f_{inf} che limita inferiormente la banda di accuratezza al 5%.

5) Determinare che valore deve assumere la costante di tempo τ di $G_1(s)$ per estendere la banda di accuratezza al 5% fino alla frequenza $f_{\text{inf}} = 0.05 \text{ Hz}$ (si approssimi il valore di τ espresso in secondi all'intero più vicino).

Per soddisfare la specifica del punto precedente si inserisce una capacità $C_{\text{par}} = 9.2 \text{ nF}$ in parallelo al sensore e una resistenza R_{ser} in serie all'ingresso dell'amplificatore, come indicato in Figura 3.

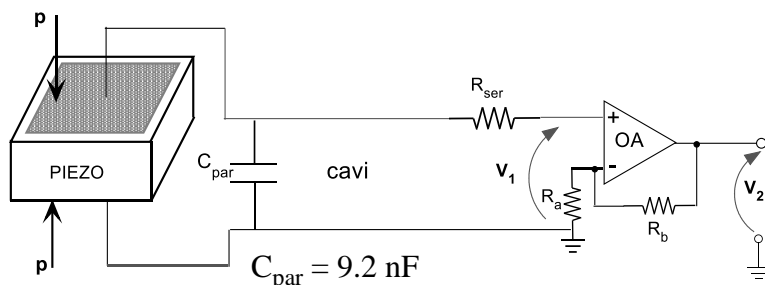


Figura 3

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
SECONDA SESSIONE 2016 – SEZIONE A
SETTORE INFORMAZIONE
Prova Pratica di Progettazione
TEMA N. 5: BIOMEDICA

6) Scrivere la funzione di trasferimento $G_1(s) = V_1/p$ quando sono inseriti questi elementi (si consideri sempre la presenza di R_{in}). Calcolare il valore di R_{ser} per ottenere la specifica richiesta al punto 5, e calcolare come si modifica il valore del guadagno K_1 in banda passante (in $mv/mmHg$). [D'ora in avanti si faccia riferimento a questi valori per K_1 e τ in $G_1(s)$].

7) Disegnare il diagramma dei moduli asintotico della funzione $G_1(j2\pi f)$ ottenuta al punto precedente.

8) Con riferimento alla Figura 3, sapendo che $R_a = 10\text{ k}\Omega$ e $R_b = 30\text{ k}\Omega$, scrivere la funzione di trasferimento $G_2(s)$ che lega V_2 alla pressione p , determinando il guadagno in banda passante K_2 (in $mV/mmHg$).

A valle del sistema di Figura 3 viene inserito il circuito mostrato in Figura 4:

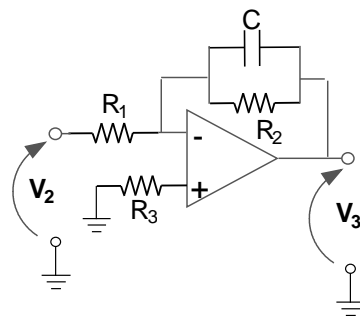


Figura 4

9) Scrivere la funzione di trasferimento $G_f(s) = V_3/V_2$ del circuito di Figura 4 (considerando ideale l'Opamp). Inoltre scrivere la funzione di trasferimento $G_3(s) = V_3/p$ dell'intero strumento di misura. Assumendo che sia $CR_2 \ll \tau$, dire di che tipo è la funzione di trasferimento $G_3(s)$ (passa-alto, passa-basso, passa-banda) e mettere in evidenza il guadagno in banda passante K_3 dell'intero strumento.

10) Sapendo che $R_1 = 10\text{ k}\Omega$, determinare il valore di R_2 e il valore di C del circuito di Figura 4 in modo tale che K_3 abbia valore in modulo 10 volte maggiore di K_1 , e in modo che la banda di accuratezza al 5% dell'intero strumento di misura si estenda superiormente fino alla frequenza $f_{sup} = 150\text{ Hz}$.

11) Disegnare il diagramma di bode dei moduli asintotico di $G_3(j2\pi f)$.

12) Considerando i parametri statici dell'Op Amp in figura 4 (tensione di offset in ingresso V_{OS} al morsetto +, correnti di polarizzazione I^+ , I^- entranti), scrivere l'espressione della tensione di uscita V_3 per effetto dei soli parametri statici, ovvero assumendo $V_2 = 0\text{ Volt}$. Si indichi in tal caso $V_3 = V_{noise}$.

13) Indicare come deve essere dimensionata la resistenza R_3 affinché V_{noise} sia funzione della corrente di offset ($I^- - I^+$), oltre che di V_{OS} .

14) Sia $V_{OS} = 1.2\text{ mV}$; $I^- = 180\text{ nA}$; $I^+ = 175\text{ nA}$. Calcolare V_{noise} (in mV) nel caso di R_3 dimensionata come indicato al punto precedente e nel caso di $R_3 = 0\text{ }\Omega$.