n° di matricola: 18 - 2 - 2016

Cognome e Nome:

Biosensori – 3° appello invernale 2015/2016

Modalità d'esame:
Non è possibile consultare né libri di testo né appunti.
La durata della prova è di 120 minuti.
L'ammissione all'orale prevede un punteggio minimo di 18.

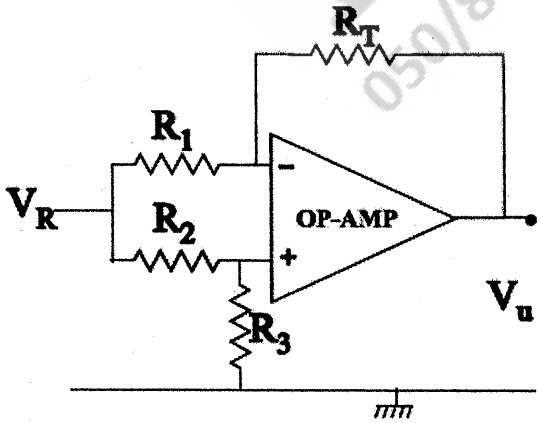
MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

ESERCIZI

Esercizio 1

Il circuito riportato nella figura sottostante è utilizzato per realizzare un sistema lineare per misura della temperatura corporea avente errore di linearità nullo a 37°C. R_T è un termistore avente le seguenti caratteristiche: $R(T_0)$=500 Ohm, T_0 = 20°C e B=4500 K. Sapendo che R_3= 1kΩ e R_2= 1kΩ,

- Si dimensioni il circuito per rispettare le seguenti specifiche: Vu(37°C)=0.25V, costante di taratura pari a 20 °C/V (*Richiesta la risoluzione del circuito*) **[punteggio: 6]**
- Si determini il massimo errore (in valore assoluto) di linearità nell'intervallo [32-42]°C **[punteggio: 5]**
- Considerando la resistenza termica tra sensore e corpo pari a 50 K/W, si determini l'errore di auto-riscaldamento del termistore quando il corpo sotto esame ha temperatura pari a 38°C . Determinare inoltre la temperatura misurata dal sistema **[punteggio: 4]**



MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

n° di matricola: 18 - 2 - 2016

Cognome e Nome:

Biosensori – 3° appello invernale 2015/2016

Esercizio 2

Un biosensore catalitico potenziometrico per la misura di glucosio è realizzato tramite un elettrodo a vetro modificato (il cui potenziale di offset E_0 è pari a 0.5V).

L'enzima GOD ha una Km di 0.1 M. La concentrazione di glucosio nel sangue, può variare da 1 o 2 mM in condizioni di ipoglicemia, fino a 20 mM in caso di elevata iperglicemia.

Si consideri un tipico sensore potenziometrico in cui $K2=1s^{-1}$, Ds=Dp, con $Ds=10^{-10}\ m^2s^{-1}$, [E] vale 0.02 mM, lo spessore dello strato enzimatico è pari a 1mm.

- Schematizzare lo strumento proposto, riportando graficamente la struttura del ph-metro a vetro modificato, le tensioni di elettrodo e la relativa tensione di uscita (V_{AB}) in funzione della concentrazione del substrato [**punteggio: 7**].
- Considerando le seguenti specifiche:
  - Vo= 1V @ [Glucosio]= 7mM
  - Vo= 1,3V @ [Glucosio]= 20mM

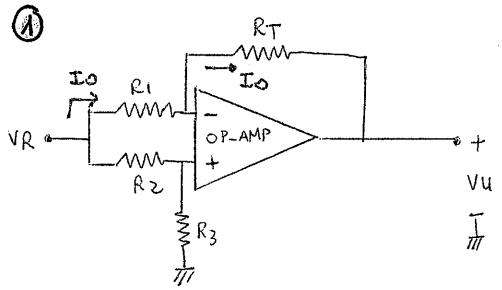
  progettare un circuito di lettura, determinare la curva di taratura e rappresentarla graficamente. [**punteggio: 8**].

COPY COPISTERIA 050/8312126 388/9837745

18-02-16

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

①



$T_x = 37°C$ $\quad R(T_0) = 500\,\Omega$ $\quad T_0 = 20°C$ $\quad \beta = 4500\,K$ $\quad R_3 = R_2 = 1000\,\Omega$

a) Dimensionare il circuito per rispettare le specifiche $\begin{cases} V_u(37°C) = 0{,}25\,V \\ c = 20°C/V \end{cases}$

$$-V_u - I_o R_T + V^- = 0$$

$$V_u = V^- - I_o R_T = V^+ - I_o R_T = \frac{V_R \cdot R_3}{R_2+R_3} - \frac{V_R - V^-}{R_1} \cdot R_T \qquad I_o = \frac{V_R - V^-}{R_1} = \frac{V_R - \frac{V_R \cdot R_3}{R_2+R_3}}{R_1} = \frac{V_R \cdot R_2}{R_1(R_2+R_3)}$$

Allora:

$$V_u = \left(\frac{V_R \cdot R_3}{R_2+R_3} \cdot \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{R_1}{R_2} - I_o R_T = I_o \left(\frac{R_3 R_1}{R_2} - R_T\right) = I_o (R_1 - R_T)$$

($R_3 = R_2$)

Se l'errore è nullo a $T_x = 37°C$ allora il termistore è stato linearizzato a $37°C$

$$R_L(T_S) = R_T(T_x)\,(1 + TCR(T_x)(T_S - T_x)) \quad \text{con} \quad R_T(T_x) = R(T_0)\, e^{\beta\left(\frac{1}{T_x} - \frac{1}{T_0}\right)} = 215{,}37\,\Omega$$

$$TCR(T_x) = -\frac{\beta}{T_x^2} = -0{,}0468\,K^{-1}$$

$$V_u = I_o(R_1 - R_T) = I_o R_1 - I_o R(T_x)(1 + TCR(T_x)(T_S - T_x))$$

- $S = -I_o R(T_x) TCR(T_x) = \frac{1}{C} \rightarrow I_o = -\frac{1}{C \cdot R(T_x) TCR(T_x)} = 0{,}005\,A = 5\,mA$

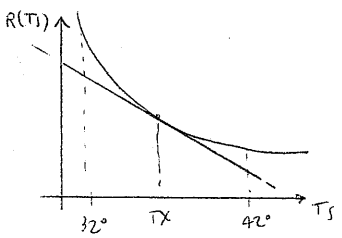
- $V_u(T_x) = 0{,}25 \iff I_o R_1 - I_o R(T_x)(1 + TCR(T_x)(T_x - T_x)) = 0{,}25\,V \quad I_o(R_1 - R(T_x)) = 0{,}25\,V$

allora $R_1 = \frac{0{,}25\,V}{I_o} + R(T_x) = 265{,}37\,\Omega$

$$I_o = \frac{V_R \cdot R_2}{R_1(R_2+R_3)} = \frac{V_R}{2R_1} \Rightarrow V_R = 2R_1 I_o = 2{,}6537\,V$$

Dunque il circuito deve presentare $\begin{cases} V_R = 2{,}6537\,V \\ R_1 = 265{,}37\,\Omega \end{cases}$ per rispettare le specifiche richieste

b) Massimo errore in valore assoluto di linearità nell'intervallo $[32-42°C]$



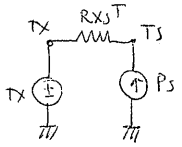
$$\varepsilon_e = \left|\frac{\Delta V}{S}\right| = \left|\frac{I_o(R_1 - R_T(T_S)) - I_o(R_1 - R_L(T_S))}{-I_o R(T_x) TCR(T_x)}\right| =$$

$$= \left|\frac{R_L(T_S) - R_T(T_S)}{R(T_x) TCR(T_x)}\right| = \left|\frac{500\, e^{4500\left(\frac{1}{T_S} - \frac{1}{293}\right)} - 215{,}37\,(1 - 0{,}0468\,(T_S - 310))}{0{,}0468 \cdot 215{,}37}\right|$$

- $\varepsilon_e(T_S = 32°C) = 0{,}741\,°C$
- $\varepsilon_e(T_S = 42°C) = 0{,}603\,°C$

Allora $|\varepsilon_e|_{max} = 0{,}741\,°C$

c) considerando la resistenza termica tra sensore e corpo pari a 50 K/W determinare l'errore di autoriscaldamento del termistore quando il corpo ha temperatura di 38 °C.
e determinare la temperatura misurata dal sistema.



$$T_S = T_X + P_S \cdot R_{XS}^T = T_X + R(T_S) \cdot I^2 \cdot R_{XS}^T$$

Linearizzo il termistore a $T_X = 38\,°C$ $\quad R'(T_X) = 5e0\, e^{4500\left(\frac{1}{311} - \frac{1}{293}\right)} = 205{,}55\ \Omega$

$TCR'(T_X) = -B/T_X^2 = -0{,}0465\ K^{-1}$

$I = 5\,mA$

$$T_S - T_X = \Delta T = R(T_S)\, I^2 R_{XS}^T = I^2 \cdot R_{XS}^T \cdot R'(T_X)\,(1 + TCR'(T_X)\,\Delta T) =$$

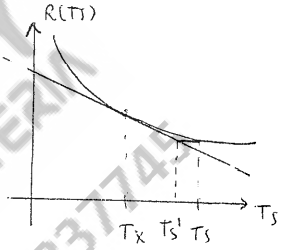
$$= I^2 \cdot R_{XS}^T \cdot R'(T_X) + I^2 R_{XS}^T \cdot R'(T_X) \cdot TCR'(T_X)\,\Delta T$$

$$\Delta T = \frac{I^2 R_{XS}^T \cdot R'(T_X)}{1 - I^2 R_{XS}^T \cdot R'(T_X)\, TCR'(T_X)} = 0{,}254\,°C \qquad \text{allora } T_S = T_X + \Delta T = 38{,}254\,°C$$

Ripetendo la linearizzazione precedente del termistore (a $T_X = 37\,°C$)

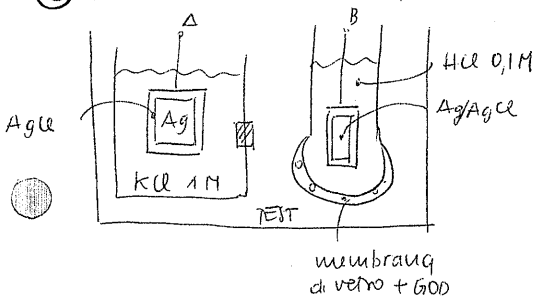
$$\varepsilon_l \underset{(T=38{,}25C)}{=} \left| \frac{R_L(T_S) - R_T(T_S)}{TCR(T_X)\, R(T_X)} \right| = \left| \frac{500\, e^{4500\left(\frac{1}{311{,}25} - \frac{1}{293}\right)} - 215{,}37\,(1 - 0{,}0468\,(311{,}25 - 310))}{215{,}37 \cdot 0{,}0468} \right| = 0{,}041\,°C$$

$T_S' = T_S - \varepsilon_l = 38{,}209\,°C$



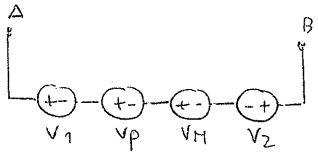
MASTER COPY
COPISTERIA
339/8312126 388/9837745
MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

② Elettrodo a vetro modificato



$K_M = 0,1\ M = 100\ \mu M$
$K_2 = 1\ s^{-1}$
$D_S = D_P = 10^{-10}\ m^2/s$
$[E] = 0,02\ \mu M$
$L = 10^{-3}\ m$
$[glucosio] = [1\ \mu M - 20\ \mu M]$

a)



$$V_{AB} = V_1 + V_p + V_M - V_2 =$$
$$= E^\circ_{Ag/AgCl} - \frac{RT}{F}\ln[Cl^-] + \frac{RT}{F}\ln\left[\frac{H^+}{H^+_{int}}\right] - \left(E^\circ_{Ag/AgCl} - \frac{RT}{F}\ln[Cl^-]\right) =$$
($[Cl^-] = 1\ M$)
$$= \frac{RT}{F}\ln[H^+] - \frac{RT}{F}\ln[H^+_{int}] + \frac{RT}{F}\ln[Cl^-] =$$
$$= -0,059\,pH = 0,0256\ln[H^+]$$

$$glucosio + O_2 \xrightarrow{GOD} acido\ gluconico + H_2O_2$$
$$\hookrightarrow C_6H_{12}O_7 \rightarrow H^+ + C_6H_{11}O_7^- \qquad [S]_L \propto [P]_0 = [H^+]$$

$$[P]_{x=0} = \frac{D_S}{D_P}[S_L]\cdot\left(1 - \frac{\cosh(0)}{\cosh(L\sqrt{\alpha})}\right) \qquad \alpha = \frac{K_2[E]}{K_M D_S} = 2\cdot10^6\ m^{-2}$$
$$= 0,541\,[S]_L$$

allora $V_{AB} = 0,0256\ln[P] = -0,0157 + 0,0256\ln[S_L]$

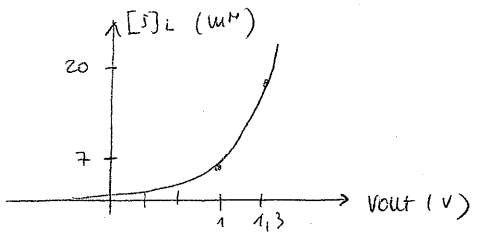
b) considerando le seguenti specifiche $V_{out} = 1\ V$ $[glucosio] = 7\ \mu M$; $V_{out} = 1,3\ V$ $[glucosio] = 20\ \mu M$ $\Rightarrow S > 0$

$$V_{out} = A(V_2 - V_1) + V_R$$
$$= -A\cdot0,0157 + A\cdot0,0256\ln[S]_L + V_R$$

$$\begin{cases} -A\cdot0,0157 + A\cdot0,0256\ln[7\cdot10^{-3}) + V_R = 1 \\ -A\cdot0,0157 + A\cdot0,0256\ln[20\cdot10^{-3}] + V_R = 1,3 \end{cases} \qquad A = 11,16 \quad V_R = 2,59\ V$$

c) $V_{out} = 0,285\ln[S]_L + 2,414\ V$

$$[S]_L = e^{\frac{V_{out} - 2,414}{0,285}}$$



master COPY COPISTERIA 050/8312126 388/9837745
MASTER COPY Tel. 050 8312126 Cell. 388 9837745