

ESERCIZIO 15

Un'azienda farmaceutica vuole realizzare un sistema di controllo in linea di produzione per monitorare nel tempo la concentrazione di uno specifico composto.

Il sistema si avvale di un sensore per la valutazione della concentrazione C del composto nella camera di reazione in cui si produce un dato farmaco. L'andamento di C varia durante il ciclo di produzione, alternando fasi di crescita, quando il composto viene immesso nella camera di reazione, a fasi di decremento quando la reazione ha inizio. Per una corretta valutazione di C è necessario che la misura venga effettuata nella fase di decremento di C (dC/dt negativa) ed almeno dieci minuti dopo l'inizio della stessa. Affinché la reazione che porta alla realizzazione del farmaco segua i protocolli stabiliti è necessario che C risulti inferiore ad un dato valore C_{crit} imposto dall'operatore.

Si progettano e dimensionano un circuito elettronico, secondo la divisione in moduli suggerita, che fornisca in uscita la tensione V_C proporzionale a C e una tensione di allarme V_{AL} che segnali la validità del valore di C .

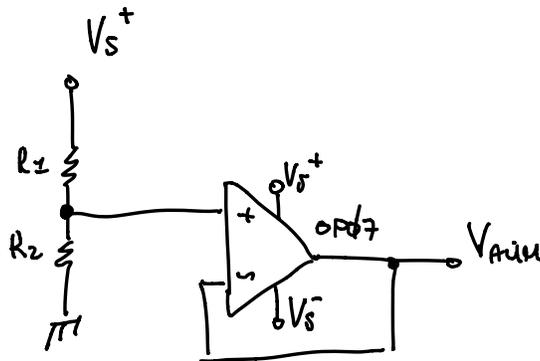
- **Modulo X:** circuito che alimenti il sensore di concentrazione del composto con una tensione $V_{ALIM} = 0.5\text{ V}$ ($P_{MAX} = 150\ \mu\text{W}$) e fornisca una tensione V_{SENS} proporzionale alla corrente $I_{SENS} = A \cdot C$ fornita dal sensore, essendo $A = 0.025\ \mu\text{A}/(\text{mg}/\text{dL})$ e C la concentrazione del composto compresa nell'intervallo $[40; 400]\ \text{mg}/\text{dL}$ con frequenza massima di variazione pari a $600\ \text{Hz}$.
- **Modulo Y:** circuito che elimini dalla tensione V_{SENS} le componenti frequenziali superiori a $10\ \text{Hz}$ con attenuazione in banda stoppata di almeno $24\ \text{dB}$.
- **Modulo Z:** circuito che a partire dalla tensione V_{SENS} in uscita al modulo Y, fornisca in uscita la tensione V_C proporzionale al valore medio assunto da C in un intervallo di tempo pari ad $1\ \text{s}$. La determinazione del valore medio di C deve avere inizio dopo che siano trascorsi 10 minuti dal momento in cui C ha iniziato la sua fase decrescente. Si assuma un valore massimo del modulo di $dC/dt = 0.1\ (\text{mg}/\text{dL})/\text{s}$.

x)

$$V_S = \pm 15\ \text{V}$$

$$V_{ALIM} = 0.5\ \text{V}$$

$$P_{MAX} = 150\ \mu\text{W}$$



$$V_{SENS} \propto I_{SENS}$$

$$I_{SENS} = A \cdot C$$

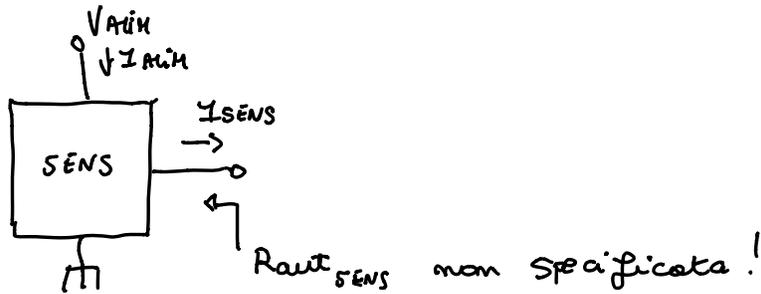
$$C \in [40; 400]\ \text{mg}/\text{dL}$$

$$A = 0.025\ \mu\text{A}/\text{mg}/\text{dL}$$

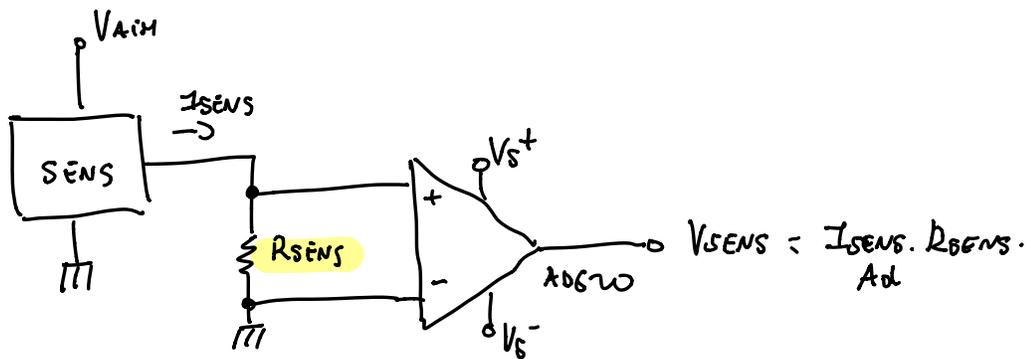
- **Modulo W:** circuito che a partire dalla tensione V_{SENS} in uscita al modulo Y, fornisca in uscita la tensione di allarme V_{AL} definita come segue: se C risulta inferiore al valore C_{crit} , allora $V_{AL} = 0\ \text{V}$, altrimenti $V_{AL} = 2.5\ \text{V}$. Il valore di C_{crit} compreso tra $0\ \text{mg}/\text{dL}$ e $400\ \text{mg}/\text{dL}$, è fornito da un sistema di elaborazione in formato digitale con codifica binaria su tre bit.

Si hanno a disposizione: AD620, OP07 ed una linea di alimentazione DC a $\pm 15\ \text{V}$, oltre a componenti attivi e passivi elementari.

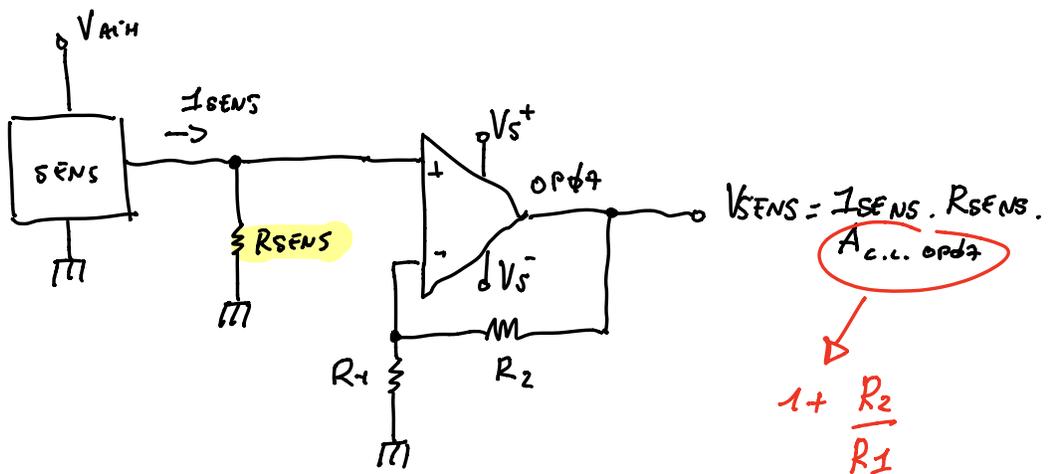
Se il sensore ha 3 pin:

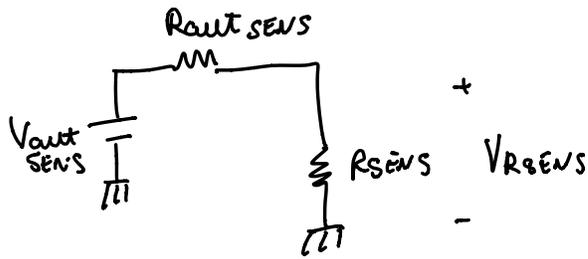


SOLUZIONE 1)



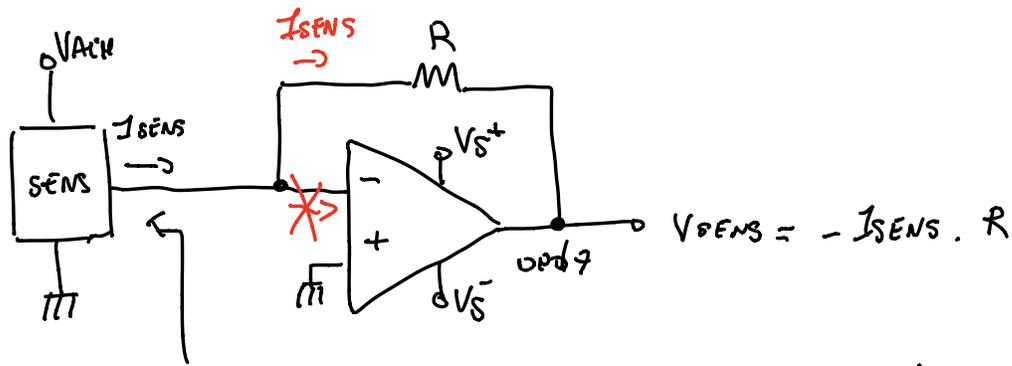
SOLUZIONE 2)





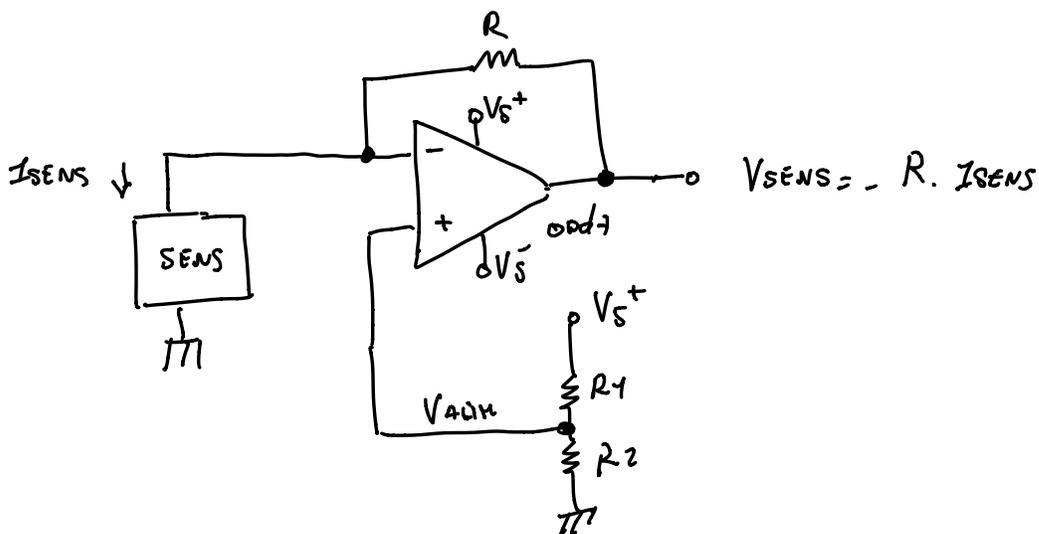
AFFINCHÈ $V_{R\ SENS} \sim V_{out\ SENS} \Rightarrow R_{SENS} \gg R_{out\ SENS}$ ⚠

SOLUZIONE 3)

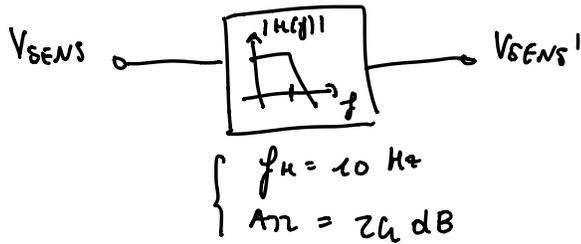


$R_{out\ SENS} = ?$ NON È UN PROBLEMA!

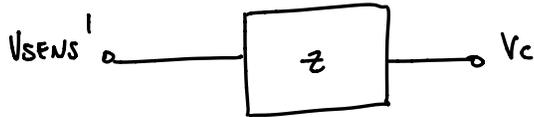
Se il sensore ha 2 pin :



Y)



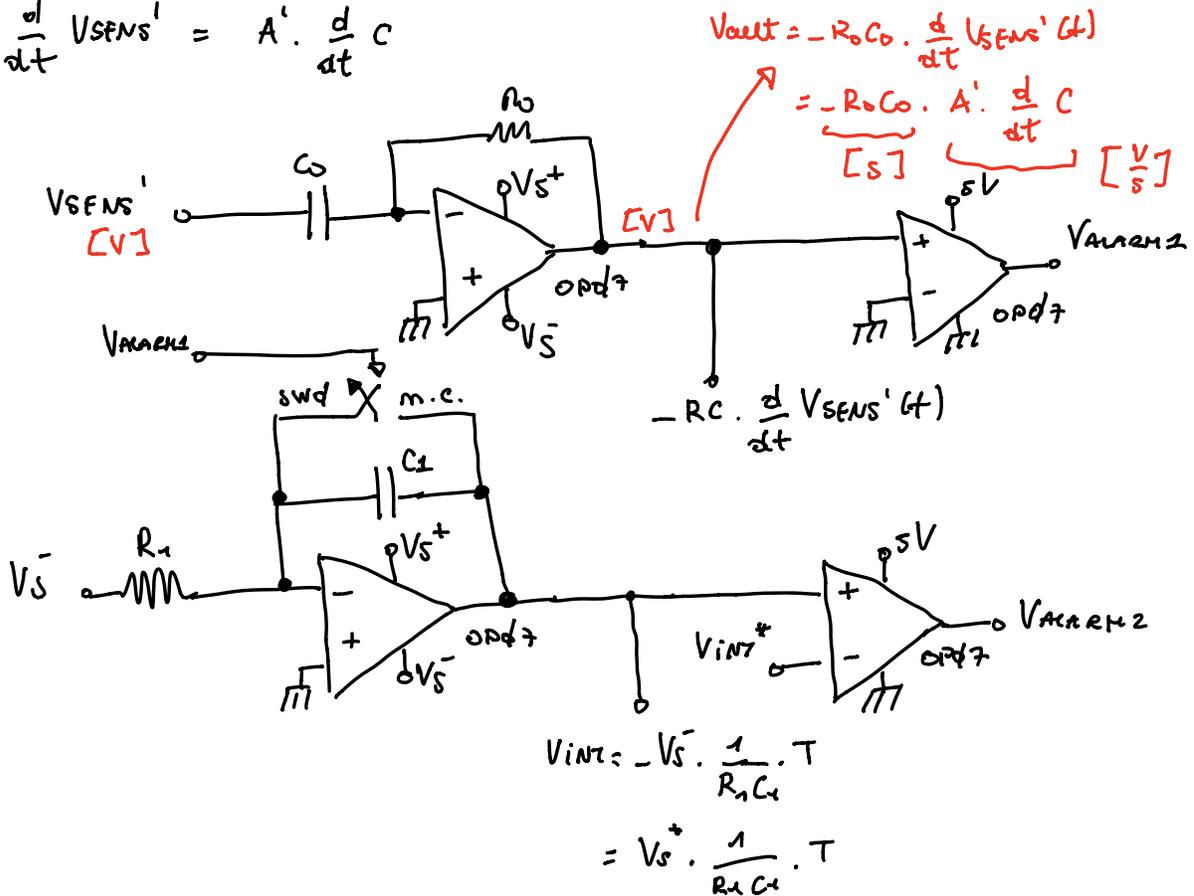
Z)



V_c è il valor medio di $V_{SENS'}$ ^{in 1 sec} dopo che sono passati 10 min dal momento in cui $\frac{d}{dt} V_{SENS'} < 0$

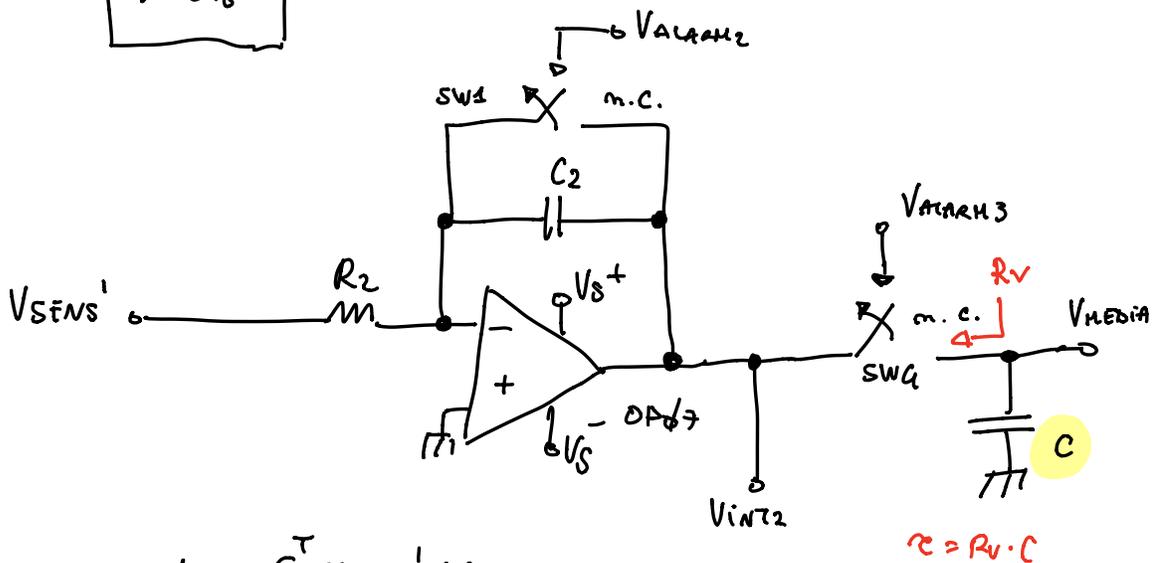
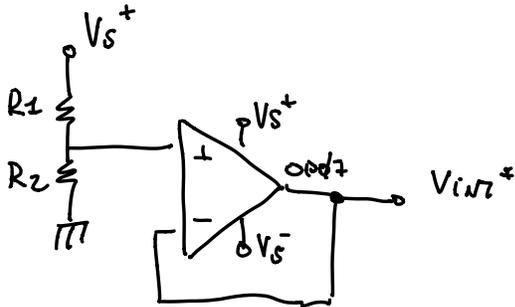
$$V_{SENS'} = A_d \cdot A \cdot C = A' \cdot C, \text{ con } A' = A_d \cdot A$$

$$\frac{d}{dt} V_{SENS'} = A' \cdot \frac{d}{dt} C$$



Dimensionare $R_1 C_1$: quando $T = 10 \text{ min}$
 $\Rightarrow V_{INT} < V_{SAT}^+$

$$V_{INT}^* = V_{INT} \quad (T = 10 \text{ min})$$



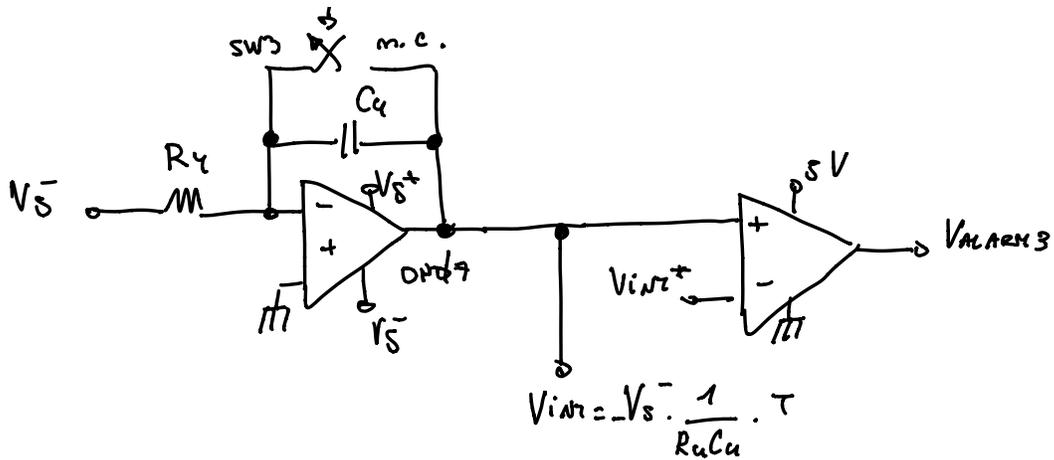
$$V_{INT2} = -\frac{1}{R_2 C_2} \int_{\phi}^T V_{SENS}'(t) dt$$

MEDIA INTEGRALE : $\langle V_{SENS}' \rangle = \frac{1}{T} \int_{\phi}^T V_{SENS}'(t) dt$

$$T = 1 \text{ s} \quad \Rightarrow \quad R_2 \cdot C_2 = 1 \text{ s}$$

V_{INT2} è la media di V_{SENS}' solo quando $T = 1 \text{ s}$
 se abbiamo progettato $R_2 \cdot C_2 = 1 \text{ s}$

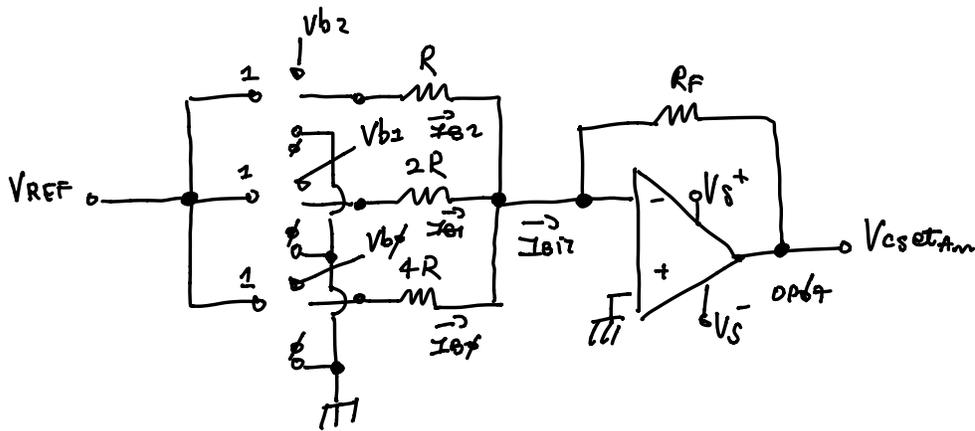
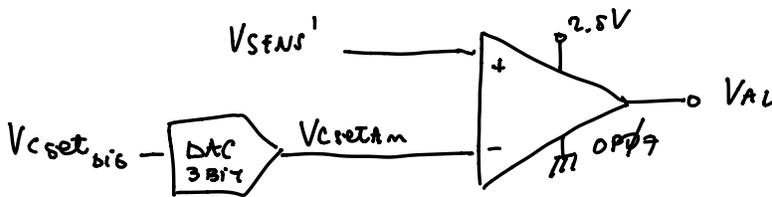
ϕV_{ALAM2}



$$V_{int+} = -V_s \cdot \frac{1}{R_4 C_4} \cdot T$$

$$T = 1 \text{ s} \Rightarrow V_{int+}$$

w)



V_{b2} si referința al bit b_2

V_{b1} " " " " b_1

V_{b0} " " " " b_0

$$V_{cset,am} = -I_{bit} \cdot R_F = -\frac{V_{REF}}{4R} (2^2 b_2 + 2^1 b_1 + 2^0 b_0) \cdot R_F$$

$$\Rightarrow R_E = R/2$$

$$\Rightarrow V_{C_{set} A_m} = - \frac{V_{REF}}{8} \cdot (2^2 b_2 + 2^1 b_1 + 2^0 b_0)$$

$$= - \frac{V_{REF}}{8} \cdot D$$

ESERCIZIO 5

Si vuole realizzare un pHmetro per il monitoraggio in continua del pH di soluzioni acquose utilizzate nel processo produttivo di un impianto industriale rivolto alla realizzazione di farmaci.

Il pHmetro deve coprire il range di valori compreso tra 0 e 14, e deve gestire processi produttivi che prevedono per il pH una velocità massima di variazione di 100 s^{-1} e variazioni di temperatura nell'intervallo $10 \text{ }^\circ\text{C} \div 80 \text{ }^\circ\text{C}$. Il pHmetro utilizza: 1) una sonda (con elettrodo a vetro) che fornisce una differenza di potenziale V_{probe} , funzione del pH e della temperatura T della soluzione; 2) una termo-resistenza (filamento al platino) impiegata per la misura della temperatura T della soluzione.

Si chiede di progettare e dimensionare un sistema elettronico, secondo la divisione in moduli suggerita, che fornisca in uscita la tensione $V_{pH,AN}$ la cui ampiezza in Volt sia pari al valore del pH della soluzione ed un corrispondente segnale digitale $V_{pH,DG}$ da inviare ad un display per la sua visualizzazione.

- **Modulo X:** circuito che misuri la temperatura della soluzione sapendo che la termo-resistenza è caratterizzata da una resistenza il cui valore varia con la temperatura secondo la relazione: $R = R_0 + k \cdot T$, essendo $R_0 = 100 \Omega$ il valore della resistenza a $0 \text{ }^\circ\text{C}$ e $k = 0.38 \Omega/^\circ\text{C}$.
- **Modulo Y:** circuito che prelevi la tensione in uscita dalla sonda sapendo che $V_{probe} = (A - B \cdot T) \cdot (7 - \text{pH})$, dove $A = 54.2 \text{ mV/pH}$ e $B = 0.198 \text{ mV/pH} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$.
- **Modulo Z:** circuito che a partire dalle tensioni in uscita ai moduli X e Y fornisca in uscita la tensione $V_{pH,AN}$.
- **Modulo W:** convertitore analogico/digitale (con risoluzione non inferiore a 10^{-3}), che avendo in ingresso $V_{pH,AN}$ produca il segnale digitale $V_{pH,DG}$.

Si hanno a disposizione: OP07, AD620 ed una linea di alimentazione DC a $\pm 15 \text{ V}$, oltre a componenti attivi/passivi analogici e digitali elementari.

$$x) R = R_0 + k \cdot T = R_0 (1+x)$$

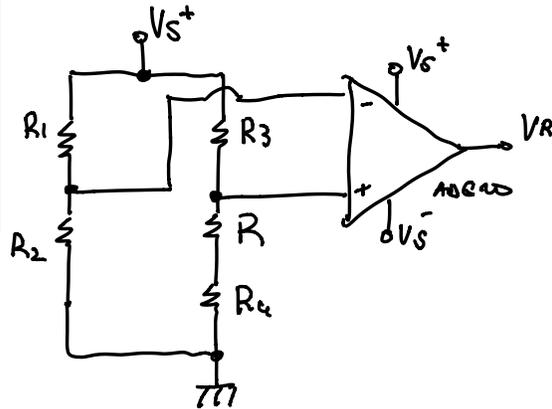
$$x = \frac{k}{R_0} \cdot T$$

$$R_0 = 100 \Omega$$

$$k = 0.38 \Omega/^\circ\text{C}$$

$$T \in [10 \div 80] \text{ }^\circ\text{C}$$

$$V_S = \pm 15 \text{ V}$$



$$V_R = A_d \cdot \frac{V_S^+}{4} \cdot \frac{R_0}{R_0 + R_4} \cdot x = \alpha \cdot T, \quad [\alpha] = \text{V}/^\circ\text{C}$$

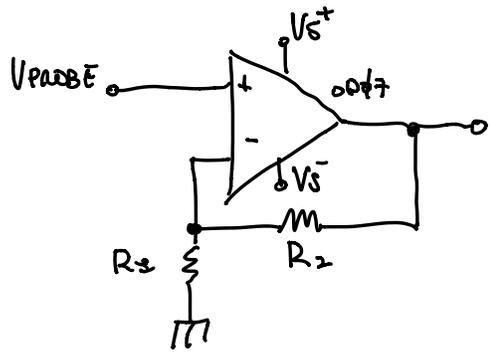
$$Y) V_{PROBE} = (A - B \cdot T) (7 - \text{pH})$$

$$\text{pH} \in [0 \div 14]$$

$$T \in [10 \div 80] \text{ }^\circ\text{C}$$

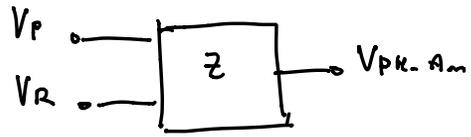
$$A = 54.2 \text{ mV/pH}$$

$$B = 0.198 \text{ mV/pH} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$$



$$\begin{aligned}
 V_P &= A_P \cdot V_{PAOBSE} \\
 &= A_P (A - B \cdot T) (1 - p_H) \\
 &= (A' - B' \cdot T) (1 - p_H) \\
 A' &= A_P \cdot A \quad , \quad B' = A_P \cdot B
 \end{aligned}$$

z)



$$\begin{aligned}
 V_P &= (A' - B' \cdot T) (1 - p_H) \\
 &= \underbrace{A' \cdot 1}_{\substack{\uparrow [V] \\ \text{OFFSET}}} - \underbrace{A' \cdot p_H}_{\uparrow [V]} - \underbrace{B' \cdot T \cdot 1}_{\substack{\uparrow [V] \\ \text{dipende solo da T}}} + \underbrace{B' \cdot T \cdot p_H}_{\uparrow [V]}
 \end{aligned}$$

$$\underbrace{V_P - A' \cdot 1 + B' \cdot T \cdot 1}_{V_1} = -A' \cdot p_H + B' \cdot T \cdot p_H$$

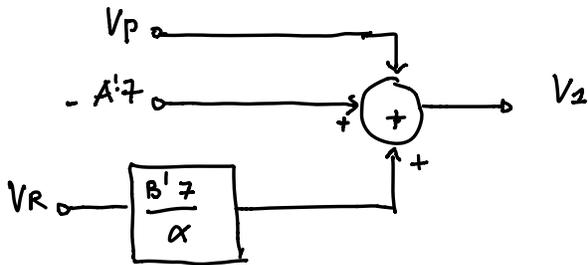
$$V_1 = V_P - A' \cdot 1 + B' \cdot T \cdot 1$$

$$\downarrow \\
 V_R = \alpha \cdot T \Rightarrow T = \frac{V_R}{\alpha}$$

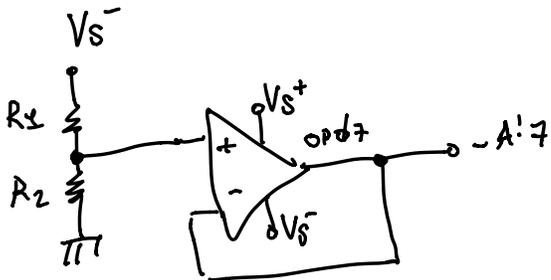
$$V_1 = V_P - \underbrace{A' \cdot 1}_{\text{OFFSET}} + \underbrace{B' \cdot 1 \cdot \frac{1}{\alpha}}_{\text{OFFSET}} \cdot V_R$$

$\uparrow V_R$ va scelta (se $B' \cdot 1 / \alpha < 1$) σ

amplificata (se $B'z/\alpha > 1$)

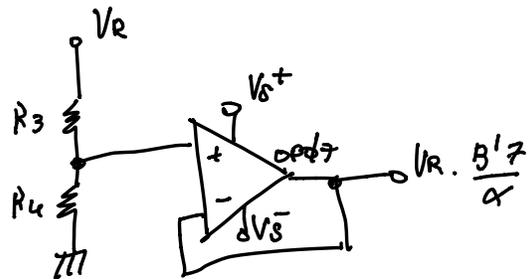


Generazione $-A'z$:

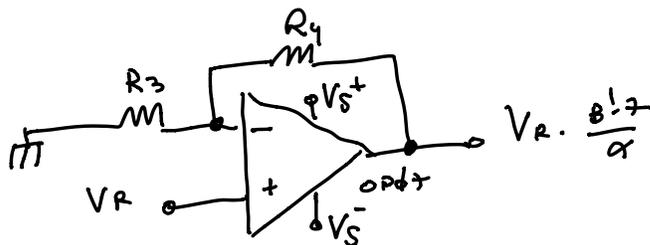


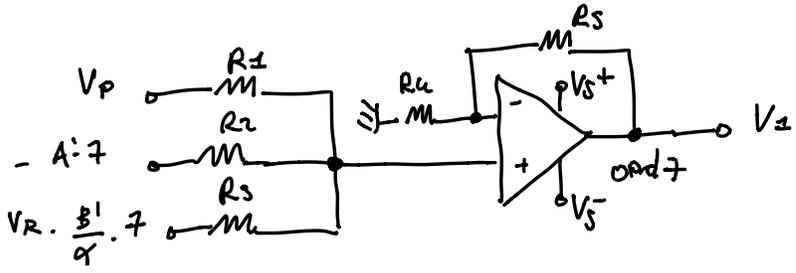
Generazione $V_R \cdot \frac{B'z}{\alpha}$

se $\frac{B'z}{\alpha} < 1 \Rightarrow$



se $\frac{B'z}{\alpha} > 1$:





$$\Rightarrow V_2 = -A' \cdot p_H + B' \cdot T \cdot p_H$$

$$= p_H (-A' + B' \cdot T)$$

$$T = \frac{V_R}{\alpha} \Rightarrow V_2 = p_H \left(-A' + \frac{B'}{\alpha} \cdot V_R \right)$$

$$p_H = \frac{V_2}{-A' + \frac{B'}{\alpha} \cdot V_R}$$

$$V_{PK-Am} = \beta \cdot p_H$$

$$[\beta] = V/p_H$$

$$= \beta \cdot \frac{V_2}{-A' + \frac{B'}{\alpha} \cdot V_R}$$

$$[A'] = mV/p_H$$

$$\left[\frac{B'}{\alpha} \cdot V_R \right] = mV/p_H$$

$$V_{PK-Am} = \beta \cdot \frac{V_2}{-A' + \frac{B'}{\alpha} \cdot V_R}$$

$$= \frac{d}{c} \cdot \beta \cdot \frac{V_2}{-A' + \frac{B'}{\alpha} \cdot V_R}, [c] = p_H$$

$$= \underbrace{c \cdot \beta}_{[cV]} \cdot \frac{V_2}{-c \cdot A' + c \cdot \frac{B'}{\alpha} \cdot V_R}$$

\Rightarrow OPERAZIONE DI DIVISIONE TRA TENSIONI

1)

$$V_{PK-Am} = \beta \cdot \frac{V_2}{-A'}$$

$$= -\frac{\beta}{A'} \cdot V_2$$

2)

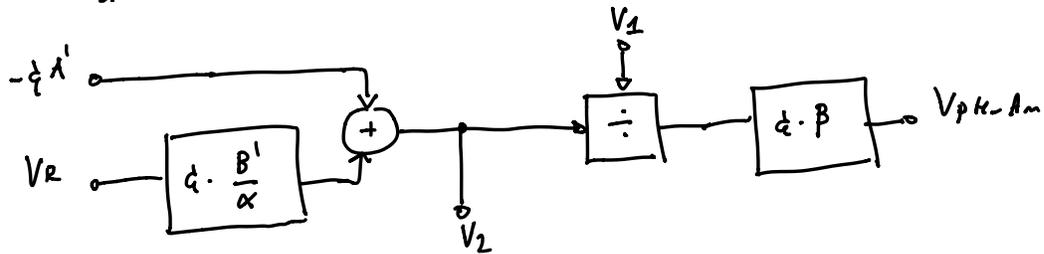
$$V_{PK-Am} = \beta \cdot \frac{V_2}{\frac{B'}{\alpha} \cdot V_R}$$

$$= \alpha \cdot \frac{\beta}{B'} \cdot \frac{V_2}{V_R}$$

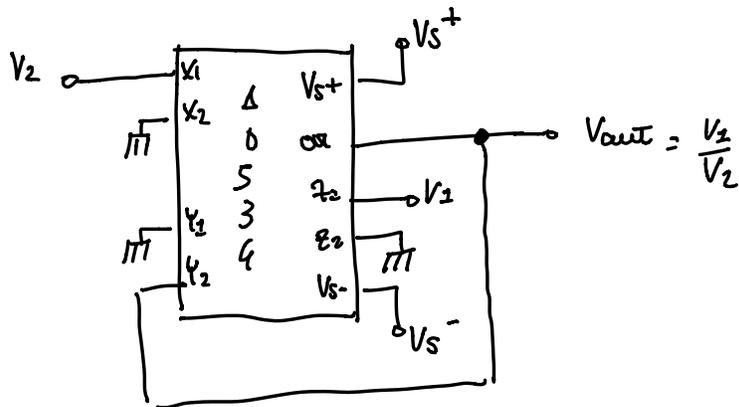
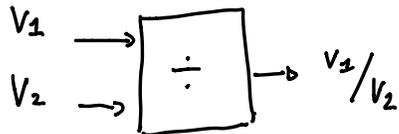
\uparrow
[V]

$$[\alpha \cdot A'] = V$$

$$[\alpha \cdot \frac{B'}{\alpha} \cdot V_R] = V$$



$$V_2 = -\alpha A' + V_R \cdot \alpha \cdot \frac{B'}{\alpha}$$



$$w) \quad R = \frac{LSB}{V_{REF}} = 10^{-3} \quad \Rightarrow \quad R = \frac{V_{REF}/2^m}{V_{REF}} = \frac{1}{2^m} = 10^{-3}$$

$$LSB = V_{REF}/2^m$$

$$2^{-m} = 10^{-3}$$

m : # di bit

$$\Rightarrow m = 9.96$$

$$\Rightarrow m = 10 \text{ bit}$$

$$f_{s,MAX} = 100 \text{ S}^{-1} = 100 \text{ Hz}$$

TIPOLOGIA ?

