

# A Laurea in Fisica - Anno Accademico 2023-2024

19 dicembre 2023 – Esonero del Laboratorio di Segnali e Sistemi

Nome :

Cognome :

Matricola :

Canale/Prof :

Gruppo Lab.:

Riportate su questo foglio le risposte numeriche con le relative unità di misura.

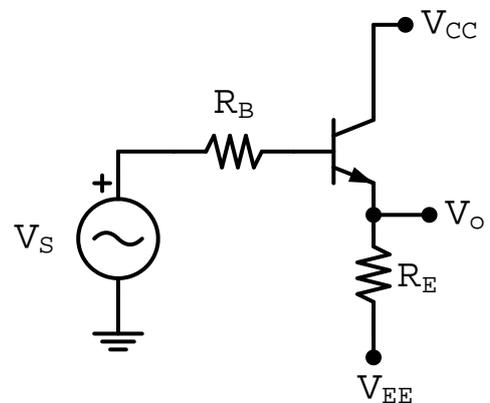
## Esercizio 1. (8 punti)

Un emitter follower è stato realizzato con un circuito a doppia alimentazione come rappresentato in figura. Il transistor ha  $h_{fe} = 50$  e il parametro  $h_{ie}$  può essere trascurato. Determinare il punto di lavoro del transistor, calcolare la sua amplificazione  $A_v = V_o/V_s$  e stabilire se, secondo voi, questo circuito è un buon inseguitore di tensione. Qualora non lo fosse, dire come andrebbe corretto il circuito per realizzare un vero emitter follower.

Si tenga presente che il generatore di segnali  $V_s$  può essere considerato un cortocircuito ai fini della polarizzazione del circuito.

Dati numerici:

$V_{CC} = 9\text{ V}$ ;  $V_{EE} = -8.7\text{ V}$ ;  $R_B = 5\text{ k}\Omega$ ;  $R_E = 100\ \Omega$ ;  
 $h_{fe} = 50$ .



$$I_E = \text{_____}; \quad V_{CE} = \text{_____} \quad A_v = \text{_____}$$

È un buon emitter follower? = \_\_\_\_\_

Cosa cambiare? = \_\_\_\_\_

## Esercizio 2. (8 punti)

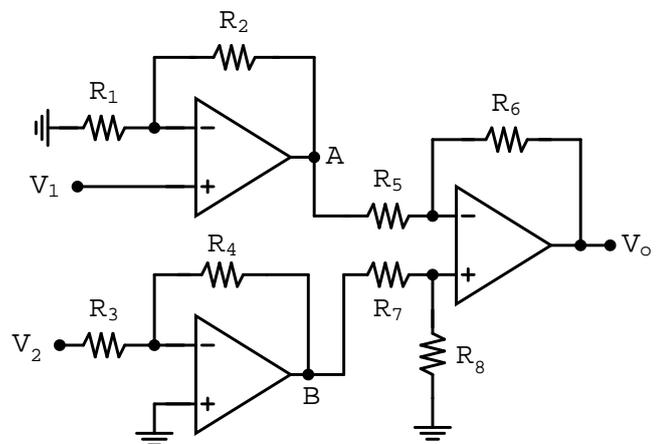
Calcolare le tensioni dell'amplificatore operazionale riportato in figura nei punti A e B, e trovare la tensione d'uscita.

I valori dei componenti sono i seguenti:

$V_1 = 2\text{ V}$ ;  $V_2 = -0.5\text{ V}$ ;  $R_1 = 2\text{ k}\Omega$ ;  $R_2 = 4\text{ k}\Omega$ ;  
 $R_3 = 1\text{ k}\Omega$ ;  $R_4 = 4\text{ k}\Omega$ ;  $R_5 = 4\text{ k}\Omega$ ;  $R_6 = 8\text{ k}\Omega$ ;  
 $R_7 = 2\text{ k}\Omega$ ;  $R_8 = 4\text{ k}\Omega$ .

$$V_A = \text{_____} \quad V_B = \text{_____}$$

$$V_o = \text{_____}$$



N.B. il compito prosegue sull'altra facciata del foglio

### Esercizio 3. (8 punti)

Il riempimento di due serbatoi è controllato da dei sensori di livello che producono un segnale elettrico secondo la legge:  $V = 0.01\left(\frac{V}{cm}\right) \times h(cm) + 0.2(V)$ .

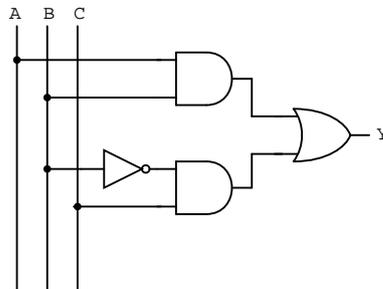
Si vuole progettare un sistema di controllo che produca un segnale d'allarme quando la somma delle altezze di liquido nei due serbatoi sia inferiore a 100 cm.

Tramite l'utilizzo di un contatore che utilizza un clock di 1 Hz, il segnale d'allarme deve essere utilizzato per far lampeggiare una luce rossa che rimanga accesa per 2 secondi e spenta per altri 2 secondi.

### Esercizio 4. (8 punti)

Scrivere in forma canonica la funzione  $Y$  realizzata dal circuito in figura. Trovare poi la tabella della verità di questo circuito e dimostrare, utilizzando la mappa di Karnaugh, che il circuito proposto è proprio la forma minimale dell'implementazione circuitale.

Infine, progettare un circuito che realizzi la stessa funzione utilizzando solo porte logiche NAND.



# SOLUZIONI ESONERO DI LAB S.S. DEL 19-12-2023 - A

## Soluzione Esercizio 1

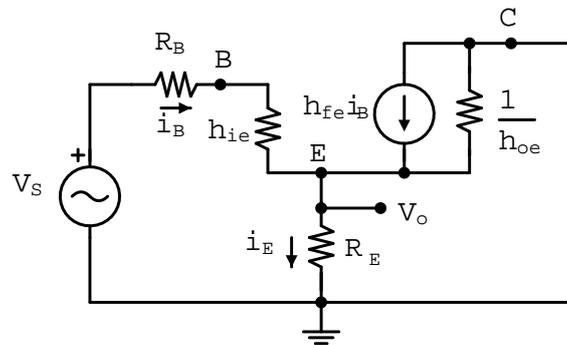
Scriviamo l'equazione della maglia d'ingresso tenendo presente che, per la polarizzazione, possiamo trattare il generatore di segnali come un corto circuito:

$$0 = R_B \cdot I_B + V_{BE} + R_E \cdot I_E - |V_{EE}| \Rightarrow |V_{EE}| - V_{BE} = R_B \cdot I_B + R_E \cdot I_E$$

Utilizzando le relazioni  $I_E \approx I_C$  e  $I_B = I_C/h_{fe}$ , si trova:

$$I_E = \frac{|V_{EE}| - V_{BE}}{\frac{R_B}{h_{fe}} + R_E} = \frac{8.7 - 0.7}{\frac{5000}{50} + 100} = 40 \text{ mA};$$

$$V_{CE} = V_{CC} + |V_{EE}| - R_E \cdot I_E = 9 + 8.7 - 40 \cdot 10^{-3} \times 100 = 13.7 \text{ V}$$



Per calcolare l'amplificazione facciamo riferimento al circuito equivalente a parametri ibridi riportato in figura.

$$V_S = R_B \cdot i_B + h_{ie} \cdot i_B + (h_{fe} + 1)i_B \cdot R_E; \quad V_o = (h_{fe} + 1)i_B \cdot R_E$$

Ricordiamo che  $h_{ie} = h_{fe} \cdot \frac{V_T}{I_C} = 50 \times \frac{25 \cdot 10^{-3}}{40 \cdot 10^{-3}} = 31.25 \Omega$ , e quindi può essere trascurata rispetto a  $R_B$ . Calcoliamo ora l'amplificazione:

$$A_V = \frac{V_o}{V_S} = \frac{(h_{fe} + 1)i_B \cdot R_E}{R_B \cdot i_B + (h_{fe} + 1)i_B \cdot R_E} \simeq \frac{R_E}{R_B/h_{fe} + R_E} = \frac{100}{5 \cdot 10^3/50 + 100} = \frac{1}{2}$$

L'emitter follower dovrebbe avere amplificazione prossima a uno, quindi questo è un pessimo emitter follower. Per migliorare il circuito andrebbe tolta la resistenza  $R_B$  (sostituendola con un corto circuito) e messa una resistenza  $R_E$  pari a 200  $\Omega$ , in modo da mantenere la stessa corrente di emettitore.

## Soluzione Esercizio 2

L'Opamp A è un amplificatore non invertente, quindi la tensione nel punto A (uscita dell'amplificatore) è pari a:

$$V_A = V_1 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 2 \times \left(1 + \frac{4}{2}\right) = 6 \text{ V}$$

L'Opamp B è un amplificatore invertente, quindi la tensione nel punto B (uscita dell'amplificatore) è pari a:

$$V_B = -V_2 \cdot \frac{R_4}{R_3} = -(-0.5) \times \frac{4}{1} = 2 \text{ V}$$

Calcoliamo ora la tensione sull'ingresso non invertente del terzo Opamp:

$$V_+ = V_B \cdot \frac{R_8}{R_7 + R_8} = V_B \times \frac{4}{2 + 4} = \frac{2}{3} V_B$$

Per l'ingresso invertente possiamo scrivere:

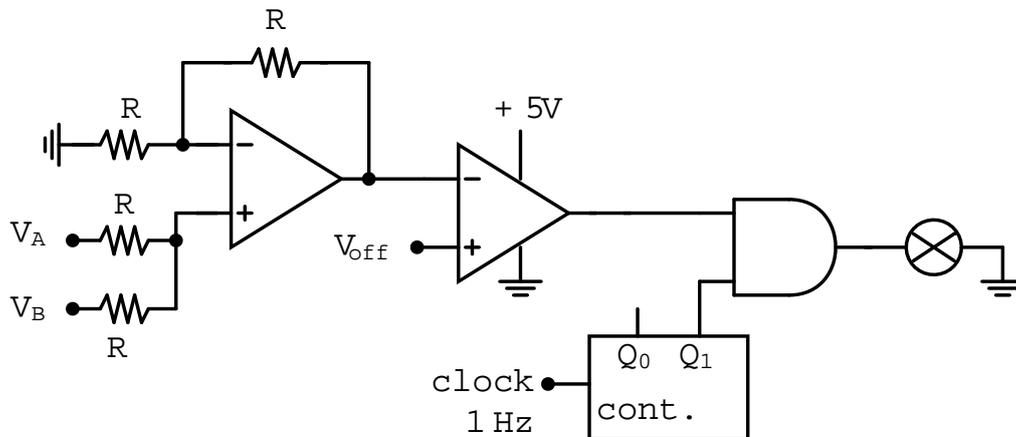
$$\frac{V_A - V_-}{R_5} = \frac{V_- - V_o}{R_6} \Rightarrow V_o = V_- \cdot \frac{R_5 + R_6}{R_5} - V_A \cdot \frac{R_6}{R_5} = \frac{2}{3} V_B \cdot \frac{R_5 + R_6}{R_5} - V_A \cdot \frac{R_6}{R_5}$$

sostituendo i valori numerici si ha:

$$V_o = \frac{2}{3} V_B \times \frac{4 + 8}{4} - V_A \times \frac{8}{4} = 2 \cdot (V_B - V_A) = 2 \times (2 - 6) = -8 \text{ V}$$

### Soluzione Esercizio 3

Una possibile soluzione dell'esercizio è data dallo schema seguente:



Le tensioni dei due sensori, che chiameremo  $V_A$  e  $V_B$ , vanno sommate tramite un sommatore non invertente, che ha le 4 resistenze uguali (ad esempio di  $1\text{ k}\Omega$ ).

Il segnale risultante deve essere confrontato con un segnale di offset ( $V_{off}$ ) che faccia scattare l'allarme quando la somma dei livelli di liquido dei due serbatoi è minore di  $100\text{ cm}$ :

$$V_{off} = V_A + V_B = 0.01 \times (h_A + h_B) + 0.2 + 0.2 = 0.01 \times 100 + 0.4 = 1.4\text{ V}$$

Mandiamo il segnale di offset, insieme all'uscita del sommatore, ad un comparatore analogico alimentato con  $+5\text{ V}$  e ground, in modo tale che la sua uscita sia un segnale logico TTL. Dato che vogliamo che l'uscita del comparatore vada ad uno logico quando la somma delle tensioni è minore di  $V_{off}$ , dobbiamo mandare l'uscita del sommatore all'ingresso invertente del comparatore.

Dato che vogliamo che la luce di allarme rimanga due secondi accesa e due secondi spenta, ovvero ha un periodo di 4 secondi, corrispondente ad una frequenza di  $0.25\text{ Hz}$ , dobbiamo dividere per quattro la frequenza del clock di  $1\text{ Hz}$  in ingresso al contatore, per cui il bit  $Q_1$  del contatore ha proprio la frequenza che noi vogliamo.

Quindi mandiamo il bit  $Q_1$  del contatore e l'uscita del comparatore ad una porta AND e all'uscita della porta colleghiamo la luce di allarme. In questo modo, quando l'uscita del comparatore vale 1 logico (allarme) il segnale del bit  $Q_1$  viene trasmesso all'uscita dell'AND e la luce lampeggia con la frequenza desiderata, mentre quando l'uscita del comparatore vale 0 logico, anche l'uscita della porta AND è zero e la luce d'allarme è spenta.

## Soluzione Esercizio 4

La funzione logica implementata dal circuito si può scrivere in forma canonica come:

$$Y = AB + \bar{B}C$$

La tavola della verità è la seguente:

A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

e la mappa di Karnaugh è la seguente:

C	0	1
AB		
00	0	1
01	0	0
11	1	1
10	0	1

Dalla mappa di Karnaugh si vede che la funzione minimale è proprio  $Y = AB + \bar{B}C$

Infine, utilizzando le leggi di De Morgan, si può scrivere:

$$Y = AB + \bar{B}C = \overline{(\overline{AB}) \cdot (\overline{\bar{B}C})}$$

e la sua implementazione con porte con sole porte NAND è:

