B	**Laurea in Fisica - Anno Accademico 2023-2024**

19 dicembre 2023 – Esonero del Laboratorio di Segnali e Sistemi

Nome : **Cognome :**

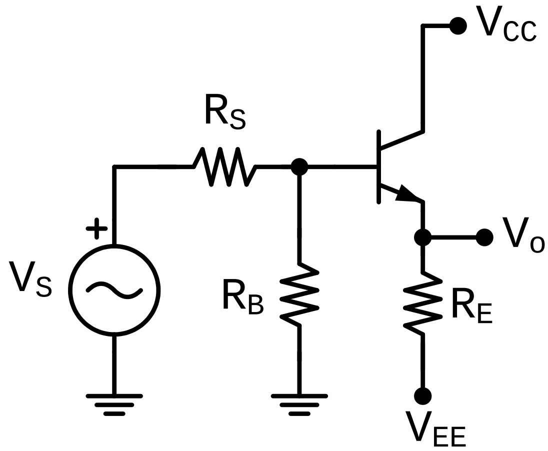
Matricola : **Canale/Prof :** **Gruppo Lab.:**

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

Esercizio 1. (8 punti)
Il riempimento di due serbatoi è controllato da dei sensori di livello che producono un segnale elettrico secondo la legge: $V = 0.01(\frac{V}{cm}) \times h(cm) + 0.2(V)$.
Si vuole progettare un sistema di controllo che produca un segnale d'allarme quando la media delle altezze di liquido nei due serbatoi sia inferiore a 60 cm.
Tramite un contatore che utilizza un clock di 2 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 2. (8 punti)
Un emitter follower è stato realizzato con un circuito a doppia alimentazione come rappresentato in figura. Il transistor ha $h_{fe} = 100$ e il parametro h_{ie} può essere trascurato. Determinare il punto di lavoro del transistor, calcolare la sua amplificazione $A_v = V_0/V_s$ 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:
$V_{CC} = 9\ V$; $V_{EE} = -8.7\ V$; $R_S = 50\ \Omega$; $R_B = 50\ \Omega$; $R_E = 400\ \Omega$; $h_{fe} = 100$.



I_E= __________; V_{CE}= __________ A_v= __________

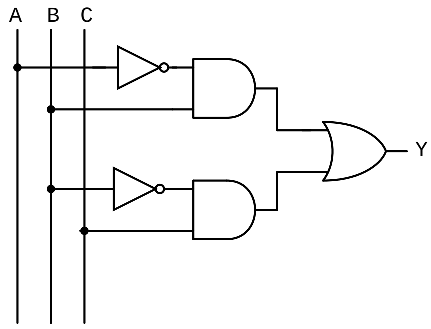
È un buon emitter follower? = ________________

Cosa cambiare? = ________________

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

Esercizio 3. (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 funziona utilizzando solo porte logiche NAND.

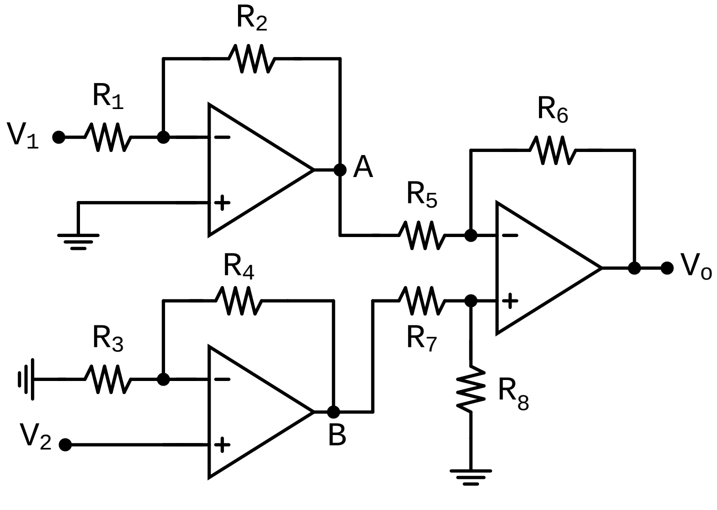


Esercizio 4. (8 punti)
Calcolare le tensioni dell'amplificatore operazionale riportato in figura nei punti A e B, e trovare la tensione d'uscita.
I valori dei componenti sono i seguenti:

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

V_A= __________ V_B= __________

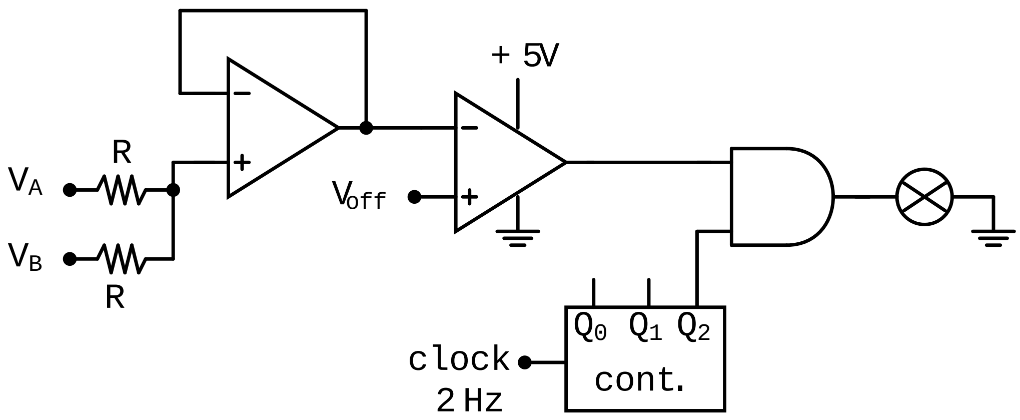
V_o = ________________



Soluzioni Esonero di Lab S.S. del 19-12-2023 - B

Soluzione Esercizio 1

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



Le tensioni dei due sensori, che chiameremo V_A e V_B, vanno mediate tramite un sommatore non invertente, in configurazione emitter follower (le 2 resistenze R devono essere uguali, ad esempio di 1 $k\Omega$).
Il segnale risultante deve essere confrontato con un segnale di offset (V_{off}) che faccia scattare l'allarme quando il valor medio dei livelli di liquido dei due serbatoi è minore di 60 cm:

$V_{off} = 0.01 \times 60 + 0.2 = 0.8\ V$

Mandiamo il segnale di offset, insieme all'uscita del sommatore, ad un comparatore analogico alimentato con $+5\ V$ 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 Hz, dobbiamo dividere per otto la frequenza del clock di 2 Hz in ingresso al contatore, per cui il bit Q_2 del contatore ha proprio la frequenza che noi vogliamo.
Quindi mandiamo il bit Q_2 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_2 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 2

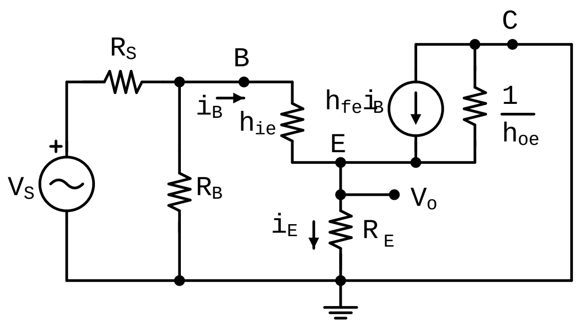
Scriviamo l'equazione della maglia d'ingresso tenendo presente che, per la polarizzazione, possiamo trattare il generatore di segnali come un corto circuito:

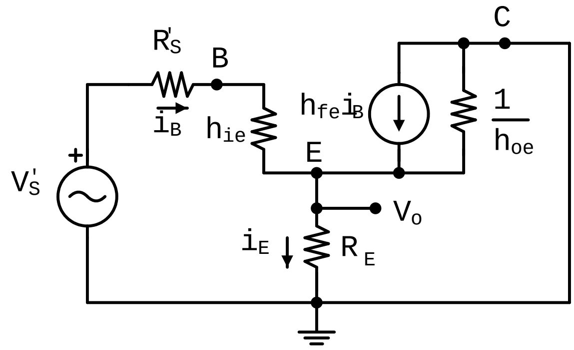
$$0 = (R_S \parallel R_B) \cdot I_B + V_{BE} + R_E \cdot I_E - |V_{EE}| \Rightarrow |V_{EE}| - V_{BE} = (R_S \parallel R_B) \cdot I_B + R_E \cdot I_E$$

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

$$I_E = \frac{|V_{EE}| - V_{BE}}{\frac{R_S \| R_B}{h_{fe}} + R_E} = \frac{8.7 - 0.7}{\frac{25}{100} + 400} = 20\ mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} + |V_{EE}| - R_E \cdot I_E = 9 + 8.7 - 20 \cdot 10^{-3} \times 400 = 9.7\ V$$





Per calcolare l'amplificazione facciamo riferimento al circuito equivalente a parametri ibridi riportato nella figura di sinistra.
Innanzitutto applichiamo il teorema di Thevenin nel punto B; in questo caso abbiamo un partitore tra R_S e R_B:

$$V'_S = V_S \cdot \frac{R_B}{R_S + R_B} = V_S \cdot \frac{50}{50 + 50} = \frac{1}{2} V_S. \quad e \quad R'_S = R_S \parallel R_B = 25\ \Omega$$

Poi, facendo riferimento alla figura di destra, troviamo la relazione tra V'_S e i_B:

$$V'_S = R'_S \cdot i_B + h_{ie} \cdot i_B + (h_{fe} + 1) i_B \cdot R_E; \quad V_o = (h_{fe} + 1) i_B \cdot R_E$$

Ricordiamo che $h_{ie} = h_{fe} \cdot \frac{V_T}{I_C} = 100 \times \frac{25 \cdot 10^{-3}}{20 \cdot 10^{-3}} = 125\ \Omega$, che può essere trascurato rispetto al termine $(h_{fe} + 1) \cdot R_E$. Calcoliamo ora l'amplificazione:

$$A'_V = \frac{V_o}{V'_S} = \frac{(h_{fe} + 1) i_B \cdot R_E}{(R'_S + h_{ie}) \cdot i_B + (h_{fe} + 1) i_B \cdot R_E} \simeq 1; \quad \Rightarrow \quad A_V = \frac{V_0}{V'_S} \cdot \frac{V'_S}{V_S} = 1 \times \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$$

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.

Soluzione Esercizio 3

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

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

La tavola della verità è la seguente:

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

e la mappa di Karnaugh è la seguente:

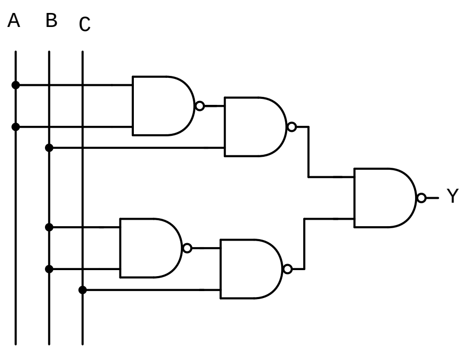
AB \ C	0	1
00	0	1
01	1	1
11	0	0
10	0	1

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

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

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

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



Soluzione Esercizio 4

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

$$V_A = -V_1 \cdot \frac{R_2}{R_1} = -2 \times \frac{4}{2} = -4\ V$$

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

$$V_B = V_2 \cdot (1 + \frac{R_4}{R_3}) = -0.5 \times (1 + \frac{4}{1}) = -2.5\ V$$

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:

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

sostituendo i valori numerici si ha:

$$V_o = \frac{2}{3} V_B \times \frac{4+8}{4} - V_A \times \frac{8}{4} = 2 \cdot (V_B - V_A) = 2 \times (-2.5 - (-4)) = 3\ V$$