

B Laurea in Fisica - Anno Accademico 2024-2025

17 dicembre 2024 – 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)

Si consideri un segnale sinusoidale di ampiezza 100 mV e valor medio nullo. Si costruisca, con uno o più amplificatori operazionali, un amplificatore che fornisca in uscita un segnale sinusoidale di ampiezza 6 V e valor medio -6 V . Supponendo che gli amplificatori operazionali vengano alimentati con un alimentazione duale di $\pm V_{cc}$, si dica quale debba essere il minimo valore dell'alimentazione affinché il segnale d'uscita non venga tagliato.

$|V_{cc}| =$ _____

Esercizio 2. (8 punti)

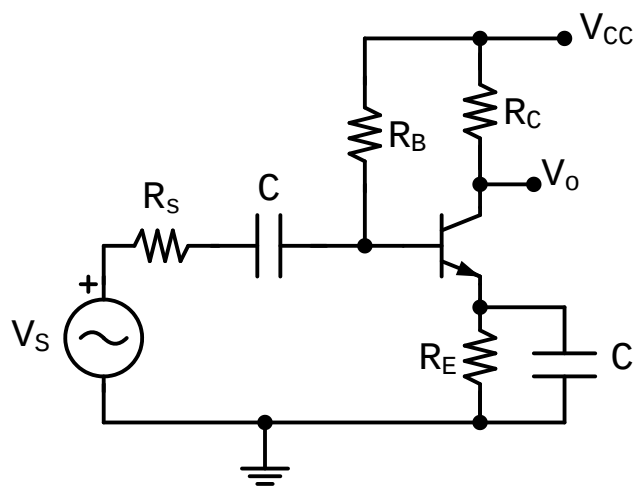
Un amplificatore a emettitore comune è stato realizzato secondo il circuito riportato a lato con un BJT avente $h_{fe} = 50$. Si ricavi il punto di lavoro del BJT e si valuti il valore del parametro h_{ie} per quel valore di corrente di collettore, assumendo che il transistor si trovi a temperatura ambiente.

Si calcoli poi l'amplificazione a medie frequenze (dove tutte le capacità possono essere considerate come dei corti circuito) definita come $A_V = V_o/V_s$.

Dati numerici:

$V_{cc} = 10\text{ V}$; $R_s = 1.25\text{ k}\Omega$; $R_B = 250\text{ k}\Omega$;

$R_E = 4.3\text{ k}\Omega$; $R_C = 2.5\text{ k}\Omega$.



$I_B =$ _____; $I_C =$ _____ $V_{CE} =$ _____

$h_{ie} =$ _____ $A_V =$ _____

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

Esercizio 3. (8 punti)

In generale, un contatore può essere utilizzato per generare sequenze numeriche periodiche. In particolare si consideri un contatore modulo 13, realizzato con un contatore a 4 bit, dove le 4 uscite Q_3, Q_2, Q_1, Q_0 possono essere interpretate come una coppia, A e B, di parole a 2 bit dove $A_1 = Q_3$, $A_0 = Q_2$, $B_1 = Q_1$ e $B_0 = Q_0$.

Si realizzi un circuito di confronto (comparatore) tra le due parole tale che la sua uscita sia 1 quando $A > B$. Si progetti il circuito, facendo uso delle mappe di Karnaugh per ridurre la funzione canonica ai minimi termini. Si implementi poi il comparatore facendo uso di gate AND, OR e NOT. Non è necessario disegnare lo schema del contatore, però si implementi la logica che trasforma un contatore a 4 bit (ovvero a modulo 16) in un contatore a modulo 13.

$Y =$ _____

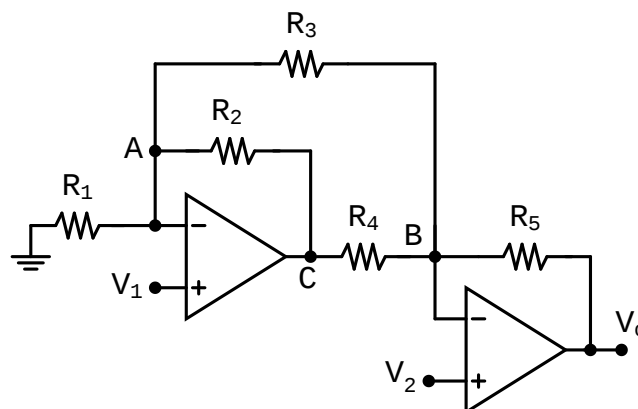
Esercizio 4. (8 punti)

Si consideri il circuito riportato a lato, realizzato con degli amplificatori operazionali che si possono trattare come ideali. Si calcoli la corrente che scorre nella resistenza R_3 , il potenziale nel punto C e il segnale d'uscita.

Dati numerici:

$V_1 = 1 \text{ V}$; $V_2 = -1 \text{ V}$; $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$; $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$;

$R_3 = 2 \text{ k}\Omega$; $R_4 = 2 \text{ k}\Omega$; $R_5 = 1 \text{ k}\Omega$.



$I_{R_3} =$ _____; $V_C =$ _____ $V_o =$ _____

SOLUZIONI ESONERO DI LAB S.S. DEL 17-12-2024 - B

Soluzione Esercizio 1

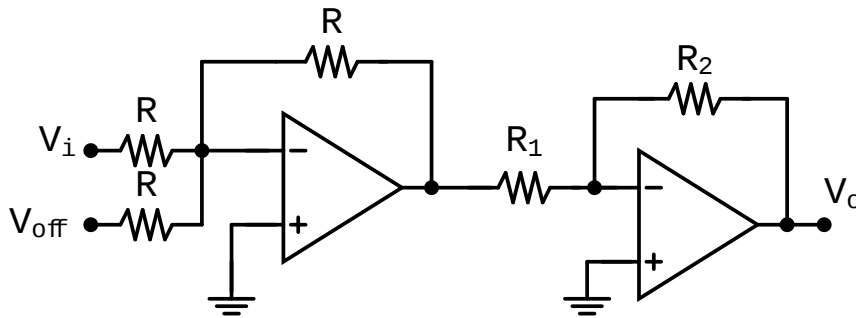
Il segnale d'ingresso ha valor medio nullo mentre il segnale d'uscita deve avere valor medio non nullo, quindi occorre aggiungere una tensione di offset al segnale di ingresso e poi amplificare la somma dei segnali, oppure, in maniera equivalente, amplificare il segnale d'ingresso e poi aggiungere una tensione di offset. Si possono implementare diversi circuiti che producono lo stesso risultato, ad esempio un amplificatore differenziale che amplifichi la differenza tra il segnale e l'offset, oppure un amplificatore invertente (o non invertente) in cui il segnale di offset viene messo sull'ingresso non invertente dell'opamp (oppure sull'ingresso invertente nel caso di amplificatore non invertente). Qui proponiamo una soluzione che non è la migliore da un punto di vista progettuale perché fa uso di due opamp, ma concettualmente è la più semplice, ovvero un sommatore invertente seguito da un amplificatore invertente.

Il segnale di offset vale: $V_{off} = -100 \text{ mV}$, mentre l'amplificazione vale:

$$A = \frac{V_o}{V_i} = \frac{6}{100 \cdot 10^{-3}} = 60 .$$

Si possono scegliere ad esempio: $R_2 = 60 \text{ k}\Omega$ e $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$; anche le tre resistenze R , che devono essere uguali, possono essere di $1 \text{ k}\Omega$.

Dato che il segnale d'uscita varia da 0 V a -12 V (due volte l'ampiezza), il valore dell'alimentazione deve essere almeno di 12 V per non tagliare il segnale.



Soluzione Esercizio 2

Scriviamo l'equazione della maglia del circuito di base, ricordando che i condensatori non lasciano passare la corrente continua:

$$V_{cc} = R_B \cdot I_B + V_{BE} + R_E \cdot I_E ;$$

Facciamo l'approssimazione $I_C \sim I_E$; inoltre assumiamo anche che $\beta = h_{fe}$, per cui $I_B = I_C/h_{fe}$. L'equazione della maglia si può riscrivere come:

$$V_{cc} = \frac{R_B}{h_{fe}} \cdot I_C + V_{BE} + R_E \cdot I_C \Rightarrow I_C = \frac{V_{cc} - V_{BE}}{R_E + R_B/h_{fe}} = \frac{10 - 0.7}{(4.3 + 250/50) \cdot 10^3} = 1 \text{ mA} ;$$

Ricaviamo la corrente di base: $I_B = I_C/h_{fe} = 1 \cdot 10^{-3}/50 = 20 \text{ } \mu\text{A}$.

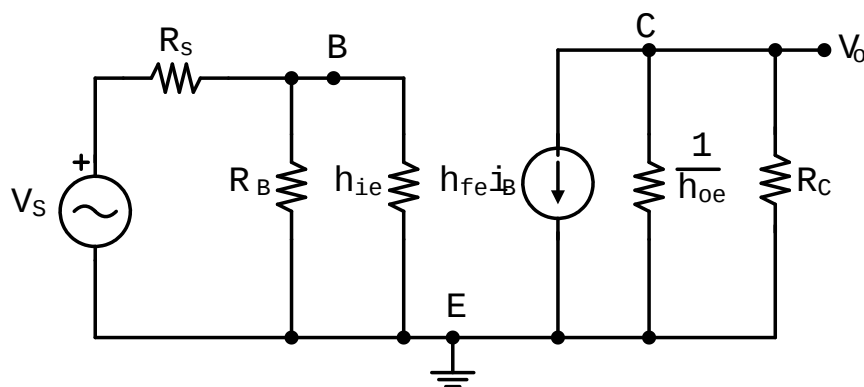
Dalla maglia di uscita si ricava V_{CE} :

$$V_{cc} = R_C \cdot I_C + V_{CE} + R_E \cdot I_C \Rightarrow V_{CE} = V_{cc} - (R_C + R_E) \cdot I_C = 10 - (2.5 + 4.3) \cdot 10^3 \times 1 \cdot 10^{-3} = 3.2 \text{ V}$$

Ricaviamo poi h_{ie} utilizzando la relazione che lega il suo valore alla corrente di collettore, e che il transistor si trovi a temperatura ambiente:

$$h_{ie} = \frac{h_{fe} \cdot V_T}{I_C} = \frac{50 \times 25 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-3}} = 1.25 \text{ k}\Omega .$$

Per trovare l'amplificazione, disegniamo il circuito equivalente a parametri ibridi, cortocircuitando tutti i condensatori:



L'amplificazione intrinseca del circuito, ovvero quella senza il generatore di segnali V_s , definita come $A = V_o/V_B$, vale:

$$A = \frac{V_o}{V_B} = \frac{R_C \cdot I_C}{V_T} = \frac{2.5 \cdot 10^3 \times 1 \cdot 10^{-3}}{25 \cdot 10^{-3}} = 100 .$$

Per trovare l'amplificazione rispetto al segnale del generatore, occorre valutare la resistenza d'ingresso dell'amplificatore che è uguale al parallelo tra R_B e h_{ie} ; dato che R_B è molto più grande di h_{ie} , il suo contributo può essere trascurato, quindi la resistenza d'ingresso dell'amplificatore R_i è di $1.25 \text{ k}\Omega$. Quindi:

$$A_V = \frac{R_i}{R_s + R_i} \cdot A = \frac{1.25}{1.25 + 1.25} \times 100 = 50 .$$

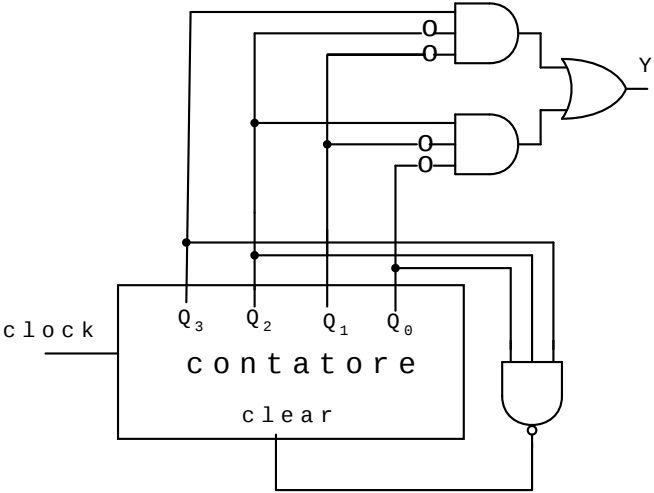
Soluzione Esercizio 3

A		B		
Q3	Q2	Q1	Q0	Y
0	0	0	0	0
0	0	0	1	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	0	1
0	1	0	1	0
0	1	1	0	0
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	0	1	1
1	0	1	0	0
1	0	1	1	0
1	1	0	0	1

Q1Q0	00	01	11	10
Q3Q2	00	01	11	10
00	0	0	0	0
01	1	0	0	0
11	1	0	0	0
10	1	1	0	0

$$Y = Q_3 \overline{Q_2} \overline{Q_1} + Q_2 \overline{Q_1} \overline{Q_0}$$

gli ingressi degli AND con il pallino vuoto sono NEGATI



Soluzione Esercizio 4

Notiamo che il potenziale nel punto A è uguale a V_1 e il potenziale nel punto B è uguale a V_2 , quindi la corrente I_{R_3} esce dal nodo A e vale:

$$I_{R_3} = \frac{V_A - V_B}{R_3} = \frac{1 - (-1)}{2 \cdot 10^3} = 1 \text{ mA} .$$

Nel nodo A la corrente I_{R_1} è anch'essa uscente e vale $V_A/R_1 = 1/1 \cdot 10^3 = 1 \text{ mA}$, quindi la corrente I_{R_2} deve necessariamente entrare nel nodo A ed è pari alla somma di I_{R_1} e I_{R_3} e vale 2 mA . Dato che:

$$I_{R_2} = \frac{V_C - V_A}{R_2} \Rightarrow V_C = V_A + R_2 \cdot I_{R_2} = 1 + 1 \cdot 10^3 \times 2 \cdot 10^{-3} = 3 \text{ V} .$$

Dato che $V_C > V_B$, la corrente I_{R_4} entra nel nodo B e vale:

$$I_{R_4} = \frac{V_C - V_B}{R_3} = \frac{3 - (-1)}{2 \cdot 10^3} = 2 \text{ mA} ;$$

dato che anche I_{R_3} entra nel nodo B , allora I_{R_5} deve uscire dal nodo B ed è uguale alla somma delle altre due correnti, ovvero vale 3 mA ; a questo punto possiamo ricavare il segnale d'uscita:

$$I_{R_5} = \frac{V_B - V_o}{R_5} \Rightarrow V_o = V_B - R_5 \cdot I_{R_5} = -1 - 1 \cdot 10^3 \times 3 \cdot 10^{-3} = -4 \text{ V} .$$