

## Esercizio 1

Nello schema in Fig. 1, l'amplificatore operazionale, supposto ideale, è alimentato con tensione duale:  $\pm 15$  V.

$R = 39$  k $\Omega$ ;  $h_{FE} = 100$ ;  $C = 100$  nF;  $V_{BEsat} = 0,7$  V;  $R_B = 8,2$  k $\Omega$ ;  $V_{CEsat} = 0$  V.

Il candidato determini:

1) la relazione che lega il segnale di uscita  $V_o(t)$  al segnale di ingresso  $V_A(t)$  nell'ipotesi che  $V_B(t)$  sia uguale a zero e la tensione ai capi del condensatore  $C$  sia nulla all'istante di applicazione di  $V_A(t)$ ;

2) il diagramma temporale del segnale di uscita  $V_o(t)$  nell'ipotesi che all'ingresso  $A$  sia applicato un segnale a gradino di ampiezza  $E_A = 10$  V, all'ingresso  $B$  un segnale  $V_B(t)$  sempre uguale a zero e il condensatore  $C$  sia inizialmente scarico;

3) il diagramma temporale del segnale di uscita  $V_o(t)$  nell'ipotesi che all'ingresso  $A$  sia applicato un segnale a gradino di ampiezza  $E_A = 10$  V nello stesso istante in cui all'ingresso  $B$  è applicato un segnale impulsivo avente le caratteristiche della Fig. 2 e che il condensatore  $C$  sia inizialmente scarico.

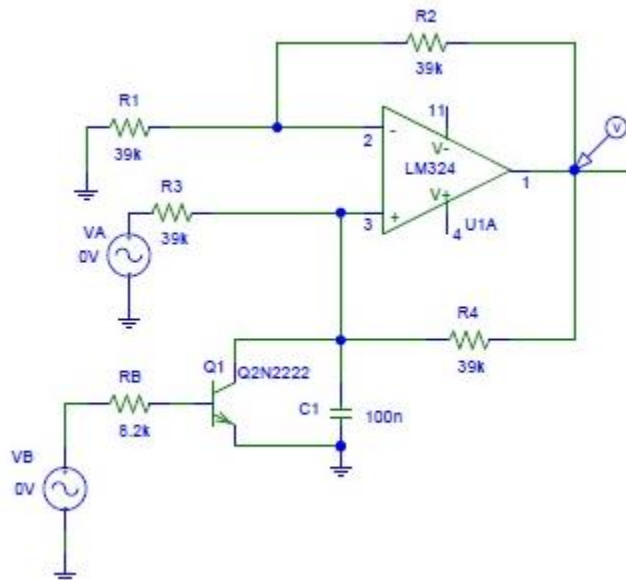


Figura 1 Lo schema elettrico del circuito.

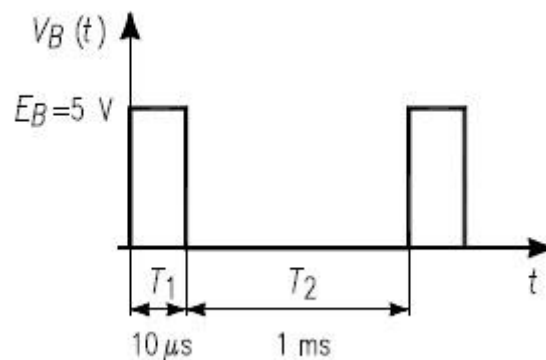


Figura 2 Il segnale applicato alla base del transistor.

## Svolgimento

1) Se  $v_B(t)=0$  il transistor è interdetto ed equivale ad un circuito aperto. Lo schema diventa:

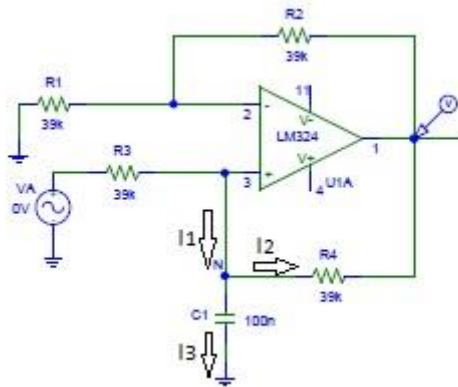


Figura 3 Schema con transistor interdetto.

Adesso applichiamo il primo principio di Kirchhoff al nodo N (vedi figura 3):

$$i_1 = i_2 + i_3$$

Sostituiamo alle correnti le loro espressioni:

$$\frac{v_A - v_+}{R_3} = sCv_+ + \frac{v_+ - v_o}{R_4}$$

Ma  $R_3=R_4=R$  quindi:

$$\frac{v_A - v_+}{R} = sCv_+ + \frac{v_+ - v_o}{R}$$

Per determinare  $v_+$  ricordiamo che l'amplificatore operazionale è ideale e i due ingressi si trovano in cortocircuito virtuale quindi  $v_+ = v_-$ . Troviamo  $v_-$ :

$$v_- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_o$$

Ma  $R_1=R_2=R$  quindi:

$$v_- = \frac{R}{2R} v_o = \frac{v_o}{2} = v_+$$

Sostituiamo:

$$\frac{v_A - \frac{v_o}{2}}{R} = sC \frac{v_o}{2} + \frac{\frac{v_o}{2} - v_o}{R}$$

$$\frac{v_A}{R} - \frac{v_o}{2R} = sC \frac{v_o}{2} + \frac{v_o}{2R} - \frac{v_o}{R}$$

$$\frac{v_A}{R} = sC \frac{v_o}{2}$$

Troviamo  $v_o$ :

$$v_o = \frac{2v_A}{sCR}$$

Per trovare l'andamento nel tempo della tensione di uscita  $v_o(t)$  dobbiamo usare l'antitrasformata di Laplace. Ricordiamo che dividere per la variabile complessa  $s$  equivale ad integrare quindi:

$$v_o(t) = \int_0^t \frac{2v_A(t)}{CR} dt = \frac{2}{CR} \int_0^t v_A(t) dt$$

Relazione che lega il segnale di uscita a quello di ingresso  $v_A(t)$ :

$$v_o(t) = \frac{2}{CR} \int_0^t v_A(t) dt$$

2) Se  $v_A(t)$  è un gradino di ampiezza 10V l'uscita diventa:

$$v_o(t) = \frac{2}{CR} \int_0^t E_A dt = 2 \frac{E_A}{CR} t$$

Sostituiamo i valori numerici:

$$v_o(t) = 2 \frac{10}{100 \cdot 10^{-9} \cdot 39 \cdot 10^3} t = 5128.20t$$

Il segnale di uscita è una rampa come dovevamo aspettarci dato che il circuito proposto è un integratore. Il condensatore si carica per mezzo della resistenza  $R_3$  fino a quando non raggiunge la tensione di saturazione dell'amplificatore operazionale (+15V). Vediamo quanto tempo impiega:

$$15 = 5128.20t \rightarrow t = \frac{15}{5128.20} = 2.9ms$$

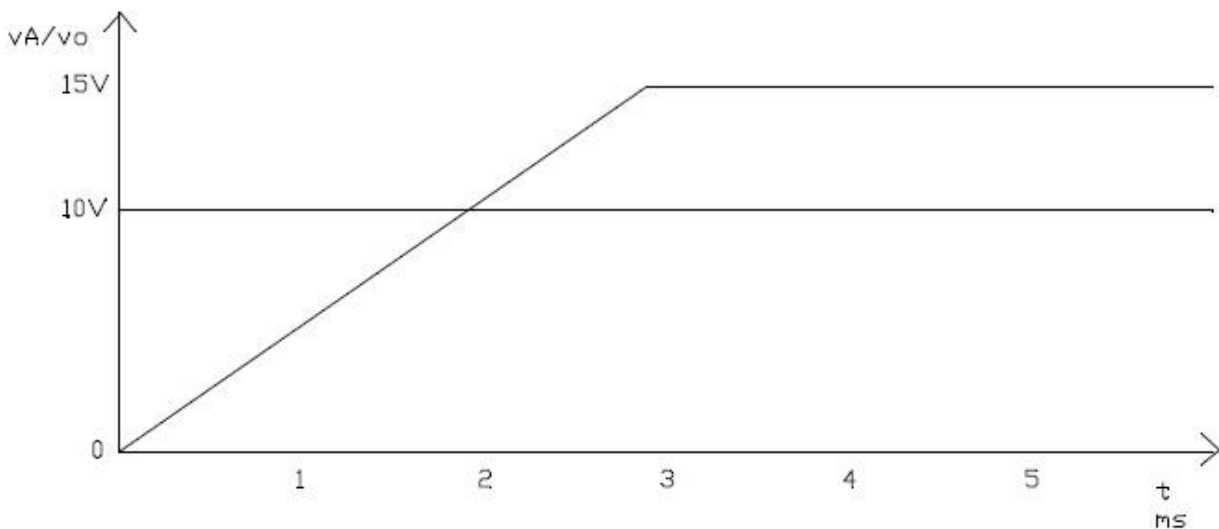


Figura 4 I segnali di ingresso e di uscita.

3) Vediamo cosa succede se si applica il segnale di figura 2 alla base del transistor. Quando  $v_B(t)=0$  il transistor è interdetto ed il condensatore si carica come abbiamo visto prima. Siccome  $v_B(t)=0$  per 1ms la tensione in uscita raggiunge il seguente valore:

$$v_o(t) = 2 \frac{E_A}{CR} t = 2 \frac{10}{100 \cdot 10^{-9} \cdot 39 \cdot 10^3} 10^{-3} = 5.13V$$

Quando  $v_B(t)=5V$  il transistor entra in zona attiva e scarica il condensatore C. Quando la tensione del condensatore (che è anche la tensione  $V_{CE}$  del transistor) scende a 0.4V circa il transistor entra

in saturazione e resta in questo stato fino a quando  $v_B(t)$  non diventa nullo. A questo punto il transistor si interdice nuovamente ed il ciclo si ripete.

Calcoliamo la corrente di scarica del condensatore che, come si vede dalla figura 1 è, praticamente, la corrente  $I_C$  del transistor durante il funzionamento in zona attiva<sup>1</sup>:

$$I_B = \frac{E_B - V_{BE}}{R_B} = \frac{5 - 0.7}{8.2 \cdot 10^3} = 524 \mu A$$

Considerando che il transistor è in zona attiva:

$$I_C = h_{FE} I_B = 100 \cdot 5.24 \cdot 10^{-4} = 52.4 mA$$

Determiniamo il tempo di scarica del condensatore dalla relazione:

$$\Delta v_C = \frac{I_C \Delta t}{C}$$

Da cui si ricava:

$$\Delta t = \frac{\Delta v_C C}{I_C}$$

Dove:

$$\Delta v_C = 5.1 - 0.4 = 4.7'$$

Infatti il transistor è in saturazione quando  $V_{CE} \cong V_C \cong 0.4V$ .

$$\Delta t = \frac{4.7}{52.4 \cdot 10^{-3}} 100 \cdot 10^{-9} = 9 \cdot 10^{-6} s = 9 \mu s$$

A questo punto possiamo tracciare gli andamenti delle tensioni.

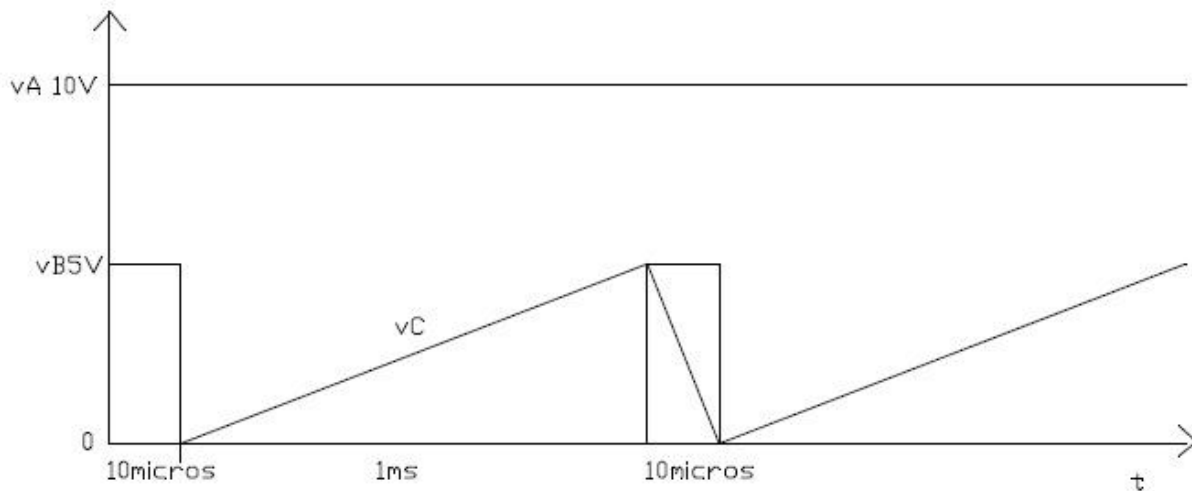


Figura 5 L'andamento dei segnali vA, vB e vC.

Questo file può essere scaricato gratuitamente. Se pubblicato citare la fonte.

Matilde Consales

<sup>1</sup> Trascuriamo le correnti  $I_1$  e  $I_2$  (vedi figura 3) perché molto piccole.