

## SOLUZIONE

### Punto 1

I blocchi U1 e U2 sono integratori reali invertenti. La funzione di trasferimento si ricava con il seguente procedimento:

$$\frac{V_{U1}}{V_a} = -\frac{Z_p}{R_1} \quad (\text{circuito invertente con operazionale})$$

$$\text{dove} \quad Z_p = R_2 // Z_C = \frac{R_2 * Z_C}{R_2 + Z_C} \quad \text{e} \quad Z_C = \frac{1}{j\omega R_2 C} \quad (\text{impedenza capacitiva})$$

$$\text{Sostituendo e calcolando matematicamente si ricava:} \quad \boxed{\frac{V_{U1}}{V_a} = -\frac{R_2 / R_1}{1 + j\omega R_2 C}}$$

$$\text{Analogamente per il secondo circuito si ricava} \quad \frac{V_{U2}}{V_{U1}} = -\frac{R_4 / R_3}{1 + j\omega R_4 C}, \quad \text{da cui:}$$

$$\boxed{\frac{V_{U2}}{V_a} = \frac{(R_2 / R_1) * (R_4 / R_3)}{(1 + j\omega R_2 C)(1 + j\omega R_4 C)}}$$

Le resistenze R2 e R4, che rendono gli integratori reali, risultano necessarie per evitare che gli operazionali vadano in saturazione a causa di segnali di ingresso in continua o a bassissima frequenza, anche molto piccoli, dovuti a disturbi o anche solo all'offset degli operazionali stessi.

$$\text{I due circuiti presentano una frequenza di taglio} \quad f_{T1} = f_{T2} = \frac{1}{2\pi R_2 C} = 796 \text{ Hz} \quad (R2 = R4).$$

Dato che la frequenza di lavoro, relativa al segnale di ingresso, è  $f_s = \frac{1}{T} = \frac{1}{100 \mu s} = 10 \text{ kHz}$ , e risulta almeno 10 volte superiore alle frequenze di taglio degli integratori, i due circuiti si possono considerare integratori ideali rispetto al segnale di ingresso.

### Punto 2

Dato che gli integratori alla frequenza di lavoro si possono considerare ideali, le funzioni di trasferimento

$$\text{possono essere semplificata a} \quad \boxed{\frac{V_{U1}}{V_a} = -\frac{R_2 / R_1}{j\omega R_2 C}} \quad \text{e} \quad \boxed{\frac{V_{U2}}{V_a} = \frac{(R_2 / R_1) * (R_4 / R_3)}{R_2 R_4 (j\omega C)^2}}$$

Calcolando il modulo (modulo di un numero complesso):

$$\left| \frac{V_{U1}}{V_a} \right| = \frac{R_2 / R_1}{\omega R_2 C} = \frac{1}{\omega R_1 C} = 0,318 = G_1$$

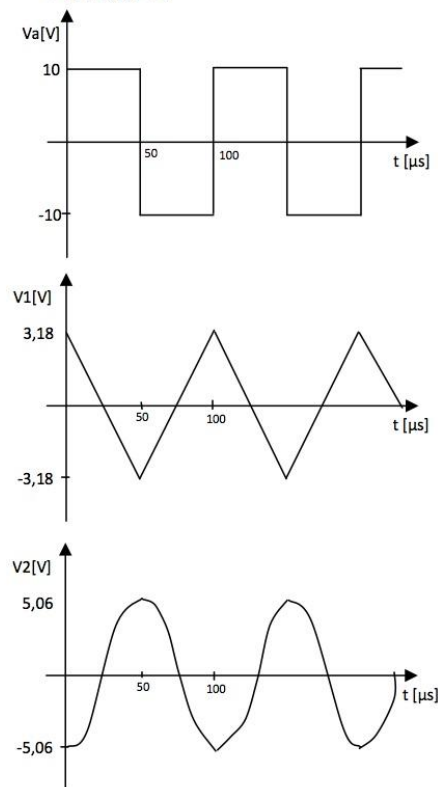
$$\left| \frac{V_{U2}}{V_a} \right| = \frac{(R_2 / R_1) * (R_4 / R_3)}{R_2 R_4 (\omega C)^2} = \frac{1}{R_1 R_3 (\omega C)^2} = 0,506 = G_2$$

Dato che il modulo della funzione di trasferimento per una data frequenza corrisponde al guadagno del circuito, e la variazione del segnale di ingresso è tra -10 V e +10 V, si può calcolare l'intervallo di variazione delle uscite V1 e V2:

$$V_1 = G_1 * V_a = \pm 3,18V$$

$$V_2 = G_2 * V_a = \pm 5,06V$$

### Punto 3

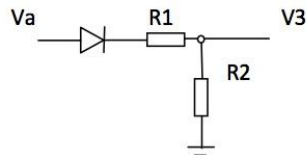


Il primo integratore genera un'onda triangolare, inversa rispetto all'onda quadra di ingresso. Il secondo integratore forma la sinusoide, ristabilendo la polarità in fase con l'ingresso. Da osservare che la sinusoide presenta inevitabilmente una distorsione, solitamente trascurabile, dovuta al fatto che la forma del segnale è costituita da segmenti di parabola, risultato della seconda integrazione.

## Punto 4

Il blocco B deve fornire un segnale compatibile TTL, cioè di ampiezza compresa tra 0 V e 5 V, dato il segnale di ingresso con ampiezza compresa tra -10 V e +10 V.

Per ottenere questo sono possibili diverse soluzioni. La più semplice è costituita da un partitore resistivo con diodo.



Il diodo ha la funzione di eliminare la parte negativa del segnale  $V_a$  e le resistenze di portare la tensione positiva da 10 V a 5 V. Dato che il rapporto risultante del partitore è 0,5, le resistenze dovranno essere uguali. E' possibile inserire su una delle resistenze una regolazione tramite trimmer per compensare la tensione di soglia del diodo e un inseguitore di tensione con AO in uscita, con la funzione di adattatore di impedenza.

Altre soluzioni possibili:

- Circuito traslatore di livello con operazionale in configurazione differenziale.
- Circuito limitatore con diodo Zener.

## Punto 5

Il blocco U3 fornisce in uscita un'onda quadra alla stessa frequenza di quella in ingresso, con una regolazione dell'ampiezza data dal trimmer  $R_{p1}$  e una regolazione dell'offset (valor medio) tramite il trimmer  $R_{p2}$ . Il segnale risulta sfasato di  $180^\circ$  rispetto all'ingresso, dato che il segnale è applicato al morsetto invertente dell'operazionale. L'espressione del segnale di uscita  $V_4$  è la seguente:

$$V_4 = -\frac{R_{p1}}{R_5} V_a + \frac{R_{by} - R_{ax}}{R_{by} + R_{ax}} V_{cc} * \left(1 + \frac{R_{p1}}{R_5}\right)$$

dove  $R_{ax} = R_a + R_{p2x}$  e  $R_{by} = R_b + R_{p2y}$  con  $R_{p2} = R_{p2x} + R_{p2y}$

## Punto aggiuntivo 1

I valori delle resistenze dovranno essere scelti in modo da minimizzare gli effetti dei parametri reali degli operazionali, rendendoli trascurabili, in modo da non influenzare i segnali di uscita rispetto ai valori desiderati. In particolare le resistenze non dovranno avere valori superiori al  $M\Omega$ , per evitare gli effetti delle correnti di bias ai morsetti di ingresso, e non avere valori inferiori al  $K\Omega$ , per rendere trascurabili gli effetti dovuti alla resistenza di uscita non nulla. Il valore dei condensatori dovrà essere scelto in modo da rendere ideali i circuiti integratori rispetto al segnale di ingresso, come già discusso al punto 1.

## Punto aggiuntivo 2

Dal testo non è chiaro se Rp2 al 100% va considerato verso Ra o verso Rb. Considerando entrambi i casi, in base all'espressione indicata al punto 5, Il valore di V4 sarà :

$$V_4 = -\frac{500\Omega}{20k\Omega}V_a \pm \frac{20k\Omega - 10k\Omega}{20k\Omega + 10k\Omega} * 15V * (1 + \frac{500\Omega}{20k\Omega}) = -0,025 * V_a \pm 5,125V$$

## Osservazioni conclusive

Il tema proposto non presenta particolari difficoltà, in quanto tutti i circuiti e i punti da sviluppare riguardano argomenti solitamente trattati nei programmi del 5° anno. Unica nota critica, i primi due punti richiesti sono relativi ad argomenti solitamente trattati nel programma di Sistemi Elettronici Automatici e non in quello di Elettronica, materia di riferimento della prova.