

## Esercizio 1

È dato il circuito di figura 1, comprendente un amplificatore operazionale ed un diodo zener da ritenersi ideali.

Assumendo  $R_1 = R_2 = R_f$  e la tensione di zener  $V_z = 5$  V, il candidato:

- determini il valore delle resistenze in modo che, per una tensione continua di ingresso di +10V, scorra in esse la corrente di 2 mA;
- determini e rappresenti l'andamento della tensione d'uscita per una tensione d'ingresso triangolare, indicata in figura 1;
- dimensioni successivamente un circuito derivatore ideale che, pilotato dalla tensione ottenuta al punto b), fornisca alla sua uscita una tensione avente valore massimo 4 V;
- rappresenti, correlandole, le tre forme d'onda di tensione e cioè:
  - in ingresso;
  - in uscita al circuito indicato in figura 1;
  - in uscita al circuito derivatore.

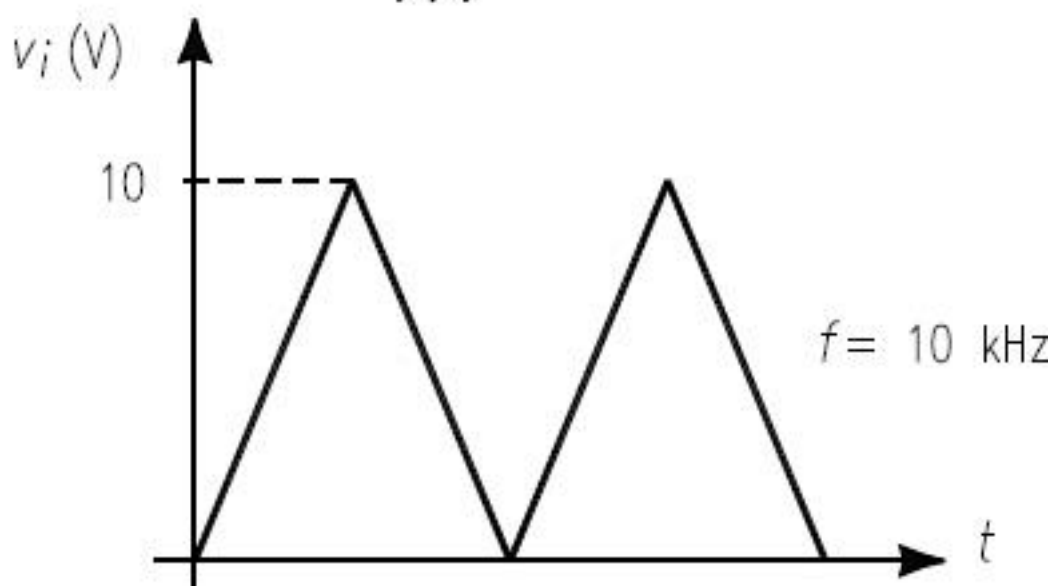
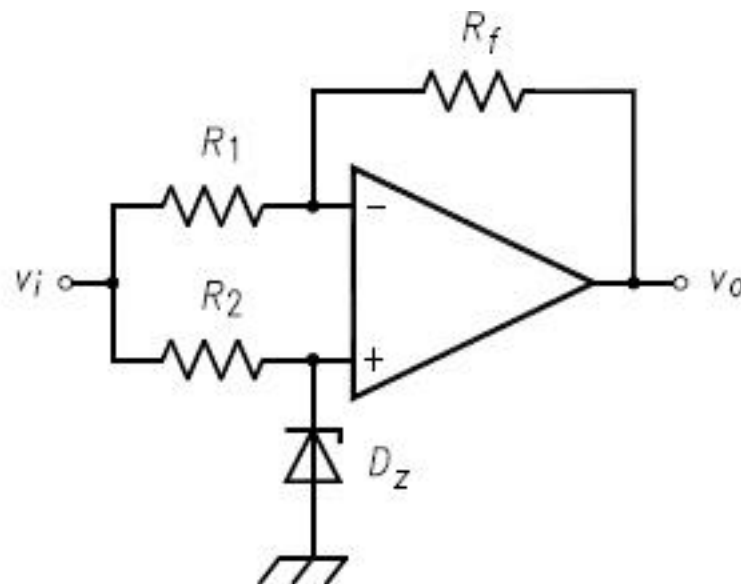


Figura 1 Il circuito e la forma d'onda in ingresso.

- a) Se la tensione di ingresso è continua e vale 10V il diodo zener è polarizzato inversamente e fornisce una tensione costante di 5V. L'amplificatore operazionale è ideale quindi non assorbe corrente perché la sua impedenza di ingresso è infinita, inoltre i due morsetti sono in cortocircuito virtuale pertanto  $V_+ = V_- = 5V$ .

Determiniamo il valore delle resistenze richiesto considerando il morsetto non invertente. Si trova:

$$R_2 = \frac{V_i - V_Z}{I_{R_2}} = \frac{10 - 5}{2 \cdot 10^{-3}} = 2.5k\Omega$$

Lo stesso ragionamento vale per il morsetto invertente quindi possiamo scrivere:

$$R_1 = R_2 = R_f = 2.5k\Omega$$

- b) Consideriamo la caratteristica di un diodo zener.

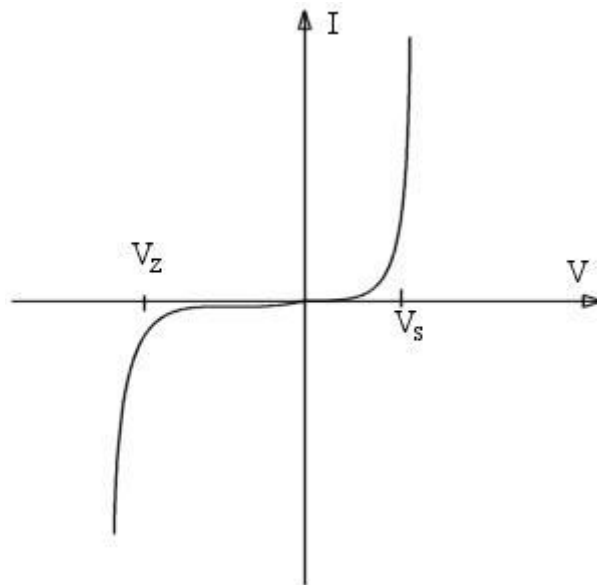


Figura 2 Funzione caratteristica di un diodo zener.

Distinguiamo due casi:

**Caso 1:**

$$v_i < V_Z = 5V$$

Nel diodo zener non scorre corrente (si dice anche che è OFF) e, quindi, può essere considerato un circuito aperto. Ridisegniamo il circuito in questo caso:

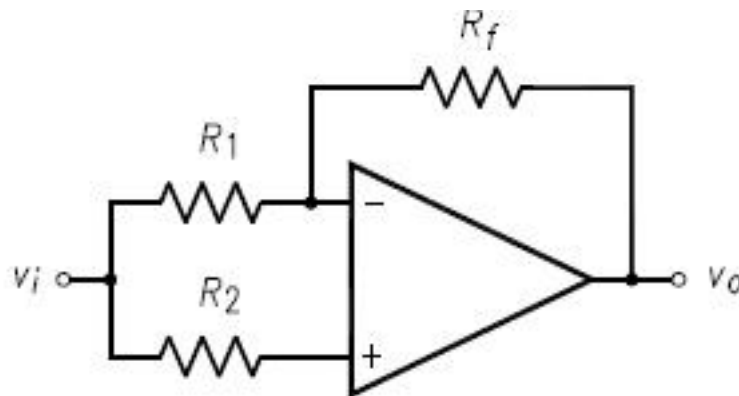


Figura 3 Circuito con diodo zener OFF.

Possiamo calcolare la tensione in uscita con la sovrapposizione degli effetti.

1. Troviamo il contributo della tensione di ingresso applicata al morsetto invertente.

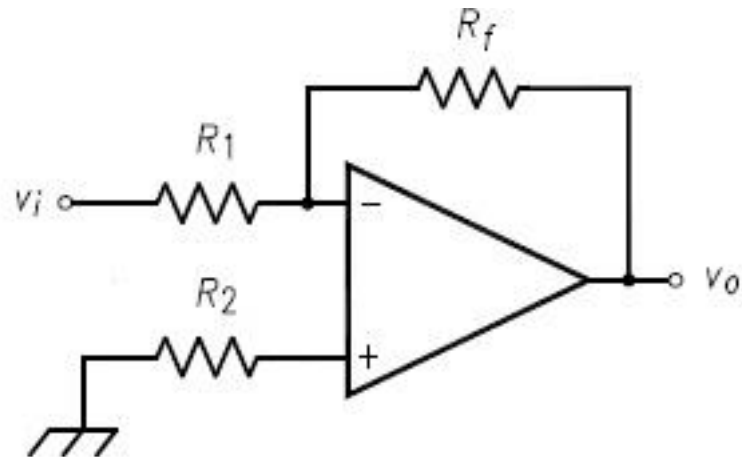


Figura 4 La tensione di ingresso agisce sul morsetto invertente.

Nel resistore  $R_2$  non scorre corrente. I morsetti dell'amplificatore operazionale si trovano a massa virtuale. L'amplificatore operazionale è in configurazione invertente quindi:

$$v_o' = -v_i \frac{R_f}{R_1} = -v_i$$

2. Troviamo ora il contributo della tensione di ingresso applicata al morsetto non invertente:

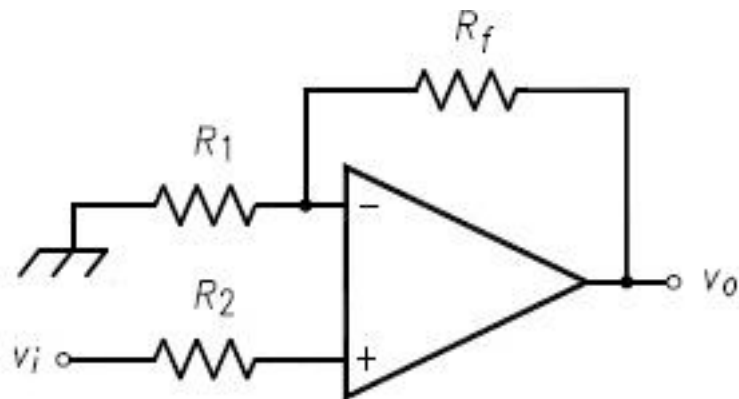


Figura 5 La tensione di ingresso agisce sul morsetto non invertente.

Nel resistore  $R_2$  non scorre corrente perché l'amplificatore operazionale è ideale e pertanto presenta un'impedenza di ingresso infinita. I due morsetti sono in cortocircuito virtuale alla tensione  $v_i$ . L'amplificatore operazionale è in configurazione non invertente quindi:

$$v_o'' = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) v_i = 2v_i$$

La tensione in uscita vale:

$$v_o = v_o' + v_o'' = -v_i + 2v_i = v_i$$

### Caso 2:

$$v_i > V_Z = 5V$$

Il diodo zener fornisce una tensione costante di 5V applicata al morsetto invertente.

Procediamo come prima con la sovrapposizione degli effetti:

1. Troviamo il contributo della tensione di ingresso applicata al morsetto invertente. In questo caso rispetto a prima non cambia nulla perché, dato che il morsetto non invertente è a massa, il diodo zener è OFF e l'amplificatore è in configurazione invertente (vedi figura 4). Ma allora:

$$v'_o = -v_i \frac{R_f}{R_1} = -v_i$$

2. Troviamo ora il contributo della tensione di ingresso applicata al morsetto non invertente:

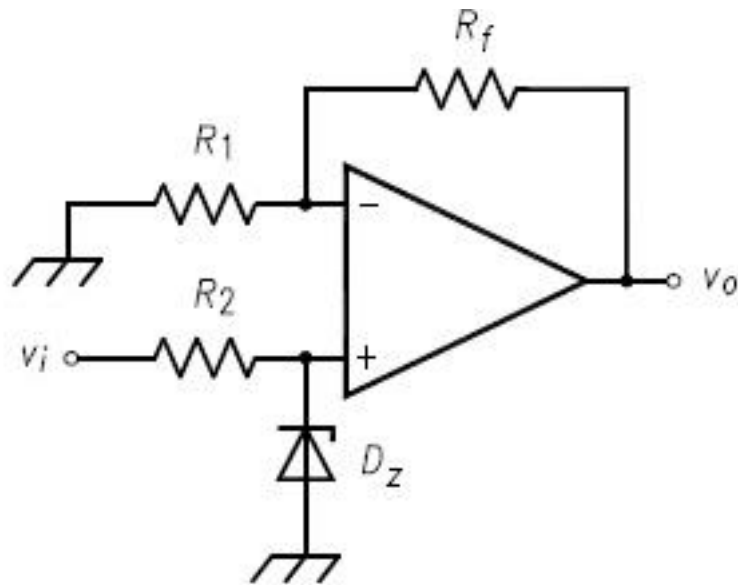


Figura 6 La tensione di ingresso agisce sul morsetto non invertente.

Il diodo zener fornisce al morsetto invertente una tensione costante di 5V. I due morsetti sono in cortocircuito virtuale alla tensione  $V_Z$ . Quindi si trova:

$$v''_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) V_Z = 2V_Z$$

Anche in questo caso l'amplificatore operazionale è in configurazione non invertente. Al morsetto positivo la tensione vale 5V perché nel resistore  $R_2$  non scorre corrente dato che l'amplificatore operazionale presenta un'impedenza di ingresso infinita.

La tensione in uscita vale:

$$v_o = v'_o + v''_o = -v_i + 2V_Z = 10 - v_i$$

Possiamo disegnare il segnale in uscita:

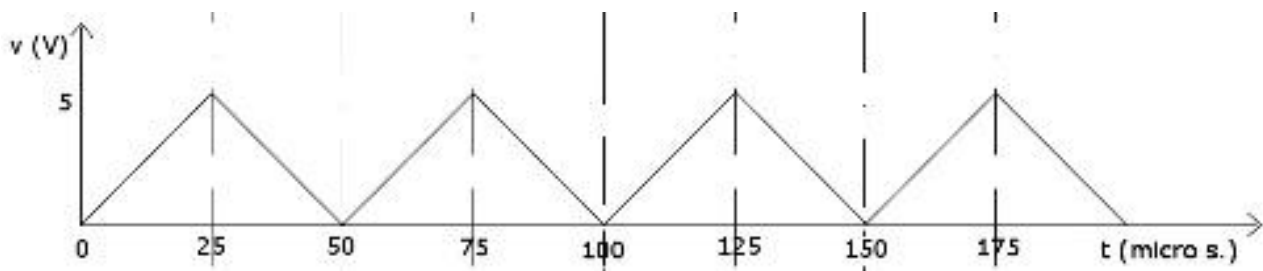


Figura 7 Il segnale in uscita.

c) Disegniamo il circuito con il derivatore ideale.

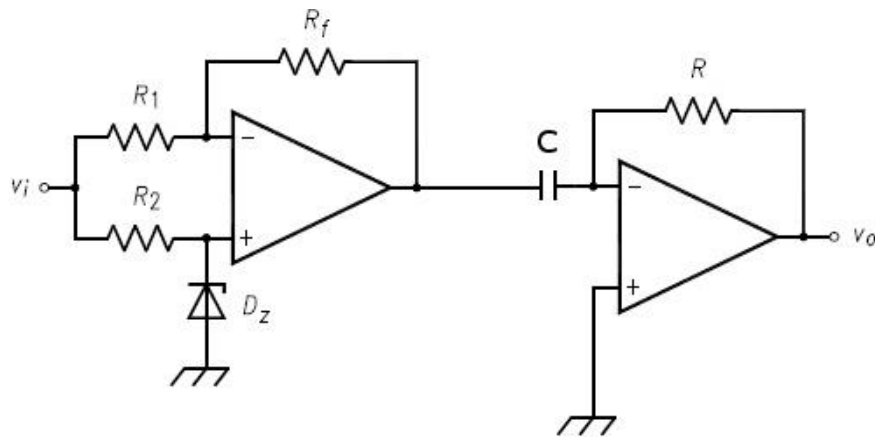


Figura 8 Il circuito con il derivatore.

Per un derivatore ideale la relazione tra ingresso e uscita è data da:

$$v_0 = -RC \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

Sostituendo i valori numerici:

$$4 = -RC \frac{5}{25 \cdot 10^{-6}}$$

Si ricava (considerando il valore assoluto):

$$RC = 4 \frac{25 \cdot 10^{-6}}{5} = 20 \cdot 10^{-6} s = 20 \mu s$$

Possiamo scegliere:

$$R = 10k\Omega \text{ e } C = 2nF$$

d) Tracciamo le tre forme d'onda:

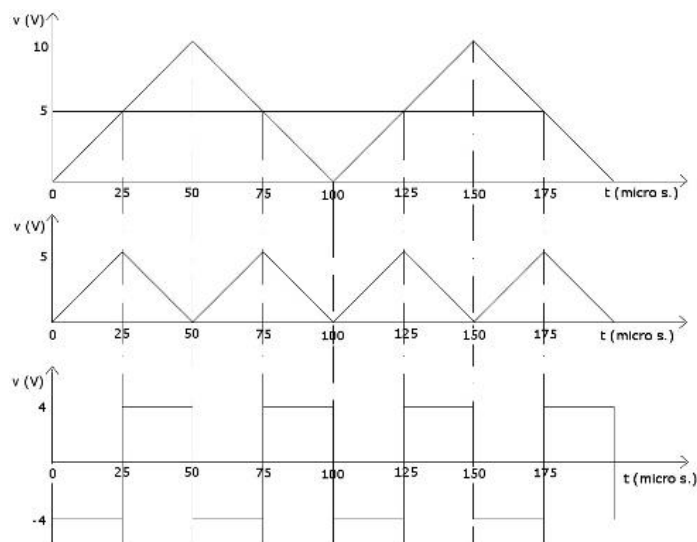


Figura 9 Le tre forme d'onda: segnale in ingresso, segnale di uscita del circuito assegnato, segnale di uscita del derivatore.

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

Matilde Consales