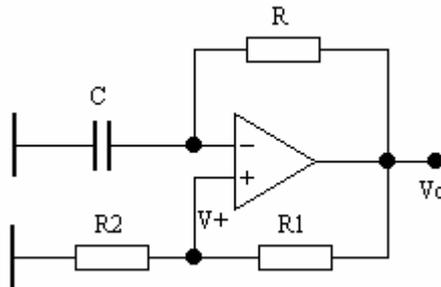


Generatore d'onda quadra

Il generatore d'onda quadra è un circuito che fornisce in uscita un'onda quadra, senza che vi sia alcun segnale d'ingresso. Questo circuito viene anche detto oscillatore a rilassamento o multivibratore astabile.

Un circuito generatore d'onda quadra con amplificatore operazionale è riportato in figura.



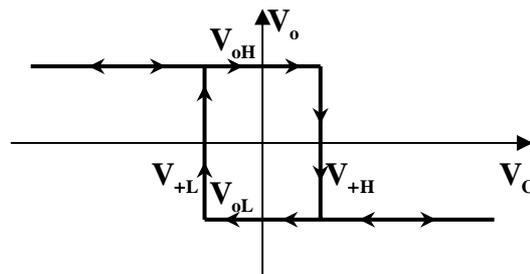
Per studiare un circuito con amplificatore operazionale dovremo tenere conto dell'equipotenzialità degli ingressi e che gli ingressi non assorbono corrente.

La capacità C si carica e si scarica attraverso la resistenza R verso il valore della tensione d'uscita, con costante di tempo $\tau = RC$.

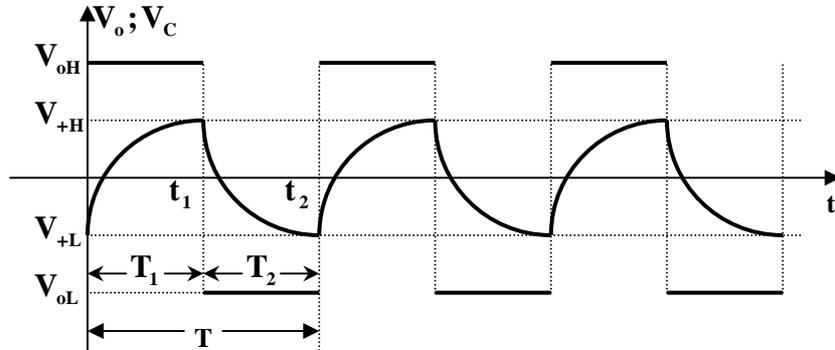
In tale circuito è presente una rete di retroazione positiva che fissa il valore dell'ingresso V_+ in dipendenza del valore della tensione d'uscita. La tensione d'uscita può assumere solo due valori: V_{oH} e V_{oL} , tensioni di saturazione, cui corrispondono le due tensioni V_{+H} e V_{+L} , definite come:

$$V_{+H} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{oH} \quad \text{e} \quad V_{+L} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{oL}$$

V_{+H} e V_{+L} sono le tensioni di soglia in corrispondenza delle quali commuta l'uscita, allorché la tensione sulla capacità, che si carica attraverso la resistenza R al valore della tensione d'uscita, uguaglia tali valori. L'amplificatore operazionale e il partitore R_1R_2 , rispetto alla tensione sull'ingresso invertente (tensione V_C ai capi della capacità), si comportano da comparatore con isteresi invertente, le cui tensioni di soglia sono V_{+H} e V_{+L} e la tensione d'ingresso è la tensione sull'ingresso invertente, coincidente con la tensione sulla capacità, $V_- = V_C$. La caratteristica d'uscita è la seguente:



Supponendo che la tensione d'uscita abbia appena commutato a livello alto V_{oH} , perché la tensione sulla capacità ha uguagliato la tensione V_{+L} , la capacità inizierà a caricarsi verso la tensione d'uscita V_{oH} attraverso la resistenza R (con costante di tempo $\tau = RC$) partendo dalla tensione V_{+L} .



Quando, dopo un tempo $t = t_1 = T_1$, la tensione V_C raggiunge il valore V_{+H} , prevalendo l'ingresso invertente su quello non invertente, l'uscita commuta dal valore V_{oH} al valore V_{oL} , interrompendo la carica della capacità che, partendo dal valore V_{+H} , inizia a caricarsi verso V_{oL} . Quando, dopo un tempo $t = t_2 - t_1 = T_2$, la tensione V_C raggiunge il valore V_{+L} , prevalendo l'ingresso non invertente su quello invertente, l'uscita commuta dal valore V_{oL} al valore V_{oH} , interrompendo la carica della capacità che, partendo dal valore V_{+L} , inizia a caricarsi verso V_{oH} . E il ciclo si ripete, generando in uscita un'onda quadra, come mostrato nel grafico.

Calcolo del semiperiodo T_1

Per calcolare la durata T_1 , del primo semiperiodo, bisogna scrivere l'equazione di carica della capacità a partire dal tempo $t = 0$ e imporre che al tempo $t = t_1 = T_1$ assuma il valore V_{+H} .

$$V_C(t) = V_f + (V_i - V_f) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = V_{oH} + (V_{+L} - V_{oH}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \text{dove } \tau = RC$$

Si impone che al tempo $t = t_1 = T_1$ sia:

$$V_C(t_1) = V_{oH} + (V_{+L} - V_{oH}) \cdot e^{-\frac{T_1}{\tau}} = V_{+H} \Rightarrow e^{-\frac{T_1}{\tau}} = \frac{V_{+H} - V_{oH}}{V_{+L} - V_{oH}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow -\frac{T_1}{\tau} = \ln \frac{V_{+H} - V_{oH}}{V_{+L} - V_{oH}} \Rightarrow T_1 = -\tau \ln \frac{V_{+H} - V_{oH}}{V_{+L} - V_{oH}} = \tau \ln \frac{V_{+L} - V_{oH}}{V_{+H} - V_{oH}}$$

Supponendo che sia $V_{oH} = -V_{oL} \Rightarrow V_{+H} = -V_{+L}$, ed essendo

$$V_{+H} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{oH} = -\frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{oL} = -V_{+L},$$

si ha:

$$\begin{aligned} T_1 &= \tau \ln \frac{V_{+L} - V_{oH}}{V_{+H} - V_{oH}} = \tau \ln \frac{-\frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{oH} - V_{oH}}{\frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{oH} - V_{oH}} = \tau \ln \frac{-R_2 - R_1 - R_2}{R_1 + R_2} = \\ &= \tau \ln \frac{R_1 + 2R_2}{R_1} = \tau \ln \left(1 + \frac{2R_2}{R_1} \right) = T_1 \end{aligned}$$

Calcolo del semiperiodo T_2

Per calcolare la durata T_2 , del secondo semiperiodo, bisogna scrivere l'equazione di carica della capacità a partire dal tempo $t - t_1 = 0$ e imporre che al tempo $t = t_2 \Rightarrow t_2 - t_1 = T_2$ assuma il valore V_{+L} .

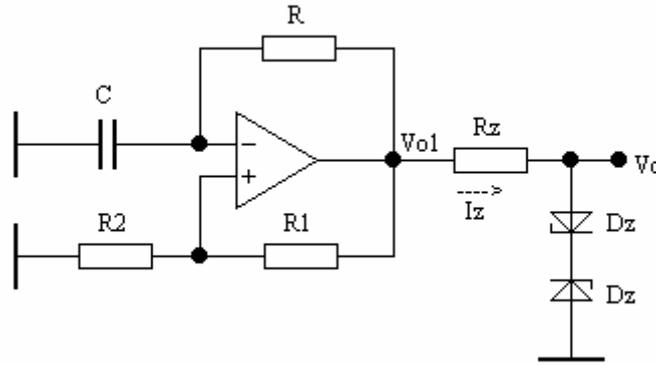
$$V_C(t) = V_f + (V_i - V_f) \cdot e^{-\frac{t-t_1}{\tau}} = V_{oL} + (V_{+H} - V_{oL}) \cdot e^{-\frac{t-t_1}{\tau}} \quad \text{dove } \tau = RC$$

Si impone che al tempo $t = t_2 \Rightarrow t_2 - t_1 = T_2$ sia:

$$\begin{aligned} V_C(t_2) &= V_{oL} + (V_{+H} - V_{oL}) \cdot e^{-\frac{T_2}{\tau}} = V_{+L} \Rightarrow e^{-\frac{T_2}{\tau}} = \frac{V_{+L} - V_{oL}}{V_{+H} - V_{oL}} \Rightarrow \\ \Rightarrow -\frac{T_2}{\tau} &= \ln \frac{V_{+L} - V_{oL}}{V_{+H} - V_{oL}} \Rightarrow T_2 = -\tau \ln \frac{V_{+L} - V_{oL}}{V_{+H} - V_{oL}} = \tau \ln \frac{V_{+H} - V_{oL}}{V_{+L} - V_{oL}} = \\ &= \tau \ln \frac{-\frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{oL} - V_{oL}}{\frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{oL} - V_{oL}} = \tau \ln \frac{R_1 + 2R_2}{R_1} = \tau \ln \left(1 + \frac{2R_2}{R_1} \right) = T_2 \end{aligned}$$

Poiché i due semiperiodi sono uguali, $T_1 = T_2$, il circuito genera un'onda quadra di periodo $T = 2\tau \ln \left(1 + \frac{2R_2}{R_1} \right)$.

Se si vuole un'ampiezza della tensione d'uscita diversa dalla tensione di saturazione si possono aggiungere in uscita due diodi zener in antiserie, come in figura.



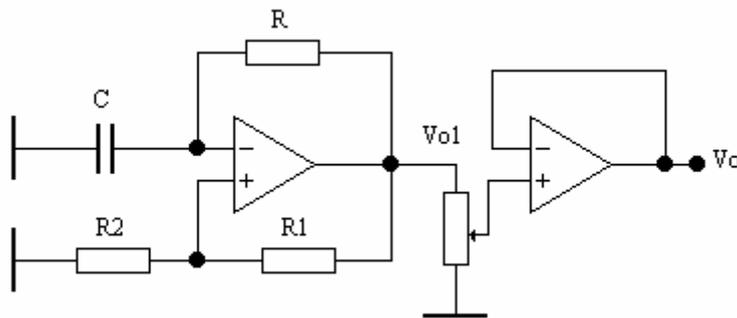
Questa modifica non comporta alcuna variazione del funzionamento del circuito, purché la corrente I_z non assuma valori tali da far intervenire il circuito di limitazione della corrente d'uscita.

L'ampiezza della tensione d'uscita sarà uguale a $V_z + V_\gamma$

Il valore della resistenza R_z si calcola, una volta fissato il valore della corrente I_z , nel seguente modo:

$$R_z = \frac{V_{o1H} - (V_z + V_\gamma)}{I_z}$$

Nel caso si vuole ottenere un'ampiezza della tensione d'uscita variabile, si può utilizzare un potenziometro e un amplificatore operazionale in configurazione di inseguitore, come in figura.



Il potenziometro R_p , di valore opportunamente alto, è il carico fisso per il circuito generatore d'onda quadra, la tensione ad onda quadra viene fornita tramite l'inseguitore che presenta una resistenza d'uscita praticamente nulla.