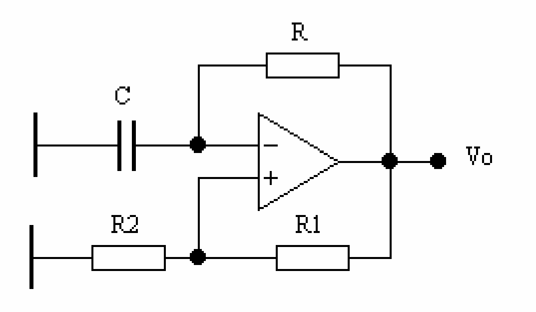
Multivibratore monostabile con amplificatore operazionale

Generalità

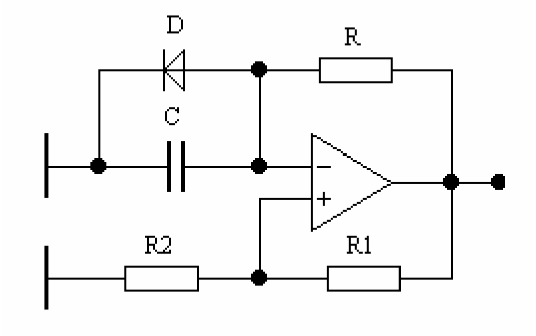
Il multivibratore monostabile è un circuito che presenta uno stato stabile, in cui il circuito rimane finché un impulso esterno di comando lo porta nell’altro stato quasi stabile, in cui il circuito permane per un tempo predefinito per poi tornare spontaneamente nello stato stabile, in cui permane indefinitamente fino al successivo impulso di comando.

Derivazione del circuito dal generatore d’onda quadra

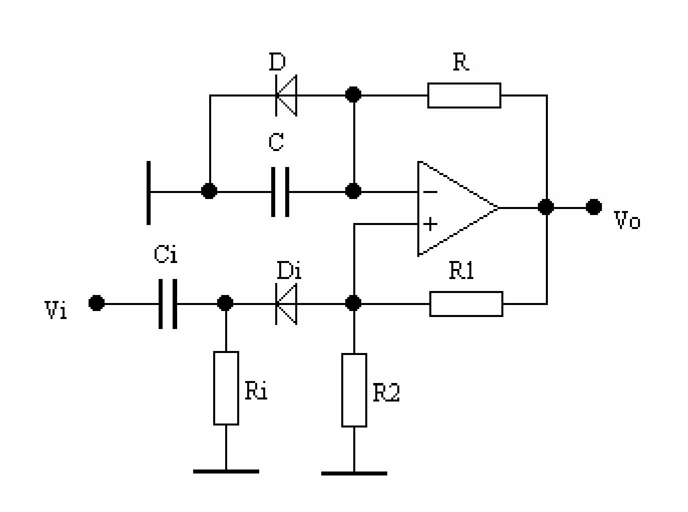
Partiamo dal generatore d’onda quadra:

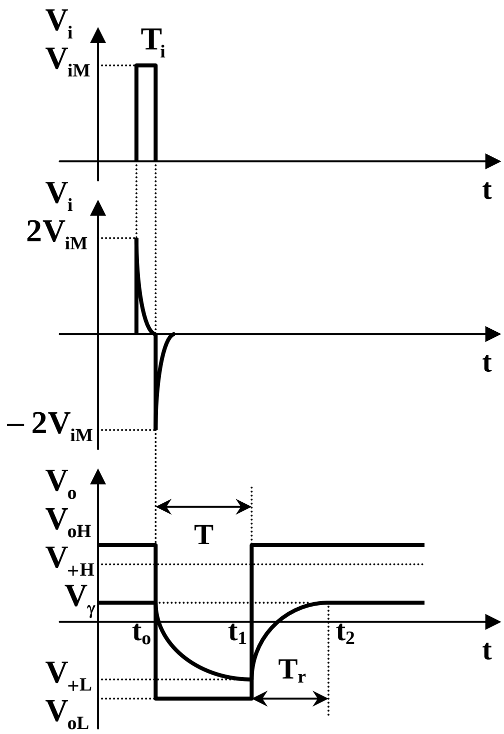


Per ottenere uno stato stabile, dobbiamo impedire che la tensione ai capi del condensatore arrivi alla soglia $\mathbf{V_{+H}}$ o $\mathbf{V_{+L}}$, ossia impedire una delle due commutazioni d'uscita. A tale scopo inseriamo in parallelo alla capacità **C** un diodo, come in figura, rendendo stabile lo stato con uscita $\mathbf{V_{oH}}$.



Perché il circuito commuti dallo stato stabile $\mathbf{V_o = V_{oH}}$ a quello quasi stabile $\mathbf{V_o = V_{oL}}$, bisogna portare, momentaneamente, l’ingresso non invertente, che si trova alla tensione $\mathbf{V_{+H}}$, al di sotto di $\mathbf{V_\gamma}$. Ciò si può ottenere inserendo sull'ingresso non invertente un impulso rettangolare di ampiezza $\mathbf{V_{iM}}$ e durata $\mathbf{T_i}$ tramite un circuito derivatore, che trasforma il fronte di salita in un impulso positivo e quello di discesa in un impulso negativo, con in serie un diodo che elimina l'impulso positivo, come in figura.





L'impulso negativo porterà per un breve istante la tensione $\mathbf{V_+}$ al di sotto del valore $\mathbf{V_\gamma}$, forzando la commutazione dell'uscita da $\mathbf{V_{oH}}$ a $\mathbf{V_{oL}}$. La capacità **C**, partendo dal valore $\mathbf{V_\gamma}$, inizia a caricarsi verso la tensione d'uscita $\mathbf{V_{oL}}$. Quando la tensione ai capi della capacità raggiunge, dopo un tempo pari a $\mathbf{t_1 - t_o = T}$, il valore $\mathbf{V_{+L}}$, la tensione d'uscita commuta da $\mathbf{V_{oL}}$ a $\mathbf{V_{oH}}$. La capacità interrompe la sua carica verso $\mathbf{V_{oL}}$ e inizia a caricarsi, partendo dal valore $\mathbf{V_{+L}}$, verso $\mathbf{V_{oH}}$. Quando la sua tensione arriva, dopo un tempo $\mathbf{t_2 - t_1 = T_r}$, al valore $\mathbf{V_\gamma}$, il diodo **D** va in conduzione bloccando al valore $\mathbf{V_\gamma}$ la tensione ai capi della capacità e ripristinando le condizioni iniziali dello stato stabile.
Al fine di definire la durata **T** dell'impulso in funzione degli elementi del circuito, si utilizza l'equazione di carica della capacità **C**.

$$v_C(t) = V_f + (V_i - V_f)\cdot e^{-\frac{t-t_o}{\tau}} = V_{oL} + (V_\gamma - V_{oL})\cdot e^{-\frac{t-t_o}{\tau}}$$

dove $\tau = RC$. In tale equazione, si impone che al tempo $t = t_1$ la tensione sulla capacità sia V_{+L} :

$$v_C(t_1) = V_{oL} + (V_\gamma - V_{oL})\cdot e^{-\frac{t_1-t_o}{\tau}} = V_{+L} = V_{oL} + (V_\gamma - V_{oL})\cdot e^{-\frac{T}{\tau}} \quad \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \quad e^{-\frac{T}{\tau}} = \frac{V_{+L} - V_{oL}}{V_\gamma - V_{oL}} \quad \Rightarrow \quad -\frac{T}{\tau} = \ln\frac{V_{+L} - V_{oL}}{V_\gamma - V_{oL}} \quad \Rightarrow \quad T = \tau \ln\frac{V_\gamma - V_{oL}}{V_{+L} - V_{oL}}$$

Essendo $V_{+L} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{oL}$ e trascurando V_γ rispetto a $|V_{oL}|$, poiché $V_\gamma << |V_{oL}|$, si ha:

$$T = \tau \ln\frac{-V_{oL}}{V_{+L} - V_{oL}} = \tau \ln\frac{-V_{oL}}{\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{oL} - V_{oL}} = \tau \ln\frac{1}{-\frac{R_2}{R_1 + R_2} + 1} = \tau \ln\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

Prima di applicare il successivo impulso d'ingresso, il circuito si deve riportare nelle condizioni iniziali, cosa che avviene dopo un tempo pari a T_r, detto tempo di recupero, che è il tempo che impiega la tensione ai capi della capacità, partendo dal valore V_{+L} e caricandosi verso V_{+H}, a raggiungere il valore V_γ.

Il calcolo di T_r si esegue come per **T**, utilizzando l'equazione di carica della capacità::

$$v_C(t) = V_f + (V_i - V_f)\cdot e^{-\frac{t-t_1}{\tau}} = V_{oH} + (V_{+L} - V_{oH})\cdot e^{-\frac{t-t_1}{\tau}}$$

Si impone che al tempo $t = t_2$ la tensione sulla capacità sia V_γ :

$$v_C(t_2) = V_{oH} + (V_{+L} - V_{oH})\cdot e^{-\frac{t_2-t_1}{\tau}} = V_\gamma = V_{oH} + (V_{+L} - V_{oH})\cdot e^{-\frac{T_r}{\tau}} \quad \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \quad e^{-\frac{T_r}{\tau}} = \frac{V_\gamma - V_{oH}}{V_{+L} - V_{oH}} \quad \Rightarrow \quad -\frac{T_r}{\tau} = \ln\frac{V_\gamma - V_{oH}}{V_{+L} - V_{oH}} \quad \Rightarrow \quad T_r = \tau \ln\frac{V_{+L} - V_{oH}}{V_\gamma - V_{oH}}$$

Essendo $V_{+L} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{oL} = -\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{oH}$ e trascurando V_γ rispetto a $|V_{oL}|$, poiché $V_\gamma << V_{oH}$, si ha:

$$T_r = \tau \ln\frac{V_{+L} - V_{oH}}{-V_{oH}} = \tau \ln\frac{-\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{oH} - V_{oH}}{-V_{oH}} = \tau \ln\left(1 + \frac{R_2}{R_1 + R_2}\right)$$