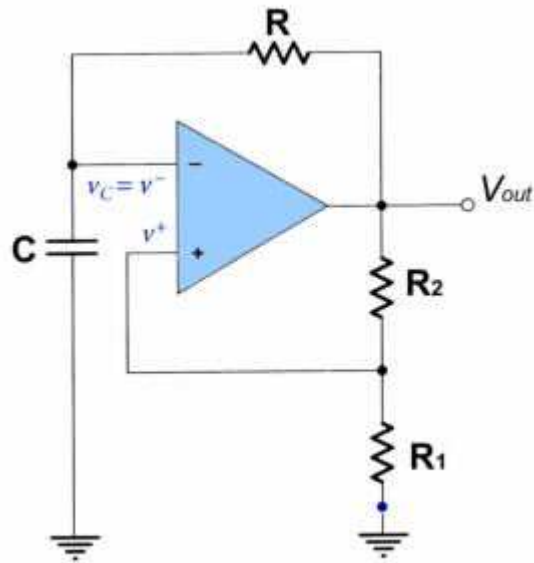


Multivibratore astabile con Amp. Op.

Il multivibratore astabile è un generatore di onde quadre e rettangolari; esso è un circuito retroazionato positivamente, avente due stati entrambi instabili, che si ripetono periodicamente senza la necessità di comandi esterni. Nell'istante in cui viene connessa l'alimentazione, il circuito si porta spontaneamente in uno stato; la struttura instabile della connessione, determina una oscillazione periodica tra i due stati alto e basso, che può assumere l'uscita.

Analizzando il circuito di base si nota che il multivibratore astabile è composto da un comparatore con isteresi e da un integratore passivo RC.



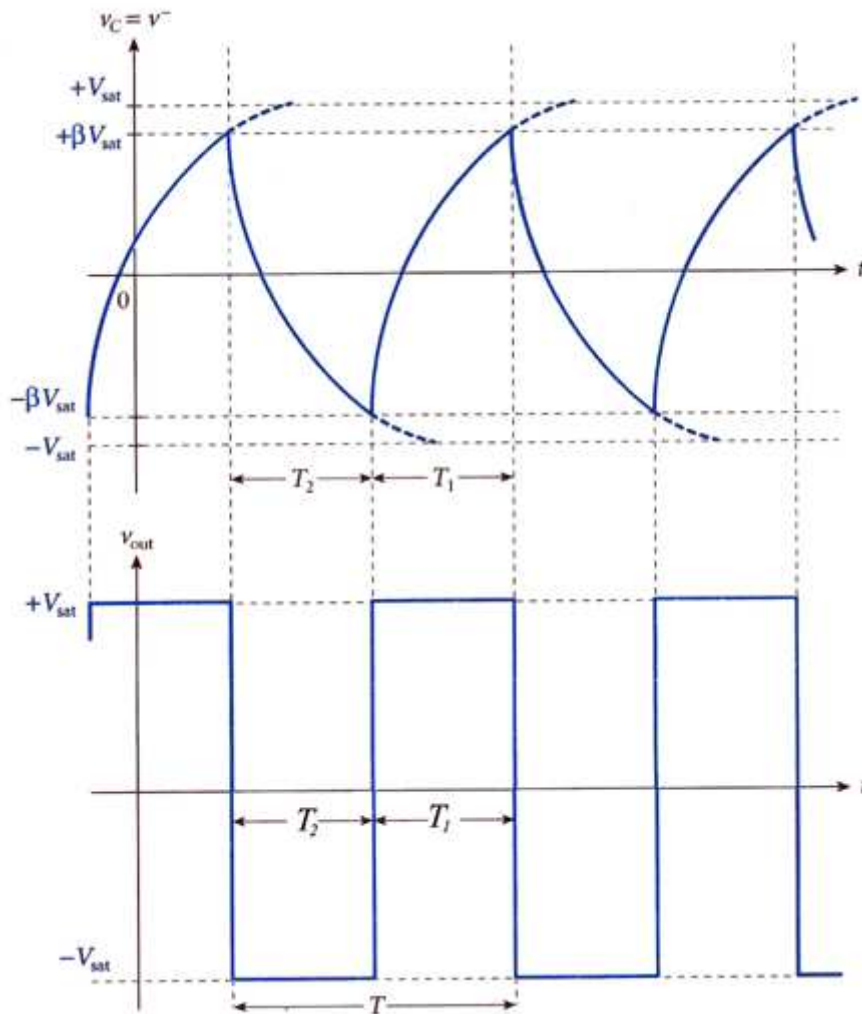
Analisi del circuito di base e forme d'onde di V_c e di V_{out}

Si analizza il funzionamento dell'astabile, supponendo che il condensatore sia inizialmente scarico e l'uscita sia nello stato alto $V_{OH} = +V_{sat}$. In questa situazione, il livello di riferimento assunto dal morsetto non invertente è V^+_H .

Il condensatore si carica con legge esponenziale fino a quando la tensione ai suoi capi supera la tensione di riferimento V^+_H .

Non appena si verifica questa situazione, il comparatore commuta allo stato basso $V_{OL} = -V_{sat}$ e contemporaneamente il valore della tensione di riferimento diviene V^+_L .

Il condensatore inizia la propria fase di scarica dal valore V^+_H tendendo alla tensione V_{OL} ; non appena, però, la tensione ai suoi capi scende al di sotto di V^+_L , si verifica la commutazione del dispositivo allo stato V_{OH} . Il valore della tensione di riferimento torna al valore V^+_H ed il condensatore inizia una nuova fase di carica, fino alla successiva commutazione. Il funzionamento descritto si ripete poi periodicamente.



Calcolo di un intervallo generico T

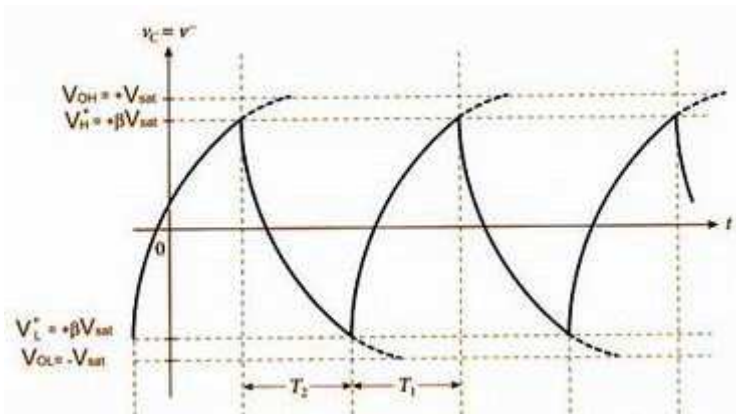
Dalla teoria dei circuiti RC sappiamo che l'intervallo di tempo che una tensione esponenziale impiega per passare da un valore V_1 assunto all'istante t_1 a un valore V_2 assunto all'istante t_2 è definito dalla seguente relazione:

$$T = t_2 - t_1 = \tau \ln \left(\frac{V_f - V_1}{V_f - V_2} \right)$$

dove:

- V_f è il valore finale a cui tende la tensione sul condensatore,
- V_1 è il valore della tensione ai capi del condensatore nell'istante t_1 ,
- V_2 è il valore della tensione ai capi del condensatore nell'istante t_2 ,
- τ è la costante di tempo del circuito RC

Calcolo degli intervalli T_1 e T_2



Nell'intervallo T_1 , in cui il condensatore si sta caricando, risulta:

$$V_f = V_{OH} = V_{sat}$$

$$V_1 = -\beta V_{sat} = V_L^+$$

$$V_2 = +\beta V_{sat} = V_H^+$$

$$\tau = RC$$

Sostituendo tali valori nella formula precedentemente riportata si ottiene:

$$1) T_1 = \tau \cdot \ln \left(\frac{V_{OH} - V_L^+}{V_{OH} - V_H^+} \right)$$

Nell'intervallo T_2 , in cui il condensatore si sta scaricando, risulta:

$$V_f = V_{OL} = -V_{sat}$$

$$V_1 = \beta V_{sat} = V_H^+$$

$$V_2 = -\beta V_{sat} = V_L^+$$

$$t = RC$$

Sostituendo tali valori nella formula precedentemente riportata si ottiene:

$$2) T_2 = \tau \cdot \ln \left(\frac{V_{OL} - V_H^+}{V_{OL} - V_L^+} \right)$$

Espressioni degli intervalli T_1 , T_2 , del periodo T , della frequenza f e del duty-cycle DC in funzione di R_1 ed R_2 , utilizzabili per il progetto del multivibratore astabile

$$T_1 = \tau \cdot \ln \left(\frac{V_{OH} - V_L^+}{V_{OH} - V_H^+} \right) = RC \cdot \ln \left(1 + 2 \frac{R_1}{R_2} \right)$$

$$T_2 = \tau \cdot \ln \left(\frac{V_{OL} - V_H^+}{V_{OL} - V_L^+} \right) = RC \cdot \ln \left(1 + 2 \frac{R_1}{R_2} \right)$$

$$T = T_1 + T_2 = 2RC \cdot \ln \left(1 + 2 \frac{R_1}{R_2} \right)$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2RC \cdot \ln \left(1 + 2 \frac{R_1}{R_2} \right)}$$

$$DC = \frac{T_1}{T} = \frac{RC \cdot \ln \left(1 + 2 \frac{R_1}{R_2} \right)}{2RC \cdot \ln \left(1 + 2 \frac{R_1}{R_2} \right)} = \frac{1}{2} = 0,5$$

Calcolo dell'intervallo T_1 in funzione di R_1 ed R_2

Sostituendo nella formula 1):

$$V_H^+ = V_{OH} \frac{R_1}{R_1 + R_2}; \quad V_L^+ = V_{OL} \frac{R_1}{R_1 + R_2}; \quad V_{OL} = -V_{OH}; \quad \tau = RC$$

avremo:

$$T_1 = RC \ln \left(\frac{V_{OH} - \frac{V_{OL}R_1}{R_1 + R_2}}{V_{OH} - \frac{V_{OH}R_1}{R_1 + R_2}} \right) = RC \ln \left(\frac{V_{OH} + \frac{V_{OH}R_1}{R_1 + R_2}}{V_{OH} - \frac{V_{OH}R_1}{R_1 + R_2}} \right) = RC \ln \frac{V_{OH}}{V_{OH}} \left(\frac{1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2}}{1 - \frac{R_1}{R_1 + R_2}} \right) =$$

$$= RC \ln \left(\frac{\frac{R_1 + R_2 + R_1}{R_1 + R_2}}{\frac{R_1 + R_2 - R_1}{R_1 + R_2}} \right) = RC \ln \left(\frac{\frac{R_2 + 2R_1}{R_1 + R_2}}{\frac{R_2}{R_1 + R_2}} \right) = RC \ln \left(\frac{R_2 + 2R_1}{R_2} \right) = RC \ln \left(1 + \frac{2R_1}{R_2} \right)$$

Calcolo dell'intervallo T_2 in funzione di R_1 ed R_2

Sostituendo nella formula 2):

$$V_H^+ = V_{OH} \frac{R_1}{R_1 + R_2}; \quad V_L^+ = V_{OL} \frac{R_1}{R_1 + R_2}; \quad V_{OL} = -V_{OH}; \quad \tau = RC$$

avremo:

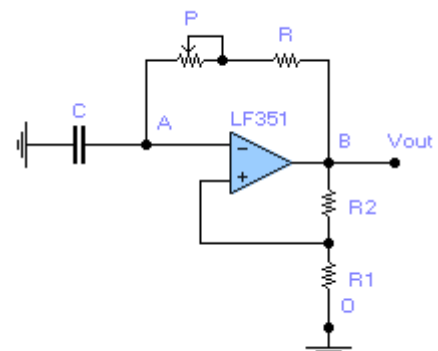
$$T_2 = RC \ln \left(\frac{V_{OL} - \frac{V_{OH}R_1}{R_1 + R_2}}{V_{OL} - \frac{V_{OL}R_1}{R_1 + R_2}} \right) = RC \ln \left(\frac{V_{OL} + \frac{V_{OL}R_1}{R_1 + R_2}}{V_{OL} - \frac{V_{OL}R_1}{R_1 + R_2}} \right) = RC \ln \frac{V_{OL}}{V_{OL}} \left(\frac{1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2}}{1 - \frac{R_1}{R_1 + R_2}} \right) =$$

$$= RC \ln \left(\frac{\frac{R_1 + R_2 + R_1}{R_1 + R_2}}{\frac{R_1 + R_2 - R_1}{R_1 + R_2}} \right) = RC \ln \left(\frac{\frac{R_2 + 2R_1}{R_1 + R_2}}{\frac{R_2}{R_1 + R_2}} \right) = RC \ln \left(\frac{R_2 + 2R_1}{R_2} \right) = RC \ln \left(1 + \frac{2R_1}{R_2} \right)$$

Variazione della frequenza

E' possibile variare solo la frequenza della tensione di uscita V_{out} inserendo in serie alla resistenza R un potenziometro P di valore opportuno, vedi figura.

In questo modo la frequenza assumerà un valore minimo e uno massimo a seconda del valore assunto



dalla resistenza $R_T = R + P$ complessivamente inserita nel ramo di retroazione.

L'espressione della frequenza è:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2(R+P)C \ln \left(1 + 2 \frac{R_1}{R_2} \right)}$$

In particolare: $f = f_{\min}$ quando $R_T = R + P$

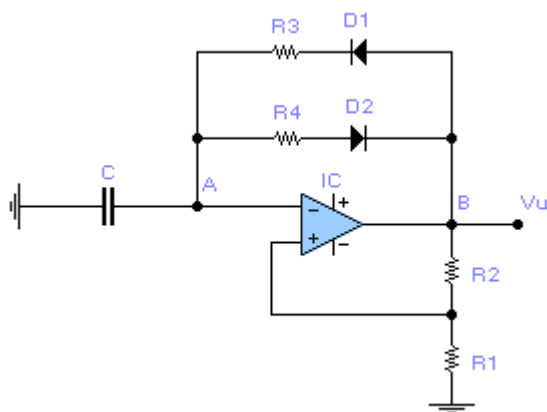
$f = f_{\max}$ quando $R_T = R$

Occorre porre attenzione allo Slew Rate dell'operazionale impiegato.

Questo parametro impone un limite superiore alla frequenza del segnale di uscita.

Superando questo limite la commutazione tra $\pm V_{\text{sat}}$ di V_{OUT} diventa via via più lenta e, quindi, l'uscita assume un andamento sempre più prossimo a quello triangolare.

Regolazione del duty-cycle



È possibile modificare il duty cycle dell'onda quadra sostituendo tra i punti A e B la resistenza R con il circuito di figura.

Supponendo i diodi ideali, si ottiene il seguente funzionamento:

a) se $V_{\text{out}} = +V_{\text{sat}}$, D_1 conduce mentre D_2 è interdetto; il condensatore, perciò, si carica con costante di tempo $t_c = R_3 C$.

b) se $V_{\text{out}} = -V_{\text{sat}}$, D_1 è interdetto e D_2 conduce; il condensatore, perciò, si scarica con la costante di tempo $t_{sc} = R_4 C$.

Gli intervalli T_1 e T_2 ed il duty-cycle DC diventano:

$$T_1 = R_3 C \ln \left(1 + 2 \frac{R_1}{R_2} \right)$$

$$T_2 = R_4 C \ln \left(1 + 2 \frac{R_1}{R_2} \right)$$

$$DC = \frac{T_1}{T} = \frac{T_1}{T_1 + T_2} = \frac{R_3}{R_3 + R_4}$$

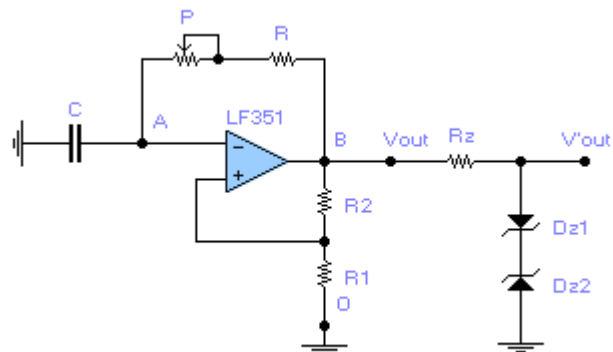
Dimostrazione formula duty-cycle DC

$$DC = \frac{T_1}{T} = \frac{T_1}{T_1 + T_2} = \frac{R_3 C \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right)}{R_3 C \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right) + R_4 C \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right)} =$$

$$= \frac{R_3 C \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right)}{(R_3 C + R_4 C) \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right)} = \frac{R_3 C}{(R_3 C + R_4 C)} = \frac{R_3}{(R_3 + R_4)}$$

Limitazione simmetrica dell'ampiezza della tensione di uscita V_{out}

È possibile limitare l'ampiezza della tensione di uscita, in modo simmetrico, collegando tra l'uscita e massa due diodi zener "back to back", vedi circuito; in questo caso l'ampiezza di V_{out} è compresa tra $+(V_z + V_V)$ e $-(V_z + V_V)$.



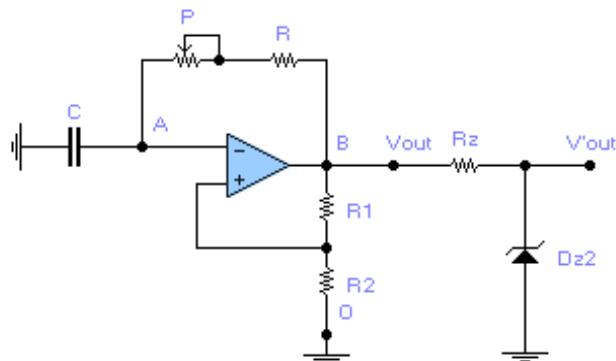
È consigliabile inserire tra il punto B e l'uscita dell'operazionale una resistenza R_z per limitare la corrente nei diodi; il valore di tale resistenza si calcola con:

$$R_z = \frac{V_{OH} - (V_z + V_V)}{I_z}$$

Scegliendo diodi zener, facenti parte di una coppia monolitica integrata, di valore diverso si ottengono valori di picco differenti e coincidenti con le tensioni di zener dei diodi impiegati.

Limitazione non simmetrica dell'ampiezza della tensione di uscita V_{out}

È possibile limitare l'ampiezza della tensione di uscita, in modo non più simmetrico, ottenendo un'uscita unipolare positiva collegando tra l'uscita e massa un diodo zener, vedi circuito. In questo caso l'ampiezza di V_{out} è compresa tra V_z e $-V_V$.



Il valore della resistenza R_z inserita tra il punto B e l'uscita dell'operazionale per limitare la corrente nel diodo è:

$$R_z = \frac{V_{OH} - V_Z}{I_Z}$$

Si può ottenere l'uscita unipolare, solo positiva, sostituendo l'operazionale con un comparatore ad alimentazione singola (come quelli della famiglia LM139).