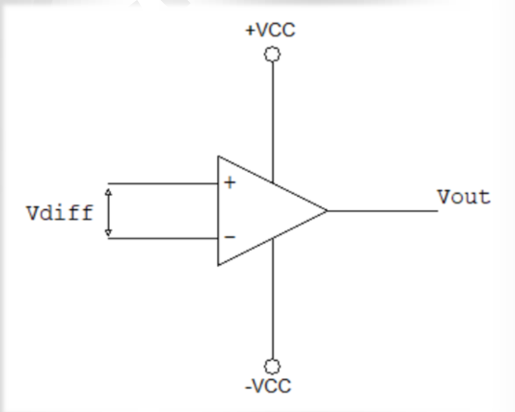
APPLICAZIONI NON LINEARI DEGLI AMPLIFICATORI OPERAZIONALI

GENERATORE DI ONDA QUADRA (MULTIVIBRATORE ASTABILE)

Una classica applicazione non lineare dell'A.O. è quella del generatore di onda quadra, chiamato anche Multivibratore Astabile, dal fatto che non possiede uno stato stabile, oscillando continuamente tra le due tensioni di saturazione dell'A.O.

Prima di affrontare questo circuito, ricordiamo che ad anello aperto un A.O. svolge la funzione di comparatore, se il segnale al morsetto non invertente (+) supera quello del morsetto invertente (-) allora l'uscita assumerà il valore di saturazione positivo, pari a circa la tensione di alimentazione. Viceversa se la tensione al morsetto non invertente risultasse minore, l'uscita assumerà il valore di saturazione negativo.
Nella realtà infatti la tensione tra i due morsetti non sarà mai perfettamente uguale, ed una piccola differenza manderebbe l'uscita ad uno dei due valori di saturazione, questo perché l'amplificazione differenziale è pari ad infinito $A = \frac{Vout}{Vdiff} = \infty$



Vdiff è la differenza di tensione tra i due ingressi non invertente ed invertente, uno sbilanciamento tra i due manderebbe l'uscita Vout al valore di saturazione.

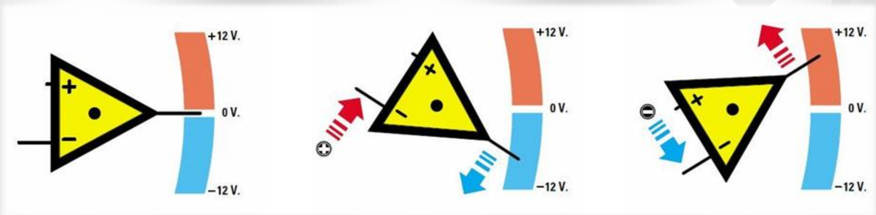
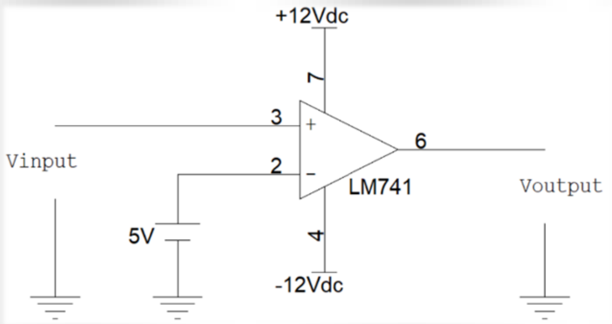


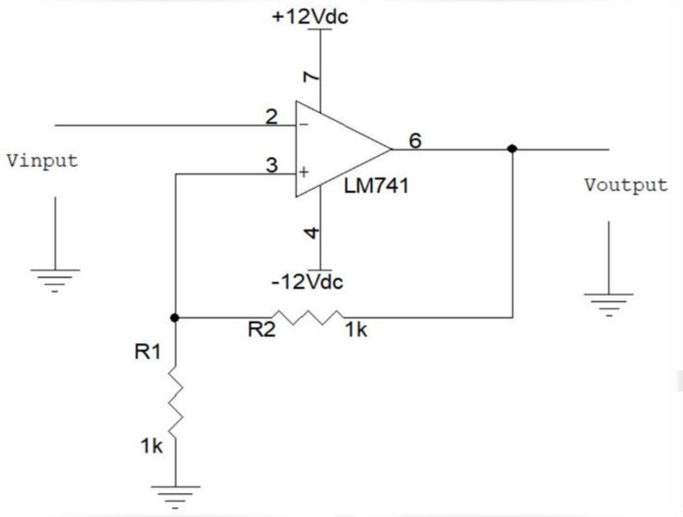
Immagine tratta da "Elettronica da zero", rivista Nuova Elettronica.

Un altro aspetto da approfondire prima di trattare il multivibratore astabile, è quello legato al concetto di Trigger di Schmitt. Con questo termine intendiamo un comparatore che utilizza soglie differenti in base alla direzione di variazione di un segnale analogico.
Per essere più chiari consideriamo il seguente circuito:



L'amplificatore operazionale in questo caso, si comporta come un comparatore a soglia fissa. In pratica se il valore di ingresso è inferiore a 5V l'uscita va in saturazione negativa (-12V).
Viceversa se il segnale di ingresso supera 5V, l'uscita va in saturazione positiva (+12V).
Il valore di comparazione (5V) è sempre lo stesso e non dipende dal fatto che V input stia aumentando o diminuendo.
Nel Trigger di Schmitt invece il valore di comparazione non è sempre lo stesso, ma varia e dipende dal valore di tensione presente all'uscita.

Consideriamo ad esempio il seguente circuito.

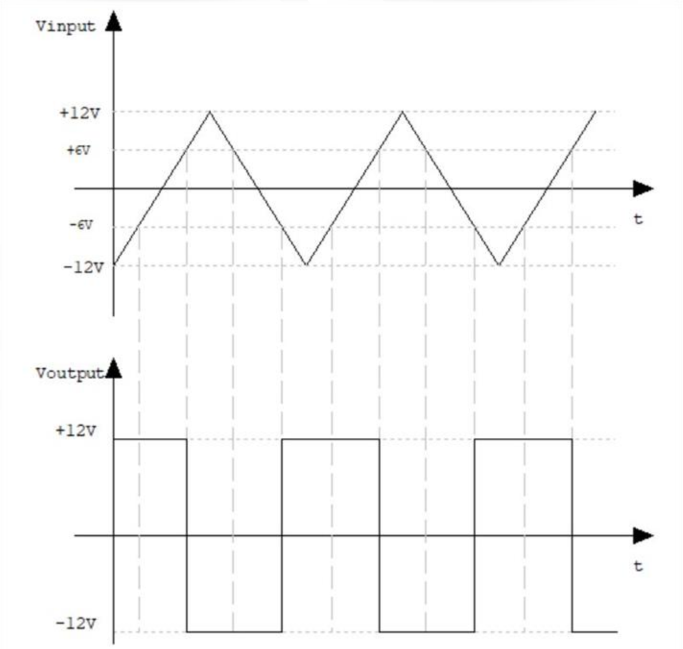


In questo caso la tensione presente sul morsetto invertente (pin2) dipende dal valore di Voutput.

Se l'uscita si trova in saturazione positiva (+12V) la tensione sul morsetto invertente sarà +6V, se invece l'uscita si trova in saturazione negativa (-12V) la tensione sul morsetto invertente sarà -6V.

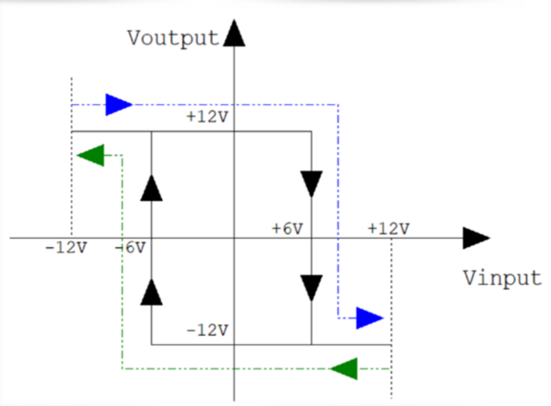
La tensione Vinput viene comparata con la tensione presente sul morsetto invertente.

Supponiamo ora di applicare su Vinput un segnale che vari aumentando linearmente da -12V e +12V per poi diminuire tra +12V e -12V.



Supponendo inizialmente la Voutput in saturazione positiva, avremmo +6V sul morsetto invertente, pertanto al crescere di Vinput avremo un cambiamento quando Vinput supera +6V.
Da questo momento in poi l'uscita andrà in saturazione negativa e sul morsetto invertente avremo -6V. Aumentando ancora Vinput, l'uscita rimarrà sempre allo stesso valore.

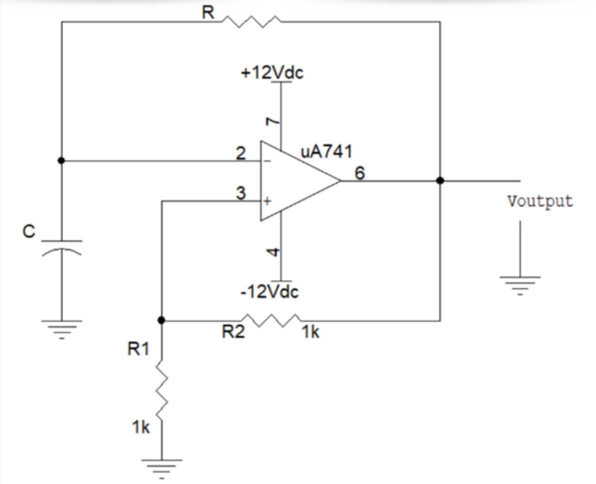
Quando la Vinput inizierà a scendere partendo dal valore massimo, la commutazione dell'uscita l'avremo quando il valore scenderà sotto al valore del morsetto invertente cioè -6V.
L'uscita tornerà a +12V e di conseguenza anche il valore di comparazione sul morsetto invertente tornerà ad essere +6V.
In pratica durante la fase di crescita della Vinput, la soglia di comparazione è pari a +6V, invece durante la fase di decrescita di Vinput, la soglia di comparazione è pari a -6V.
Nell'immagine, vediamo rappresentato l'andamento della Voutput in relazione alla variazione crescente e decrescente di Vinput.



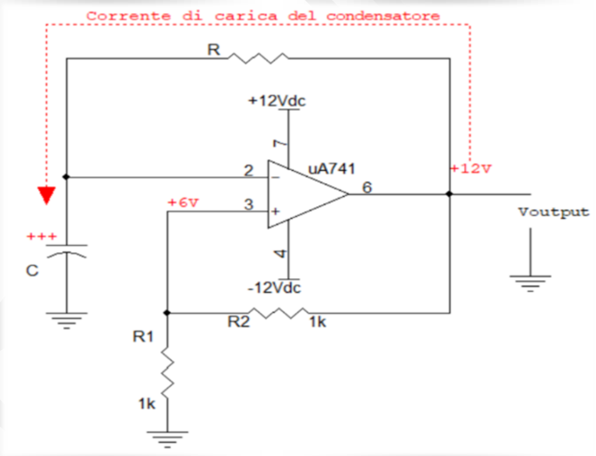
<ins>L'andamento rappresenanto in figura rappresenta un'isteresi.</ins>
L'isteresi è quel fenomeno in cui il valore istantaneo di una grandezza A, funzione di una grandezza B, dipende non solo dai valori di quest'ultima ma anche da quelli assunti in istanti precedenti.

MULTIVIBRATORE ASTABILE CON AMPLIFICATORE OPERAZIONALE

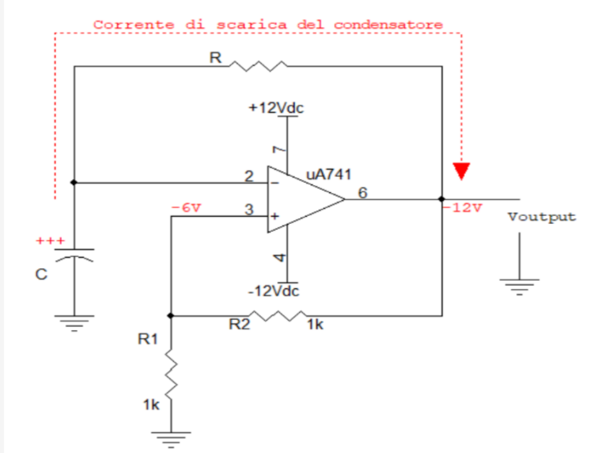
Prendendo un comparatore a trigger di Schmitt, ed inserendo una rete R-C al posto del segnale di ingresso, otteniamo lo schema di figura, che rappresenta un Multivibratore Astabile, anche detto generatore d'onda quadra.



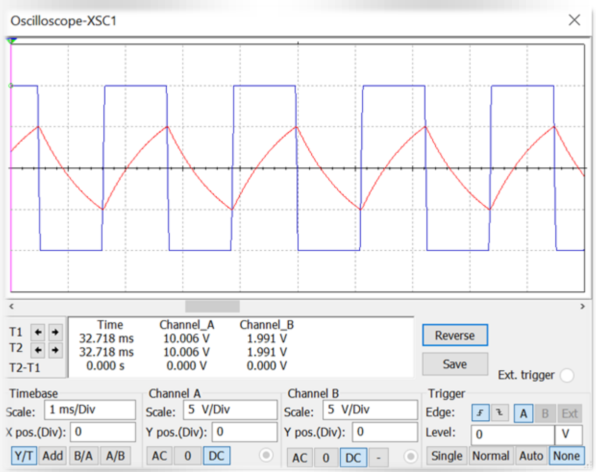
In pratica il segnale di ingresso è stato sostituito dalla rete con resistenza e condensatore, dove troveremo un segnale di carica e scarica del condensatore.



Considerando il condensatore inizialmente scarico ed ipotizzando l'uscita in saturazione positiva, avremo che il condensatore si caricherà tramite la resistenza R, fino a quando la tensione non raggiungerà il valore di +6V, presente sul morsetto non invertente.



A questo punto l'uscita andrà in saturazione negativa -12V, ed il morsetto non invertente di conseguena a -6V, a questo punto il condensatore si scaricherà tramite la resistenza R, fino a raggiungere il valore di -6V.



Osservando con l'oscilloscopio il segnale in uscita (blu) ed il segnale sul morsetto invertente (rosso) troveremo l'andamento nell'immagine a fianco, dove Il segnale rosso oscilla tra +6V e -6V, con un andamento di carica e scarica, mentre il segnale blu oscilla tra i due valori di saturazione +12V e -12V.

DIMENSIONAMENTO DI UN MULTIVIBRATORE ASTABILE

La frequenza del segnale in uscita del multivibratore descritto precedentemente, dipende ovviamente dai valori di R e C, in quanto da essi dipende il tempo di carica e di scarica del condensatore. Ma la frequenza dipende anche dal partitore resistivo composto da R1 ed R2, in quanto da esso dipende la tensione di carica e di scarica del condensatore.

Dobbiamo ricordare che la formula della tensione istantanea di carica di un condensatore è la seguente:

$v_c = E\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$ dove con E indichiamo il valore finale da raggiungere e con τ la costante di tempo pari a R * C.

Questa formula vale nel caso in cui il condensatore sia inizialmente scarico, si può dimostrare che nel caso in cui il condensatore abbia una carica iniziale pari a v_0 , la formula sarà la seguente:

$$v_c = (v_0 - E)e^{-\frac{t}{\tau}} + E$$

Nel caso del circuito precedente, la tensione iniziale minima è pari a $\frac{-\text{vcc}}{2}$ e la tensione finale di carica è di $\frac{\text{vcc}}{2}$

Ma le due tensioni dipendono dai valori di R1 e R2, per ora chiamiamo genericamente le due tensioni con i termini Vmin e Vmax. Il valore di E, della formula sopra, potrebbe essere sostituito con la VH e VL se siamo in fase di carica o di scarica. Pertanto avremo che il tempo t di carica del condensatore sarà dato da:

$$Vmax = (Vmin - VH)e^{-\frac{t}{\tau}} + VH \Rightarrow -\frac{t}{\tau} = ln\frac{Vmax-VH}{Vmin-VH} \Rightarrow \frac{t}{\tau} = ln\frac{Vmin-VH}{Vmax-VH}$$

$$t = \tau * ln\frac{Vmin-VH}{Vmax-VH} \Rightarrow t = R * C * ln\frac{Vmin-VH}{Vmax-VH} \Rightarrow t = R * C * ln\frac{VH-Vmin}{VH-Vmax}$$

Analogamente per la scarica possiamo dire che:

$Vmin = (Vmax - VL)e^{-\frac{t}{\tau}} + VL \Rightarrow -\frac{t}{\tau} = ln\frac{Vmin-VL}{Vmax-VL}$ proseguendo come sopra avremo che anche in questo caso $t = R * C * ln\frac{Vmax-VL}{Vmin-VL}$

I due tempi t ottenuti sono il tempo di carica **th** e quello di scarica **tl**, che sommati danno luogo al periodo dell'onda quadra.

$$th = R * C * ln\frac{VH-Vmin}{VH-Vmax} \qquad tl = R * C * ln\frac{Vmax-VL}{Vmin-VL} \qquad T = th + tl$$

Siccome VH=-VL e Vmax=-Vmin possiamo dire che: $T = 2 * R * C * ln\frac{VH-Vmin}{VH-Vmax}$

Inserendo al posto di Vmin e di Vmax il valore calcolato dal partitore delle resistenze R1 e R2, avremo che:

$$Vmin = \frac{VL*R1}{R1+R2} = -\frac{VH*R1}{R1+R2} \qquad Vmax = \frac{VH*R1}{R1+R2}$$

Sostituendo Vmin e Vmax all'equazione del periodo avremo che:

$$T = 2 * R * C * ln\frac{VH-Vmin}{VH-Vmax} = 2 * R * C * ln\frac{VH+\frac{VH*R1}{R1+R2}}{VH-\frac{VH*R1}{R1+R2}}$$ svolgendo e semplificando avremo che:

$$\boxed{\boldsymbol{T = 2 \cdot R \cdot C \cdot ln\left(1 + 2\frac{R_1}{R_2}\right)}}$$

Il multivibratore indicato presenta un duty-cicle del 50%, ma è possibile variare questo valore andando a modificare il valore di R a seconda se siamo nella fase di carica o di scarica del condensatore.

In questo caso il dimensionamento andrà fatto tenendo conto dei due tempi differenti calcolati con le seguenti formule:

$$\boldsymbol{th = R4 \cdot C \cdot ln\left(1 + 2\frac{R_1}{R_2}\right)}$$

$$\mathbf{tl = R3 \cdot C \cdot ln\left(1 + 2\frac{R_1}{R_2}\right)}$$

$$\boldsymbol{T = th + tl}$$