

## Applicazioni non lineari degli amplificatori operazionali.

Le applicazioni non lineari degli amplificatori operazionali riguardano tutti per la gran parte dei casi pratici la realizzazione di generatori di forma d'onda. La particolarità di queste reti circuitali è la presenza oltre di una eventuale reazione negativa anche di una reazione positiva necessaria per l'innesco delle oscillazioni; in determinate applicazioni è possibile avere l'operazionale configurato ad anello aperto. Di seguito sono riportate alcune applicazioni progettuali di applicazioni non lineari.

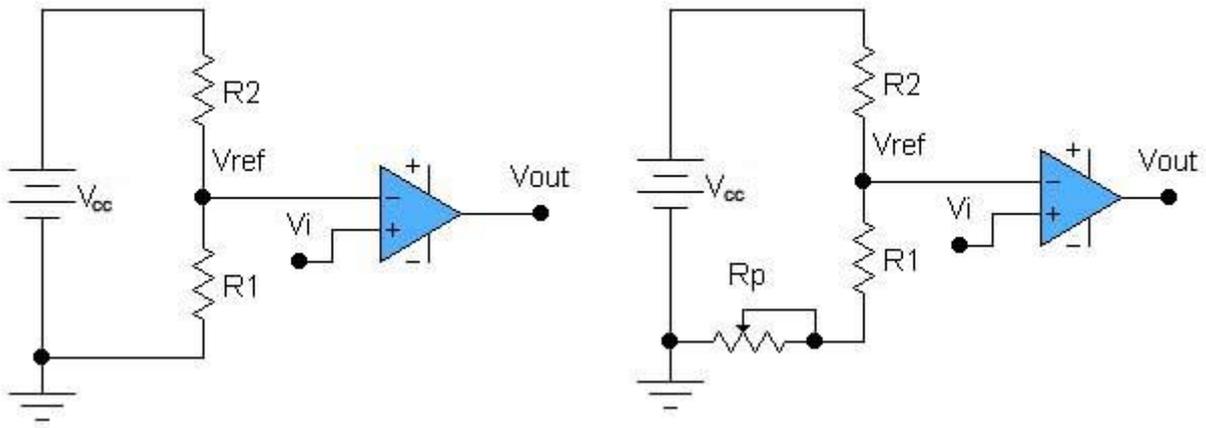
### Esercizio n°1:Rivelatore di livello non invertente

Realizzare un comparatore che commuti l'uscita a livello ALTO, quando il segnale d'ingresso supera la tensione di riferimento  $V_{REF}=5V$ .

Si ricavi mediante un partitore di tensione, la tensione di riferimento  $V_{REF}$  dalla tensione di alimentazione positiva  $+V_{cc}=15V$  dell'A.O.

Modificare poi il circuito per poter tarare la tensione di riferimento, mediante un potenziometro nell'intervallo di valori  $V_{REF}=5 \div 6V$ .

I circuiti richiesti sono rappresentati in figura.



Il dimensionamento del partitore si effettua osservando che l'ingresso dell'operazionale non assorbe corrente e quindi deve essere:

$$V_{REF} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_{cc} = 5V$$

Fissando a piacere il valore di  $R_1=18K\Omega$ , si ricava il valore di  $R_2=36K\Omega$ . Per tarare la tensione di riferimento nel campo  $V_{ref}=5 \div 6 V$ , è necessario porre un potenziometro in serie a  $R_1$ , per poterne

incrementare il valore della tensione di 1V; la resistenza  $R_p$  del potenziometro deve essere tale che sommata a  $R_1$  produca, quando completamente inclusa,  $V_{REF}=6V$ .

Di conseguenza deve risultare

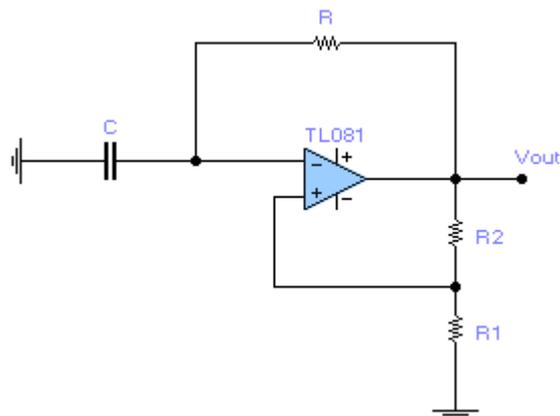
$$V_{REF} = \frac{R_1 + R_{pot}}{R_1 + R_{pot} + R_2} \cdot V_{CC} = 6V$$

Da cui si ricava

$$R_{pot} = 6K\Omega$$

### Esercizio 1 – Circuito standard a frequenza fissa

Progettare il multivibratore astabile sotto riportato per una frequenza di oscillazione di 10KHz. Si utilizzi un TL081 con alimentazione duale  $\pm V_{CC} = \pm 15V$ , supponendo che i livelli di saturazione coincidano con quelli di alimentazione.



Il periodo T è pari a :  $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{10 \cdot 10^3} = 0,1 \cdot 10^{-3} = 100 \mu \text{ sec};$

Dalla espressione  $T = 2R \cdot C \cdot \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right)$ , ponendo  $R_2 = 2R_1 = 10K\Omega$

avremo:  $T = 2R \cdot C \cdot \ln 2 = 2 \cdot R \cdot C \cdot 0,69 = 100 \cdot 10^{-6} \text{ s}$

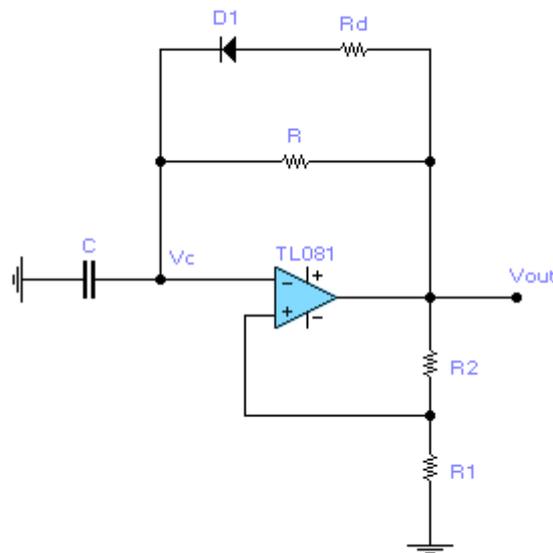
da cui:  $R \cdot C = \frac{100 \cdot 10^{-6}}{1,38} = 72,46 \cdot 10^{-6} \text{ s}$

Scegliendo  $C = 10\text{nF}$  si ottiene :

$$R = \frac{R \cdot C}{C} = \frac{72,46 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-9}} = 7,42 \cdot 10^3 = 7,42K\Omega$$

### **Esercizio 2 – Duty cycle inferiore al 50%**

Il circuito in figura rappresenta un multivibratore astabile nel quale l'aggiunta della rete comprendente il diodo D permette di ottenere un segnale ad onda quadra con duty-cycle inferiore al 50%. Progettarlo per una frequenza di 2 KHz ed un duty-cycle del 20%, utilizzando un IC TL081 con alimentazione duale  $\pm V_{CC} = \pm 15V$ . Si supponga ideale il comportamento del diodo.



Il periodo è pari a :  $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{2 \cdot 10^3} = 0,5 \cdot 10^{-3} = 500 \mu \text{ sec}$

Se  $R_2 = 2R_1 = 10 \text{ K}\Omega$ :

$$T_1 = (R_d // R) \cdot C \cdot \ln \left( 1 + \frac{2R_1}{R_2} \right) = 0.693 \cdot (R_d // R) \cdot C = 0.20T = 100 \mu \text{ sec}$$

$$T_2 = R \cdot C \cdot \ln \left( 1 + \frac{2R_1}{R_2} \right) = 0.693 \cdot R \cdot C = 0.80T = 400 \mu \text{ sec}$$

da cui :  $(R_d // R) \cdot C = \frac{T_1}{0.693} = \frac{100 \cdot 10^{-6}}{0.693} = 144 \mu \text{ sec}$

$$RC = \frac{T_2}{0.693} = \frac{400 \cdot 10^{-6}}{0.693} = 577 \mu \text{ sec}$$

Scegliendo  $C = 10 \text{ nF}$ , si ottiene :

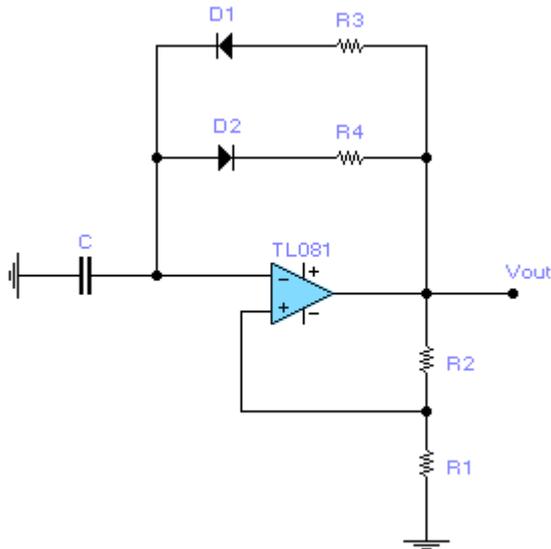
$$R_p = R_d // R = \frac{144 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-9}} = 14,4 \text{ K}\Omega$$

$$R = \frac{577 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-9}} = 57,7 \text{ K}\Omega$$

Da cui :  $R_d = \frac{R \cdot R_p}{R - R_p} = \frac{57,7 \cdot 10^3 \cdot 14,4 \cdot 10^3}{57,7 \cdot 10^3 - 14,4 \cdot 10^3} = 19,18 \text{ K}\Omega$

### Esercizio 3 – Duty cycle minore o maggiore del 50%

Il circuito in figura rappresenta un multivibratore astabile nel quale, rispetto allo schema circuitale standard, sono stati inseriti due diodi allo scopo di poter regolare il duty-cycle che ora può essere inferiore o superiore al 50%. Progettarlo per una frequenza di 5 KHz ed un duty-cycle del 70%, utilizzando un TL081 con alimentazione duale  $\pm VCC = \pm 15V$  e supponendo ideale il comportamento



dei diodi.

Il periodo è dato da :

$$T = (R_3 + R_4) C \ln \left( 1 + \frac{2R_1}{R_2} \right) = \frac{1}{f} = \frac{1}{5 \cdot 10^3} = 200 \cdot 10^{-6} = 200 \mu \text{ sec};$$

ponendo  $R_2 = R_1 = 100K\Omega$ , avremo:

$$T_1 = 1,1R_3C = 0,70 \cdot T = 0,70 \cdot 200 \cdot 10^{-6} = 140 \mu \text{ sec}$$

$$T_2 = 1,1R_4C = 0,30 \cdot T = 0,30 \cdot 200 \cdot 10^{-6} = 60 \mu \text{ sec}$$

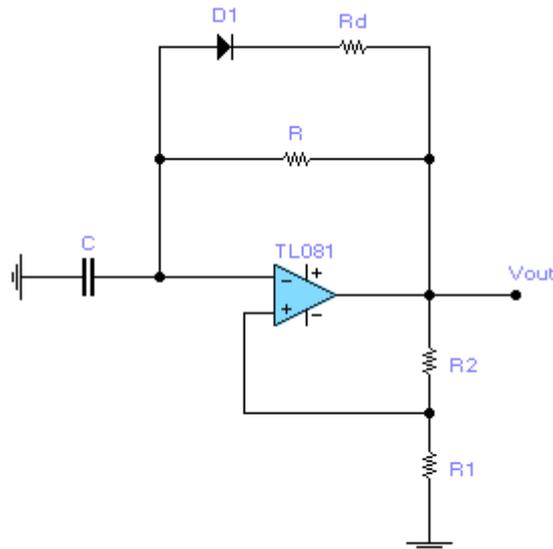
$$\text{da cui : } R_3C = \frac{T_1}{1,1} = \frac{140 \cdot 10^{-6}}{1,1} = 127,2 \mu \text{ sec}$$

$$R_4C = \frac{T_2}{1,1} = \frac{60 \cdot 10^{-6}}{1,1} = 54,5 \mu \text{ sec}$$

Scegliendo  $C = 10nF$ , si ottiene :  $R_3 = 12,7K\Omega$  ;  $R_4 = 5,45K\Omega$

#### Esercizio 4 – Duty cycle maggiore del 50%

Il circuito in figura rappresenta un multivibratore astabile nel quale l'aggiunta del ramo comprendente il diodo D permette di avere un segnale d'uscita con un duty-cycle maggiore del 50%. Progettarlo per una frequenza  $f=2\text{KHz}$  ed un D.C.=75%, utilizzando un TL081 con alimentazione duale  $\pm V_{CC} = \pm 15\text{V}$  e supponendo ideale il comportamento del diodo.



Il periodo è dato da :

$$T = [(R_d // R) + R] \cdot C \cdot \ln \left( 1 + \frac{2R_1}{R_2} \right) = \frac{1}{f} = \frac{1}{2 \cdot 10^3} = 500 \mu \text{ sec};$$

ponendo  $R_2 = R_1 = 50\text{K}\Omega$ , avremo:

$$T_1 = 1,1R \cdot C = 0,75 \cdot T = 0,75 \cdot 500 \cdot 10^{-6} = 375 \mu \text{ sec}$$

$$T_2 = 1,1 \cdot (R_d // R) \cdot C = 0,25 \cdot T = 0,25 \cdot 500 \cdot 10^{-6} = 125 \mu \text{ sec}$$

da cui :

$$R \cdot C = \frac{T_1}{1,1} = \frac{375 \cdot 10^{-6}}{1,1} = 341 \mu \text{ sec}$$

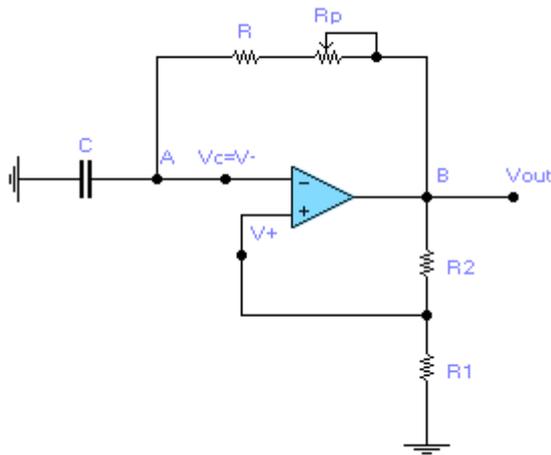
$$R_p = (R_d // R)C = \frac{T_2}{1,1} = \frac{125 \cdot 10^{-6}}{1,1} = 113,6 \mu \text{ sec}$$

Scegliendo  $C = 10\text{nF}$  si ottiene  $R = 34,1\text{K}\Omega$  ed  $R_p = R_d // R = 11,36\text{K}\Omega$

da cui  $R = \frac{R \cdot R_p}{R - R_p} = \frac{34,1 \cdot 10^3 \cdot 11,36 \cdot 10^3}{34,1 \cdot 10^3 - 11,36 \cdot 10^3} \cong 17\text{K}\Omega$

### Esercizio 5 – Circuito a frequenza variabile

Determinare il campo di variabilità della frequenza del multivibratore astabile mostrato in figura. Si utilizzi un TL081 con alimentazione duale  $\pm V_{CC} = \pm 15V$ , supponendo che i livelli di saturazione coincidano con quelli di alimentazione. I valori dei componenti sono i seguenti:  $C = 22 \text{ nF}$ ;  $R = 68 \text{ K}\Omega$ ;  $R_p = 100 \text{ K}\Omega$ ;  $R_1 = 90 \text{ K}\Omega$ ;  $R_2 = 180 \text{ K}\Omega$



Per  $R_p = R_{p \max} = 100 \text{ K}\Omega$

$$T = T_{\max} = 2(R + R_{p \max}) \cdot C \cdot \ln \left( 1 + \frac{2R_1}{R_2} \right) = 2(68 \cdot 10^3 + 100 \cdot 10^3) \cdot 22 \cdot 10^{-9} \cdot \ln \left( 1 + \frac{2 \cdot 90 \cdot 10^3}{180 \cdot 10^3} \right) = 5,1 \text{ ms}$$

Per  $R_p = 0 \text{ K}\Omega$

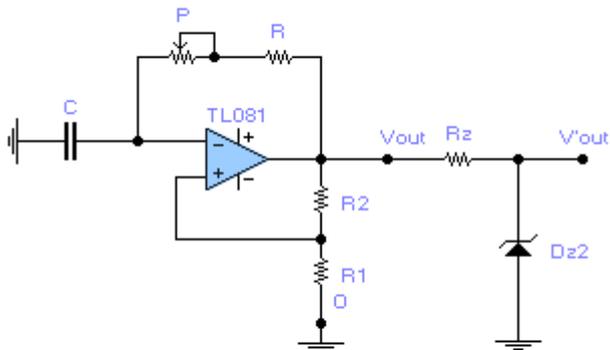
$$T = T_{\min} = 2R \cdot C \ln \left( 1 + \frac{2R_1}{R_2} \right) = 2 \cdot 68 \cdot 10^3 \cdot 22 \cdot 10^{-9} \ln \left( 1 + \frac{2 \cdot 90 \cdot 10^3}{180 \cdot 10^3} \right) = 2,1 \text{ ms}$$

$$f_{\min} = \frac{1}{T_{\max}} = \frac{1}{5,1 \cdot 10^{-3}} = 196 \text{ Hz}$$

$$f_{\max} = \frac{1}{T_{\min}} = \frac{1}{2,1 \cdot 10^{-3}} = 484 \text{ Hz}$$

### Esercizio 6 – Limitazione della tensione di uscita con n.1 zener

Determinare nel multivibratore astabile di figura: il periodo, la frequenza, l'ampiezza del segnale di uscita; la corrente che attraversa la resistenza  $R_z$ . I componenti hanno i seguenti valori:  $R = 180 \text{ K } \Omega$ ,  $C = 6.8 \text{ nF}$ ,  $R_1 = 41 \text{ K } \Omega$ ,  $R_2 = 82 \text{ K } \Omega$ ,  $R_z = 1 \text{ K } \Omega$ ,  $V_z = 6,3 \text{ V}$ .



$$T = 2RC \cdot \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right) = 2(180 \cdot 10^3 \cdot 6.8 \cdot 10^{-9}) \ln\left(1 + \frac{2 \cdot 41 \cdot 10^3}{82 \cdot 10^3}\right) = 1,68 \text{ms}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,68 \cdot 10^{-3}} \cong 592 \text{Hz}$$

$$V_{OH} = V_z = 6,3 \text{V}$$

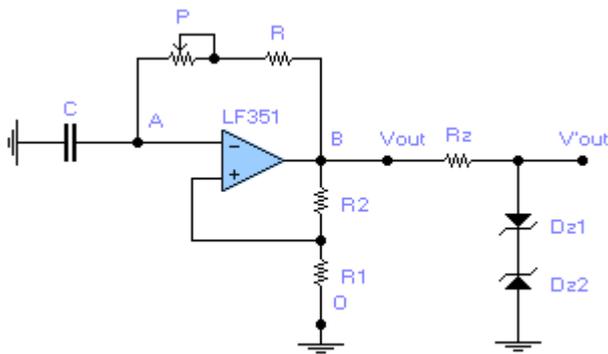
$$V_{OL} = -V_\gamma = -0,7 \text{V}$$

$$I_{zH} = \frac{V_{OH} - V_z}{R_z} = \frac{15 - 6,3}{1000} = 8,7 \text{mA}$$

$$I_{zL} = \frac{V_{OL} - (-V_\gamma)}{R_z} = \frac{-15 - (-0,7)}{1000} = -14,3 \text{mA}$$

### Esercizio 7 – Limitazione della tensione di uscita con n.2 zener

Determinare nel multivibratore astabile di figura: il periodo, la frequenza, l'ampiezza del segnale di uscita  $V_{out}$ ; la corrente che attraversa la resistenza  $R_z$ . I componenti hanno i seguenti valori:  $R = 150 \text{ K } \Omega$ ;  $C = 10 \text{ nF}$ ;  $R_1 = 68 \text{ K } \Omega$ ;  $R_2 = 100 \text{ K } \Omega$ ;  $V_{Z1} = 5.1 \text{ V}$ ;  $V_{Z2} = 6.8 \text{ V}$ ;  $R_z = 680 \text{ } \Omega$ .



$$T = 2RC \cdot \ln \left( 1 + \frac{2R_1}{R_2} \right) =$$
$$= 2(150 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-9}) \ln \left( 1 + \frac{2 \cdot 50 \cdot 10^3}{100 \cdot 10^3} \right) = 2,07 \text{ ms}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2,07 \cdot 10^{-3}} \cong 483 \text{ Hz}$$

$$V_{OH} = -V_{OL} = V_{z1} + V_{z2} = 6,9 + 0,7 = 7,6 \text{ V}$$

$$I_{zH} = \frac{V_{OH} - (V_{z1} + V_{z2})}{R_z} = \frac{15 - 7,6}{680} = 10,8 \text{ mA}$$