Usi non lineari dell'OpAmp

Francesco Sacco, Lorenzo Cavuoti

Novembre 2015

1 Amplificatore di carica

Per spiegare il circuito dell'amplificatore di carica è meglio analizzarlo con i suoi due sotto-circuiti separatamente, e poi vedere come si incastrano assieme.

1.1 Teoria Primo sotto-circuito

Il primo sottocircuito è quello che è collegato al voltaggio in ingresso V_S, esso si può vedere nella figura 1.1 , risolvere il circuito equivale a risolvere questo sistema di 3 equazioni

$$\begin{cases} V_S - V_- = \frac{Q_T}{C_T} \\ V_- - V_{sh} = I_1 R_1 \\ V_- - V_{sh} = \frac{Q_F}{C_F} \end{cases} \tag{1}$$

Derivando rispetto al tempo la prima e la terza equazione, supponendo che $\frac{dV_s}{dt} = 0$[1], e imponendo che $V_{sh} = AV_-$ si ottiene

$$\begin{cases} \frac{dV_-}{dt} = -\frac{I_T}{C_T} \\ (1+A)V_- = I_1 R_1 \\ (1+A)\frac{dV_-}{dt} = \frac{I_F}{C_F} \end{cases} \qquad \begin{cases} \frac{dV_-}{dt} = -\frac{I_1+I_F}{C_T} \\ I_F = C_F(1+A)\frac{dV_-}{dt} \\ I_1 = \frac{1+A}{R_1}V_- \end{cases}$$

Passando dal primo sistema all'altro ho usato che $I_T = I_1 + I_F$, sostituendo I_1 e I_F nella prima equazione si ottiene che

$$\frac{dV_-}{dt} = \frac{1}{C_T}\left[C_F(1+A)\frac{dV_-}{dt} + \frac{1+A}{R_1}V_-\right]$$

$$\frac{dV_-}{dt}\left[\frac{C_T}{1+A} + C_F\right] = -\frac{V_-}{R_1}$$

[1] visto che è un'onda quadra possiamo supporre di interessarci al circuito nei punti in cui l'onda quadra è costante

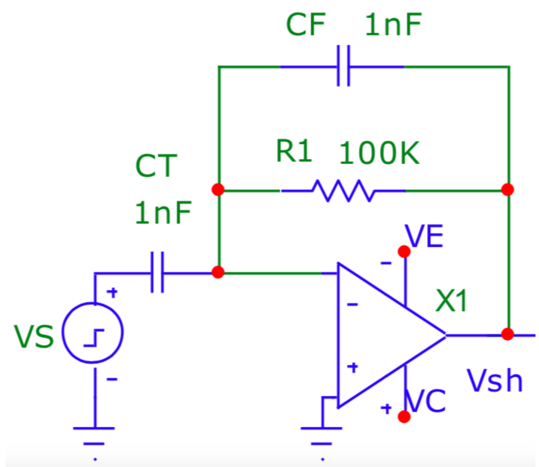

Figura 1: sotto-circuito 1

Nel limite in cui A è molto grande possiamo considerare $\frac{C_T}{1+A} \approx 0$, quindi l'equazione di prima diventa

$$\frac{dV_-}{dt} \approx -\frac{V_-}{C_F R_1} \qquad A\frac{dV_-}{dt} \approx -A\frac{V_-}{C_F R_1} \qquad \frac{dV_{sh}}{dt} \approx -\frac{V_{sh}}{C_F R_1}$$

Quindi si ottiene dal primo sottocircuito che

$$V_{sh} = \pm V_S e^{-t/C_F R_1} \tag{2}$$

CONTROLLA SE V_0 E' UGUALE A V_S!!!

1.2 Teoria secondo sotto-circuito

Prima di spiegare direttamente il secondo sottocircuito è meglio dare un paio di informazioni parecchio approssimative sull'OpAmp.
L'OpAmp è un dispositivo a 5 terminali, per indicare il voltaggio in ciascun terminale useremo la convenzione dell'immagine 1.2
L'OpAmp è in grado di amplificare il segnale per bene solo se $V_{S-} < A(V_+ - V_-) < V_{S+}$, se per caso $A(V_+ - V_-) > V_{S+}$, l'amplificatore porta V_{out} al massimo voltaggio che può dare, cioè V_{S+}, e se $A(V_+ - V_-) < V_{S-}$ $V_{out} = V_{S-}$.

Essendo A molto grande basta una differenza di potenziale molto piccola ai capi dei terminali $+$ e - per mandare l'OpAmp a V_{S+} e V_{S-}, questo viene usato per dire in modo binario se un voltaggio è maggiore di un'altro voltaggio, infatti se $A|V_+ - V_-| >> 1$ si ha che $V_{out} = V_{S+}$ se $V_+ > V_-$ e $V_{out} = V_{S-}$ se $V_+ < V_-$.

Adesso che sappiamo ciò possiamo spiegare il secondo sottocircuito: Il secondo sotto circuito si può vedere nella figura 1.2, il terminale positivo è collegato

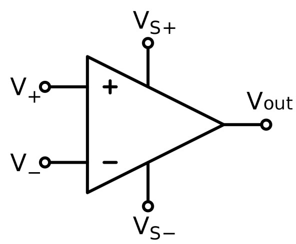

Figura 2: Un OpAmp

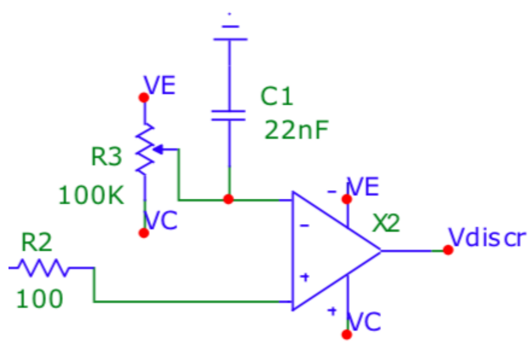

Figura 3: secondo sotto-circuito

a V_{sh} attraverso una resistenza di 100Ω, quindi visto che la corrente che passa per il terminale positivo è circa zero possiamo assumere che la differenza di potenziale ai capi sia trascurabile.
Chiamerò V_P[2] il potenziale che entra nel terminale negativo dell'OpAmp, esso è possibile regolarlo grazie al potenziometro che funge da partitore di tensione.
Essendo (quasi sempre) $A|V_{sh} - V_P| >> 1$ si ha che

$$\begin{cases} V_{discr} = V_C \text{ se } V_{sh} > V_P \\ V_{discr} = V_E \text{ se } V_{sh} < V_E \end{cases} \tag{3}$$

1.3 Quello che resta della Teoria

Unendo i due sottocircuiti come in figura 1.3 si uniscono i risultati dei paragrafi precedenti:

$$V_{sh} = \pm V_S e^{-t/C_F R_1} \quad \text{e} \quad \begin{cases} V_{discr} = V_C \text{ se } V_{sh} > V_P \\ V_{discr} = V_E \text{ se } V_{sh} < V_E \end{cases} \tag{4}$$

[2] P sta per potenziometro

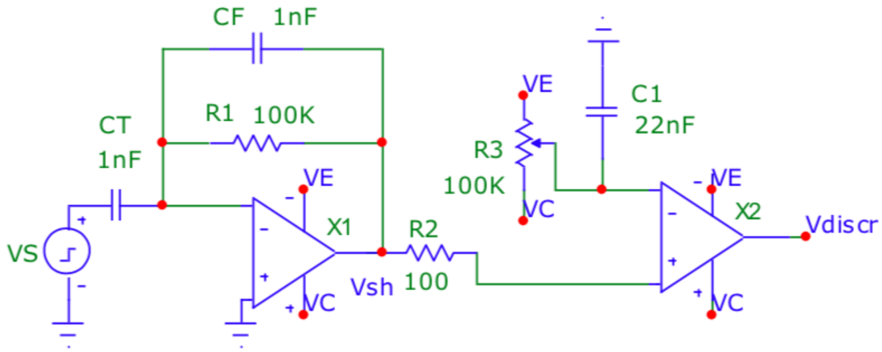

Figura 4: Circuito

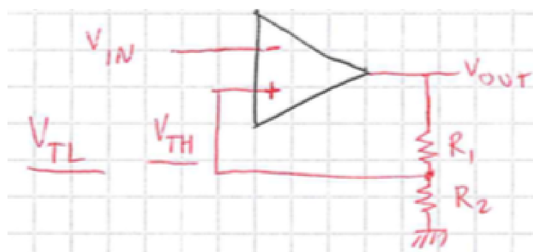

Figura 5: Trigger di Schmitt

Se si vuole ricavare per quanto tempo $V_{discr} = V_C$ basta risolvere rispetto al tempo $V_{sh} > V_P$, quindi

$$V_S e^{-t/C_F R_1} > V_P \qquad -\frac{t}{C_R R_1} > \ln\left(\frac{V_P}{V_S}\right) \qquad t < C_R R_1 \ln\left(\frac{V_S}{V_P}\right) \tag{5}$$

1.4 Raccolta e analisi dati

dopo scrivi qualcosa!

2 Multivibratore astabile

2.1 Teoria trigger di Schmitt

Il trigger di Schmitt (immagine 2.1) è uno squadratore d'onda, che funziona nel seguente modo:

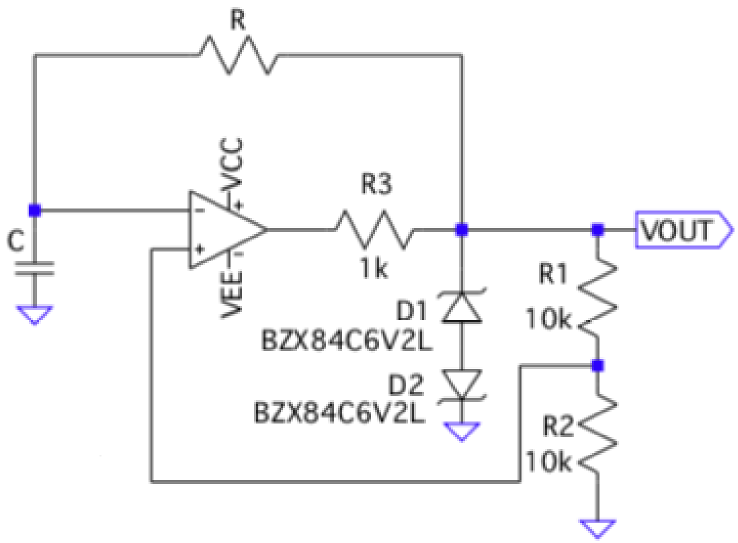

Figura 6: Multivibratore astabile

$$\begin{cases} V_{out} = V_{CE} \text{ se } V_{-} > \frac{V_{CC}}{1+R_1/R_2} \\ V_{out} = V_{CC} \text{ se } V_{-} < \frac{V_{CE}}{1+R_1/R_2} \\ \text{se } \frac{V_{CE}}{1+R_1/R_2} < V_{-} < \frac{V_{CC}}{1+R_1/R_2} \text{ allora } V_{out} \text{ assume l'ultimo valore assunto} \end{cases} \tag{6}$$

2.2 Teoria Multivibratore astabile

Il multivibratore astabile è mostrato in figura 2.2, esso è un trigger di Schmitt con due diodi zener che limitano $-V_{br} < V_{out} < V_{br}$, dove V_{br} è il voltaggio di breakdown degli zener. Inoltre grazie al passa-basso V_{-} si carica dello stesso segno di V_{out}, ciò porta V_{-} a raggiungere V_{+}.
Una volta che ciò succede, V_{+} cambia di segno, e V_{-} insegue V_{+}, tutto ciò crea un fenomeno oscillatorio.
Il sistema che descrive il circuito è questo

$$\begin{cases} V_{out} - V_{-} = IR \\ V_{out} - V_{+} = I_1 R_1 \\ V_{+} = I_1 R_2 \\ Q/C = V_{-} \end{cases} \qquad \begin{cases} V_{out} - V_{-} = IR \\ \frac{V_{out}}{V_{+}} = \frac{R_1}{R_2} + 1 \equiv \alpha \\ V_{+} = I_1 R_2 \\ \frac{dV_{-}}{dt} = \frac{V_{out} - V_{-}}{RC} \end{cases} \tag{7}$$

Supponiamo che a $t = 0$ $V_{out} = V_{th}$ e $V_{-} = -\frac{V_{th}}{\alpha}$, risolvendo l'ultima equazione del secondo sistema si ottiene che

$$V_{-} = V_{th}\left[1 - \left(\frac{1}{\alpha} + 1\right)e^{-t/RC}\right]$$

Viceversa se a $t = 0$ $V_{out} = -V_{th}$ e $V_- = \frac{V_{th}}{\alpha}$ si ottiene

$$V_- = -V_{th}\left[1 - \left(\frac{1}{\alpha} + 1\right)e^{-t/RC}\right]$$

Per trovare il periodo dell'oscillazione basta imporre che

$$V_- = V_{th}\left[1 - \left(\frac{1}{\alpha} + 1\right)e^{-t/RC}\right] = \frac{V_{th}}{\alpha}$$

risolvendo per t, e moltiplicanto per due equivale a trovare il periodo

$$-(1+\alpha)e^{-t/RC} = 1 - \alpha \qquad -\frac{t}{RC} = \ln\frac{1-\alpha}{1+\alpha} \qquad t = \frac{\ln}{RC}\left(1 + 2\frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$T = \frac{2}{RC}\ln\left(1 + 2\frac{R_2}{R_1}\right) \tag{8}$$

2.3 Raccolta e analisi dati

asd