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 analizzare i suoi due sotto-circuiti separatamente, e poi vedere come funzionano 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

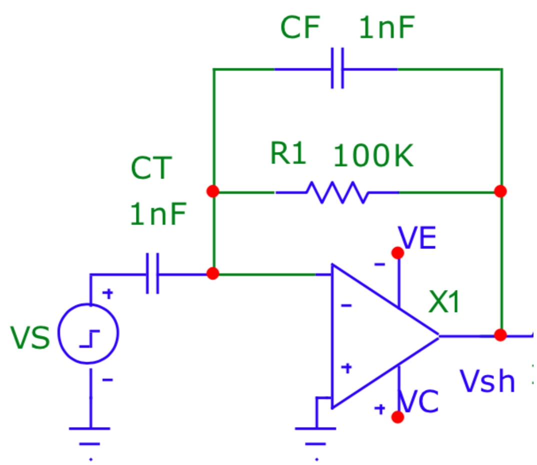

Figura 1: sotto-circuito 1

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 erogare, 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-}, quindi ciò 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 $V_+ < V_-$.

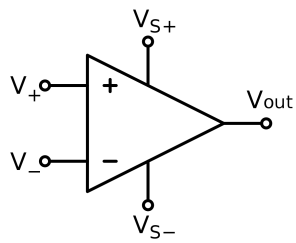

Figura 2: un OpAmp

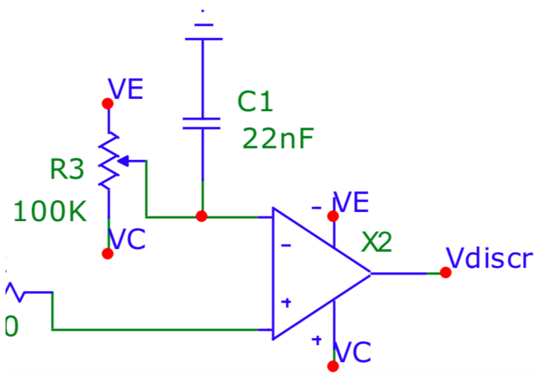

Figura 3: secondo sotto-circuito

Adesso che sappiamo questo possiamo spiegare il secondo sottocircuito: come si può vedere nella figura 1.2, il terminale positivo è collegato 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 va nel terminale negativo dell'OpAmp, esso è possibile regolarlo grazie all'ausilio del potenziometro che funge da partitore di tenzione.
Essendo (quasi sempre) $A|V_{sh} - V_P| >> 1$ si ha che

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

[2] P sta per potenziometro

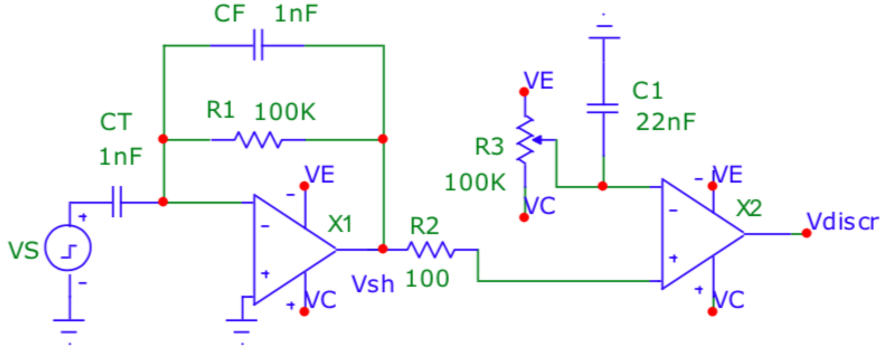

Figura 4: Circuito

1.3 Quello che resta della Teoria

Unendo i due sottocircuiti come in figura 1.3 si uniscono i risultati degli scorsi due paragrafi:

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

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

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