3.7 Contributo dell'elettronica di prima elaborazione al rumore

Il rumore di un amplificatore si può descrivere in termini di sorgente di rumore di tensione e di corrente all'ingresso dell'amplificatore, ovvero utilizzando le densità spettrali rispettivamente di tensione e_n (misurata tipicamente in $fA/\sqrt{Hz}$ o $pA/\sqrt{Hz}$) e di corrente i_n (in $nV/\sqrt{Hz}$) di rumore. Le sorgenti di tensione e di corrente si rappresentano rispettivamente come connessi in serie e in parallelo all'ingresso dell'amplificatore, come indicato in fig. 1.

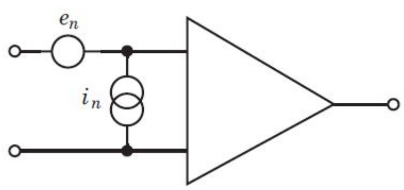

Figura 1:

Invece di specificare il rumore totale su tutta la banda, l'entità di ogni sorgente di rumore può essere quindi caratterizzato dalla sua densità spettrale. Questo risulta conveniente in quanto le impedenze dipendenti dalla frequenza e la banda in cui opera l'amplificatore danno effetti che possono essere valutati separatamente.

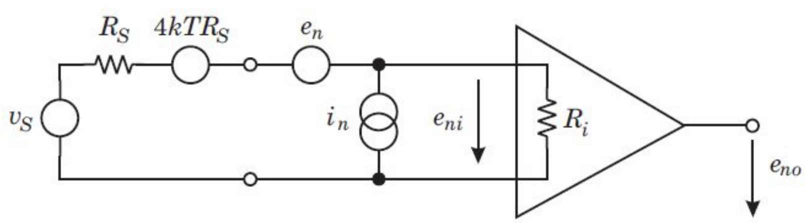

Figura 2:

Per valutare l'interazione delle varie sorgenti di rumore con una sorgente di segnale, ovvero un sensore con resistenza R_S connesso a un amplificatore con guadagno A_v (assumendo che la resistenza in ingresso sia $R_i = \infty$), consideriamo i vari contributi alla densità spettrale di tensione di rumore (cfr. fig. 2:

- in assenza di sensore collegato all'amplificatore, le sorgenti di rumore presenti all'interno dell'amplificatore vengono viste all'uscita come una tensione di rumore e_{no}. Per uniformarne la trattazione con le altre, possiamo rappresentare quelle interne come sorgenti di tensione di rumore in entrata amplificate per il fattore di guadagno A_v, ovvero

$$e_n = e_{no}/A_v$$

- la corrente di rumore che fluisce attraverso la resistenza della sorgente produce una tensione di rumore

$$i_n R_S$$

- la densità spettrale di rumore termico della sorgente in sé è

$$4kTR_S$$

Sommando in quadratura i vari contributi scorrelati, otteniamo la densità totale di rumore in ingresso nell'amplificatore:

$$e_{ni}^2 = 4kTR_S + e_{nint}^2 + (i_n R_S)^2$$

Il rumore in uscita dall'amplificatore e' dunque:

$$e_{no}^2 = (A_v e_{ni})^2 = (A_v)^2[4kTR_S + e_n^2 + (i_n R_S)^2]$$

Indicando con v_S il segnale raccolto dal sensore, esso risulta amplificato in uscita come $v_S A_v$. Possiamo dunque esprimere il rapporto segnale-rumore come:

$$\left(\frac{S}{N}\right)^2 = \frac{A_v^2 v_S^2}{A_v^2 e_{ni}^2} = \frac{v_S^2}{4kTR_S + e_n^2 + (i_n R_S)^2}$$

Il rapporto segnale-rumore risulta indipendente dal fattore di guadagno dell'amplificatore. Verifichiamo ora che una resistenza finita in ingresso dell'amplificatore, ovvero che non valga l'assunzione $R_i = \infty$, non cambia il rapporto segnale-rumore del sistema. Come visto nel caso di un amplificatore di tensione, una resistenza finita in ingresso riscala il segnale generato di un fattore $\frac{R_i}{R_i+R_S}$, producendo una tensione percepita

$$v_{Si} = v_S \frac{R_i}{R_i + R_S}$$

Allo stesso modo vengono riscalati i contributi di rumore termico del sensore e delle sorgenti interne all'amplificatore. La corrente di rumore ora fluisce in una resistenza equivalente alle resistenze parallele R_S e R_i:

$$i_n \frac{R_i R_S}{R_i + R_S}$$

Il rapporto segnale rumore che ne risulta

$$\left(\frac{S}{N}\right)^2 = \frac{A_v^2 v_{Si}^2}{A_v^2 v_{ni}^2} = \frac{v_S^2 \left(\frac{R_i}{R_i+R_S}\right)^2}{(4kTR_S + e_n^2)\left(\frac{R_i}{R_i+R_S}\right)^2 + i_n^2 \left(\frac{R_i R_S}{R_i+R_S}\right)^2}$$

rimane lo stesso che avevamo ricavato in presenza di R_i infinita

$$\left(\frac{S}{N}\right)^2 = \frac{v_S^2}{4kTR_S + e_n^2 + (i_n R_S)^2}$$

anche nel caso di una combinazione di componenti resistive, capacitive e induttive. Visto rapporto segnale-rumore e' indipendente dall'impedenza in ingresso all'amplificatore, potremo utilizzare l'amplificatore ideale con impedenza infinita per le nostre stime.

In caso di sorgenti di rumore correlate (per esempio tensione e corrente di rumore in ingresso):

$$e_{ni}^2 = 4kTR_S + e_{nint}^2 + (i_n R_S)^2 + 2Ce_n i_n R_S$$

ove C indica il grado di correlazione tra le sorgenti.