20 RADIOMETRO A RUMORE AGGIUNTO

Il radiometro di Dicke fornisce le sue migliori prestazioni se la sorgente di rumore viene pilotata in controreazione. Inoltre, come abbiamo visto, il commutatore di ingresso introduce un rumore aggiuntivo che, specie per ricevitori criogenici (ovvero raffreddati a temperature inferiori a $100\,K$), puó essere inaccettabile.

Una alternativa, di realizzazione piú semplice (ma, come vedremo, con prestazioni inferiori), é il radiometro a rumore aggiunto. In esso una sorgente esterna di rumore a temperatura T_N viene pilotata da un segnale a onda quadra, e aggiunta direttamente al segnale proveniente dalla antenna. La stessa onda quadra (vedi Fig. 1) pilota anche un interruttore (a bassa frequenza) che invia le uscite rispettivamente verso y_A (se il generatore di rumore é spento) e y_N (se il generatore di rumore é acceso).

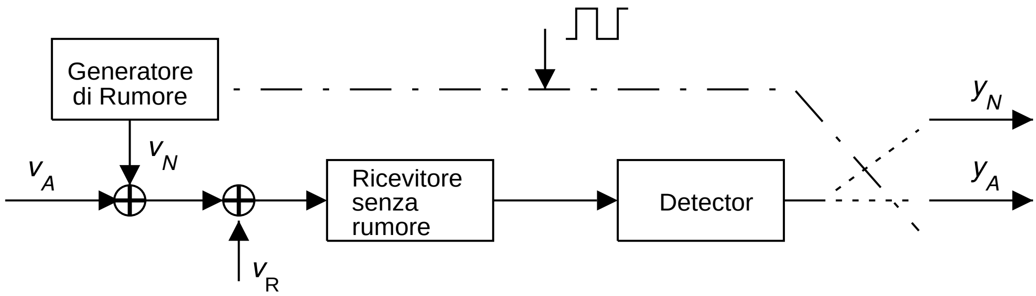

Fig.1: Schema di principio di un radiometro a rumore aggiunto.

Alle due uscite sono quindi presenti i segnali

$$\begin{aligned} y_A &= \frac{G_s}{R_0}\,(s_A + s_R)^2\,\frac{1}{\mathcal{K}B} \\ y_N &= \frac{G_s}{R_0}\,(s_A + s_N + s_R)^2\,\frac{1}{\mathcal{K}B} \end{aligned} \tag{153}$$

che vengono campionati ciascuno con $N/2$ campioni indipendenti e poi mediati. Si ottengono cosí le due stime

$$\begin{aligned} Y_A &= G_s\,(T_A + T_R) \\ Y_N &= G_s\,(T_A + T_N + T_R) \end{aligned}$$

Da esse si calcola poi il rapporto

$$\mathcal{Y} = \frac{Y_A}{Y_N - Y_A} = \frac{T_A + T_R}{T_N} \tag{154}$$

da cui si ottiene

$$T_A = T_N\mathcal{Y} - T_R \tag{155}$$

del tutto indipendente da G_s, che quindi non é necessario misurare. L'errore invece dipende da T_N e T_R, oltreché dall'errore intrinseco di misura su Y_A e Y_N. Per calcolarlo, differenziamo la (155), poiché le grandezze a secondo membro sono tutte indipendenti tra loro:

$$dT_A = T_N\, d\mathcal{Y} + dT_N \mathcal{Y} - dT_R = \frac{T_A + T_R}{T_N}\, dT_N - T_N\, d\mathcal{Y} - dT_R$$

e calcoliamo l'errore

$$(\Delta T_A)^2 = T_N^2\, \mathrm{Var}\,[\mathcal{Y}] + \mathcal{Y}^2\, (\Delta T_N)^2 + (\Delta T_R)^2 = T_N^2\, \mathrm{Var}\,[\mathcal{Y}] + \left(\frac{T_A + T_R}{T_N}\right)^2 (\Delta T_N)^2 + (\Delta T_R)^2 \tag{156}$$

Per determinare $\mathrm{Var}\,[\mathcal{Y}]$ dobbiamo partire dalla (154). Anche qui le tre grandezze a secondo membro sono indipendenti e si ha

$$d\mathcal{Y} = \frac{(Y_N - Y_A) + Y_A}{(Y_N - Y_A)^2}\, dY_A - \frac{Y_A}{(Y_N - Y_A)^2}\, dY_N = \frac{Y_N\, dY_A - Y_A\, dY_N}{(Y_N - Y_A)^2}$$

e

$$\mathrm{Var}\,[\mathcal{Y}] = \frac{Y_N^2\, \mathrm{Var}[Y_A] + Y_A^2\, \mathrm{Var}[Y_N]}{(Y_N - Y_A)^4}$$

Le stime sono variabili esponenziali, e quindi

$$\mathrm{Var}[Y_A] = G_s^2\, (T_A + T_R)^2\, \frac{2}{N} \qquad\qquad \mathrm{Var}[Y_N] = G_s^2\, (T_A + T_R + T_N^2)\, \frac{2}{N}$$

Sostituendo le varianze e le espressioni di Y_A e Y_N segue

$$\begin{aligned} \mathrm{Var}\,[\mathcal{Y}] &= \frac{(T_A + T_R + T_N^2)\, (T_A + T_R)^2 + (T_A + T_R)^2\, (T_A + T_R + T_N^2)}{(T_N)^4}\, \frac{2}{N} \\ &= \frac{4}{N}\, \frac{(T_A + T_R)^2\, (T_A + T_R + T_N^2)}{(T_N)^4} \end{aligned}$$

Possiamo sostituire nella (156) e, ricordando l'espressione di ΔT_i dalla (116), ottenere

$$\begin{aligned} (\Delta T_A)^2 &= T_N^2\, \frac{4}{N}\, \frac{(T_A + T_R)^2\, (T_A + T_R + T_N^2)}{(T_N)^4} + \left(\frac{T_A + T_R}{T_N}\right)^2 (\Delta T_N)^2 + (\Delta T_R)^2 \\ &= 4(\Delta T_i)^2 \left[1 + \frac{T_A + T_R}{T_N}\right]^2 + \left(\frac{T_A + T_R}{T_N}\right)^2 (\Delta T_N)^2 + (\Delta T_R)^2 \end{aligned} \tag{157}$$

Rispetto a un radiometro di Dicke (a paritá di N, ovvero di tempo di integrazione), il primo termine della (157) é moltiplicato per un fattore maggiore di 1, che peró puó essere ridotto se si aumenta T_N. L'effetto delle imprecisioni di T_N (che sono molto piccole) é in genere ridotto, ma compare di nuovo l'errore su T_R, grandezza che deve ovviamente essere misurata periodicamente. Naturalmente, mancando lo switch di ingresso, a paritá di ricevitore il valore di T_R é inferiore in un radiometro a rumore aggiunto rispetto a un radiometro di Dicke.