

CAPITOLO 4

L'EFFETTO DEI DISTURBI NEI CORRELATORI

4.1 DEFINIZIONI DI BASE

Come abbiamo visto in precedenza le grandezze del tempo, $f(t)$, se applicate ad un correlatore, producono rispettivamente nelle $C(r)$ e $C(r)x$ una ondulazione (VARIANZA) la cui ampiezza dipende sia dalle caratteristiche delle grandezze stesse che del valore della frequenza di taglio F_t dell'unità integratore.

Se le $f(t)$ sono inquinate da disturbi di varia natura le $C(r)$ e $C(r)x$ subiscono l'effetto negativo di questi tanto più quanto le ampiezze delle perturbazioni incidono sulla struttura dei segnali di ingresso al correlatore.

L'effetto del disturbo sulle grandezze del tipo $f(t)$ ha come conseguenza diretta l'aumento della varianza su $C(r)$ o la riduzione dell'ampiezza della $C(r)x$.

E' opportuno a questo punto definire alcune semplici formule per inquadrare meglio questo particolare comportamento dei correlatori.

Se indichiamo con $N(t)$ i disturbi che possono inquinare i segnali $f(t)$ possiamo definire il rapporto segnale/disturbo all'ingresso del correlatore come segue:

$$f(t)/N(t) = S_i/N_i$$

Dove S_i è l'ampiezza delle tensioni dei segnali ed N_i è l'ampiezza delle tensioni dei disturbi.

Dato però che sia la $C(r)$ che la $C(r)x$ risentono dell'effetto di S_i/N_i possiamo definire il rapporto segnale/disturbo all'uscita del correlatore come rapporto tra la $C(r)$ o la $C(r)x$ e la varianza d'uscita nel modo seguente:

$$\frac{C(r)}{\text{Varianza}} = \frac{S_u}{N_u} \quad \text{per la correlazione analogica}$$

$$\frac{C(r)x}{\text{Varianza}} = \frac{S_{ux}}{N_{ux}} \quad \text{per la correlazione digitale}$$

dove:

$$S_u = C(r)$$

N_u = tensione della varianza su $C(r)$

oppure:

$$S_{ux} = C(r)x$$

N_{ux} = tensione della varianza su $C(r)x$

Con le semplici relazioni sopra riportate si imposta una fondamentale teoria che è alla base delle caratteristiche operative che andremo di seguito ad esporre.

Le funzioni matematiche che governano queste particolari caratteristiche dei correlatori sono molto importanti dato che generalmente i segnali di ingresso sono spesso inquinati dai disturbi e, come vedremo, i correlatori potranno essere impiegati anche per rivelare la presenza dei segnali $f(t)$ quando questi saranno molto più piccoli dei disturbi.

4.2 L'EFFETTO DEL DISTURBO NEI CORRELATORI ANALOGICI

4.2.1 DEFINIZIONE DELLE FORMULE

Per esaminare l'effetto del disturbo nei correlatori analogici è necessario esprimere una formula normalizzata, già mostrata nel capitolo 1, in forma non normalizzata e tale da evidenziare il valore efficace S_i dei segnali $f(t)$ ed N_i dei rumori $N(t)$ che si presentano all'ingresso dei correlatori stessi.

Per questa ragione andremo a riproporre una delle formule già viste

sotto questo nuovo profilo:

Segnale in uscita dal correlatore, $C(r)_{1,2}$, (funzione di correlazione incrociata) in presenza di segnali di ingresso, correlati per $r = 0$, :

$$C(r)_{1,2} = S_u = K S_i^2 \frac{\text{Sen}(6.28 DF r)}{(6.28 DF r)} \text{Cos}(6.28 F_o r) \quad 4.1)$$

dove:

$$F_o = \frac{F_2+F_1}{2} \quad DF = \frac{F_2-F_1}{2}$$

In questa formula i segnali di ingresso $f_1(t)$ e $f_2(t)$ hanno la stessa ampiezza S_i , sono espressi in V_{eff} , si intendono definiti nella banda di frequenze compresa tra F_1 e F_2 , hanno caratteristiche di stazionarietà e di uniforme distribuzione spettrale.

Il livello di uscita $S_u = C(r)_{1,2}$, è espresso in V_{cc} ed è dipendente dall'ampiezza dei segnali S_i di ingresso, dal coefficiente K , che rappresenta la caratteristica del moltiplicatore analogico, e dal valore di r introdotto dalla catena di ritardo analogica.

La formula per S_u è stata ricavata analiticamente ipotizzando un tempo di integrazione infinito; pertanto con i valori finiti delle costanti di tempo RC all'uscita del correlatore sarà sempre presente una piccola varianza sovrapposta alla tensione continua S_u .

E' necessario ora vedere come si esprime il valore della varianza della $C(r)_{1,2}$ in presenza dei segnali e dei rumori inquinanti di ingresso.

Il rumore all'uscita del correlatore (varianza) in presenza di due segnali di ampiezza S_i e di due rumori di ingresso, N_{i1} e N_{i2} , di eguale ampiezza N_i , scorrelati tra loro, dove N_{i1} inquina $f_1(t)$ ed N_{i2} inquina $f_2(t)$, è dato da:

$$Nu = K \sqrt{\frac{(S_i^2 + N_i^2)^2 + (S_i^2)^2}{4 R C (F2-F1)}} \quad 4.2)$$

In questa formula tanto il segnale S_i che i rumori N_i , espressi in V_{eff} , sono definiti nella banda di frequenze comprese tra $F1$ ed $F2$ hanno caratteristiche di stazionarietà e di uniforme distribuzione spettrale.

Il livello di rumore in uscita, Nu , è espresso in V_{eff} e la sua ampiezza dipende tanto dall'ampiezza del segnale S_i che dall'ampiezza dei rumori di ingresso N_i .

A questo punto non resta che definire il rapporto $C(r)_{1,2}/\text{varianza} = S_u/Nu$ all'uscita del correlatore:

Il rapporto Segnale/Rumore all'uscita del correlatore (S_u/Nu) in presenza di due segnali $f1(t)$ e $f2(t)$, di ampiezza S_i , correlati (per $r=0$) e di due disturbi scorrelati N_{i1} e N_{i2} di eguale ampiezza è dato da:

$$C(r)_{1,2}/\text{varianza} = S_u/Nu = (S_i/N_i)^2 \sqrt{4 R C (F2-F1)} \quad 4.3)$$

La formula esprime il valore di S_u/Nu come rapporto tra la V_{cc} del segnale $S_u=C(r)_{1,2}$ e la V_{eff} del disturbo Nu ; la formula è valida soltanto per piccoli valori di S_i/N_i fermi restando i presupposti già indicati ai precedenti punti.

La possibilità di calcolare il rapporto S_u/Nu all'uscita di un correlatore è di importanza fondamentale, perchè consente di definire con più completezza le prestazioni di questi dispositivi per applicazioni inerenti alla rivelazione dei segnali mascherati dal disturbo. Molte volte infatti, in diverse applicazioni tecniche, i segnali $f1(t)$ ed $f2(t)$ sono inquinati da disturbi dovuti a diverse cause; l'applicazione della 4.3) permette di prevedere il risultato finale della correlazione chiarendo all'operatore il quadro del fenomeno da indagare.

4.2.2 OSSERVAZIONI APPLICATIVE SUL RUMORE NEI CORRELATORI ANALOGICI

La correlazione a moltiplicazione analogica, pur consentendo, come vedremo, un piccolo vantaggio nel rapporto S_u/N_u rispetto alla correlazione digitale, non è stata molto impiegata nel passato a causa delle complicazioni di carattere circuitale incontrate nella realizzazione dei moltiplicatori richiedevano; oggi il problema è meno sentito data la disponibilità di ottimi circuiti integrati per eseguire la moltiplicazione delle grandezze.

Dato comunque che, salvo in casi particolari, si preferisce al correlatore analogico il correlatore digitale non svilupperemo in questo paragrafo le osservazioni applicative sul rumore, dedicando questa area di notevole interesse tecnico ai correlatori digitali.

Per il lettore interessato a questo particolare aspetto sulla correlazione analogica si consiglia la lettura del Rif.bibliografico n.19.

4.3 L'EFFETTO DEL DISTURBO NEI CORRELATORI DIGITALI

4.3.1 DEFINIZIONE DELLE FORMULE

Le formule che ci accingiamo a proporre completano la conoscenza delle prestazioni di questo tipo di dispositivi per l'impiego nella rivelazione dei segnali inquinati dal disturbo.

Anche in questo caso, per l'esame dell'effetto del disturbo nei correlatori digitali, è indispensabile riproporre in forma non normalizzata una formula, già mostrata nel capitolo 1, in modo che in essa compaiano quelle variabili che ne consentono la valutazione quantitativa in presenza dei rumori perturbanti. Il segnale in uscita dal traslatore di livello del correlatore digitale (funzione di correlazione incrociata $C(r)_{x1,2}$) in presenza di segnali $f_1(t)$ e $f_2(t)$, correlati per $r=0$, di ampiezza S_i all'ingresso dei limitatori, e di due disturbi scorrelati N_{i1} ed N_{i2} di eguale ampiezza N_i con $C(r)_{x1,2} = S_{ux}$, è dato da :

$$S_{ux} = \frac{Val.}{3.14} \text{Arcsen} \left\{ \frac{1}{\sqrt{1 + (N_i/S_i)^2}} \left[\frac{\text{Sen}(6.28 DF r)}{(6.28 DF r)} \text{Cos}(6.28 Fo r) \right] \right\} \quad (4.4)$$

In questa formula i segnali di rumore di ingresso si intendono definiti nella banda di frequenze compresa tra F1 e F2 ,hanno caratteristiche di stazionarietà e di uniforme distribuzione spettrale e sono espressi in Volt efficaci.

Il livello di uscita $S_{ux} = C(r) \times 1,2$ è espresso in Vcc ed è dipendente oltre che da r dal rapporto Si/Ni e dalla tensione continua Val. che alimenta l'EXCLUSIVE-NOR.

Nella 4.4) si nota la presenza tanto di Si che di Ni che incide su Sux soltanto come rapporto Ni/Si; infatti se si pone $N_i = 0$ il rapporto si annulla e la presenza di Si non incide sull'ampiezza di Sux dato che le variazioni d'ampiezza di Si sono rese nulle dalla limitazione che trasforma le f(t) in X(t).

Vediamo ora come si esprime il valore della varianza della $C(r) \times 1,2$ in presenza di rumori inquinanti di ingresso.

Il rumore all'uscita dal traslatore di livello del correlatore (varianza) in presenza di due rumori di ingresso ai limitatori Ni1 , Ni2, di livello Ni, scorrelati tra loro è dato da :

$$N_{ux} = \frac{Val.}{3.14 \sqrt{(6/7) 4 R C (F2-F1)}} \quad (4.5)$$

questa formula è valida se i rumori di ingresso sono definiti nella banda di frequenze compresa tra F2 e F1 , hanno caratteristiche di stazionarietà e di uniforme distribuzione spettrale.

Il livello di rumore di uscita Nux è espresso in Veff e la sua ampiezza dipende dalla banda di ingresso, da Ft e dalla tensione continua Val.

Nella 4.5) si nota l'assenza dell'ampiezza Ni delle tensioni di rumore di ingresso; ciò è dovuto al fatto che le X(t), derivate dalle f(t) per es-

sere elaborate dal correlatore digitale, hanno ampiezza costante per effetto dei limitatori e quindi N_{ux} non risente delle variazioni d'ampiezza dei segnali o dei rumori di ingresso.

La varianza infatti dipende soltanto dalla larghezza di banda in cui sono definiti tanto i segnali che i disturbi.

Il valore di N_{ux} , dato nella formula, non esprime la componente continua di $C(r)_{x1,2}$, attorno alla quale è piazzata la sua varianza, ma il valore efficace della varianza stessa così come potrebbe essere misurato con un voltmetro elettronico in corrente alternata.

Nel caso specifico del correlatore digitale è interessante, come avremo modo di vedere in seguito, anche la $C(r)_{x1,2}$ calcolata in presenza contemporanea dei segnali e dei disturbi per $r = 0$.

Il segnale all'uscita del correlatore in presenza di due segnali S_i di ingresso ai limitatori, correlati tra loro, (per $r=0$) e dei disturbi N_{i1} e N_{i2} scorrelati tra loro è dato da :

$$S_{ux} = C(0)_{x1,2} = \frac{Val.}{3.14} \text{Arcsen} \left\{ \frac{1}{1+(N_i/S_i)^2} \right\} \quad 4.6)$$

In questa formula i segnali correlati S_i di ingresso ed i rumori scorrelati sono tutti definiti nella stessa banda di frequenze con le caratteristiche già indicate ai punti precedenti.

Il valore del segnale di uscita $S_{ux} = C(0)_{x1,2}$, è espresso in V_{cc} . ed è dipendente oltre che da $Val.$ anche dal rapporto S_i/N_i .

Anche nella 4.6) S_{ux} dipende soltanto dal rapporto N_i/S_i e per $N_i = 0$ non dipende più dall'ampiezza di S_i .

Come ultimo passo di questa analisi definiamo il rapporto tra la $C(r)_{x1,2}$ (per $r=0$) e la varianza all'uscita del correlatore digitale.

Il rapporto segnale/disturbo all'uscita del correlatore, S_{ux}/N_{ux} , in presenza di due segnali di ingresso $f_1(t)$ e $f_2(t)$, correlati, di livello S_i e di due disturbi scorrelati che inquinano i segnali, N_{i1} e N_{i2} di eguale livello N_i è dato da:

$$S_{ux}/N_{ux} = (S_i/N_i)^2 \sqrt{(6/7) 4 R C (F_2-F_1)} \quad 4.7)$$

La formula esprime il valore di (S_{ux}/N_{ux}) come rapporto tra la V_{cc} del segnale S_{ux} e la V_{eff} del disturbo N_{ux} ; la formula è valida per piccoli valori di tensione S_i/N_i fermi restando i presupposti già indicati ai precedenti punti.

4.3.2 OSSERVAZIONI APPLICATIVE SUL RUMORE NEI CORRELATORI DIGITALI

A questo punto è utile soffermarsi su alcune osservazioni di carattere applicativo che aiutano a meglio comprendere le prestazioni che i metodi di correlazione digitale sono in grado di assicurare nelle applicazioni per la discriminazione del segnale in mezzo al rumore.

4.3.2.1 Considerazioni per S_{ux} con $N_i=0$

La funzione di S_{ux} esplicitata nella 4.4) del paragrafo 4.3.1 merita alcune considerazioni:

a) la formula indicata per S_{ux} è stata ricavata analiticamente ipotizzando un tempo di integrazione infinito, pertanto con i valori finiti della costante di tempo RC all'uscita del correlatore ,anche per $N_i=0$ ed $r=0$ è sempre presente una piccola varianza sovrapposta alla tensione continua S_{ux} che non è evidenziata nella formula.

Questa varianza aumenta mano a mano che cresce il valore di r ed aumenta la scorrelazione tra i due segnali di ingresso, fino a raggiungere il valore indicato nella formula 4.5) quando i due segnali ormai altro non sono che due rumori scorrelati tra loro.

b) La tensione S_{ux} che è proporzionale a V_{al} , presenta una cuspidè per $r=0$ dato che la funzione che la definisce (caratteristica di un correlatore digitale) è un arcoseno; basta però la presenza di un pò di rumore scorrelato ai due ingressi del correlatore perchè il profilo della

$C(r)x_{1,2}$ si modifichi come quello della funzione coseno.
Quanto sopra è chiaramente mostrato in figura 4.1 .

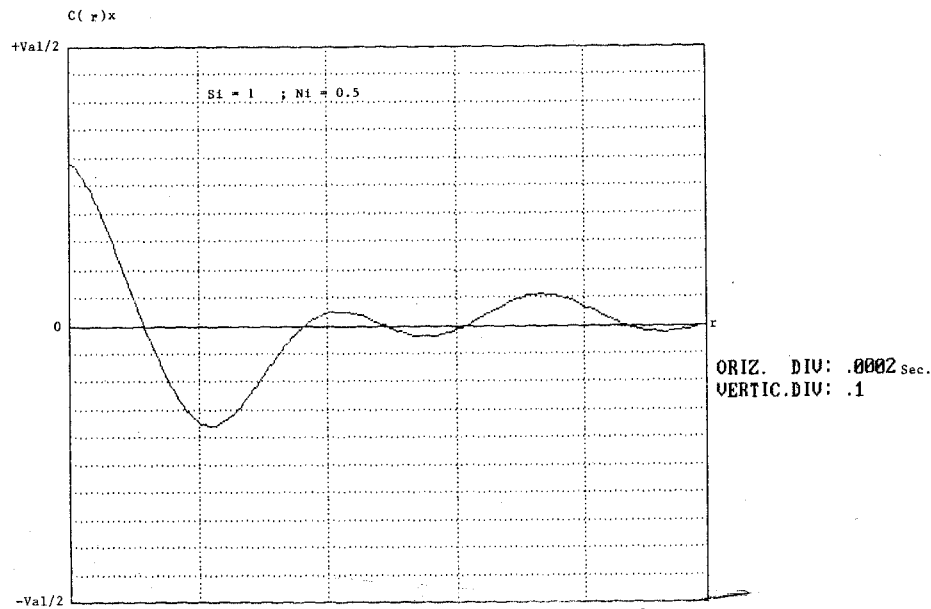
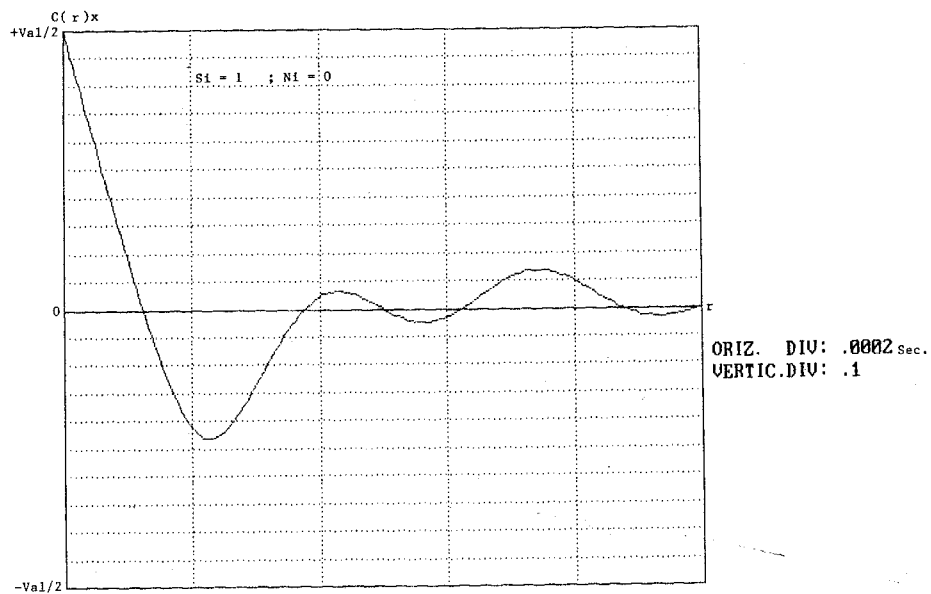


Figura 4.1 Modificazioni della $C(r)x_{1,2}$ in presenza di Ni

Dalla figura si osserva:

nella curva superiore l'andamento di $C(r)_{x1,2}$ di cui alla formula 4.4) ,
con $F1 = 1000$ Hz ed $F2 = 3000$ Hz e $Ni1$ ed $Ni2 = 0$;

nella curva inferiore l'andamento di $C(r)_{x1,2}$ di cui alla formula 4.4)
con $F1 = 1000$ Hz ed $F2 = 3000$ Hz e $Si/Ni = + 6$ dB, la curva mostra, oltre la trasformazione della cuspidè, anche una sensibile riduzione di ampiezza dovuta alla presenza dei disturbi che inquinano i segnali.

4.3.2.2 Considerazioni per Nux

La formula di Nux, riportata nella 4.5) del paragrafo 4.3.1, consente di calcolare il valore efficace della varianza all'uscita del correlatore quando sono presenti soltanto i rumori scorrelati di ingresso. La formula si presta alle seguenti considerazioni:

a) Si osserva che il valore della varianza (Nux) è proporzionale a Val. e non dipende dall'ampiezza di $Ni1$ ed $Ni2$, come abbiamo già in precedenza evidenziato, dato che i segnali ed i rumori all'ingresso, essendo a due stati, forniscono sempre livelli costanti d'uscita.

b) L'ampiezza della varianza dipende dalla larghezza di banda del rumore e decresce con l'aumentare di questa; dipende inoltre dal valore della costante di tempo di integrazione d'uscita e decresce con l'aumentare di RC.

c) E' interessante valutare il valore della varianza in un caso pratico per rendersi conto dell'entità delle grandezze in gioco:

Supposto $(F2-F1) = 3000$ Hz , $RC = 1$ Sec. Val. = 15 Vcc si ha:

$$Nux = \frac{15}{3.14 \times \sqrt{(6/7) \times 4 \times 1 \times 3000}} \cong 47 \text{ mV eff}$$

Il valore della varianza così calcolato non è facilmente misurabile sperimentalmente su di un correlatore, dato che la frequenza di taglio F_t del gruppo RC, con costante di tempo fissata ad 1 Sec., è 0.159 Hz e quasi tutta l'energia della varianza è distribuita tra zero e 0.159 Hz, mentre con un buon voltmetro elettronico in corrente alternata si possono fare soltanto misure a partire dalla frequenza di circa 5 Hz in su.

Pertanto, se nel caso in esame, si desidera controllare la regolare risposta del correlatore al rumore scorrelato è necessario modificare, al solo scopo di misura, la costante di tempo ad $1/100$ del valore utile in modo tale che la frequenza di taglio F_t della cellula RC si porti a 15.9 Hz e sia possibile la misura della varianza che, in tal caso, risulterà 10 volte quella calcolata in precedenza ($47\text{mVeff} \times 10 = 470\text{ mVeff}$); se la misura sarà probante si potrà ripristinare il valore di RC originale certi che la varianza aspettata sarà quella calcolata.

4.3.2.3 Considerazioni per Sux con Ni diverso da zero

L'espressione di Sux quando i rumori perturbanti di ingresso sono diversi da zero è mostrata nella 4.4) del paragrafo 4.3.1.; anche per questa funzione, proporzionale a Val, alcune considerazioni devono essere fatte:

- a) Se i segnali S_i di ingresso sono molto più elevati dei disturbi N_i , i segnali stessi riducono l'azione dei disturbi che non riescono ad alterare sensibilmente i passaggi per gli zeri delle tensioni del segnale nei circuiti di limitazione; il risultato è un elevato valore di Sux ed una piccola varianza N_{ux} .
- b) Se i segnali S_i di ingresso sono molto più piccoli dei disturbi N_i sono i disturbi stessi a prevalere, con la conseguente generazione di una elevata varianza N_{ux} d'uscita che al limite, per $S_i/N_i = 0$, è data dalla formula 4.5) del paragrafo 4.3.1.
- c) Per tutti i valori di S_i/N_i compresi tra infinito e zero la Sux, per $r=0$, varia la sua ampiezza seguendo la legge matematica riportata nella 4.6)

del paragrafo 4.3.1.; i risultati dei lavori sperimentali hanno mostrato più volte che la legge è sempre verificabile e che si può risalire con buona precisione al rapporto S_i/N_i di ingresso ai limitatori del correlatore una volta misurata la S_{ux} , applicando semplicemente la formula inversa.

La determinazione indiretta del rapporto S_i/N_i è più facilmente eseguibile se si dispongono adatte costanti di tempo RC tali da ridurre la varianza all'uscita del correlatore quando si devono misurare piccoli valori di S_{ux} ; è opportuno infatti, per eseguire una buona misura, che la varianza sia almeno 1/10 del valore del segnale $C(r) \times 1,2$ che si vuole rilevare. Questa interessante caratteristica dei correlatori digitali è utile in molte applicazioni quando sia necessario determinare il rapporto tra il segnale e il disturbo per scopi di misura. L'andamento della 4.6) è riportato nel grafico di figura 4.2 per $r=0$ e S_i/N_i variabile espresso in dB.

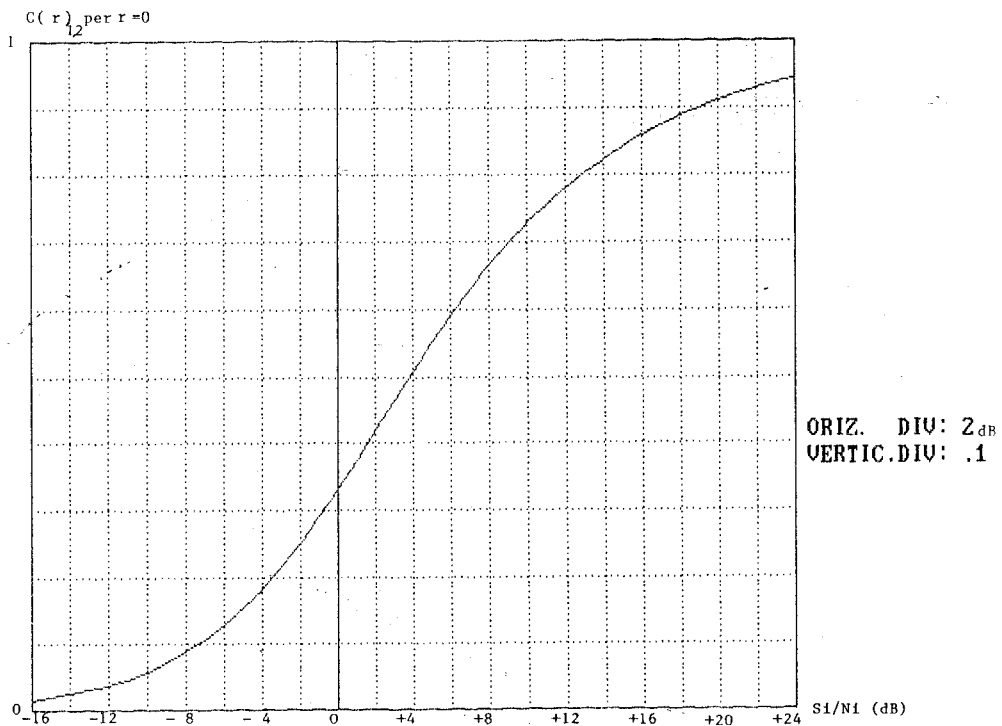


Figura 4.2 $C(r) \times 1,2$ in funzione di S_i/N_i in dB

Il grafico mostra come passare dal valore della $C(r)_{x1,2}$, rilevata dal correlatore, al corrispondente rapporto S_i/N_i , in dB, di ingresso ai limitatori; i segnali inquinati dal disturbo possono essere prelevati da qualsivoglia dispositivo fisico in fase di controllo in forma di $f(t)$.

4.3.2.4 Considerazioni per S_{ux}/N_{ux}

Concludiamo questa serie di osservazioni con le ultime importanti considerazioni sulla formula 4.7) del paragrafo 4.3.1 che indica come varia il rapporto segnale/disturbo all'uscita di un correlatore digitale in dipendenza dei diversi parametri che in essa compaiono.

a) Nella formula compare il rapporto $6/7$ che è indicativo del peggioramento del rapporto S_{ux}/N_{ux} in un correlatore digitale rispetto ad un correlatore analogico; il rapporto $6/7$ infatti, che non compare nella formula di un correlatore analogico, vedi 4.3) del paragrafo 4.2, dà un peggioramento di circa 0.7 dB per il correlatore digitale. La perdita di guadagno è molto modesta rispetto agli indubbi vantaggi derivanti dalle semplici tecnologie adottate.

b) I valori S_{ux}/N_{ux} calcolati con la formula citata sono indipendenti dalla Val e sono legati invece alla larghezza di banda dei segnali, alla costante di tempo di integrazione RC e al rapporto S_i/N_i tra le tensioni efficaci dei segnali e dei disturbi di ingresso ai limitatori.

c) Il rapporto S_{ux}/N_{ux} , come vedremo in seguito, ricorre nell'applicazione di una interessante teoria che consente il calcolo delle probabilità di scoperta dei segnali S_i in mezzo ai disturbi N_i quando il correlatore digitale è utilizzato per la discriminazione dei segnali stessi.

La misura di S_{ux}/N_{ux} presenta le stesse difficoltà indicate nel paragrafo 4.3.2.2 per il rilievo del valore della varianza N_{ux} ; una volta controllato il funzionamento del correlatore, così come indicato nel capitolo 3, ed avuto esito positivo è più ragionevole procedere al calcolo di S_{ux}/N_{ux} che non tentarne la misura.

4.4 COMPORTAMENTO DEL CORRELATORE DIGITALE AI MINIMI SEGNALI

Esaminiamo il comportamento del correlatore ai minimi segnali con un esempio :

Consideriamo un correlatore digitale eccitato con due rumori scorrelati all'ingresso dei limitatori, N_{i1} e N_{i2} , avremo all'uscita del traslatore di livello una componente continua nulla attorno alla quale sarà piazzata la varianza N_{ux} , il cui picco è ipotizzato in questo esempio dell'ordine di $\pm 1/200$ di Val ; se supponiamo il valore di $Val = 5 V_{cc}$ il valore picco picco della varianza sarà : $\pm (1/200) \times 5V = \pm 25 mV$

Un dispositivo con queste caratteristiche consentirebbe di rivelare la presenza di due segnali correlati S_i , in mezzo al rumore, che provocassero una $C(r)_{x1,2}$ tale da farla emergere dai picchi negativi della varianza.

Una $C(r)_{x1,2}$ con questo livello dovrebbe essere almeno di $50 mV_{cc}$, si da superare nettamente i picchi negativi della varianza di $25 mV_{cc}$, evidenziando sempre la sua presenza sui picchi del rumore d'uscita.

Richiamando ora la formula 4.6) del paragrafo 4.3.1 possiamo scrivere:

$$C(0)_{x1,2} = S_{ux} = (Val./3.14) \text{ Arcsen} \left[\frac{1}{1+(N_i/S_i)^2} \right]$$

che risolta per determinare S_i/N_i in dB diventa :

$$(S_i/N_i)_{dB} = 20 \log \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\text{Sen}[3.14 C(0)_{x1,2} / Val.]} - 1}} \quad (4.8)$$

se in essa sostituiamo i valori numerici sopra determinati si ha:

$$(S_i/N_i)_{dB} = 20 \log \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\text{Sen}[3.14 \times 50 \text{ mV}/5\text{V}]^{-1}}}} = -15 \text{ db}$$

Risulta pertanto che il correlatore digitale, in questo esempio, consente di rivelare segnali S_i tra loro interdipendenti a -15 dB sotto il livello dei rumori scorrelati N_{i1} ed N_{i2} . Questa caratteristica del correlatore è tra le più importanti che il dispositivo è in grado di offrire.

Se il correlatore non è messo a punto correttamente la possibilità di discriminare il segnale sarà tanto minore quanto più sarà elevato il fuori zero del traslatore di livello del correlatore stesso, o di quant'altro pro-vochi irregolari fuori zero.

4.5 COMPORTAMENTO DEL CORRELATORE DIGITALE ALLE INTERFERENZE

Nei paragrafi precedenti abbiamo esaminato il comportamento del correlatore digitale nei casi classici di funzionamento, la pratica però porta di sovente a delle condizioni diverse che alterano i risultati finali; infatti le $f(t)$ sono applicate al correlatore tramite dei circuiti di limitazione e la presenza di questi è fonte di interferenze indotte a causa degli elevati guadagni degli stadi di limitazione stessi.

Purtroppo le interferenze sono dovute, il più delle volte, ad un unico segnale che si accoppia con gli ingressi dei limitatori producendo segnali correlati e correlabili su tutta la banda a cui rispondono tanto i limitatori che gli EXCLUSIVE-NOR finali indipendentemente dalla larghezza di banda dei segnali che è fisicamente piazzata nei circuiti che precedono i limitatori.

Questo tipo di interferenza indotta fa sì che anche con $S_i=0$, in presenza di soli disturbi scorrelati di ingresso N_i , si abbia una componente continua spuria di "Sux", la cui ampiezza segue le stesse leggi in precedenza scritte e che compare come un segnale d'uscita non desiderato,

la cui ampiezza dipende dal rapporto tra N_i (definito tra F_1 ed F_2) e l'interferenza definita in una banda molto più ampia. Si vede perciò all'uscita del correlatore uno pseudo-segnale " $C(r) \times 1,2$ " che a volte può mascherare il segnale vero quando quest'ultimo è dovuto ad un valore di S_i molto piccolo.

E' possibile stabilire se un correlatore lavora in condizioni di interferenze interne nel seguente modo:

- a) Si applicano ai limitatori i soli disturbi scorrelati N_{i1} e N_{i2}
- b) Si regolano le ampiezze di N_{i1} e N_{i2} al minimo livello possibile compatibile con il regolare impegno dei limitatori.
- c) Si dispone in uscita del correlatore un gruppo RC calcolato per avere una varianza di ampiezza $1/10$ rispetto al minimo segnale S_{ux} (vero) che si desidera discriminare in funzionamento normale.
- d) Si controlla l'accurata taratura del traslatore di livello.
- e) Si misura la tensione di uscita su RC; il valore non deve scostarsi da zero più di $1/10$ della tensione di S_{ux} (vero). Se il valore misurato è diverso da quanto stabilito significa che è presente una interferenza che deve essere individuata e successivamente eliminata.

4.6 DEFINIZIONE E MISURA DEL DIFFERENZIALE DI RICONOSCIMENTO NEI CORRELATORI DIGITALI

4.6.1. DEFINIZIONE DELLA DIZIONE DIFFERENZIALE DI RICONOSCIMENTO

La capacità di un dispositivo rivelatore di scoprire un segnale coperto dal disturbo va sotto la dizione di "Differenziale di Riconoscimento".

Questo termine viene comunemente impiegato anche per definire la

bontà di un correlatore delegato alla scoperta di segnali in mezzo ai disturbi.

Il differenziale di riconoscimento è infatti il minimo rapporto S_i/N_i , all'ingresso dei limitatori che precedono il correlatore, che consente di rivelare la presenza dei segnali S_i , mediante la comparsa di $C(r)_{x1,2}$, per una percentuale K del tempo di osservazione, dando per scontato che la varianza, per una percentuale Z del tempo di osservazione, possa ingannare l'osservatore mostrando la presenza di un segnale che invece non c'è.

Il differenziale di riconoscimento è espresso pertanto mediante una terna di grandezze che sono tra loro dipendenti in base ad una nota teoria sul trattamento dei segnali.

Dato lo scopo che si prefigge questo lavoro non andremo ad enunciare la teoria (vedi Rif. bibliografico n.8), ma ci limiteremo a mostrarne le interessanti applicazioni nel campo della correlazione applicata alla rivelazione dei segnali mascherati dal disturbo.

Ciò premesso vediamo quali sono le grandezze che definiscono il differenziale di riconoscimento per un correlatore digitale:

- La prima grandezza è rappresentata dal rapporto tra le tensioni S_i/N_i , all'ingresso dei limitatori del correlatore definite nella banda di lavoro predisposta.

- La seconda grandezza è rappresentata dalla percentuale delle probabilità che, con un dato rapporto S_i/N_i , si possa discriminare la $C(r)_{x1,2}$ in mezzo alla varianza; questa grandezza è definita come "Probabilità di rivelazione" ($P.riv$).

- La terza grandezza è rappresentata dalla percentuale della probabilità che, a causa della varianza, si possa avere indicazione di presenza di $C(r)_{x1,2}$ quando in effetti la $C(r)_{x1,2}$ non è presente; questa grandezza è definita come "Probabilità di falso allarme" ($P.fa$).

La dipendenza reciproca delle tre grandezze è fornita da una famiglia di curve (curve ROC) che sono riportate in figura 4.3).

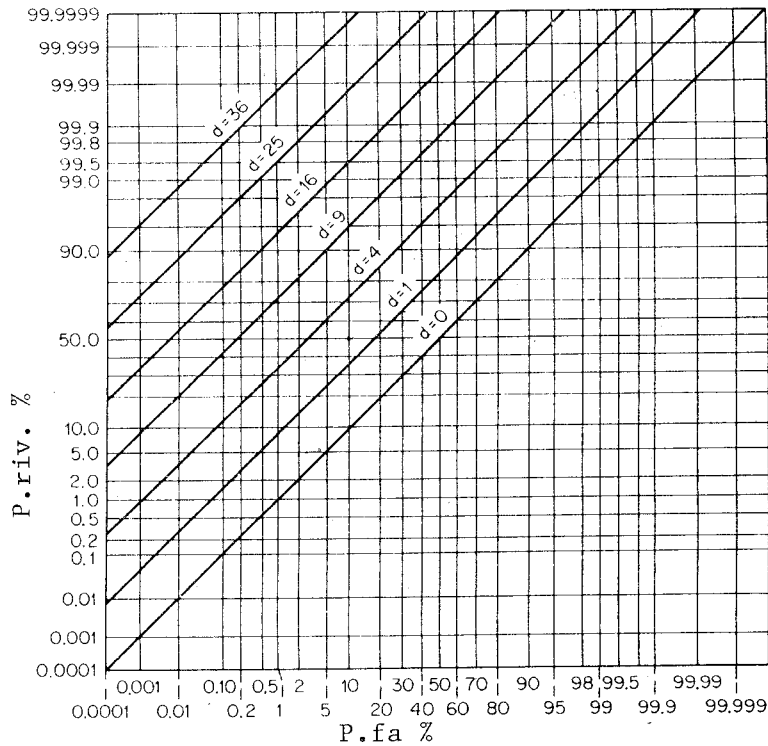


Figura 4.3 Curve ROC

Nella figura compaiono in ascisse i valori della P.f.a in % ; in ordinate i valori della P.riv. in % e come parametro della famiglia di curve la grandezza (d) che come vedremo è dipendente dal rapporto Si/Ni all'ingresso del correlatore, dalla banda di ingresso e dalla costante di tempo dell'integratore.

Nel caso che ci interessa, cioè per un correlatore digitale, la relazione tra (d) e Si/Ni è con buona approssimazione la seguente:

$$d \cong 2(F2-F1) R C (Si/Ni)^4 \quad 4.9)$$

dove (F2- F1) è la banda in cui sono definiti i segnali e i disturbi di ingresso ai limitatori, RC è la costante di tempo dell'unità integratore a cui corrisponde la $Ft = 1/6.28 RC$, Si è il valore efficace dei segnali al-

l'ingresso dei limitatori ed N_i è il valore efficace dei rumori all'ingresso dei limitatori.

La 4.9) mostra che (d) ha le dimensioni del quadrato di S_{ux}/N_{ux} .

4.6.2 SULLA MISURA DEL DIFFERENZIALE DI RICONOSCIMENTO

4.6.2.1 Premessa

Sono descritti in questo paragrafo i metodi di calcolo e i risultati relativi alla misura del differenziale di riconoscimento in un sistema di correlazione digitale.

Le misure sono state eseguite in laboratorio con segnali e disturbi stazionari di ingresso.

Sono riportate inoltre alcune osservazioni in merito alle misure del differenziale di riconoscimento da eseguire su correlatori in condizioni diverse da quelle indicate nel testo.

4.6.2.2 Impostazione del problema

La misura del differenziale di riconoscimento di un correlatore presuppone un minimo di impostazione numerica in vista dei risultati che si vogliono ottenere. In base alla definizione stessa di differenziale di riconoscimento, che lo indica come il rapporto S_i/N_i all'ingresso del limitatore che precede il correlatore per avere una $P.riv. = K \%$ con una $P.fa. = Z \%$ si potrebbe calcolare il valore di S_i/N_i che deve soddisfare alle condizioni sopra indicate per poter poi procedere alla sua verifica sperimentale; risulta invece più significativo calcolare come deve variare la $P.riv.$ in funzione del rapporto S_i/N_i mantenendo la $P.fa. = Z \%$ costante. In questo modo si ottiene una curva teorica attorno alla quale si possono posizionare i vari dati rilevati sperimentalmente, fra i quali è compreso anche il valore della $P.riv.$ voluto in modo che si possa valutare nell'insieme l'andamento di tutti i dati rilevati e giudicare sull'attendibilità delle misure effettuate.

4.6.2.3 Calcolo dei parametri significativi

Iniziamo con lo stabilire il campo di variabilità dei diversi parametri che assumiamo per esempio :

- A) Rapporto (Si/Ni)dB delle tensioni all'ingresso dei limitatori del correlatore: da -10 dB a -20 dB
- B) P.fa.: 10 % costante
- C) P.riv.: dal 20 % al 100 %
- D) Banda dei filtri che precedono i limitatori del correlatore:
(F1; F2) = 0 ; 3000 Hz
- E) Costante di tempo di integrazione all'uscita del correlatore:
RC = 1 Sec. (Ft = 0.169 Hz)
- F) Valore del parametro $(d) = 2(F2 - F1) R C (Si/Ni)^4$ dalla 4.9)
- G) Curve ROC riportate in figura 4.3

Con gli elementi sopra riportati è possibile ora calcolare, in funzione di (Si/Ni)dB, il valore (d) e quindi, tramite le curve di figura 4.3, risalire ai valori della P.riv. conseguenti, fissata una P.fa = 10%.

Quanto detto è sintetizzato nella seguente tabella:

Si/Ni (dB)	(d)	P.riv. %
- 10	60	99.99
- 12	24	99.99
- 14	10	95.00
- 15	6	85.00
- 16	4	70.00
- 18	1.5	45.00
- 20	0.6	20.00

I valori della P.riv. così calcolati sono riportati nel grafico di figura 4.4 che servirà da supporto per i valori analoghi ricavati sperimentalmente.

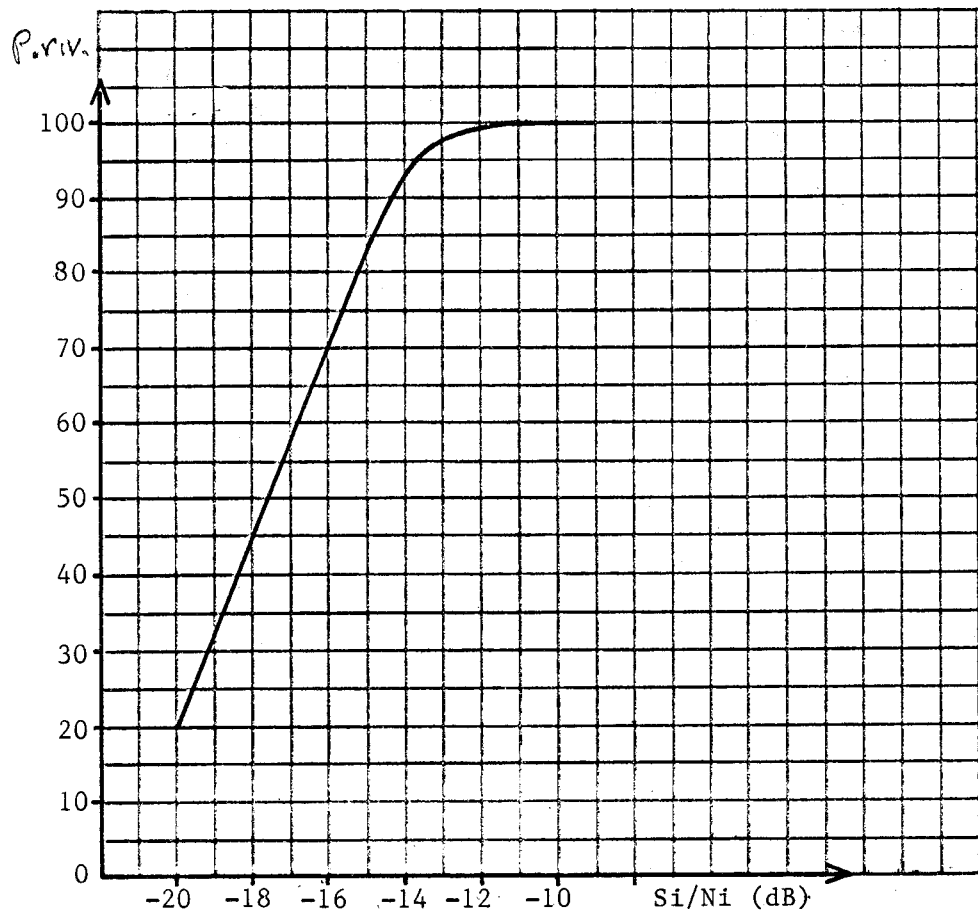


Figura 4.4 P.riv. in funzione di Si/Ni dB

4.6.2.4 Dispositivo sperimentale di misura

I rilievi della P.riv. sono stati condotti utilizzando il dispositivo sperimentale il cui schema a blocchi è riportato in figura 4.5. Nella figura si osservano le seguenti sezioni funzionali:

- A) Generatori di rumore con filtri PB e sommatore
- B) Correlatore digitale in prova

C) Circuito di soglia con AND

D) Generatore degli impulsi di conteggio

E) Sistema per il conteggio degli impulsi

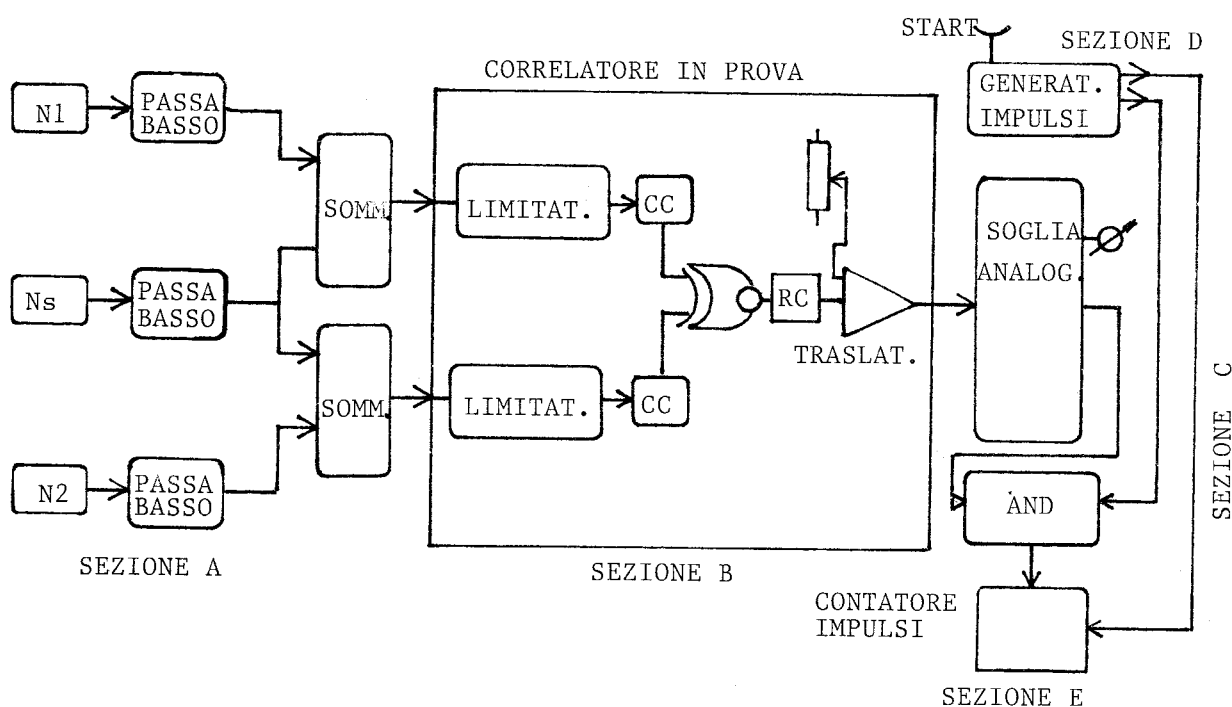


Figura 4.5 Dispositivo per la misura del Differenziale di Riconoscimento di un correlatore digitale

La sezione A) dei generatori di rumore e dei filtri passa basso è formata da un generatore N_s +filtro che simula il segnale nella banda 0-3000 Hz; da due generatori N_1 +filtro ed N_2 +filtro che simulano i disturbi scorrelati nella banda 0-3000 Hz, da due sommatore che consentono di impostare i diversi valori del rapporto S_i/N_i .

La sezione B) del correlatore rappresenta il dispositivo sotto controllo del quale devono essere rilevate le caratteristiche di discriminazione. Il correlatore è del tipo digitale ed è seguito da un gruppo RC, che fissa una costante di tempo di integrazione con $T=1$ Sec, e dal traslatore di livello.

La sezione C) è formata da un dispositivo analogico a soglia variabile, che riceve la tensione d'uscita del correlatore e rende alla propria uscita un livello logico 1 ogni qualvolta la tensione del correlatore supera il valore della soglia impostata; lo stato logico 1 permane per tutto il tempo di superamento della soglia stessa.

La sezione D) è formata da un generatore digitale di impulsi che, a comando esterno, fornisce una sequenza di 20000 impulsi nel tempo di 120 Sec. Gli impulsi del generatore sono moltiplicati tramite la AND della sezione C) con gli stati logici della soglia in modo che all'uscita della AND stessa si hanno impulsi soltanto se il valore della soglia è stato superato dalla tensione di uscita del correlatore.

La sezione E) è costituita da un contatore digitale che inizia il conteggio degli impulsi di uscita della AND in sincronismo con l'emissione del 1° dei 20000 impulsi e termina di contare quando il generatore digitale finisce la propria sequenza.

4.6.2.5 Procedura di misura della P.riv.

A) Predisposizioni

La misura della P.riv. si esegue dopo aver opportunamente predisposto il dispositivo sperimentale secondo le seguenti modalità:

1) Con N_s spento e N_1 , N_2 accesi (con livello d'uscita tale da impegnare i limitatori del correlatore) si regola la soglia C) in modo che, una volta comandato il generatore D) si possano contare in E) circa 2000 impulsi; ciò corrisponde ad una P.fa. del 10 % su 20000 impulsi che rappresentano la totalità degli eventi.

2) Con Ns acceso e N1 , N2 spenti si deve regolare l'ampiezza della tensione generata da Ns in modo che, una volta comandato il generatore D), si possano contare in E) 20000 impulsi che rappresentano una P.riv. = 100 % che deve essere garantita per la presenza dei soli segnali correlati essendo $N1 = 0$ ed $N2 = 0$.

B) Procedura di misura

Una volta predisposta la soglia, come indicato al punto 1) , si accendono Ns,N1,N2 e si regolano le ampiezze delle tensioni generate da N1 ed N2 in modo da realizzare in successione i rapporti (Si/Ni)dB indicati nella tabella del paragrafo 4.6.2.3.

Per ciascun valore di (Si/Ni)dB impostato si fa partire il generatore D) e si rilevano i valori dei corrispondenti conteggi in E).

E' opportuno ripetere la stessa misura almeno 10 volte e mediare i valori rilevati in E).

Dal rapporto della media sui 10 conteggi e i 20000 impulsi disponibili si ricava, per ciascun valore di Si/Ni impostato, la percentuale della P.riv. fornita dal correlatore.

I dati così rilevati sono stati riportati in figura 4.6 utilizzando la curva teorica della P.riv. già mostrata in figura 4.4.

Dall'esame della figura 4.6 si vede che i dati rilevati si avvicinano sensibilmente a quelli calcolati per valori di Si/Ni più elevati, mentre si scostano di più dai teorici per valori più piccoli di Si/Ni; tenendo presente che per piccoli valori di Si/Ni le misure dei livelli in gioco sono sempre difficili i risultati ottenuti sperimentalmente possono considerarsi soddisfacenti.

Interpolando sulla curva dei valori sperimentali misurati, ottenuti impostando una probabilità di falso allarme P.fa.=10%, si ricava ad esempio il valore del rapporto Si/Ni a cui corrisponde una P.riv. = 50% , questo valore di Si/Ni corrisponde, secondo la definizione classica, al differenziale di riconoscimento del correlatore in esame.

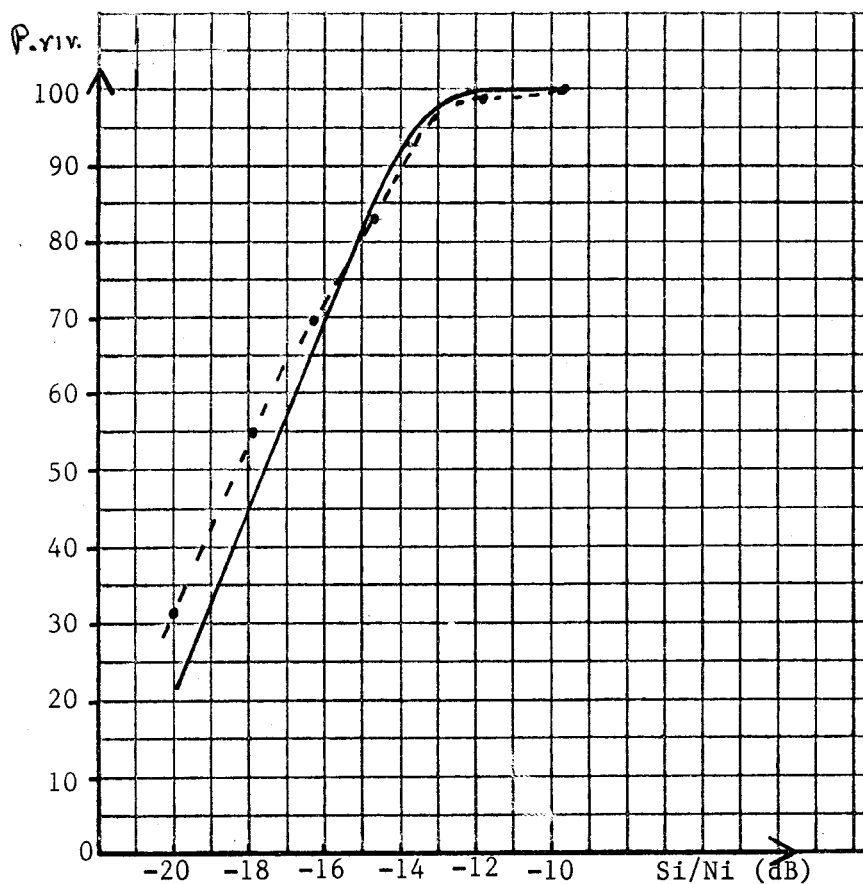


Figura 4.6 Comparazione P.riv misurata con P.riv calcolata

4.6.2.6 Osservazioni sulle misure

Da quanto abbiamo visto risulta evidente che le misure del differenziale di riconoscimento di un correlatore richiedono particolari attenzioni nel rilievo dei rapporti Si/Ni, nella verifica della costanza della P.fa. impostata con la soglia, nella verifica della stazionarietà dei segnali, nella ripetibilità dei conteggi per la determinazione delle medie, nell'impiego dei dispositivi al contorno che possono essere sia hardware che software. Si comprende pertanto che misure di questo tipo eseguite in ambienti non controllati, possono concludersi con deludenti insuccessi. Infatti possiamo ben comprendere ad esempio con quale difficoltà si possa misurare il rapporto Si/Ni in luoghi dove altre attività tecniche siano in corso.

L'errata misura di Si/Ni implicherebbe l'introduzione di sensibili errori di valutazione che si ripercuoterebbero direttamente sulla determinazione finale della P.riv. come si può facilmente verificare dai grafici di figura 4.6 che mostrano come, attorno a valori di $(Si/Ni)_{dB} = -16$ dB, una variazione di Si/Ni di soli 2 dB provochi una corrispondente variazione della P.riv. di circa il 25 % nell'ipotesi che si abbia nel contempo un valore del P.fa. = 10 % costante.