

CAPITOLO 3

CONTROLLO E MESSA A PUNTO DEI CORRELATORI

3.1 GENERALITÀ

I correlatori, sia analogici che digitali, richiedono un accurato controllo e una giusta messa a punto prima dell'impiego nei diversi casi pratici che si possono presentare.

Dato che molte volte le $C(r)$; $C(r)_x$ o $C(r)_{1,2}$; $C(r)_{x1,2}$ non possono essere precalcolate, per scarsa conoscenza delle caratteristiche dei segnali di ingresso, i risultati della misura con un correlatore devono essere assunti come validi anche se non è possibile riportare i valori discreti di $C(r)$; $C(r)_x$; $C(r)_{1,2}$; $C(r)_{x1,2}$ sopra le curve teoriche per avere il conforto che l'insieme delle misure è corretto. E' necessario pertanto che i correlatori vengano controllati dopo la costruzione, e prudentemente anche prima dell'impiego, con segnali standard.

3.2 CONTROLLO DEI CORRELATORI ANALOGICI

Il controllo dei correlatori analogici deve essere eseguito con adatti segnali standard secondo la sequenza sottoindicata:

- A) Controllo per $C(r)_{1,2}=0$
- B) Controllo per $C(r)=1$
- C) Controllo di $C(r)$ a passi, per r variabile da 0 al massimo valore consentito.

3.2.1 CONTROLLO DEI CORRELATORI ANALOGICI PER $C(r)_{1,2}=0$

Questo controllo è indirizzato alla verifica del corretto funzionamento dell'unità di moltiplicazione e dell'unità di integrazione. Il controllo si esegue mediante la misura della funzione di correlazione incro-

ciata tra due segnali standard che definiamo come $N1(t)$ e $N2(t)$. I due segnali standard non sono assolutamente legati da alcuna legge di interdipendenza; dalla correlazione incrociata di essi ci si aspetta pertanto che il correlatore fornisca un'uscita nulla; cioè $C(r)_{1,2}=0$.

I segnali $N1(t)$ e $N2(t)$ non avendo alcun legame tra loro si dicono grandezze "Scorrelate".

La misura di $C(r)_{1,2}$ mostrerà però la presenza di una certa ondulazione attorno allo zero dovuta all'inevitabile varianza provocata dai segnali applicati, l'ondulazione sarà tanto più piccola quanto sarà piccola la Ft dell'integratore.

Dato che per questo tipo di misura è indifferente il valore di r introdotto dall'unità di ritardo e non ne è prevista alcuna variazione si potrà, solo allo scopo di misura, ridurre di molto il valore Ft (aumentando ad esempio la capacità dell'integratore) fino a ridurre l'ondulazione a valori non percettibili; in questo modo si potrà valutare meglio il valore dello zero della $C(r)_{1,2}$.

Per illustrare meglio la misura da eseguire ci serviremo dello schema a blocchi di figura 3.1 :

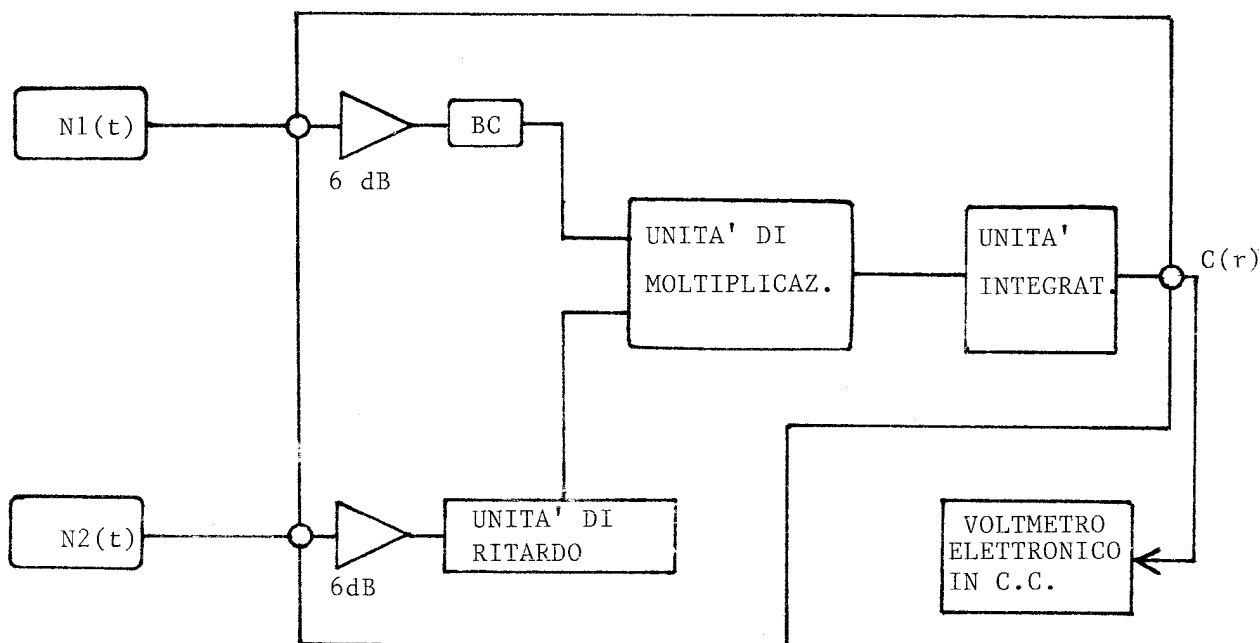


Figura 3.1 Schema di misura per correlatore analogico

Come si vede dalla figura la grandezza $N1(t)$ è applicata all'ingresso del correlatore e all'interno di questo raggiunge, tramite la cellula di compensazione, il moltiplicatore; la grandezza $N2(t)$ è applicata anch'essa all'ingresso del correlatore ma raggiunge il moltiplicatore tramite la catena di ritardo. L'uscita del correlatore è collegata ad un voltmetro elettronico in c.c. per la misura della $C(r)_{1,2=0}$. Valori di fuori zero della $C(r)_{1,2}$ dell'ordine di $\pm 10\text{mV}$ sono accettabili. Valori superiori indicano che l'unità di moltiplicazione o il circuito d'uscita del correlatore hanno qualche anomalia.

3.2.2 SUI SEGNALI $N1(t)$ e $N2(t)$

I segnali $N1(t)$ e $N2(t)$ devono essere generati mediante due dispositivi distinti che producono tensioni ad andamento casuale sia d'ampiezza sia di polarità; tensioni di questo tipo sono dette "tensioni di rumore bianco" perchè il loro spettro è distribuito uniformemente in un ampio campo di frequenze. La realizzazione di questi dispositivi è abbastanza semplice nel campo delle basse frequenze, dato che si basa sull'amplificazione della somma delle potenze di rumore generate in parte in appositi resistori ed in parte dai dispositivi stessi che sono preposti all'amplificazione. Lo schema di un dispositivo di questo tipo è riportato in figura 3.2

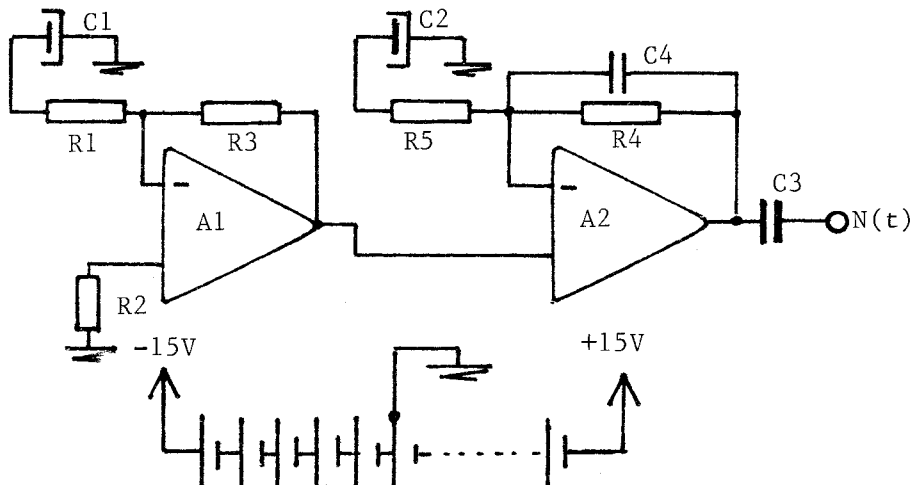


Figura 3.2 Generatore di rumore bianco

La relazione che lega il livello spettrale del rumore generato all'uscita di A1 ai parametri circuitali del primo stadio è la seguente:

$$E_n = \sqrt{(E_{ni})^2 + (I_{ni} R_g)^2 + 1.5 \times 10^{-20} \times R_g} \quad \times \left(\frac{R_1 + R_3}{R_1} \right) \quad 3.1)$$

dove:

(E_{ni}) è la tensione di rumore di ingresso di A1

$(I_{ni} R_g)$ è la tensione di rumore di ingresso dovuta alla corrente di rumore di A1

$1.5 \times 10^{-20} \times R_g$ è la potenza di rumore generata dal complesso delle resistenze R_g .

$$R_g = \frac{R_1 \times R_3}{R_1 + R_3} + R_2$$

dalle relazioni sopra esposte si osserva che se poniamo ad arte $R_2 \gg (R_1 ; R_3)$ il rumore maggiore sarà generato da R_2 .

Infatti per $R_2 = 4 \text{ Mohm}$ (resistore ad impasto) si può scrivere:

$$E_n \cong \sqrt{(E_{ni})^2 + (I_{ni} \times 4000000)^2 + 1.5 \times 10^{-20} \times 4000000} \quad \times \frac{R_1 + R_3}{R_1}$$

Se poi desideriamo che tutto il rumore sia governato da R_2 , in modo da eseguire calcoli più semplici e verificabili, basta scegliere per A1 un operazionale a basso rumore tipo l'OP27 affinché E_n diventi:

$$E_n \cong \sqrt{1.5 \times 10^{-20} \times 4000000} \quad \times \frac{R_1 + R_3}{R_1}$$

se poi scegliamo $R_3 = 100 \text{ Kohm}$ ed $R_1 = 1 \text{ Kohm}$ abbiamo

$$E_n \cong \sqrt{1.5 \times 10^{-20} \times 4000000} \quad \times 100 = 24 \text{ microvolt/Hz}$$

Se fissiamo ora per A2 un guadagno di 46 dB sarà $N(t)=4.8 \text{ mV/Hz}$.

Se infine limitiamo ad esempio la risposta in frequenza dell'ultimo stadio A2 a $F_n = 100 \text{ KHz}$, tramite un opportuno dimensionamento di R_4 e C_4 , $N(t)$ sarà:

$$N(t) \cong 4.8 \text{ mV/Hz} \times \sqrt{100000} \cong 1.5 \text{ Veff.}$$

È indispensabile che il taglio in frequenza operato da R_4 e C_4 sia commisurato con la massima frequenza che la catena del correlatore è in grado di ritardare; dovrà cioè essere sempre verificata la disegualianza:

$$F_n < F_c / 1.54$$

Nel realizzare questi dispositivi si dovrà procedere per unità completamente indipendenti in modo che ciascun generatore di rumore abbia il proprio contenitore meccanico e le proprie batterie di alimentazione; non è consigliabile alimentare questi generatori con tensioni stabilizzate esterne per evitare di creare condizioni di interdipendenza, anche se modeste, tra le grandezze $N_1(t)$ e $N_2(t)$.

3.2.3 CONTROLLO PER $C(r)=1$

Questo controllo è indirizzato alla verifica del corretto funzionamento del moltiplicatore e dell'unità di ritardo ai livelli più elevati della dinamica prevista.

Il controllo si esegue mediante la misura della funzione di autocorrelazione con il segnale standard tipo lo $N(t)$ definito in precedenza che, grazie alle caratteristiche del generatore che lo produce, è in grado di fornire una tensione di rumore a spettro di frequenza sufficientemente ampio.

Il segnale standard è applicato contemporaneamente ai due ingressi del correlatore con l'unità di ritardo disposta per $r=0$.

Il segnale $N(t)$ viene autocorrelato con se stesso e all'uscita del correlatore ci si aspetta pertanto il massimo valore di $C(r)$; questo valore sarà normalizzato ad 1, tenendo in conto del valore efficace del segnale $N(t)$.

Naturalmente se il valore efficace di $N(t)$ varia, varia in corrispondenza anche il valore di riferimento normalizzato. La misura di $C(r)=1$ è poco influenzata dalla varianza, dato che il livello di massima autocorrelazione è elevato e le ondulazioni della varianza stessa non si evidenziano.

Lo schema di misura è simile a quello di figura 3.1, con la differenza che i due ingressi del correlatore sono collegati assieme ad un solo generatore di $N(t)$.

In questo tipo di rilievo la tensione cc. misurata in uscita deve essere comparata a calcolo con il livello atteso in base ai valori di $N(t)$ e della caratteristica di risposta del correlatore.

3.2.4 CONTROLLO DI $C(r)$ A PASSI DI r VARIABILE

Per questo tipo di controllo si sostituisce la grandezza $N(t)$ con la grandezza $f(t) = A \sin Wt$, e con questa si procede alla misura della funzione di autocorrelazione, variando r a passi; i valori che si ricavano, partendo da $r=0$ per giungere poi al massimo ritardo, devono essere normalizzati all'unità per riportarli a punti sopra una funzione di autocorrelazione $C(r) = \cos Wr$ opportunamente calcolata per vedere le corrispondenze tra valori misurati e normalizzati e valori del grafico di confronto. In questo caso le corrispondenze devono essere entro il $\pm 10\%$ dei valori calcolati; deviazioni più elevate possono essere causate sia da malfunzionamenti della catena di ritardo sia dall'unità di moltiplicazione.

Anche in questa misura la varianza d'uscita inciderà poco sul rilievo

dei valori di $C(r)$ ai livelli più elevati; e poiché i dati vengono presi variando r è necessario che il valore di F_t sia quello fissato dal progetto del correlatore.

Per lo schema di misura si può far sempre riferimento alla figura 3.1 dove si dovranno collegare assieme i due ingressi del correlatore per applicare ad essi, mediante un generatore di tensione sinusoidale, la $f(t)$ già menzionata.

Naturalmente il valore della frequenza di $A \sin Wt$ dovrà essere inferiore alla F_c della catena di ritardo del correlatore.

3.3 CONTROLLO DEI CORRELATORI DIGITALI

Il controllo dei correlatori digitali deve essere eseguito con adatti segnali standard nella sequenza sotto indicata:

- A) Taratura e controllo per $C(r)_{x1,2=0}$
- B) Controllo per $C(r)_{x=1}$
- C) Controllo di $C(r)_x$, a passi per r variabile da 0 al massimo valore consentito.

I controlli devono essere eseguiti, nell'ordine indicato, prima senza unità di limitazione e successivamente con i limitatori collegati.

3.3.1 CONTROLLI SENZA LIMITATORI

I controlli senza limitatori hanno lo scopo di verificare il corretto funzionamento del correlatore digitale con segnali logici del tipo $X(t)$.

Questi segnali di controllo non devono essere una trasformazione di tensioni tipo $f(t)$ ma devono essere direttamente generati in forma digitale.

3.3.1.1 Taratura e controllo dei correlatori digitali per $C(r)_{x1,2}=0$

La taratura e il controllo sono indirizzati alla regolazione del traslatore finale ed alla verifica del corretto funzionamento dell'unità di moltiplicazione, dell'integratore e del traslatore stesso.

La taratura e il controllo si eseguono mediante la misura della correlazione incrociata di due particolari segnali $N1(t)_x$ e $N2(t)_x$.

I due segnali sono completamente scorrelati tra loro e da essi ci si aspetta pertanto che il correlatore fornisca, dopo debita regolazione del potenziometro del traslatore, un'uscita nulla; cioè $C(r)_{x1,2}=0$.

Anche in questo caso sarà opportuno aumentare il valore della capacità dell'integratore, per il tempo della misura, in modo da non avere valori elevati della varianza che influenzino i rilievi.

Per illustrare la misura da eseguire ci serviamo dello schema a blocchi di figura 3.3 in cui si nota la mancanza dei limitatori per la trasformazione delle $f(t)$ in $X(t)$, soltanto dopo questi controlli si potranno collegare i limitatori per verificare che la loro presenza non alteri il regolare funzionamento del dispositivo di correlazione.

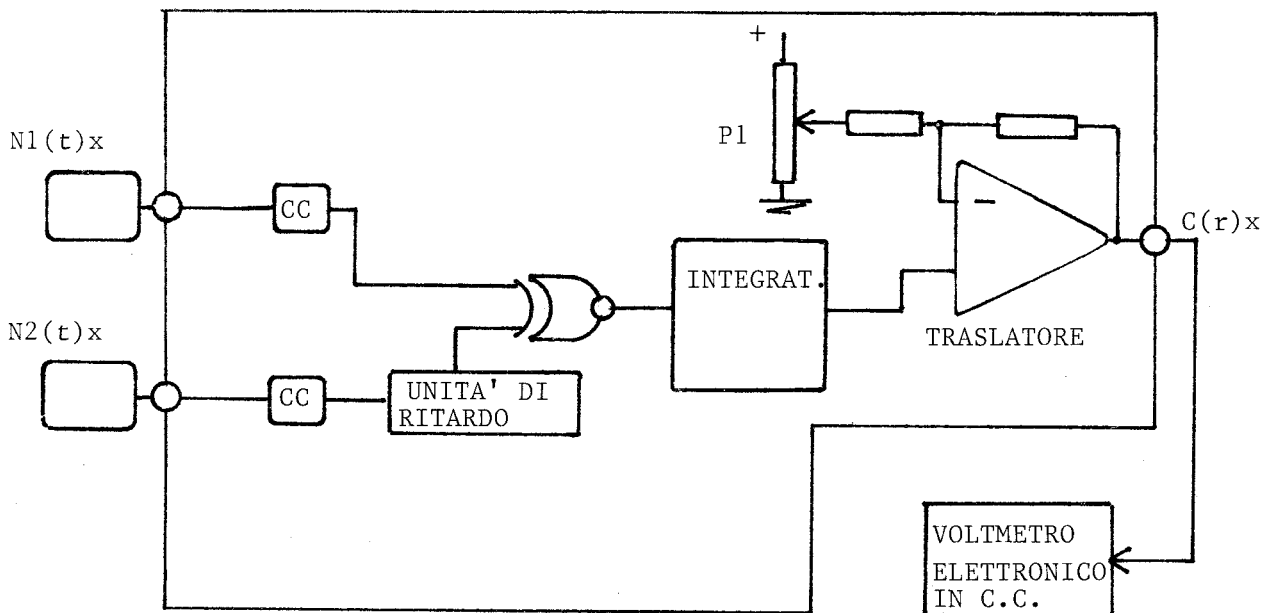


Figura 3.3 Schema di misura per correlatore digitale

Anche in questa misura, come in quella per il correlatore analogico, le due grandezze scorrelate $N1(t)x$ e $N2(t)x$ sono applicate ai due ingressi del correlatore; mediante regolazione di P1 si porta a zero il valore di $C(r)_{1,2}x$ mediante lettura del valore con un voltmetro elettronico in c.c.

In questo caso eventuali errori della media reale che porta alla $C(r)_{1,2}x=0$ possono venire mascherati dalla regolazione di P1 che porta l'uscita a zero anche se per caso non tutte le cose sono perfette. Una ulteriore indicazione del regolare comportamento del correlatore si può avere misurando, oltre che la $C(r)_{1,2}x=0$ all'uscita del traslatore, anche la tensione continua all'uscita dell'integratore che dovrà essere, con buona precisione, pari a $Val./2$.

Le successive operazioni di controllo però sono in grado di evidenziare eventuali malfunzionamenti che in questa fase non si dovessero evidenziare.

E' chiaro che in questo sistema circuitale non ha molto senso stabilire l'entità del fuori zero della $C(r)_{1,2}x=0$ dato che con P1 si possono recuperare tutte le differenze esistenti.

3.3.1.2 Sui segnali $N1(t)x$ e $N2(t)x$

I segnali $N1(t)x$ e $N2(t)x$ devono essere generati mediante due dispositivi distinti che producono tensioni ad ampiezza limitata tra 0 e +5V con tempi di durata casuale ai due livelli. Tensioni di questo tipo si ottengono facilmente con hardware logici che vanno sotto il nome di generatori di rumore pseudocaotico.

Il generatore di rumore pseudocaotico è un dispositivo che genera delle sequenze di segnali, comprese tra livello 0 e livello 1, con tempi di durata dei singoli eventi, nell'ambito della sequenza, che sono distribuiti in modo non casuale; infatti essi si ripetono ad ogni sequenza.

Le caratteristiche di questi circuiti però consentono di realizzare sequenze che si ripetono ad intervalli di tempo molto grandi per cui è

possibile utilizzarli con profitto come se fossero dei generatori di rumore casuale a due stati.

Se la durata delle sequenze è opportunamente dimensionata il correlatore elabora questi segnali pseudocaotici come se fossero veri segnali di rumore a due stati.

Naturalmente per avere completa scorrelazione tra i due generatori pseudocaotici questi devono essere realizzati in due unità completamente separate ciascuna con il proprio contenitore metallico e la propria batteria di alimentazione.

Il circuito base che consente di realizzare questo particolare generatore di rumore è riportato in figura 3.4

(Per dettagli relativi alla teoria di funzionamento di questi particolari dispositivi si veda il Rif. bibliografico n. 7.)

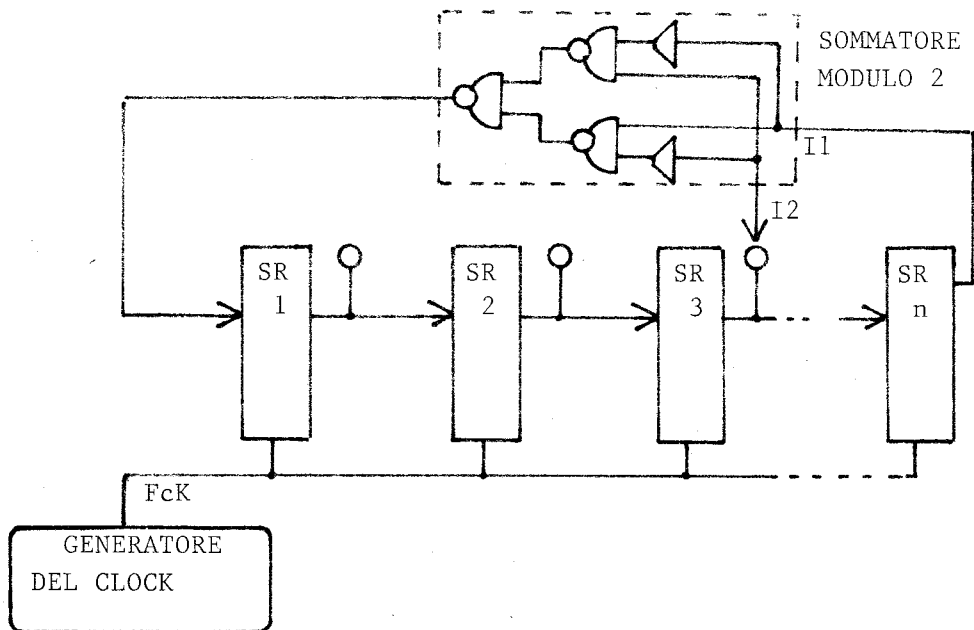


Figura 3.4 Schema di principio del generatore pseudocaotico

Il Generatore di Rumore Pseudocaotico (GRP) di figura 3.4 si può realizzare con SHIFT REGISTER in numero variabile da 3 a 25 secondo lo schema indicato; tutti gli SHIFT REGISTER sono comandati simultaneamente da un generatore di CLOCK alla frequenza F_{CK} .

Il sommatore modulo 2, realizzato in questo schema con logica sparsa, pilota sempre il 1° SR, mentre i due ingressi I1 e I2 devono essere collegati, uno sempre all'uscita dell'ultimo stadio, l'altro ad un punto intermedio della catena degli SR secondo la seguente tabella

(n)	(m)
3	1
4	1
5	2
6	1
7	1; 3
9	4
10	3
11	2
15	1; 4; 7
18	7
20	3
21	2
22	1
23	5; 9
25	3; 7

dove (n) è il numero totale degli SR ed (m) indica su quale uscita di SR della catena deve essere collegata la presa I2.

Il principio teorico del funzionamento del GRP è molto complesso e non è questa la sede per trattare tale argomento; gioverà invece illu-

strare i criteri di sviluppo che ne consentono la pratica realizzazione:

- Affinchè le sequenze ripetitive del GRP siano adatte al controllo dei dispositivi di correlazione è necessario che il numero degli SR sia sensibilmente superiore a 10.

- Se la condizione sopra indicata è verificata la banda di frequenza del segnale d'uscita si estende da poche decine di Hertz fino alla massima frequenza data dalla formula:

$$F_{max} = 0.6 F_c K \quad 3.2)$$

- Il numero degli stati logici N_L nell'ambito della sequenza è dato da:

$$N_L = 2^n - 1 \quad 3.3)$$

- La durata di una sequenza è data da:

$$T = N_L / F_c K \quad 3.4)$$

La realizzazione pratica di un GRP è molto semplice dato che sono disponibili circuiti integrati digitali che contengono 8 o più SR in un unico chip; l'esempio seguente mostra un GRP realizzato con questi dispositivi, vedi figura 3.5.

Il circuito impiega 25 SR di cui 8 sono contenuti nell'integrato CD 4015 e 17 nell'integrato CD 4006; la frequenza del clock è applicata direttamente al CD 4015 e dopo inversione al CD 4006 che richiede per il trasferimento dei dati un impulso di segno opposto rispetto allo SR precedente.

Il CD 4030 – COME EXCLUSIVE – OR esegue la somma logica modulo 2.

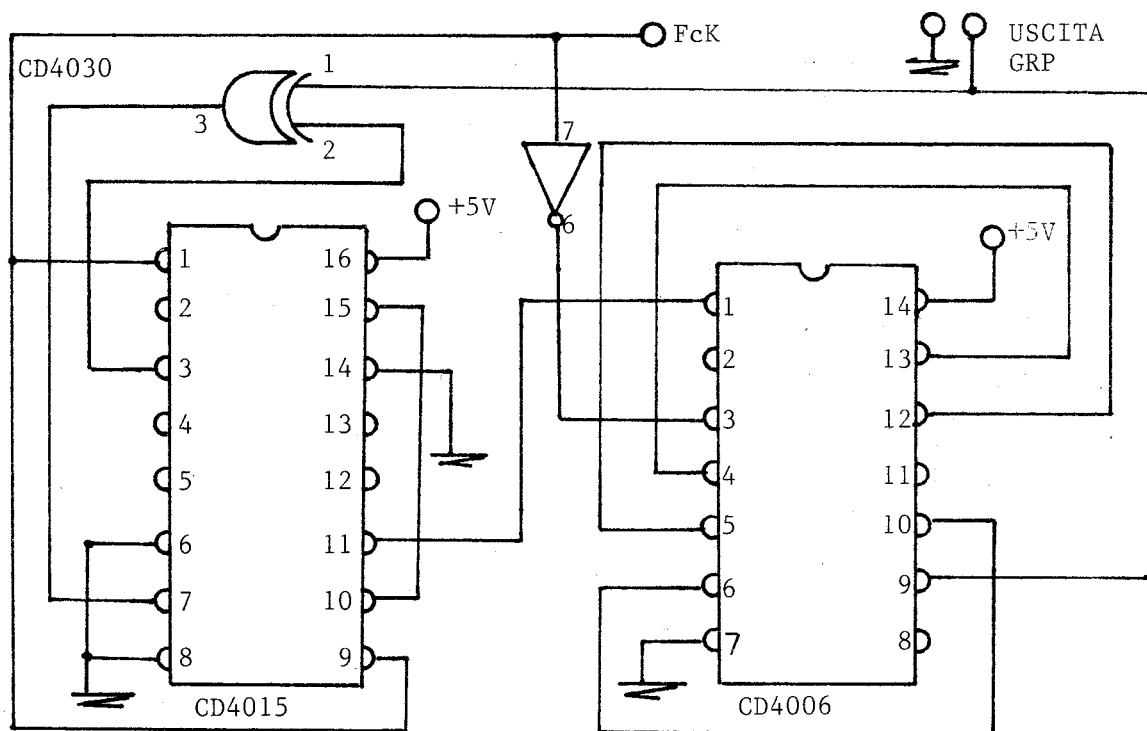


Figura 3.5 Schema elettrico di un GRP

Dal circuito di figura 3.5 con $(n)=25$ ed $(m)=3$ si ottengono le seguenti prestazioni:

- Essendo $(n) \gg 10$ con $FcK=25000$ Hz il limite superiore della banda generata è:

$$F_{\max} = 0.6 \times 25000 = 15000 \text{ Hz}$$

- Il numero delle combinazioni all'interno della sequenza è:

$$N_L = 2^{25} - 1 = 33554431$$

- La durata della sequenza è :

$$T = \frac{33554431}{25000} = 1342 \text{ Sec.}$$

Un circuito di questo tipo può generare rumore pseudocaotico in bande di frequenza molto ampie; la limitazione in questo senso è determinata soltanto dalla velocità massima di commutazione che i circuiti integrati impiegati possono consentire.

3.3.1.3 CONTROLLO PER $C(r)x=1$

Questo controllo è indirizzato alla verifica del corretto funzionamento del moltiplicatore e dell'unità di ritardo.

Il controllo si esegue mediante la misura della funzione di autocorrelazione con il segnale pseudocaotico $N(t)x$ definito in precedenza.

Il segnale $N(t)x$ è applicato contemporaneamente ai due ingressi del correlatore con l'unità di ritardo disposta per $r=0$.

La grandezza $N(t)x$ viene pertanto autocorrelata con se stessa e all'uscita del correlatore ci si aspetta pertanto il massimo valore di $C(r)x$; questo valore sarà normalizzato ad 1, una volta per tutte, dato che l'ampiezza della $C(r)x$ del correlatore digitale non dipende dall'ampiezza dei segnali ad esso applicati ma da Val. (tensione di alimentazione dell'EXCLUSIVE-NOR).

La misura di $C(r)x=1$ è poco influenzata dalla varianza dato che il livello di massima autocorrelazione è elevato e le ondulazioni della varianza stessa non si evidenziano.

Lo schema di misura è simile a quello di figura 3.3 con la differenza che i due ingressi del correlatore digitale sono collegati assieme ad un solo generatore di rumore pseudocaotico $N(t)x$.

3.3.1.4 Controllo per $C(r)x$ a passi per r variabile

Per questo tipo di controllo si sostituisce la grandezza $N(t)x$ con un'onda perfettamente rettangolare prelevata da apposito generatore da laboratorio ; la frequenza di questo segnale deve essere almeno $1/3$ di F_{ck} della catena di ritardo digitale.

Con questo nuovo segnale si procede alla misura della funzione di autocorrelazione, variando r a passi; i valori che si ricavano, partendo da $r=0$ per giungere poi al massimo ritardo, devono essere normalizzati all'unità per riportarli a punti sopra una funzione di autocorrelazione $C(r)=(2/3.14) \text{Arcsen Cos } Wt$ opportunamente calcolata per vedere le corrispondenze tra i valori misurati e normalizzati e i valori del grafico di confronto.

Nel riportare sul grafico i punti dei valori ricavati si dovrà osservare che le rette che li congiungono attraversano i valori zero nell'intorno dei punti previsti; ciò ci dirà che la taratura del traslatore già eseguita in precedenza non ha mascherato alcun inconveniente.

Le corrispondenze tra i valori misurati e normalizzati e le curve calcolate dovranno essere contenute entro tolleranze dell'ordine del $\pm 10\%$; deviazioni più elevate possono essere causate sia da malfunzionamenti dell'unità di moltiplicazione sia della catena di ritardo digitale.

Anche in questa misura la varianza d'uscita inciderà poco sul rilievo dei valori di $C(r)$ agli alti livelli; e dato che i valori vengono presi variando r è necessario che il valore di Ft sia quello fissato dal progetto del correlatore.

Per lo schema di misura si può far sempre riferimento alla figura 3.3 dove si dovranno collegare assieme i due ingressi del correlatore per applicare ad essi, mediante un generatore di onde rettangolari, gli opportuni segnali a due stati.

3.3.2 CONTROLLI CON I LIMITATORI

I controlli del correlatore digitale, di cui ai paragrafi precedenti, devono essere ripetuti applicando agli ingressi i due limitatori che trasformano le $f(t)$ in $X(t)$ ciò allo scopo di verificare che la presenza di questi dispositivi non alteri il regolare funzionamento del correlatore.

Questo tipo di verifica è molto importante quando si debba impie-

gare il correlatore digitale per l'elaborazione dei segnali tipo $f(t)$, cosa molto frequente nelle applicazioni pratiche.

3.3.2.1 Procedura di misura con limitatori

I controlli con i limitatori devono essere eseguiti secondo lo schema di figura 3.6

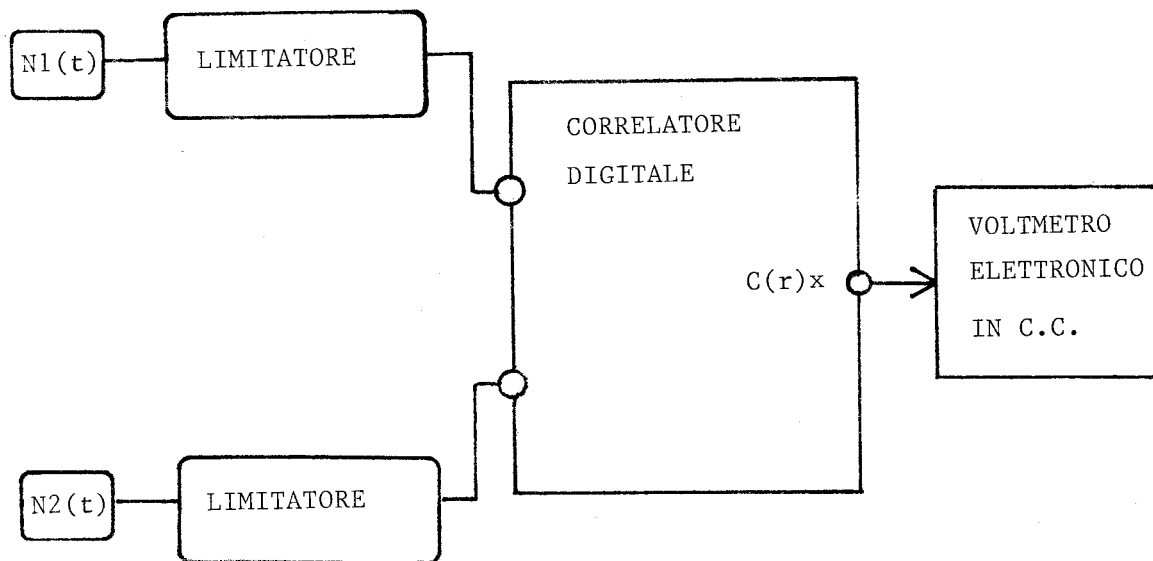


Figura 3.6 Schema di misura con limitatori

Devono essere impiegati come generatori di rumore gli stessi dispositivi progettati per il controllo dei correlatori analogici. La procedura di verifica da seguire è la stessa riportata nei paragrafi 3.3.1.1; 3.3.1.2; 3.3.1.3; 3.3.1.4 ed i risultati attesi devono essere ragionevolmente coincidenti con quelli già ottenuti senza le unità di limitazione. Sensibili differenze di comportamento del correlatore digitale in presenza dei limitatori dovranno essere ricercate nella costruzione, messa a punto, instabilità ed inquinamento da interferenze dei limitatori stessi; cosa quest'ultima molto probabile dati gli elevati guadagni di questi circuiti.