

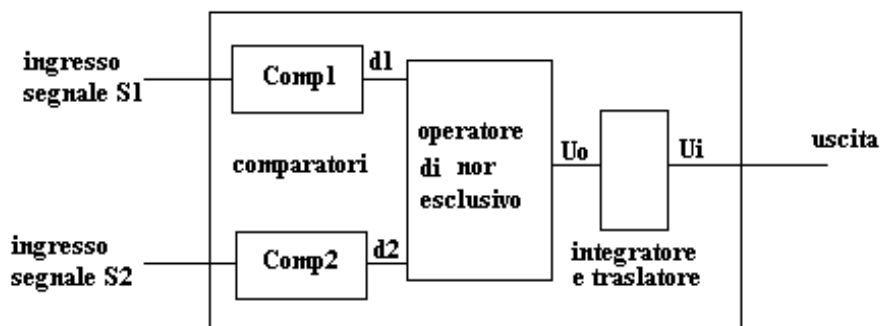
Cap. 7 Circuiti elettronici per la misura della correlazione tra segnali

La misura della correlazione tra i segnali è un metodo teoricamente molto complesso ma estremamente semplice da realizzarsi con i circuiti elettronici.

Per poter costruire ed impiegare un circuito per la correlazione non è necessario conoscerne la teoria, è sufficiente comprendere le poche regole che guidano il progetto e la manualità per le sue messe a punto e per il suo utilizzo; le prestazioni che questo circuito può fornire sono tali da stupire il tecnico per come, con circuitazione così modesta, sia possibile ottenere risultati tanto importanti. Sotto il nome di “correlazione” sono compresi un notevole numero di processi per l’indagine sulla natura ed il comportamento dei segnali analogici, quali ad esempio: la ricerca di disturbi parassiti comuni presenti all’uscita di due o più amplificatori, l’individuazione di piccoli segnali coperti dai disturbi, il controllo dell’estraneità di radici comuni tra due segnali, la misura della relazione di fase tra due segnali monocromatici e, ancora, diverse problematiche riguardanti i segnali elettrici. Due segnali elettrici apparentemente indifferenti l’uno all’altro possono avere in comune quantità di energia legate da particolari relazioni di polarità nel tempo. Analizzandoli con le tecniche di correlazione si possono evidenziare eventuali legami esistenti e misurarne la quantità rispetto a l’ampiezza complessiva dei segnali.

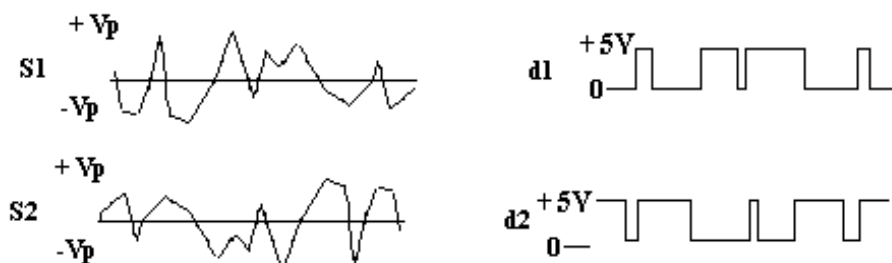
Con la dizione di “correlatore” si identifica un dispositivo elettronico caratterizzato da due ingressi, ai quali applicare i segnali da misurare, ed una uscita che, in base alle proprie caratteristiche d’ampiezza nel tempo, indica quale interdipendenza esiste tra i due segnali applicati all’ingresso. Lo schema a blocchi di un correlatore è mostrato in figura 7.1

figura 7.1



I segnali analogici d’ingresso al correlatore, S1 ed S2, sono applicati ciascuno ad un comparatore di livello affinché possano essere trasformati a due stati per l’operazione successiva; detta di nor esclusivo; questa prima trasformazione è mostrata in figura 7.2

figura 7.2



Il segnale analogico S1, del tipo a larga banda, riportato in figura 7.2 in alto a sinistra, è applicato al comparatore Comp1 che lo trasforma in segnale a due stati come mostrato dall’onda rettangolare indicata con d1.

Il segnale analogico S2, del tipo a larga banda, riportato in figura 7.2 in basso a sinistra, è applicato al comparatore Comp2 che lo trasforma in segnale a due stati come mostrato dall'onda rettangolare indicata con d2 (per questo tipo di trattamento dei segnali si veda paragrafo 4.16). La seconda operazione è affidata al blocco di figura 7.1, indicato come "operatore di nor esclusivo". Il compito dell'operatore di nor esclusivo è di rivelare le coincidenze tra le polarità dei segnali S1 ed S2 che si manifestano nel tempo, ora positive ora negative, come evidenziate chiaramente dagli stati dei due segnali a due stati d1 e d2. Quando i segni dei segnali analogici S1 ed S2 sono positivi, (+Vp) il livello degli stati d1 e d2 è di + 5V, quando i segni dei segnali analogici S1 ed S2 sono negativi (-Vp), il livello degli stati d1 e d2 è di 0V.

L'operatore di nor esclusivo rende alla sua uscita Uo un livello istantaneo positivo quando i segnali analogici S1 ed S2 hanno istantaneamente la stessa polarità sia positiva che negativa, rende un livello istantaneo zero quando i segnali analogici S1 ed S2 hanno istantaneamente polarità opposte (condizione che vede S1 positivo quando S2 è negativo e viceversa).

Si riporta di seguito la tabella che illustra la caratteristica funzionale dell'operatore nor esclusivo in dipendenza delle polarità istantanee dei segnali d'ingresso:

Polarità di S1	Polarità di S2	Livello di Uo
+	+	+
-	-	+
+	-	0
-	+	0

Dato che le polarità dei segnali variano continuamente nel tempo, anche il livello di Uo varia nel tempo e non è misurabile con facilità. Per mediare i valori di Uo ed immagazzinarli, sommandoli nel tempo affinché possano essere misurati, interviene la terza ed ultima operazione indicata nel blocco di figura 7.1 come "integratore"; per questo circuito, già ampiamente trattato nell'appendice A 4, dobbiamo aggiungere che, oltre al compito di integratore, svolge anche quello di traslatore di livello, in modo da trasformare i livelli "Alti" di Uo in tensioni "Positive" ed i livelli "Bassi" di Uo in tensioni "Negative".

All'uscita del circuito integratore è disponibile infine il risultato del processo di correlazione che ora andiamo a commentare:

Se S1 ed S2 hanno all'istante la stessa polarità, positiva o negativa, l'uscita Uo sarà alta, ma all'uscita Ui dell'integratore potrà permanere alta (Positiva) soltanto se le condizioni istantanee di uguale polarità saranno mantenute nel tempo. Se le condizioni istantanee di tale polarità sono mantenute nel tempo, significa che due segnali sono in stretta relazione tra loro, cioè sono tra loro "Correlati" ovvero sono "Coerenti".

Se S1 ed S2 hanno all'istante polarità opposte, l'uscita Uo sarà bassa, ma all'uscita Ui dell'integratore potrà permanere bassa (Negativa) solo se le condizioni istantanee di opposta polarità saranno mantenute nel tempo. Se le condizioni istantanee di tale polarità sono mantenute nel tempo, significa che due segnali sono in stretta relazione opposta tra loro, vale a dire che i segnali sono tra loro "Inversocorrelati".

Se S1 ed S2 hanno in alcuni istanti successivi la stessa polarità, positiva o negativa, ed in altri istanti polarità opposta, l'uscita Uo sarà in alcuni istanti alta ed in alcuni istanti bassa, ma all'uscita Ui dell'integratore si otterrà una media che tenderà verso i livelli alti (Positivi); se la percentuale del tempo in cui le polarità di S1 ed S2 coincidono è più elevata di quanto non sia elevata la

percentuale del tempo in cui le polarità non coincidono, si dice che i segnali sono tra loro “Parzialmente correlati”.

Se S1 ed S2 hanno in alcuni istanti successivi la stessa polarità, positiva o negativa, ed in altri istanti polarità opposta, l’uscita Uo sarà in alcuni istanti alta ed in alcuni istanti bassa, ma all’uscita Ui dell’integratore si otterrà una media che tenderà verso i livelli bassi (Negativi); se la percentuale del tempo in cui le polarità di S1 ed S2 non coincidono è più elevata di quanto non sia elevata la percentuale del tempo in cui le polarità coincidono, si dice che i segnali sono tra loro “Parzialmente inversocorrelati”.

Se S1 ed S2 hanno per la metà del tempo, in istanti successivi, la stessa polarità, positiva o negativa, e per l’altra metà del tempo, in istanti successivi, polarità opposta, l’uscita Uo sarà per la metà del tempo alta e per l’altra metà del tempo bassa; di conseguenza all’uscita Ui dell’integratore si otterrà una media che tenderà verso i livelli di tensione zero. In questo caso si dice che i segnali sono tra loro “Scorrelati” ovvero sono “Incoerenti”.

Da quanto esposto si comprende come la tensione all’uscita dell’integratore possa variare in un’ampia gamma di livelli, compresi tra il livello più basso (Negativo) e quello più alto (Positivo), in funzione del grado di interdipendenza tra S1 ed S2: questa è la caratteristica fondamentale di un circuito di correlazione.

Possiamo ora riassumere, nei termini nuovi relativi alle misure di correlazione tra segnali, le definizioni che ricorreranno, nel prosieguo di questo capitolo, indifferentemente per segnali unifrequenziali e per segnali definiti in bande di frequenza:

- Quando due segnali S1 ed S2 sono tra loro “Correlati” il circuito correlatore rende in uscita la massima tensione positiva continua per il quale è stato progettato.
- Quando due segnali S1 ed S2 sono tra loro “Inversocorrelati” il circuito correlatore rende in uscita la massima tensione negativa continua per il quale è stato progettato.
- Quando due segnali S1 ed S2 sono tra loro “Parzialmente correlati” il circuito correlatore rende in uscita una tensione positiva continua di livello intermedio che dipende dal grado di correlazione tra i due segnali.
- Quando due segnali S1 ed S2 sono tra loro “Parzialmente inversocorrelati” il circuito correlatore rende in uscita una tensione negativa continua di livello intermedio che dipende dal grado di inversocorrelazione tra i due segnali.
- Quando due segnali S1 ed S2 sono tra loro “Scorrelati” il circuito correlatore rende in uscita una tensione continua di livello zero.

In tutti i casi sopra esposti, alla tensione continua in uscita dall’integratore, è sovrapposta una piccola quota di tensione di rumore detta “Varianza”; l’ampiezza della varianza sarà tanto più piccola quanto più elevata sarà la costante di tempo dell’integratore.

L’ampiezza della tensione continua in uscita dall’integratore varia, sia per le diverse condizioni di correlazione tra i segnali, quali quelle indicate nell’elenco sopra impostato, sia per la presenza di eventuali disturbi che possono interferire sui segnali S1 ed S2; quest’ultima caratteristica sarà sfruttata ad arte, come avremo modo di vedere, per la misura precisa della quantità dei disturbi che inquinano i segnali.

7.1 La circuitazione elettronica di un correlatore

Dopo la descrizione di massima sul funzionamento di un correlatore vediamo, di seguito, come progettare la circuitazione. Il lavoro dovrà tendere alla realizzazione di una struttura elettronica che rispetti lo schema a blocchi di figura 7.1 mediante l'impostazione dei dispositivi che lo compongono:

- Comparatori d'ingresso
- Operatore della funzione nor esclusivo
- Integratore traslatore

7.1.1 Circuiti comparatori d'ingresso

I due blocchi relativi ai comparatori devono essere dimensionati in base alle presunte caratteristiche dei segnali S1 ed S2 da applicare all'ingresso e sul tipo dei segnali, d1 e d2, da fornire in uscita; gettiamo le basi del progetto secondo la solita procedura:

Dati di base:

Siano da progettare due comparatori in grado di lavorare con:

-livelli minimi di segnale dell'ordine $S1 = 10 \text{ mVeff}$. $S2 = 10 \text{ mVeff}$.

-livelli massimi di segnale dell'ordine $S1 = 1 \text{ Veff}$. $S2 = 1 \text{ Veff}$.

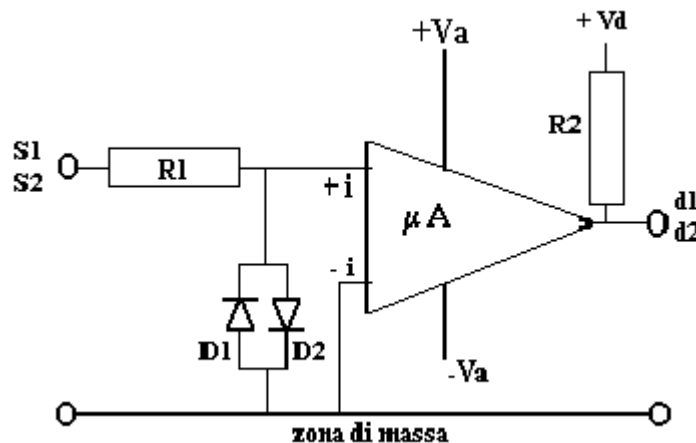
in bande di frequenze comprese tra 1000 Hz e 5000 Hz.

Idonei a fornire in uscita tensioni rettangolari, d1 e d2, comprese tra 0V e + 5V su di un carico di 5000 ohm.

Scelta e dimensionamento del circuito di comparazione:

In base a quanto già studiato nel paragrafo 4.16 adottiamo lo schema base di figura 4.38 per adattarlo alle nostre esigenze così come riportato in figura 7.3

figura 7.3



In figura è riportato lo schema elettrico d'impiego del comparatore LM139A; l'integrato riceve, tramite R1, il segnale analogico da trasformare in due stati sull'ingresso non invertente; la sensibilità dell'integrato prescelto, in grado di cambiare stato per tensioni minime dell'ordine di 3-4 mV, ben si adatta ai livelli minimi dei segnali dichiarati in 10 mV eff (14 mVp); la presenza dei diodi D1 e D2 assicura un corretto funzionamento del comparatore anche ai livelli massimi denunciati a livello di 1 Veff (1.4 Vp).

Essendo la velocità di commutazione di stato di questi integrati dell'ordine di 2 μSec , si possono trattare con questi circuiti segnali aventi frequenze di oltre 100 KHz; ciò assicura l'impiego dello stesso nel campo delle frequenze di lavoro indicate nei dati di base tra 1000 e 5000 Hz.

Il terminale d'uscita dell'integrato è connesso, all'interno dello stesso, con un transistor a collettore aperto che consente di avere in uscita il livello logico voluto grazie alla resistenza R2 collegata alla tensione di alimentazione Vd.

Per fornire in uscita tensioni rettangolari, d1 e d2, comprese tra 0V e + 5V su di un carico di 5000 ohm dovremo assegnare a Vd il livello di +10V ed ad R2 un valore di 4700 ohm.

Non essendo specificato nulla a riguardo della resistenza d'ingresso R1 del comparatore, si può assegnare ad essa un valore di 10 Kohm.

Osservazioni:

Se il progetto prevedesse l'elaborazione di segnali a frequenze molto alte, si dovrebbero selezionare comparatori con caratteristiche adatte o, se del caso, sarebbe necessario progettare circuiti dedicati alla limitazione dei segnali in alta frequenza.

7.1.2 L'operatore di nor esclusivo

Il blocco relativo all'operatore di nor esclusivo, mostrato in figura 7.1, deve essere dimensionato in base alla tabella caratteristica della funzione richiesta e deve poter funzionare con i segnali forniti dai due circuiti comparatori. Vediamo come impostarne il progetto:

Dati di base:

Sia da progettare un circuito a transistori per realizzare la funzione di nor esclusivo secondo la seguente tabella caratteristica:

Polarità d1	Polarità d2	Livello di Uo
+5V	+5V	+10V
0V	0V	+10V
+5V	0V	0 V
0V	+5 V	0V

dove con d1 e d2 s'intendono i segnali a due stati generati dai circuiti comparatori, e con Uo il livello e gli stati d'uscita del circuito.

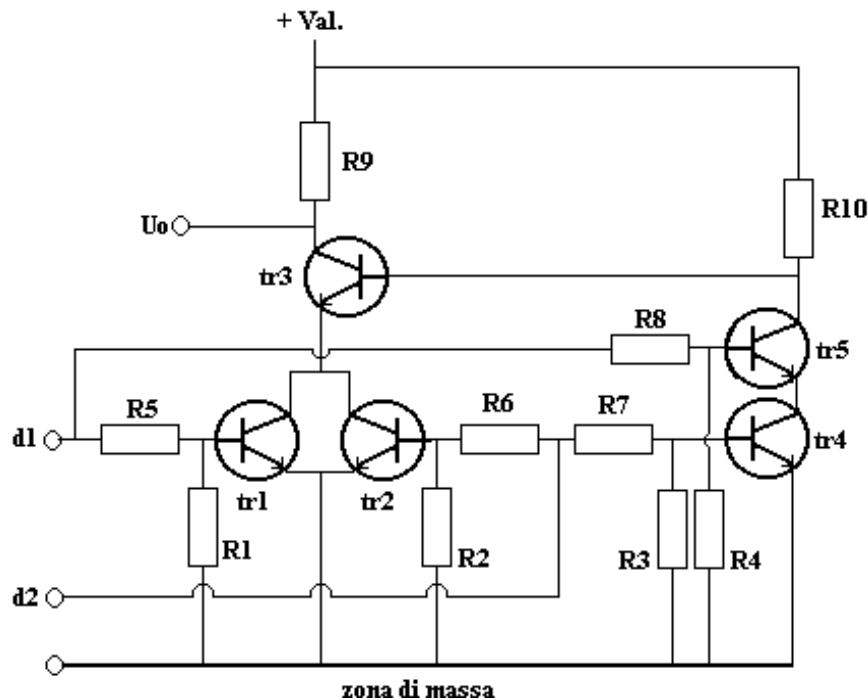
Per accoppiare il nuovo circuito con i comparatori sono richieste resistenze d'ingresso di 5000 ohm.

La resistenza d'uscita deve essere inferiore a 5000 ohm.

Scelta del circuito e dimensionamento dei componenti:

Per la realizzazione dell'operatore di nor esclusivo è stato impostato un circuito elettronico a transistori di struttura semplice, altre configurazioni possono essere ideate purché rispettino i dati di base. Il circuito in oggetto è formato con cinque transistori del tipo NPN così come mostrato in figura 7.4.

figura 7.4



Tutti i transistori del circuito di figura 7.4 lavorano a due stati; o sono in saturazione o sono interdetti; vediamo il loro comportamento secondo la tabella fornita dai dati di base. I segnali a due stati, d1 e d2, generati dai comparatori, sono applicati ai corrispondenti punti del circuito di figura 7.4 e ne condizionano lo stato dell'uscita Uo come segue:

- d1 = +5V e d2 = +5V
Tr1 e Tr2 sono in saturazione
Tr4 e Tr5 sono in saturazione
Tr3 ha la base a massa per la saturazione di Tr4 e Tr5 ed è interdetto: Quindi Uo = + 10V
- d1 = 0V e d2 = 0V
Tr1 e Tr2 sono interdetti
Tr4 e Tr5 sono interdetti
Tr3 ha l'emettitore aperto per l'interdizione di Tr4 e Tr5 ed è interdetto: Quindi Uo = + 10V
- d1 = +5V e d2 = 0V
Tr1 è in saturazione e Tr2 è interdetto
Tr4 e Tr5 sono interdetti
Tr3 ha la base positiva per l'interdizione di Tr4 e può saturare per la saturazione di Tr1
Quindi Uo = 0V
- d1 = 0V e d2 = +5V
Tr1 è interdetto e Tr2 è in saturazione
Tr4 e Tr5 sono interdetti
Tr3 ha la base positiva per l'interdizione di Tr5 e può saturare per la saturazione di Tr2
Quindi Uo = 0V

Analizziamo ora la problematica relativa al dimensionamento dei componenti.

Vista la tensione d'alimentazione di soli +10V ed il campo di frequenze impiegate, i transistori possono essere del tipo 2N1711.

Tutti i transistori, secondo i tempi d'intervento, sono portati in saturazione con le resistenze di carico R9 ed R10, dove R9, che rappresenta la resistenza d'uscita, è richiesta, dai dati di base, non superiore a 5000 ohm; assumiamo pertanto R9 = 3300 ohm e, per semplicità, anche R10 = 3300 ohm. Valutiamo la corrente massima nei rami in conduzione (Tr1 e Tr3), (Tr2 e Tr3), (Tr4 e Tr5). Assumendo Vce(sat) = 0.3 V, abbiamo:

$$I_c = [V_{al} - 2 * V_{ce(sat)}] / R_9 = [10V - 2 * 0.3 V] / 3300 \text{ ohm} = 2.8 \text{ mA}$$

Assumendo ora il valore di hfe minimo per i transistori 2N1711, possiamo calcolarne le correnti di base:

$$I_b = I_c / h_{fe} = 2.8 \text{ mA} / 100 = 28.4 \mu\text{A}$$

La tensione di pilotaggio delle basi andrà da un minimo di 0.7 V, per i transistori con l'emettitore a massa, a 0.7 + Vce(sat), per il transistor Tr5.

Le resistenze di pilotaggio dovranno garantire quanto ora calcolato.

Poiché le resistenze di pilotaggio delle basi di Tr1, Tr5, devono essere pilotate contemporaneamente da un comparatore, la resistenza complessiva deve essere di 5000 ohm, così come previsto dalle caratteristiche dei comparatori stessi.

Per le resistenze di pilotaggio delle basi di Tr2, Tr4, che devono essere pilotate anch'esse da un unico comparatore, la resistenza complessiva deve essere di 5000 ohm.

Queste condizioni impongono pertanto per $R5 = R6 = R7 = R8$ valori di 10 Kohm; si tratta ora di vedere se dette resistenze assicurano le correnti di base richieste dalla saturazione dei transistori

Dato che le tensioni dei comparatori raggiungono il livello $d1 = d2 = +5V$, possiamo scrivere per il transistor più critico (Tr5):

$$I_b = [+5V - V_{be} - V_{ce(sat)}] / R_8 = [+5V - 0.7 - 0.3] / 10000 \text{ ohm} = 400 \mu\text{A}$$

Per le correnti di base di tutti gli altri transistori con l'emettitore a massa abbiamo:

$$I_b = [+5V - V_{be}] / R_5 = [+5V - 0.7] / 10000 \text{ ohm} = 430 \mu\text{A}$$

valore di I_b molto maggiore dei 28.4 μA richiesti per la saturazione.

Non resta ora che controllare la corrente di base per la saturazione di Tr3:

$$I_b = [+10V - V_{be} - V_{ce(sat)}] / R_{10} = [+10V - 0.7 - 0.3] / 3300 \text{ ohm} = 2.7 \text{ mA}$$

che risulta più che abbondante.

Per quanto riguarda le resistenze di chiusura delle basi di Tr1, Tr2, Tr4, Tr5, è sufficiente che esse non sottraggano troppa corrente alle basi; accettando una detrazione del solo 10% circa, si possono fissare i seguenti valori:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 100 \text{ Kohm}$$

Essendo il circuito alimentato con tensione continua di +10 V, i valori dei resistori possono essere da ¼ w.

Controlli generali del circuito:

Il controllo della funzionalità statica del circuito è fattibile semplicemente mediante l'impiego di due deviatori con i quali smistare agli ingressi d1 e d2 due tensioni continue positive, in modo da verificare il comportamento del circuito secondo la tabella sopra riportata.

Il controllo della funzionalità dinamica è operazione più impegnativa in quanto implica il montaggio di tutto il circuito di correlazione che, dopo le opportune messe a punto, può essere testato secondo particolari procedure che saranno di seguito indicate.

Osservazioni:

Per garantire stabilità dei livelli della tensione d'uscita U_o , il circuito deve essere alimentato con tensione stabilizzata di +10V +/- 0.2V.

Per lavorare a frequenze più elevate di 100 Khz è necessario selezionare transistori adatti e prevedere montaggi circuitali accurati con collegamenti corti su supporto in circuito stampato.

Per informazione si rende noto quanto segue: il circuito di figura 7.4 ha un analogo nel circuito integrato digitale CD4030 (or esclusivo) che ha una tabella con U_o di segno opposto rispetto a quella sopra indicata; l'impiego di questo circuito integrato non viene qui proposto perché si ritiene che per la progettazione dei circuiti elettronici analogici, sia molto più proficua la comprensione, lo sviluppo ed il controllo della struttura di figura 7.4.

7.1.3 L'integratore e il traslatore d'uscita

Il blocco contenente l'integratore ed il traslatore d'uscita (figura 7.1) deve essere dimensionato in base alle caratteristiche imposte dai dati di base. Vediamo quali:

Dati di base:

Il circuito integratore deve avere una costante di tempo di 1 Sec.

La resistenza d'ingresso deve risultare almeno 30 volte la resistenza d'uscita dell'operatore di nor esclusivo.

Il circuito deve essere dotato di traslatore di livello in grado di traslare la tensione ai capi dell'integratore, che naturalmente si estende da livello zero a livelli positivi, in modo possa variare, in uscita dal correlatore, tra livelli negativi e livelli positivi.

Il circuito deve altresì consentire il trasferimento della tensione d'uscita del correlatore su bassa impedenza a scopo di misura.

Impostazione del circuito integratore:

Il circuito integratore ha il compito di elaborare le tensioni d'uscita U_o , dell'operatore di nor, in modo da mediane i valori ed immagazzinarli, sommandoli nel tempo affinché possano essere misurati. Per questa funzione è stato impostato il circuito di figura 7.5:

Nello schema la cellula d'integrazione è formata dai componenti R_i e C_i ; la tensione U_i , ai capi di C_i , potrà variare da un "minimo" di 0V (quando i segnali S1 ed S2 sono inversocorrelati) a un massimo di +10V (quando i segnali S1 ed S2 sono correlati).

Per una costante di tempo di 1 Sec. e per avere $R_i = 30$ volte la resistenza d'uscita del circuito nor esclusivo, così come richiesto dai dati di base, il valore di R_i può essere fissato in 100 Kohm e il valore di C_i in 10 μ F (si ricordi che la costante di tempo è espressa in secondi per C_i in μ farad e R_i in Mohm).

Impostazione del circuito traslatore:

Il traslatore d'uscita, formato dall'integrato $\mu A1$ dello schema di figura 7.5, svolge le seguenti funzioni:

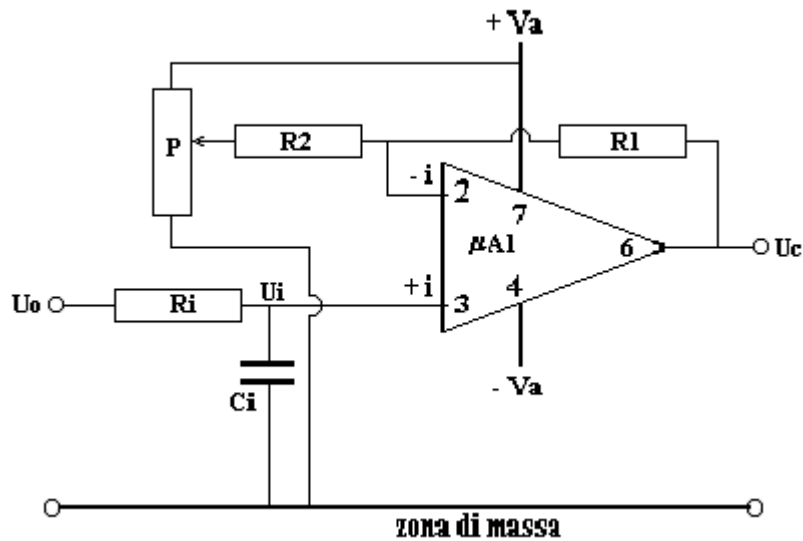
Amplifica di 1.2 volte il livello di U_i

Trasla il livello di U_i amplificato affinché per $U_i = +10V$ si abbiano in uscita $U_c = +6V$

Trasla il livello di U_i affinché per $U_i = 0V$ si abbiano in uscita $U_c = -6V$

Consente l'accoppiamento della cellula d'integrazione con i circuiti di misura esterni al correlatore.

figura 7.5



Lo schema di figura 7.5 mostra l'integrato con la rete di controreazione in corrente continua formata da R1 ed R2, il potenziometro P serve per eseguire la traslazione di livello, un integrato LM308 si adatta egregiamente allo scopo.

Essendo il guadagno

$$G_{cc} = (R1 + R2) / R2 = 1.2$$

e dovendo essere per la stabilita $R1 // R2 = Ri = 100 \text{ Kohm}$,

si ha $R1 = 120 \text{ Kohm}$ (arrotondabile a 150 Kohm)

$R2 = 600 \text{ Kohm}$ (arrotondabile a 680 Kohm)

Il circuito deve essere alimentato con tensioni stabilizzate di $V_a = \pm 12 \text{ V}$; il potenziometro di regolazione della traslazione deve avere un valore di 10 Kohm.

Il circuito così disegnato non può funzionare, avendo l'ingresso non invertente scollegato da massa; per il corretto funzionamento deve essere effettuato il collegamento di Ri con l'uscita dell'operatore di nor.

Osservazioni:

La regolazione del traslatore, mediante la rotazione del potenziometro P, deve avvenire una volta uniti i tre blocchi circuitali che costituiscono il correlatore.

La taratura precisa deve essere fatta contestualmente al controllo della funzionalità dinamica del circuito di correlazione con l'ausilio di particolari generatori di segnali.

7.2 Operazioni di controllo e taratura del circuito di correlazione

Il circuito di correlazione deve essere opportunamente tarato e controllato se lo si vuole impiegare come strumento di misura; la messa a punto consiste nell'applicazione al correlatore di segnali S1 e S2 completamente indipendenti tra loro.

I segnali dei quali abbiamo accennato possono essere originati da due circuiti generatori di rumore del tipo di quello progettato nel paragrafo 4.15 che, ricordiamo, ha le seguenti caratteristiche: Tensione di rumore in uscita circa: $0.1 V_{eff}$

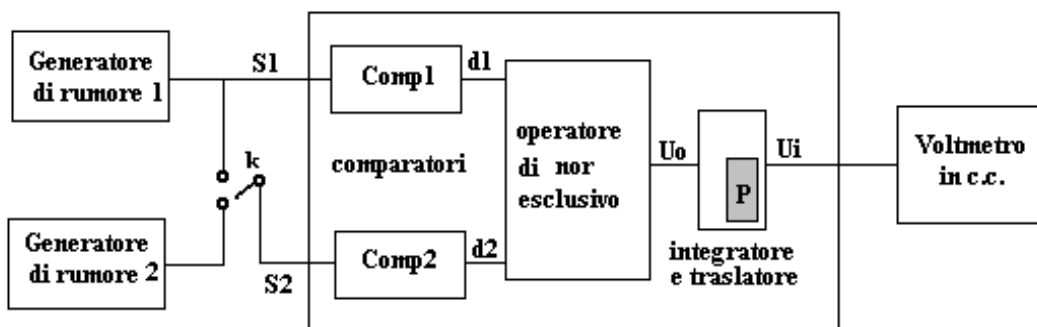
Banda del rumore generato: 10 Hz - 1000 Hz a -3 dB

Pendenza dello spettro di rumore: 6 dB/ottava.

Con generatori di questo tipo si possono ottenere due segnali, S1 ed S2, totalmente incoerenti così come è richiesto per la procedura che andremo ad esporre.

Lo schema a blocchi per il controllo e la regolazione del circuito di correlazione è mostrato in figura 7.6.

figura 7.6



La figura riporta lo schema a blocchi del correlatore, già tracciato in figura 7.1, al quale sono collegati i due generatori di rumore, dei quali abbiamo parlato, ed un commutatore k di servizio. L'uscita del correlatore è applicata ad un voltmetro elettronico in corrente continua.

Nel blocco integratore e traslatore è stato inoltre evidenziato il potenziometro di regolazione P.

Descriviamo di seguito la procedura di taratura con riferimento allo schema a blocchi:

Predisposizioni circuitali:

1^a) Collegare il circuito ai generatori utilizzando cavetti schermati, predisporre sotto tutta la circuitazione una piastra di metallo, ricoperta di materiale isolante, connessa con un cavetto alla massa del circuito di correlazione. Non alimentare i due generatori di rumore con la stessa batteria.

2^a) Per la seconda predisposizione ricordiamo quanto scritto in precedenza:

Alla tensione continua in uscita dall'integratore, è sovrapposta una piccola quota di tensione di rumore detta "Varianza"; l'ampiezza della varianza sarà tanto più piccola quanto più elevata sarà la costante di tempo dell'integratore.

E' opportuno ridurre la varianza in modo da poter eseguire le misure della tensione d'uscita del correlatore con meno incertezze; per far ciò è sufficiente sostituire il condensatore Ci da 10 μF con uno da 100 μF . Questa sostituzione altera ovviamente la costante di tempo di progetto ma è indispensabile in questa fase, soltanto dopo le operazioni di taratura dovrà essere ripristinato il valore originale di Ci.

3^a) La terza predisposizione prevede il posizionamento del commutatore k nella posizione in cui è disegnato nello schema a blocchi.

Taratura per S1 ed S2 incoerenti:

La prima operazione consiste in una taratura e prevede l'applicazione dei segnali al correlatore, tali che S1 ed S2 siano incoerenti tra loro, ovvero "Scorrelati".

Quando due segnali S1 ed S2 sono tra loro "Scorrelati", il circuito correlatore deve rendere in uscita una tensione continua di livello zero.

Questa condizione deve essere evidenziata dalla tensione misurata dal voltmetro collegato in uscita; è naturale che all'accensione di tutto il sistema detta tensione non sia nulla, si deve agire sul potenziometro P affinché, ruotandolo, si ottenga in uscita il livello di 0V voluto.

Controllo per S1 ed S2 coerenti:

La seconda operazione consiste in un controllo e prevede l'applicazione dei segnali al correlatore, tali che S1 ed S2 siano coerenti tra loro, ovvero "Correlati".

Questa condizione dei segnali si ottiene spostando il commutatore k affinché entrambi i segnali, S1 ed S2, siano prelevati dallo stesso generatore di rumore numero 1.

È opportuno che in questa fase il generatore di rumore numero 2 venga spento.

Quando due segnali S1 ed S2 sono tra loro "Correlati", il circuito correlatore deve rendere in uscita una tensione continua positiva di livello pari a circa + 6V definita come VcorMax.

Questa condizione deve essere evidenziata dalla tensione misurata dal voltmetro collegato in uscita; detta tensione non sarà esattamente di + 6V ma di un valore prossimo ad essa entro +/- 10%; si dovrà rilevare tale valore di VcorMax e prenderne nota come caratteristica del correlatore.

Non sono accettabili differenze superiori a quelle indicate, se ciò accade, è necessario:

Ricontrollare il circuito operatore di nor esclusivo così come indicato nel paragrafo 7.1.2.

Controllare che il collegamento al generatore numero 1 non sia influenzato da sorgenti esterne di segnali quale può essere ad esempio " la presenza di un saldatore a fianco del circuito".

Non ritoccare il potenziometro P nel tentativo di riportare la tensione entro i limiti indicati; se sussistono dubbi su eventuali errori di taratura di P, ripetere le tali operazioni dall'inizio con S1 ed S2 scorrelati.

Osservazioni:

Si devono osservare due caratteristiche del circuito di correlazione che emergono durante le fasi di controllo e taratura:

Quando il correlatore è collegato ai due generatori di rumore, per avere S1 ed S2 tra loro scorrelati, la varianza, anche con il valore di C1 incrementato, provoca sensibili variazioni della tensione d'uscita attorno al valore 0V; questa situazione costringe la regolazione di P mediando a vista tra i valori di tensione che superano lo zero e valori di tensione che sono inferiori a zero. Vedremo in seguito come è possibile valutare il valore efficace della varianza.

Quando il correlatore è collegato ad un solo generatore di rumore, per avere S1 ed S2 tra loro correlati, l'effetto della varianza è praticamente irrilevante e non esiste difficoltà alcuna nel misurare la tensione continua in uscita dal correlatore.

7.3 L'impiego del correlatore per la misura dello sfasamento tra due segnali

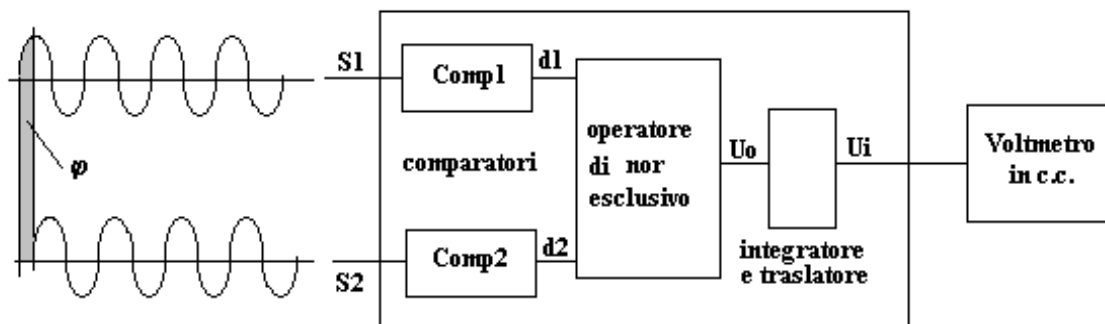
L'impiego più semplice ed immediato del circuito di correlazione consiste nell'utilizzo dello stesso per la misura della differenza di fase tra due segnali elettrici unifrequenziali, sinusoidali o rettangolari.

La misura è fattibile soltanto per sfasamenti compresi tra 0° e 180° ; per sfasamenti superiori a 180° si crea ambiguità, per cui si può confondere, ad esempio, uno sfasamento di 189° con uno sfasamento di $180^\circ - 9^\circ = 171^\circ$.

Questa misura presuppone, ovviamente, che il correlatore sia stato tarato e controllato e che sia noto, con buona precisione, il valore di V_{corMax} .

La misura di fase tra due segnali unifrequenziali si basa sul circuito mostrato in figura 7.7:

figura 7.7



Nello schema si vedono due segnali sinusoidali, S1 ed S2, applicati all'ingresso del circuito di correlazione; tra i segnali è evidenziato, con una zona grigia, lo sfasamento φ esistente tra S1 ed S2. All'uscita del correlatore è collegato un voltmetro elettronico in corrente continua con il quale si misura il livello della tensione d'uscita, $V_{u\varphi}$, dal quale, mediante una apposita formula, si può calcolare il valore dello sfasamento φ espresso in gradi sessagesimali con frazioni di grado decimali.

La formula necessaria per il calcolo dello sfasamento φ è espressa come segue:

$$\varphi = 90^\circ * [1 - (V_{u\varphi} / V_{corMax})]$$

dove

$V_{u\varphi}$ è il livello di tensione continua misurata in volt con il voltmetro collegato all'uscita del correlatore.

V_{corMax} è la tensione massima, espressa in volt, ricavata dal correlatore durante la fase di controllo e messa a punto.

Per comprendere meglio il comportamento del circuito di misura è utile vedere come varia $V_{u\varphi}$ in dipendenza dello sfasamento φ ; nella tabella seguente riportiamo una serie di 18 valori di φ ed i corrispondenti valori di $V_{u\varphi}$, calcolati nell'ipotesi che il valore di riferimento del correlatore valga $V_{corMax} = +6V$. Il calcolo della tabella è effettuato con la formula:

$$V_{u\varphi} = V_{corMax} * (1 - \varphi / 90^\circ)$$

La tabella è calcolata per incrementi di φ pari a 10° in un intervallo compreso tra 0° e 180° :

Dai dati di tabella si comprende qual è l'andamento della legge che governa il funzionamento del correlatore quando ad esso sono applicati due segnali unifrequenziali: quando i segnali sono in fase, per $\varphi = 0^\circ$, la tensione d'uscita è la massima positiva corrispondente al valore di taratura $V_{corMax} = +6V$; mano a mano che lo sfasamento cresce la tensione decresce linearmente per arrivare al valore $0V$ per $\varphi = 90^\circ$. Superato lo sfasamento di 90° , la tensione d'uscita del correlatore assume valori negativi e prosegue con incrementi, sempre negativi, per giungere al massimo livello negativo di $-6V$ quando lo sfasamento diventa pari a 180° .

Oltre i 180° , campo di variabilità non riportato in tabella, la tensione $V_{u\varphi}$, assume ancora valori negativi decrescenti compresi nello stesso intervallo precedente; è in questo settore che non è possibile eseguire la misura della fase in quanto non si possono discriminare sfasamenti inferiori di 180° da sfasamenti superiori a 180° .

Nonostante ciò il circuito è molto utile, sia come attrezzatura di laboratorio, perché, con poca spesa, consente misure di fase abbastanza precise tra 0° e 180° , sia perché, con questa tecnica, è possibile costruire un circuito per il monitoraggio permanente della relazione di fase tra due segnali; infatti, collegando un circuito correlatore ad un comparatore di livello, si può ottenere indicazione d'allarme quando la relazione di fase esce da limiti prefissati.

Sfasamento tra S1 ed S2 φ	Tensione in uscita dal correlatore $V_{u\varphi}$
0°	+ 6 V
10°	+ 5.33 V
20°	+ 4.66 V
30°	+ 4 V
40°	+ 3.33 V
50°	+ 2.66 V
60°	+ 2 V
70°	+ 1.33 V
80°	+ 0.66 V
90°	0 V
100°	- 0.66 V
110°	- 1.33 V
120°	- 2 V
130°	- 2.66 V
140°	- 3.33 V
150°	- 4 V
160°	- 4.66 V
170°	- 5.33 V
180°	- 6 V

Un esempio d'impiego del correlatore per la determinazione dello sfasamento tra due segnali è ora illustrato:

Procedura di misura:

Collegare i segnali da controllare al correlatore secondo lo schema di misura di figura 7.7 predisponendo la misura per tre valori di fase determinati da tre condizioni diverse di sfasamento.

Prendere nota della caratteristica di taratura del correlatore che dà: $V_{corMax} = +6V$

Rilievo dei dati:

Le tre condizioni tra i segnali indicano i seguenti valori di tensione all'uscita del correlatore:

1ª condizione: $V_{u\varphi} = +4.5V$

2ª condizione: $V_{u\varphi} = +1.5V$

3ª condizione: $V_{u\varphi} = -2.5V$

Calcolo degli sfasamenti:

Il calcolo degli sfasamenti si esegue secondo la formula mostrata in precedenza:

$$\varphi = 90^\circ * [1 - (V_{u\varphi} / V_{corMax.})]$$

1ª condizione: $V_{u\varphi} = +4.5V$ da cui $\varphi = 90^\circ * [1 - (+4.5V / +6V)] = 22.5^\circ$

2ª condizione: $V_{u\varphi} = +1.5V$ da cui $\varphi = 90^\circ * [1 - (+1.5V / +6V)] = 67.5^\circ$

3ª condizione: $V_{u\varphi} = -2.5V$ da cui $\varphi = 90^\circ * [1 - (-2.5V / +6V)] = 127.5^\circ$

7.4 L'impiego del correlatore per la misura dei disturbi che inquinano i segnali

Un'importante applicazione del circuito di correlazione si ha con la misura quantitativa, sia del rapporto tra i segnali ed i disturbi, sia dell'ampiezza dei disturbi stessi.

Questa applicazione è indirizzata all'analisi di due segnali, coerenti tra loro (ovvero correlati), che siano inquinati ciascuno da disturbi incoerenti tra loro (ovvero scorrelati). Cerchiamo di chiarire il concetto che può non essere di comprensione immediata.

Supponiamo che un generatore abbia inviato un segnale, S , in due circuiti elettrici diversi, c_1 e c_2 , e che tali circuiti lo presentino alle loro uscite u_1 ed u_2 ; per distinguere tra loro i segnali alle nuove uscite indicheremo con $S1$ il segnale che esce da u_1 e $S2$ il segnale che esce da u_2 . Ora facciamo due ipotesi:

Prima ipotesi

- I due circuiti non alterano la coerenza dei segnali che li percorrono e quindi alle loro uscite i segnali, indicati come $S1$ ed $S2$, sono coerenti tra loro (ovvero correlati).

In questa ipotesi, se colleghiamo i due segnali ad un circuito di correlazione, otteniamo in uscita il massimo livello di tensione continua, già indicato in precedenza, con la scritta V_{corMax} .

Seconda ipotesi

- I due circuiti non alterano la coerenza dei segnali che li percorrono e quindi alle loro uscite i segnali, indicati come $S1$ ed $S2$, sono coerenti tra loro (ovvero correlati).

-Il circuito c_1 provoca un inquinamento dei segnali per cause ignote sommando ad $S1$ un disturbo n_1 .

-Il circuito c_2 provoca un inquinamento dei segnali per cause ignote sommando ad $S2$ un disturbo n_2 .

-I due disturbi n_1 ed n_2 non sono coerenti tra loro (ovvero sono scorrelati)

In questa seconda ipotesi si comprende come la situazione sia diversa dalla precedente e come la presenza dei disturbi n_1 ed n_2 possa influire in qualche modo. Infatti, se colleghiamo i due segnali inquinati al circuito correlatore, la tensione continua alla sua uscita non avrà più il valore di V_{corMax} ma un valore inferiore, tanto più piccolo quanto saranno elevati i livelli del disturbo che inquinano i segnali.

Grazie alla teoria sulla correlazione, è stata studiata una particolare legge matematica che consente di stabilire quale è il rapporto tra i segnali ed i disturbi che li inquinano; detta legge è per semplicità riportata in grafici che mostreremo nel contesto degli esercizi seguenti.

Per comprendere al meglio l'argomento trattato, è necessario sviluppare due esercizi che possano rendere tangibile quanto sopra esposto.

Primo esercizio

Iniziamo con il caso in cui i disturbi siano piccoli rispetto ai segnali:

Tema:

Si voglia rilevare:

-Il rapporto in deciBel tra i rumori elettronici prodotti da due amplificatori, A_1 ed A_2 , identici tra loro, ed un segnale appositamente iniettato in essi.

-Il valore efficace di detti rumori da ricavarsi via calcolo dal rapporto in deciBel rilevato in precedenza.

Al fine di eseguire la misura il segnale in uscita dagli amplificatori dovrà avere un'ampiezza di 100 mV_{eff}. alla frequenza di 2000 Hz.

Inquadramento del caso proposto:

Il caso proposto, simile alla seconda delle ipotesi esposte in precedenza, può essere così inquadrato: Se applichiamo un segnale sinusoidale prodotto da un unico generatore ad entrambi gli amplificatori possiamo scrivere:

- I due amplificatori non alterano la coerenza dei segnali che li percorrono e quindi alle loro uscite i segnali, indicati come S1 ed S2, sono coerenti tra loro (ovvero correlati).

-L'amplificatore A₁ provoca un inquinamento del segnale S1 a causa del rumore proprio, sommando ad S1 il disturbo n₁.

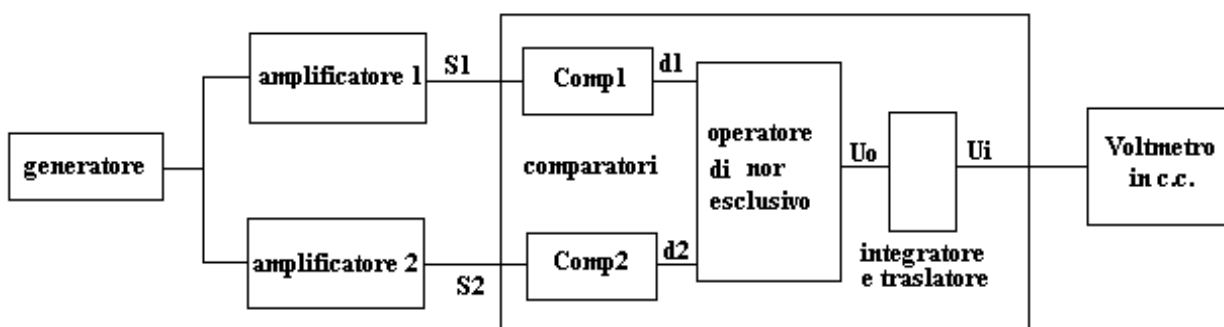
-L'amplificatore A₂ provoca un inquinamento del segnale S2 a causa del rumore proprio, sommando ad S2 il disturbo n₂.

-I due disturbi n₁ ed n₂ essendo generati in due circuiti diversi non sono coerenti tra loro (ovvero sono scorrelati)

Preparazione del circuito di misura:

Il circuito di misura prevede il correlatore collegato ai due amplificatori a loro volta collegati al generatore di segnale, così come indicato in figura 7.8

figura 7.8



Il generatore deve inviare ai due amplificatori un segnale sinusoidale a 2000 Hz di ampiezza tale da poter contare all'uscita degli stessi tensioni di 100 mV eff.

Deve essere annotato con precisione il valore caratteristico del correlatore: $V_{coMax} = + 6 V$.

Gli amplificatori devono essere sistemati in zone opportunamente schermate da sorgenti elettromagnetiche, quali trasformatori o strumentazione elettronica.

I collegamenti tra generatore e amplificatori e tra amplificatori e correlatore devono essere effettuati con cavetti schermati.

Misura dei livelli:

Accesi gli strumenti ed il circuito di correlazione si misurino:

- 1) La tensione del segnale all'uscita degli amplificatori, in base ai dati del tema, deve essere circa 100 mV eff a 2000 Hz.
- 2) Per la misura del livello V_{cor} d'uscita si supponga, a titolo d'esempio, di aver rilevato una tensione continua $V_{cor} = + 5.82 V_{cc}$

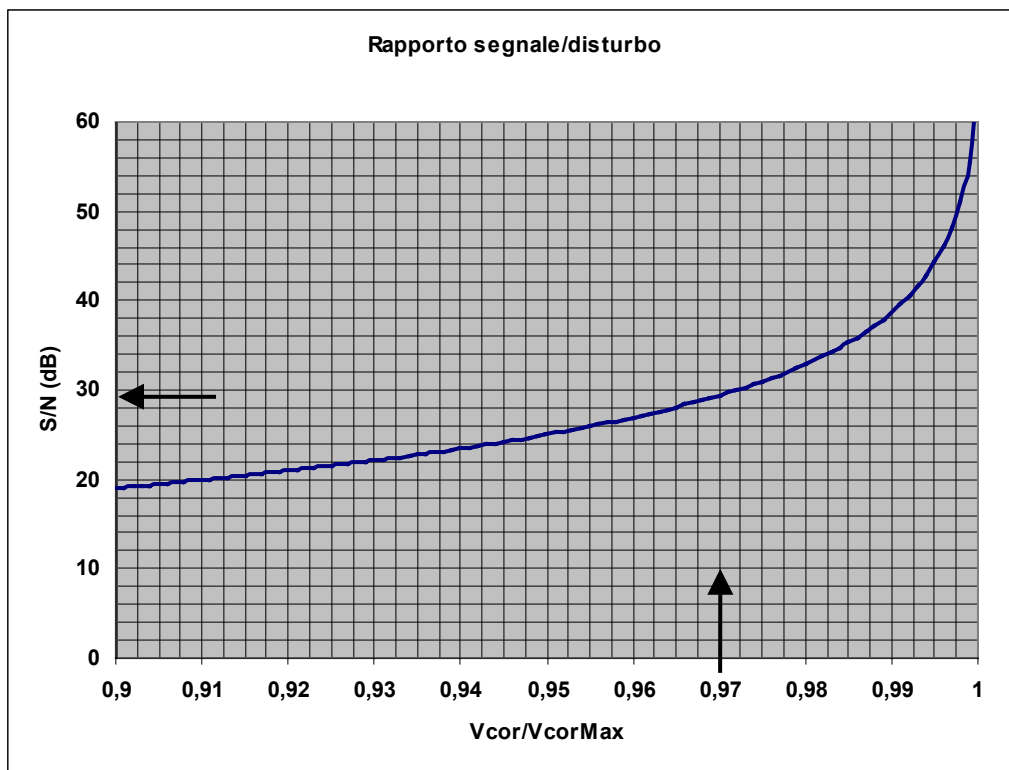
Determinazione del rapporto segnali/disturbi:

La determinazione del rapporto segnali/disturbi viene effettuata utilizzando la curva universale tracciata in figura 7.9. In primo luogo vediamo come è costruito il grafico.

La curva ha in ascisse il rapporto V_{cor} / V_{corMax} che si ricava dal quoziente tra la tensione continua V_{cor} , misurata all'uscita del correlatore, ed il livello della tensione di taratura del correlatore stesso indicata come V_{corMax} .

In ordinate è riportato il valore del rapporto segnale/disturbo, espresso in deciBel, che corrisponde, secondo il profilo della curva, ai valori indicati in ascissa.

figura 7.9



Per prima cosa calcoliamo il rapporto tra V_{cor} e V_{corMax} :

$$V_{cor}/V_{corMax} = 5.82 V_{cc} / 6 V = 0.97$$

Se ora individuiamo in ascissa (si veda freccia verticale) il valore $V_{cor}/V_{corMax} = 0.97$, troviamo un punto sulla curva che indica sulle ordinate (si veda freccia orizzontale) il valore del rapporto segnale/disturbo di circa + 29 dB.

Ad un rapporto segnale/disturbo di + 29 dB corrisponde un rapporto lineare, tra la tensione del segnale e la tensione del rumore, pari a 28.1 volte.

Con questa operazione abbiamo determinato il rapporto tra il segnale ed il disturbo esaurendo la prima parte del tema.

Calcolo dell'ampiezza dei disturbi:

Ci proponiamo ora di risolvere la seconda parte del tema, quantificando il livello del rumore grazie al fatto che è nota l'ampiezza del segnale:

Essendo

$$S1 / n_1 = S2 / n_2 = 28.1 \text{ volte}$$

e

$$S1 = 100 \text{ mV eff}$$

possiamo scrivere

$$n_1 = n_2 = (S1 / 28.1) = 100 \text{ mV} / 28.1 = 3.55 \text{ mV eff}$$

Con quest'ultimo dato abbiamo chiuso il tema proposto con la misura indiretta del rumore elettronico degli amplificatori.

Osservazioni:

Questo tipo di misura presenta talune difficoltà e alcune osservazioni possono essere utili per ottenere risultati migliori.

- 1) Se i disturbi n_1 ed n_2 sono molto piccoli rispetto alle tensioni dei segnali $S1$ ed $S2$, il livello di V_{cor} è prossimo al valore di V_{corMax} e si potrà leggere con precisione soltanto impiegando un voltmetro in corrente continua del tipo digitale. Infatti la differenza tra V_{cor} e V_{corMax} potrà essere di poche decine di millivolt.
- 2) La condizione di misura di cui al punto 1) potrà migliorare riducendo l'ampiezza dei segnali $S1$ ed $S2$, affinché la misura di V_{cor} possa essere fatta a livelli sensibilmente inferiori a V_{corMax} .
- 3) Nel calcolo del valore del disturbo, eseguito dopo la determinazione del rapporto segnale/disturbo, abbiamo volutamente trascurato il fatto che quando si vanno a misurare i 100 mV eff del segnale, all'uscita degli amplificatori, si misura in effetti la somma del segnale più il disturbo. Ciò provoca un certo errore che può essere accettato come facente parte dei vari errori di misura. La misura del disturbo sarà pertanto tanto più affetta da errore quanto più sarà piccolo il segnale.

Un piccolo commento numerico è utile per vedere realmente come pesano questi errori: Supponiamo che il segnale all'uscita dell'amplificatore debba essere 100 mVeff. e che il rumore abbia un'ampiezza di 4 mVeff. La somma dei due, da calcolarsi come somma tra potenze, sarà:

$$V \text{ (totale)} = \sqrt{(S1^2 + n_1^2)} = \sqrt{(100^2 + 4^2)} = 100.07$$

Con questo calcolo si vede che un rumore di 4 mV eff non altera sensibilmente la misura del livello del segnale che, senza rumore, sarebbe 100 mV eff e che, con il rumore, è di 100.07 mVeff.

Supponiamo ora che il segnale all'uscita dell'amplificatore debba essere 100 mVeff. e che il rumore abbia un'ampiezza di 20 mVeff. La somma dei due, da calcolarsi come somma tra potenze, sarà:

$$V_{\text{(totale)}} = \sqrt{(S_1^2 + n_1^2)} = \sqrt{(100^2 + 20^2)} = 101.98$$

Con questo calcolo si vede che un rumore di 20 mV eff altera la misura del livello del

segnale che, senza rumore, sarebbe 100 mV eff e che, con il rumore, è di 101.98 mVeff., con una differenza di misura di circa il 2%.

Da questa esposizione si può comprendere che, una volta calcolato il valore del rumore, è facile stabilire, a posteriori, se nella misura di S1 ed S2 s'è commesso errore oppure no: nel caso specifico dell'esercizio di cui al tema svolto abbiamo:

$$V_{\text{(totale)}} = \sqrt{(S_1^2 + n_1^2)} = \sqrt{(100^2 + 3.55^2)} = 100.062$$

valore che mostra come, nell'aver assunto nella misura di S1 il valore di 100 mV eff., non si è commesso errore apprezzabile.

Secondo esercizio

Proseguiamo la dimostrazione sulla misura dei disturbi che inquinano i segnali con un esempio in cui i primi siano più grandi rispetto ai secondi:

In questo caso non si potrà certo trattare, come nell'esercizio precedente, dei rumori degli amplificatori che, già per impostazione progettuale, devono avere livelli nettamente inferiori ai segnali da amplificare.

L'esercizio ora da sviluppare prende in esame una particolare situazione tra segnali elettrici che si riscontra sovente in molte applicazioni tecniche.

Supponiamo che un generatore abbia inviato un segnale, S, attraverso due percorsi diversi p_1 , p_2 , (si possono ipotizzare percorsi di onde radio, onde radar, onde acustiche in aria, onde acustiche in mare, o altri percorsi) al termine dei percorsi il segnale viene captato da due ricevitori diversi e si presenta alla loro uscita con due segnali che indichiamo con S1 ed S2.

-Se i due percorsi non alterano la coerenza dei segnali S1 ed S2, questi, all'uscita dei due ricevitori, sono coerenti tra loro (ovvero correlati).

-Se durante il percorso p_1 agenti esterni provocano un inquinamento del segnale si sommerà ad S1 un disturbo n_1 .

-Se durante il percorso p_2 agenti esterni provocano un inquinamento del segnale si sommerà ad S2 un disturbo n_2 .

-I due disturbi n_1 ed n_2 essendo generati in due zone diverse dei percorsi non sono coerenti tra loro (ovvero sono scorrelati)

In questa situazione si comprende come la presenza dei disturbi n_1 ed n_2 possa cambiare notevolmente la coerenza iniziale di S1 con S2; infatti se colleghiamo i due segnali inquinati al circuito correlatore, la tensione continua, alla sua uscita, sarà dipendente dal rapporto tra l'ampiezza dei segnali e l'ampiezza dei disturbi.

Andiamo a proporre ed a sviluppare il tema:

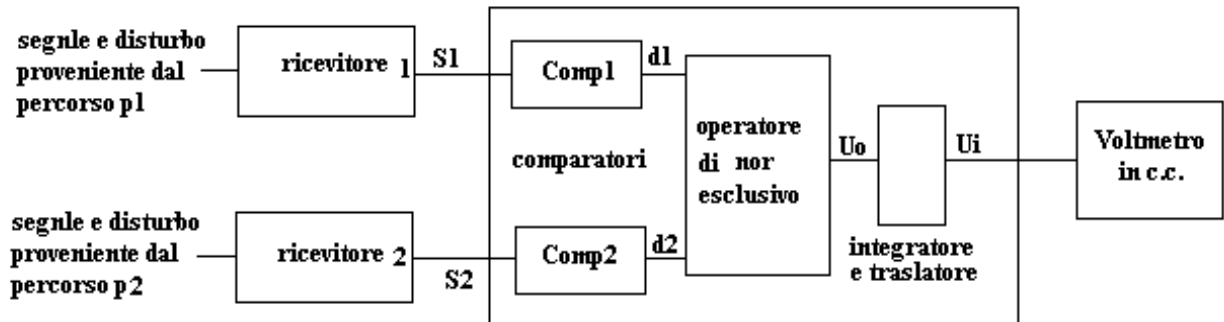
Tema:

Due segnali a larga banda, emessi da un'unica sorgente, dopo percorsi diversi, vengono captati da due ricevitori e si presentano alle loro uscite come S1 ed S2. Temendo un forte inquinamento durante il percorso, causato dai disturbi n_1 ed n_2 nel mezzo di trasmissione, si vuole stabilirne l'entità mediante il rilievo del rapporto tra S ed n da effettuarsi all'accensione e dopo 10 minuti dall'accensione.

Preparazione del circuito di misura:

Il circuito di misura prevede il correlatore collegato ai due ricevitori come in figura 7.10:

figura 7.10



Deve essere annotato con precisione il valore caratteristico del correlatore: $V_{corMax} = +6\text{ V}$.

I ricevitori devono essere sistemati in zone opportunamente schermate da sorgenti elettromagnetiche, quali trasformatori o strumentazione elettronica.

I collegamenti tra ricevitori e correlatore devono essere effettuati con cavetti schermati.

Misura del livello di V_{cor} :

Accesi i ricevitori ed il circuito di correlazione, si misuri con attenzione il valore della tensione continua d'uscita V_{cor} al tempo d'inizio:

Si supponga, a titolo d'esempio, di aver rilevato una tensione continua $V_{cor} = +0.75 V_{cc}$

Si calcola il rapporto tra V_{cor} e V_{corMax} :

$$V_{cor}/V_{corMax} = +0.75 V_{cc} / 6\text{ V} = 0.125$$

Dopo 10 minuti dall'inizio si ripeta la misura così come stabilito dal tema.

Si supponga, sempre a titolo d'esempio, di aver rilevato ora una tensione continua $V_{cor} = +0.06 V_{cc}$

Si calcola il rapporto tra V_{cor} e V_{corMax} :

$$V_{cor}/V_{corMax} = +0.06 V_{cc} / 6\text{ V} = 0.01$$

Determinazione del rapporto S/N :

Per la determinazione del rapporto S/N , obiettivo del nostro esercizio, si utilizza una curva universale tracciata con lo stesso algoritmo utilizzato per la curva di figura 7.9, ma computato per un intervallo più ampio della variabile V_{cor}/V_{corMax} ; tale variabile si estende infatti da 0.0001 ad 1, dato che la presenza del disturbo, in questi casi, non è quantizzabile a priori e può condizionare V_{cor} fino ai minimi livelli percettibili.

La nuova curva, mostrata in figura 7.11, ha in ascisse logaritmiche il rapporto V_{cor}/V_{corMax} che si ricava dal quoziente tra la tensione continua V_{cor} , misurata all'uscita del correlatore, ed il livello della tensione di taratura del correlatore stesso indicata come V_{corMax} ; la scala si estende tra 0.0001 ed 1.

In ordinate è riportato il valore del rapporto segnale/disturbo che si estende in un intervallo molto esteso; da -40 dB a $+80$ dB, ovvero in termini lineari da $S/N = 1/100$ per -40 dB ad $S/N = 10000$ volte per $+80$ dB

Con i due valori del rapporto V_{cor} / V_{corMax} , determinati nel passo precedente, vediamo di ricavare i corrispondenti rapporti S/N in atto all'inizio dei rilievi e dopo 10 minuti mediante il diagramma di figura 7.11:

Per il primo valore di

$$V_{cor} / V_{corMax} = 0.125$$

individuamo in ascissa (si veda freccia verticale a destra) il valore $V_{cor} / V_{corMax} = 0.125$, quindi troviamo un punto sulla curva che indica sulle ordinate (si veda freccia orizzontale in alto) il valore del rapporto segnale/disturbo di circa -7.5 dB, pari ad un rapporto decimale di $S/N = 1/2.37$; in questo caso il livello del rumore è 2.37 volte il livello del segnale.

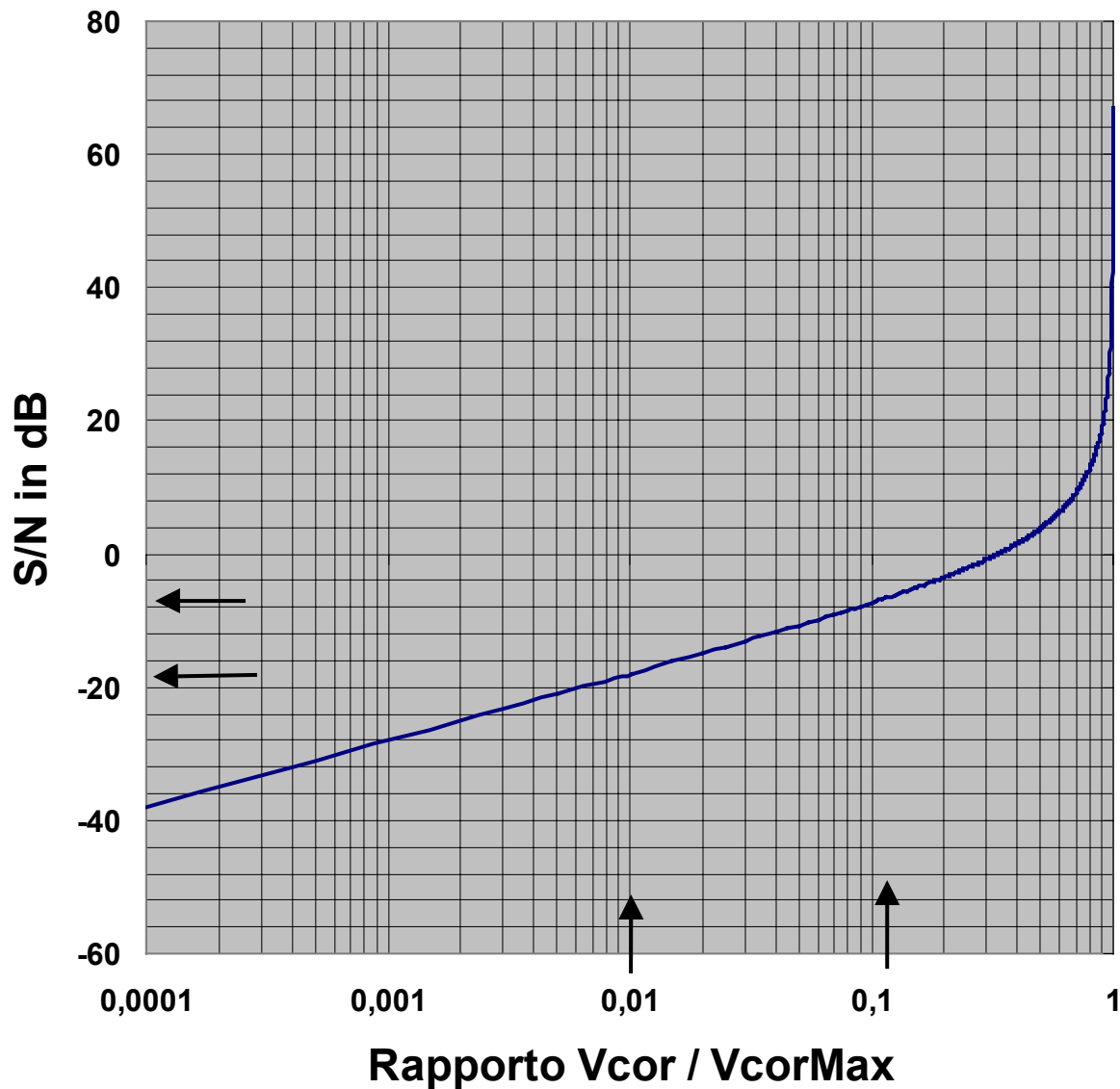
Per il secondo valore di

$$V_{cor} / V_{corMax} = 0.01$$

individuamo in ascissa (si veda freccia verticale a sinistra) il valore $V_{cor} / V_{corMax} = 0.01$ quindi troviamo un punto sulla curva che indica sulle ordinate (si veda freccia orizzontale in basso), il valore del rapporto segnale/disturbo di circa -18 dB, pari ad un rapporto decimale di $S/N = 1/7.94$; in questo caso il livello del rumore è 7.94 volte il livello del segnale.

figura 7.11

Rapporto segnale / disturbo



Osservazioni:

I due valori di S/N ricavati nell'esercizio possono rappresentare due momenti di variabilità del disturbo nell'ambito dei due percorsi dei segnali; il rapporto S/N può infatti variare nel tempo in dipendenza di fattori non determinabili a priori.

I risultati che abbiamo ottenuto mediante i circuiti di correlazione, realizzabili nella realtà, sono d'importanza primaria: non esiste tecnicamente strumento tanto versatile e semplice da consentire l'esecuzione di misure così significative nell'indagine sul comportamento dei segnali.

In questo tipo d'applicazione si può misurare tanto il rapporto tra il segnale ed il disturbo, quanto valutare singolarmente le ampiezze delle due variabili con un procedimento particolare di cui andiamo a parlare nel punto seguente.

Valutazione dei livelli del segnale e del disturbo:

Per questo tipo di valutazione sono richieste due misure del livello globale del segnale più il disturbo all'uscita di un ricevitore, da eseguire immediatamente prima e subito dopo aver misurato il valore della tensione continua all'uscita del circuito di correlazione.

Supponiamo dunque di misurare il livello della tensione totale all'uscita di un ricevitore (segnale più disturbo) dopo 10 minuti dall'accensione e di ottenere i seguenti rilievi:

Vt1 = Tensione totale all'uscita di un ricevitore prima della misura della correlazione

Vt2 = Tensione totale all'uscita di un ricevitore dopo la misura della correlazione

Vt1 = 250 mV eff

Vt2 = 237 mV eff

Si deve ora calcolare la tensione media tra le due secondo l'espressione:

$$V_{tm} = (V_{t1} + V_{t2}) / 2 = (250 \text{ mV eff.} + 237 \text{ mV eff.}) / 2 = 243.5 \text{ mV eff.}$$

Essendo Vtm il risultato tra la somma tra la potenza del segnale e la potenza del disturbo, possiamo scrivere:

$$V_{tm} = \sqrt{(S1^2 + n1^2)}$$

Dato che il rapporto S1/n1 è determinabile con la curva di figura 7.11, possiamo ancora scrivere:

$$S1 / n1 = k$$

dove k è il valore di S/N, espresso in termini decimali, ricavato dalla curva di figura 7.11.

Dalle due uguaglianze si ottengono le espressioni finali che consentono il calcolo di S1 ed n1:

$$n1 = V_{tm} / \sqrt{(k^2 + 1)}$$

$$S1 = (k * V_{tm}) / \sqrt{(k^2 + 1)}$$

Essendo per il nostro esercizio:

$$V_{tm} = 243.5 \text{ mV eff.}$$

$$k = S/N = 1 / 7.94 = 0.126$$

si applicano le formule e si ottiene:

$$n1 = V_{tm} / \sqrt{(k^2 + 1)} = 243.5 \text{ mV eff.} / \sqrt{(0.126^2 + 1)} = 241.58 \text{ mV}$$

$$S1 = (k * V_{tm}) / \sqrt{(k^2 + 1)} = 0.126 * 243.5 \text{ mV eff.} / \sqrt{(0.126^2 + 1)} = 30.44 \text{ mV eff.}$$

Questi risultati dimostrano ancora una volta le potenzialità della metodologia di misura ottenibili con l'impiego del circuito di correlazione.

7.5 L'impiego del correlatore per la ricerca dei segnali coperti dai disturbi

Il problema inerente la ricerca dei segnali coperti dai disturbi è risolvibile mediante i circuiti di correlazione, visti in precedenza, con l'aggiunta di alcuni componenti e funzioni particolari.

Dobbiamo preliminarmente rivedere alcune premesse al secondo esercizio illustrato nel paragrafo 7.3, che riportiamo di seguito:

Supponiamo che un generatore abbia inviato un segnale, S , attraverso due percorsi diversi p_1 , p_2 , (si possono ipotizzare percorsi di onde radio, onde radar, onde acustiche in aria, o onde acustiche in mare, o altri percorsi) al termine dei percorsi il segnale viene captato da due ricevitori diversi e si presenta alla loro uscita con due segnali che indichiamo con $S1$ ed $S2$.

1) -Se i due percorsi non alterano la coerenza dei segnali $S1$ ed $S2$, questi, all'uscita dei due ricevitori, sono coerenti tra loro (ovvero correlati).

2) -Se durante il percorso p_1 agenti esterni provocano un inquinamento del segnale si sommerà ad $S1$ un disturbo n_1 .

3) -Se durante il percorso p_2 agenti esterni provocano un inquinamento del segnale si sommerà ad $S2$ un disturbo n_2 .

4) -I due disturbi n_1 ed n_2 , essendo generati in due zone diverse dei percorsi, non sono coerenti tra loro (ovvero sono scorrelati)

Al punto 1) delle premesse s'ipotizza che i due percorsi di transito dei segnali non ne alterino la coerenza, ma questa affermazione può non essere valida: nel caso dell'esercizio citato è stata ritenuta valida ai fini dello svolgimento dell'esercizio stesso, che non avrebbe potuto essere sviluppato, se $S1$ ed $S2$ non fossero stati coerenti. infatti se i segnali fossero stati scorrelati avrebbero avuto le stesse caratteristiche dei disturbi e, sommandosi a quest'ultimi, avrebbero dato luogo, all'uscita dei ricevitori, a due tensioni tra loro non correlate che non avrebbero prodotto, all'uscita del correlatore, alcuna tensione continua V_{cor} (così come, nelle fasi di taratura, un circuito correlatore non reagisce alle tensioni scorrelate di rumore prodotte dai due generatori di controllo; si veda sul tema il paragrafo 7.2).

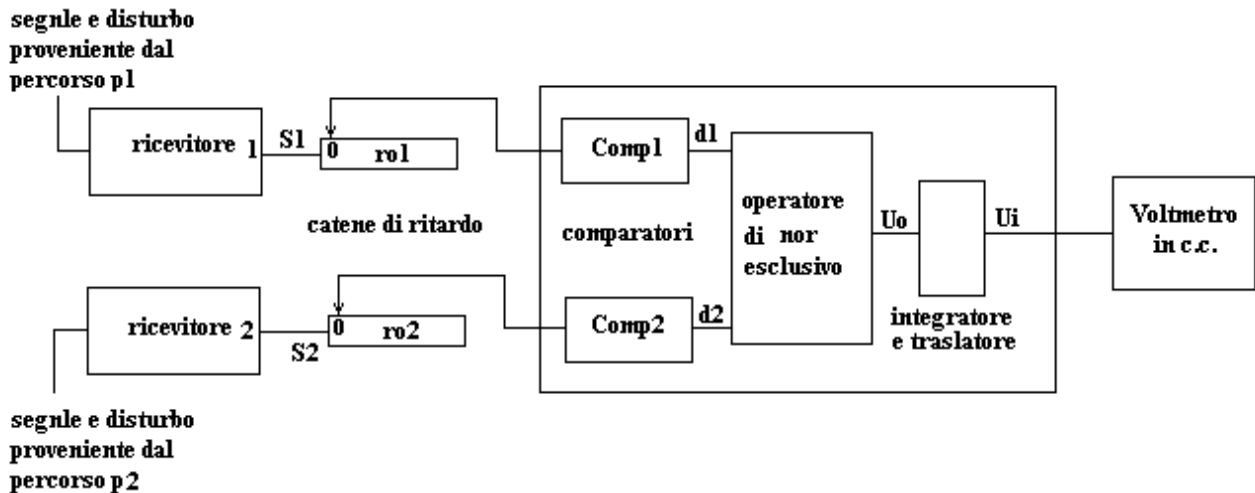
A questo punto ci si chiede quale fenomeno, durante il transito del segnale attraverso i percorsi p_1 e p_2 , può rendere scorrelati due segnali, $S1$ ed $S2$, che all'origine erano correlati; può accadere, ad esempio, che la lunghezza del percorso p_1 risulti molto più grande dalla lunghezza del percorso p_2 : in questo caso le polarità positive e negative dei segnali $S1$ ed $S2$, che nei pressi dell'origine erano sempre coincidenti nello stesso tempo, vengono a trovarsi, a causa del maggior tempo di percorrenza di $S1$ rispetto ad $S2$, non più coincidenti nello stesso tempo e quindi scorrelate. Questa situazione si verifica in realtà per la maggior parte dei casi, è così che più raro trovare la condizione di coerenza ipotizzata per l'esercizio citato.

Ecco quindi che nasce il problema di come scoprire la presenza di due segnali, $S1$ ed $S2$, generati in coerenza, e giunti ai ricevitori, coperti dal rumore che li sovrasta, come energia non coerente. La questione si risolve ricorrendo a nuove caratteristiche matematiche dei circuiti di correlazione dette "funzioni di correlazione"; queste funzioni consentono di tracciare l'andamento della tensione continua V_{cor} , prodotta all'uscita del correlatore, in dipendenza del ritardo introdotto artificialmente tra i segnali $S1$ ed $S2$ all'uscita dei ricevitori. Quando il ritardo artificiale si approssima al ritardo, r_p , dovuto alla differenza di percorso tra $S1$ ed $S2$, la tensione V_{cor} , da nulla che era, inizia ad incrementarsi per raggiungere un massimo in corrispondenza dell'eguaglianza tra il valore artificiale del ritardo ed il valore di r_p . Se il ritardo artificiale viene fatto ulteriormente crescere l'ampiezza di V_{cor} decresce fino a valori prossimi allo zero per valori del ritardo artificiale molto più grandi di r_p .

Quanto detto richiede di tornare un attimo alla circuitazione elettronica per vedere come i ritardi artificiali possono prendere forma nel contesto del circuito di figura 7.10; così come mostrato nel nuovo schema a blocchi di figura 7.12.

Nel disegno di figura 7.12 compaiono, tra i ricevitori ed il correlatore, due blocchi indicati con le lettere ro_1 ed ro_2 , questi circuiti sono delle catene di ritardo, simili a quelle studiate nel capitolo 6, ed hanno il compito di compensare i ritardi naturali, r_p , di $S1$ o di $S2$ per cercare di ottenere il massimo di V_{cor} all'uscita del correlatore qualora $S1$ ed $S2$ non siano correlati al loro arrivo.

figura 7.12



Con l'aiuto di figura 7.12 cerchiamo di vedere quale azioni dovrebbero essere fatte qualora il circuito illustrato rappresenti fisicamente un posto di misura per la ricerca dei segnali S1 ed S2 emessi da una sorgente lontana.

1° caso- S1 ed S2 sono coerenti tra loro ed il voltmetro elettronico all'uscita del correlatore indica con evidenza un valore elevato di V_{cor} .

Le due catene di ritardo ro1 ed ro2 hanno il cursore, rappresentato dalla freccia verticale, posizionato per ritardo 0.

In questa situazione, introducendo ritardo su S1 od S2, variando la posizione del cursore di ro1 o ro2 si ottiene sempre un decremento di V_{cor} in quanto, essendo S1 ed S2 tra loro correlati, non c'è nessuna differenza di tempo da compensare.

2° caso- S1 ed S2 sono incoerenti tra loro ed il voltmetro elettronico all'uscita del correlatore indica un livello di tensione praticamente nullo.

Le due catene di ritardo ro1 ed ro2 hanno il cursore, rappresentato dalla freccia verticale, posizionato per ritardo 0.

Dal valore nullo di V_{cor} si deduce che, se S1 ed S2 sono presenti, possono essere trovati variando il ritardo artificiale; se per esempio S1 ha effettuato il percorso maggiore, si deve iniziare a ritardare S2 affinché all'ingresso del correlatore possano trovarsi entrambi i segnali ritardati della stessa quantità di tempo, r_p per S1, a causa del percorso, r_o2 per S2, a causa del ritardo artificiale introdotto da ro2. Durante la variazione del ritardo di ro2, si vedrà la tensione V_{cor} aumentare d'ampiezza fino ad un valore oltre il quale, con ulteriori incrementi di ritardo, la V_{cor} inizierà a decrescere.

La coerenza tra S1 ed S2 si riterrà raggiunta, e con essa trovato il segnale, in corrispondenza del massimo di V_{cor} .

3° caso- S1 ed S2 sono incoerenti tra loro ed il voltmetro elettronico all'uscita del correlatore indica un livello di tensione praticamente nullo.

Le due catene di ritardo ro1 ed ro2 hanno il cursore, rappresentato dalla freccia verticale, posizionato per ritardo 0.

Dal valore nullo di V_{cor} si deduce che, se S1 ed S2 sono presenti, possono essere trovati variando il ritardo artificiale; se per esempio S2 ha effettuato il percorso maggiore, si deve iniziare a ritardare S1 affinché all'ingresso del correlatore possano trovarsi entrambi i segnali ritardati della stessa quantità di tempo, r_p per S2, a causa del percorso, r_o1 per S1, a causa del ritardo artificiale introdotto da ro1. Durante la variazione del ritardo di ro1 si vedrà la tensione V_{cor} aumentare d'ampiezza fino ad un valore oltre il quale, con ulteriori incrementi di ritardo, la V_{cor} inizierà a decrescere.

La coerenza tra S1 ed S2 si riterrà raggiunta, e con essa trovato il segnale, in corrispondenza del massimo di V_{cor} .

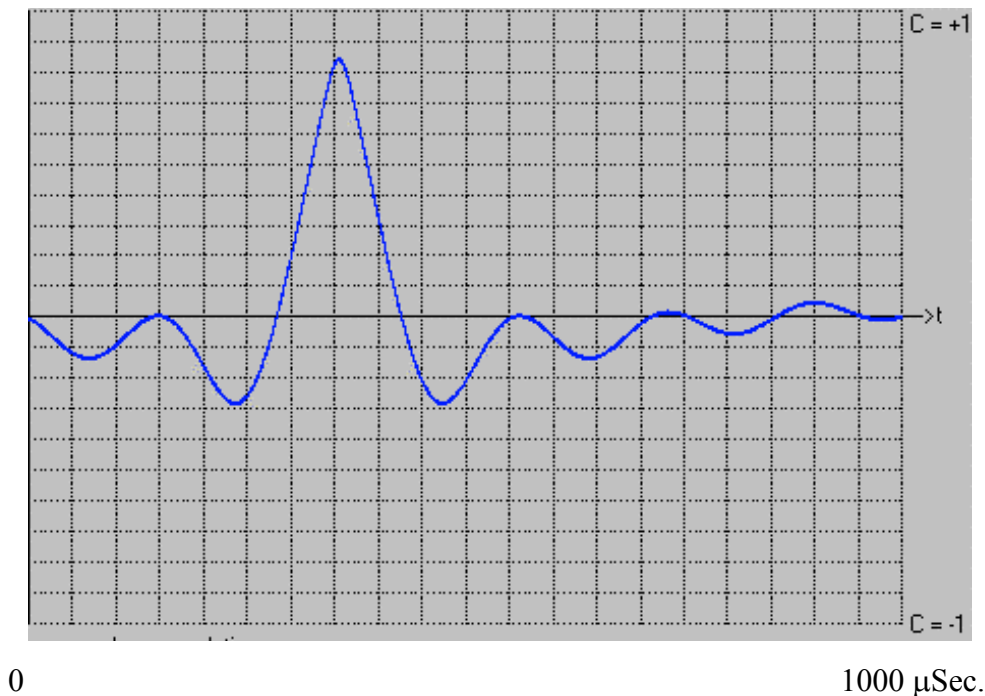
Tutto quanto detto verte, sia sui ritardi introdotti dalle catene - ritardi che andremo a quantizzare nell'ambito di alcuni esercizi che verranno proposti in seguito - sia sulla legge di variazione della tensione V_{cor} all'uscita del correlatore; su detta legge cercheremo di dare chiarimenti evitando il percorso strettamente teorico che ci porterebbe lontano dall'impostazione tecnica di questo manuale. La legge di variazione di V_{cor} , in dipendenza del ritardo introdotto artificialmente, è detta "funzione di correlazione". Questa funzione è rappresentabile in un diagramma cartesiano nel quale in ascisse è riportato il valore del tempo del ritardo artificiale ed in ordinate l'ampiezza della V_{cor} .

L'andamento delle funzioni di correlazione dipende da quattro fattori:

- Dalla banda di frequenza nella quale sono piazzati i segnali S1 ed S2.
- Dal rapporto tra l'ampiezza dei segnali e l'ampiezza dei disturbi (il rapporto S/N già visto in precedenza).
- Dal tempo di ritardo dovuto alla differenza di percorso tra S1 ed S2.
- Dal tempo di ritardo artificiale introdotto all'ingresso del circuito di correlazione.

Una curva caratteristica della funzione di correlazione è mostrata in figura 7.13 e di seguito commentata:

figura 7.13



La curva di figura 7.13 mostra come varia l'ampiezza della tensione d'uscita, V_{cor} , di un correlatore in ordinate ad ampiezza normalizzata; ciò significa che nelle ordinate non figura il termine V_{corMax} specifico di un particolare correlatore, ma, in corrispondenza del massimo, il valore 1 al quale rapportare, e vedremo come, i dati di un determinato correlatore. Si fa presente che il profilo della curva, nella zona di massimo, diventa una cuspide per rapporti S/N molto elevati. Il grafico è stato tracciato per i seguenti fattori:

- Banda di frequenza nella quale sono piazzati i segnali S1 ed S2: da 1000 Hz a 6000 Hz
- Rapporto tra l'ampiezza dei segnali e l'ampiezza dei disturbi: $S/N = + 15$ dB (pari ad un rapporto decimale di 5.6 volte, il segnale ha un'ampiezza di 5.6 volte quella del rumore).
- Il tempo di ritardo dovuto alla differenza di percorso tra S1 ed S2: 355 μ Sec.
- Il tempo di ritardo artificiale introdotto all'ingresso del circuito di correlazione varia da 0 a 1000 μ Sec.

La curva, che rappresenta l'andamento della V_{cor} , è stata calcolata per un numero di punti del ritardo artificiale, tali da consentirne una uniforme tracciabilità nel disegno. Questi punti sono in numero estremamente elevato rispetto ai punti di ritardo artificiale che praticamente possono essere realizzati. Il grafico evidenzia, oltre al picco massimo, delle ondulazioni molto evidenti caratteristiche di questa particolare funzione.

Vediamo ora come collegare il grafico dato con la sequenza di uno dei casi citati in precedenza: Siano i due segnali definiti in banda 1000-6000 Hz, con un rapporto $S/N = +15$ dB, si possa variare il ritardo della catena $ro2$ da 0 a 1000 μ Sec, sia il ritardo di percorso di S1 di 355 μ Sec. Il correlatore sia caratterizzato da $V_{corMax} = + 6V$.

All'accensione del sistema S1 ed S2 sono incoerenti tra loro ed il voltmetro elettronico all'uscita del correlatore indica un livello di tensione praticamente nullo (**siamo nel punto di ascissa 0 del grafico**)

Le due catene di ritardo $ro1$ ed $ro2$ hanno il cursore (rappresentato dalla freccia verticale), posizionato per ritardo 0

I segnali possono essere trovati variando il ritardo artificiale; dato che S1 ha un ritardo di 355 μ Sec, avendo effettuato il percorso maggiore, si deve iniziare a ritardare S2 affinché all'ingresso del correlatore possano trovarsi entrambi i segnali ritardati della stessa quantità di tempo, $rp = 355 \mu$ Sec per S1, a causa del percorso, ed $ro2 = 355 \mu$ Sec. per S2, a causa del ritardo artificiale introdotto da $ro2$.

-Durante la variazione del ritardo di $ro2$ si vede la tensione V_{cor} ondulare attorno a piccoli valori negativi (**siamo nel tratto di ondulazione della curva che precede la zona in cui la V_{cor} aumenta decisamente**).

-Dopo questo intervallo, incrementando ancora il ritardo artificiale, la V_{cor} aumenta d'ampiezza fino al suo valore massimo di + 5.1 V_{cc} , valore dovuto al rapporto $S/N = + 15$ dB; in corrispondenza di un ritardo artificiale di 355 μ Sec, ci aspettiamo pertanto che l'ampiezza della curva normalizzata sia:

$$V_{cor} / V_{corMax} = 5.1 V_{cc} / 6 V_{cc} = 0.85$$

(**siamo infatti al culmine della curva e la sua ampiezza normalizzata indica un valore di circa 0.85**).

-Con ulteriori incrementi di ritardo, la V_{cor} inizia a decrescere (**siamo nel tratto discendente della curva a destra del massimo**).

-Altri incrementi di ritardo portano la V_{cor} ad ondulare su valori di tensione negativi (**siamo nell'ultimo tratto della curva verso il ritardo artificiale massimo di 1000 μ Sec**).

La procedura che abbiamo seguito si appoggia alla curva teorica dell'andamento di V_{cor} , ma su di essa potrà ritrovare soltanto i punti fisici corrispondenti al numero delle prese della catena di ritardo e non una sequenza quasi illimitata dei punti di ritardo calcolati.

Un secondo esempio di funzione di correlazione, che evidenzia la potenza di queste particolari procedure d'analisi dei segnali, è proposto nel caso in cui il segnale da ricercare sia di ben -18 dB

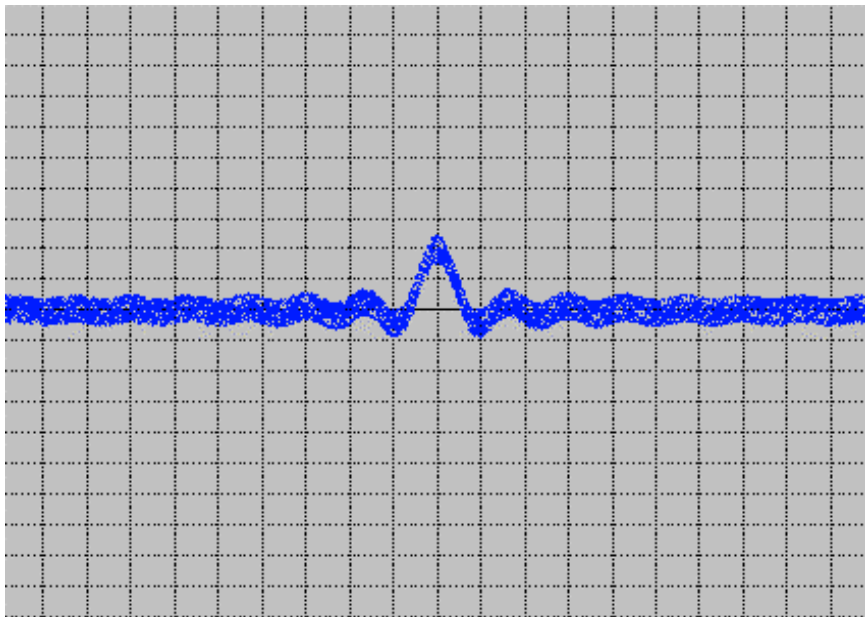
sotto il disturbo, cioè circa 1/8 dell'ampiezza del disturbo. Un segnale così sovrastato dal disturbo è praticamente impensabile da discriminare con le tecniche tradizionali di rivelazione disponibili in laboratorio.

Il grafico di figura 7.14 mostra l'andamento della funzione di correlazione ottenuta con i seguenti parametri:

- Banda di frequenza nella quale sono piazzati i segnali S1 ed S2: da 100 Hz a 15000 Hz
- Rapporto tra l'ampiezza dei segnali e l'ampiezza dei disturbi: $S/N = -18$ dB (pari ad un rapporto di 0.125, il segnale ha un'ampiezza di 1/8 del rumore).
- Il tempo di ritardo dovuto alla differenza di percorso tra S1 ed S2: 500 μ Sec.
- Il tempo di ritardo artificiale introdotto all'ingresso del circuito di correlazione varia da 0 a 1000 μ Sec.
- Il correlatore ha un valore caratteristico di $V_{corMax} = + 6V$
- La costante di tempo integrazione è di 10 Secondi.

In questo caso, dove la ricerca del segnale deve essere condotta per un rapporto S/N molto piccolo, è necessario prevedere un elevato valore della costante di tempo d'integrazione del correlatore al fine di ridurre la varianza entro valori ragionevoli che ci permettano di trovare il segnale.

figura 7.14



Questa curva non è normalizzata come la precedente per consentire la visione di un valore di V_{cor} molto piccolo: per questa ragione l'ordinata ha un valore di 300 mVcc pari ad 1/20 di V_{corMax} . Il massimo di V_{cor} , di ampiezza di 60mVcc circa, è piazzato per il ritardo artificiale di 500 μ Sec. Il massimo individua la presenza di un segnale di ampiezza 1/8 rispetto al disturbo. Lo spessore della traccia mostra di quanto possono ondulare, in ciascun punto di ritardo, i valori della V_{cor} a seguito dell'effetto della varianza. Quest'ultima, se pur attenuata da un valore elevato della costante di tempo, riesce ancora a perturbare la tensione d'uscita del correlatore.

Le relazioni matematiche con le quali calcolare le funzioni di correlazione, per coloro che vogliono cimentarsi in questo tipo di computazioni, sono riportate in appendice A 13. Il ricorso a questi calcoli, per approcci non strettamente professionali ai metodi di correlazione, non è indispensabile,

dato che si possono ottenere risultati soddisfacenti anche con mezzi semplici, come mostrato nel seguente esercizio:

Tema:

Si vogliono trovare, mediante un circuito di correlazione, due segnali inquinati dal disturbo definiti dalle seguenti caratteristiche:

S1 ed S2 definiti in una banda compresa tra $F1 = 2000$ e $F2 = 8000$ Hz

Rapporto S/N = + 6 dB (rapporto decimale = 2)

Ritardo di percorso di S1: $r_p = 100 \mu\text{Sec}$.

Si assuma per il correlatore una caratteristica $V_{\text{corMax}} = + 6V$ ed una costante di tempo $c_t = 1 \text{ Sec}$.

Si calcoli e si misuri l'entità della varianza.

Si determinino i punti significativi della funzione di correlazione.

Si doti il correlatore di un campo di ritardo artificiale da 0 a $200 \mu\text{Sec}$ a passi di $10 \mu\text{Sec}$.

Determinazione dei punti significativi della funzione di correlazione:

Per non ricorrere all'impiego di formule complicate è possibile avere un'indicazione della funzione di correlazione mediante la determinazione dei suoi punti significativi; ciò si ottiene sulla base dei seguenti ragionamenti:

-Si valuta l'ampiezza che la V_{cor} deve avere in corrispondenza del massimo della funzione; ciò si ottiene dal valore dato di $V_{\text{corMax}} = + 6V$ e dal rapporto S/N = + 6 dB impiegando la curva di figura 7.11 nel seguente modo: nelle ordinate s'individua il valore di S/N = + 6 dB, da questo si incontra la curva in un punto che, abbassato sulle ascisse, indica in circa 0.58 il rapporto tra $V_{\text{cor}}/V_{\text{corMax}}$. Quindi si può scrivere:

$$V_{\text{cor}}/V_{\text{corMax}} = 0.58$$

da cui

$$V_{\text{cor}} = 0.58 * V_{\text{corMax}} = 0.58 * 6 V_{\text{cc}} = 3.5 V_{\text{cc}}$$

Il massimo di V_{cor} si ottiene per il ritardo di percorso indicato nel tema : $r_p = 100 \mu\text{Sec}$.

-Si calcola il valore del ritardo r_{x1} per il quale la funzione di correlazione, dal valore zero inizia a crescere per raggiungere il massimo, che si troverà al corrispondente valore di ritardo artificiale coincidente con il ritardo di percorso r_p .

Il valore di r_{x1} si calcola applicando la formula:

$$r_{x1} = r_p - \{1 / [2 * (F1 + F2)]\}$$

Essendo $F1 = 2000$ Hz, $F2 = 8000$ Hz e $r_p = 100 \mu\text{Sec}$ si ha:

$$r_{x1} = 100 \mu\text{Sec} - \{1 / [2 * (2000 \text{ Hz} + 8000 \text{ Hz})]\} = 50 \mu\text{Sec}$$

-Si calcola il valore del ritardo r_{x2} per il quale la funzione di correlazione, dal valore massimo, decrescendo, si riduce a zero.

Il valore di r_{x2} si calcola applicando la formula:

$$r_{x2} = r_p + \{1 / [2 * (F1 + F2)]\}$$

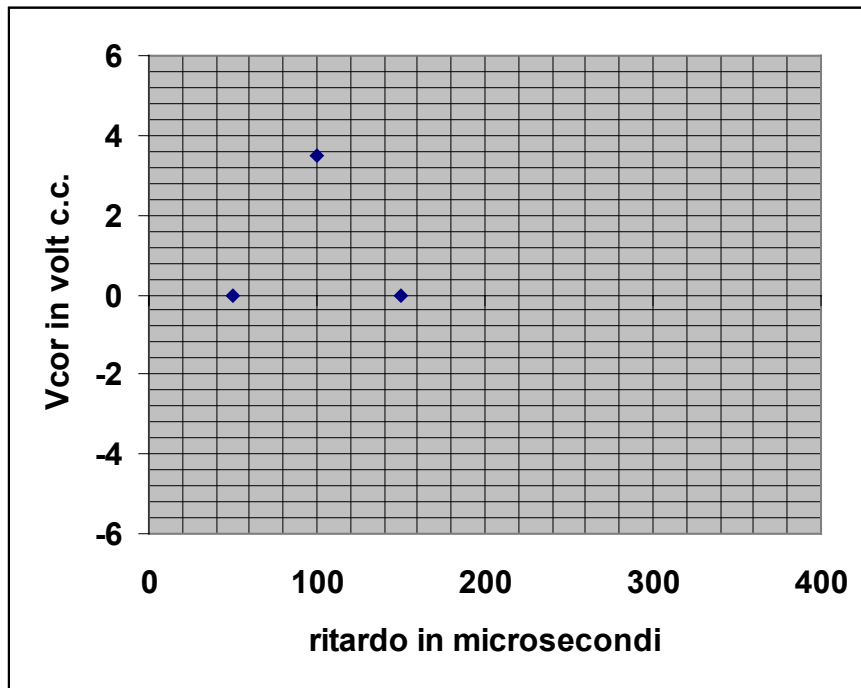
Essendo $F1 = 2000 \text{ Hz}$, $F2 = 8000 \text{ Hz}$ e $r_p = 100 \mu\text{Sec}$ si ha:

$$r_{x2} = 100 \mu\text{Sec} + \{1 / [2 * (2000 \text{ Hz} + 8000 \text{ Hz})]\} = 150 \mu\text{Sec}$$

Con i dati calcolati tracciamo i punti significativi attraverso i quali individuare il passaggio della funzione di correlazione; se questi valori vengono tracciati su carta millimetrata possiamo ottenere i limiti entro i quali si può pensare disegnata la parte più significativa della funzione di correlazione che interessa.

La figura 7.15 mostra questo semplice diagramma:

figura 7.15



Calcolo della varianza:

La varianza è un indicatore, sia del corretto funzionamento del correlatore, sia della situazione generale di misura: valori di varianza elevati, emergenti dal calcolo, ci dicono che la misura del massimo di correlazione sarà difficoltosa per l'eccessiva ondulazione di V_{cor} , valori di varianza bassi ci danno speranza sui risultati delle misure.

La formula per il calcolo della varianza è la seguente:

$$V_n = 2 * V_{corMax} / \{ 3.14 * \sqrt{[3.4 * ct * (F2 - F1)]} \}$$

dove

V_{corMax} è espresso in volt c.c.

$F1$ ed $F2$ sono espresse in Hertz

ct , costante di tempo dell'integratore, è espressa in secondi

Sostituendo in essa i valori in nostro possesso abbiamo:

$$V_n = 2 * 6 \text{ V} / \{ 3.14 * \sqrt{[3.4 * 1 \text{ Sec} * (8000 - 2000)]} \} = 26.7 \text{ mV}$$

Questo valore, comparato con la $V_{cor} = 3.5 V_{cc}$ che abbiamo calcolato al passo precedente, indica che l'ondulazione su V_{cor} non sarà elevata essendo V_n circa l'1% di V_{cor} .

Impostazione delle catene di ritardo:

Le catene di ritardo richieste da tema prevedono un valore complessivo di ritardo di 200 μSec . suddiviso in cellule da 10 μSec ciascuna.

La catena deve essere dimensionata utilizzando le procedure di progetto illustrate nel capitolo 6; secondo le seguenti indicazioni:

-la catena di ritardo, dovendo ritardare un segnale compreso in una ampia gamma di frequenze, deve essere formata con cellule del tipo ad m derivato.

-la catena deve essere costituita da 20 cellule da 10mSec, ciascuna dotata di terminale di prelievo.

-il tipo di pilotaggio della catena deve essere di corrente al fine di non introdurre, oltre al ritardo delle singole cellule, anche il ritardo della semicellula terminale.

Schema di misura:

Lo schema di misura vede una configurazione simile a quella di figura 7.12 ma con una sola catena di ritardo disposta all'uscita del ricevitore 2.

Procedura di misura:

All'accensione S1 ed S2 sono incoerenti tra loro ed il voltmetro elettronico all'uscita del correlatore indica un livello di tensione piccolo.

La catena di ritardo ha il cursore posizionato per ritardo 0.

Si inizia a ritardare S2 affinché all'ingresso del correlatore possano trovarsi entrambi i segnali ritardati della stessa quantità di tempo.

Durante la variazione del ritardo, ottenuta a passi di 10 μSec , si riporteranno, sul diagramma di figura 7.15, i valori della V_{cor} misurati nei diversi punti.

Proseguendo ad incrementare il ritardo si vedrà la tensione V_{cor} aumentare d'ampiezza fino ad un valore oltre il quale, con ulteriori incrementi di ritardo, la V_{cor} inizierà a decrescere; questo massimo si otterrà per un ritardo artificiale di 100 μSec , così come già individuato nel diagramma. Con quest'ultimo passo la coerenza tra S1 ed S2 si riterrà raggiunta e con essa individuato il segnale, in corrispondenza del massimo di V_{cor} .

Proseguendo ancora con l'incremento di ritardo, si vedrà decrescere la V_{cor} fino a raggiungere lo zero indicato sul diagramma; oltre a tale punto si rileveranno variazioni contenute di V_{cor} . Si otterrà infine una punteggiata, entro i limiti dei tre punti significativi, che mostrerà di massima come varia la funzione di correlazione.

Misura della varianza:

Il tema si esaurisce con la misura della varianza V_n , ovvero dell'ondulazione che rende instabile il valore massimo della tensione d'uscita del correlatore.

La misura della varianza è fattibile con un voltmetro elettronico in corrente alternata posto in parallelo al voltmetro in corrente continua per la misura della V_{cor} ; la misura è tanto più difficoltosa quanto è elevata la costante di tempo c_t dato che V_n diminuisce d'ampiezza e di frequenza con il crescere della costante di tempo.

Una volta misurata la varianza se ne controlla il valore comparandolo con quello teorico ricavato in precedenza.

Osservazioni:

Nel secondo punto di questo esercizio abbiamo sviluppato i calcoli per la determinazione teorica dell'ampiezza della varianza utilizzando la formula che riportiamo:

$$V_n = 2 * V_{corMax} / [3.14 * \sqrt{ (3.4 * ct * (F2 - F1)) }$$

Nell'espressione di calcolo di V_n si vede che la costante di tempo ct è collocata a denominatore dell'espressione stessa, ciò porta immediatamente a pensare che la varianza potrà essere tanto più piccola quanto maggiore sarà la costante di tempo ct . Questo ragionamento, da un punto di vista numerico, è assolutamente corretto; è vero infatti che ad ogni quadruplicare di ct si ha un dimezzamento dell'ampiezza della varianza.

Ci si può quindi chiedere perché non abbattere la varianza, che tanti problemi può dare nella misura della V_{cor} , aumentando a piacere il valore di ct . La risposta a questo quesito si può dare in termini discorsivi:

Supponiamo di aver allestito un sistema di correlazione, completo di ricevitori, catene e quant'altro, per il controllo della permanenza della correlazione tra due segnali $S1$ e $S2$; utilizzeremo il voltmetro, collegato all'uscita del correlatore, per esaminare il comportamento della V_{cor} e assumere, rapidamente, alcune decisioni qualora tale valore dovesse decrescere.

Il valore di V_{cor} sotto controllo è stato ottenuto inserendo opportunamente, mediante la catena, un ritardo artificiale pari al ritardo di percorso rp .

Se per qualche motivo il ritardo rp cambierà valore noi vedremo immediatamente un decremento della V_{cor} che ci indurrà alle decisioni programmate.

La rapidità della risposta tra la variazione del ritardo di percorso rp e la variazione della tensione d'uscita V_{cor} del correlatore, è legata strettamente al valore della costante di tempo ct del circuito integratore; infatti se la costante di tempo ct è commisurata alla velocità della variazione di rp , avremo in tempo l'informazione del cambiamento di questa variabile.

Se invece la costante di tempo non è stata dimensionata correttamente, ovvero è più grande del necessario, ad un cambiamento rapido di rp non corrisponde un' altrettanto rapida variazione di V_{cor} con la conseguenza che le decisioni del caso vengono prese in ritardo.

Questo fenomeno è dovuto al comportamento del condensatore del circuito d'integrazione che, una volta caricato, impiega del tempo per scaricarsi ed assumere valori inferiori (si veda appendice A4). L'inerzia determinata dalla costante di tempo ct , che si manifesta sia durante la fase di carica che nella fase di scarica del condensatore, condiziona completamente le prestazioni di un circuito di correlazione. Al valore di ct si dovrà prestare attenzione anche quando, agendo sul ritardo artificiale, si cercherà di seguire le variazioni di V_{cor} : ad ogni passo di ritardo introdotto variando la presa sulla catena, si dovrà dar tempo al condensatore del circuito integratore di assestarsi al valore massimo congruente con la coerenza tra i segnali, ciò con tanta più attenzione se i valori di V_{cor} devono essere annotati per poi riportarli in diagramma per tracciare l'andamento complessivo della funzione di correlazione.

Da quanto detto si è compreso che il valore di ct non possa essere considerato soltanto come variabile atta a ridurre l'ampiezza della varianza, ma quale elemento da dimensionare secondo un ragionevole compromesso tra le due opposte esigenze: rendere veloce la risposta del correlatore e nel contempo portare la varianza entro limiti accettabili.

A puro titolo informativo si evidenzia che la formula per il calcolo di V_n dipende, oltre che da ct , anche dalla larghezza della banda in cui sono definiti i segnali da correlare, ciò significa che si può agire anche su $F1$ e $F2$ nell'intento di ridurre la varianza. Seguendo questa strada la velocità di risposta del correlatore non viene influenzata, la problematica connessa alla nuova procedura è però molto complessa.

7.6 Monitoraggio tra segnali

Nel trattamento dei segnali, a volte, è utile poterne monitorare le relazioni di interdipendenza per agire conseguentemente alle loro variazioni. Un caso può essere, ad esempio, la condizione di massima correlazione tra due segnali, S1- S2, che deve mantenersi tale durante una certa fase di un determinato processo: è pertanto interessante poter conoscere quando detta correlazione viene a mancare per prendere adeguate misure.

Su questa linea di pensiero si può perciò immaginare il monitoraggio tra due segnali estensibile alle diverse condizioni di interdipendenza:

- 1) si può monitorare, come già detto, la persistenza di coerenza nel tempo, tra due segnali S1 ed S2, condizione per la quale i segnali devono presentare la massima correlazione.
- 2) si può monitorare la persistenza di incoerenza nel tempo, tra due segnali S1 ed S2, condizione per la quale i segnali devono presentare correlazione nulla (devono essere scorrelati).
- 3) si può monitorare la persistenza di un livello di media correlazione nel tempo, tra due segnali S1 ed S2, dipendente da un ben definito rapporto tra i segnali ed il disturbo.

-Per la soluzione del primo caso possiamo pensare:

I due segnali applicati ad un circuito di correlazione, nel quale il ritardo artificiale è stato regolato uguale d_{rp} per il massimo di $V_{cor} = V_{corMax}$.

La tensione d'uscita del correlatore (V_{cor}) applicata ad un comparatore di livello predisposto a cambiare stato, allorquando la V_{cor} decrementa, ad esempio, oltre il 20%.

Quando, per subentrata variazione della lunghezza del percorso del segnale, varia il ritardo r_p si ha una caduta di V_{cor} superiore al 20%, si ha una conseguente segnalazione dal comparatore.

Oppure, per subentrata variazione del rapporto segnale/disturbo, si ha una caduta di V_{cor} superiore al 20%, si ha una conseguente segnalazione dal comparatore.

-Per la soluzione del secondo caso possiamo pensare:

I due segnali applicati ad un circuito di correlazione nel quale il ritardo artificiale è zero. I due segnali da monitorare sono scorrelati e rendono l'uscita del correlatore a $V_{cor} = 0$ (salvo le ondulazioni della varianza)

La tensione d'uscita del correlatore (V_{cor}) applicata ad un comparatore di livello predisposto a cambiare stato allorquando la V_{cor} incrementa, ad esempio, oltre $0.5 V_{cc}$ (il comparatore non può essere predisposto sotto il livello dei picchi della varianza, altrimenti darebbe un continuo di segnalazioni false).

Quando, per cause da accertare, la V_{cor} assume valori superiori a $0,5 V_{cc}$, il comparatore cambia stato e dà segnalazione del fatto.

-Per la soluzione del terzo caso possiamo pensare:

I due segnali applicati ad un circuito di correlazione, nel quale il ritardo artificiale è stato regolato uguale d_{rp} per il massimo di V_{cor} , inferiore a V_{corMax} per la presenza, accettata, di disturbi ad un certo livello.

La lunghezza di percorso dei due segnali è assolutamente costante per cui si avrà sempre $r_p = k$.

La tensione d'uscita del correlatore (V_{cor}) applicata ad un comparatore di livello predisposto a cambiare stato, allorquando la V_{cor} decrementa, ad esempio, oltre il 10%.

Quando, per subentrata variazione del rapporto segnale/disturbo, si ha una caduta di V_{cor} superiore al 10%, si ha una conseguente segnalazione dal comparatore.

Tutte le soluzioni circuitali alle quali abbiamo accennato si basano sull'impiego di circuiti di correlazione aventi le caratteristiche già illustrate in precedenza, da cui emerge come varia la V_{cor} in dipendenza delle variabili che la condizionano. Nella maggioranza dei casi la zona del massimo di correlazione è rappresentata da una curva tondeggiante sul massimo (profilo della funzione di correlazione), che non consente facilmente di apprezzare piccole variazioni d'ampiezza, ovvero piccole variazioni sulla coerenza tra i segnali che, alcune volte, sarebbero interessanti da rilevare. Per venire incontro a questa esigenza è stato studiato un particolare correlatore (l'anticorrelatore) del quale tratteremo nel prossimo paragrafo.

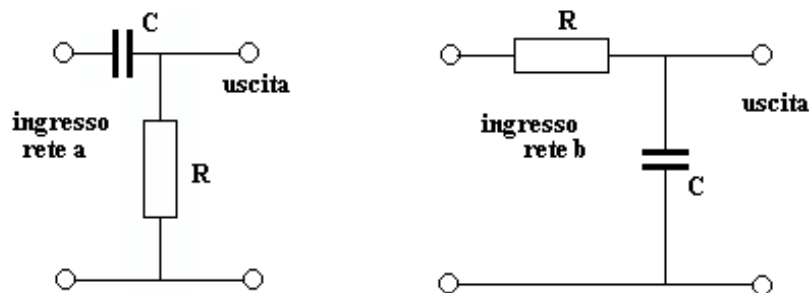
7.6.1 L'anticorrelatore

Questo circuito ha il nome di anticorrelatore proprio perché fornisce una tensione $V_{cor} = 0$ nei casi in cui un correlatore normale fornisce $V_{cor} = V_{corMax}$. Questa caratteristica non è dovuta ad una sottrazione di livello di tipo algebrico ma ad una vera e propria legge matematica che consente di ottenere uno zero in corrispondenza della coerenza tra i segnali d'ingresso. L'anticorrelatore non è utile per il monitoraggio delle variazioni di V_{cor} dovute a variazioni del rapporto S/N, ma presenta caratteristiche eccezionali per la discriminazione di piccole variazioni di coerenza dovute ad alterazioni del valore del ritardo (r_p) di percorso. Il circuito aggiunge ulteriori importanti informazioni relative alla variazione di coerenza tra i segnali, indicando se queste avvengono per incrementi o decrementi di r_p .

Il tracciamento della funzione di anticorrelazione non è fondamentale per l'impiego del dispositivo nelle applicazioni pratiche; se per eventuali esigenze intellettuali questo è richiesto, si rimanda il lettore alla lettura dell'appendice A13.

L'anticorrelatore si ottiene, molto semplicemente, aggiungendo all'ingresso del correlatore illustrato in figura 7.12, due particolari reti di sfasamento che, assieme, hanno il compito di sfasare di 90° tutte le frequenze della banda in cui sono definiti i segnali (figura 7.16).

figura 7.16



Le reti sono dimensionate in modo che, pur sfasando le tensioni applicate in modo diverso in dipendenza della loro frequenza, la differenza di fase, tra l'uscita della rete "a" e l'uscita della rete "b" resta costante a 90° indipendentemente dalla frequenza applicata.

Naturalmente, come tutti i circuiti R C, l'ampiezza delle tensioni varia con il variare della frequenza; nella rete "a" l'ampiezza aumenta con l'aumentare della frequenza (il circuito ha le caratteristiche di un passa alto), nella rete "b" l'ampiezza diminuisce con l'aumentare della frequenza (ha le caratteristiche di un passa basso).

Questo comportamento è accettabile dal circuito di correlazione di figura 7.12 perché, grazie ai comparatori d'ingresso, le variazioni d'ampiezza non eccessive vengono "assorbite" dalla elevata sensibilità di transizione di detti comparatori.

Il calcolo dei componenti le due reti, uguali tra loro, si sviluppa secondo la formula:

$$R = 1 / (6.28 * F_m * C)$$

dove F_m è la media delle frequenze estreme che definiscono la banda dei segnali applicati

$$F_m = (F_1 + F_2) / 2$$

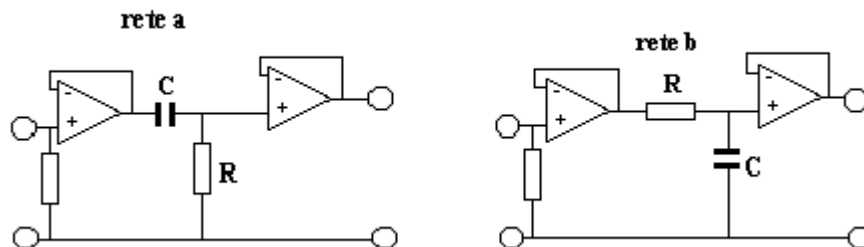
La formula può essere risolta, invece, calcolando C una volta scelto il valore di R secondo l'espressione:

$$C = 1 / (6.28 * F_m * R)$$

In entrambe le formule la resistenza è espressa in ohm e la capacità in Farad.

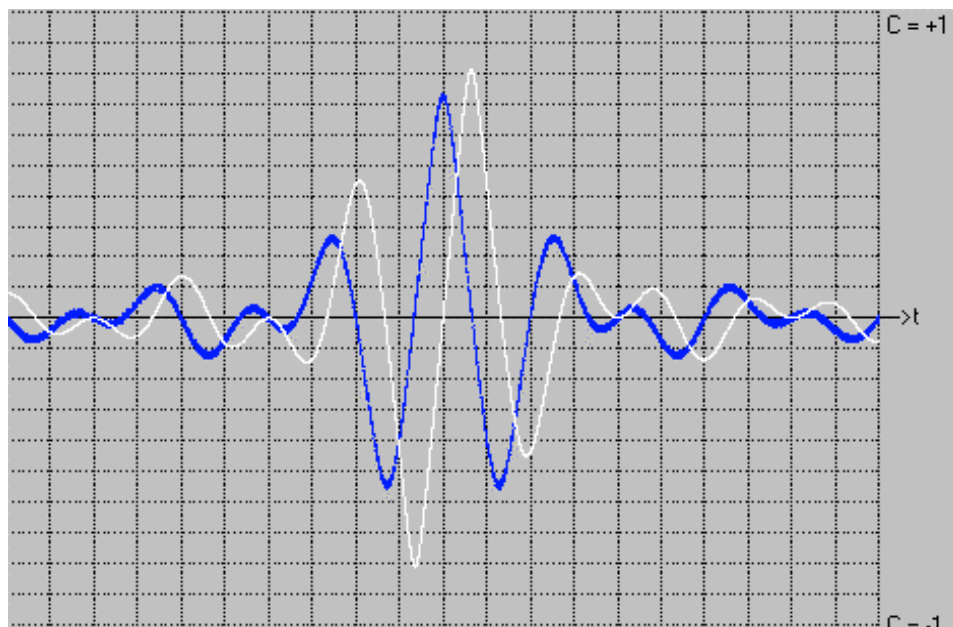
Le reti di sfasamento non solo richiedono componenti precisi, ma, affinché questi ultimi non risentano dei circuiti nei quali le reti devono essere inserite, è altrettanto necessario che esse siano opportunamente disaccoppiate mediante appositi circuiti elettronici associati. Questi circuiti possono essere dei semplici microamplificatori a guadagno unitario collegati alle reti, come indicato in figura 7.17.

figura 7.17



L'inserimento delle reti di sfasamento, con l'elettronica ad esse associata, nel circuito di correlazione di figura 7.12, deve essere così effettuato:
 la rete a) deve essere posta tra l'uscita del ricevitore 1 e l'ingresso della catena di ritardo τ_{o1} .
 la rete b) deve essere inserita tra l'uscita del ricevitore 2 e l'ingresso della catena di ritardo τ_{o2} .
 L'introduzione delle due reti nel circuito di figura 7.12 porta il circuito originale di correlazione a comportarsi in modo completamente diverso dall'originale (passaggio dal correlatore all'anticorrelatore), manifestando una curva di risposta, al variare del ritardo artificiale, denominata "funzione di anticorrelazione" che mostriamo, per paragone, assieme ad una funzione di correlazione ordinaria. in figura 7.18

figura 7.18



Il diagramma ha, in ascisse, il ritardo artificiale esteso tra 0 e 1000 μSec e in ordinate normalizzate l'ampiezza della V_{cor} .

Il calcolo delle due curve è stato fatto per le seguenti caratteristiche dei segnali e del percorso:

banda di frequenza dei due segnali $F1 = 5000 \text{ Hz}$, $F2 = 10000 \text{ Hz}$.
rapporto S/N = 10 db (3.3 volte).
ritardo di percorso $r_p = 500 \mu\text{Sec}$.

La curva tracciata in bianco è la funzione di anticorrelazione, la curva tracciata in nero è la funzione di correlazione; dal confronto tra le due si nota che dove la seconda ha il massimo di V_{cor} (per un ritardo artificiale di $500 \mu\text{Sec}$) la prima presenta uno zero, mentre negli intervalli di ritardo inferiori e superiori ai $500 \mu\text{Sec}$. le due curve presentano notevoli ondulazioni caratteristiche della banda dei segnali. Guardando la figura 7.17 si comprende come sia più precisa la determinazione dello zero di V_{cor} sulla funzione di anticorrelazione che la determinazione del massimo della funzione di correlazione. Si vede inoltre che se r_p varia, la funzione di anticorrelazione indica, assumendo valori positivi, che r_p è aumentato o, assumendo valori negativi che r_p è diminuito.

Dopo aver discusso su questo argomento possiamo chiuderlo con un esercizio riguardante il dimensionamento delle due reti di sfasamento:

Tema:

Si debba progettare un circuito anticorrelatore per eseguire dei controlli su segnali a larga banda aventi le seguenti caratteristiche:

$F1 = 10000 \text{ Hz}$

$F2 = 15000 \text{ Hz}$

Il circuito deve utilizzare l'intera struttura indicata nello schema di figura 7.12 affinché la manualità

d'impiego e le procedure di misura siano quelle già utilizzate nel paragrafo 7.4.

Se ne definisca il comportamento per il monitoraggio dei segnali.

Dimensionamento delle reti di sfasamento:

Per il dimensionamento delle reti di sfasamento si utilizza una delle due formule indicate per questo calcolo; se supponiamo di fissare un valore di $R = 4700 \text{ ohm}$ possiamo ricavare il valore di C dopo aver calcolato la frequenza media della banda:

$$F_m = (F1 + F2) / 2 = (10000 \text{ Hz} + 15000 \text{ Hz}) / 2 = 12500 \text{ Hz}$$

$$C = 1 / (6.28 * F_m * R) = 1 / (6.28 * 12500 \text{ Hz} * 4700 \text{ ohm}) = 2710.3 \text{ pF}$$

Tanto la R quanto la C devono essere precisi entro 1%.

Le due reti di sfasamento devono essere accoppiate al correlatore originale tramite due paia di circuiti integrati, così come indicato in figura 7.17.

Monitoraggio dei segnali con l'anticorrelatore.

-Per il monitoraggio dei segnali con l'anticorrelatore possiamo pensare:

I due segnali sono applicati al circuito di anticorrelazione, nel quale il ritardo artificiale è stato regolato uguale ad r_p per avere il valore di $V_{cor} = 0$.

La tensione d'uscita del correlatore (V_{cor}) è applicata ad un doppio comparatore di livello predisposto a cambiare stato allorché la V_{cor} diventa positiva (+100 mV) o negativa (-100 mV), indicando quale cambiamento è avvenuto.

Quando, per subentrata variazione della lunghezza del percorso del segnale, varia il ritardo r_p si ha un incremento di $V_{cor} > +100 \text{ mV}$ e il comparatore indica che la variazione di r_p è stata in aumento.

Quando, per subentrata variazione della lunghezza del percorso del segnale, varia il ritardo r_p , si ha un decremento di $V_{cor} < -100 \text{ mV}$ e il comparatore indica che la variazione di r_p è stata in diminuzione.

7.7 Cenni sulla correlazione con il personal computer

E' possibile eseguire alcune forme di correlazione tra segnali, mediante l'utilizzo di una circuitazione elettronica ridotta, con l'impiego di un personal computer; in particolare questo nuovo approccio alla misura della correlazione può essere adoperato per risolvere il problema inerente la ricerca dei segnali coperti dai disturbi già affrontato, mediante soluzioni integralmente circuitali, nel paragrafo 7.5.

Così, come nel citato paragrafo, la ricerca del segnale avveniva per passi, variando la posizione della presa sulla catena di ritardo, il segnale nel computer viene cercato mediante una serie di "punti" a ciascuno dei quali è assegnato un ritardo definito. Si usa infatti dire, ad esempio, "correlazione a 256 punti" quando per la correlazione sul P.C. si utilizzano 256 unità di ritardo interne alla macchina. È fondamentale osservare che per realizzare, con il circuito di figura 7.12, una correlazione con 256 passi di ritardo la costruzione delle catene diventa un problema di carattere tecnologico, non facilmente risolvibile; con il computer invece si possono facilmente realizzare migliaia di punti di ritardo consentendo la ricerca dei segnali in vasti intervalli di tempo o con estrema accuratezza.