

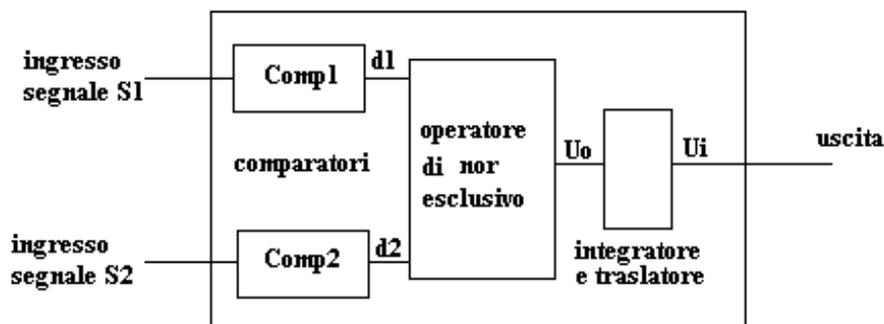
Cap. 7 Circuiti elettronici per la misura della correlazione tra segnali

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.

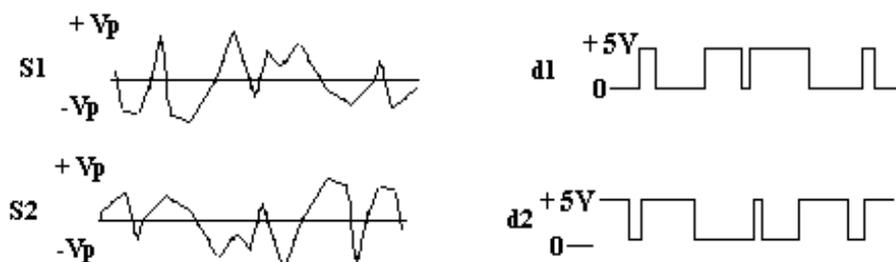
Con la dizione di “correlatore” si identifica un dispositivo elettronico caratterizzato da due ingressi, ai quali applicare i segnali da misurare, ed una uscita che, in base alle proprie caratteristiche d’ampiezza nel tempo, indica quale interdipendenza esiste tra i due segnali applicati all’ingresso. 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 mVeff. S2 = 10 mVeff.

-livelli massimi di segnale dell'ordine S1 = 1Veff. S2 = 1 Veff.

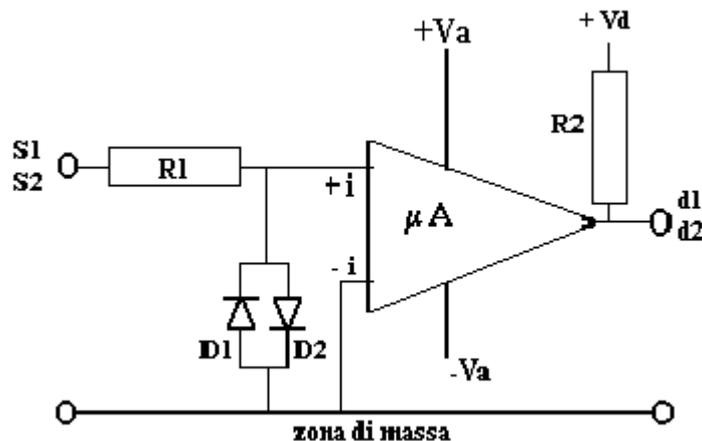
in bande di frequenze comprese tra 1000 Hz e 5000 Hz.

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 μ Sec, 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.

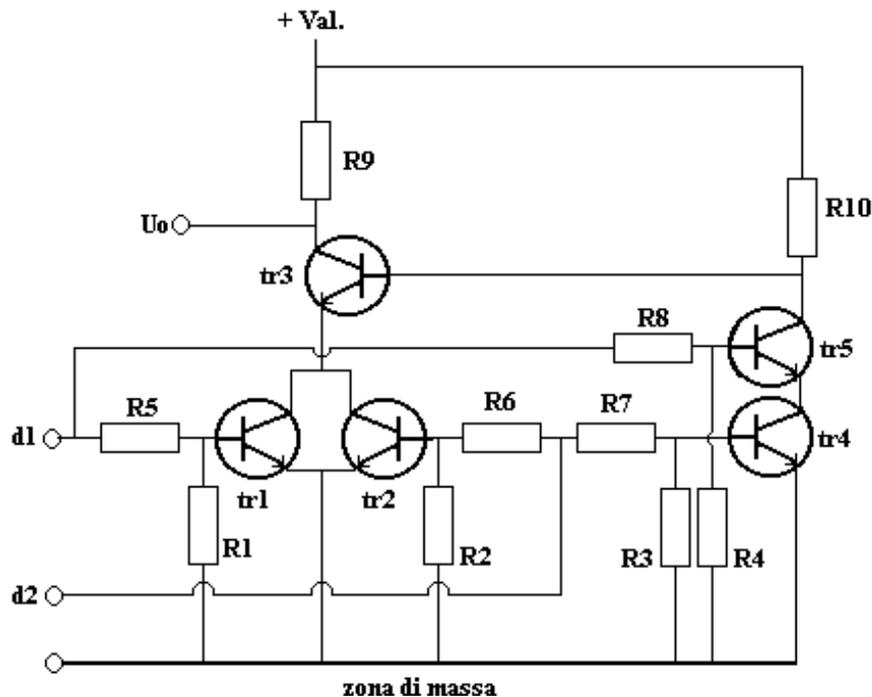
Per accoppiare il nuovo circuito con i comparatori sono richieste resistenze d'ingresso di 5000 ohm.

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:

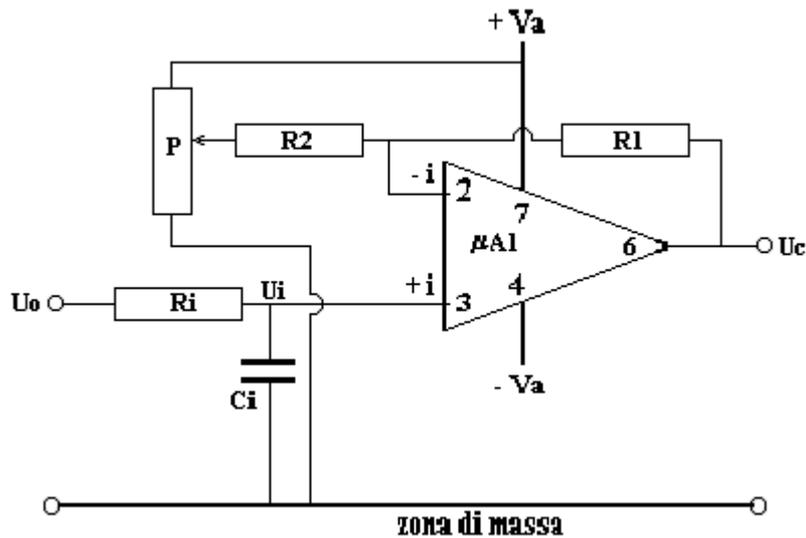
Amplifica di 1.2 volte il livello di U_i

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 $Va = \pm 12 \text{ V}$; 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: $0.1 V_{eff}$

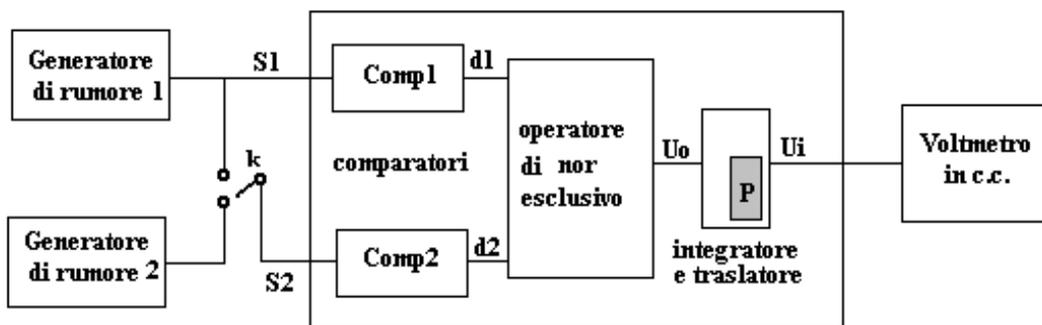
Banda del rumore generato: 10 Hz - 1000 Hz a -3 dB

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

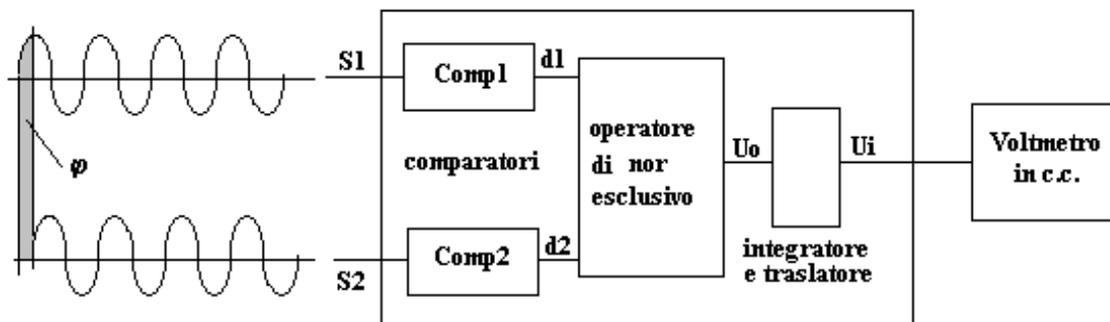
L'impiego più semplice ed immediato del circuito di correlazione consiste nell'utilizzo dello stesso per la misura della differenza di fase tra due segnali elettrici unifrequenziali, sinusoidali o rettangolari.

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.