

## APPENDICE

### A0 Misure di guadagno in termini logaritmici

In elettronica, nel trattare dei livelli di tensione e dei rapporti tra questi, sia che ci si riferisca a variazioni di livello, sia che si discuta sui guadagni o sulle perdite di circuiti elettrici, le misure o i rapporti vengono, prevalentemente, espressi in termini logaritmici.

Per far ciò si impiega la definizione classica che esprime queste variabili in deciBel secondo l'espressione:

$$Y = 20 * \text{Log } X \quad 1)$$

Dove:

Con il simbolo Log s'intende il calcolo del logaritmo decimale o a base dieci

La variabile X, espressa in numeri positivi, può essere:

- l'entità di una variazione di livello di una tensione
- il guadagno di un amplificatore espresso come rapporto tra tensione d'uscita e tensione d'ingresso
- la perdita in un partitore di tensione espressa come rapporto tra la tensione applicata e la tensione d'uscita
- la perdita o l'enfasi della tensione ai capi di un circuito risonante od un filtro di banda
- od altre innumerevoli variabili

La variabile Y può rappresentare l'entità di una variazione, una perdita, un guadagno od altro espresso in deciBel (dB)

L'impiego della 1) è estremamente utile perché consente di eseguire facilmente i calcoli dei livelli di tensioni, che richiederebbero operazioni di moltiplicazione o divisione, con semplici operazioni, a volte mnemoniche, di somme o sottrazioni, od entrambe, riducendo significativamente il numero delle cifre necessario ad esprimere i risultati finali.

L'utilità della 1) ricorre inoltre, sia nell'esame delle risposte in frequenza dei circuiti in cui le pendenze vengono utilmente espresse in dB/ottava, sia nel tracciamento grafico delle curve caratteristiche di numerosi circuiti elettronici.

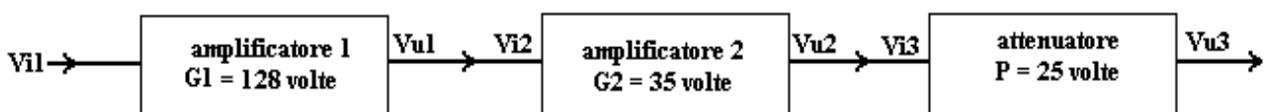
Quattro esempi aiuteranno a comprendere come impiegare l'algoritmo illustrato:

#### Primo esempio:

##### *Dati di base :*

Consideriamo due amplificatori in cascata ed un circuito attenuatore così come indicato in figura a0.1:

figura a01



Il segnale Vi1 è applicato all'amplificatore 1 che ha un guadagno di 128 volte, il segnale d'uscita Vu1 rappresenta il segnale d'ingresso, Vi2, dell'amplificatore 2, che ha un guadagno di 35 volte, il

segnale d'uscita Vu2 rappresenta il segnale d'ingresso, Vi3, dell'attenuatore che ha una perdita P di 25 volte, il segnale all'uscita dell'attenuatore, uscita di tutta la catena, è indicato con Vu3.

**Calcolo del guadagno complessivo in modo ordinario:**

Il calcolo del guadagno complessivo di tutta la catena formata dai tre blocchi è dato dal prodotto dei due guadagni degli amplificatori diviso per la perdita dell'attenuatore:

$$G(\text{totale}) = G1 * G2 / P = 128 \text{ volte} * 35 \text{ volte} / 25 \text{ volte} = 179.2 \text{ volte}$$

**Calcolo del guadagno complessivo in termini logaritmici :**

Lo stesso calcolo può essere fatto, in termini logaritmici, computando prima i guadagni singoli in deciBel:

$$G1(\text{dB}) = 20 * \text{Log } G1 = 20 * \text{Log } 128 = 20 * 2.1072 = 42.144 \text{ dB}$$

$$G2(\text{dB}) = 20 * \text{Log } G2 = 20 * \text{Log } 35 = 20 * 1.544 = 30.881 \text{ dB}$$

$$P(\text{dB}) = 20 * \text{Log } 25 = 20 * \text{Log } P = 20 * 1.3979 = 27.958 \text{ dB}$$

essendo il guadagno totale espresso in termini aritmetici

$$G(\text{totale}) = G1 * G2 / P$$

si trasforma in termini logaritmici sostituendo ai prodotti una somma ed alle divisioni una differenza come segue:

$$G(\text{dB})(\text{totale}) = G1(\text{dB}) + G2(\text{dB}) - P(\text{dB}) = 42.144 \text{ dB} + 30.881 \text{ dB} - 27.958 \text{ dB} = 45.067 \text{ dB}$$

**Operazione inversa, da deciBel a numeri ordinari:**

Se dopo il calcolo in deciBel è necessario conoscere il guadagno complessivo in termini aritmetici si applica la formula:

$$G(\text{totale}) = 10^{[G(\text{dB}) / 20]} \quad 2)$$

formula che applicata al nostro esercizio dà:

$$G(\text{totale}) = 10^{[G(\text{dB}) / 20]} = 10^{[45.067 \text{ dB} / 20]} = 179.2$$

**Osservazioni:**

Le operazioni ora svolte in termini logaritmici possono sconcertare il lettore che, in prima battuta, si chiede quale ragione lo ha indotto ad affrontare calcoli apparentemente pesanti quando l'operazione iniziale, eseguita in termini aritmetici, risultava semplice e veloce; vediamo come dare una prima spiegazione che deponga a vantaggio del calcolo logaritmico:

Sia da ripetere l'esercizio con valori diversi di guadagni e attenuazione secondo i dati sotto riportati:

$$G1 = 34777576 \text{ volte}$$

$$G2 = 5389495 \text{ volte}$$

$$P = 7.315 \text{ volte}$$

per il G(totale) si ha:

$$G(\text{totale}) = 34777576 * 5389495 / 7.315 = 25623181403160$$

Il risultato del calcolo porta ad un numero molto grande difficilmente manipolabile e pronunciabile, vediamo in confronto il metodo logaritmico:

$$G(\text{dB})(\text{totale}) = 20 * \text{Log } 34777576 + 20 * \text{Log } 5389495 - 20 * \text{Log } 7.35 = 268.17 \text{ dB}$$

E' chiaro il vantaggio del secondo metodo di calcolo, rispetto al primo, anche se la precisione, con soli due decimali in dB, non è assoluta; vediamo l'entità dell'errore commesso procedendo in modo inverso impiegando la 2)

$$G(\text{totale}) = 10^{[G(\text{dB}) / 20]} = 10^{[268.17 \text{ dB} / 20]} = 25615333264087$$

L'errore commesso è dato dal rapporto

$$25623181403160 / 25615333264087 = 1.046$$

pari al 4.6 %; un errore di questa entità, nell'ambito della progettazione di circuiti elettronici e della loro verifica sperimentale, nel caso in cui le dimensioni delle variabili in gioco siano pari a quelle dei numeri utilizzati nella seconda parte dell'esercizio, è da ritenersi trascurabile.

Si tenga presente che ad un errore percentuale dell'ordine del 5% corrisponde un errore espresso in deciBel pari a 0.5 dB, valore che difficilmente è apprezzabile in fase di controllo in laboratorio dei circuiti realizzati.

Il calcolo logaritmico, oltre a consentire la manipolazione di valori numerici ragionevoli, è pure veloce se sviluppato con i moderni ed economici calcolatori tascabili; sono lontani ormai i tempi quando il calcolo del deciBel veniva fatto con l'ausilio delle tavole logaritmiche che, se pur tedioso, consentiva di trasformare prodotti in somme e divisioni in differenze cosa non da poco quando tali prodotti e tali divisioni avrebbero dovuto essere sviluppati con i regoli calcolatori.

## **Secondo esempio:**

### ***Dati di base :***

Sia da valutare la ripidità d'attenuazione di un filtro di banda in un intervallo di frequenza compreso tra 15000 e 30000 Hz; se il livello di tensione all'uscita del filtro alla frequenza di 15000 Hz è di 0.35 V ed il livello d'uscita alla frequenza di 30000 Hz è 0.022 V.

### ***Calcolo della pendenza in modo aritmetico:***

La pendenza si esprime come il rapporto tra i due livelli di tensione commisurata all'intervallo di frequenza

$$\text{Rapporto} = 0.35 \text{ V} / 0.022 \text{ V} = 15.909$$

dato che questo rapporto è la conseguenza di una variazione di frequenza all'ingresso del filtro, compresa tra 15000 e 30000 Hz, e che essendo i due termini di frequenza l'uno il doppio dell'altro si può parlare, in termini d'acustica, di un'ottava, quindi scriveremo:

$$\text{Pendenza} = 15.909 / \text{ottava}$$

### ***Calcolo della pendenza in termini logaritmici:***

In questo caso il rapporto deve essere espresso in deciBel mediante la 1), quindi:

$\text{Rapporto(dB)} = 20 * \text{Log} ( 0.35 \text{ V} / 0.022 \text{ V} ) = 20 * \text{Log} 15.909 = 24 \text{ dB}$   
e la pendenza in dB/ottava

$$\text{Pendenza} = 24 \text{ dB/ ottava}$$

### **Terzo esempio:**

#### ***Dati di base:***

Sia da valutare il guadagno di un amplificatore che, con una  $V_i = 0.1 \text{ V}$  d'ingresso, rende una  $V_u$  pari a  $12.45 \text{ V}$ .

Sia da valutare la perdita di un'attenuatore che, con una  $V_i = 7.23 \text{ V}$  d'ingresso, rende una  $V_u = 0.13 \text{ V}$ .

#### ***Calcolo del guadagno dell'amplificatore in deciBel:***

Il guadagno dell'amplificatore in deciBel è dato da:

$$G(\text{dB}) = 20 * \text{Log} ( 12.45 \text{ V} / 0.1 \text{ V} ) = 41.9 \text{ dB}$$

Il valore di  $41.9 \text{ dB}$  che scaturisce dal calcolo è positivo in virtù del fatto che la tensione d'uscita è superiore alla tensione d'ingresso ed il rapporto  $12.45 \text{ V} / 0.1 \text{ V}$  è maggiore di uno come si conviene ad un circuito d'amplificazione.

#### ***Calcolo della perdita dell'attenuatore in deciBel:***

La perdita dell'attenuatore in deciBel è data da:

$$P(\text{dB}) = 20 * \text{Log} ( 0.13 \text{ V} / 7.23 \text{ V} ) = - 34.9 \text{ dB}$$

Il valore di  $- 34.9 \text{ dB}$  che scaturisce dal calcolo è negativo a causa del fatto che la tensione d'uscita è inferiore alla tensione d'ingresso ed il rapporto  $0.13 \text{ V} / 7.23 \text{ V}$  è inferiore ad uno come si conviene ad un circuito attenuatore.

#### ***Osservazioni:***

Le due parti dell'esempio hanno mostrato un nuovo aspetto del calcolo logaritmico; nel caso di valori espressi in deciBel indicati con il segno + si intendono riferiti a condizioni circuitali d'incremento di livelli, valori espressi in deciBel indicati con il segno - si intendono riferiti a condizioni circuitali di decremento di livelli.

Con l'esempio che segue viene rafforzato il concetto:

Se in una catena di circuiti tra loro collegati in cascata i valori di  $G$  espressi in dB sono:

$$G_a = +34 \text{ dB}; G_b = 56 \text{ dB}; G_c = -23 \text{ dB}; G_d = 132 \text{ dB}$$

Il guadagno totale sarà dato dalla loro somma algebrica e quindi

$$G(\text{dB}) (\text{totale}) = +34 \text{ dB} + 56 \text{ dB} - 23 \text{ dB} + 132 \text{ dB} = + 199 \text{ dB}$$

esprimerà un guadagno.

Se in una catena di circuiti tra loro collegati in cascata i valori di  $G$  espressi in dB sono:

$$G_a = +5.6 \text{ dB}; G_b = -152 \text{ dB}; G_c = 36 \text{ dB}; G_d = 32 \text{ dB}$$

Il guadagno totale sarà dato dalla loro somma algebrica e quindi

$$G(\text{dB}) (\text{totale}) = +5.6 \text{ dB} - 152 \text{ dB} + 36 \text{ dB} + 32 \text{ dB} = -78.4 \text{ dB}$$

tale valore, indicato come un guadagno negativo, esprimerà una perdita.

**Quarto esempio:****Dati di base:**

Sia da valutare il guadagno di potenza di un amplificatore, che, con una potenza d'ingresso  $P_i = 1 \text{ W}$  su di un carico  $R_i = 10 \text{ ohm}$ , rende una potenza d'uscita pari a  $P_u = 100 \text{ W}$  su carico  $R_c = 10 \text{ ohm}$ .

**Osservazioni sui dati di base:**

Nel contesto di questa appendice è la prima volta che si accenna al guadagno di un amplificatore espresso in termini di potenze elettriche; opereremo su queste nuove variabili con una formula logaritmica diversa da quella data all'inizio:

$$Y = 10 * \text{Log } X \quad 3)$$

dove  $x$  è il rapporto tra due livelli di potenza.

La 3) è discende dalla 1) secondo lo sviluppo mostrato in seguito.

**Calcolo del guadagno di potenza in deciBel:**

Il guadagno di potenza dell'amplificatore in deciBel è dato da:

$$G = 10 * \text{Log} ( P_u / P_i ) = 10 * \text{Log} ( 100\text{W} / 1 \text{ W} ) = 20 \text{ dB}$$

**Il passaggio dai guadagni di tensione ai guadagni di potenza :**

Si vuole dimostrare come la 1) e la 3) siano legate l'una all'altra mediante lo stesso concetto: I dati di base possono essere indicati con le relazioni:

$$P_i = V_i^2 / 10 \text{ ohm}$$

$$P_u = V_u^2 / 10 \text{ ohm}$$

dove  $V_i$  e  $V_u$  sono rispettivamente le tensioni d'ingresso e d'uscita dell'amplificatore; queste relazioni possono essere scritte anche nel seguente modo:

$$V_i^2 = P_i * 10 \text{ ohm}$$

$$V_u^2 = P_u * 10 \text{ ohm}$$

ovvero

$$V_i = ( P_i * 10 \text{ ohm} )^{1/2}$$

$$V_u = ( P_u * 10 \text{ ohm} )^{1/2}$$

Essendo il guadagno di tensione tra  $V_u$  e  $V_i$ , secondo la 1), dato da :

$$G = 20 * \text{Log} ( V_u / V_i ) \text{ sostituendo si ha.}$$

$$G = 20 * \text{Log} [ ( P_u * 10 \text{ ohm} )^{1/2} / ( P_i * 10 \text{ ohm} )^{1/2} ]$$

Sviluppando si ottiene :

$$G = 20 * \text{Log} ( P_u * 10 \text{ ohm} / P_i * 10 \text{ ohm} )^{1/2}$$

$$G = 20 * \text{Log} ( P_u / P_i )^{1/2}$$

da cui

ed infine

$$G = (1/2) * 20 * \text{Log} ( P_u / P_i ) = 10 * \text{Log} ( P_u / P_i )$$

che mostra come si possa passare, in termini logaritmici, dal guadagno di tensione al guadagno di potenza.

## A1 La controreazione negli amplificatori

### A1.1 Premessa

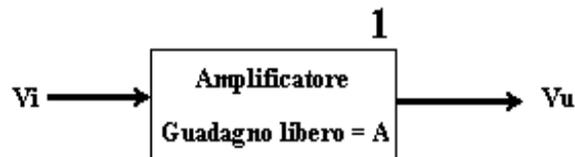
Le caratteristiche di amplificazione naturali, dette a guadagno libero, di transistori o microcircuiti, così come escono dalle fabbriche, sono estremamente diverse da elemento ad elemento a causa dei problemi legati alla produzione degli elementi stessi; non esistono possibilità di realizzare partite di semiconduttori identici tra loro. Questa situazione, se non fosse stata formulata la teoria sulla “controreazione degli amplificatori”, metterebbe in difficoltà il progettista di sistemi elettronici che non riuscirebbe facilmente a realizzare due circuiti di amplificazione uguali tra loro, e qualora vi riuscisse non potrebbe garantire la costanza dei valori nel caso di sopravvenute necessità di sostituzione di alcuni componenti.

I vantaggi della teoria sulla controreazione, che non si limitano al controllo del guadagno degli amplificatori ma consentono di modificare favorevolmente sia le impedenze d'ingresso e d'uscita, sia il rumore ed altro, si pagano in termini di effettiva riduzione della disponibilità del guadagno libero; un circuito amplificatore con guadagno libero di 10000 volte una volta vincolato dal circuito di controreazione potrà guadagnare, ad esempio, soltanto 500 volte.

### A1.2 La teoria sulla controreazione

Per illustrare la teoria sulla controreazione facciamo inizialmente riferimento allo schema a blocchi tracciato in figura a1.1; in essa compare un tracciato rettangolare, contraddistinto con il numero 1, che rappresenta un amplificatore, indifferentemente costruito con transistori o con microcircuiti, in cui il valore del guadagno libero è indicato con la lettera **A**.

figura a1.1



In figura è mostrato sia il segnale d'ingresso  $V_i$  che il segnale d'uscita  $V_u$ :

se l'amplificatore è del tipo invertente la tensione d'uscita  $V_u$  sarà:

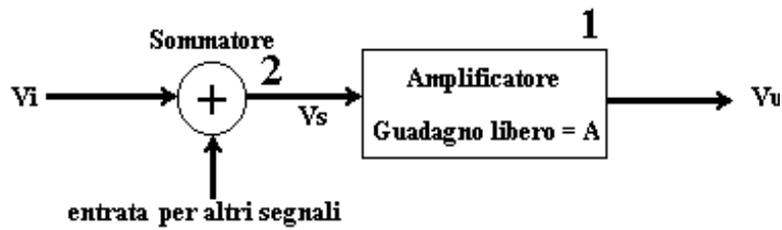
$$V_u \angle 180^\circ = A * V_i \angle 0^\circ$$

se l'amplificatore è del tipo non invertente la tensione d'uscita  $V_u$  sarà:

$$V_u \angle 0^\circ = A * V_i \angle 0^\circ$$

Se immaginiamo di porre tra il segnale d'ingresso e l'amplificatore un circuito sommatore al fine di poter introdurre più segnali nell'amplificatore avremo lo schema a blocchi di figura a1.2 nella quale quest'ultimo compare ancora con il blocco 1 mentre il sommatore compare con un cerchio contraddistinto con il numero 2.

figura a1.2



Se il circuito sommatore è un elemento lineare, se cioè non altera né ampiezza né fase dei segnali entranti, e, dei possibili segnali applicati al sommatore, è presente soltanto  $V_i$  si avrà

$$V_s = V_i$$

e per il nuovo circuito, composto dai blocchi 1 e 2, potremo scrivere:

se l'amplificatore è del tipo invertente la tensione d'uscita  $V_u$  sarà:

$$V_u \angle 180^\circ = A * V_i \angle 0^\circ = A * V_s \angle 0^\circ$$

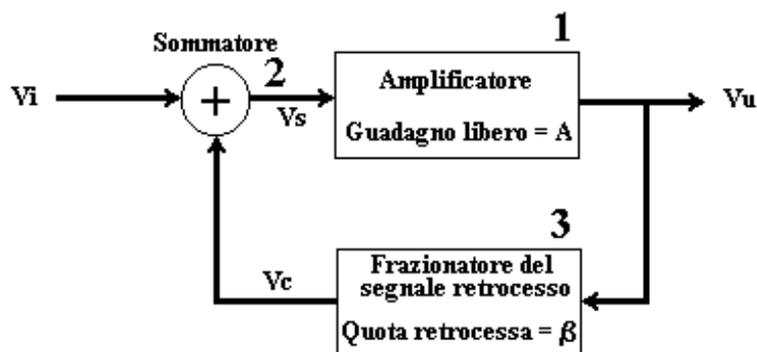
se l'amplificatore è del tipo non invertente la tensione d'uscita  $V_u$  sarà:

$$V_u \angle 0^\circ = A * V_i \angle 0^\circ = A * V_s \angle 0^\circ$$

e quindi dedurre che, l'aver inserito il sommatore, nulla ha cambiato nel funzionamento dell'amplificatore.

Se invece aggiungiamo allo schema di figura a1.2 un nuovo circuito, blocco numero 3, per il trasferimento di parte del segnale d'uscita  $V_u$  nel sommatore, come mostrato nel tracciato di figura a1.3, abbiamo una struttura d'amplificazione che non presenta più le caratteristiche originali dell'amplificatore illustrato in figura a1.1.

figura a1.3



A questo punto il nuovo schema a blocchi può essere così sintetizzato:

**Blocco 1**-amplificatore in cui il valore del guadagno libero è indicato con la lettera **A**.

**Blocco Funzionale 2**-circuitto sommatore al quale è affidato il compito di eseguire la somma tra la tensione di segnale d'ingresso  $V_i$  e la frazione della tensione d'uscita retrocessa dal blocco 3, l'uscita del sommatore rende il segnale  $V_s$ .

**Blocco Funzionale 3**-circuitto elettrico di frazionamento della tensione d'uscita  $V_u$  dell'amplificatore, la quota di frazionamento è indicata con la lettera  $\beta$ .

Le condizioni di base, che si devono verificare nello schema a blocchi per sostenere l'impostazione teorica seguente, sono:

- a) Se il segnale d'uscita  $V_u$  è in opposizione di fase rispetto al segnale d'ingresso  $V_s$  la quota di  $V_u$  retrocessa dal blocco 3 deve essere in fase con il segnale  $V_u$ . In questo caso il blocco 3 ha il solo compito di trasferire al blocco 2 una frazione della tensione d'uscita  $V_u$  con la fase originale.
  
- b) Se il segnale d'uscita  $V_u$  è in fase rispetto al segnale d'ingresso  $V_s$  la quota di  $V_u$  retrocessa dal blocco 3 deve essere in opposizione di fase con il segnale  $V_u$ . In questo caso il blocco 3 ha il compito di trasferire al blocco 2 una frazione della tensione d'uscita  $V_u$  dopo averla invertita di fase.

Con tutte le premesse fatte vediamo ora il comportamento dell'amplificatore alla luce del nuovo schema elettrico che lo coinvolge.

Il guadagno libero  $A$  dell'amplificatore è dato ora dal rapporto.

$$A = V_u / V_s \quad 1)$$

dove  $V_s$  è, a tutti gli effetti, la nuova tensione d'ingresso nell'amplificatore distinto dal blocco 1.

ovvero 
$$V_u = A * V_s \quad 2)$$

La tensione in uscita dal blocco 3 di frazionamento è esprimibile come segue:

$$V_c = \beta * V_u \quad 3)$$

La tensione  $V_s$  all'uscita del sommatore, blocco 1, è costituita dal segnale d'ingresso  $V_i$  e dalla quota della tensione d'uscita  $V_u$  secondo l'espressione:

$$V_s = V_i + (-V_c)$$

dove  $(-V_c)$  indica che  $V_c$  è in opposizione di fase rispetto a  $V_i$ .

quindi 
$$V_s = V_i - V_c \quad 4)$$

Se sostituiamo  $V_c$  della 3) nella 4) otteniamo:

$$V_s = V_i - \beta * V_u \quad 5)$$

Se sostituiamo nella 2) il valore di  $V_s$  della 5) otteniamo:

$$V_u = A * (V_i - \beta * V_u) \quad 6)$$

In queste nuove condizioni, per il segnale d'ingresso  $V_i$ , non è più riscontrabile il guadagno libero  $A$  dell'amplificatore, ma ad esso si sostituisce una variabile di guadagno che indichiamo con la lettera  $G$ ; questa variabile è data dal rapporto:

$$G = V_u / V_i \quad 7)$$

dove  $V_i$  è l'ampiezza del segnale applicato all'ingresso dell'insieme dei tre blocchi di figura a1.3.

Sostituendo nella 7) il valore di  $V_u$  della 6) abbiamo:

$$G = A * (V_i - \beta * V_u) / V_i$$

sviluppando si ottiene

$$G = A - \beta * A * G$$

ovvero

$$G + A * \beta * G = A$$

$$G * (1 + A * \beta) = A$$

ed infine

$$G = A / (1 + A * \beta) \quad 8)$$

La 8) esprime il guadagno dell'amplificatore vincolato alla rete di controreazione,  $G$  è una funzione di due variabili:  $L$ 'una costituita dal guadagno libero dell'amplificatore, l'altra dalla frazione  $\beta$  della tensione d'uscita retrocessa.

La 8) può essere scritta anche come segue:

$$G = 1 / [(1/A) + \beta] \quad 9)$$

Il limite di  $G$  per  $A$  tendente all'infinito è dato da:

$$\lim_{A \rightarrow \infty} 1 / [(1/A) + \beta] = 1 / \beta \quad 10)$$

La 10) indica che, se il guadagno libero dell'amplificatore è molto alto, il guadagno  $G$  è determinabile con buona precisione dal solo valore del reciproco di  $\beta$ .

### **A1.2.1 Progetto dei blocchi funzionali**

Il progetto dei blocchi funzionali è necessario per comprendere come la teoria esposta in precedenza si possa concretizzare in termini tecnici applicativi.

#### **A1.2.1.1 Il blocco funzionale frazionatore**

Il blocco frazionatore ha il compito di retrocedere al blocco sommatore una frazione del segnale d'uscita  $V_u$ ; questa funzione è realizzabile mediante il partitore  $R_1$ ;  $R_2$  mostrato in figura a1.4. Dall'esame della figura è immediato scrivere la relazione seguente:

$$V_u / (R_1 + R_2) = V_c / R_2$$

dalla quale si ha

$$V_c = V_u * R_2 / (R_1 + R_2)$$

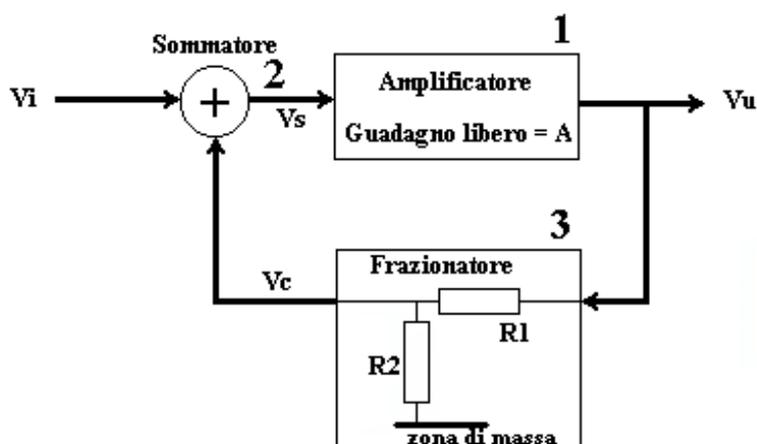
sostituendo  $V_c$  con l'espressione data dalla 3), si ha

$$\beta * V_u = V_u * R_2 / (R_1 + R_2)$$

ed infine la relazione generale che ci consente di realizzare fisicamente il blocco frazionatore

$$\beta = R_2 / (R_1 + R_2) \quad 11)$$

figura a1.4



È opportuno osservare che il blocco frazionatore è sempre realizzato nell'ambito di una stessa circuitazione che comprende sia i due blocchi funzionali che l'amplificatore.

La relazione 11) permette di rendere più tecnica la 9) mediante la sostituzione in questa del parametro  $\beta$  così come sotto riportato:

Combinando la 11) con la 9) si ottiene l'espressione di calcolo pratico di G

$$G = 1 / [(1/A) + R_2 / (R_1 + R_2)] \quad 12)$$

La 12), per A molto grande, assume la forma già frequentemente impiegata nel testo:

$$G = (R_1 + R_2) / R_2 \quad 13)$$

### A1.2.1.2 Il blocco funzionale sommatore

Il blocco sommatore ha il compito di sommare il segnale d'ingresso  $V_i$  con il segnale retrocesso  $V_c$  senza alterarne né l'ampiezza né la fase.

Questa operazione è fattibile, ad esempio, utilizzando una coppia di transistori collegati in configurazione differenziale così come è mostrato in figura a1.5.

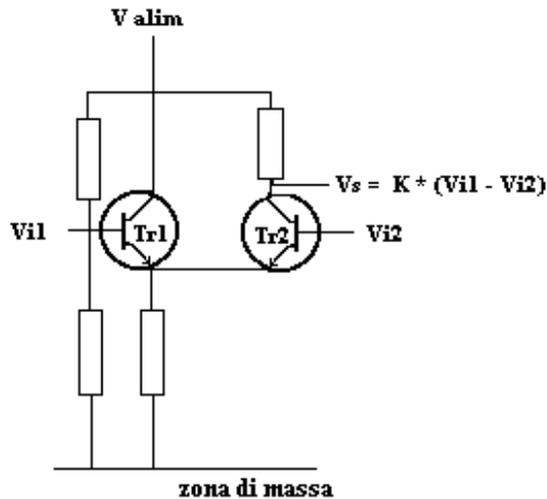
Il circuito, formato con due transistori ad accoppiamento sull'emettitore, esegue l'operazione di differenza tra i due segnali applicati alle basi secondo l'espressione,

$$V_s = k (V_{i1} - V_{i2})$$

dove  $k$  è un coefficiente che dipende dalle caratteristiche circuitali complessive ( tipo di transistori, valori dei componenti resistivi, ecc. ); dimensionando opportunamente il circuito si può avere  $k = 1$  e quindi

$$V_s = ( V_{i1} - V_{i2} )$$

figura a1.5

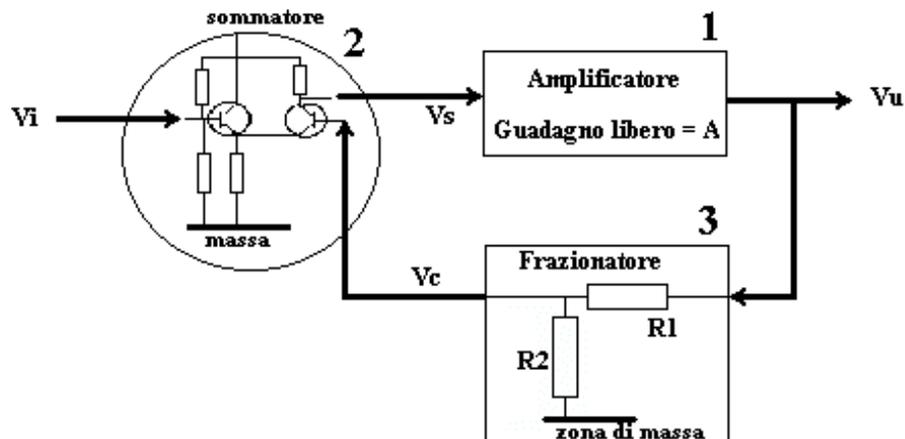


Il circuito di cui stiamo trattando esegue la differenza tra  $V_{i1}$  e  $V_{i2}$  mentre il blocco funzionale che vogliamo realizzare deve eseguire la somma tra i due segnali; il passaggio dalla prima operazione alla seconda è estremamente semplice: è sufficiente che  $V_{i2}$ , ad esempio, venga applicata in opposizione di fase, quindi come  $-V_{i2}$ , e che la tensione differenza  $V_s$  si trasformi in somma secondo l'espressione:

$$V_s = V_{i1} - ( -V_{i2} ) = V_{i1} + V_{i2}$$

Se ad esempio per  $V_{i2}$  s'intende il segnale  $\beta * V_u$  retrocesso dall'amplificatore sarà sufficiente che in quest'ultimo lo si prelevi invertito di fase rispetto a quanto sarebbe stato necessario nel caso di un sommatore ideale. Con la definizione fisica del sommatore possiamo infine tracciare lo schema completo dei blocchi funzionali elettrici così come riportato nella figura a1.6

figura a1.6



**È opportuno osservare che il blocco sommatore è sempre realizzato nell'ambito di una stessa circuitazione che comprende sia i due blocchi funzionali che l'amplificatore.**

Nei circuiti amplificatori a transistori molte volte ( si veda paragrafo 3.11) s'impiega, come stadio d'ingresso, il circuito differenziale proprio per poter realizzare l'anello di controeazione. Nei microamplificatori, invece, è sempre presente nel circuito integrato lo stadio d'ingresso differenziale per consentire, tra l'altro, di realizzare l'anello di controeazione.

### **A1.3 Effetti del circuito di controeazione**

Il circuito di controeazione produce nell'amplificatore alcuni effetti positivi quali:

- In presenza di elevato tasso di controeazione ( $\beta$  grande) il guadagno  $G$  è praticamente indipendente dal guadagno libero
- Riduce la distorsione del segnale
- Riduce il rumore proprio
- Tende ad allargare la risposta in frequenza
- Incrementa l'impedenza d'ingresso
- Riduce l'impedenza d'uscita

Senza entrare in nuove dimostrazioni matematiche elenchiamo di seguito le formule per il calcolo di due parametri importanti di un amplificatore controeazionato:

#### **Impedenza d'ingresso**

$$R_i = A * r_i * \beta$$

dove  $r_i$  = resistenza d'ingresso dell'amplificatore a guadagno libero

#### **Impedenza d'uscita**

$$R_u = r_u / (A * \beta)$$

dove  $r_u$  = resistenza d'uscita dell'amplificatore a guadagno libero

## A2 Dettagli sull'oscillatore a sfasamento

L'oscillatore a sfasamento, trattato nel paragrafo 3.15, merita una particolare attenzione per la complessità del suo funzionamento; in questa appendice cercheremo di chiarire, per quanto possibile, i criteri che portano alle formule applicative riportate nel citato paragrafo, ad eccezione dell'espressione per il calcolo della frequenza che richiederebbe il ricorso alle funzioni di variabile complessa non proponibili nel contesto di un manuale tecnico.

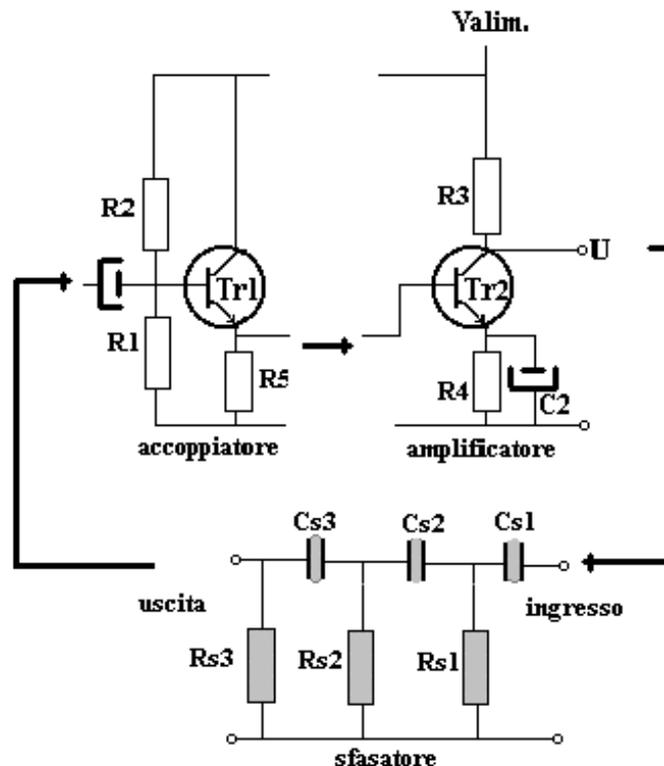
Ci occuperemo pertanto soltanto della problematica connessa al dimensionamento dell'amplificatore in funzione del valore desiderato dell'ampiezza del segnale generato in uscita. L'oscillatore, di cui riproponiamo in figura a2.1 lo schema elettrico, è disegnato in tre sezioni funzionali:

Prima sezione -accoppiatore

Seconda sezione -amplificatore

Terza sezione -rete di sfasamento

figura a2.1



La prima sezione, ad alta impedenza d'ingresso, ha il compito d'accoppiare l'uscita dello sfasatore all'ingresso dell'amplificatore, in questo modo la rete di sfasamento non viene caricata ed il suo dimensionamento diventa più preciso.

La seconda sezione amplifica il segnale proveniente dall'accoppiatore e lo applica all'ingresso della rete di sfasamento.

La terza sezione costituisce l'anello di reazione che consente l'oscillazione stabile del circuito.

Prima di addentrarci nelle problematiche teoriche è opportuno ripetere alcuni periodi che sono stati scritti nel paragrafo 3.15:

All'accensione si verifica in Tr1 e Tr2 l'amplificazione del solo rumore proprio d'ingresso; al rumore amplificato sul collettore di Tr2, già naturalmente in opposizione di fase ( $180^\circ$ ) con quello di base di Tr1, viene aggiunto lo sfasamento di  $180^\circ$  della rete, la somma di questi due sfasamenti,  $180^\circ + 180^\circ = 360^\circ$  fa sì che la tensione di rumore riportata sulla base sia in fase con parte del rumore d'ingresso incrementandolo, grazie all'incremento della tensione di

base si crea un progressivo e ripetitivo fenomeno reattivo che porta il circuito amplificatore ad oscillare in permanenza alla frequenza  $f_0$  data dalla relazione:

$$f_0 = 1 / (2 * \pi * R * C * \sqrt{7.6})$$

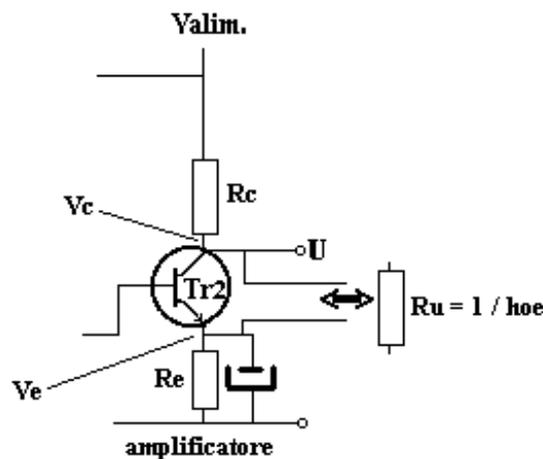
Un'idea su come si generino onde sinusoidali con la rete di reazione si può avere seguendo questo ragionamento: se, per ipotesi, il circuito di reazione sfasasse  $180^\circ$  dalla frequenza  $f_0$  all'infinito ciò porterebbe in saturazione l'amplificatore con la presenza in (u) di un'onda rettangolare alla frequenza  $f_0$  composta, secondo Fourier, da infinite componenti aventi rispettivamente le frequenze:

- $f_0$  = frequenza fondamentale (coincide con la frequenza stessa dell'onda quadra)
- $f_3$  = frequenza di terza armonica ( ha una frequenza tripla della fondamentale)
- $f_5$  = frequenza di quinta armonica ( ha una frequenza quintupla della fondamentale)
- $f_7$  = frequenza di settima armonica ( ha una frequenza sette volte quella della fondamentale)
- $f_9, f_{11}$ , ecc.

Dato però che la rete di reazione sfasa di  $180^\circ$  soltanto alla frequenza  $f_0$  e per tutte le altre componenti lo sfasamento non è di  $180^\circ$  quest'ultime non potranno contribuire al fenomeno di reazione in atto nell'amplificatore con la conseguenza che, di fatto, non potrà manifestarsi in uscita (u) l'onda rettangolare, ma soltanto la frequenza fondamentale  $f_0$ , proprio per la mancanza di tutte le altre componenti frequenziali di terza, quinta, settima armonica ecc. La rete di sfasamento non agisce come un filtro, attenuando le frequenze superiori ad  $f_0$ , ma si comporta soltanto da variatore di fase in funzione della frequenza. Sulla base di questo principio è possibile, e lo vedremo in seguito, calcolare l'ampiezza del segnale d'uscita dall'oscillatore.

Ciò premesso vediamo come si ricava l'espressione per il calcolo della tensione d'alimentazione del circuito in dipendenza dell'ampiezza dell'onda in uscita il cui valore picco picco ha il valore che avrebbe l'onda rettangolare d'ipotetica saturazione dell'amplificatore. L'impostazione del ragionamento parte dallo schema elettrico dell'amplificatore riportato in figura a2.2

figura a2.2



Nella figura è mostrata sulla destra, con il simbolo  $R_u$ , la resistenza interna di  $Tr_2$  che come è noto vale

$$R_u = 1 / h_{oe} \quad 1)$$

dove  $h_{oe}$  è la conduttanza di  $Tr_2$  data a catalogo per il tipo di transistor impiegato. La  $R_u$ , trovandosi in serie a  $R_c$ , non consente mai al collettore di  $Tr_2$  di raggiungere il livello della tensione

d'alimentazione. Se indichiamo con  $V_{max}$  la massima tensione che può essere raggiunta dall'uscita  $U$ , dalla configurazione circuitale possiamo scrivere:

$$V_{lim.} / (R_c + R_u) = V_{max} / R_u$$

da cui si ricava  $V_{lim.}$

$$V_{lim.} = V_{max} * (R_c + R_u) / R_u$$

ovvero

$$V_{lim.} = V_{max.} * [R_c + (1/hoe)] / (1/hoe) \quad 2)$$

È ora necessario scrivere una relazione per legare  $V_{max}$  con  $V_{upp}$ , dove  $V_{upp}$  è la tensione picco picco del segnale sinusoidale, presente all'uscita  $U$  dell'amplificatore nel contesto del circuito completo di figura a3.1. Tenendo conto che il valore  $V_{upp}$  coincide con il picco picco che avrebbe l'onda rettangolare d'ipotetica saturazione dell'amplificatore, possiamo scrivere:

$$V_{upp} = V_{max} - V_{ce(sat)} - V_e \quad 3)$$

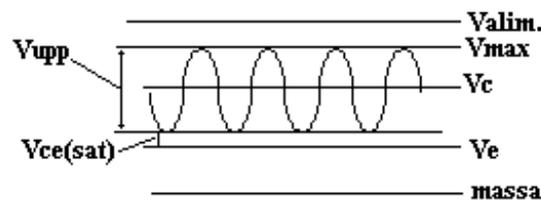
dove

$V_{ce(sat)}$  = tensione di saturazione di  $Tr_2$

$V_e$  = tensione continua di polarizzazione emettitore  $Tr_2$  (ai capi di  $R_e$ )

Per una miglior comprensione della relazione 3) è mostrata la forma d'onda quotata nella figura a2.3.

figura a2.3



Nella figura sono indicati i simboli relativi ai diversi livelli di tensione partendo dal livello zero di massa quindi:

massa = livello di tensione 0

$V_e$  = livello di tensione di polarizzazione d'emettitore

$V_{ce(sat)}$  = tensione minima per il funzionamento del transistor

$V_c$  = tensione di polarizzazione del collettore

$V_{upp}$  = escursione massima del segnale d'uscita

$V_{max}$  = limite massimo della tensione raggiungibile dal collettore

$V_{lim.}$  = tensione d'alimentazione del circuito

Per semplificare gli sviluppi matematici seguenti è utile assegnare al valore  $V_e$ , riportato nella formula 3), come tensione continua  $V_e$  di polarizzazione d'emettitore, un valore pari alla metà della tensione  $V_{upp}$  richiesta  $V_{upp}/2$ , cioè  $V_e = V_{upp}/2$ ; a seguito di questa assunzione possiamo riscrivere la 3) come segue

$$\mathbf{V_{upp} = V_{max} - V_{ce(sat)} - V_{upp}/2} \quad \mathbf{4)}$$

Risolvendo la 4) in  $V_{max}$  otteniamo:

$$V_{max} = V_{upp} + V_{ce(sat)} + V_{upp}/2$$

$$\mathbf{V_{max} = (3/2)V_{upp} + V_{ce(sat)}} \quad \mathbf{5)}$$

Se sostituiamo nella 2) il valore di  $V_{max}$  della 5) otteniamo:

$$V_{lim.} = [(3/2)V_{upp} + V_{ce(sat)}] * [R_c + (1/hoe)] / (1/hoe)$$

che sviluppata dà infine:

$$\mathbf{V_{lim.} = [(3/2)V_{upp} + V_{ce(sat)}] * (R_c * hoe + 1)} \quad \mathbf{6)}$$

la 6) esprime infatti il valore della tensione d'alimentazione del circuito necessaria per ottenere il valore desiderato della tensione d'uscita  $V_{upp}$ .

Dopo aver ricavato la 6) è necessario stabilire un legame tra il valore di  $R_c$  ed il valore di  $R_e$  affinché si possano verificare le condizioni esposte dalla 3); si procede con l'esame di figura a2.2 dalla quale, indicando con  $I_c$  la corrente continua nella giunzione collettore emettitore, si può scrivere il sistema:

$$\left\{ \begin{array}{l} R_c = (V_{lim.} - V_c) / I_c \\ R_e = V_e / I_c \end{array} \right.$$

che risolto in  $R_e$  dà :

$$R_e = R_c V_e / (V_{lim.} - V_c) \quad \mathbf{7)}$$

ora avendo assunto

$$V_e = V_{upp}/2$$

e risultando dalla figura a2.3

$$V_c = V_e + V_{ce(sat)} + V_{upp}/2$$

si ha

$$V_c = V_{upp}/2 + V_{ce(sat)} + V_{upp}/2 = V_{upp} + V_{ce(sat)}$$

che sostituita nella 7) dà

$$R_e = R_c V_e / (V_{lim.} - V_{upp} - V_{ce(sat)})$$

ovvero

$$\mathbf{R_e = R_c V_{upp}/2 / (V_{lim} - V_{upp} - V_{ce(sat)})} \quad \mathbf{8)}$$

Riassumendo l'insieme delle formule per il calcolo dell'oscillatore a sfasamento, comprese quelle già indicate nel paragrafo 3.15, scriviamo:

Per il calcolo della frequenza d'oscillazione:

$$\mathbf{f_o = 1 / (2 * \pi * R * C * \sqrt{7.6} )}$$

dove:

$R = R_{s1} = R_{s2} = R_{s3}$

$C = C_{s1} = C_{s2} = C_{s3}$

Per il calcolo della tensione d'alimentazione in funzione del valore  $V_{upp}$  voluto in uscita

$$\mathbf{V_{lim.} = [ (3/2)V_{upp} + V_{ce(sat)} ] * ( R_c * h_{oe} + 1)}$$

dove

$R_c$  = resistenza di carico di  $Tr_2$

$h_{oe}$  = conduttanza d'uscita di  $Tr_2$

$V_{ce(sat)}$  = tensione di saturazione di  $Tr_2$

$V_{upp}$  = tensione d'uscita voluta

Per il calcolo della resistenza  $R_c$  di collettore che deve rispettare la relazione  $R_c \leq R_u/10$

$$\mathbf{R_c \leq 1 / (10 * h_{oe})}$$

$R_c$  = resistenza di carichi di  $Tr_2$

$h_{oe}$  = conduttanza d'uscita di  $Tr_2$

Per il calcolo della resistenza d'emettitore di  $Tr_2$  in dipendenza del valore assegnato alla resistenza di carico  $R_c$

$$\mathbf{R_e = R_c V_{upp}/2 / (V_{lim.} - V_{upp} - V_{ce(sat)})}$$

$R_e$  = resistenza di emettitore di  $Tr_2$

$R_c$  = resistenza di carichi di  $Tr_2$

$V_{ce(sat)}$  = tensione di saturazione di  $Tr_2$

$V_{upp}$  = tensione d'uscita voluta espressa in volt picco picco

$V_{lim}$  = tensione d'alimentazione del circuito

### A3. Formule di calcolo per i filtri attivi

Per il calcolo dei filtri attivi, passa basso, passa alto e passa banda, riferiti esclusivamente agli schemi elettrici delle figure 4,25 ; 4,30; 4,31 sono disponibili le funzioni matematiche con le quali tracciare le curve di risposta in qualsiasi campo di variabilità della frequenza; vediamole in ordine iniziando con la funzione relativa al filtro passa basso:

#### Passa basso

La funzione normalizzata è la seguente

$$\text{Att} = \frac{1}{\sqrt{[1 + (f / f_0)^4]}} \quad 1)$$

dove:

f = frequenza del segnale all'ingresso del filtro

f<sub>0</sub> = frequenza di taglio voluta

Att = attenuazione del filtro

La normalizzazione della funzione fa sì che:

per f = f<sub>0</sub> il valore di Att è Att = 0.707.

per f = 0 il valore di Att è Att = 1.

Le curve tracciate nel paragrafo 4.14.1 sono su base logaritmica, espresse in deciBel, e tengono conto del guadagno elettronico anch'esso espresso in deciBel ( 4 dB); ne segue che la 1) viene così trasformata in funzione non più normalizzata espressa in deciBel già impostata per essere impiegata in Excel

$$\text{Att(dB)} = 4 + 20 * \text{LOG10}(1/(\text{RADQ}(1+((A1:An)/f_0)^4)))$$

In cui A1:An sono le cellule, in Excel, nelle quali scrivere i punti di frequenza per i quali calcolare la curva.

Questa funzione rende:

per An = f<sub>0</sub> Att(dB) = 1 dB

per An = 0 Att(dB) = 4 dB

#### Passa alto

La funzione normalizzata è la seguente

$$\text{Att} = \frac{1}{\sqrt{[1 + (f_0 / f)^4]}} \quad 2)$$

dove:

f = frequenza del segnale all'ingresso del filtro

f<sub>0</sub> = frequenza di taglio voluta

Att = attenuazione del filtro

La normalizzazione della funzione fa sì che:  
 per  $f = f_0$  il valore di Att è  $Att = 0.707$ .  
 per  $f \gg f_0$  il valore di Att è  $Att = 1$ .

Le curve tracciate nel paragrafo 4.14.2 sono su base logaritmica, espresse in deciBel, e tengono conto del guadagno elettronico anch'esso espresso in deciBel ( 4 dB); ne segue che la 2) viene così trasformata in funzione non più normalizzata espressa in deciBel già impostata per essere impiegata in Excel

$$Att (dB) = 4 + 20 * LOG10(1/(RADQ(1+(f_0/(A1:An))^4)))$$

In cui A1:An sono le cellule, in Excel, nelle quali scrivere i punti di frequenza per i quali calcolare la curva.

Questa funzione rende:  
 per  $An = f_0$   $Att(dB) = 1$  dB  
 per  $An \gg f_0$   $Att(dB) = 4$  dB

### Passa banda

La funzione normalizzata è la seguente

$$Att = \frac{1}{\sqrt{\{ 1 + Q^2 [(f / f_c) - (f_c / f)]^2 \}}} \quad 3)$$

dove:  
 $f$  = frequenza del segnale all'ingresso del filtro

$f_c$  = frequenza di centro banda voluta

$Q = f_c / \Delta f$

$\Delta f$  = larghezza di banda voluta (a - 3 dB)

Att = attenuazione del filtro

La normalizzazione della funzione fa sì che:  
 per  $f = f_c$  il valore di Att è  $Att = 1$ .  
 per  $f = f_c \pm \Delta f/2$  il valore di Att è  $Att = 0.707$ .

Le curve tracciate nel paragrafo 4.14.3 sono su base logaritmica, espresse in deciBel, e non tengono conto del guadagno elettronico; ne segue che la 3) viene così trasformata in funzione logaritmica normalizzata espressa in deciBel già impostata per essere impiegata in Excel

$$Att (dB) = 20 * LOG10(1/(RADQ(1+Q^2*(((A1:An)/f_c)-(f_c/(A1:An)))^2)))$$

In cui A1:An sono le cellule, in Excel, nelle quali scrivere i punti di frequenza per i quali calcolare la curva.

Questa funzione rende:

per  $An = fc$        $Att(dB) = 0 \text{ dB}$   
per  $An = fc \pm \Delta f/2$        $Att(dB) = -3 \text{ dB}$

Tra le formule indicate nel paragrafo 4.14.3, relative al calcolo dei componenti del filtro passa banda, sono riportate le seguenti

$$C = 1 / (\pi * \Delta f * R1)$$

$$R = (1 / 2 * \pi * fc * C)$$

valide soltanto se  $Ri/R > 6$

Una coppia di formule che non ha alcuna limitazione, e può essere impiegata per qualsiasi valore di  $R1$  e di  $R$ , è la seguente:

$$C = 1 / (\pi * \Delta f * R1)$$

$$R = \frac{1 + \sqrt{1 + 16 Q^2}}{8 C \pi fc Q}$$

#### A 4 Il circuito d'integrazione nel rivelatore

La cellula d'integrazione, impiegata nel rivelatore illustrato nel paragrafo 4.12, merita di alcuni chiarimenti in merito al ruolo ed al comportamento che essa ha nel contesto del circuito di figura 4.20.

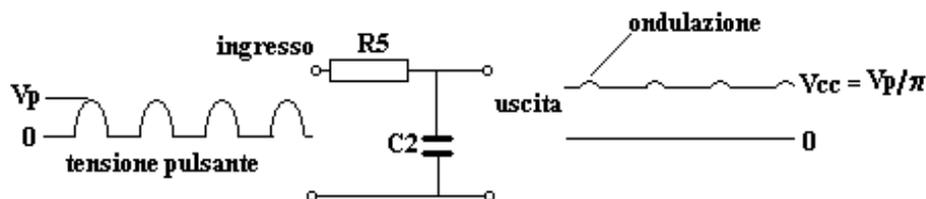
Il processo d'integrazione può essere visto in tre modi diversi in base alle funzioni che concettualmente vengono richieste a questo circuito, vediamole nell'ordine:

##### Prima funzione:

Il circuito d'integrazione è utilizzato per eliminare le componenti armoniche derivanti dall'azione di rettificazione del circuito sui segnali sinusoidali persistenti.

Per illustrare questa funzione ricorriamo al disegno di figura a4.1 nella quale è tracciata la forma d'onda che è presente nel punto d'unione tra D1 , R2 nello schema del rivelatore di figura 4.20.

figura a4.1



La figura a4.1 mostra, a sinistra, la forma d'onda della tensione pulsante, formata da un insieme continuo di semiperiodi sinusoidali, presente nel punto d'unione tra D1 , R2, al centro la cellula d'integrazione formata da R5 e C2, a destra la tensione d'uscita dalla cellula, tensione formata da un livello continuo  $V_{cc} = V_p/\pi$  e da un'ondulazione resa, per poterla apprezzare in questo esempio grafico, enormemente più ampia di come in effetti sia nella realtà.

La ragione del comportamento della cellula è spiegabile secondo la teoria di Fourier che enuncia: Un'onda pulsante di ampiezza  $V_p$  e frequenza  $f$  è formata da una componente continua sommata a infinite componenti armoniche secondo il seguente elenco:

componente continua di ampiezza =  $V_p/\pi$

frequenza fondamentale  $f$  di ampiezza =  $V_p/2$

seconda armonica  $2 * f$  di ampiezza =  $2 * V_p / (3 * \pi)$

quarta armonica  $4 * f$  di ampiezza =  $2 * V_p / (15 * \pi)$

e così proseguendo per frequenze armoniche pari sempre più elevate

L'insieme della componente continua e delle armoniche, applicate tra R5 e massa, attraversano R5 e trovando C2 subiscono due trattamenti diversi:

-La componente continua carica C2 al livello di  $V_p/\pi$  e così rimane fino a quando è presente la tensione pulsante all'ingresso della cellula d'integrazione.

-Le componenti armoniche subiscono invece una riduzione d'ampiezza secondo la partizione esercitata da R5 e dalla reattanza  $X_{c2}$  di C2; vediamo di che entità è l'attenuazione della componente fondamentale avente la frequenza  $f$  considerando tutti i valori relativi all'esercizio di paragrafo 4.12:

$f = 10000 \text{ Hz}$

$R5 = 0.220 \text{ Mohm}$

$C = 1 \mu\text{F}$

Per eseguire i calcoli della tensione di picco ai capi di C2,  $V_{p(su C2)}$ ; facciamo riferimento al paragrafo 1.3 ed alla figura 1.2 e scriviamo la formula:

$$V_{p(su\ C2)} = (V_p/2) * (X_{c2}) / \sqrt{(R5^2 + X_{c2}^2)}$$

Per applicare la formula si calcola  $X_{c2}$

$$X_{c2} = 1 / (2 * \pi * f * C2) = 1 / (2 * 3.14 * 10000\ Hz * 1 * 10^{-6}\ F) = 15.9\ ohm$$

e quindi

$$V_{p(su\ C2)} = (V_p/2) * (15.9\ ohm) / \sqrt{(220000\ ohm^2 + 15.9\ ohm^2)} = V_p * 36 * 10^{-6}$$

Il risultato del calcolo mostra che l'ampiezza della frequenza fondamentale  $f$ , ai capi di  $C2$ , è 36 milionesimi dell'ampiezza dell'onda pulsante d'ingresso; in altre parole se  $V_p$  fosse uguale ad 1 volt la tensione d'ondulazione alla frequenza  $f$  sarebbe di 36 microvolt, valore praticamente irrilevante sopra la tensione continua su  $C2$ .

Per le armoniche superiori l'attenuazione è ancora più elevata perché  $X_{c2}$  decresce con il crescere della frequenza.

Ecco perché delle ondulazioni marcate in figura a4.1 s'è detto:

**tensione formata da un livello continuo  $V_{cc}$  e da un'ondulazione resa, per poterla apprezzare in questo esempio grafico, enormemente più ampia di come in effetti sia nella realtà.**

Con questo esempio s'è mostrato come il circuito integratore sia in grado di filtrare le componenti armoniche che compongono l'onda pulsante, lasciando, a disposizione dell'utilizzatore, una tensione continua proporzionale all'ampiezza del segnale applicato alla cellula  $R5, C2$ .

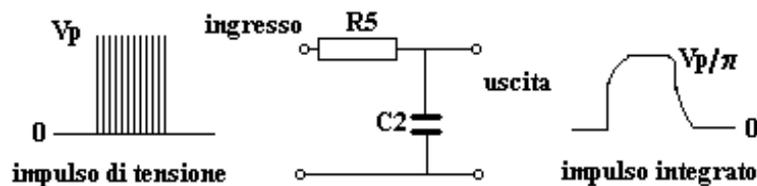
Prima di chiudere questo argomento è da osservare che in nessun passaggio è stata menzionata la dizione "costante di tempo" che ricorre nell'esercizio del paragrafo 4.12; in questi termini si tratterà invece di seguito trattando della terza funzione.

## Seconda funzione

Il circuito d'integrazione è utilizzato per discriminare segnali sinusoidali di tipo impulsivo.

Per illustrare questa funzione ricorriamo al disegno di figura a4.2 nella quale è tracciata la forma d'onda che sarebbe presente nel punto d'unione tra  $D1$ ,  $R2$  nello schema di figura 4.20, qualora la tensione  $V_i$  c.a. d'ingresso al rivelatore avesse breve durata ( impulso ).

figura a4.2



La figura a4.2 mostra, a sinistra, la forma d'onda impulsiva formata da un gruppo di semiperiodi sinusoidali, tracciati nel disegno come segmenti verticali, tensione pulsante presente nel punto d'unione tra  $D1$ ,  $R2$ , al centro la cellula d'integrazione formata da  $R5$  e  $C2$ , a destra la tensione impulsiva presente all'uscita dalla cellula.

Il disegno mostra una situazione che si verifica, in presenza dell'impulso d'ingresso, soltanto se la sua durata è commisurata alla costante di tempo del circuito d'integrazione; se la costante di tempo  $RC$  è molto più grande della durata dell'impulso si ha, in uscita, un impulso d'ampiezza molto piccola, viceversa se la costante di tempo è molto più piccola della durata dell'impulso si ha in uscita un impulso ad ampiezza molto frastagliata.

Quanto detto può essere espresso in termini numerici facendo ancora riferimento alle caratteristiche della cellula d'integrazione  $R5, C2$ , che vede  $R5 = 220000\ ohm$  e  $C2 = 1\ \mu F$ , per la quale è stata valutata la costante di tempo come prodotto di  $R5$  per  $C2$  pari a:

$$T_o = R5 * C2 = 220000 \text{ ohm} * 1 * 10^{-6} \text{ F} = 0.22 \text{ Sec.}$$

La costante di tempo  $T_o$  indica quanto tempo occorre affinché il condensatore  $C2$ , in presenza di un impulso di corrente che scorre in  $R5$ , si possa caricare ad una tensione pari al 63% del valore di picco della tensione che produce detta corrente.

Un esempio per chiarire il concetto:

Supponiamo che l'impulso d'ingresso alla cellula abbia un'ampiezza di 1 V picco e una durata di 1 secondo, in questo caso, dopo 0.22 secondi dall'arrivo dell'impulso il condensatore  $C2$  si sarà caricato ad un livello di tensione pari a:

$$V(\text{su } C2) = (V_p/\pi) * 63/100 = (1 \text{ V}_p / 3.14) * 63 / 100 = 0.2 \text{ V}$$

alla fine della durata dell'impulso il livello di  $V(\text{su } C2)$  avrà raggiunto un'ampiezza più elevata di 0.2 V ma non potrà mai arrivare al valore massimo di  $(V_p/\pi)$  dato che l'andamento della carica di  $C2$  segue l'espressione:

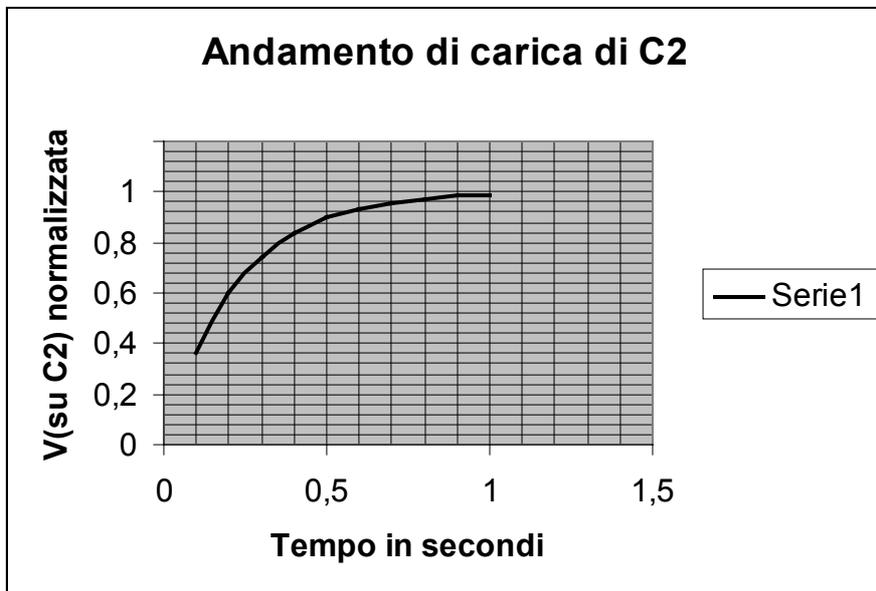
$$V(\text{su } C2) = (V_p/\pi) * (1 - e^{-t / R5 * C2})$$

nella quale  $e = 2.718$

$t$  = tempo dall'applicazione dell'impulso

Dato che il computo dell'espressione è tedioso, riportiamo in figura a4.3 un diagramma dal quale si possono estrapolare facilmente i dati relativi al livello di tensione  $V(\text{su } C2)$  del nostro esercizio.

figura a4.3



Il grafico richiede alcune precisazioni:

Nell'asse delle ascisse è riportato il tempo della durata dell'impulso.

Nell'asse delle ordinate è riportata l'ampiezza della  $V(\text{su } C2)$  con riferimento al massimo uguale all'unità. La curva è stata calcolata per la costante di tempo  $T_o = R5 * C2 = 0.22$  Secondi.

Vediamo come utilizzare questo grafico mediante alcuni passaggi:

- Per determinare il livello di carica di C2 dopo il tempo pari alla costante  $T_0 = 0.22$  Sec., si parte dal valore di ascisse pari a 0.22 e si incontra la curva, l'ordinata corrispondente al punto d'incontro quota il valore 0.63, avendo assunto l'impulso di carica pari a  $(1 V_p / 3.14)$  l'ampiezza di  $V_{(su C2)}$

sarà come già visto

$$V_{(su C2)} = (1 V_p / 3.14) * 0.63 = 0.2 V$$

- Per determinare il livello di carica di C2 dopo un tempo  $t = 0.5$  Sec., si parte dal valore di ascisse pari a 0.5 e si incontra la curva, l'ordinata corrispondente al punto d'incontro quota il valore 0.85, avendo assunto l'impulso di carica pari a  $(1 V_p / 3.14)$  l'ampiezza di  $V_{(su C2)}$

sarà

$$V_{(su C2)} = (1 V_p / 3.14) * 0.85 = 0.27 V$$

- Per determinare il livello di carica di C2 dopo alla fine dell'impulso, dopo un tempo di 1 secondo si parte dal valore di ascisse pari a 1 e si incontra la curva, l'ordinata corrispondente al punto d'incontro quota il valore di circa 0.98, avendo assunto l'impulso di carica pari a  $(1 V_p / 3.14)$  l'ampiezza di  $V_{(su C2)}$

sarà

$$V_{(su C2)} = (1 V_p / 3.14) * 0.98 = 0.31 V$$

Vediamo ora quale comportamento avrebbe la cellula d'integrazione se l'impulso non fosse della durata di 1 secondo ma avesse un tempo di persistenza di soli 0.1 secondi:

Si parte dal valore di ascisse pari a 0.1 e si incontra la curva, l'ordinata corrispondente al punto d'incontro quota il valore di circa 0.36, avendo assunto l'impulso di carica pari a  $(1 V_p / 3.14)$  l'ampiezza di  $V_{(su C2)}$  sarà:

$$V_{(su C2)} = (1 V_p / 3.14) * 0.36 = 0.11 V$$

Come si può vedere il valore di carica di C2, alla fine della durata dell'impulso, è di soli 0.11 V contro gli 0.31 V ottenibili per una durata d'impulso commisurata alla costante di tempo; questo mostra la caratteristica di discriminazione della cellula d'integrazione in base alla durata degli impulsi.

A questo punto si potrebbe pensare d'utilizzare cellule a bassa costante di tempo, in ogni caso, certi che l'ampiezza massima dell'impulso sarebbe facilmente raggiungibile sia per impulsi lunghi che per impulsi corti; questo ragionamento, che dal punto di vista della possibilità di carica di C2 è valido, contrasta però con l'esigenza di ottenere impulsi d'uscita il più possibile esenti da ondulazioni dovute alle componenti armoniche.

Sarebbe infatti deleterio rivelare un impulso della durata di 0.5 Sec., ad esempio, con una costante di tempo di 0.01 secondi, in questo caso si avrebbe un peggioramento dell'ondulazione nel rapporto indicativo di circa  $0.5 / 0.01 = 50$ .

### Terza funzione

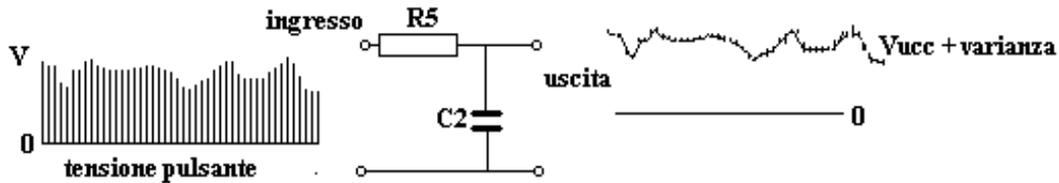
Il circuito d'integrazione è utilizzato per ridurre la varianza dovuta alla rivelazione di segnali di rumore a carattere persistente.

In questo caso si ha di fronte una condizione di funzionamento della cellula simile a quella illustrata in figura a4.2 ma con profili di tensioni aventi caratteristiche diverse a seguito dell'andamento delle tensioni di rumore, il figura a4.4 è mostrata la nuova situazione.

La figura a4.4 mostra, a sinistra, la forma d'onda della tensione pulsante dovuta alla tensione di rumore con i semiperiodi tracciati nel disegno come segmenti verticali, presente nel punto

d'unione tra D1 , R2, al centro la cellula d'integrazione formata da R5 e C2, a destra la tensione d'uscita dalla cellula, tensione formata da un livello continuo Vcc sul quale è sovrapposta una sensibile ondulazione detta "varianza".

figura a4.4



L'ampiezza della componente continua d'uscita è data da:

$$V_{uc.c} = V_{eff B} / \sqrt{2 * \pi}$$

dove  $V_{eff B}$  è la tensione di rumore, presente prima della rivelazione, misurata nella banda B nella quale è collocata.

L'entità della varianza è data dal rapporto tra la banda B di frequenze nella quale è definito il segnale Vic.a. d'ingresso al rivelatore e la banda passante del circuito d'integrazione R5,C2 visto come un filtro passa basso.

Ecco che per il circuito R5,C2 si nomina una nuova caratteristica, la banda passante; questa è definita dalla "frequenza di taglio",  $f_t$ , frequenza oltre la quale il circuito integratore inizia a tagliare tutte le frequenze superiori a  $f_t$  stessa.

La frequenza di taglio della cellula d'integrazione è esprimibile con la semplice formula :

$$f_t = 1 / ( 2 * \pi * R5 * C2 )$$

che con i nostri dati vale

$$f_t = 1 / ( 2 * \pi * R5 * C2 ) = 1 / ( 2 * 3.14 * 220000 \text{ ohm} * 1 * 10^{-6} \text{ F} ) = 0.73 \text{ Hz}$$

la cellula consente quindi il passaggio di tutte le frequenze comprese tra 0 e 0.73 Hz, è definibile pertanto come un filtro passa basso avente una banda  $B_{rc} = 0.73 \text{ Hz}$

Dato che la varianza sovrapposta alla  $V_{uc.c}$  d'uscita è data dall'espressione:

$$V_{uc.a.} = V_{i.c.a.} / \{ 4 * \sqrt{(2 * \pi)} * \sqrt{[(2 * \pi) ( B / B_{rc} )]} \}$$

il coefficiente  $K_r$  di riduzione della varianza, in dipendenza del rapporto tra B e  $B_{rc}$ , è dato da:

$$K_r = \sqrt{( B / B_{rc} )}$$

Se nel nostro caso la banda della tensione di rumore fosse  $B = 1000 \text{ Hz}$

essendo  $B_{rc} = 0.73 \text{ Hz}$

il coefficiente di riduzione sarebbe  $K_r = \sqrt{( 1000 / 0.73 )} = 37$

Se fosse necessario aumentare il coefficiente di riduzione per ottenere un livello di varianza inferiore si potrebbe aumentare la costante di tempo R5,C2, da 0.22 Sec, ad esempio, a 2.2 secondi mediante la decuplicazione del valore di C2 che passerebbe da 1  $\mu$ F a 10  $\mu$ F; in questo caso la frequenza di taglio della cellula passerebbe da 0.73 Hz a:

$$f_t = 1 / ( 2 * \pi * R5 * C2 ) = 1 / ( 2 * 3.14 * 220000 \text{ ohm} * 10 * 10^{-6} \text{ F} ) = 0.073 \text{ Hz}$$

e quindi la banda Brc da 0.73 Hz a 0.073 Hz

con l'incremento di Kr da 37 a

$$K_r = \sqrt{ ( 1000 / 0.073 ) } = 117$$

## A5 Il computer impiegato per l'invio di comandi digitali

In un manuale di elettronica analogica sarebbe fuori luogo sviluppare argomenti dettagliati relativi alla circuitazione digitale, si può presentare però la necessità di risolvere un problema di carattere pratico qualora, chi ha sviluppato un circuito analogico, che deve essere interfacciato con un sistema digitale, debba eseguire su di esso le prove necessarie per validarne l'impiego.

Un modo moderno ed interessante per affrontare queste eventuali situazioni consiste nell'impiego, al bisogno, di un personal computer con il quale sostituire le funzioni che sarebbero richieste alla circuitazione digitale per eseguire le prove delle quali abbiamo accennato; per questo tipo d'attività è, ovviamente, necessario conoscere un poco di tecnica sulla programmazione.

La possibilità d'impiego di un P.C. è vincolata a due fattori caratteristici della macchina quali:

- Il P.C. deve essere dotato di porta parallelo LPT1.
- Sul P.C. deve poter girare il programma applicativo Visual Basic o, se disponibile il vecchio Qbasic.
- Nel caso d'impiego del Visual basic è necessario procurarsi il file win95io.dll da installare con il nuovo programma da studiare.

Ciò premesso iniziamo a vedere quali possibilità fisiche esistono per un collegamento elettrico del P.C. con il mondo esterno; questo collegamento è attuabile, molto semplicemente, utilizzando la porta parallela della macchina.

La porta parallela, posta sul retro del P.C. è realizzata su di un connettore a 25 poli nel quale sono distinte, con i numeri dei pin, le diverse funzioni attribuite ai contatti. Vediamole nella tabella di seguito, dove, con la sigla "Ni" s'intende che la funzione non è impiegata per l'utilizzo ai nostri scopi:

Numero del pin	Funzione	Numero del pin	Funzione
1	Linea b/1	14	Linea b/2
2	Linea a/1	15	Ni
3	Linea a/2	16	Linea b/4
4	Linea a/4	17	Linea b/8
5	Linea a/8	18	Massa
6	Linea a/16	19	Massa
7	Linea a/32	20	Massa
8	Linea a/64	21	Massa
9	Linea a/128	22	Massa
10	Ni	23	Massa
11	Ni	24	Massa
12	Ni	25	Massa

Il significato dei termini riportati in tabella è il seguente:

Il gruppo nominato con "Linea a/x" si riferisce ad una sezione della porta parallela individuata dal numero "888".

Il gruppo dei termini da Linea a/1 a Linea a/128 indicano otto punti di collegamento, o linee principali, che possono assumere, singolarmente o assieme ad altre, il livello +5V se a programma vengono impostati, per l'uscita sul connettore, i numeri 1; 2; 4; 8; 16; 32; 64; 128.

Il gruppo nominato con "Linea b/x" si riferisce ad una sezione della porta parallela individuata dal numero "890".

Il gruppo dei termini Linea b/1, Linea b/2, Linea b/8 indica tre punti di collegamento, o linee secondarie, che possono assumere, singolarmente o assieme ad altre, il livello 0V se a programma vengono impostati, per l'uscita sul connettore, i numeri 1; 2; 8.

Il termine Linea b/8 indica un punto di collegamento, o linea secondaria, che può assumere, singolarmente o assieme ad altre, il livello +5V se a programma viene impostato, per l'uscita sul connettore, il numero 4.

Il termine Linea b/32 indica un punto di collegamento, o linea secondaria, che può assumere, singolarmente o assieme ad altre, il livello +5V se a programma viene impostato, per l'uscita sul connettore, il numero 4.

Le linee principali indicate con Linea a/x possono servire per due modi di funzionamento diversi:

- Per trasferire all'esterno livelli +5V o 0V, nel caso che il programma, personalizzato, che gira nel P.C. preveda che dalla porta parallela debbano uscire delle tensioni di comando, così come già descritto a proposito della sezione di porta dal numero 888.
- Per introdurre nel P.C. dall'esterno livelli di tensione, +5V o 0V, per essere valutate ed elaborate su indicazioni del programma personalizzato implementato nel P.C.

Per consentire l'utilizzo delle linee tipo Linea/x alle funzioni sopra indicate è indispensabile che una linea secondaria "virtuale" della sezione 890 indicata con Linea b/32, che non ha alcun collegamento elettrico con il connettore di LPT1, venga predisposta opportunamente mediante il programma personalizzato come segue:

- Linea b/32 = 0 per l'uscita dati dalla sezione 888
- Linea b/32 = +5V per l'ingresso dati dalla sezione 888

Queste operazioni verranno chiarite meglio in sede di illustrazione delle righe del programma personalizzato.

Per l'illustrazione di un semplice programma personalizzato in grado, ad esempio, di gestire la porta parallela del P.C. affinché questa fornisca le quattro linee digitali necessarie a fornire i comandi al circuito di figura 4.41, descritto nel paragrafo 4.17.1, dobbiamo anzitutto fare riferimento alla tabella dello stato delle linee, così come esposta nel citato paragrafo e qui sotto ripetuta per praticità:

Linea	A0	A1	A2	A3	Guadagno dell'amplificatore	Incremento di guadagno
stato	0V	0V	0V	0V	G = 20 dB ( 10 volte)	no incremento
stato	+5V	0V	0V	0V	G = 26 dB (20 volte)	+ 6 dB ( 2 volte)
stato	+5V	+5V	0V	0V	G = 32 dB (40 volte)	+ 6 dB (2 volte)
stato	+5V	+5V	+5V	0V	G = 38 dB (79 volte)	+ 6 dB (2 volte)
stato	+5V	+5V	+5V	+5V	G = 44 dB (158 volte)	+ 6 dB (2 volte)

Per impostare il programma dobbiamo modificare la tavola mettendo in evidenza l'equivalente dello stato delle linee espresso in forma binaria e decimale, così come riportato nella seguente tabella:

Linea	A0	A1	A2	A3	Guadagno amplificatore	stato delle 4 Linee in binario				Valore "n" decimale
						A3	A2	A1	A0	
stato	0V	0V	0V	0V	G = 20 dB	0	0	0	0	0
stato	+5V	0V	0V	0V	G = 26 dB	0	0	0	1	1
stato	+5V	+5V	0V	0V	G = 32 dB	0	0	1	1	3
stato	+5V	+5V	+5V	0V	G = 38 dB	0	1	1	1	7
stato	+5V	+5V	+5V	+5V	G = 44 dB	1	1	1	1	15

I nuovi dati devono essere interpretati come indicato appresso:

Le quattro linee devono essere viste come portatrici di un numero binario a 4 bit, nel quale il livello 0V rappresenta il segno 0 della numerazione binaria ed il +5V ne rappresenta il segno 1.

- Il guadagno di 20 dB si ottiene quando tutte le 4 linee sono a livello di tensione 0V, corrispondenti a 4 bit di segno 0. Il numero decimale corrispondente al binario 0000 è  $n = 0$
- Il guadagno di 26 dB si ottiene quando  $A_0 = +5V$  e le altre 3 linee sono a livello di tensione 0V, corrispondenti ad 1 bit di segno 1 e 3 bit di segno 0. Il numero decimale corrispondente al binario 0001 è  $n = 1$
- Il guadagno di 32 dB si ottiene quando  $A_0 = +5V$ ;  $A_1 = +5V$  e le altre 2 linee sono a livello di tensione 0V, corrispondenti a 2 bit di segno 1 e 2 bit di segno 0. Il numero decimale corrispondente al binario 0011 è  $n = 3$
- Il guadagno di 38 dB si ottiene quando  $A_0 = +5V$ ;  $A_1 = +5V$ ;  $A_2 = +5V$  e  $A_3$  è a livello di tensione 0V, corrispondenti a 3 bit di segno 1 e 1 bit di segno 0. Il numero decimale corrispondente al binario 0111 è  $n = 7$
- Il guadagno di 44 dB si ottiene quando tutti i bit sono a livello di tensione +5V, corrispondenti a 4 bit di segno 1. Il numero decimale corrispondente al binario 1111 è  $n = 15$

Da questo esame emerge che il programma che gira sul computer deve fornire sulle quattro linee, in forma binaria, rispettivamente i numeri decimali:

$n = 0$  per il guadagno di 20 dB

$n = 1$  per il guadagno di 26 dB

$n = 3$  per il guadagno di 32 dB

$n = 7$  per il guadagno di 38 dB

$n = 15$  per il guadagno di 44 dB

Per eseguire queste operazioni il programma deve consentire 5 distinti comandi per i valori dei guadagni voluti; il programma in oggetto, sviluppato in Visual Basic 6, è riportato e commentato nel listato seguente ) i commenti sono in grassetto):

**Rem** *Programma in V.B. 6 per il comando delle linee:*

**Rem** Il programma è formato da 5 routine che gestiscono un Form con 6 oggetti quali:

**Rem** numero 5 Option Button ( per i comandi di guadagno) ed 1 Label per la

**Rem** visualizzazione del valore di guadagno impostato

**Rem** Dichiarazioni per l'impiego della win95IO.DLL

Private Declare Function vbInp Lib "win95IO.DLL" (ByVal Port As Integer) As Integer

Private Declare Sub vbOut Lib "win95IO.DLL" (ByVal Port As Integer, ByVal data As Integer)

**Rem 1 routine di comando linee per  $G = 20$  dB**

Private Sub Option1\_Click() ' inizio prima routine con definizione oggetto

$n = 0$  ' imposta il valore di "n" per  $G = 20$  dB

vbOut (890), 1 ' esce con 1 dalla porta 890 per valicare l'uscita su 888

For tt = 1 To 5: Next tt ' piccolo anello d'attesa prima dell'uscita dati

vbOut (888), n ' comando uscita di "n" da 888

Label1.Caption = " 20 dB" ' scrittura dato guadagno in Label1

```

End Sub                                     'fine della prima routine
Rem 2 routine di comando linee per G = 26 dB
Private Sub Option2_Click()                 ' inizio seconda routine con definizione oggetto
n = 1                                       ' imposta il valore di "n" per G = 26 dB
vbOut (890), 1                             ' esce con 1 dalla porta 890 per valicare l'uscita su 888
For tt = 1 To 5: Next tt                   ' piccolo anello d'attesa prima dell'uscita dati
vbOut 888, n                               ' comando uscita di "n" da 888
Label1.Caption = " 26 dB"                  ' scrittura dato guadagno in Label1
End Sub                                     ' fine della seconda routine

```

```

Rem 3 routine di comando linee per G = 32 dB
Private Sub Option3_Click()                 ' inizio terza routine con definizione oggetto
n = 3                                       ' imposta il valore di "n" per G = 32 dB
vbOut (890), 1                             ' esce con 1 dalla porta 890 per valicare l'uscita su 888
For tt = 1 To 5: Next tt                   ' piccolo anello d'attesa prima dell'uscita dati
vbOut 888, n                               ' comando uscita di "n" da 888
Label1.Caption = " 32 dB",                 ' scrittura dato guadagno in Label1
End Sub                                     ' fine della terza routine

```

```

Rem 4 routine di comando linee per G = 38 dB
Private Sub Option4_Click()                 ' inizio quarta routine con definizione oggetto
n = 7                                       ' imposta il valore di "n" per G = 38 dB
vbOut (890), 1                             ' esce con 1 dalla porta 890 per valicare l'uscita su 888
For tt = 1 To 5: Next tt                   ' piccolo anello d'attesa prima dell'uscita dati
vbOut 888, n                               ' comando uscita di "n" da 888
Label1.Caption = " 38 dB"                  ' scrittura dato guadagno in Label1
End Sub                                     ' fine della quarta routine

```

```

Rem 5 routine di comando linee per G = 44 dB
Private Sub Option5_Click()                 ' inizio quinta routine con definizione oggetto
n = 15                                      ' imposta il valore di "n" per G = 44 dB
vbOut (890), 1                             ' esce con 1 dalla porta 890 per valicare l'uscita su 888
For tt = 1 To 5: Next tt                   ' piccolo anello d'attesa prima dell'uscita dati
vbOut 888, n                               ' comando uscita di "n" da 888
Label1.Caption = " 44 dB"                  ' scrittura dato guadagno in Label1
End Sub                                     ' fine della prima routine

```

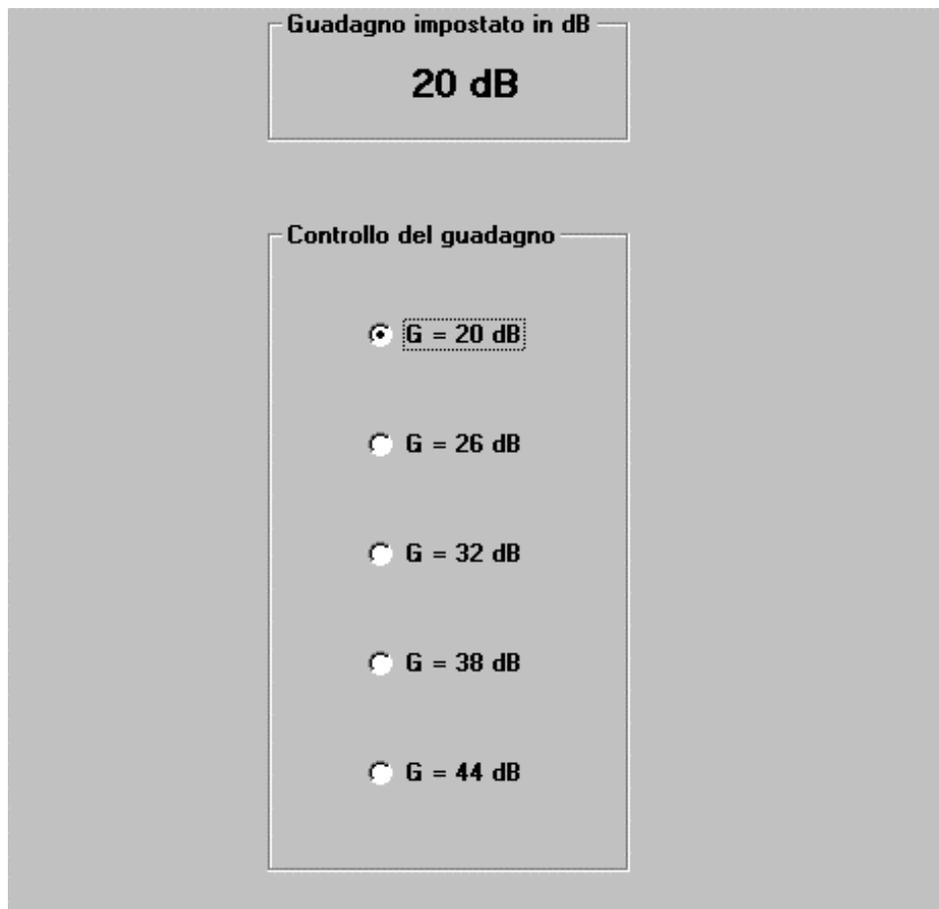
## Rem Fine del programma

Il pannello virtuale di comando, generato dal programma illustrato, è mostrato in figura a5/1; dal pannello si può variare il guadagno a passi di 6dB.

Si può impostare il guadagno cliccando sull'Option Button che seleziona il valore desiderato, per cambiare il guadagno è sufficiente cliccare su di un altro Option Button.

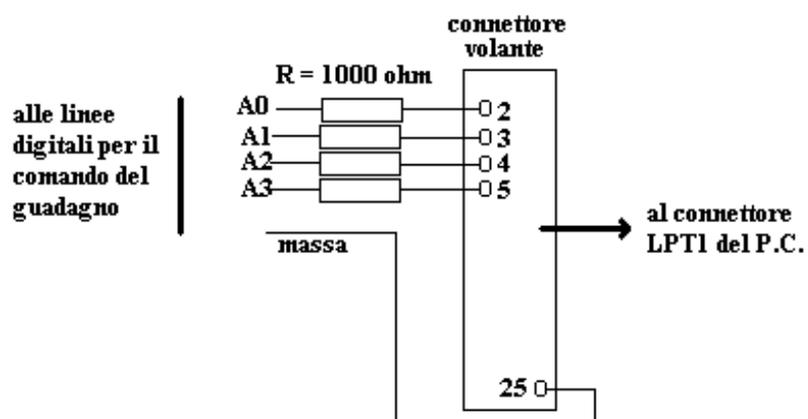
Il programma consente di passare rapidamente da un valore di guadagno all'altro senza possibilità d'errore, cosa invece che può accadere se si esegue manualmente il comando delle linee dell'amplificatore di figura 4.41 senza rispettarne la sequenza; A0; A1; A2; A3 per guadagni crescenti o A3; A2; A1; A0 per guadagni decrescenti.

figura a5/1



Per il collegamento elettrico tra il P.C. ed il circuito di figura 4.41 si suggerisce lo schema di figura a/5.2 nel quale è indicato il connettore volante, da innestare su quello della porta parallelo, sul quale sono montate quattro resistenze da 1000 ohm per proteggere la porta LPT1 da eventuali erronei collegamenti con l'esterno.

figura a/5.2



### **A6 Algoritmi di calcolo per le curve di risposta degli equalizzatori**

Per il calcolo delle curve di risposta degli equalizzatori riferite agli schemi elettrici delle figure 4.44 e 4.46 sono proposte le espressioni di calcolo da implementare in Excel.

Le curve tracciate nei paragrafi 4.18.1 e 4.18.2 sono in deciBel; richiedono pertanto che il calcolo sia eseguito su base logaritmica cioè:

$$G \text{ ( dB )} = 20 * \text{Log} ( G )$$

Per l'amplificatore equalizzatore con pendenza positiva di + 6dB/ottava di figura 4.44 si può utilizzare l'espressione:

$$G = 20 * \text{LOG10}(\text{Res} / \text{RADQ}((1 / (6,28 * (\text{A1:An}) * \text{Cnd}/(10^6)))^2 + \text{Rec}^2))$$

in cui:

A1:An sono le cellule, in Excel, nelle quali scrivere i punti di frequenza per i quali calcolare la curva.

Cnd = valore di C1 espresso in  $\mu\text{F}$

Res = valore di R3 espresso in ohm

Rec = valore di R4 espresso in ohm

Per l'amplificatore equalizzatore con pendenza negativa di - 6dB/ottava di figura 4.46 si può utilizzare l'espressione:

$$G = 20 * \text{LOG10}(\text{Res} * ((10^{12}) / (6,28 * (\text{A1:An}) * \text{Cnd})) / (\text{Rec} * \text{RADQ}(((10^{12}) / ((6,28 * (\text{A1:An}) * \text{C1}))^2 + (\text{Res}^2))))))$$

in cui:

A1:An sono le cellule, in Excel, nelle quali scrivere i punti di frequenza per i quali calcolare la curva.

Cnd = valore di C1 espresso in pF

Res = valore di R3 espresso in ohm

Rec = valore di R4 espresso in ohm

## A7 Teoria sul generatore di funzioni

Viene trattata in questa appendice la teoria sulla quale si basa il funzionamento del generatore di funzioni descritto nel paragrafo 4.18.

Per semplificare l'esposizione delle formule ci limiteremo a prendere in considerazione un generatore di funzioni con soli 4 gruppi di componenti (solo 3 punti di calcolo), lasciando al lettore l'estrapolazione degli sviluppi ad un numero qualsivoglia di componenti.

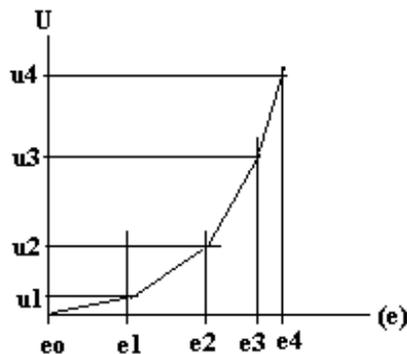
La teoria sul generatore di funzioni s'impone sulla base dei seguenti elementi:

Riferimento allo schema elettrico del circuito di figura 4.48.

Diodi ideali privi di tensione di soglia.

Resistenza di controreazione di  $\mu A1$  indicata con la lettera R.

Riferimento alla figura 4.49 che riportiamo:



La figura mostra in ascisse la tensione variabile d'ingresso (e) ed i punti d'intervento dei vari gruppi resistivi, in presenza di diodi ideali ciascun punto d'intervento inizierà a manifestarsi, facendo scorrere corrente in  $\mu A1$ , quando saranno verificate le condizioni:

Primo gruppo (interviene nel campo  $e_0-e_1$ ):  $e_0/R_0$  per  $e_0 > 0$   
Componenti del gruppo =  $R_0$

Secondo gruppo (interviene nel campo  $e_1-e_2$ ):  $e_1/r_{a1} = E/r_{b1}$   
Componenti del gruppo =  $r_{a1}; r_{b1}$

Terzo gruppo (interviene nel campo  $e_2-e_3$ ):  $e_2/r_{a2} = E/r_{b2}$   
Componenti del gruppo =  $r_{a2}; r_{b2}$

Quarto gruppo (interviene nel campo  $e_3-e_4$ ):  $e_3/r_{a3} = E/r_{b3}$   
Componenti del gruppo =  $r_{a3}; r_{b3}$

Quinto gruppo (interviene nel campo  $e_4-e_5$ ):  $e_4/r_{a4} = E/r_{b4}$   
Componenti del gruppo =  $r_{a4}; r_{b4}$

Prima di iniziare l'esame dei singoli gruppi specifichiamo alcuni tipi di scritte che impiegheremo nel testo:

$I_0$  = indica una generica corrente che il primo gruppo fa scorrere all'ingresso di  $\mu A1$

$I_0(1)$  = indica la corrente all'ingresso di  $\mu A1$  ottenuta dalla tensione ( $e_1$ )

$I_0(n)$  = indica la corrente all'ingresso di  $\mu A1$  ottenuta dalla tensione ( $e_n$ )

$I_1$  = indica una generica corrente che il secondo gruppo fa scorrere all'ingresso di  $\mu A1$

I1(1) = indica la corrente all'ingresso di  $\mu A1$  ottenuta dalla tensione (e1)

I1(n) = indica la corrente all'ingresso di  $\mu A1$  ottenuta dalla tensione (en)

I2 = indica una generica corrente che il terzo gruppo fa scorrere all'ingresso di  $\mu A1$

I2(2) = indica la corrente all'ingresso di  $\mu A1$  ottenuta dalla tensione (e2)

I2(n) = indica la corrente all'ingresso di  $\mu A1$  ottenuta dalla tensione (en)

I3 = indica una generica corrente che il quarto gruppo fa scorrere all'ingresso di  $\mu A1$

I3(3) = indica la corrente all'ingresso di  $\mu A1$  ottenuta dalla tensione (e3)

I3(n) = indica la corrente all'ingresso di  $\mu A1$  ottenuta dalla tensione (en)

I4 = indica una generica corrente che il quarto gruppo fa scorrere all'ingresso di  $\mu A1$

I4(4) = indica la corrente all'ingresso di  $\mu A1$  ottenuta dalla tensione (e4)

I3(n) = indica la corrente all'ingresso di  $\mu A1$  ottenuta dalla tensione (en)

### **Esame del primo gruppo:**

=====

La corrente  $I_o$  dovuta al primo gruppo, che non utilizza alcun diodo, è data da:

$$I_o = e / R_o \quad 1)$$

La corrente  $I_o(1)$  alla fine del primo intervallo dovuta al primo gruppo è data da:

$$I_o(1) = e_1 / R_o$$

e la tensione ( $u_1$ ), in uscita da  $\mu A2$  alla fine del primo intervallo sarà:

$$u_1 = e_1 * (R / R_o)$$

per cui il valore del componente del primo gruppo risulta:

$$R_o = (e_1 / u_1) * R$$

### **Esame del secondo gruppo:**

=====

La corrente  $I_1$  dovuta al secondo gruppo è data da:

$$I_1 = (e / r_{a1}) - (|E| / r_{b1}) \quad 2)$$

La corrente  $I_1(1)$  alla fine del primo intervallo dovuta al secondo gruppo è data da:

$$I_1(1) = (e_1 / r_{a1}) - (|E| / r_{b1}) \quad 3)$$

la corrente totale  $I_{t2}$ , alla fine del secondo intervallo, sarà data dal rapporto tra la tensione  $u_2$  e la resistenza di controreazione  $R$  :

$$I_{t2} = u_2 / R \quad 4)$$

da corrente totale  $I_{t2}$  è inoltre esprimibile dalla somma di  $I_o(2)$  ed  $I_1(2)$  alla fine del secondo intervallo:

$$I_{t2} = I_1(2) + I_o(2)$$

dalla quale si ha:

$$I_1(2) = I_{t2} - I_o(2) \quad 5)$$

Sostituendo nella 5) la 1) e la 4) si ha:

$$I_1(2) = (u_2 / R) - (e_2 / R_o) \quad 6)$$

Combinando la 3) la con la 2) computata per  $e_2$  otteniamo

$$(e_2 / r_{a1}) - (|E| / r_{b1}) = (u_2 / R) - (e_2 / R_o) \quad 7)$$

ora essendo valida, nel punto d'intervento del secondo gruppo, l'espressione

$$e_1 / r_{a1} = E / r_{b1} \quad 8)$$

possiamo combinare ora la 7) e la 8) per ottenere un sistema di due equazioni da risolvere in  $r_{a1}$  ed  $r_{b1}$ :

$$\begin{cases} (e_2 / r_{a1}) - (|E| / r_{b1}) = (u_2 / R) - (e_2 / R_o) \\ e_1 / r_{a1} = E / r_{b1} \end{cases}$$

risolto il sistema in  $r_{a1}$  e  $r_{b1}$  si ottengono i valori dei componenti del secondo gruppo:

$$r_{a1} = (e_2 - e_1) / [(u_2 / R) - (e_2 / R_o)]$$

$$r_{b1} = |E| * r_{a1} / e_1$$

### Esame del terzo gruppo:

La corrente  $I_2$  dovuta al terzo gruppo è data da:

$$I_2 = (e / r_{a2}) - (|E| / r_{b2}) \quad 9)$$

La corrente  $I_2(2)$  alla fine del secondo intervallo dovuta al secondo gruppo è data da:

$$I_2(2) = (e_2 / r_{a1}) - (|E| / r_{b1}) \quad 10)$$

la corrente totale  $I_{t3}$ , alla fine del terzo intervallo, sarà data dal rapporto tra la tensione  $u_3$  e la resistenza di controreazione  $R$  :

$$I_{t3} = u_3 / R \quad 11)$$

da corrente totale  $I_{t3}$  è inoltre esprimibile dalla somma di  $I_o(3)$ ;  $I_1(3)$  ed  $I_2(3)$  e alla fine del terzo intervallo:

$$I_{t3} = I_2(3) + I_1(3) + I_o(3)$$

dalla quale si ha:

$$I_2(3) = I_{t3} - I_1(3) - I_o(3) \quad 12)$$

Sostituendo nella 12) la 1) , la 11) e la 2) si ha:

$$I_2(3) = (u_3 / R) - [(e_3 / ra_1) - (|E| / rb_1)] - (e_3 / Ro) \quad 13)$$

Combinando 10) la con la 9) computata per  $e_3$  otteniamo

$$(e_3 / ra_2) - (|E| / rb_2) = (u_3 / R) - [(e_3 / ra_1) - (|E| / rb_1)] - (e_3 / Ro) \quad 14)$$

ora essendo valida, nel punto d'intervento del secondo gruppo, l'espressione

$$e_2/ra_2 = E/rb_2 \quad 15)$$

possiamo combinare ora la 14) e la 15) per ottenere un sistema di due equazioni da risolvere in  $ra_2$  ed  $rb_2$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} (e_3 / ra_2) - (|E| / rb_2) = (u_3 / R) - [(e_3 / ra_1) - (|E| / rb_1)] - (e_3 / Ro) \\ e_2/ra_2 = E/rb_2 \end{array} \right.$$

risolto il sistema in  $ra_2$  e  $rb_2$  si ottengono i valori dei componenti del terzo gruppo:

$$ra_2 = (e_3 - e_2) / \{ (u_3/R) - [(e_3 / ra_1) - (|E| / rb_1)] - (e_3/Ro) \}$$

$$rb_2 = | E | * ra_2 / e_2$$

### **Esame del quarto gruppo:**

La corrente  $I_3$  dovuta al quarto gruppo è data da:

$$I_3 = (e / ra_3) - (|E| / rb_3) \quad 16)$$

La corrente  $I_3(3)$  alla fine del terzo intervallo dovuta al terzo gruppo è data da:

$$I_3(3) = (e_3 / ra_3) - (|E| / rb_3) \quad 17)$$

la corrente totale  $I_{t4}$ , alla fine del quarto intervallo, sarà data dal rapporto tra la tensione  $u_4$  e la resistenza di controreazione  $R$  :

$$I_{t4} = u_4 / R \quad (18)$$

da corrente totale  $I_{t4}$  è inoltre esprimibile dalla somma di  $I_o(4)$ ;  $I_1(4)$ ;  $I_2(4)$  ed  $I_3(4)$  e alla fine del terzo intervallo:

$$I_{t4} = I_3(4) + I_2(4) + I_1(4) + I_o(4)$$

dalla quale si ha:

$$I_3(4) = I_{t4} - I_2(4) - I_1(4) - I_o(4) \quad (19)$$

Sostituendo nella 19) la 1) , la 11) e la 2) si ha:

$$I_3(4) = (u_4 / R) - [(e_4 / r_{a1}) - (|E| / r_{b1})] - [(e_4 / r_{a2}) - (|E| / r_{b2})] - (e_4 / R_o) \quad (20)$$

Combinando 20) la con la 16) computata per  $e_4$  otteniamo

$$(e_4 / r_{a3}) - (|E| / r_{b3}) = (u_4 / R) - [(e_4 / r_{a1}) - (|E| / r_{b1})] - [(e_4 / r_{a2}) - (|E| / r_{b2})] - (e_4 / R_o) \quad (21)$$

ora essendo valida, nel punto d'intervento del terzo gruppo, l'espressione

$$e_3 / r_{a3} = E / r_{b3} \quad (22)$$

possiamo combinare ora la 21) e la 22) per ottenere un sistema di due equazioni da risolvere in  $r_{a3}$  ed  $r_{b3}$ :

$$\begin{cases} (e_4 / r_{a3}) - (|E| / r_{b3}) = (u_4 / R) - [(e_4 / r_{a1}) - (|E| / r_{b1})] - [(e_4 / r_{a2}) - (|E| / r_{b2})] - (e_4 / R_o) \\ e_4 / r_{a3} = E / r_{b3} \end{cases}$$

risolto il sistema in  $r_{a3}$  e  $r_{b3}$  si ottengono i valori dei componenti del quarto gruppo:

$$r_{a3} = (e_4 - e_3) / \{ (u_4 / R) - [(e_4 / r_{a1}) - (|E| / r_{b1})] - [(e_4 / r_{a2}) - (|E| / r_{b2})] - (e_4 / R_o) \}$$

$$r_{b3} = |E| * r_{a3} / e_3$$

### **Esame altri gruppi:**

Per l'esame di gruppi successivi al quarto la procedura d'impostazione teorica è analoga ai casi precedenti; alla corrente  $I_n(n+1)$  di ogni nuovo gruppo si devono sommare le correnti di tutti i gruppi precedenti calcolate per il valore di  $(e_n)$ .

Per utilizzare la teoria sopra trattata, una volta compreso il filo logico del procedimento di calcolo, conviene servirsi del programma illustrato in appendice A8 che agevola la computazione per ben 10 gruppi di componenti che altrimenti, con carta e matita, sarebbero difficili da calcolare.

A completamento di questo studio è interessante mostrare come s'impostano le leggi relative alla risposta del generatore di funzioni al variare della tensione applicata ( $e$ ); per fare ciò è utile suddividere la risposta del generatore in tanti campi quanti sono gli intervalli nei quali è stato scomposto lo spazio di variabilità di ( $e$ ), prendiamo pertanto in esame quelli che sono stati utilizzati per le dimostrazioni del calcolo dei quattro gruppi:

### **Esame della risposta nel primo campo:**

---

La relazione matematica esistente tra la variabile indipendente ( $e$ ) e la variabile ( $u$ ), in uscita dal generatore di funzioni, si ottiene esaminando la legge di variazione della corrente all'ingresso di  $\mu A1$  nell'ambito del primo campo, questa è stata mostrata nella 1) ed è:

$$I_o = e / R_o$$

Al variare di  $I_o$  a seguito della variazione di ( $e$ ) si produce, all'uscita del generatore di funzioni, una tensione ( $u$ ) pari al prodotto di  $I_o$  per il valore di  $R$  cioè:

$$u = R * (e/R_o)$$

questa funzione, valida soltanto nell'intervallo  $e = 0$  ed  $e = e_1$ , rappresenta la risposta del generatore in tale campo.

### **Esame della risposta nel secondo campo:**

---

La risposta del generatore nel secondo campo è data dal prodotto della somma  $I_t$  delle correnti dovute ai due gruppi per il valore di  $R$ ; essendo

$$I_t = I_1 + I_o$$

possiamo scrivere dalla 1) e dalla 2)

$$I_t = (e / r_{a1}) - (|E| / r_{b1}) + (e / R_o)$$

E quindi l'espressione di ( $u$ )

$$u = R * [(e / r_{a1}) - (|E| / r_{b1}) + (e / R_o)]$$

questa funzione, valida soltanto nell'intervallo  $e = e_1$  ed  $e = e_2$ , rappresenta la risposta del generatore in tale campo.

### **Esame della risposta nel terzo campo:**

---

La risposta del generatore nel terzo campo è data dal prodotto della somma  $I_t$  delle correnti dovute ai tre gruppi per il valore di  $R$ ; essendo

$$I_t = I_2 + I_1 + I_o$$

possiamo scrivere dalla 1) e dalla 2) e dalla 9)

$$I_t = (e / r_{a2}) - (|E| / r_{b2}) + (e / r_{a1}) - (|E| / r_{b1}) + (e / R_o)$$

E quindi l'espressione di (u)

$$u = R * [(e / ra2) - (|E| / rb2) + (e / ra1) - (|E| / rb1) + (e / Ro) ]$$

questa funzione, valida soltanto nell'intervallo  $e = e2$  ed  $e = e3$ , rappresenta la risposta del generatore in tale campo.

**Esame della risposta nel quarto campo:**

La risposta del generatore nel quarto campo è data dal prodotto della somma  $I_t$  delle correnti dovute ai quattro gruppi per il valore di R; essendo

$$I_t = I_3 + I_2 + I_1 + I_0$$

possiamo scrivere dalla 1) , dalla 2) , dalla 9) e dalla 16)

$$I_t = (e / ra3) - (|E| / rb3) + (e / ra2) - (|E| / rb2) + (e / ra1) - (|E| / rb1) + (e / Ro)$$

E quindi l'espressione di (u)

$$u = R * [(e / ra3) - (|E| / rb3) + (e / ra2) - (|E| / rb2) + (e / ra1) - (|E| / rb1) + (e / Ro) ]$$

questa funzione, valida soltanto nell'intervallo  $e = e3$  ed  $e = e4$ , rappresenta la risposta del generatore in tale campo.

**Esame della risposta negli altri campi:**

Per l'esame della risposta dei campi successivi al quarto la procedura d'impostazione teorica è analoga ai casi precedenti; il valore di  $I_t$  si ottiene sempre sommando le correnti dovute ai gruppi che insistono nel campo.

### **A8 Calcolo dei componenti del generatore di funzioni con il P.C.**

In questa appendice è illustrato un programma in Visual Basic 6 in grado di calcolare i componenti necessari per la realizzazione di funzioni (si veda quanto illustrato nel paragrafo 4.18). Il programma è limitato al calcolo di soli 10 gruppi di componenti resistivi; l'estensione ad un calcolo con un numero superiore di gruppi è possibile interpretando correttamente quali differenze esistono nella progressione delle routine di computazione.

Il programma è in grado di tracciare la curva di risposta del generatore di funzioni, una volta inserite nella routine di calcolo le 10 coppie di valori (e) ed (u) che caratterizzano la funzione voluta.

I valori delle coppie (e) ed (u) devono essere introdotti nella routine di calcolo laddove sono indicate con:

e1,u1  
e2,u2  
e3,u3  
e4,u4  
e5,u5  
e6,u6  
e7,u7  
e8,u8  
e9,u9  
e10,u10

Il programma in oggetto, brevemente commentato, è riportato di seguito:

I valori calcolati di Ro; ra1; rb1: ... ra9; rb9 vengono presentati nel Form in alto a destra. Tutti gli algoritmi utilizzati nel programma sono derivati dall'appendice A7.

#### **'PROGRAMMA DI CALCOLO IN VB6**

```
Private Sub form_paint() ' Traccia il diagramma cartesiano
```

```
For x = 100 To 9300 Step 460
```

```
For y = 100 To 6500 Step 40
```

```
PSet (x, y), vbBlack
```

```
Next y
```

```
Next x
```

```
For y = 100 To 6500 Step 320
```

```
For x = 100 To 9300 Step 60
```

```
PSet (x, y), vbBlack
```

```
Next x
```

```
Next y
```

```
Line (100, 100)-(100, 6500), vbBlack 'asse y1
```

#### **'Impostazione dati di progetto**

```
E = -16
```

```
R = 10000
```

```
'=====
```

#### **'Calcolo Ro e tracciamento curva primo intervallo**

```
e1 =
```

```
u1 =
```

```
Ro = e1 * R / u1
```

```
For v = 0 To e1 Step 0.1
```

```
vu = v * R / Ro
```

```
PSet (100 + (9200 / 20) * v, 6500 - (3200 / 10) * vu), vbRed
```

Next v

'=====

**‘Calcolo ra1;rb1 e tracciamento curva secondo intervallo**

e2 =

u2 =

For v = e1 To e2 Step 0.01

i1 = (u2 / R) - (e2 / Ro)

ra1 = (e2 - e1) / i1

rb1 = ra1 \* Abs(E) / e1

vu = R \* ((v / ra1) + (E / rb1) + (v / Ro))

PSet (100 + (9200 / 20) \* v, 6500 - (3200 / 10) \* vu), vbRed

Next v

'=====

**‘Calcolo ra2;rb2 e tracciamento curva terzo intervallo**

e3 =

u3 =

For v = e2 To e3 Step 0.01

i2 = (u3 / R) - (e3 / Ro) - ((e3 / ra1) + (E / rb1))

ra2 = (e3 - e2) / i2

rb2 = ra2 \* Abs(E) / e2

vu = R \* ((v / ra1) + (E / rb1) + (v / ra2) + (E / rb2) + (v / Ro))

PSet (100 + (9200 / 20) \* v, 6500 - (3200 / 10) \* vu), vbRed

Next v

'=====

**‘Calcolo ra3;rb3 e tracciamento curva quarto intervallo**

e4 =

u4 =

For v = e3 To e4 Step 0.01

i3 = (u4 / R) - (e4 / Ro) - ((e4 / ra1) + (E / rb1)) - ((e4 / ra2) + (E / rb2))

ra3 = (e4 - e3) / i3

rb3 = ra3 \* Abs(E) / e3

vu = R \* ((v / ra1) + (E / rb1) + (v / ra2) + (E / rb2) + (v / ra3) + (E / rb3) + (v / Ro))

PSet (100 + (9200 / 20) \* v, 6500 - (3200 / 10) \* vu), vbRed

Next v

'=====

**‘Calcolo ra4;rb4 e tracciamento curva quinto intervallo**

e5 =

u5 =

For v = e4 To e5 Step 0.01

i4 = (u5 / R) - (e5 / Ro) - ((e5 / ra1) + (E / rb1)) - ((e5 / ra2) + (E / rb2)) - ((e5 / ra3) + (E / rb3))

ra4 = (e5 - e4) / i4

rb4 = ra4 \* Abs(E) / e4

vu = R \* ((v / ra1) + (E / rb1) + (v / ra2) + (E / rb2) + (v / ra3) + (E / rb3) + (v / ra4) + (E / rb4) + (v /

/ Ro))

PSet (100 + (9200 / 20) \* v, 6500 - (3200 / 10) \* vu), vbRed

Next v

'=====

**'Calcolo ra5;rb5 e tracciamento curva sesto intervallo**

e6 =

u6 =

For v = e5 To e6 Step 0.01

i5 = (u6 / R) - (e6 / Ro) - ((e6 / ra1) + (E / rb1)) - ((e6 / ra2) + (E / rb2)) - ((e6 / ra3) + (E / rb3)) -  
- ((e6 / ra4) + (E / rb4))

ra5 = (e6 - e5) / i5

rb5 = ra5 \* Abs(E) / e5

vu = R \* ((v / ra1) + (E / rb1) + (v / ra2) + (E / rb2) + (v / ra3) + (E / rb3) + (v / ra4) + (E / rb4) + (v /  
/ ra5) + (E / rb5) + (v / Ro))

PSet (100 + (9200 / 20) \* v, 6500 - (3200 / 10) \* vu), vbRed

Next v

'=====

**'Calcolo ra6;rb6 e tracciamento curva settimo intervallo**

e7 =

u7 =

For v = e6 To e7 Step 0.01

i6 = (u7 / R) - (e7 / Ro) - ((e7 / ra1) + (E / rb1)) - ((e7 / ra2) + (E / rb2)) - ((e7 / ra3) + (E / rb3)) -  
- ((e7 / ra4) + (E / rb4)) - ((e7 / ra5) + (E / rb5))

ra6 = (e7 - e6) / i6

rb6 = ra6 \* Abs(E) / e6

vu = R \* ((v / ra1) + (E / rb1) + (v / ra2) + (E / rb2) + (v / ra3) + (E / rb3) + (v / ra4) + (E / rb4) + (v /  
/ ra5) + (E / rb5) + (v / ra6) + (E / rb6) + (v / Ro))

PSet (100 + (9200 / 20) \* v, 6500 - (3200 / 10) \* vu), vbRed

Next v

'=====

**'Calcolo ra7;rb7 e tracciamento curva ottavo intervallo**

e8 =

u8 =

For v = e7 To e8 Step 0.01

i7 = (u8 / R) - (e8 / Ro) - ((e8 / ra1) + (E / rb1)) - ((e8 / ra2) + (E / rb2)) - ((e8 / ra3) + (E / rb3)) -  
- ((e8 / ra4) + (E / rb4)) - ((e8 / ra5) + (E / rb5)) - ((e8 / ra6) + (E / rb6))

ra7 = (e8 - e7) / i7

rb7 = ra7 \* Abs(E) / e7

vu = R \* ((v / ra1) + (E / rb1) + (v / ra2) + (E / rb2) + (v / ra3) + (E / rb3) + (v / ra4) + (E / rb4) + (v /  
/ ra5) + (E / rb5) + (v / ra6) + (E / rb6) + (v / ra7) + (E / rb7) + (v / Ro))

PSet (100 + (9200 / 20) \* v, 6500 - (3200 / 10) \* vu), vbRed

Next v

'=====

**'Calcolo ra8;rb8 e tracciamento curva nono intervallo**

e9 =

u9 =

For v = e8 To e9 Step 0.01

i8 = (u9 / R) - (e9 / Ro) - ((e9 / ra1) + (E / rb1)) - ((e9 / ra2) + (E / rb2)) - ((e9 / ra3) + (E / rb3)) -  
- ((e9 / ra4) + (E / rb4)) - ((e9 / ra5) + (E / rb5)) - ((e9 / ra6) + (E / rb6)) - ((e9 / ra7) + (E / rb7))

ra8 = (e9 - e8) / i8

```

rb8 = ra8 * Abs(E) / e8
vu = R * ((v / ra1) + (E / rb1) + (v / ra2) + (E / rb2) + (v / ra3) + (E / rb3) + (v / ra4) + (E / rb4) + (v /
/ ra5) + (E / rb5) + (v / ra6) + (E / rb6) + (v / ra7) + (E / rb7) + (v / ra8) + (E / rb8) + (v / Ro))
PSet (100 + (9200 / 20) * v, 6500 - (3200 / 10) * vu), vbRed
Next v

```

**‘Calcolo ra9;rb9 e tracciamento curva decimo intervallo**

```

e10 =
u10 =
For v = e9 To e10 Step 0.01
i9 = (u10 / R) - (e10 / Ro) - ((e10 / ra1) + (E / rb1)) - ((e10 / ra2) + (E / rb2)) - ((e10 / ra3) + (E /
/rb3)) - ((e10 / ra4) + (E / rb4)) - ((e10 / ra5) + (E / rb5)) - ((e10 / ra6) + (E / rb6)) - ((e10 / ra7) +
+ (E / rb7)) - ((e10 / ra8) + (E / rb8))
ra9 = (e9 - e8) / i9
rb9 = ra9 * Abs(E) / e9
vu = R * ((v / ra1) + (E / rb1) + (v / ra2) + (E / rb2) + (v / ra3) + (E / rb3) + (v / ra4) + (E / rb4) + (v
/ ra5) + (E / rb5) + (v / ra6) + (E / rb6) + (v / ra7) + (E / rb7) + (v / ra8) + (E / rb8) + (v / ra9) + (E /
/rb9) + (v / Ro))
PSet (100 + (9200 / 20) * v, 6500 - (3200 / 10) * vu), vbRed
Next v

```

**‘Presentazione dati calcolati**

```

Print Tab(130); "Ro ="; Ro;
Print Tab(130); "ra1 ="; Int(ra1); " rb1 ="; Int(rb1);
Print Tab(130); "ra2 ="; Int(ra2); " rb2 ="; Int(rb2);
Print Tab(130); "ra3 ="; Int(ra3); " rb3 ="; Int(rb3);
Print Tab(130); "ra4 ="; Int(ra4); " rb4 ="; Int(rb4);
Print Tab(130); "ra5 ="; Int(ra5); " rb5 ="; Int(rb5);
Print Tab(130); "ra6 ="; Int(ra6); " rb6 ="; Int(rb6);
Print Tab(130); "ra7 ="; Int(ra7); " rb7 ="; Int(rb7);
Print Tab(130); "ra8 ="; Int(ra8); " rb8 ="; Int(rb8);
Print Tab(130); "ra9 ="; Int(ra9); " rb9 ="; Int(rb9);
End Sub

```

### **A9 Calcolo di un filtro passa banda e curva di risposta con il P.C.**

La seguente routine, compilata in Visual Basic 6, consente il calcolo ed il tracciamento della curva di risposta di un filtro passa banda ad una cellula.

La routine di calcolo del filtro passa banda è impostata su di un procedimento di computazione basato sui numeri complessi secondo l'elettrotecnica classica.

I dati da immettere sono:

F1 = frequenza inferiore di taglio in Hz

F2 = frequenza superiore di taglio in Hz

Fmin = frequenza inferiore voluta nel diagramma di presentazione della curva di risposta del filtro in Hz

Fmax = frequenza superiore voluta nel diagramma di presentazione della curva di risposta del filtro in Hz

Rterm.ohm = Valore della resistenza di terminazione in ohm

I dati calcolati e presentati di L1 ed L2 = L3 sono espressi in Henry.

I dati calcolati e presentati di C1 e C2 = C3 sono espressi in pF.

Il diagramma è tracciato in coordinate cartesiane lineari; in ascisse, la frequenza nell'intervallo prescelto ( Fmin – Fmax) divisa in 20 parti, ciascuna del valore rapportato all'intervallo impostato, in ordinate, l'attenuazione prodotta dal filtro indicata in 20 intervalli da 2 dB ciascuno per un totale di -40 dB.

L'impiego della routine è semplice, un esempio chiarirà come usarla:

#### ***Dati di base:***

Sia da progettare un filtro di banda pilotato di tensione avente le seguenti caratteristiche funzionali:

f1 = 1000 Hz

f2 = 5000 Hz

R1 = R2 = 850 ohm

Si voglia il tracciamento della curva di risposta compreso tra Fmin = 100 Hz e Fmax = 8000 Hz

#### ***Procedimento d'immissione dati:***

Si deve avviare il programma di calcolo premendo "avvia", quindi s'inizia con l'immissione dati nell'ordine:

Nel Text Box = F1 si inserisce il valore 1000

Nel Text Box = F2 si inserisce il valore 5000

Nel Text Box = Fmin si inserisce il valore 100

Nel Text Box = Fmax si inserisce il valore 8000

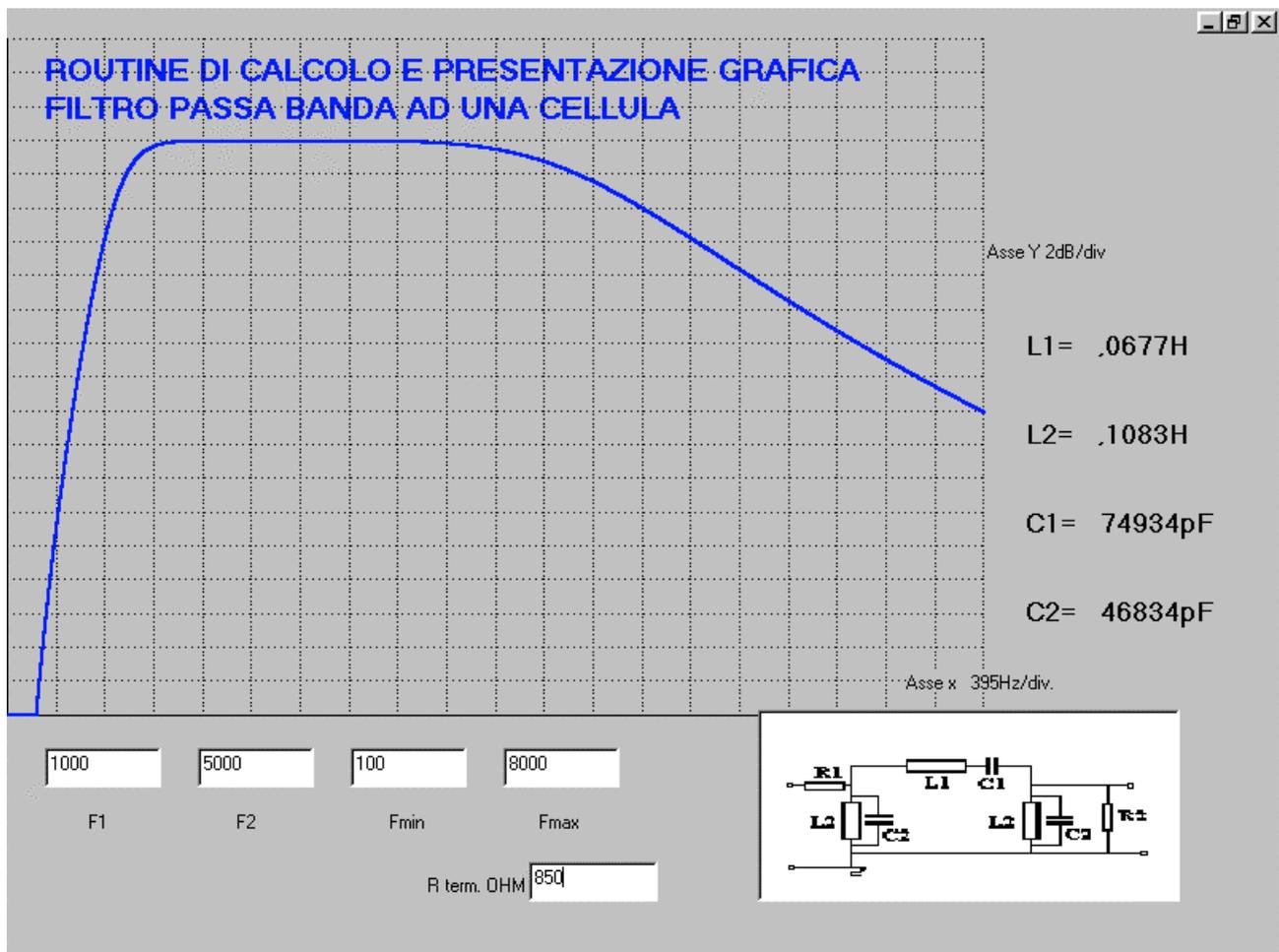
Nel Text Box = Rterm ohm si inserisce il valore 850

#### ***Esecuzione del calcolo presentazione dati e curva di risposta:***

Si clicca nel Form; compariranno immediatamente sulla parte destra dello schermo i dati calcolati di L1; L2 = L3; C1; C2 = C3 e si vedrà formarsi il tracciato della curva di risposta fino al raggiungimento dell'ultimo valore di frequenza impostato in Fmax.

Il risultato complessivo della schermata del P.C. è riportato in figura a9/1:

figura a9/1



### Descrizione della routine di calcolo da implementare nel P.C:

Il programma impiega un Form e 15 oggetti così utilizzati:

Label1 "indicatore del valore calcolato di L1"

Label2 "indicatore del valore calcolato di L2"

Label3 "indicatore del valore calcolato di C1"

Label4 "indicatore del valore calcolato di C2"

Label5 "indicatore del valore divisioni asse delle frequenze"

Label6 "titolo della routine"

Label7 " indicatore del valore asse y- dB/div. -"

Label8 = indicatore delle funzioni per immissione dati"

Label9 = indicatore delle funzioni per immissione dati"

Text Box1 = "immissione frequenza di taglio inferiore F1"

Text Box2 = "immissione frequenza di taglio superiore F1"

Text Box3 = "immissione frequenza minima del grafico di presentazione Fmin."

Text Box4 = "immissione frequenza massima del grafico di presentazione Fmax,"

Text Box5 = "immissione del valore delle resistenze di terminazione Rterm. ohm"

Picture1 = " presentazione schema del passa banda"

Il programma è qui di seguito riportato e brevemente commentato mediante scritte in grassetto:

**Rem Istruzioni per inserimento solo numeri nei Text Box**

```
Private Sub text1_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If InStr("-+.0123456789", Chr(KeyAscii)) = 0 Then KeyAscii = 0
End Sub
Private Sub text2_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If InStr("-+.0123456789", Chr(KeyAscii)) = 0 Then KeyAscii = 0
End Sub
Private Sub text3_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If InStr("-+.0123456789", Chr(KeyAscii)) = 0 Then KeyAscii = 0
End Sub
Private Sub text4_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If InStr("-+.0123456789", Chr(KeyAscii)) = 0 Then KeyAscii = 0
End Sub
Private Sub text5_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If InStr("-+.0123456789", Chr(KeyAscii)) = 0 Then KeyAscii = 0
End Sub
```

**Rem Inizio routine di calcolo a seguito click sul Form**

```
Private Sub Form_click()
```

**' SEZIONE 1 - impostazione modalità di schermo e richiesta dati**

```
F1 = Val(Text1.Text)
F2 = Val(Text2.Text)
Fm = Val(Text3.Text)
Fi = Val(Text4.Text)
R = Val(Text5.Text)
```

**' SEZIONE 2 - calcolo dei componenti del filtro**

```
L1 = R / (3.14 * (F2 - F1))
```

```
L2 = R * (F2 - F1) / (6.28 * F1 * F2)
```

```
C1 = ((F2 - F1) / (12.56 * F1 * F2 * R))
```

```
C2 = (1 / (6.28 * (F2 - F1) * R))
```

```
C1pf = 1000000000000# * ((F2 - F1) / (12.56 * F1 * F2 * R))
```

```
C2pf = 1000000000000# * (1 / (6.28 * (F2 - F1) * R))
```

```
Dim L1s As String
Dim L2s As String
Dim C1s As String
Dim C2s As String
Dim Fms As String
```

```

L11 = Format(L1, " #####.#####")
L22 = Format(L2, " #####.#####")
C11 = Format(C1pf, " #####")
C22 = Format(C2pf, " #####")
L1s = L11
L2s = L22
C1s = C11
C2s = C22
Fms = (Fm - Fi) / 20

Label1.Caption = "L1=" + L1s + "H"
Label2.Caption = "L2=" + L2s + "H"
Label3.Caption = "C1=" + C1s + "pF"
Label4.Caption = "C2=" + C2s + "pF"
Label5.Caption = "Asse x  " + Fms + "Hz/div."

```

**' SEZIONE 3 – definizione incremento di calcolo**

```
s = 1
```

**' SEZIONE 4 - formazione del sistema di assi cartesiani ad 1 quadrante**

```
For x = 0 To 4600 * 2 Step 230 * 2
```

```
For y = 0 To 3200 * 2 Step 20 * 2
```

```
PSet (x, y), 7
```

```
Next y
```

```
Next x
```

```
For y = 0 To 3200 * 2 Step 160 * 2
```

```
For x = 0 To 4600 * 2 Step 30 * 2
```

```
PSet (x, y), 7
```

```
Next x
```

```
Next y
```

```
Line (0, 3200 * 2)-(4600 * 2, 3200 * 2)
```

```
Line (0, 0)-(0, 3200 * 2)
```

**' SEZIONE 5 - inizio calcolo automatico in funzione della frequenza**

```
For F = (Fi + 1) To Fm Step s
```

**' SEZIONE 6 - definizione dei componenti del filtro come numeri complessi**

**'espressione di  $R = r_x + jr_y$**

$$r_x = R$$

$$r_y = 0$$

**'espressione di  $L1 = l1_x + jl1_y$**

$$l1_x = 0$$

$$l1_y = 6.28 * F * L1$$

**'espressione di  $L2 = l2_x + jl2_y$**

$$l2_x = 0$$

$$l2_y = 6.28 * F * L2$$

**'espressione di  $C1 = c1_x + jc1_y$**

$$c1_x = 0$$

$$c1_y = -1 / (6.28 * F * C1)$$

**'espressione di  $C2 = c2_x + jc2_y$**

$$c2_x = 0$$

$$c2_y = -1 / (6.28 * F * C2)$$

**' SEZIONE 7 - calcolo di A,B,C,D,E,F,G,H,I in termini complessi**

**'computo di  $A = L2 // C2 = a_x + ja_y$**

$$X1 = l2_x$$

$$Y1 = l2_y$$

$$X2 = c2_x$$

$$Y2 = c2_y$$

**GoSub parall 'invia alla subroutine parall per il calcolo di A**

$$a_x = X1$$

$$a_y = Y1$$

**'computo di  $B = L1 + C1 = b_x + jb_y$**

$$X1 = 11x$$

$$Y1 = 11y$$

$$X2 = c1x$$

$$Y2 = c1y$$

GoSub somma **'invia alla subroutine somma per il calcolo di B**

$$bx = X1$$

$$By = Y1$$

**'computo di C = A/R = cx+jcy**

$$X1 = ax$$

$$Y1 = ay$$

$$X2 = rx$$

$$Y2 = ry$$

GoSub parall **'invia alla subroutine parall per il calcolo di C**

$$cx = X1$$

$$cy = Y1$$

**'computo di D = B+C =dx+jdy**

$$X1 = bx$$

$$Y1 = By$$

$$X2 = cx$$

$$Y2 = cy$$

GoSub somma **'invia alla subroutine somma per il calcolo di D**

$$dx = X1$$

$$dy = Y1$$

**'computo di E = A/D = ex+jey**

$$X1 = ax$$

$$Y1 = ay$$

X2 = dx

Y2 = dy

GoSub parall **'invia alla subroutine parall per il calcolo di E**

ex = X1

ey = Y1

**'computo di F = R+E =fx+jfy**

X1 = rx

Y1 = ry

X2 = ex

Y2 = ey

GoSub somma **'invia alla subroutine somma per il calcolo di F**

fx = X1

fy = Y1

**'computo di G = 1/F =gx+jgy**

X1 = 1

Y1 = 0

X2 = fx

Y2 = fy

GoSub div **'invia alla subroutine div per il calcolo di G**

gx = xq

gy = yq

**'computo di H = G\*E =hx+jhy**

X1 = gx

Y1 = gy

X2 = ex

Y2 = ey

GoSub prod 'invia alla subroutine prod per il calcolo di H

hx = xm

hy = ym

'computo di  $I = H \cdot C = ix + jiy$

X1 = hx

Y1 = hy

X2 = cx

Y2 = cy

GoSub prod 'invia alla subroutine prod per il calcolo di I

ix = xm

iy = ym

' SEZIONE 8 calcolo della risposta del filtro

'computo di  $U = I/D = ux + juy$

X1 = ix

Y1 = iy

X2 = dx

Y2 = dy

GoSub div 'invia alla subroutine div per il calcolo di U

ux = xq

uy = yq

GoTo calcom 'invia alla routine calcom per il calcolo del modulo di U

' SEZIONE 9

'-----SUBROUTINE DI CALCOLO-----

somma:

X1 = X1 + X2

$$Y1 = Y1 + Y2$$

Return

### 'calcolo vettore prodotto

prod:

$$xm = (X1 * X2 - Y1 * Y2)$$

$$ym = (X1 * Y2 + Y1 * X2)$$

Return

### 'calcolo vettore quoziente

div:

$$xq = (X1 * X2 + Y1 * Y2) / ((X2)^2 + (Y2)^2)$$

$$yq = (X2 * Y1 - X1 * Y2) / ((X2)^2 + (Y2)^2)$$

Return

parall:

$$xp = (X1 * X2 - Y1 * Y2)$$

$$yp = (X1 * Y2 + Y1 * X2)$$

$$xs = X1 + X2$$

$$ys = Y1 + Y2$$

$$X1 = (xp * xs + yp * ys) / ((xs)^2 + (ys)^2)$$

$$Y1 = (xs * yp - xp * ys) / ((xs)^2 + (ys)^2)$$

Return

## ' SEZIONE 10 calcolo del modulo e impostazione della funzione PSET

### 'calcolo del modulo

calcom:

$$M = \text{Sqr}(ux^2 + uy^2) \quad \text{'calcolo del modulo}$$

$$D = 20 * (\text{Log}(M) / \text{Log}(10)) \quad \text{'espressione del modulo in dB}$$

$$\text{If } D < -40 \text{ Then } D = -40$$

Circle ((4600 \* 2 / (Fm - Fi)) \* (F - Fi), -3200 \* 2 / 40 \* D), 8, vbBlue

Next F     ' rimanda all'istruzione For F= .....  
          ' per il calcolo del successivo valore di M

End Sub

La posizione e la definizione delle dimensioni degli oggetti è di seguito riportata:

### Posizione e dimensione degli oggetti:

```
VERSION 6.00
Begin VB.Form Form1
    BackColor      = &H00C0C0C0&
    Caption        = " "
    ClientHeight   = 8595
    ClientLeft     = 60
    ClientTop      = 345
    ClientWidth    = 11880
    LinkTopic      = "Form1"
    ScaleHeight    = 8595
    ScaleWidth     = 11880
    StartUpPosition = 3 'Windows Default
    WindowState    = 2 'Maximized
    Begin VB.PictureBox PictureBox1
        Height      = 1815
        Left        = 7080
        Picture      = "pasbanp.frx":0000
        ScaleHeight = 1755
        ScaleWidth  = 3915
        TabIndex    = 14
        Top         = 6360
        Width       = 3975
    End
    Begin VB.TextBox Text1
        Height      = 375
        Left        = 360
        TabIndex    = 13
        Top         = 6720
        Width       = 1095
    End
    Begin VB.TextBox Text5
        Height      = 375
        Left        = 4920
        TabIndex    = 10
        Top         = 7800
        Width       = 1215
    End
    Begin VB.TextBox Text4
        Height      = 375
        Left        = 3240
        TabIndex    = 8
        Top         = 6720
        Width       = 1095
    End
    Begin VB.TextBox Text3
        Height      = 375
        Left        = 4680
        TabIndex    = 9
    End
End
```

```

        Top           = 6720
        Width         = 1095
    End
    Begin VB.TextBox Text2
        Height         = 375
        Left           = 1800
        TabIndex       = 7
        Top            = 6720
        Width          = 1095
    End
    Begin VB.Label Label9
        AutoSize        = -1 'True
        Caption         = "R term. OHM"
        Height          = 195
        Left            = 3960
        TabIndex        = 12
        Top             = 7920
        Width           = 930
    End
    Begin VB.Label Label8
        Caption         = "          F1                      F2"
    Fmin
        Height          = 255
        Left            = 360
        TabIndex        = 11
        Top             = 7320
        Width           = 5535
    End
    Begin VB.Label Label7
        Caption         = "Asse Y 2dB/div"
        Height          = 255
        Left            = 9240
        TabIndex        = 6
        Top             = 1920
        Width           = 1215
    End
    End
    Begin VB.Label Label6
        Caption         = "ROUTINE DI CALCOLO E PRESENTAZIONE GRAFICA FILTRO
PASSA BANDA"
    BeginProperty Font
        Name           = "MS Sans Serif"
        Size           = 13.5
        Charset         = 0
        Weight          = 700
        Underline       = 0 'False
        Italic          = 0 'False
        Strikethrough    = 0 'False
    EndProperty
        ForeColor       = &H00FF0000&
        Height          = 1095
        Left            = 360
        TabIndex        = 5
        Top             = 120
        Width           = 11535
    End
    Begin VB.Label Label5
        AutoSize        = -1 'True
        Height          = 195
        Left            = 7470
        TabIndex        = 4

        Top             = 6480
        Width           = 15

```

```

End
Begin VB.Label Label4
    AutoSize      = -1    'True
    BeginProperty Font
        Name       = "MS Sans Serif"
        Size       = 12
        Charset    = 0
        Weight     = 700
        Underline  = 0    'False
        Italic     = 0    'False
        Strikethrough = 0    'False
    EndProperty
    Height        = 300
    Left         = 9600
    TabIndex     = 3
    Top          = 5280
    Width        = 825
End
Begin VB.Label Label3
    AutoSize      = -1    'True
    BeginProperty Font
        Name       = "MS Sans Serif"
        Size       = 12
        Charset    = 0
        Weight     = 700
        Underline  = 0    'False
        Italic     = 0    'False
        Strikethrough = 0    'False
    EndProperty
    Height        = 300
    Left         = 9600
    TabIndex     = 2
    Top          = 4440
    Width        = 825
End
Begin VB.Label Label2
    AutoSize      = -1    'True
    BeginProperty Font
        Name       = "MS Sans Serif"
        Size       = 12
        Charset    = 0
        Weight     = 700
        Underline  = 0    'False
        Italic     = 0    'False
        Strikethrough = 0    'False
    EndProperty
    Height        = 300
    Left         = 9600
    TabIndex     = 1
    Top          = 3600
    Width        = 825
End
Begin VB.Label Label1
    AutoSize      = -1    'True
    BeginProperty Font
        Name       = "MS Sans Serif"
        Size       = 12
        Charset    = 0
        Weight     = 700
        Underline  = 0    'False
        Italic     = 0    'False
        Strikethrough = 0    'False
    EndProperty

```

```
        Height      = 300
        Left        = 9600
        TabIndex    = 0
        Top         = 2760
        Width       = 825
    End
End
Attribute VB_Name = "Form1"
Attribute VB_GlobalNameSpace = False
Attribute VB_Creatable = False
Attribute VB_PredeclaredId = True
Attribute VB_Exposed = False
```

### **A10 Formule di calcolo per i parametri delle cellule di ritardo a k costante**

In questa appendice sono riportate le funzioni matematiche ed i programmi da implementare in Excel per il calcolo ed il tracciamento delle curve illustrate nelle figure 6.3 e 6.4 del paragrafo 6.

La prima funzione, figura 6.3, riguarda il calcolo dello sfasamento  $\varphi$  di una cellula a k costante in dipendenza della frequenza applicata; la funzione espressa nella variabile indipendente (F/Fc) è riportata di seguito:

$$\varphi = 2 * 57.29 * \text{ArcTan} \{ ( F / Fc ) / \sqrt{ [ 1 - ( F / Fc )^2 ] } \}$$

La stringa di calcolo da implementare in Excel è la seguente:

$$= 2*57,29*ARCTAN((A1:A12)/(RADQ(1-(A1:A12)^2)))$$

dove con (A1:A12) si identifica la variabile (F/Fc).

Il valore di  $\varphi$  calcolato in entrambe le procedure è espresso in gradi sessagesimali con frazioni di grado decimali.

La curva, dato il tipo di variabile indipendente, è normalizzata e quindi si adatta a qualunque cellula di ritardo a k costante.

La seconda funzione, figura 6.4, riguarda il calcolo del ritardo (r) di una cellula a k costante in dipendenza della frequenza applicata; la funzione è espressa nella variabile indipendente (F) e ha il valore di Fc come parametro, così come risulta:

$$(r) = 10^6 * 114.58 * \text{ArcTan} \{ ( F / Fc ) / \sqrt{ [ 1 - ( F / Fc )^2 ] } \} / ( F * 360 )$$

La stringa di calcolo da implementare in Excel è la seguente:

$$=(10^6)*(2*57,29*ARCTAN(((A1:An)/(Fc))/(RADQ(1-((A1:An)/Fc)^2))))/((A1:An) * 360)$$

dove:

con A1:An s'individuano n valori della variabile F.

al posto di Fc il parametro ( frequenza critica )

Il valore di (r) in entrambe le procedure di calcolo è espresso in  $\mu\text{Sec}$ .

La curva deve essere adattata a ciascuna cellula in fase di studio, dato che ogni cellula ha la propria frequenza di critica Fc.

### **A11 Formule di calcolo del ritardo in funzione della frequenza per cellule ad m derivato**

Le funzioni riguardano il calcolo del ritardo (r) di una cellula ad m derivato in dipendenza della frequenza applicata; la funzione è espressa nella variabile indipendente (F) e ha il valore di Fc come parametro, così come risulta:

$$(r) = 10^6 * [2 / (F / Fc)] * \text{ArcTan} \{ (F / Fc) * 1,275 / \sqrt{[1 - (F / Fc)^2]} \} / (6,28 * Fc)$$

La stringa di calcolo da implementare in Excel è la seguente:

$$= (10^6) * (2 / ((A1: An)/Fc)) * \text{ARCTAN}(((A1:An) / Fc) * 1,275 / \text{RADQ}(1 - ((A1:An)/Fc)^2)) / (6,28 * Fc)$$

dove:

con A1:An s'individuano n valori della variabile F.

al posto di Fc il parametro ( frequenza critica )

Il valore di (r) in entrambe le procedure di calcolo è espresso in  $\mu\text{Sec}$ .

La curva deve essere adattata a ciascuna cellula in fase di studio, dato che ogni cellula ha la propria frequenza critica Fc.

## **A12 Programma di calcolo per catene di ritardo ad m derivato**

La seguente routine, compilata in Visua Basic 6, consente il calcolo dei componenti di una catena di ritardo ad m derivato.

I dati da immettere sono:

r = tempo di ritardo per cellula in microsecondi

CD = condensatore disponibile in picroFarad

F = frequenza superiore di lavoro in Hz

Sono calcolati e presentati i dati di:

Frequenza critica Fc in Hertz

Sfasamento per cellula  $\varphi$  in gradi

Resistenze di terminazione R in ohm

Induttanze con presa centrale L in Henry

Induttanze ordinarie Ls in Henry

Condensatori Ci in pF

Condensatori Ct in pF

Condensatori Cc in pF

Condensatori CD in pF

L'impiego della routine è semplice, un esempio chiarirà come usarla:

### ***Dati di base:***

Per un controllo incrociato, d'esempio, su quanto è già stato fatto nel paragrafo 6.2.3, riportiamo come dati di base gli stessi valori.

Sia da progettare una catena di ritardo ad m derivato avente le seguenti caratteristiche:

ritardo r = 12.5 microsecondi

Condensatore Cd disponibile = 10000 pF

Frequenza di lavoro = 2000 Hz

### ***Procedimento d'immissione dati:***

Si deve avviare il programma di calcolo premendo "avvia", quindi s'inizia con l'immissione dati nell'ordine:

Nel Text Box = T(microSec) si inserisce il valore 12.5

Nel Text Box = CD(pF) si inserisce il valore 10000

Nel Text Box = FL (Hz) si inserisce il valore 2000

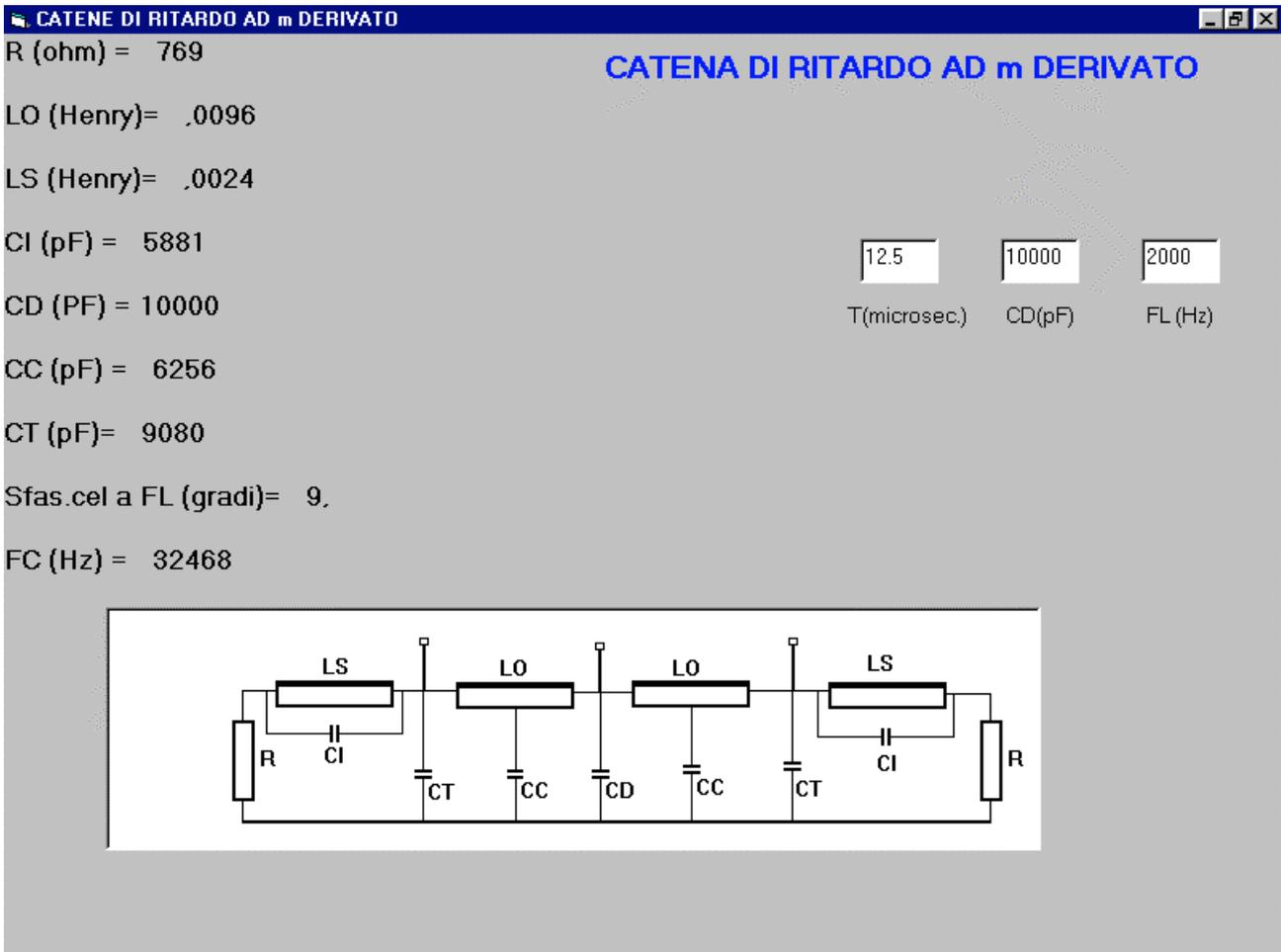
### ***Esecuzione del calcolo presentazione dati:***

Si clicca nel Form; compaiono immediatamente sulla parte sinistra dello schermo i dati calcolati, così come si vede della schermata del P.C. riportata in figura a12/1.

I dati, indicati con i simboli riportati nello schema illustrato, compaiono nello schermo del P.C. in basso a destra. Lo schema mostra una catena di ritardo a sole due cellule, i dati calcolati sono ovviamente estensibili a qualsiasi numero di cellule.

Nella schermata possiamo ritrovare, con i simboli in alcuni casi un poco diversi, gli stessi valori calcolati punto per punto nell'esercizio del paragrafo 6.2.3.

figura a12.1



**Descrizione della routine di calcolo da implementare nel P.C:**

Il programma impiega un Form e 6 oggetti così utilizzati:

Label1 "indicatore dei simboli d'immissione dati"

Label2 "indicatore del titolo"

Text Box1 = "immissione valore di ritardo T"

Text Box2 = "immissione valore di CD"

Text Box3 = "immissione frequenza di lavoro FL"

Picture1 = "presentazione schema della catena di ritardo"

Il programma è qui di seguito riportato e brevemente commentato mediante scritte in grassetto:

**Rem Istruzioni per inserimento solo numeri nei Text Box**

```
Private Sub text1_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If InStr("-+.0123456789", Chr(KeyAscii)) = 0 Then KeyAscii = 0
End Sub
Private Sub text2_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If InStr("-+.0123456789", Chr(KeyAscii)) = 0 Then KeyAscii = 0
End Sub
```

```
Private Sub text3_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If InStr("-+.0123456789", Chr(KeyAscii)) = 0 Then KeyAscii = 0
End Sub
```

### **Rem Routine di calcolo**

```
Private Sub Form_Click()
```

```
Cls
```

#### **‘ immisione dati**

```
t = Val(Text1.Text) '8.5 'INPUT " ritardo T (microsec.)"; T
```

```
CD = Val(Text2.Text) ' 5000 'INPUT " CD in picoFarad"; CD
```

```
FL = Val(Text3.Text) '15000 'INPUT "frequenza di lavoro FL(Hz)"; FL
```

#### **‘fissa una costante**

```
pi = 3.1415927
```

#### **‘calcolo vari**

```
co = 1.62562 * CD
```

```
r = (t * (10 ^ -6)) / (co * 10 ^ -12)
```

```
LO = r * t * (10 ^ -6)
```

```
cc = co * (0.62562 / 1.62562)
```

```
FC = 1.275 / (pi * t * (10 ^ -6))
```

```
LK = r / (pi * FC)
```

```
CK = 10 ^ 12 / (pi * FC * r)
```

```
Ls = 0.64 * LK / 2
```

```
CI = 2 * ((1 - (0.64 ^ 2)) / (4 * 0.64)) * CK
```

```
CP = 0.64 * CK / 2
```

```
Ct = (CD / 2) + CP
```

```
u = ((1.275 * 10 ^ 6 / (pi * FL * t)) ^ 2 - 1)
```

```
If u <= 0 Then End
```

```
FA = 2 * (180 / pi) * Atn(1.275 / Sqr(u))
```

```
Print "R (ohm) ="; Format(r, " #####")
```

```
Print
```

```
Print "LO (Henry) ="; Format(LO, " #####.#####")
```

```
Print
```

```
Print "LS (Henry) ="; Format(Ls, " #####.#####")
```

```
Print
```

```
Print "CI (pF) ="; Format(CI, " #####")
```

```
Print
```

```
Print "CD (PF) ="; CD
```

```

Print
Print "CC (pF) ="; Format(cc, " #####")
Print
Print "CT (pF) ="; Format(Ct, " #####")
Print
Print "Sfas.cel a FL (gradi) ="; Format(FA, " #####.#")
Print
Print "FC (Hz) ="; Format(FC, " #####")
End Sub

```

### Posizione e dimensione degli oggetti:

```

VERSION 6.00
Begin VB.Form Form10
    Caption           = "CATENE DI RITARDO AD m DERIVATO"
    ClientHeight      = 3195
    ClientLeft        = 60
    ClientTop         = 345
    ClientWidth       = 4680
    BeginProperty Font
        Name           = "MS Sans Serif"
        Size           = 12
        Charset        = 0
        Weight         = 700
        Underline      = 0   'False
        Italic         = 0   'False
        Strikethrough  = 0   'False
    EndProperty
    LinkTopic         = "Form10"
    ScaleHeight       = 8595
    ScaleWidth        = 11880
    StartUpPosition  = 3   'Windows Default
    WindowState       = 2   'Maximized
    Begin VB.TextBox Text1
        BeginProperty Font
            Name           = "MS Sans Serif"
            Size           = 9.75
            Charset        = 0
            Weight         = 400
            Underline      = 0   'False
            Italic         = 0   'False
            Strikethrough  = 0   'False
        EndProperty
        Height            = 420
        Left              = 8040
        TabIndex         = 1
        Top               = 1920
        Width             = 735
    End
    Begin VB.TextBox Text2
        BeginProperty Font
            Name           = "MS Sans Serif"
            Size           = 9.75
            Charset        = 0
            Weight         = 400
            Underline      = 0   'False
            Italic         = 0   'False
            Strikethrough  = 0   'False
        EndProperty
        Height            = 420
    End

```

```

Left          = 9360
TabIndex      = 2
Top           = 1920
Width        = 735
End
Begin VB.TextBox Text3
BeginProperty Font
Name          = "MS Sans Serif"
Size         = 9.75
Charset      = 0
Weight       = 400
Underline    = 0 'False
Italic       = 0 'False
Strikethrough = 0 'False
EndProperty
Height       = 420
Left        = 10680
TabIndex    = 3
Top         = 1920
Width      = 735
End
Begin VB.PictureBox Picture1
BeginProperty Font
Name          = "MS Sans Serif"
Size         = 8.25
Charset      = 0
Weight       = 400
Underline    = 0 'False
Italic       = 0 'False
Strikethrough = 0 'False
EndProperty
Height       = 2295
Left        = 960
Picture      = "catrit.frx":0000
ScaleHeight = 2235
ScaleWidth  = 8715
TabIndex    = 0
Top         = 5400
Width      = 8775
End
Begin VB.Label Label2
AutoSize     = -1 'True
Caption      = "CATENA DI RITARDO AD m DERIVATO"
BeginProperty Font
Name          = "MS Sans Serif"
Size         = 13.5
Charset      = 0
Weight       = 700
Underline    = 0 'False
Italic       = 0 'False
Strikethrough = 0 'False
EndProperty
ForeColor   = &H00FF0000&
Height     = 360
Left       = 5640
TabIndex  = 5
Top        = 120
Width     = 5595
End
Begin VB.Label Label1
Caption      = "T(microsec.)          CD(pF)          FL (Hz)"
BeginProperty Font
Name          = "MS Sans Serif"

```

```
        Size           = 9.75
        Charset        = 0
        Weight         = 400
        Underline      = 0   'False
        Italic         = 0   'False
        Strikethrough  = 0   'False
    EndProperty
    Height             = 375
    Left               = 7920
    TabIndex           = 4
    Top                = 2520
    Width              = 3615
End
End
Attribute VB_Name = "Form10"
Attribute VB_GlobalNameSpace = False
Attribute VB_Creatable = False
Attribute VB_PredeclaredId = True
Attribute VB_Exposed = False
```

### A13 Algoritmi di calcolo per i metodi di correlazione

In questa appendice sono riportate le formule per il calcolo delle funzioni di correlazione inerenti esclusivamente ai circuiti elettronici dei dispositivi illustrati nel capitolo 7; gli algoritmi sono esposti nell'ordine con il quale sono stati richiamati nei vari paragrafi di detto capitolo.

Gli algoritmi sono relativi ai metodi di correlazione applicati ai segnali analogici limitati d'ampiezza secondo lo schema di base mostrato in figura 7.1; detti algoritmi non sono pertanto idonei a computazioni per funzioni di correlazione di altro tipo.

#### Funzione di correlazione tra due segnali sinusoidali

La funzione di correlazione normalizzata tra due segnali sinusoidali limitati in ampiezza, che è alla base delle misurazioni di fase trattate nel paragrafo 7.3, è così strutturata:

$$C(r) = (2 / \pi) \text{ ArcSen } [ \text{Cos } (\omega r) ]$$

in cui  $\omega = 2 \pi f$  ;  $r =$  ritardo in secondi

La funzione di correlazione tra due segnali sinusoidali limitati in ampiezza, caratteristica di uno specifico correlatore, ovvero la funzione che esprime la variazione della tensione continua d'uscita in dipendenza della variazione del ritardo artificiale  $r$  ( circuiti di paragrafo 7.1) è:

$$C(r) = ( \text{Val.} / \pi ) \text{ ArcSen } [ \text{Cos } (\omega r) ]$$

dove Val è la tensione continua d'alimentazione del circuito operatore di nor esclusivo. Questa formula è valida se il traslatore di livello, accoppiato al circuito integratore, ha guadagno unitario.

#### La legge che governa il picco di correlazione in funzione di S/N

La funzione matematica che esprime come varia l'ampiezza del massimo di una funzione di correlazione, di uno specifico correlatore, in dipendenza del rapporto tra il segnale ed il disturbo è:

$$C(s/n) = ( \text{Val} / \pi ) \text{ ArcSen } \frac{1}{[ 1 + ( N / S )^2 ]}$$

dove Val è la tensione continua d'alimentazione del circuito operatore di nor esclusivo. N è l'ampiezza della tensione di rumore espressa in Volt eff. S è l'ampiezza della tensione di segnale espressa in Volt eff.

#### La legge che lega il rapporto S/N all'ampiezza del livello di correlazione

L'algoritmo che indichiamo è ricavato dalla funzione precedente, è stato utilizzato nel capitolo 7 nel paragrafo 7.4 per stabilire quale rapporto S/N compete ad una certa ampiezza del massimo della funzione di correlazione:

$$(S/N) \text{ dB} = 20 \text{ Log } \frac{1}{\sqrt{\text{Sen } [ ( \pi / \text{Val} ) V \text{cor} ]}}$$

dove  $V_{al}$  è la tensione continua d'alimentazione del circuito operatore di non esclusivo.  
 $V_{cor}$  è il livello massimo della funzione di correlazione della quale si vuole stabilire il rapporto tra l'ampiezza dei segnali ed il disturbo.

### Funzione di correlazione tra due segnali a larga banda

La funzione di correlazione tra due segnali in banda  $F_1$ - $F_2$ , limitati in ampiezza, alla base di quanto trattato nel paragrafo 7.5, è così strutturata:

$$C(s/n) = (V_{al} / \pi) \text{ArcSen} \left\{ \frac{1}{[1 + (N/S)^2]} \frac{\text{Sen}(2\pi Df r)}{(2\pi Df r)} \text{Cos}(2\pi f_0 r) \right\}$$

dove  $V_{al}$  è la tensione continua d'alimentazione del circuito operatore di non esclusivo.

$N$  è l'ampiezza della tensione di rumore espressa in Volt eff.

$S$  è l'ampiezza della tensione di segnale espressa in Volt eff.

$Df = (F_2 - F_1) / 2$

$F_0 = (F_1 + F_2) / 2$

$r$  è il ritardo artificiale

### Funzione di anticorrelazione tra due segnali a larga banda

La funzione di anticorrelazione tra due segnali in banda  $F_1$ - $F_2$ , limitati in ampiezza, alla base di quanto trattato nel paragrafo 7.6, è così strutturata:

$$C(s/n) = (V_{al} / \pi) \text{ArcSen} \left\{ \frac{1}{[1 + (N/S)^2]} \frac{\text{Sen}(2\pi Df r)}{(2\pi Df r)} \text{Sen}(2\pi f_0 r) \right\}$$

dove  $V_{al}$  è la tensione continua d'alimentazione del circuito operatore di non esclusivo

$N$  è l'ampiezza della tensione di rumore espressa in Volt eff.

$S$  è l'ampiezza della tensione di segnale espressa in Volt eff.

$Df = (F_2 - F_1) / 2$

$F_0 = (F_1 + F_2) / 2$

$r$  è il ritardo artificiale

## A14 Teoria dei modulatori DSB-SSB

In questa appendice è trattato lo sviluppo matematico relativo ai circuiti di modulazione DSB e USB dei quali abbiamo discusso nel paragrafo 4.20 e seguenti.

### A14.1 Sviluppi matematici per il circuito di modulazione DSB

La modulazione che genera il segnale DSB, a doppia banda laterale in assenza di portante, è caratterizzata da un dispositivo di moltiplicazione analogica (modulatore bilanciato) che svolge la seguente operazione:

indicate con:

**f<sub>o</sub>** la frequenza del segnale modulante

**$\omega_0 = 2 * \pi * f_0$**  la pulsazione del segnale modulante

**Sen ( $\omega_0 t$ )** il segnale modulante

**f** la frequenza della portante

**$\omega = 2 * \pi * f$**  la pulsazione della portante

**Sen ( $\omega t$ )** la portante

**DSB** il risultato dell'operazione

Si esegue il prodotto algebrico delle due funzioni:

$$\text{DSB} = \text{Sen}(\omega t) * \text{Sen}(\omega_0 t)$$

che sviluppato secondo le formule di Werner dà:

$$\text{DSB} = (1 / 2) \text{Cos}[(\omega - \omega_0) t] - (1 / 2) \text{Cos}[(\omega + \omega_0) t]$$

Una funzione composta, nella prima parte della quale si nota: la banda laterale inferiore di pulsazione ( $\omega - \omega_0$ ), ovvero di frequenza ( $f - f_0$ ), e la seconda parte nella quale si nota: la banda laterale superiore di pulsazione ( $\omega + \omega_0$ ) ovvero di frequenza ( $f + f_0$ ), nel risultato dell'operazione non compare, come detto all'inizio, il segnale della portante.

Oltre allo sviluppo matematico è d'interesse il tracciamento dei grafici che consentono di vedere l'andamento delle funzioni sopra menzionate in dipendenza del tempo; questo obiettivo si raggiunge impiegando il semplice programma in Visual Basic che sotto riportiamo:

### Programma in Visual Basic 6

```
Private Sub Form_click ()
For x = 0 To 4600 * 2 Step 460
For y = 0 To 3200 * 2 Step 40
PSet (x, y), 7
Next y
Next x
For y = 0 To 6400 Step 320
For x = 0 To 4600 * 2 Step 60
PSet (x, y), 7
Next x
Next y
Line (4600, 0)-(4600, 6400)
```

```

fo = ' Hz
f = ' Hz
w = 6.28 * f
wo = 6.28 * fo
tsm = 1 / fo

```

For t = 0 To tsm Step 0.0000001

```

yp = Sin(w * t) 'portante
PSet (46000 * 200 * t * (fo / 1000), 700 - 600 * yp)
PSet (46000 * 200 * t * (fo / 1000), 700 - 600 * 0)

```

```

ys = Sin(wo * t) 'segnale modulante
PSet (46000 * t * 200 * (fo / 1000), 2600 - 600 * ys)
PSet (46000 * t * 200 * (fo / 1000), 2600 - 600 * 0)

```

```

y = 0.5 * Cos((w - wo) * t) - 0.5 * Cos((w + wo) * t) 'Segnale DSB
PSet (46000 * 200 * t * (fo / 1000), 4800 - 1200 * y)
PSet (46000 * 200 * t * (fo / 1000), 4800 - 1200 * 0)
Next
End Sub

```

L'impiego della routine è immediato, un esempio chiarirà come usarla:

***Dati di base:***

Sia da tracciare l'andamento dei tre segnali: portante, modulante, segnale DSB, di un modulatore bilanciato che utilizza i seguenti valori di frequenza:

portante: f = 9000 Hz

modulante: fo = 800 Hz

***Procedimento d'immissione dati:***

Prima di avviare il programma di calcolo è necessario inserire i valori di base:

-inseriremo il valore fo = 800 Hz ( frequenza della modulante) nella riga del programma indicata in grassetto con:

**fo = ' Hz :** quindi scriveremo fo = 800 ' Hz

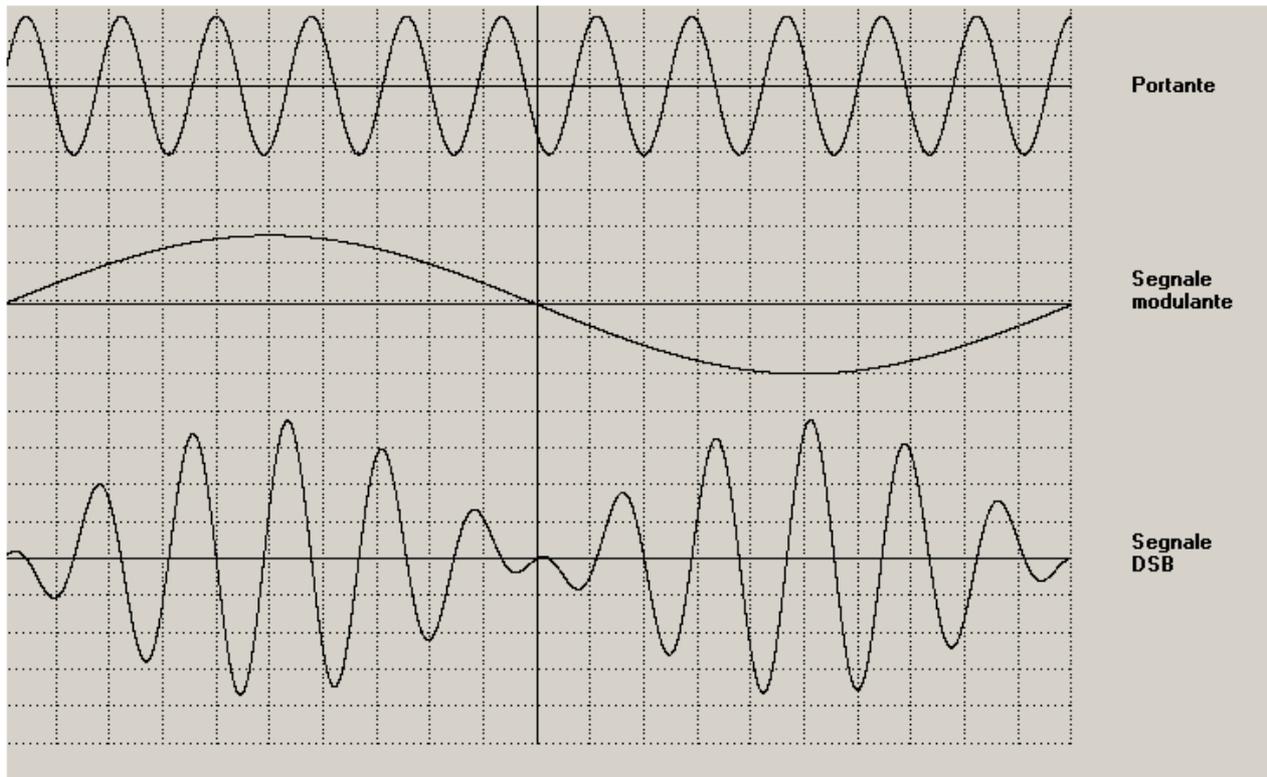
-inseriremo il valore f = 9000 Hz ( frequenza della portante) nella riga del programma indicata in grassetto con:

**f = ' Hz :** quindi scriveremo f = 9000 ' Hz

Si deve osservare che la routine del programma presenta un grafico le cui ascisse sono tutte commisurate al tempo relativo ad un solo periodo della modulante; ad esempio se la modulante ha fo = 1000 Hz tutte le ascisse saranno dimensionate per un tempo pari a 1/1000 = 0.001 Sec; se invece la frequenza della modulante è fo = 1500 Hz tutte le ascisse saranno dimensionate per un tempo pari a 1/1500 = 0.000666 Sec. Ne consegue che, qualsiasi frequenza abbia la modulante, ne verrà tracciato soltanto un periodo, mentre per la portante saranno tracciati tanti periodi quanti ne stanno nel tempo di 1/fo.

### **Esecuzione del calcolo e presentazione dei grafici:**

Si clicca nel Form; compariranno immediatamente sullo schermo i grafici calcolati: in alto il grafico della portante a 9000 Hz, a metà il grafico della modulante a 800 Hz ed in basso l'involuppo del segnale DSB così come mostrato nella figura a14.1  
figura a14.1



### **A14.2 Sviluppi matematici per il circuito di modulazione SSB**

La modulazione che genera il segnale SSB a banda laterale unica, diversificato in LSB o USB, è caratterizzata da una coppia di dispositivi di moltiplicazione analogica (modulatori bilanciati) che, con l'ausilio di circuiti sfasatori a 90°, ed un sommatore svolgono le seguenti operazioni:

Si indicano con:

**f<sub>o</sub>** la frequenza del segnale modulante

**$\omega = 2 * \pi * f_o$**  la pulsazione del segnale modulante

**Sen ( $\omega t$ )** è il segnale modulante

**Cos ( $\omega t$ )** è il segnale modulante sfasato di 90° (operazione eseguita dal circuito sfasatore del segnale modulante)

**f** la frequenza della portante

**$\omega = 2 * \pi * f$**  la pulsazione della portante

**Sen ( $\omega t$ )** la portante

**Cos ( $\omega t$ )** è la portante sfasata di 90° (operazione eseguita dal circuito sfasatore della portante)

Con queste variabili si costruiscono le relazioni matematiche che governano il comportamento dei due modulatori bilanciati per la realizzazione del segnale SSB (versione USB); per ciascuno dei

quali si devono impostare, inizialmente, le espressioni per il calcolo dei relativi segnali DSB, indicati, per distinguerli, come DSB<sub>1</sub> e DSB<sub>2</sub> vediamole:

Per DSB<sub>1</sub> abbiamo il prodotto tra il segnale a fase 0°, Sen (ω t), e la portante a fase 90°, Cos (ω t):

$$\mathbf{DSB_1 = Sen (\omega t) * Cos (\omega t)}$$

che sviluppato secondo le formule di Werner dà:

$$\mathbf{DSB_1 = (1 / 2) Sen [(\omega - \omega) t] + (1 / 2) Sen [(\omega + \omega) t]}$$

Per DSB<sub>2</sub> abbiamo il prodotto tra il segnale a fase 90°, Cos (ω t), e la portante a fase 0°, Sen (ω t):

$$\mathbf{DSB_2 = Cos (\omega t) * Sen (\omega t)}$$

che sviluppato secondo le formule di Werner dà:

$$\mathbf{DSB_2 = (1 / 2) Sen [(\omega - \omega) t] + (1 / 2) Sen [(\omega + \omega) t]}$$

Eseguiamo ora la somma tra l'espressione di DSB<sub>1</sub> e DSB<sub>2</sub>, per determinare l'espressione dell'onda SSB (versione USB): questa operazione è eseguita dal circuito sommatore al quale confluiscono le due uscite dei segnali DSB ( si veda capitolo 4.20.2), abbiamo:

$$\mathbf{USB = DSB_1 + DSB_2 =}$$

$$\mathbf{=(1/2) Sen [(\omega - \omega) t] + (1/2) Sen [(\omega + \omega) t] + (1/2) Sen [(\omega - \omega) t] + (1/2) Sen [(\omega + \omega) t]}$$

raggruppando gli addendi con gli argomenti in differenza e quelli con gli argomenti in somma si ha

$$\mathbf{= (1/2) Sen [(\omega - \omega) t] + (1/2) Sen [(\omega - \omega) t] + (1/2) Sen [(\omega + \omega) t] + (1/2) Sen [(\omega + \omega) t]}$$

ricordando che Sen (-x) = - Sen (x) si può scrivere:

$$\mathbf{= (1/2) Sen [(\omega - \omega) t] - (1/2) Sen [(\omega - \omega) t] + (1/2) Sen [(\omega + \omega) t] + (1/2) Sen [(\omega + \omega) t]}$$

con tale passaggio si possono elidere i primi due addendi con argomento differenza (ω - ω) ottenendo infine:

$$\mathbf{USB = DSB_1 + DSB_2 = (1/2) Sen [(\omega + \omega) t] + (1/2) Sen [(\omega + \omega) t] = Sen [(\omega + \omega) t]}$$

una funzione semplice nella quale si evidenzia soltanto la banda laterale superiore di pulsazione (ω + ω), ovvero di frequenza ( f + fo ).

Oltre allo sviluppo matematico è d'interesse il tracciamento dei grafici che consentono di vedere l'andamento delle funzioni in gioco in dipendenza del tempo; questo obiettivo si raggiunge impiegando il programma in Visual Basic, molto simile al precedente, che riportiamo:

### Programma in Visual Basic 6

```
Private Sub Form_click ()
For x = 0 To 4600 * 2 Step 460
For y = 0 To 3200 * 2 Step 40
PSet (x, y), 7
Next y
Next x
For y = 0 To 6400 Step 320
For x = 0 To 4600 * 2 Step 60
PSet (x, y), 7
Next x
Next y
Line (4600, 0)-(4600, 6400)
```

```
fo = 'Hz
f = ' Hz
w = 6.28 * f
wo = 6.28 * fo
tsm = 1 / fo
```

```
For t = 0 To tsm Step 0.0000001
```

```
yp = Cos(w * t) 'portante
PSet (46000 * t * 200 * (fo / 1000), 300 - 600 * yp / 2)
PSet (46000 * t * 200 * (fo / 1000), 300 - 600 * 0)
```

```
ys = Sin(wo * t) 'modulante
PSet (46000 * t * 200 * (fo / 1000), 1000 - 600 * ys / 2)
PSet (46000 * t * 200 * (fo / 1000), 1000 - 600 * 0)
```

```
y = Sin(wo * t) * Cos(w * t) 'segnale DSB1
PSet (46000 * t * 200 * (fo / 1000), 2300 - 800 * y)
PSet (46000 * t * 200 * (fo / 1000), 2300 - 800 * 0)
```

```
yi = Cos(wo * t) * Sin(w * t) 'segnale DSB2
PSet (46000 * t * 200 * (fo / 1000), 4300 - 800 * yi)
PSet (46000 * t * 200 * (fo / 1000), 4300 - 1200 * 0)
```

```
ysomma = y + yi 'segnale USB = DSB1 + DSB2
PSet (46000 * t * 200 * (fo / 1000), 6000 - 800 * ysomma / 2)
PSet (46000 * t * 200 * (fo / 1000), 6000 - 800 * 0 / 2)
Next
End Sub
```

L'impiego della routine è uguale al precedente (paragrafo 14.1):

**Dati di base:**

Sia da tracciare l'andamento di 5 segnali: portante, modulante, segnale DSB<sub>1</sub>, segnale DSB<sub>2</sub>, segnale USB, di un doppio modulatore bilanciato che utilizza i seguenti valori di frequenza:

portante:  $f_0 = 2000$  Hz  
modulante:  $f = 40000$  Hz

**Procedimento d'immissione dati:**

Prima di avviare il programma di calcolo è necessario inserire i valori di base:

-inseriremo il valore  $f_0 = 2000$  Hz nella riga del programma indicata in grassetto con:

**$f_0 =$  ' Hz :** quindi scriveremo  $f_0 = 2000$  ' Hz

-inseriremo il valore  $f = 40000$  Hz nella riga del programma indicata in grassetto con:

**$f =$  ' Hz :** quindi scriveremo  $f = 40000$  ' Hz

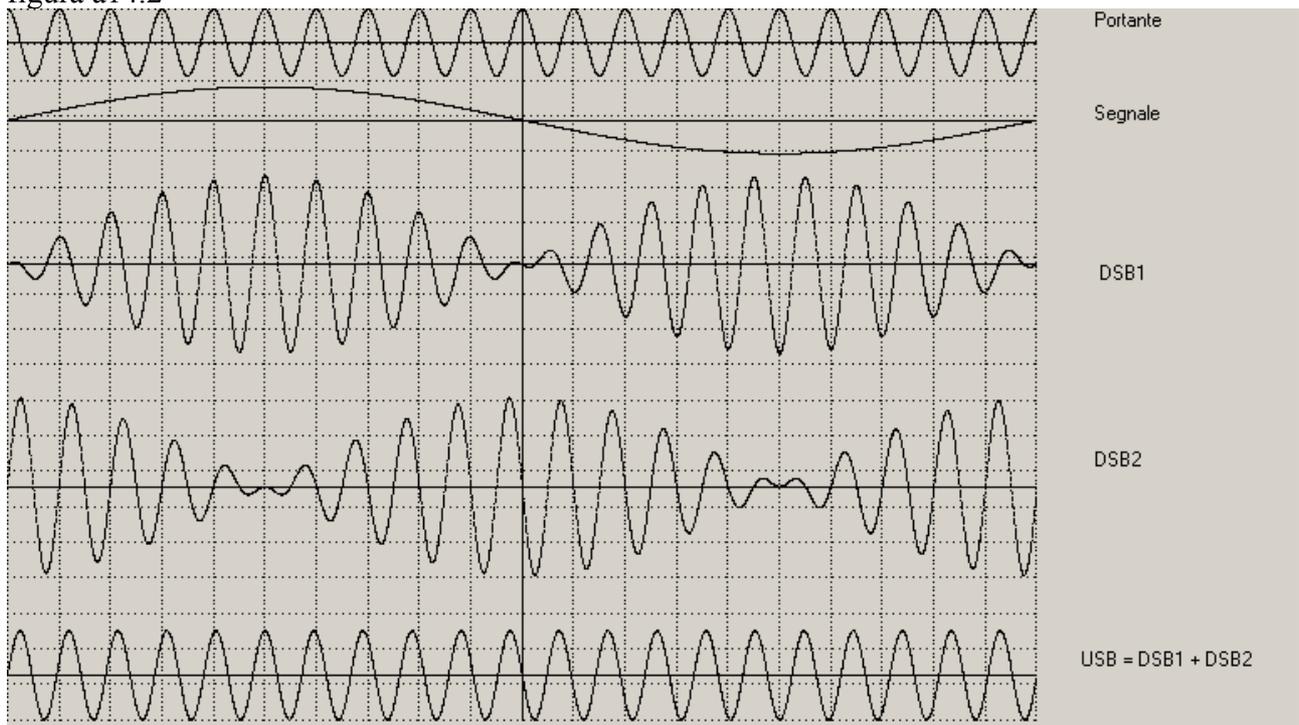
Si deve osservare che la routine del programma presenta un grafico le cui ascisse sono tutte commisurate al tempo relativo ad un solo periodo della modulante; ad esempio se la modulante ha  $f_0 = 1000$  Hz tutte le ascisse saranno dimensionate per un tempo pari a  $1/1000 = 0.001$  Sec; se invece la frequenza della modulante è  $f_0 = 1500$  Hz tutte le ascisse saranno dimensionate per un tempo pari a  $1/1500 = 0.000666$  Sec. Ne consegue che, qualsiasi frequenza abbia la modulante, ne verrà tracciato soltanto un periodo, mentre per la portante saranno tracciati tanti periodi quanti ne stanno nel tempo di  $1/f_0$ .

**Esecuzione del calcolo e presentazione dei grafici:**

Si clicca nel Form; compariranno immediatamente sullo schermo i grafici calcolati nell'ordine, dall'alto in basso, così come mostrato nella figura a14.2:

- portante a 40000 Hz
- modulante a 2000 Hz
- segnale DSB<sub>1</sub>
- .segnale DSB<sub>2</sub>
- segnale USB

figura a14.2



### **A15 Calcolo della risposta di una cellula a pi greco (adattatore d'impedenza)**

La seguente routine, compilata in Visual Basic 6, consente il calcolo dei componenti ed il tracciamento della curva di risposta di una cellula a pi greco progettata come adattatore d'impedenza.

La routine di calcolo della cellula è impostata su di un procedimento di computazione basato sui numeri complessi secondo l'elettrotecnica classica.

I dati da immettere sono:

Q = coefficiente di merito voluto

R1 = Impedenza del generatore in ohm ( $R1 > R2$ )

R2 = Impedenza dell'utilizzatore in ohm ( $R2 < R1$ )

f = frequenza di lavoro in Hz

Il diagramma è tracciato in coordinate cartesiane lineari; in ascisse, la frequenza nell'intervallo centrato sul valore di f, da 0 a f a sinistra e da f a 2f a destra; l'ascissa è divisa in 20 parti, ciascuna del valore rapportato all'intervallo impostato, in ordinate, l'attenuazione prodotta dal filtro indicata in 20 intervalli da 4 dB ciascuno per un totale di - 80 dB.

L'impiego della routine è semplice, un esempio chiarirà come usarla:

#### ***Dati di base:***

Sia da progettare una cellula a pi greco per adattare un carico R2 ad un generatore R1 avente le seguenti caratteristiche:

Q = 40

R1 = 5000 ohm

R2 = 850 ohm

f = 7000 Hz

Il tracciamento della curva di risposta sarà compreso tra 0 e 14000 Hz.

#### ***Procedimento d'immissione dati:***

Si deve avviare il programma di calcolo premendo "avvia", quindi si inizia con l'immissione dati nell'ordine:

Nel Text Box = Q si inserisce il valore 40

Nel Text Box = R1 si inserisce il valore 5000 ohm

Nel Text Box = R2 si inserisce il valore 850 ohm

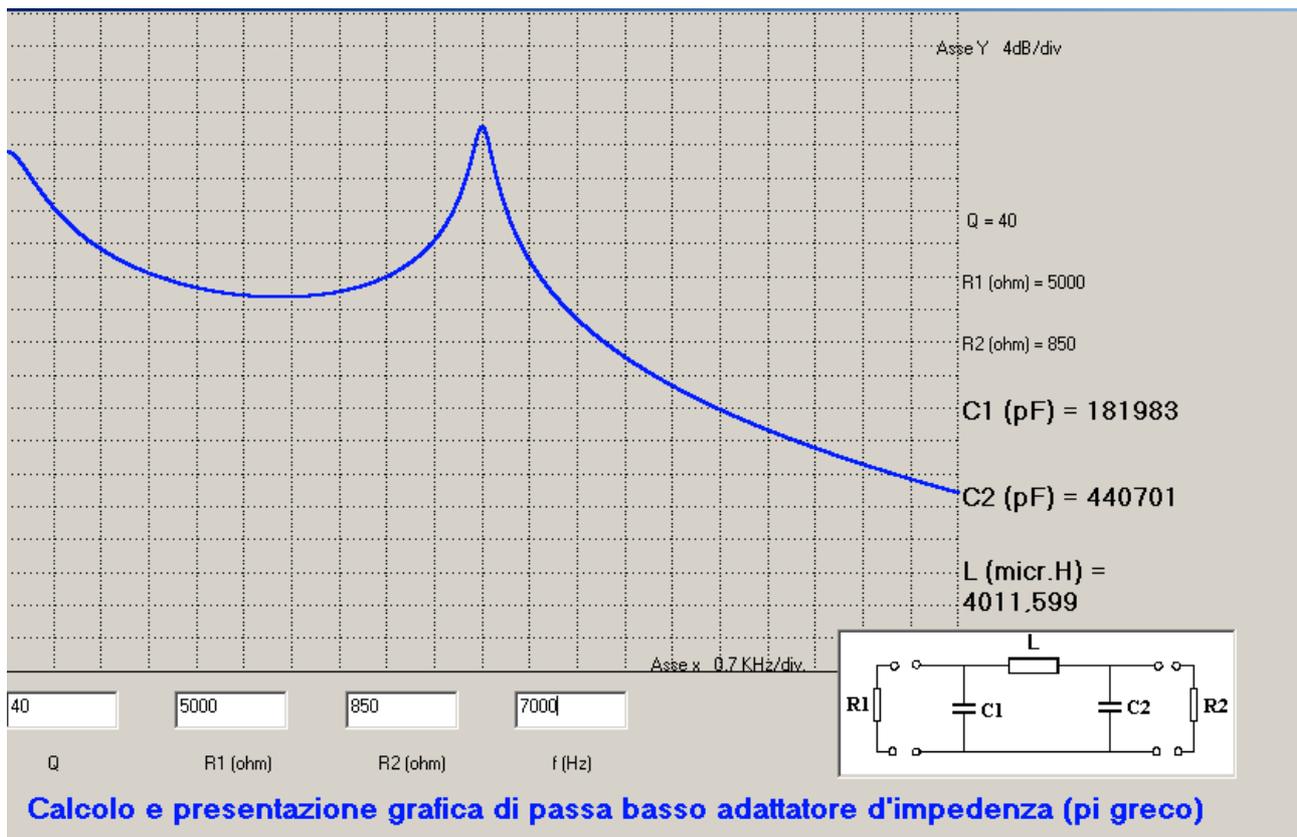
Nel Text Box = f si inserisce il valore 7000 Hz

#### ***Esecuzione del calcolo presentazione dati e curva di risposta:***

Si clicca nel Form; compariranno immediatamente sulla parte destra dello schermo i dati calcolati di C1; C2; L e si vedrà formarsi il tracciato della curva di risposta fino al raggiungimento dell'ultimo valore di frequenza.

Il risultato complessivo della schermata del P.C. è riportato in figura a15/1:

figura a15/1



### Descrizione della routine di calcolo da implementare nel P.C:

Il programma impiega un Form e 15 oggetti così utilizzati:

Label1 "indicatore del valore calcolato di C1"

Label2 "indicatore del valore impostato di Q"

Label3 "indicatore del valore calcolato di C2"

Label5 "indicatore del valore divisioni asse delle frequenze"

Label6 "titolo della routine"

Label7 "indicatore del valore asse y- dB/div. -"

Label8 = "indicatore delle funzioni per immissione dati"

Label9 "indicatore del valore calcolato di L"

Label0 "indicatore del valore impostato di R1"

Label1 "indicatore del valore impostato di R2"

Text Box1 = "immissione coefficiente di merito Q"

Text Box2 = "immissione frequenza di lavoro f,"

Text Box3 = "immissione impedenza utilizzatore R2"

Text Box4 = "immissione impedenza generatore R1"

Picture1 = "presentazione schema della cellula a pi greco"

Il programma è qui di seguito riportato e brevemente commentato mediante scritte in grassetto:

**Rem Istruzioni per inserimento solo numeri nei Text Box**

```
Private Sub text1_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If InStr("-+.0123456789", Chr(KeyAscii)) = 0 Then KeyAscii = 0
End Sub
Private Sub text2_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If InStr("-+.0123456789", Chr(KeyAscii)) = 0 Then KeyAscii = 0
End Sub
Private Sub text3_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If InStr("-+.0123456789", Chr(KeyAscii)) = 0 Then KeyAscii = 0
End Sub
Private Sub text4_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If InStr("-+.0123456789", Chr(KeyAscii)) = 0 Then KeyAscii = 0
End Sub
```

```
Private Sub Form_Click()
```

**" SEZIONE 1 - CALCOLO DEI VALORI COMPONENTI IL PI GRECO**

```
Dim C1 As Double
```

**'nei calcoli sotto riportati sono stati utilizzati i simboli;**

**'R2 = resistenza di chiusura pi greco**

**'R1 = resistenza visto dall'ingresso del pi greco**

**'C2 = capacità all'uscita del pi greco**

**'C1 = capacità all'ingresso del pi greco**

**'Per R1 > R2**

```
R1 = Val(Text4.Text)
```

```
R2 = Val(Text3.Text)
```

```
q = Val(Text1.Text)
```

```
f = Val(Text2.Text)
```

```
If R1 * R2 * q * f = 0 Then End
```

```
Xc1 = R1 / q 'è la Xc di C1
```

```
Xc2 = R2 * Sqr((R1 / R2) / (q ^ 2 + 1 - (R1 / R2))) 'è la Xc di C2
```

```
C2 = 1 / (6.28 * f * Xc2) 'in FARAD
```

```
C1 = 1 / (6.28 * f * Xc1) 'in FARAD
```

```
XL = (q * R1 + (R1 * R2 / Xc2)) / (q ^ 2 + 1)
```

```
L = XL / (6.28 * f) 'in Henry
```

```
Dim C2x As String
```

```
Dim C1x As String
```

```
Dim Lx As String
```

```
Dim Rox As String
```

```
Dim R1x As String
```

```
Dim Qx As String
```

```
C1x = Int(C2 * 1000000000000#)
```

```
C2x = Int(C1 * 1000000000000#)
```

```
Lx = L * 1000000
```

```
R1x = R1
```

```
Rox = R2
```

```
Qx = q
```

```
Label1.Caption = "C1 (pF) = " + C2x
```

```
Label3.Caption = "C2 (pF) = " + C1x
```

```
Label9.Caption = "L (micr.H) = " + Format(Lx, " ###.###")
Label10.Caption = "R1 (ohm) = " + R1x
Label11.Caption = "R2 (ohm) = " + Rox
Label12.Caption = " Q = " + Qx
```

```
'=====
```

```
' SEZIONE 2 - impostazione modalità di schermo e richiesta dati
'CALCOLO DELLA RISPOSTA DEL PI GRECO
```

```
Dim Fms As String
Fm = 2 * f
Fms = Fm / 20000
Label5.Caption = "Asse x " + Fms + " KHz/div."
```

```
'Nota bene=>
'nei calcoli precedenti sono stati utilizzati i simboli;
'R2 = resistenza di chiusura
'R1 = resistenza visto dall'ingresso
'C2 = capacità all'uscita
'C1 =capacità all'ingresso
'Nel calcolo seguente con i numeri complessi i simboli sono diversi:
'R = resistenza di chiusura
'Ro = resistenza visto dall'ingresso
'C = capacità all'uscita
'Co =capacità all'ingresso
'Quindi devono essere poste le seguenti uguaglianze:
R = R2
Ro = R1
C = C2 'in FARAD
Co = C1 'in FARAD
```

```
' SEZIONE 3 - richiesta dati per il tracciamento della curva di risposta
```

```
s = 0.1 'LOCATE 12, 66: INPUT "step="; s
```

```
' SEZIONE 4 - formazione del sistema di assi cartesiani ad 1 quadrante
```

```
'LOCATE 20, 66: Print "y: 2dB/div"
```

```
'LOCATE 2, 59: Print " 0 dB"
```

```
'LOCATE 24, 59: Print "-40dB"
```

```
For x = 0 To 4600 * 2 Step 230 * 2
```

```
For Y = 0 To 3200 * 2 Step 20 * 2
```

```
PSet (x, Y), 7
```

```
Next Y
```

Next x

For Y = 0 To 3200 \* 2 Step 160 \* 2

For x = 0 To 4600 \* 2 Step 30 \* 2

PSet (x, Y), 7

Next x

Next Y

Line (0, 3200 \* 2)-(4600 \* 2, 3200 \* 2)

Line (0, 0)-(0, 3200 \* 2)

**' SEZIONE 5 - inizio calcolo automatico in funzione della frequenza**

$F_m = 2 * f$

For f = 1 To  $F_m$

**' SEZIONE 6 - definizione dei componenti del filtro come numeri complessi**

**'espressione di R e  $R_o = r_x + j r_y$**

$r_x = R$

$r_y = 0$

$r_{x0} = R_o$

$r_{y0} = 0$

**'espressione di  $A_1 = a_x + j a_y$  e  $A_2 = a_{x0} + j a_{y0}$**

$a_x = 0$

$a_y = -1 / (6.28 * f * C)$

$a_{x0} = 0$

$a_{y0} = -1 / (6.28 * f * C_o)$

**'espressione di  $C_1 = c_x + j c_y$**

$c_x = 0$

$c_y = (6.28 * f * L)$

**' SEZIONE 7 - calcolo di K e di B1**

**'espressione di B1 da calcolare  $B_1 = b_x + j b_y$**

**'calcolo di  $B_1 = b_x + j b_y = C_1 + A_1 // R = C_1 + K$**

**'per il computo di  $K = A1/R = kx + jky$  si fissa:**

$X1 = ax$

$Y1 = ay$

$X2 = rx$

$Y2 = ry$

**GoSub parall ' invio alla subroutine parall che  
' esegue il parallelo  $A1/R$  ottenendo  $kx$  e  $ky$**

$kx = X1$

$ky = Y1$

**'per  $C1$  si fissa:**

$X2 = cx$

$Y2 = cy$

**GoSub somma ' invio alla subroutine somma che  
' esegue la somma  $B1 = C1 + K$**

$bx = X1$

$By = Y1$

**'si ottiene cosi il valore di  $B1 = bx + jby$**

**' SEZIONE 8 - calcolo di  $H$  e della risposta del filtro in termini complessi**

**'CALCOLO DI  $U = (K / B1) / [(R / H) + 1]$**

**'1° -si calcola  $H = A2/B1 = hx + jhy$**

$X1 = axo$

$Y1 = ayo$

$X2 = bx$

$Y2 = By$

**GoSub parall ' invio alla subroutine parall che  
' esegue il parallelo tra  $A1$  e  $B1$**

**'si ottiene :**

$$hx = X1$$

$$hy = Y1$$

**'2° - si esegue il calcolo  $F = (Ro/(A2//B1))+1 = (Ro/H)+1 = fx+jfy$**   
**' ( F è la prima variabile di servizio )**

$$X1 = rxo$$

$$Y1 = ryo$$

$$X2 = hx$$

$$Y2 = hy$$

**GoSub div ' invio alla subroutine div che esegue il rapporto R/H**  
**' (si esegue direttamente la somma  $1+ R/H$  per ottenere F)**

$$fx = xq + 1$$

$$fy = yq$$

**'3° - si esegue il calcolo  $1/F = G = gx+jgy$**   
**' ( G è la seconda variabile di servizio )**

$$X1 = 1$$

$$Y1 = 0$$

$$X2 = fx$$

$$Y2 = fy$$

**GoSub div ' invio alla subroutine div che calcola il reciproco di F**

$$gx = xq$$

$$gy = yq$$

**'4° - si esegue il calcolo  $L = lx+jly = K/B1$**   
**' ( L è la terza variabile di servizio)**

$$X1 = kx$$

$$Y1 = ky$$

$$X2 = bx$$

$$Y2 = By$$

**GoSub div ' invio alla subroutine div che esegue il rapporto K/B1**

Lx = xq

ly = yq

**'5° -si esegue il prodotto finale per il calcolo di U ; U = G \* L = ux+juy**

X1 = gx

Y1 = gy

X2 = Lx

Y2 = ly

**GoSub prod ' invio alla subroutine prod che esegue il prodotto tra le due  
' variabili di servizio G ed L**

ux = xm

uy = ym

**GoTo calcmod ' ultimato il calcolo di U si passa alla routine  
' di calcolo per il tracciamento della risposta del filtro**

**' SEZIONE 9 - subroutine di calcolo tra numeri complessi che  
' vengono richiamate dai passi di programma precedenti**

**'-----SUBROUTINE DI CALCOLO-----**

somma:

X1 = X1 + X2

Y1 = Y1 + Y2

Return

prod:

xm = (X1 \* X2 - Y1 \* Y2)

ym = (X1 \* Y2 + Y1 \* X2)

Return

div:

xq = (X1 \* X2 + Y1 \* Y2) / ((X2) ^ 2 + (Y2) ^ 2)

yq = (X2 \* Y1 - X1 \* Y2) / ((X2) ^ 2 + (Y2) ^ 2)

Return

parall:

$$xp = (X1 * X2 - Y1 * Y2)$$

$$yp = (X1 * Y2 + Y1 * X2)$$

$$xs = X1 + X2$$

$$ys = Y1 + Y2$$

$$X1 = (xp * xs + yp * ys) / ((xs)^2 + (ys)^2)$$

$$Y1 = (xs * yp - xp * ys) / ((xs)^2 + (ys)^2)$$

Return

**' SEZIONE 10 - calcolo del modulo di U e impostazione  
'della funzione grafica PSET**

calcmmod:

M = Sqr(ux ^ 2 + uy ^ 2) **'modulo**

If M > 80 Then M = 80

d = 20 \* (Log(M) / Log(10)) **'espressione del modulo in dB**

If d < -40 Then d = -40

Circle ((4600 \* 2 / (Fm - Fi)) \* (f - Fi), -3200 \* 2 / 80 \* d), 8, vbBlue

Next f **' rimanda all'istruzione For f=1 to Fm  
'per il calcolo del successivo valore di M**

End Sub

## Posizione e dimensione degli oggetti:

VERSION 6.00

Begin VB.Form Form8

```
Caption      = "Form8"
ClientHeight = 3195
ClientLeft   = 60
ClientTop    = 345
ClientWidth  = 4680
LinkTopic    = "Form8"
ScaleHeight  = 3195
ScaleWidth   = 4680
StartupPosition = 3 'Windows Default
WindowState  = 2 'Maximized
```

Begin VB.TextBox Text3

```
Height      = 375
Left        = 3280
TabIndex    = 3
Top         = 6600
Width       = 1095
```

End

Begin VB.TextBox Text4

```
Height      = 375
Left        = 1640
TabIndex    = 2
Top         = 6600
Width       = 1095
```

End

Begin VB.TextBox Text1

```
Height      = 375
Left        = 0
TabIndex    = 1
Top         = 6600
Width       = 1095
```

End

Begin VB.TextBox Text2

```
Height      = 375
Left        = 4920
TabIndex    = 4
Top         = 6600
Width       = 1095
```

End

Begin VB.PictureBox Picture1

```
Height      = 1455
Left        = 8040
Picture     = "Pgrlibro.frx":0000
ScaleHeight = 1395
ScaleWidth  = 3795
TabIndex    = 9
Top         = 6000
Width       = 3855
```

End

Begin VB.Label Label8

```
Caption      = "      Q R1 (ohm)      R2 (ohm)      f (Hz)"
Height       = 375
Left         = 0
TabIndex     = 14
Top          = 7200
Width        = 6135
```

```

End
Begin VB.Label Label12
    Height      = 375
    Left        = 9240
    TabIndex    = 13
    Top         = 1920
    Width       = 1935
End
Begin VB.Label Label11
    Height      = 375
    Left        = 9240
    TabIndex    = 12
    Top         = 3120
    Width       = 1455
End
Begin VB.Label Label10
    Height      = 495
    Left        = 9240
    TabIndex    = 11
    Top         = 2520
    Width       = 1815
End
Begin VB.Label Label9
    BeginProperty Font
        Name      = "MS Sans Serif"
        Size      = 12
        Charset   = 0
        Weight    = 700
        Underline = 0 'False
        Italic    = 0 'False
        Strikethrough = 0 'False
    EndProperty
    Height      = 615
    Left        = 9240
    TabIndex    = 10
    Top         = 5280
    Width       = 2535
End
Begin VB.Label Label7
    Caption     = "Asse Y 4dB/div"
    Height      = 255
    Left        = 9000
    TabIndex    = 8
    Top         = 240
    Width       = 1215
End
Begin VB.Label Label6
    Caption     = " Calcolo e presentazione grafica di passa basso
adattatore d'impedenza ( $\pi$  greco) "
    BeginProperty Font
        Name      = "MS Sans Serif"
        Size      = 13.5
        Charset   = 0
        Weight    = 700
        Underline = 0 'False
        Italic    = 0 'False
        Strikethrough = 0 'False
    EndProperty
    ForeColor   = &H00FF0000&
    Height      = 615
    Left        = 120
    TabIndex    = 7
    Top         = 7560

```

```

    Width          = 11535
End
Begin VB.Label Label5
    AutoSize       = -1 'True
    Height        = 315
    Left          = 6240
    TabIndex      = 6
    Top           = 6240
    Width         = 15
End
Begin VB.Label Label3
    AutoSize       = -1 'True
    BeginProperty Font
        Name        = "MS Sans Serif"

        Size        = 12
        Charset     = 0
        Weight      = 700
        Underline   = 0 'False
        Italic      = 0 'False
        Strikethrough = 0 'False
    EndProperty
    Height        = 300
    Left          = 9240
    TabIndex      = 5
    Top           = 4560
    Width         = 825
End
Begin VB.Label Label1
    AutoSize       = -1 'True
    BeginProperty Font
        Name        = "MS Sans Serif"
        Size        = 12
        Charset     = 0
        Weight      = 700
        Underline   = 0 'False
        Italic      = 0 'False
        Strikethrough = 0 'False
    EndProperty
    Height        = 300
    Left          = 9240
    TabIndex      = 0
    Top           = 3720
    Width         = 825
End
End
Attribute VB_Name = "Form8"
Attribute VB_GlobalNameSpace = False
Attribute VB_Creatable = False
Attribute VB_PredeclaredId = True
Attribute VB_Exposed = False

```