

APPENDICE 1

IL Qbasic PER L'ANALISI DEI QUADRIPOLI

Questa appendice è indirizzata agli studenti di elettronica, ai tecnici del ramo e a quanti altri sono interessati alla progettazione dei quadripoli elettrici. Gli esempi di calcolo riportati sono la base per lo sviluppo di più elaborate configurazioni che possono presentarsi nell'ambito delle attività di studio o di lavoro.

A1.1 Applicazione del Qbasic al calcolo dei componenti e della risposta in ampiezza di un filtro Passa Basso.

Il dimensionamento di un filtro passa basso, la cui struttura è riportata in figura 72, è cosa semplice; stabilito infatti il limite della frequenza della banda passante f_0 ed il valore voluto delle resistenze di terminazione R si calcolano i componenti come segue:

$$L = R / (\pi f_0)$$

$$C = 1 / (2 \pi f_0 R)$$

in cui, espresso f_0 in Hz ed R in ohm, L è in Henry e C in Farad

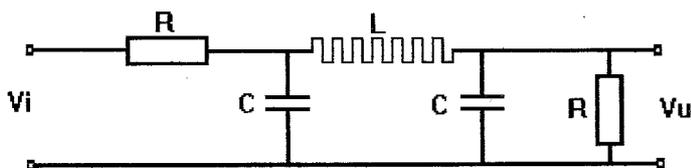


Figura 72
Struttura di un filtro Passa Basso

La determinazione della curva di risposta del filtro Passa Basso, indispensabile per visualizzare l'andamento dell'attenuazione del quadripolo in funzione della frequenza rappresenta, all'opposto del calcolo dei suoi componenti, un problema di notevole difficoltà. Difficoltà superabile con l'impiego della tecnica di calcolo sui numeri complessi sviluppata nel capitolo 11 e con la grafica illustrata nel capitolo 3.

Nel calcolo della risposta del filtro, che imposteremo nella pagina seguente, non si considereranno volutamente le resistenze di perdita dell'induttanza e delle capacità.

Questi elementi, a volte di notevole peso sulla risposta del quadripolo, potranno essere inseriti, come esercizio, nel programma di computazione dal lettore che avrà acquisito l'esperienza necessaria a tale implementazione.

Per calcolare la risposta del quadripolo dobbiamo anzitutto definire in termini complessi i vari componenti che lo costituiscono:

assunto

$$\omega = 2\pi f \quad \text{la pulsazione angolare}$$

$$A1 \quad \text{la reattanza dei componenti capacitivi } C$$

$$C1 \quad \text{la reattanza del componente induttivo } L$$

$$R \quad \text{il valore delle resistenze di terminazione}$$

si ha

$$\text{La reattanza (A1)} \quad A1 = 0 - j / \omega C$$

$$\text{La reattanza (C1)} \quad C1 = 0 + j \omega L$$

$$\text{La resistenza (R)} \quad R = R + j 0$$

Ora, in via del tutto convenzionale, se si assume che il simbolo // indichi il parallelo tra due o più componenti del quadripolo; sulla base della figura 72 (filtro pilotato di tensione) possiamo scrivere:

$$K \text{ per il parallelo tra } A1 \text{ ed } R \quad K = A1 // R = kx + jky$$

$$B1 \text{ per la serie tra } C1 \text{ e } K \quad B1 = C1 + K = bx + jby$$

$$H \text{ per il parallelo tra } A1 \text{ e } B1 \quad H = A1 // B1 = hx + jhy$$

$$U \text{ per la funzione di risposta del filtro} \quad U = ux + juy$$

a questo punto mediante passaggi di elettrotecnica classica si arriva alla determinazione della funzione di risposta in frequenza del quadripolo in forma complessa:

$$Vu / Vi = U = (K / B1) / [(R / H) + 1]$$

Per il computo della funzione di risposta si impiegheranno le operazioni tra numeri complessi già trattate nel capitolo 11 con l'aggiunta di una forma di calcolo che ci consentirà l'implementazione in Qbasic del valore complesso del parallelo tra i vari componenti del quadripolo.

Se Q e Z sono ad esempio i valori complessi di due componenti

$$Q = qx + j qy$$

$$Z = zx + j zy$$

il loro parallelo sarà:

$$P = Q // Z = (Q \cdot Z) / (Q + Z) = (qx + j qy) \cdot (zx + j zy) / [(qx + j qy) + (zx + j zy)]$$

il valore di P si ottiene quindi applicando in successione le operazioni di "prodotto"; "somma"; "quoziente" tra numeri complessi.

Per lo sviluppo del programma ci serviremo pertanto di 4 Subroutine denominate:

somma: esegue il calcolo $(x1+jy1) + (x2+jy2)$ e fornisce il risultato nella forma $(x1 + jy1)$

prod: esegue il calcolo $(x1+jy1) \cdot (x2+jy2)$ e fornisce il risultato nella forma $(xm + jym)$

div: esegue il calcolo $(x1+jy1) : (x2+jy2)$ e fornisce il risultato nella forma $(xq + jyq)$

parall: esegue il calcolo $(x1+jy1) // (x2+jy2)$ e fornisce il risultato nella forma $(xp + jyp)$

Per semplificare le procedure di calcolo "parzializzeremo" la funzione U in funzioni più semplici, utilizzando tre variabili complesse di servizio $F = fx+jfy$; $G = gx+jgy$; $L = lx+jly$.

Il programma che ci accingiamo a commentare è diviso in 10 sezioni di lavoro quali:

SEZIONE 1 - impostazione modalità di schermo e richiesta dati (valore della frequenza fo limite della banda passante, valore delle resistenze di terminazione R)

SEZIONE 2 - calcolo dei componenti del filtro (valore dell'induttanza L, valore delle capacità C)

SEZIONE 3 - richiesta dati per il tracciamento della curva di risposta (la frequenza massima Fmax da assegnare alle ascisse del tracciato, il passo -step- per l'incremento di frequenza di calcolo del tracciato)

SEZIONE 4 - formazione del sistema di assi cartesiani ad 1 quadrante (scale delle ascisse in Hz, scale delle ordinate in dB -pari a 2dB/divisione-)

SEZIONE 5 - inizio calcolo automatico in funzione della frequenza

SEZIONE 6 - definizione dei componenti del filtro come numeri complessi

SEZIONE 7 - calcolo di K e di B1

SEZIONE 8 - calcolo di H e della risposta U del filtro in termini complessi

SEZIONE 9 - insieme delle subroutine di calcolo tra numeri complessi che vengono richiamate nel programma

SEZIONE 10 - calcolo del modulo di U e impostazione della funzione grafica PSET

La stesura del programma è la seguente:

' SEZIONE 1 - impostazione modalità di schermo e richiesta dati

SCREEN 9

LOCATE 4, 60: PRINT "PASSA BASSO-att."

LOCATE 5, 66: INPUT "fo ="; fo &

LOCATE 6, 66: INPUT "R="; R

' SEZIONE 2 - calcolo dei componenti del filtro

$L = R / (3.14 * f_0)$

$C = 1 / (6.28 * f_0 * R)$

LOCATE 7, 60: PRINT "L="; L

LOCATE 8, 60: PRINT "C="; C

' SEZIONE 3 - richiesta dati per il tracciamento della curva di risposta

LOCATE 9, 66: INPUT "Fmax="; Fm

LOCATE 10, 66: INPUT "step="; s

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

LOCATE 20, 66: PRINT "y: 2dB/div"

LOCATE 2, 59 : PRINT "0dB"

LOCATE 24, 59 : PRINT "- 40dB"

FOR x = 0 TO 460 STEP 23

FOR y = 0 TO 320 STEP 2

PSET (x, y), 7

NEXT y

NEXT x

FOR y = 0 TO 320 STEP 16

FOR x = 0 TO 460 STEP 3

PSET (x, y), 7

NEXT x

NEXT y

LINE (0, 320)-(460, 320)

LINE (0, 0)-(0, 320)

' SEZIONE 5 - inizio calcolo automatico in funzione della frequenza

FOR f = 1 TO Fm STEP s

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

' espressione di $R = rx + jry$

&

rx = R

ry = 0

' espressione di A1 = ax+jay

ax = 0

ay = -1 / (6.28 * f * C)

' espressione di C1 = cx+jcy

cx = 0

cy = (6.28 * f * L)

' SEZIONE 7 - calcolo di K e di B1

' espressione di B1 da calcolare B1 = bx+jby

' calcolo di B1= bx+jby = C1+A1//R = C1+ 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  $H = A1//B1 = hx+jhy$ 

x1 = ax

y1 = ay

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  $F = (R/(A1//B1))+1 = (R/H)+1 = fx+jfy$ 
' ( F è la prima variabile di servizio )

x1 = rx

y1 = ry

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 calcmo ' 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

calcm0d :

$$M = \text{SQR}(ux^2 + uy^2) \text{ ' modulo}$$

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

$$\text{PSET}((460 / Fm) * f, -320 / 40 * D), 14$$

NEXT f ' rimanda all'istruzione For f=1 to Fm
' per il calcolo del successivo valore di M

A1.2 Esercitazione numerica e grafica per il dimensionamento di un filtro Passa Basso

Sia da calcolare un filtro passa basso con banda limitata alla frequenza $f_0 = 1200$ Hz, siano fissati in 1300 ohm i valori delle resistenze di terminazione R, se ne tracci la curva di risposta in ampiezza dalla frequenza 0 alla frequenza $F_{max} = 2500$ Hz con un passo di incremento in frequenza di 10Hz. Impiegando il programma compilato nel paragrafo precedente abbiamo:

F5

FILTRO PASSA BASSO -att.

1ª fase di introduzione dati fo= ? 1200

R= ? 1300

Fmax =? 2500

Step=? 10

risultati del calcolo dei componenti L = .3450106
(L in Henry, C in Farad)

C = 1.020741E-07

2ª fase di introduzione dati Fmax=? 2500

Step=? 10

Dopo l'introduzione dell'ultimo dato si forma il reticolo ad un quadrante ed inizia il tracciamento della curva di risposta, traccia di colore giallo.

Dato che i calcoli per la presentazione della curva di risposta del filtro richiedono molte operazioni, il P.C impiegherà qualche secondo per la visualizzazione grafica completa.

Il tempo di esecuzione del programma dipende naturalmente dal tipo del P.C. e dal valore dell'incremento in frequenza impostato.

Il risultato grafico è riportato in figura 73, da esso si osserva:

-alle frequenze molto inferiori ad f_0 l'attenuazione del filtro è costante a livello di -6dB, questo valore di attenuazione dipende dal tipo di pilotaggio ipotizzato (pilotaggio di tensione)

-alla frequenza f_0 il filtro presenta un valore di attenuazione pari a -9dB

-alla frequenza F_{max} il filtro presenta un'attenuazione di -25 dB .

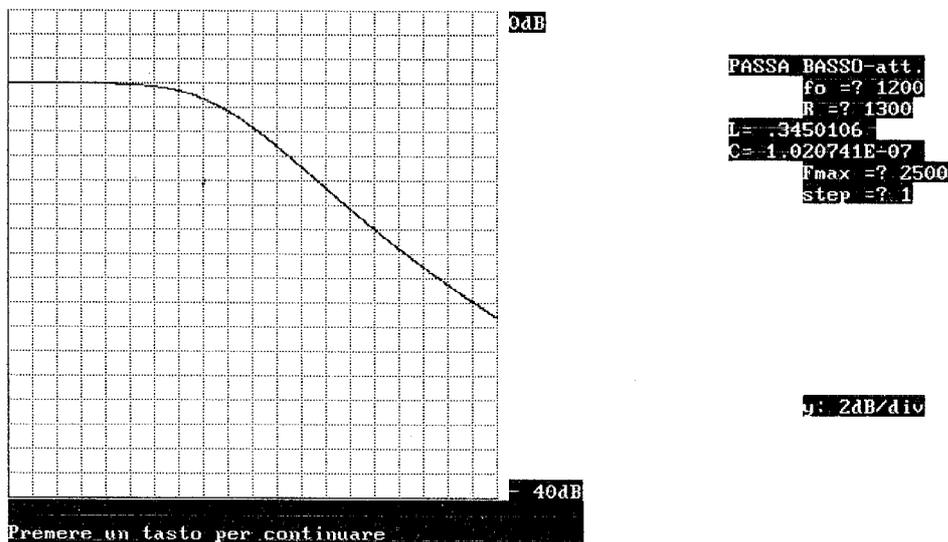


Figura 73
Curva di risposta in ampiezza
del filtro Passa Basso

A1.3 Applicazione del Qbasic al calcolo dei componenti e della risposta in fase di un filtro Passa Basso

Con un programma di elaborazione molto simile a quello mostrato nel paragrafo A1.1 è possibile tracciare l'andamento della risposta in fase del filtro passa basso.

Ferma restando tutta l'impostazione esposta all'inizio del citato paragrafo il nuovo programma si diversifica per il contenuto di alcune delle sezioni di lavoro come segue:

SEZIONE 1 - impostazione modalità di schermo e richiesta dati (valore della frequenza f_0 limite della banda passante, valore delle resistenze di terminazione R)

SEZIONE 2 - calcolo dei componenti del filtro (valore induttanza L, valore capacità C)

SEZIONE 3 - richiesta dati per il tracciamento della curva di risposta (la frequenza massima F_{max} da assegnare alle ascisse del tracciato, il passo -step- per l'incremento di frequenza di calcolo del tracciato)

SEZIONE 4 - formazione del sistema di assi cartesiani ad 1 quadrante (scale delle ascisse in Hz, scale delle ordinate in gradi sessagesimali -pari a 20° /divisione-)

SEZIONE 5 - inizio calcolo automatico in funzione della frequenza

SEZIONE 6 - definizione dei componenti del filtro come numeri complessi

SEZIONE 7 - calcolo di K e di B1

SEZIONE 8 - calcolo di H e della risposta U del filtro in termini complessi

SEZIONE 9 - insieme delle subroutine di calcolo tra numeri complessi che vengono richiamate nel programma

SEZIONE 10 - calcolo dell'argomento Arg e impostazione della funzione grafica PSET

La stesura del programma è la seguente:

' SEZIONE 1 - impostazione modalità di schermo e richiesta dati

SCREEN 9

LOCATE 4, 60: PRINT "PASSA BASSO -fase"

LOCATE 5, 66: INPUT "f 0 ="; fo

LOCATE 6, 66: INPUT "R ="; R

' SEZIONE 2 - calcolo dei componenti del filtro

$L = R / (3.14 * fo)$

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

LOCATE 7, 60: PRINT "L="; L

LOCATE 8, 60: PRINT "C="; C

' SEZIONE 3 - richiesta dati per il tracciamento della curva di fase

LOCATE 9, 66: INPUT "Fmax ="; Fm

LOCATE 10, 66: INPUT "step ="; s

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

LOCATE 20 , 66: PRINT "y: 20°/div"

LOCATE 2 , 59 : PRINT "400°"

LOCATE 24 , 59 : PRINT "0°"

FOR x = 0 TO 460 STEP 23

FOR y = 0 TO 320 STEP 2

PSET (x, y), 7

NEXT y

NEXT x

FOR y = 0 TO 320 STEP 16

FOR x = 0 TO 460 STEP 3

PSET (x, y), 7

NEXT x

NEXT y

LINE (0, 320)-(460, 320)

LINE (0, 0)-(0, 320)

' SEZIONE 5 - inizio calcolo automatico in funzione della frequenza

FOR f = 1 TO Fm STEP s

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

' espressione di $R = rx + jry$

$rx = R$

$ry = 0$

' espressione di $A1 = ax + jay$

$ax = 0$

$ay = -1 / (6.28 * f * C)$

' espressione di $C1 = cx + jcy$

$cx = 0$

$cy = (6.28 * f * L)$

' SEZIONE 7 - calcolo di K e di B1

' espressione di B1 da calcolare $B1 = bx + jby$

&

' calcolo di $B1 = bx + jby = C1 + A1/R = C1 + K$

' 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 $H = A1/B1 = hx + jhy$

$x1 = ax$

$y1 = ay$

$x2 = bx$

$y2 = by$

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 $F = (R/(A1/B1)) + 1 = (R/H) + 1 = fx + jfy$
' (F è la prima variabile di servizio)

&

x1 = rx

y1 = ry

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 calcarg ' ultimato il calcolo di U si passa alla routine
              ' di calcolo per il tracciamento della risposta in fase 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 dell'argomento di U e impostazione
              ' della funzione grafica PSET

```

```

calcarg :

```

```

&

```

```

IF (ux = 0) AND (uy <> 0) THEN R = .00000001#
IF (ux > 0) AND (uy = 0) THEN T = 0
IF (ux < 0) AND (uy = 0) THEN T = 180
IF (uy > 0) AND (ux > 0) THEN T = 0
IF (uy > 0) AND (ux < 0) THEN T = 180
IF (uy < 0) AND (ux < 0) THEN T = 180
IF (uy < 0) AND (ux > 0) THEN T = 360
arg = T + 57.2957 * ATN(uy / ux)
PSET ((460 / Fm) * f, 320 - .8 * (360 - arg)), 14
NEXT f      ' rimanda all'istruzione For f=1 to Fm
            ' per il calcolo del successivo valore di Arg

```

A1.4 Esercitazione numerica e grafica per il tracciamento della risposta in fase di un filtro Passa Basso

Sia da tracciare la risposta in fase del filtro passa basso con banda limitata alla frequenza $f_0 = 1200$ Hz, siano fissati in 1300 ohm i valori delle resistenze di terminazione R, se ne tracci la curva di risposta dalla frequenza 0 alla frequenza $F_{max} = 2500$ Hz con un passo di incremento in frequenza di 10Hz.

Impiegando il programma compilato nel paragrafo precedente abbiamo:

```

F5
FILTRO PASSA BASSO-fase
1ª fase di introduzione dati   fo=? 1200
                               R=? 1300
                               Fmax=? 2500
                               Step=? 10
risultati del calcolo dei componenti   L = .3450106
(L in Henry, C in Farad)
                               C = 1.020741E-07
2ª fase di introduzione dati   Fmax=? 2500
                               Step=? 10

```

Dopo l'introduzione dell'ultimo dato si forma il reticolo ad un quadrante ed inizia il tracciamento della curva di risposta in fase, traccia di colore giallo.

Il risultato grafico è riportato in figura 74, da esso si osserva che la curva di fase del filtro passa basso cresce con la frequenza con legge non lineare, la variazione di fase è contenuta tra 0° e 210° circa.

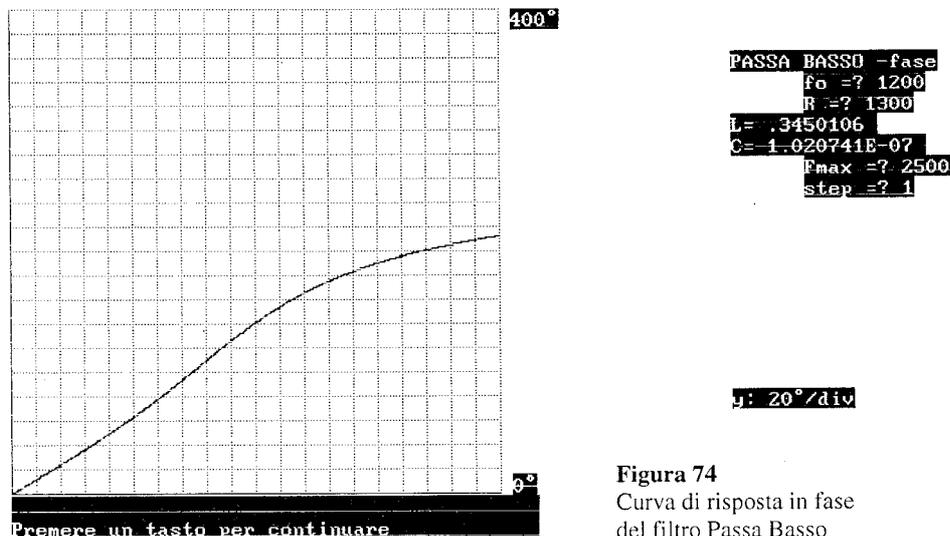


Figura 74
Curva di risposta in fase del filtro Passa Basso

A1.5 Applicazione del Qbasic al calcolo dei componenti e della risposta in ampiezza di un filtro Passa Banda

Per il dimensionamento di un filtro passa banda, la cui struttura è riportata in figura 75, si fissano i limiti di banda passante F1 ed F2 ed il valore voluto delle resistenze di terminazione R, si calcolano i componenti come segue:

$$L1 = R / [\pi (F2 - F1)]$$

$$L2 = R (F2 - F1) / (2 \pi F1 F2)$$

$$C1 = (F2 - F1) / (4 \pi F1 F2 R)$$

$$C2 = 1 / [2 \pi (F2 - F1) R]$$

in cui, espresse F1 ed F2 in Hz ed R in ohm, L1 ed L2 sono in Henry e C1 e C2 in Farad

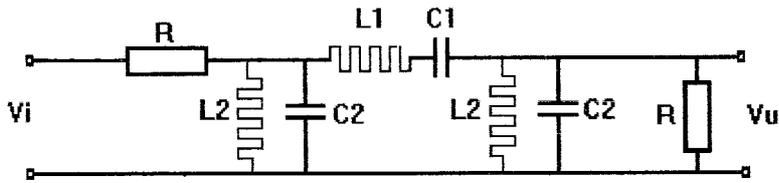


Figura 75
Struttura di un filtro Passa Banda

Per calcolare la risposta del quadripolo dobbiamo anzitutto definire, in termini complessi, i vari componenti che lo costituiscono:

assunto

$$\omega = 2\pi f \quad \text{la pulsazione angolare}$$

si ha

$$\text{La reattanza di } L1 = l1x + j l1y = 0 + j 2\pi f L1$$

$$\text{La reattanza di } L2 = l2x + j l2y = 0 + j 2\pi f L2$$

$$\text{La reattanza di } C1 = c1x + j c1y = 0 - j / 2\pi f C1$$

$$\text{La reattanza di } C2 = c2x + j c2y = 0 - j / 2\pi f C2$$

$$\text{La resistenza } R = R + j 0$$

sulla base della figura 75 (filtro pilotato di tensione) possiamo scrivere:

$$\text{per il parallelo tra } L1 \text{ e } C2 \quad A = L1 // C2 = ax + j ay$$

$$\text{per la serie tra } L1 \text{ e } C1 \quad B = L1 + C1 = bx + j by$$

$$\text{per il parallelo tra } A \text{ ed } R \quad C = A // R = cx + j cy$$

$$\text{per la serie tra } B \text{ e } C \quad D = B + C = dx + j dy$$

$$\text{per il parallelo tra } A \text{ e } D \quad E = A // D = ex + j ey$$

$$\text{per la serie tra } R \text{ ed } E \quad F = R + E = fx + j fy$$

$$\text{per il reciproco di } F \quad G = 1 / F = gx + j gy$$

per il prodotto tra G ed E $H = G \cdot E = hx + j hy$

per il prodotto tra H e C $I = H \cdot C = ix + j iy$

da cui la funzione di risposta:

$$V_u / V_i = U = I / D = ux + j uy$$

Il programma per il calcolo ed il tracciamento della curva di risposta in ampiezza del filtro passa banda è diviso in 10 sezioni:

SEZIONE 1 - impostazione modalità di schermo e richiesta dati (valori delle frequenze F1 ed F2 limiti della banda passante, valore delle resistenze di terminazione R)

SEZIONE 2 - calcolo dei componenti del filtro (valori delle induttanze L1, L2; valori delle capacità C1, C2)

SEZIONE 3 - richiesta dati per il tracciamento della curva di risposta (la frequenza minima Fmin e la frequenza massima Fmax da assegnare alle ascisse del tracciato, il passo -step- per l'incremento di frequenza di calcolo del tracciato)

SEZIONE 4 - formazione del sistema di assi cartesiani ad 1 quadrante (scale delle ascisse in Hz, scale delle ordinate in dB -pari a 2dB/divisione-)

SEZIONE 5 - inizio calcolo automatico in funzione della frequenza

SEZIONE 6 - definizione dei componenti del filtro come numeri complessi

SEZIONE 7 - calcolo delle variabili complesse A; B; C; D; E; F; G; H; I

SEZIONE 8 - calcolo della risposta U del filtro in termini complessi

SEZIONE 9 - insieme delle subroutine di calcolo tra numeri complessi che vengono richiamate nel programma

SEZIONE 10 - calcolo del modulo di U e impostazione della funzione grafica PSET

Viene di seguito compilato e commentato il programma per il calcolo dei componenti ed il tracciamento della curva di risposta in ampiezza del filtro passa banda:

' SEZIONE 1 - impostazione modalità di schermo e richiesta dati

SCREEN 9

LOCATE 4, 60: PRINT "PASSA BANDA-att."

LOCATE 5, 66: INPUT "F1="; F1

LOCATE 6, 66: INPUT "F2="; F2

LOCATE 7, 66: INPUT "R="; R

&

' SEZIONE 2 - calcolo dei componenti del filtro

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

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

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

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

LOCATE 8, 60: PRINT "L1="; L1

LOCATE 9, 60: PRINT "L2="; L2

LOCATE 10, 60: PRINT "C1="; C1

LOCATE 11, 60: PRINT "C2="; C2

' SEZIONE 3 - richiesta dati per il tracciamento della curva di risposta

LOCATE 12, 66: INPUT "Fmin="; F1

LOCATE 13, 66: INPUT "Fmax="; Fm

LOCATE 14, 66: INPUT "step="; s

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

LOCATE 20, 66: PRINT "y: 2dB/div"

LOCATE 2, 59 : PRINT " 0 dB"

LOCATE 24, 59 : PRINT "-40dB"

FOR x = 0 TO 460 STEP 23

FOR y = 0 TO 320 STEP 2

PSET (x, y), 7

NEXT y

NEXT x

FOR y = 0 TO 320 STEP 16

FOR x = 0 TO 460 STEP 3

PSET (x, y), 7

NEXT x

NEXT y

LINE (0, 320)-(460, 320)

LINE (0, 0)-(0, 320)

&

' SEZIONE 5 - inizio calcolo automatico in funzione della frequenza

FOR F = (F1 + 1) TO Fm STEP s

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

' espressione di R = rx+jry

rx = R

ry = 0

' espressione di L1 = l1x+jl1y

l1x = 0

l1y = 6.28 * F * L1

' espressione di L2 = l2x.+jly

l2x = 0

l2y = 6.28 * F * L2

' espressione di C1 = c1x+jc1y

c1x = 0

c1y = -1 / (6.28 * F * C1)

' espressione di C2 = c2x+jc2y

c2x = 0

c2y = -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 = ax+jay

x1 = l2x

y1 = l2y

x2 = c2x

y2 = c2y

GOSUB parall ' invia alla subroutine parall per il calcolo di A

ax = x1

ay = y1

' computo di B = L1+C1 =bx+jby

x1 = l1x

&

```

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 $H = G \cdot E =hx+jhy$

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 l
ix = xm
iy = ym

' SEZIONE 8 calcolo della risposta del filtro
' computo di U = l/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

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 e impostazione della funzione PSET
'calcolo del modulo
calcom:
M = SQR(ux ^ 2 + uy ^ 2) ' calcolo del modulo
D = 20 * (LOG(M) / LOG(10)) ' espressione del modulo in dB
PSET ((460 / Fm) * F, -320 / 40 * D), 14
NEXT F ' rimanda all'istruzione For F= .....
' per il calcolo del successivo valore di M

```

A1.6 Esercitazione numerica e grafica per il tracciamento della risposta in ampiezza di un filtro Passa Banda

Sia da tracciare la risposta in ampiezza di un filtro passa banda con banda limitata tra $F_1 = 5000$ Hz e $F_2 = 10000$ Hz, siano fissati in 2000 ohm i valori delle resistenze di terminazione R, se ne tracci la curva di risposta dalla frequenza $F_{min} = 1000$ Hz alla frequenza $F_{max} = 20000$ Hz con un passo di incremento in frequenza di 50Hz.

Impiegando il programma compilato nel paragrafo precedente abbiamo:

```

F5
      FILTRO PASSA BANDA-att.

1ª fase di introduzione dati      F1= ? 5000
                                   F2=? 10000
                                   R= ? 2000

risultati del calcolo dei componenti      L1 = .1273885
(L in Henry, C in Farad)                 L2 = 3.184713E-02
                                           C1 = 3.980892E-09
                                           C2 = 1.592357E-08

```


SEZIONE 3 - richiesta dati per il tracciamento della curva di fase (la frequenza minima Fmin e la frequenza massima Fmax da assegnare alle ascisse del tracciato, il passo -step- per l'incremento di frequenza di calcolo del tracciato)

SEZIONE 4 - formazione del sistema di assi cartesiani ad 1 quadrante (scale delle ascisse in Hz, scale delle ordinate in gradi sessagesimale -pari a 20° /divisione-)

SEZIONE 5 - inizio calcolo automatico in funzione della frequenza

SEZIONE 6 - definizione dei componenti del filtro come numeri complessi

SEZIONE 7 - calcolo delle variabili complesse A; B; C; D; E; F; G; H; I

SEZIONE 8 - calcolo della risposta U del filtro in termini complessi

SEZIONE 9 - insieme delle subroutine di calcolo tra numeri complessi che vengono richiamate nel programma

SEZIONE 10 - calcolo dell'argomento Arg di U e impostazione della funzione grafica PSET

La stesura del programma è la seguente:

' SEZIONE 1 - impostazione modalità di schermo e richiesta dati

SCREEN 9

LOCATE 4, 60: PRINT "PASSA BANDA-fase"

LOCATE 5, 66: INPUT "F1="; F1

LOCATE 6, 66: INPUT "F2="; F2

LOCATE 7, 66: INPUT "R="; R

' 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)

LOCATE 8, 60: PRINT "L1="; L1

LOCATE 9, 60: PRINT "L2="; L2

LOCATE 10, 60: PRINT "C1="; C1

LOCATE 11, 60: PRINT "C2="; C2

' SEZIONE 3 - richiesta dati per il tracciamento della curva di fase

LOCATE 12, 66: INPUT "Fmin="; F1 &

LOCATE 13, 66: INPUT "Fmax="; Fm

LOCATE 14, 66: INPUT "step="; s

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

LOCATE 20, 66: PRINT "y: 20°/div"

LOCATE 2 , 59 : PRINT " 400°"

LOCATE 24 , 59 : PRINT"0°"

FOR x = 0 TO 460 STEP 23

FOR y = 0 TO 320 STEP 2

PSET (x, y), 7

NEXT y

NEXT x

FOR y = 0 TO 320 STEP 16

FOR x = 0 TO 460 STEP 3

PSET (x, y), 7

NEXT x

NEXT y

LINE (0, 320)-(460, 320)

LINE (0, 0)-(0, 320)

' 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 = rx+jry

rx = R

ry = 0

' espressione di L1 =l1x+jl1y

l1x = 0

l1y = 6.28 * F * L1

' espressione di L2 = l2x,+jly

l2x = 0

&

$$I_2y = 6.28 * F * L_2$$

' espressione di $C_1 = c_1x + jc_1y$

$$c_1x = 0$$

$$c_1y = -1 / (6.28 * F * C_1)$$

' espressione di $C_2 = c_2x + jc_2y$

$$c_2x = 0$$

$$c_2y = -1 / (6.28 * F * C_2)$$

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

' computo di $A = L_2/C_2 = ax + jay$

$$x_1 = I_2x$$

$$y_1 = I_2y$$

$$x_2 = c_2x$$

$$y_2 = c_2y$$

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

$$ax = x_1$$

$$ay = y_1$$

' computo di $B = L_1 + C_1 = bx + jby$

$$x_1 = I_1x$$

$$y_1 = I_1y$$

$$x_2 = c_1x$$

$$y_2 = c_1y$$

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

$$bx = x_1$$

$$by = y_1$$

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

$$x_1 = ax$$

$$y_1 = ay$$

$$x_2 = rx$$

$$y_2 = ry$$

&

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·C =ix+jjy
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 calcarg ' invia alla routine calcarg per il calcolo dell'argomento Arg di U

' SEZIONE 9

'-----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 dell'argomento e impostazione della funzione PSET

' calcolo dell'argomento

calcarg:

IF (ux = 0) AND (uy <> 0) THEN R = .00000001#

&

```

IF (ux > 0) AND (uy = 0) THEN T = 0
IF (ux < 0) AND (uy = 0) THEN T = 180
IF (uy > 0) AND (ux > 0) THEN T = 0
IF (uy > 0) AND (ux < 0) THEN T = 180
IF (uy < 0) AND (ux < 0) THEN T = 180
IF (uy < 0) AND (ux > 0) THEN T = 360
arg = T + 57.2957 * ATN(uy / ux)
PSET ((460 / Fm) * f, 320 - .8 * (360 - arg)), 14
NEXT F      ' rimanda all'istruzione For F= .....
            ' per il calcolo del successivo valore di Arg

```

A1.8 Esercitazione numerica e grafica per il tracciamento della risposta in fase di un filtro Passa Banda

Sia da tracciare la risposta in fase di un filtro passa banda con banda limitata tra $F1 = 5000$ Hz e $F2 = 10000$ Hz, siano fissati in 2000 ohm i valori delle resistenze di terminazione R, se ne tracci la curva di fase dalla frequenza $Fmin = 1000$ Hz alla frequenza $Fmax = 20000$ Hz con un passo di incremento in frequenza di 50 Hz.

Impiegando il programma compilato nel paragrafo precedente abbiamo:

```

F5
      FILTRO PASSA BANDA-fase
1ª fase di introduzione dati   F1=? 5000
                                F2=? 10000
                                R=? 2000
risultati del calcolo dei componenti
(L in Henry, C in Farad)
                                L1 = .1273885
                                L2 = 3.184713E-02
                                C1 = 3.980892E-09
                                C2 = 1.592357E-08
2ª fase di introduzione dati   Fmin=? 1000
                                Fmax=? 20000
                                Step=? 50

```

Dopo l'introduzione dell'ultimo dato si forma il reticolo ad un quadrante ed inizia il tracciamento della curva di risposta in fase mostrata in figura 77, traccia di colore giallo.

Dalla curva si osserva che il tracciato presenta una apparente discontinuità alla frequenza media geometrica tra F1 ed F2 (7071 Hz); tale fenomeno non rappresenta una reale discontinuità ma è il naturale passaggio tra il valore della fase che ha raggiunto 360° e la ripresa di crescita della fase stessa che inizia da 0°. Infatti il primo tratto di curva si estende da 100° alla frequenza di 1000 Hz fino a 360° raggiunti alla frequenza di 7071 Hz. Il secondo tratto riprende con 0° alla frequenza di 7071 Hz fino a circa 238° alla frequenza di 20000 Hz.

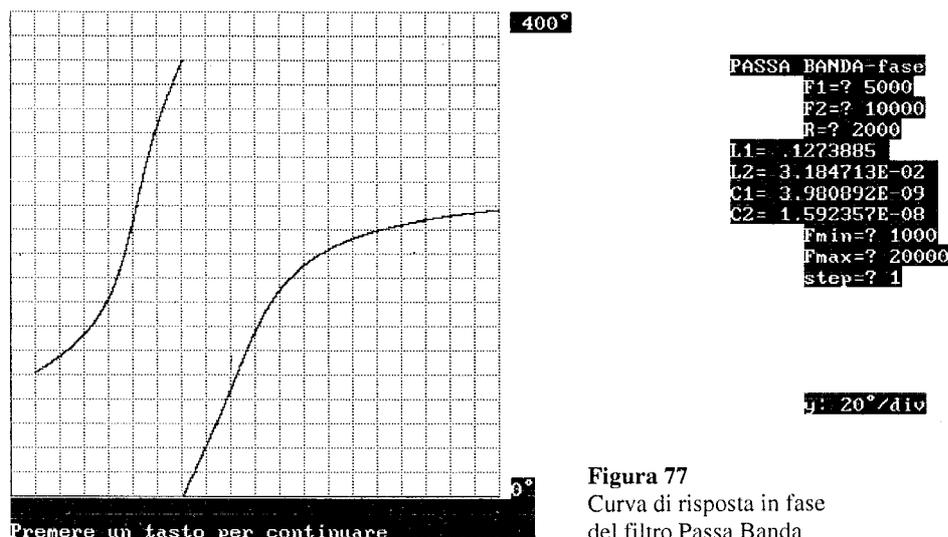


Figura 77
Curva di risposta in fase del filtro Passa Banda

A1.9 Conclusioni

Gli esercizi svolti in questa appendice sono esempi di ciò che si può fare implementando in Qbasic le metodologie di calcolo dei numeri complessi per l'analisi dei quadripoli.

Impiegando il metodo di "parzializzazione" per isolare le diverse componenti reattive delle reti, similmente a quanto fatto ad esempio per ottenere le A; B; C; D; E; F; G; H; I dalla struttura passa banda di figura 75, è possibile affrontare lo studio di quadripoli di notevole complessità.

Seguendo le modalità di compilazione dei programmi mostrati in precedenza, ampliandoli e modificandoli per adattarli alle nuove problematiche, si potranno ottenere importanti risultati.