

FILTRI PASSA BANDA
IN MODO EVANESCENTE
PER I RICEVITORI VLBI

di Sergio Mariotti

Rapporto Interno I.R.A. N° 208/95

file: rap_evan.doc

Introduzione

Lo scopo di questo Rapporto Interno è di proporre un metodo di progettazione e di costruzione di filtri passa banda per le microonde di semplice realizzazione e che non richiedano componenti critici e/o costosi.

Il filtro ad onda evanescente

I filtri qui presentati assomigliano (per struttura meccanica) a quelli fatti in tecnologia Comb-Line; sono cioè composti da una struttura tubolare di metallo e da risuonatori (delle viti parallele fra loro) perpendicolari al percorso del segnale, piazzati a distanza e profondità opportuna.

Le dimensioni interne del tubo sono tali che se il tubo stesso viene considerato una guida d'onda, **NON** permetterebbe il passaggio del segnale utile.

In realtà non è vero che in una guida d'onda non passa un segnale al disotto della frequenza di taglio, la propagazione avviene con una fortissima attenuazione per unità di lunghezza, tipicamente il segnale si annulla dopo qualche millimetro o al massimo qualche centimetro dopo il lanciatore.

Ora se in quella ridotta zona di spazio viene introdotto un circuito risonante e poi un altro ancora ad una distanza ciclica, si può far propagare il segnale stesso senza attenuazione realizzando cioè un filtro passa banda.

Questi filtri si possono realizzare con spezzoni di guida d'onda con $f_c = 2 f_0$ quindi di dimensioni ridotte rispetto ai filtri in cavità.

Ad esempio si può usare della guida WR 90 per un filtro sui 3 GHz o la guida WR 42 per un filtro sui 10 GHz.

Le caratteristiche principali di questo tipo di filtro sono:

| | | | |
|-------------------------------|--------------------|------------------------------|--------------|
| - bassa perdita d' inserzione | Loss | $1.5 * N / BW\%$ | dB |
| - ottimo return loss | R.L | 20 | dB |
| - ottima pendenza fuori banda | | | |
| - facile realizzazione | | | |
| - dimensioni contenute | Lunghezza | $640 * N / (f_{GHz} * BW\%)$ | mm |
| | larghezza | $60 / f_{GHz}$ | mm |
| - stabilita` di temperatura | $\Delta f_0 / f_0$ | 10 | ppm * N / °C |

dove:

$$BW\% := (\Delta f / f_0) * 100$$

N := Numero delle sezioni del filtro

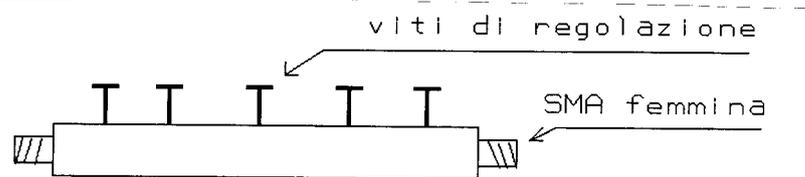


fig. 1

Filtro schematizzato

Per progettare il filtro ci si aiuta con un software che ho scritto implementando le formule in (1) che da come output la distanza delle viti di regolazione fra loro e il \varnothing delle viti stesse.

La profondità delle viti si trova sperimentalmente con un analizzatore di reti, ed e' funzione della frequenza di accordo.

Più le viti si inseriscono e più la frequenza di accordo si abbassa, una volta raggiunto l'accordo tutte le viti hanno la stessa profondità.

L'accoppiamento dei risonatori terminali con i connettori coassiali può avvenire in vari modi: accoppiamento con probe sul piano E della guida d'onda, loop sul piano H , ma il migliore accoppiamento è sicuramente quello "**capacitivo e regolabile**"(cioè capacità di testa regolabili in fase di taratura); tale tipo di accoppiamento garantisce un ottimo adattamento (return loss) ed una forma della curva molto vicina a quella scelta in fase di progettazione (vedi fig.2).

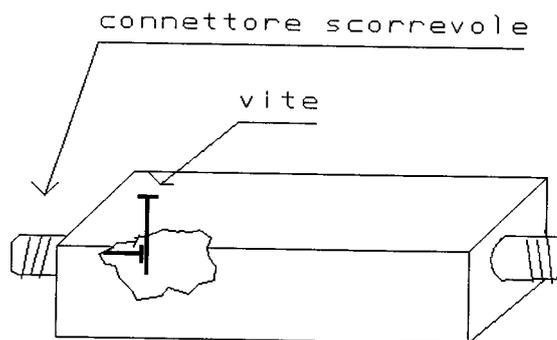


fig. 2

Accoppiamento capacitivo e variabile

Limiti di realizzazione

La frequenza è limitata in basso a circa 1 GHz, al disotto di tale valore il filtro comincia ad assumere dimensioni considerevoli, conviene pertanto spostarsi su altre tecniche (LC, eliche, tubolari ecc.), sopra i 20 GHz le piccole dimensioni meccaniche rendono il filtro di difficile realizzazione.

La larghezza della banda passante è limitata verso le bande strette (narrow band-width) dal modello software, mentre per bande larghe (wide band-width) il limite è imposto dalle viti troppo vicine l' una all' altra, generalizzando si può dire che:

| | | | | | |
|-----|---|------|---|------|------------------------|
| 2 % | < | BW % | < | 50 % | Per filtri a 3 sezioni |
| 5 % | < | BW % | < | 40 % | Per filtri a 7 sezioni |

Il numero delle sezioni deve essere maggiore di 3.

La stabilità del filtro è essenzialmente legata alla stabilità meccanica, per cui ogni vite deve essere fissata solidamente al corpo del filtro, pena la microfonicità; il corpo del filtro deve essere "robusto", se si usano guide d' onda, la pressione del palmo della mano, flettendo la sottile parete del filtro, può provocare una instabilità. Conviene pertanto utilizzare corpi-filtro con pareti con spessore adeguato (spessore parete $\geq 1/5$ del diametro interno del tubo).

Esempi di realizzazione

Realizzare due filtri a 5 sezioni aventi:

- a) $f_0 / BW = 7400/1250$ MHz
- b) $f_0 / BW = 2000/400$ MHz

Si usa il software "FILTRI.EXE ed il risultato è una "videata" del tipo:

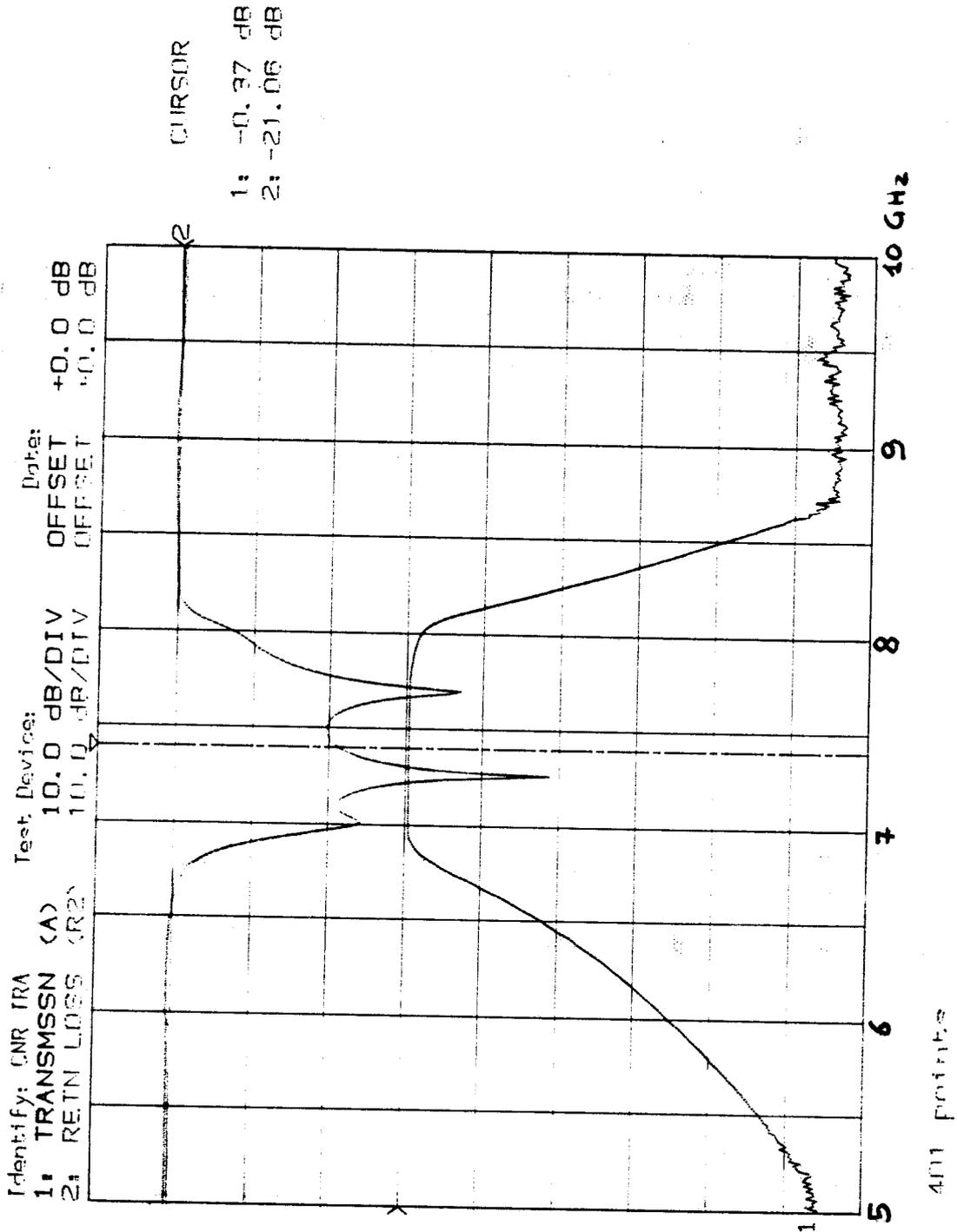
```
*** EVANESCENT MODE FILTER ***

F1= 6.775E+09      F2= 8.025E+09      RIPPLE= .01 dB
Custom waveguide type: 'a' * 'b' = .01 .01
Fc= 1.4989E+10      Gamma= 273.5086      Delta=
.8623459
Screw Ø 1/5 of 'a' dimension
      L0   L1   L2   L3   L4   Ln
      +---+-----+-----+-----+-----+-----+
      +                                     +
      +-----+-----+-----+-----+

L 0 = 1.557465E-02
L 1 = 5.26815E-03
L 2 = 6.508325E-03
L 3 = 6.513746E-03
L 4 = 5.368098E-03
L 5 = 1.557465E-02
```

Ciò significa che abbiamo usato un tubo di ottone a sezione quadrata di interno 10 x 10 mm e le viti di M 2.6 (che sono schematizzate come -+-) sono distanziate di rispettivamente 5.2 mm, 6.5 mm, 6.5 mm, 5.2 mm.

I connettori in testa (che sono schematizzati con +) sono scorrevoli assialmente per poter realizzare una capacità di accoppiamento variabile con le viti terminali. Sono molto utili a questo scopo i connettori tipo Radiall R 125 560 (fig. 2 disegno Radiall). Il risultato del prototipo costruito e realizzato è mostrato in fig. 3 (misura SNA)



(fig. 3 risultati misurati)

Per quanto riguarda il filtro 2000/400, è stato progettato per essere costruito con una WR 112, ma se si vuole ridurre ulteriormente le dimensioni si può usare una WR 90, più piccola della precedente e riempirla di dielettrico (con ϵ_r noto e basso $\tan\delta$) ed usare viti con capacità in testa. Naturalmente aumenta la perdita in banda e la complicazione meccanica nel creare le capacità di testa.

Un metodo per fare dette capacità è quello di forare coassialmente le viti di M 5 o M 6 nella parte opposta alla testa, con una punta di $\varnothing 2.5$, riempire tale foro con un tubino dielettrico dello stesso diametro e $\varnothing 2.0$ interno. Il tutto deve inserirsi in modo coassiale in una vite M 2 che sporge dal lato interno opposto della guida d'onda (fig. 4 particolari foratura vite).

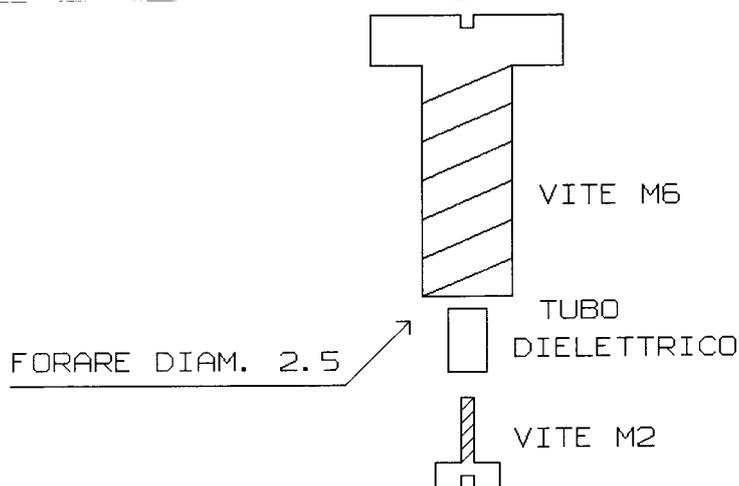


fig. 4

Conclusioni

Per realizzare un filtro passa banda nella regione delle microonde, l'approccio alla tecnica dei filtri in modo evanescente è sicuramente valida sia dal punto di vista economico che da quello tecnico.

La realizzazione pratica, è facilitata da un software descritto in appendice

Bibliografia

- (1) Howard - Lin Microwave Journal Oct.1989 pag 121 - 136
- (2) A.G. WILLIAMS Electronic filter design Mc Graw-Hill Book company
- (3) AA.VV. Note tecniche SGS Thomson

appendice

MANUALE D' USO DEL PROGRAMMA FILTRI

1) GENERALITÀ

Il programma FILTRI.EXE serve per progettare alcuni tipi di filtri elettrici, passivi. Si possono calcolare filtri:

- L.C. di tipo *passa basso* , *passa banda* , *passa alto* e *taglia banda*
- EVANESCENTI, passa banda in guida d'onda.

Ciascun filtro può essere calcolato con risposta tipo **Butterworth**, o **Chebischeff**, o **Bessel** (con una routine approssimata), il programma fornisce inoltre i coefficienti relativi.

2) REQUISITI HARD SOFT

Il programma è stato sviluppato in un 286 con grafica VGA, MS-DOS 4.01, scritto in Quick BASIC e compilato.

Non crea files temporanei o di dati, non necessita di essere inserito in una directory particolare, in poche parole le iterazioni con il DOS sono ridotte al minimo.

Sono disponibili sia il sorgente (FILTRI .BAS) sia l'eseguibile (FILTRI .EXE), richiamabili nella rete locale di PC di Medicina in 386CC\ \C:\QB45\

3) FILOSOFIA DEL PROGRAMMA

Il programma è concepito per essere iterativo e per saltare da una "zona" all'altra usando i tasti Funzione (F1 F2 F3 ecc.) ed un menù sempre visibile nella parte inferiore dello schermo che funziona anche da indicatore della selezione fatta. Ad es. sopra F4 c'è una finestra che indica il tipo di filtro selezionato "Lumped" per filtri L.C oppure "Evan" per filtri in modo evanescente.

Tutte le unità di misura sono in S.I. e non bisogna introdurre l'unità di misura (es. le frequenze sono in Hz le induttanze in H le capacità in F e le lunghezze in metri).

4) USO DEL PROGRAMMA

Lanciare FILTRI.EXE.

4.1) Il tasto F1

Obbligatorio per tutti i tipi di filtro.

Iniziare ad inserire i dati partendo da F1.

Apparirà un sottomenù con tre scelte; digitare:

- 1 <Enter> oppure <Enter> per selezionare il calcolo Butterworth.
- 2 <Enter> per selezionare Chebicheff.
- 3 <Enter> per selezionare calcolo a fase lineare.

Con le opzioni 1 e 3 il programma chiede di inserire l'ordine del filtro e calcola i coefficienti del filtro prototipo (cioè di un filtro passa basso, $f_0 = 1$ Hz, $Z_0 = 1$ Ohm).

Con l'opzione 2 il programma chiede di fare un'altra scelta:

1 <Enter> oppure <Enter> il programma calcola i coefficienti di Chebicheff chiedendo l'ordine del filtro (N) che deve essere rigorosamente dispari (valori tipici 3 o 5 o 7 ecc.) e il ripple in banda in dB (valori tipici 0.01 o 0.05 o 0.1 dB).

2 < Enter> il programma fa il lavoro contrario ovvero conoscendo i valori di banda passante, attenuazione in banda e fuori banda, calcola l'ordine minimo del filtro.

4.2) Il tasto F2

Obbligatorio per filtri LC.

Viene usato solo per i filtri LC ed è uno "switch" per selezionare se si vuole una configurazione che inizi con una *T* o un *PIGRECO*.

Ad esempio T significa che gli elementi terminali (L o C o paralleli di LC) sono tipo "serie" mentre PIGRECO significa che gli elementi terminali sono "shuntati" verso massa.

Il programma chiederà inoltre l'impedenza caratteristica del filtro Z_0 (tipicamente 50 Ohm).

4.3) Il tasto F3

Uso opzionale.

Serve per cambiare Z_0 .

4.4) Il tasto F4

Serve per "commutare" fra vari tipi di filtro.

Di default è *Lumped* ma premendo <F4> poi 2<Enter> si commuta su filtri evanescenti.

4.5) I tasti F5 F6 F7 F8 (con la scelta *Lumped*)

Servono per selezionare il tipo di filtro:

| | |
|----|-----------|
| LP | Low Pass |
| BP | Band Pass |
| HP | High Pass |
| BS | Band Stop |

Poi il programma chiede la (o le) frequenza a -3 dB e stampa i risultati sullo schermo.

Può essere usato <Prnt Scrn> per inviarlo su stampante o su tabella appunti.

4.6) Il tasto F6 (con la scelta *Evan*)

Serve a progettare filtri in modo evanescente.

Il programma chiede le frequenze di taglio (F1 poi F2), poi chiede di scegliere la guida d'onda fra i tipi standard già inseriti o di scegliere un tipo di profilato diverso (ad es. il tubo quadro).

Se la frequenza di taglio della guida scelta è compatibile con le F1 e F2 [$2.8 F_0 > F_c > F_0$, e $F_c > F_2$, dove $F_0 = (F_1 + F_2)/2$], allora il programma darà un output del tipo indicato negli esempi di seguito

Il simbolo -+- identifica la vite di regolazione ed L2...Ln-1 sono le distanze fra gli interassi delle viti.

Il simbolo + rappresenta invece i connettori coassiali di testa.

Se la guida d'onda scelta è troppo piccola o troppo grande il programma vi invita a sceglierne una di diverse dimensioni.

4.7) Il tasto F10

Serve per terminare il programma.

5) ESEMPI

5.1) Esempio 1: filtro a costanti concentrate

Si vuole progettare un filtro passa banda per i 432 MHz che tagli i 450 MHz di almeno 40 dB e che cortocircuiti la corrente continua.

Per risolvere questo problema scegliamo di lavorare al bordo della banda con una banda moderata anziché progettare un filtro molto stretto che sarebbe di difficile realizzazione. Si sceglie quindi una banda da 400 - 435 MHz, visto che il punto a 450 MHz è distante 15 MHz da F2 definiamo una banda a -40 dB più larga della precedente di $15 + 15 = 30$ MHz.

Si lanci ora il programma:

<FILTRI>

Please insert your data starting from KEY 1
What response type do you choose?

- 1) Butterworth <DEFAULT>
- 2) Chebycheff
- 3) Linear phase

? 2

Please select one of following...

- 1) You already know N and you want to use it as an input
(SINTESYS)
- 2) You want calculate N from in-band & out-band attenuation
(ANALIAYS)

? 2

F1, F2 @ -3dB and Ripple? **400,435,.05**

Flow, Fhigh, Attenuation at given frequencies? 385,450,40

N >= 6.118728

Number of poles (ODD) N= ? 7

RIPPLE? .05

| | | | | | | | |
|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|
| g 1 | 1.034594 | a 1 | .2225209 | b 1 | .3732936 | Q 1 | .5172969 |
| g 2 | 1.436944 | a 2 | .6234898 | b 2 | .7962989 | Q 2 | .718472 |
| g 3 | 1.963736 | a 3 | .9009688 | b 3 | 1.135523 | Q 3 | .9818681 |
| g 4 | 1.616184 | a 4 | 1 | b 4 | 1.135523 | Q 4 | .8080919 |
| g 5 | 1.963736 | a 5 | .9009689 | b 5 | .796299 | Q 5 | .981868 |
| g 6 | 1.436944 | a 6 | .6234899 | b 6 | .3732937 | Q 6 | .7184722 |
| g 7 | 1.034594 | a 7 | .2225211 | b 7 | .1850385 | Q 7 | .517297 |

gamma= .430161 beta= 5.85048

Remember that you should compute prototipe

What filter configuration do you choose?

- 1) T <DEFAULT>
- 2) π

? 2

Zo =? 50

C 1 2.069187E-02
L 2 71.8472
C 3 3.927472E-02
L 4 80.80919
C 5 3.927472E-02
L 6 71.84721
C 7 2.069188E-02

***** BAND PASS *****

Zo= 50 Ω

F1= 4E+08 Hz F2= 4.35E+08 Hz

| | | | |
|------------------|-------------|-------------|-------------|
| Canonical scheme | narrowband | schemes | only |
| C1 L1 C3 L3 | C1 L1 C3 L3 | C1 L1 C3 L3 | C1 L1 C3 L3 |
| --+-----+-- | --+-----+-- | --+-----+-- | --+-----+-- |
| | | | |
| __ -+- | -+- | __ | - |
| L2- C2- | C2 - | L2 - | |

| | | |
|---------------------|---------------------|--------|
| LS 1 = 2.352296E-07 | LS 1 = 2.352296E-07 | LS 1 = |
| 2.163031E-07 | | |
| CS 1 = 6.188695E-13 | CS 1 = 6.730206E-13 | CS 1 = |
| 6.188695E-13 | | |
| CP 2 = 1.306839E-10 | CP 2 = 5.477767E-12 | |
| LP 2 = 1.113959E-09 | | LP 2 = |
| 1.371852E-08 | | |
| LS 3 = 4.464833E-07 | LS 3 = 4.464833E-07 | LS 3 = |
| 4.105594E-07 | | |
| CS 3 = 3.260512E-13 | CS 3 = 3.545807E-13 | CS 3 = |
| 3.260512E-13 | | |
| CP 4 = 1.469849E-10 | CP 4 = 6.161046E-12 | |
| LP 4 = 9.904173E-10 | | LP 4 = |
| 1.542972E-08 | | |
| LS 5 = 4.464833E-07 | LS 5 = 4.464833E-07 | LS 5 = |
| 4.105594E-07 | | |
| CS 5 = 3.260512E-13 | CS 5 = 3.545807E-13 | CS 5 = |
| 3.260512E-13 | | |
| CP 6 = 1.306839E-10 | CP 6 = 5.477767E-12 | |
| LP 6 = 1.113959E-09 | | LP 6 = |
| 1.371852E-08 | | |
| LS 7 = 2.352297E-07 | LS 7 = 2.352297E-07 | LS 7 = |
| 2.163032E-07 | | |
| CS 7 = 6.188693E-13 | CS 7 = 6.730203E-13 | CS 7 = |
| 6.188693E-13 | | |

Si sceglierà la configurazione più consona alle proprie esigenze e si arrotonderanno i valori di L e C a quelli commerciali o si useranno capacità variabili.

Le induttanze sono troppo piccole per essere realizzate per cui a queste frequenze non si riesce a realizzare questo filtro se non alzando Z_0 , l'esempio vale comunque come esercizio e come "sintesi circuitale" da impiegarsi nel CAD.

5.2) Esempio 2: filtro ad onda evanescente

Progettare un filtro passa banda in modo evanescente a 5 sezioni con banda passante da 1.25 GHz a 1.35 GHz.

Lanciando Filtri si ottiene:

```
Please insert your data starting from KEY 1
What response type do you choose?
  1)      Butterworth      <DEFAULT>
  2)      Chebycheff
  3)      Linear phase
? 1
Number of poles N= ? 5
g 1 = .6180339      Q 1 = .309017
g 2 = 1.618034      Q 2 = .8090169
g 3 = 2              Q 3 = 1
g 4 = 1.618034      Q 4 = .8090171
g 5 = .6180342      Q 5 = .3090171
Remember that you should compute prototipe

About filter tecnology, please select one of following:

  1)      Lumped          <DEFAULT>
  2)      evanescent mode
  3)       $\mu$  strip

? 2

      *** EVANESCENT MODE FILTER ***
Choose one of the following:

  1)      Capacitive end launcher (require correction)
<DEFAULT>
  2)      TE10 - E field probe    (don't require correction)
? 1
      *** EVANESCENT MODE FILTER ***

F1= ? 1.25e9
F2= ? 1.35e9
```

Select standard or user-defined Waveguide...

- 1) WR 187 cutoff 3.152 GHz
- 2) WR 112 cutoff 5.259 GHz
- 3) WR 90 cutoff 6.557 GHz
- 4) WR 75 cutoff 7.868 GHz
- 5) WR 42 cutoff 14.047 GHz
- 6) WR 28 cutoff 21.081 GHz
- 7) user defined inside dimension <DEFAULT>

? 1

*** EVANESCENT MODE FILTER ***

F1= 1.25E+09 F2= 1.35E+09 RIPPLE= 0 dB
Waveguide type: WR 187
Fc= 3.152E+09 Gamma= 60.19031 Delta=
.9071921
Screw Ø 1/5 of 'a' dimension
L0 L1 L2 L3 L4 Ln
+---+---+---+---+---+---+
+ +
+-----+

L 0 = 7.077219E-02
L 1 = 3.820612E-02
L 2 = 4.787925E-02
L 3 = .0478801
L 4 = .0382909
L 5 = 7.077219E-02

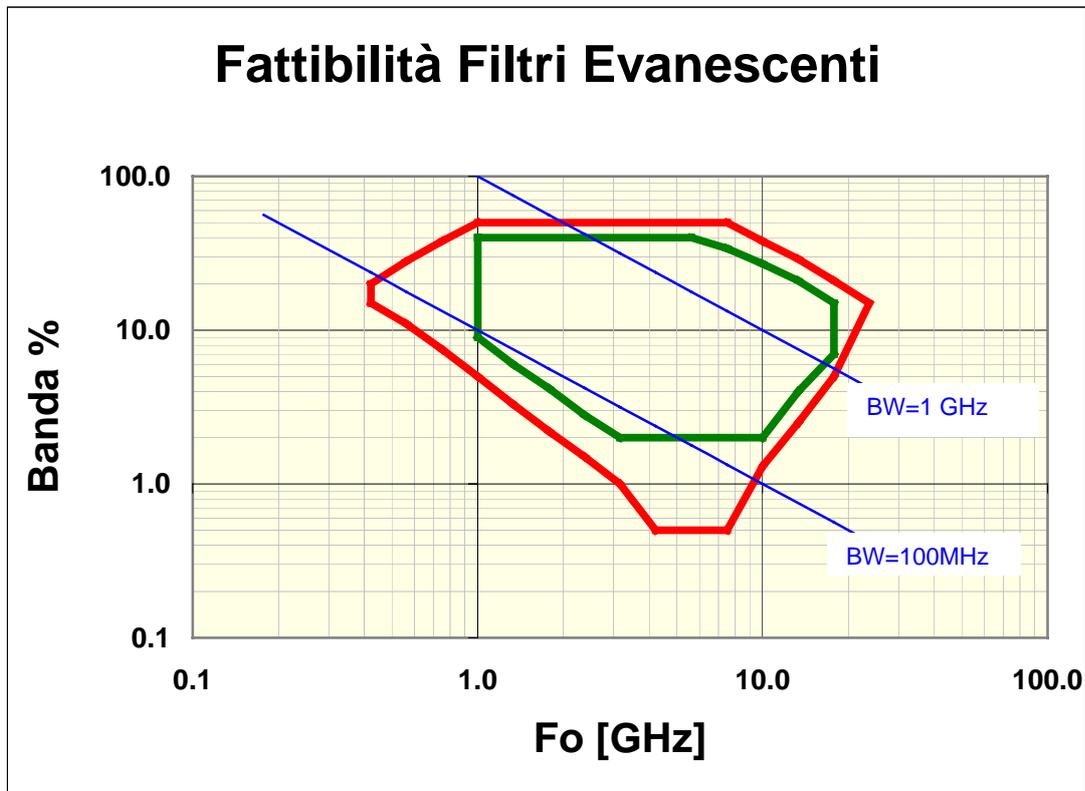
6) ERRORI NOTI

Se si usano i comandi di indirizzamento in file (es. FILTRI.EXE>FILTRI.DAT), il programma non stampa su video.

Nella ver. 1.16, è stato corretto un errore nell'algoritmo dei filtri evanescenti che faceva sì che i prototipi realizzati avessero una larghezza di banda di circa il 10% in meno, quindi quando si progettava un filtro, bisognava impostare sempre una banda di circa il 10 % più larga.

Non si importano in "MS Windows Appunti" (<print screen>) i caratteri semigrafici.

Appendice: Fattibilità pratica dei filtri ad onda evanescente



Il grafico rappresenta i limiti di fattibilità dei filtri ad onda evanescente utilizzando le tecniche realizzative descritte nel presente report.

Per comodità sono state riportate pure due curve a banda passante costante (100MHz e 1 GHz).

L'area racchiusa fra le curve verdi rappresenta una zona dove il filtro può essere costruito con relativa facilità, mentre le zone rosse rappresentano il confine nel quale il filtro può essere costruito con maggiori difficoltà.

Al di fuori del confine rosso il filtro è di costruzione quasi impossibile.

I limiti sono fissati da:

- dimensione delle viti-risonatori (non inferiori a M1.4). Il diametro della vite-risonatore è proporzionale alla lunghezza d'onda, in pratica $Fo \text{ max} = 18 \dots 22 \text{ GHz}$.
- distanza non troppo piccola fra i risonatori ($BW\% \text{ max} = 40 \dots 50\%$). Se $BW\%$ fosse maggiore, le viti si toccherebbero.
- distanza non troppo grande fra risonatori ($BW\% \text{ min} = 1\%$). La Perdita d'inserzione sarebbe troppo alta.
- dimensioni complessive non troppo grandi ($Fo \text{ min} = 1 \text{ GHz}$).