



ELAD

Application note AN-001

MISURA E TARATURA DI FILTRI

Esempio pratico di verifica e accordo di filtri a costanti concentrate e distribuite con analizzatore di reti scalare

IV3XXE Andrea Spagnol
IW3SQT Franco Milan

Indice.

1. Introduzione
2. Richiami su topologie e caratteristiche dei filtri
3. Filtri a costanti concentrate
4. Esempio: filtro passa - banda per i 70 cm
5. Variazioni di taratura del filtro per i 70 cm
6. Filtri a costanti distribuite
7. Esempio: filtro passa - banda microstrip per i 23 cm
8. Variazioni di taratura del filtro per i 23 cm
9. Conclusioni



1. Introduzione

Nelle apparecchiature a radiofrequenza i filtri svolgono molte funzioni fondamentali, quali ad esempio:

- riduzione delle armoniche all'uscita dei trasmettitori
- selezione dell'armonica desiderata negli stadi moltiplicatori di frequenza
- eliminazione dei segnali non desiderati all'ingresso dei ricevitori

Anche disponendo di apparati di buone caratteristiche, esistono situazioni nelle quali un filtro aggiuntivo esterno può dare vantaggi per la ridurre l'intermodulazione causata da forti segnali interferenti.

Per realizzare filtri di buone caratteristiche, serve una strumentazione in grado di verificarne la risposta in frequenza; per i casi più semplici un generatore con un rivelatore può essere sufficiente per la taratura, ma nella maggior parte dei casi serve qualcosa in grado di misurare contemporaneamente il R.O.S. e la perdita di inserzione; per far fronte a queste ed altre esigenze, Elad ha realizzato l'analizzatore di reti scalare SNA 2550 che copre il range di frequenza da 0,4 a 2.500 MHz.

E' uno strumento PC – based, cioè viene controllato da un PC dotato di un software specifico.

Per fornire una serie di indicazioni specifiche per la realizzazione e la taratura di filtri, presenteremo nel seguito alcuni esempi applicativi.

In particolare, saranno descritte la costruzione e le misure effettuate su due filtri:

- un filtro LC ad alta selettività per i 435 MHz
- un filtro microstrip compatto per i 1296 MHz

Per completare la trattazione, saranno anche richiamate brevemente alcune definizioni relative all'argomento filtri.

2. Richiami su topologie e caratteristiche dei filtri

I filtri possono essere classificati secondo vari criteri.

La prima possibile classificazione si basa sulla funzione circuitale dei filtri; le possibili funzioni sono:

- *Passa – basso*
il filtro attenua le frequenze al di sopra della frequenza di taglio
- *Passa – alto*
il filtro attenua le frequenze al di sotto della frequenza di taglio
- *Passa – banda*
il filtro attenua le frequenze al di sopra della frequenza di taglio superiore e al di sotto della frequenza di taglio inferiore
- *Stoppa – banda*
il filtro attenua le frequenze al di sotto della frequenza di taglio superiore e al di sopra della frequenza di taglio inferiore

Una seconda classificazione può essere fatta secondo il tipo di funzione matematica descrivente la risposta:

- *Tchebyscheff*:
la risposta in banda presenta delle leggere ondulazioni, consentendo di aumentare la ripidità di taglio nelle frequenze appena fuori banda
- *Butterworth*:
la risposta in banda presenta la massima piatezza, consentendo di ottenere il minimo R.O.S. in banda passante
- *Bessel*:
la risposta in banda ha una transizione graduale verso il fuori banda, consentendo di minimizzare la distorsione di fase (importante per la trasmissione dati ad alta velocità o per segnali video)
- *Ellittico*:
la risposta fuori banda presenta dei punti di massima attenuazione per la presenza di notch, consentendo di ottenere una notevole ripidità di taglio nelle frequenze appena fuori banda, a prezzo di una attenuazione non elevata alle frequenze molto fuori banda

Una terza classificazione può essere fatta secondo il tipo di componenti utilizzati per la realizzazione del filtro:

- *Filtri a costanti concentrate*
sono realizzati con componenti reattivi standard, cioè induttanza e capacità (tra le induttanze vanno compresi anche i trasformatori), ed eventualmente resistenze
- *Filtri a costanti distribuite*
sono realizzati con linee di trasmissione (in forma di linee coassiali, microstrip, stripline, guide d'onda o strutture simili), in cui i parametri di induttanza e capacità sono distribuiti in tutti i punti della struttura; sono ovviamente possibili anche filtri con strutture miste
- *Filtri attivi*
sono realizzati con elementi passivi (preferibilmente a costanti concentrate, spesso resistenze e condensatori) e circuiti amplificatori, opportunamente collegati in modo da incrementare la selettività degli elementi passivi ed eventualmente ottenere anche un po' di guadagno

Parametri dei filtri:

- *Frequenza di taglio*
frequenza che separa la banda passante (frequenze che attraversano il filtro con bassa attenuazione) dalla banda attenuata; per i filtri passa – banda esistono due frequenze di taglio, inferiore e superiore
- *Attenuazione in banda passante*
attenuazione dei segnali con frequenze comprese nella banda passante dovuta all'adattamento di impedenza non perfetto e alle perdite resistive dei componenti passivi
- *Attenuazione fuori banda*
attenuazione dei segnali con frequenze al di fuori della banda passante dovuta al disadattamento di impedenza (meccanismo normalmente usato per ottenere la funzione di filtraggio) o alla potenza deviata su terminazioni resistive interne al filtro (filtri adattati in impedenza anche fuori della banda passante)
- *Fattore di forma*
rapporto tra la banda passante (a -3 o -6 dB) e la banda ai cui estremi l'attenuazione raggiunge un valore elevato (normalmente 60 dB); più basso è questo valore, più il filtro è selettivo
- *Risposte spurie*
frequenze fuori della banda passante alle quali l'attenuazione è molto minore di quella normalmente presentata dal filtro a frequenze lontane dalla banda passante
- *Distorsione di fase e ritardo di gruppo*
variazione non lineare con la frequenza della differenza di fase tra ingresso e uscita; il ritardo di gruppo si definisce come la derivata della fase rispetto alla frequenza

Bibliografia:

Matthaei, Young, Jones “Microwave filters, impedance – matching networks, and coupling structures” McGraw – Hill 1964
R. Rhea “HF Filter Design and Computer Simulation” Noble 1994
Liberatore, Parente “Filtri a Microonde” Tecniche Nuove 1990

3. Filtri a costanti concentrate

Per frequenze fino a circa 300 MHz la realizzazione più conveniente per dimensioni, costo e prestazioni risulta essere quella a costanti concentrate; oltre i 3 GHz sono invece generalmente preferibili filtri a costanti distribuite; per la fascia da 300 a 3.000 MHz, si deve valutare caso per caso.

Per ottenere le massime prestazioni da un filtro, occorre utilizzare componenti con un elevato fattore di merito Q; questo significa preferire:

- per i condensatori i tipi con dielettrico NPO (o COG) se ceramici; per prestazioni ancora maggiori usare i tipi con dielettrico in porcellana o i variabili con dielettrico in aria

- per le induttanze in aria il filo di rame argentato e diametri delle spire relativamente elevati
Nei casi in cui si desiderano ottenere bande passanti molto strette (1 % o meno) e risposte fuori banda molto ripide, conviene usare filtri con numero elevato di risonatori (4 o più), più complessi da costruire e tarare rispetto a filtri più semplici ma migliori come maggiore selettività e minori perdite di inserzione. Nel seguito si descriverà un filtro relativamente semplice ma con discrete prestazioni, a 2 risonatori e con accoppiamento magnetico, una configurazione molto comune nei filtri di canale per applicazione nei filtri di canale dei centralini TV.

4. Esempio: filtro passa-banda per i 70 cm

Come esempio di filtro a costanti concentrate presenteremo la realizzazione e le prestazioni di un filtro passa – banda per i 70 cm; l’obiettivo è un filtro destinato a essere usato in uscita a un pre – amplificatore o a un driver di trasmissione, essendo in grado di sopportare una potenza di circa 1 W.

La configurazione scelta si compone di due accordi L –C con condensatori variabili multigiri ad alto Q e con accoppiamenti induttivi (accoppiamento magnetico tra i due accordi e induttanze di accoppiamento e adattamento su ingresso e uscita).

Componenti usati:

- bobine di accordo: 2 spire di filo argentato da 1 mm con diametro interno 4 mm
- bobine di accoppiamento e adattamento: 10 spire di filo argentato da 0,5 mm con diametro interno 4 mm
- condensatori variabili: multigiri con dielettrico aria 0,8 – 10 pF

La distanza tra le bobine di accordo è di circa 10 – 15 mm (varia secondo l’accoppiamento che si vuole ottenere).

La costruzione è relativamente semplice con una scatola di lamiera stagnata con due connettori BNC (vedere figure 1 e 2).

Con bobine di accordo di diametro maggiore si potrebbe ottenere una perdita in banda leggermente migliore, ma per lo scopo di questo articolo, il modesto miglioramento non cambierebbe la validità dei concetti esposti.



Figura 1: foto filtro L – C per i 435 MHz vista lato connettori



Figura 2: foto filtro L – C per i 435 MHz vista lato opposto ai connettori

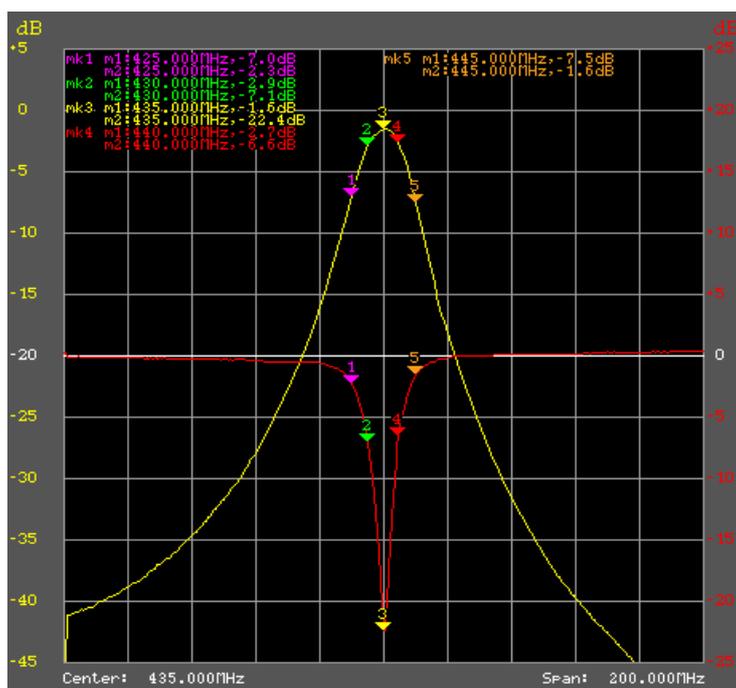


Figura 3: risposta misurata filtro L – C per i 435 MHz con basso accoppiamento

Le prestazioni ottenute sono buone, anche se inferiori ovviamente a quanto ottenibile con filtri in cavità; una attenuazione di circa 10 dB a circa 10 MHz dal centro banda è sufficiente per ridurre in modo apprezzabile l'intermodulazione generata dai segnali di forte intensità presenti nelle bande vicine, i 460 MHz dei ponti radio civili e la banda IV dei trasmettitori TV (curva di risposta ottenuta visibile in figura 3).

5. Variazioni di taratura del filtro per i 70 cm

Per dimostrare l'effetto della variazione della distanza tra le bobine di accordo, si riportano i risultati della misura ottenuti avvicinando di qualche millimetro le due bobine.

Come si può vedere, la banda passante diventa più ampia e la forma del R.O.S. presenta una insellatura al centro della banda, tipica di un accoppiamento stretto.

L'attenuazione a centro banda rimane circa la stessa della configurazione con banda più stretta; ritoccando le induttanze di adattamento si potrebbe migliorare leggermente la perdita di inserzione (nuova curva di risposta ottenuta visibile in figura 4).

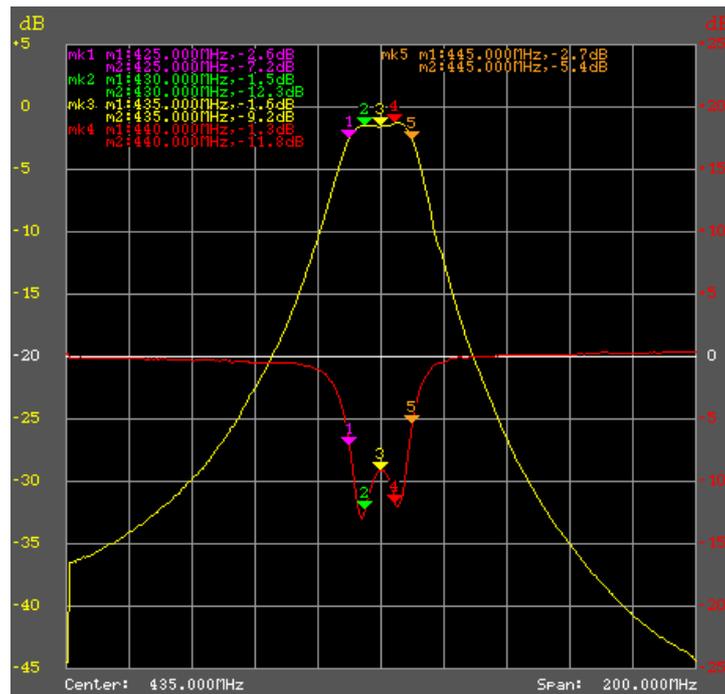


Figura 4: foto filtro L – C per i 435 MHz con accoppiamento incrementato

6. Filtri a costanti distribuite

Per frequenze elevate, diventa conveniente usare una tecnica di costruzione a costanti distribuite.

In particolare, utilizzando elementi microstrip realizzati su circuito stampato in vetronite, si possono realizzare filtri molto economici e con perdite accettabili.

La selettività ottenibile è modesta e quindi non adatta per filtri ripidi, ma per molte applicazioni (come ad esempio negli stadi moltiplicatori di basso ordine) rappresentano una soluzione adeguata.

Le configurazioni utilizzabili sono pressoché infinite e questo può creare qualche incertezza nella scelta del circuito più adatto alla singola applicazione.

La scelta è caduta su una configurazione con due risuonatori parallelo caricati capacitivamente e adattamento di impedenza con collegamento in presa; i condensatori di accordo consentono di spostare leggermente la frequenza di risonanza e di conseguenza di compensare le tolleranze di fabbricazione, sia delle dimensioni che le posizioni delle microstrip, come pure per la costante dielettrica della vetronite.

7. Esempio : filtro passa – banda microstrip per i 23 cm

Il secondo esempio si riferisce a un filtro a due risonatori realizzato con microstrip su circuito stampato in vetronite doppia faccia di spessore 1,6 mm e destinato a essere usato come filtro di attenuazione delle armoniche in una catena di moltiplicazione con uscita in banda 23 cm.

La selettività non è elevata ma il circuito è semplice e si possono usare due filtri in cascata con in mezzo un amplificatore con un minimo di selettività, ottenendo una risposta complessiva adeguata.

La configurazione si compone di due linee accoppiate usate come risonatori e caricate capacitivamente per ridurre la lunghezza e permettere una limitata possibilità di variazione di sintonia, in grado di compensare le tolleranze delle dimensioni delle microstrip, nella costante dielettrica del circuito stampato e nei valori delle capacità di accordo.

L'adattamento di impedenza è ottenuto tramite una inserzione in presa con microstrip da 50 ohm.

Altro vantaggio importante di questa configurazione è una agevole simulazione al computer.

Il circuito stampato è ottenuto tramite incisione “casalinga” dopo aver disegnato le microstrip con un programma di CAD meccanico; le dimensioni dello stampato sono di circa 5,6 X 2,7 cm.

Le due facce di massa sono collegate tramite una serie di fori, posti nei punti importanti per le chiusure di massa, ossia vicino ai condensatori di accordo e alle connessioni di massa delle microstrip di accordo; i connettori di ingresso e uscita sono saldati su entrambi i lati del circuito stampato.

In figura 5 è riportato lo schema elettrico del circuito; in figura 6 è riportata la risposta in frequenza ottenuta con un simulatore RF; in figura 7 è riportata la risposta in frequenza misurata; in figura 8 è riportata la foto del circuito.

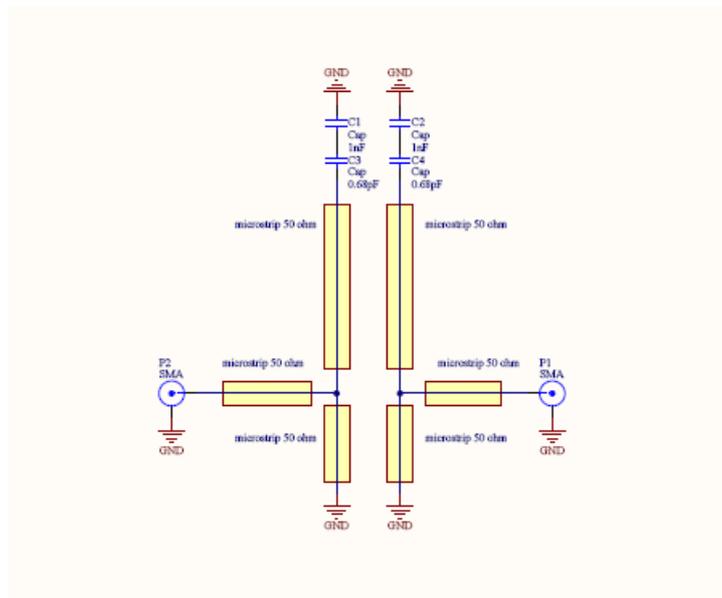


Figura 5: schema filtro in microstrip per i 23 cm

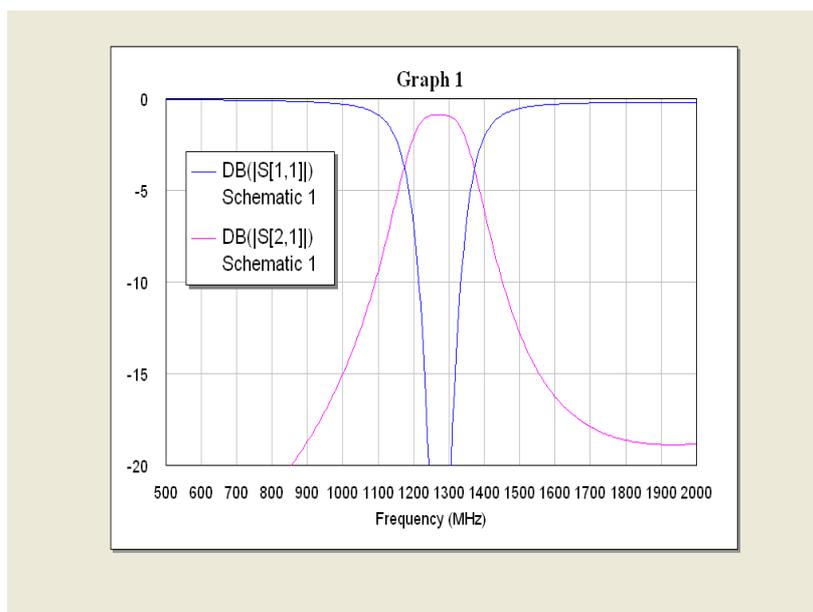


Figura 6 risposta simulata del filtro in microstrip per i 23 cm

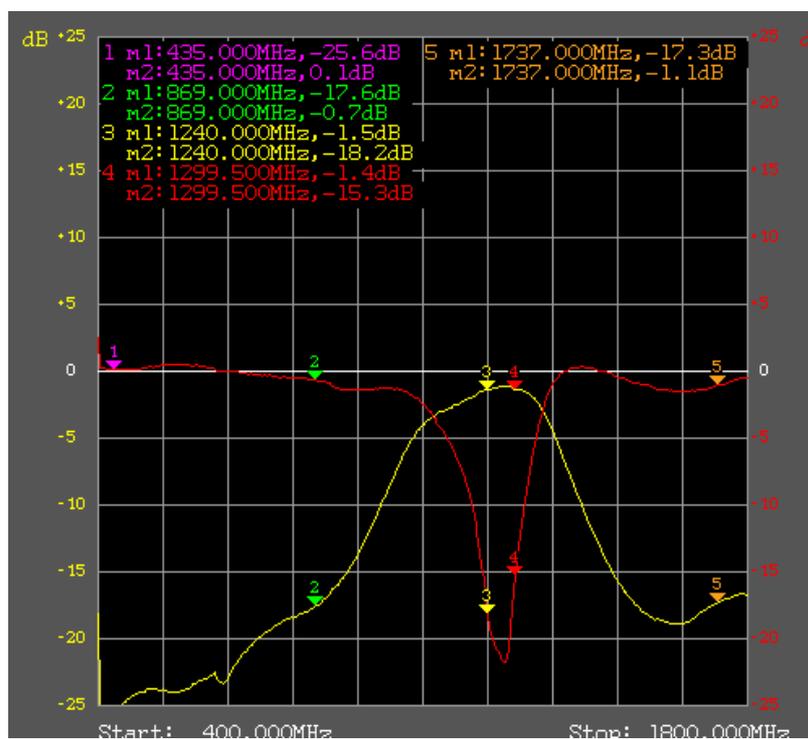


Figura 7: risposta misurata del filtro in microstrip per i 23 cm



Figura 8: foto del filtro in microstrip per i 23 cm

8. Variazioni di taratura del filtro per i 23 cm

Per mostrare le possibilità di taratura del filtro prima descritto, i condensatori di accordo sono stati ottimizzati per una frequenza di centro banda di 1152 MHz (frequenza usata in alcune catene di moltiplicazione usate nei transverter per le banda oltre 1 GHz).

Con condensatori di valore 1,0 pF, si ottiene la risposta illustrata nella figura 9; come si vede, la risposta rimane buona, con una curva simmetrica e un R.O.S. Basso.

Si potrebbe anche provare a sintonizzare il filtro su frequenze più alte, fino a circa 1500 MHz, ma probabilmente la risposta sarebbe meno soddisfacente a causa del ridotto carico capacitivo.

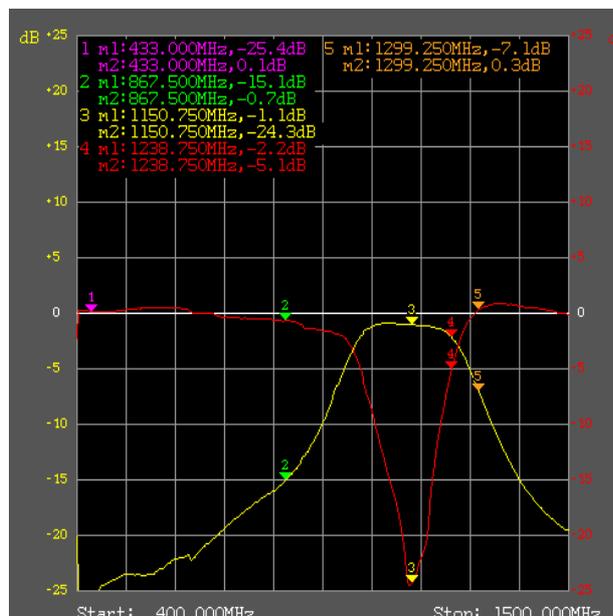


Figura 9: filtro centrato a 1152 MHz con condensatore da 1,0 pF

9. Conclusioni

In questo articolo sono stati descritti due filtri e la loro realizzazione e si sono mostrati i risultati di misura ottenuti con l'analizzatore di reti Elad SNA 2550.

Dai grafici presentati, si può vedere che l'uso di questo strumento permette una adeguata dinamica e precisione di misura, consentendo la verifica e la taratura di filtri anche di alte prestazioni con costi ridotti.

Per chi volesse realizzare filtri con prestazioni maggiori, questi possono essere alcuni utili consigli:

- per il filtro LC:
 - usare bobine con diametro maggiore
 - usare un maggior numero di risonatori; in questo caso la posizione delle bobine di accordo ottimale diventa difficile da individuare e può essere utile montare degli schermi tra le bobine, variandone la dimensione senza spostare le bobine
- per il filtro microstrip:
 - usare un materiale migliore per il circuito stampato come ad esempio teflon o altri intermedi tra questo e la normale vetronite; in questo caso è possibile aumentare la distanza tra i risonatori, riducendo la banda passante mantenendo la stessa perdita di inserzione
 - usare una configurazione più complessa con le conseguenti difficoltà di simulazione e di realizzazione del circuito stampato (potrebbero essere necessarie varie versioni di circuito stampato prima di ottenere un risultato accettabile)
 - una possibilità interessante da indagare potrebbe essere la realizzazione di una configurazione mista, inserendo una sezione a costanti concentrate tra varie sezioni in microstrip (nella configurazione a due risonatori)

Ovviamente per la massima selettività, la soluzione ottimale è l'uso di filtri realizzati con cavità risonanti; per ulteriori dettagli consultare i testi citati in bibliografia.

Per concludere, un cenno a dei possibili problemi di misura con i filtri stoppa – banda con elevata attenuazione (maggiore di 40 dB): in questi casi il segnale generato dall'analizzatore di reti dovrebbe essere filtrato da un filtro passa – basso per eliminare le armoniche presenti e che limiterebbero la dinamica di misura.