



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni
Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Elettronica

RELAZIONE DI LABORATORIO

Progetto di un filtro Low-Pass

Studenti:

Guadagnoli Emanuele

Roselli Claudio

Veltroni Lorenzo

Zavagli Paolo

A.A. 2005/2006

1. Introduzione

L'esercitazione consiste nel progetto di un filtro passa basso del tipo Butterworth secondo le specifiche assegnate (v. Tabella 1). Abbiamo innanzitutto realizzato il filtro prototipo a costanti concentrate, quindi siamo passati ad un modello equivalente a linee fisiche ideali, applicando la trasformazione di Richards. Alla struttura così ottenuta, non essendo fisicamente realizzabile in tecnologia planare per la presenza di stub serie, sono state applicate le identità di Kuroda: esse permettono inoltre la separazione fisica degli stub stessi.

Impedenza del generatore	50 Ohm
Impedenza del carico	50 Ohm
Frequenza ω_c @ -3dB	2.45 GHz
A_{\min} @ $f > 5$ GHz	30 dB

Tabella 1: Specifiche di progetto

2. Filtro prototipo

Per la realizzazione del filtro prototipo occorre innanzitutto apportare le opportune normalizzazioni in frequenza ed ampiezza; a partire da queste è possibile, dai grafici tabulati, determinarne l'ordine minimo (5) tale da garantire l'attenuazione in banda attenuata desiderata. Dalle tabelle dei coefficienti di Butterworth abbiamo quindi stabilito il valore dei componenti del filtro generico, come riportato in Figura 1.

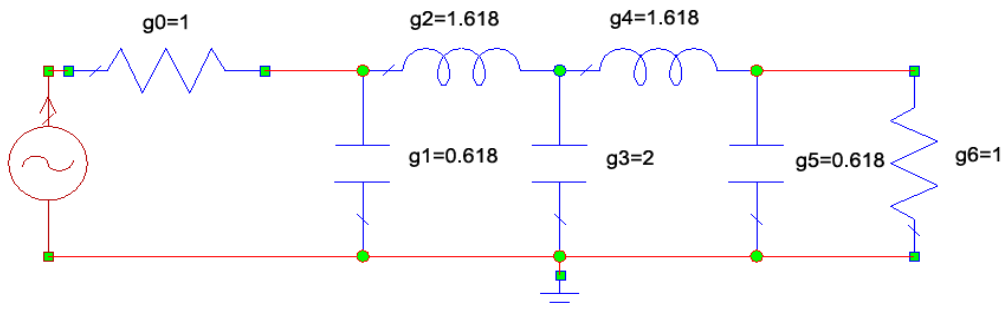


Figura 1: prototipo Butterworth

La rete scelta è quella a π piuttosto che quella a T poiché questa minimizza il numero degli induttori: essi infatti richiedono, nel circuito reale, l'implementazione mediante stub serie (non realizzabili fisicamente in tecnologia planare). Per i restanti induttori sarà pertanto necessario applicare delle opportune trasformazioni che permettono l'implementazione mediante stub paralleli.

Dal modello riportato in Figura 1 si è ottenuto il circuito a costanti concentrate effettuando la denormalizzazione in frequenza e in ampiezza attraverso le formule sotto riportate:

$$R_n = g_n \cdot R_0 \quad L_n = \frac{g_n \cdot R_0}{\omega_c} \quad C_n = \frac{g_n}{\omega_c \cdot R_0}$$

con $R_0=50 \text{ Ohm}$ e $\omega_c= 2.45 \text{ GHz}$.

Con i valori ricavati abbiamo quindi realizzato il filtro passa basso richiesto dalle specifiche (v. Figura 2) ed effettuato la simulazione della risposta in frequenza (v. Figura 3).

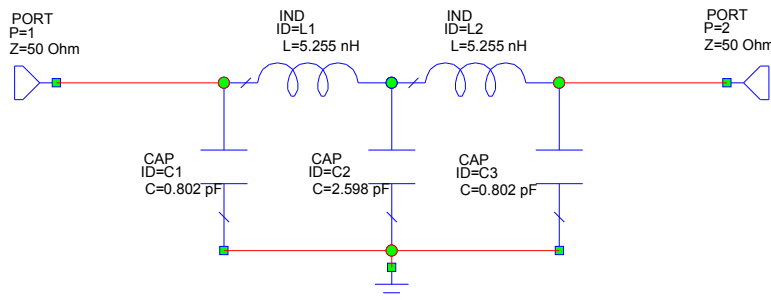


Figura 2: Filtro a costanti concentrate

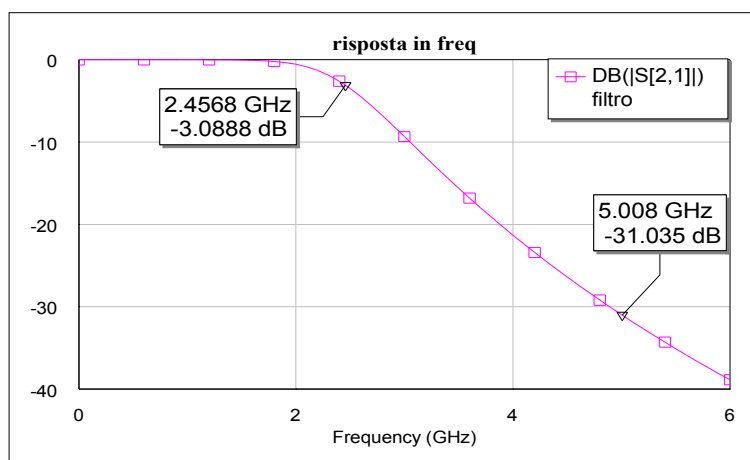


Figura 3: Risposta in frequenza del filtro prototipo

Dalla simulazione si può vedere come l'attenuazione alla frequenza di cut-off (2.45 GHz) sia di 3dB e quella a 5 GHz di 31 dB; i valori soddisfano le specifiche di progetto.

3. Circuito a linee fisiche ideali

Applicando la trasformazione di Richards ed usando tratti di linea a $\lambda/8$ abbiamo sostituito le induttanze con stub in corto circuito (modello TLSC2 di MWOoffice), e le capacità con stub in circuito aperto (modello TLOC di MWOoffice).

Per realizzare gli induttori, dato che la loro impedenza è:

$$Z_L = j\omega L$$

presentando uno stub in CC un'impedenza d'ingresso (Z_{ing}) pari a:

$$Z_{ing} = jZ_0 \cdot \tan(\beta l)$$

fissando $l = \lambda/8$, alla f_c , si ottiene:

$$Z_{ing} = jZ_0$$

Possiamo quindi realizzare l'induttanza voluta sostituendola con uno stub in CC di impedenza caratteristica pari a $Z_0 = \omega L$. Lo stesso ragionamento può essere fatto per la realizzazione di un'impedenza capacitiva; in questo caso impiegheremo uno stub in CA con impedenza caratteristica

$$Z_0 = \frac{1}{\omega C}$$

In Figura 4 è riportato il circuito a tratti di linea ideali; i valori delle impedenze caratteristiche degli stub sono stati calcolati come spiegato sopra e sono stati normalizzati in ampiezza.

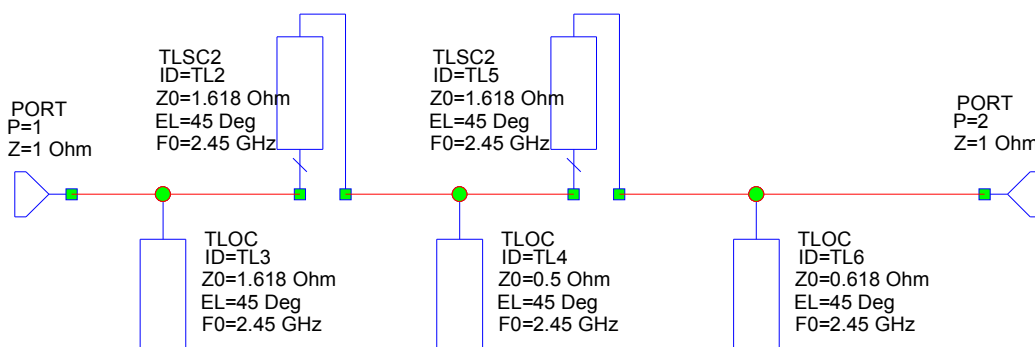


Figura 4: Filtro a stub ideali

La Figura 5 riporta la risposta in frequenza del circuito realizzato; si noti come le specifiche di progetto siano rispettate.

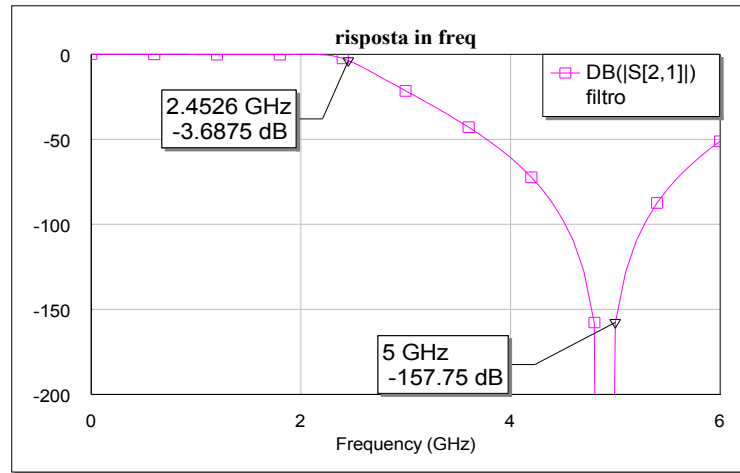


Figura 5: Risposta del filtro a stub ideali

L'andamento risulta tuttavia differente rispetto a quello al circuito a costanti concentrate: l'impedenza di un tratto di linea, infatti, varia con la frequenza e passa da capacitiva ad induttiva e viceversa. È facile quindi intuire come il comportamento del filtro, per frequenze più elevate, passi da passa-basso a passa-alto. In particolare, essendo il filtro realizzato con stub a $\lambda_0/8$, avremo un comportamento risonante a $f = 2f_0 = 4.9$ GHz; per frequenze superiori i tratti di linea che si comportavano da condensatori (induttori) avranno comportamento induttivo (capacitivo) fino a $f=4f_0$. In Figura 6 è riportata la risposta del filtro per uno sweep in frequenza più esteso; si noti come il comportamento sopra citato si ripeta periodicamente.

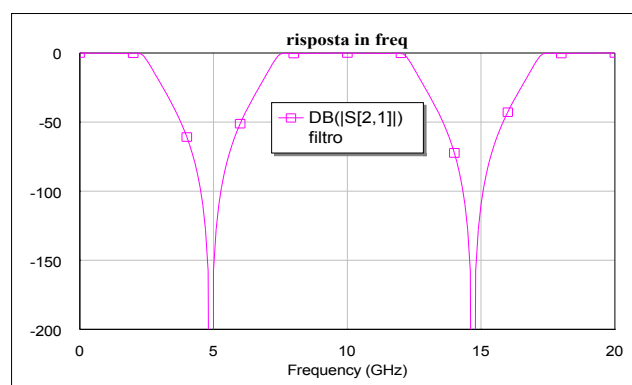


Figura 6: Risposta del filtro a stub ideali (fino a 20GHz)

3. Realizzazione del filtro

Il circuito precedente non può essere realizzato in struttura planare a causa dei due stub serie con cui sono state modellate le induttanze; risulta inoltre necessario separare fisicamente i vari stub. Ciò verrà realizzato applicando le Identità di Kuroda.

Abbiamo innanzitutto inserito all'ingresso e all'uscita del filtro due unità elementari (tratti di linea a $\lambda_0/8$ di impedenza Z_0) come in Figura 7:

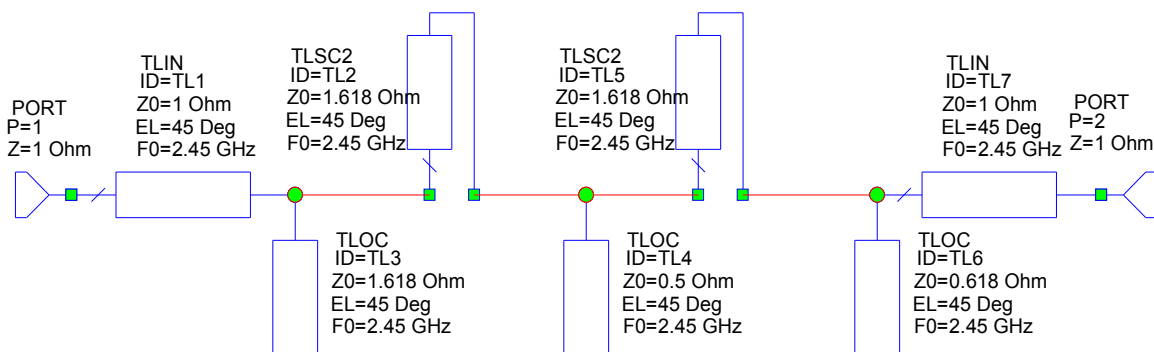


Figura 7: Inserimento delle U.E. di Kuroda

Applicando l'identità di Kuroda siamo passati al circuito in Figura 8:

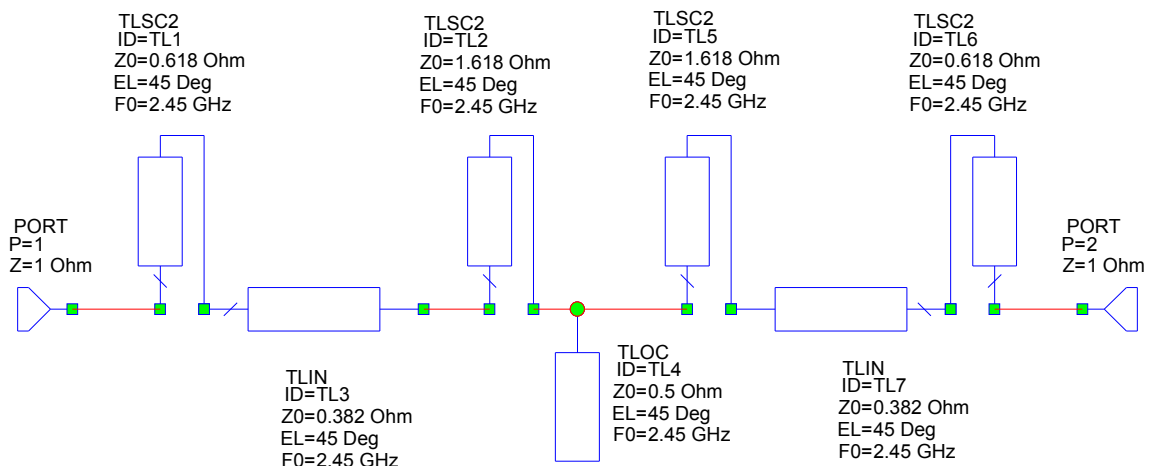


Figura 8: Applicazione delle identità allo schema in Fig.7

A questo punto abbiamo inserito nuovamente due unità elementari come in precedenza, ottenendo così quattro coppie costituite da un tratto di linea a $\lambda_0/8$ ed uno stub serie in CC a $\lambda_0/8$. Applicando nuovamente le identità di Kuroda si passa al circuito riportato in Figura 9, costituito da soli stub in parallelo separati da tratti di linea a $\lambda_0/8$, e quindi fisicamente realizzabile.

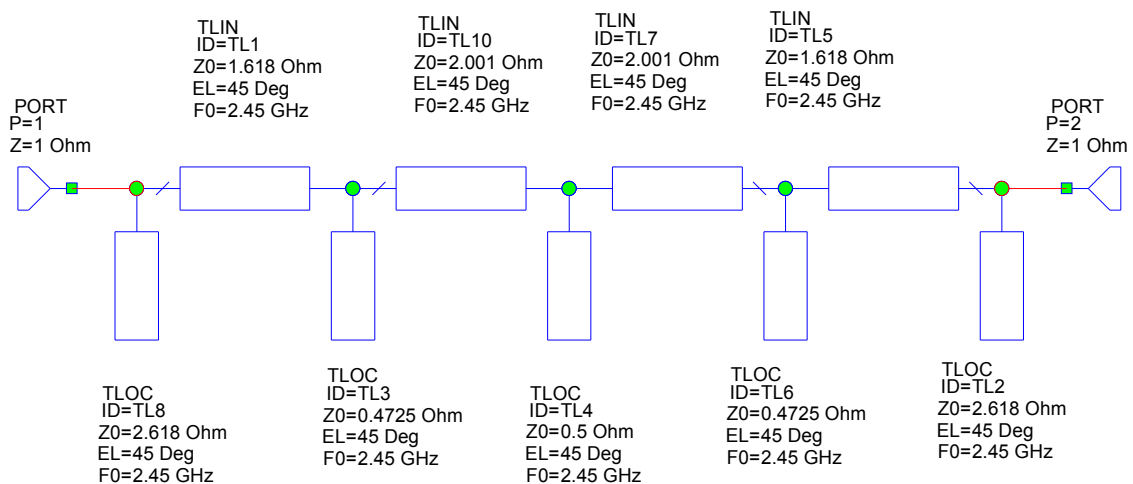


Figura 9: filtro LP a stub paralleli

La risposta in frequenza del filtro ottenuto è riportata in Figura 10; si noti come le specifiche di progetto siano rispettate.

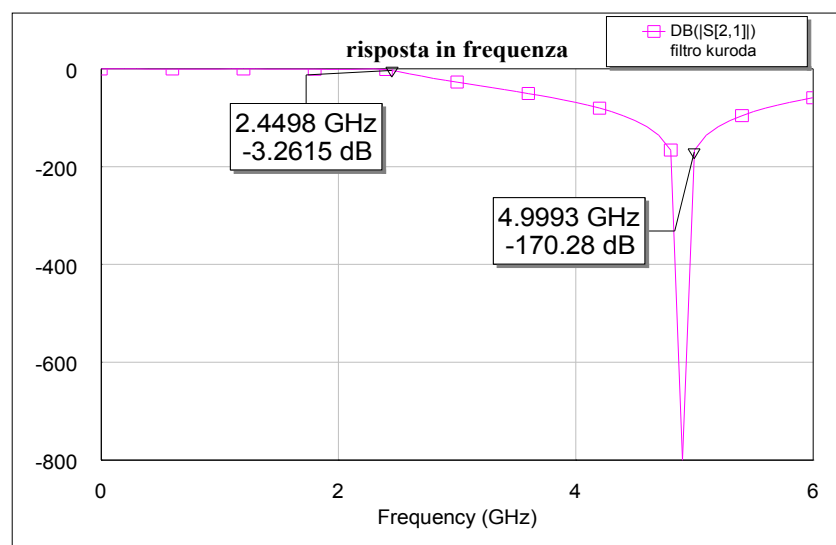


Figura 10: risposta in frequenza del filtro LP a stub paralleli

4. Conclusioni

La relazione tratta del progetto di un filtro Low-Pass di tipo Butterworth. Partendo dalle specifiche si è ricavato il filtro prototipo e quindi lo abbiamo realizzato mediante un circuito a costanti concentrate; è stato scelto il modello a π così da minimizzare il numero di induttori (questa scelta ha ridotto il numero di stub serie che sono stati poi trasformati in stub parallelo).

Dal filtro a costanti concentrate siamo poi passati, applicando la trasformata di Richards, al filtro a linee fisiche ideali. Il filtro ottenuto risulta però fisicamente irrealizzabile in *microstrip* a causa della presenza dei due stub serie, corrispondenti a due induttanze: abbiamo quindi applicato le identità di Kuroda per costruire un circuito equivalente formato da soli stub parallelo. La trasformazione porta, tra l'altro, all'introduzione di tratti di linea tra uno stub e l'altro che ne permettono la separazione fisica.