

i3HEV, ing. Mario Held

Come calcolare i filtri Collins

Versione 1.1 del 31/12/99 – Distribuzione 31/12/99

Introduzione

Da molti anni il filtro Collins, il cui schema è riportato in Fig. 1, è tra i più usati sistemi di adattamento d'impedenza, in quanto unisce alla semplicità una notevole flessibilità d'uso, garantendo sia l'accordo che l'adattamento in un ampio campo di valori di resistenza di carico, con in più un significativo effetto passa-basso che contribuisce ad abbattere le emissioni indesiderate, il tutto al modesto prezzo di due condensatori variabili ed un induttore. La sua progettazione è però piuttosto complessa, nonostante la semplicità del circuito, così che in molti casi il progettista amatoriale si vede costretto a procedere per tentativi. Ci viene però in soccorso la Carta di Smith, che permette di ricondurre la progettazione alla procedura grafica descritta nel seguito, che, anche se la prima volta può sembrare complessa, in realtà è abbastanza semplice e con un po' di pratica si esegue in pochi minuti.

Specifiche di progetto

Le specifiche di progetto di un filtro Collins sono la frequenza di lavoro, l'impedenza vista all'ingresso del filtro, che si riferisce al generatore e di solito è costante, ed il campo di impedenze viste al carico. Nel caso l'accordatore debba lavorare su una banda estesa, sarà necessario scegliere un certo numero di frequenze all'interno della banda ed eseguire il calcolo su ciascuna di esse; si otterranno così varie versioni dell'accordatore, che dovranno essere 'raccordate' in un unico circuito, per mezzo, se necessario, di opportune commutazioni di banda.

Ad esempio, per un accordatore destinato alle HF, che vanno da 1.8 a 30 MHz, con un range quindi di 4 ottave, si potrà dividere la banda in (almeno!) quattro bande: 1.8÷3.6, 3.6÷7.2, 7.2÷14.4, 14.4÷28.8. Naturalmente, una volta finita la progettazione, si dovrà verificare il circuito ottenuto e se necessario modificarlo; come accade sempre nella progettazione, il progetto finale sarà frutto di un processo per approssimazioni successive.

Per illustrare la procedura di calcolo del filtro sulla Carta di Smith ci rifaremo ad un esempio pratico, progettando un

accordatore per antenne corte ($L \leq \lambda/4$) sulla banda amatoriale dei 20 metri. Le specifiche saranno quindi:

- Frequenza di lavoro: 14 MHz
- Impedenza del generatore: 50 W
- Impedenza del carico: 10, 72 W

Per semplicità, supporremo che i carichi da adattare siano resistivi; nel caso siano reattivi però non cambia

nulla nel procedimento, salvo che le linee diventano un po' più 'strane' e graficamente più difficili da tracciare.

Procedura di calcolo

Prima di iniziare, oltre alla Carta di Smith, conviene procurarsi due fogli di carta trasparente, tipo lucido per intendersi, sulle quali eseguiremo le parti della procedura che prevedono la rotazione di disegni; questo non è obbligatorio, ma semplifica *molto* il procedimento.

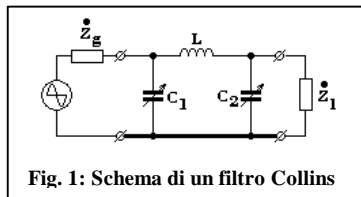


Fig. 1: Schema di un filtro Collins

Passo 1. Il primo passo è quello di calcolare le ammettenze normalizzate da accordare: considerata come impedenza di normalizzazione quella del generatore, nel nostro caso 50 Ω, le impedenze di carico variano da un massimo:

$$z_{max} = Z_{max} / Z_g = 72\Omega / 50\Omega \approx 1.4,$$

ad un minimo:

$$z_{min} = Z_{min} / Z_g = 10\Omega / 50\Omega = 0.2$$

Corrispondentemente, le ammettenze normalizzate variano da un minimo:

$$y_{min} = 1 / z_{max} = 1 / 1.4 \approx 0.7,$$

ad un massimo:

$$y_{max} = 1 / z_{min} = 1 / 0.2 \approx 5.$$

Si traccia sulla Carta il luogo dei punti di queste ammettenze, che nel nostro caso è una parte dell'asse orizzontale (Fig. 2).

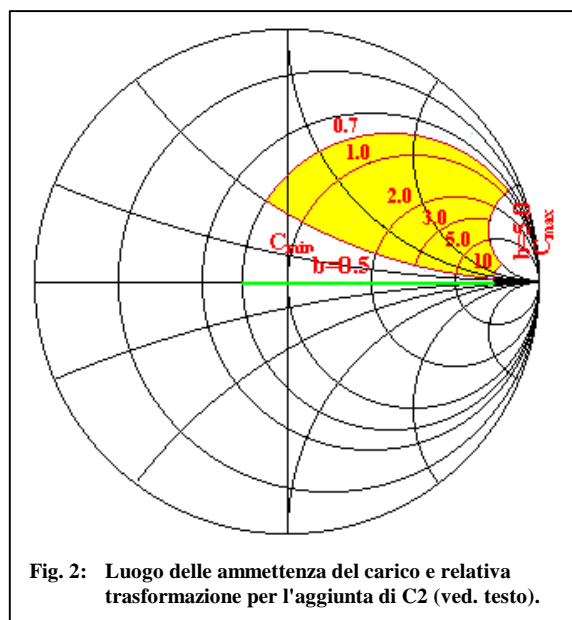


Fig. 2: Luogo delle ammettenza del carico e relativa trasformazione per l'aggiunta di C2 (ved. testo).

Passo 2. L'aggiunta della capacità C₂ in parallelo al carico aggiunge una suscettanza (che è, ricordiamo, il reciproco della reattanza) per cui ogni punto del luogo trovato viene spostato sulla Carta, lungo un cerchio a resistenza costante, di una quantità *variabile*:

$$b_2 = 2 \pi f C_2 .$$

La linea tracciata al passo precedente viene quindi trasformata in una superficie delimitata dai valori massimo e minimo della capacità. Si noti che è possibile usare come valori estremi della capacità zero

ed infinito, ma è in pratica conviene fissare da subito degli estremi accettabili; nel nostro esempio, si è fissato che la minima reattanza del condensatore sia di circa 10 Ω, che corrispondono ad una capacità di circa 1100 pF; all'aumentare della capacità massima, diminuisce l'impedenza minima accordabile (com'è del resto ovvio).

Per la capacità minima si sceglie parimenti un valore ragionevole, secondo la frequenza di lavoro; nel nostro caso si è scelto un decimo della capacità massima (circa 110 pF) perché, anche se è un valore non del tutto ottimale, rende più semplice la grafica.

Si scelgono quindi le ammettenze massima e minima, più alcune intermedie, e si traccia sulla Carta di Smith la loro trasformazione per l'aggiunta delle suscettanze, così come è mostrato in Fig.2 (zona evidenziata in colore); questo passo verrà eseguito su un foglio di carta trasparente, sovrapposto alla Carta di Smith, avendo cura di tracciare anche alcuni segni di riferimento per l'allineamento dei fogli, come ad esempio gli assi orizzontale e verticale.

Passo 3. Poiché ora dobbiamo aggiungere la reattanza dell'induttore L, è necessario passare dalle ammettenze alle impedenze; ciò si ottiene sulla Carta di Smith ruotando la superficie trovata di 180°, cioè, in pratica, ruotando il foglio trasparente di *esattamente* mezzo giro rispetto alla Carta sottostante (Fig. 3).

Passo 4. Accantonato per ora il foglio usato, si traccia su un nuovo foglio trasparente, con le stesse avvertenze di prima, il luogo delle ammettenze accordabili da C₁, cioè quelle che, aggiungendo la suscettanza variabile di C₁, possono essere riportate al centro della Carta di Smith, che rappresenta l'adattamento d'impedenza. Questo luogo è costituito da un arco del semicerchio negativo ad ammettenza unitaria, limitato dalle suscettanze massima e minima di C₁, come evidenziato in Fig. 4.

Anche per C₁ valgono le considerazioni già fatte per le capacità massime e minime a proposito di C₂.

Passo 5. Le ammettenze in questione devono essere ottenute dalla somma della reattanza dell'induttore con una delle

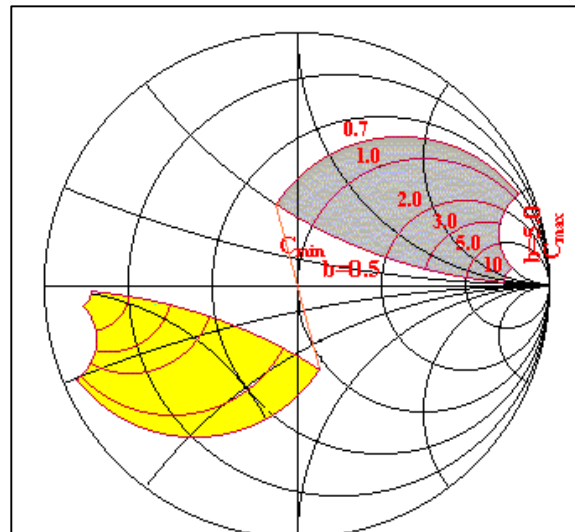


Fig. 3: Luogo delle ammettenza del carico trasformato, rinortate all'impedenza (ved. testo).

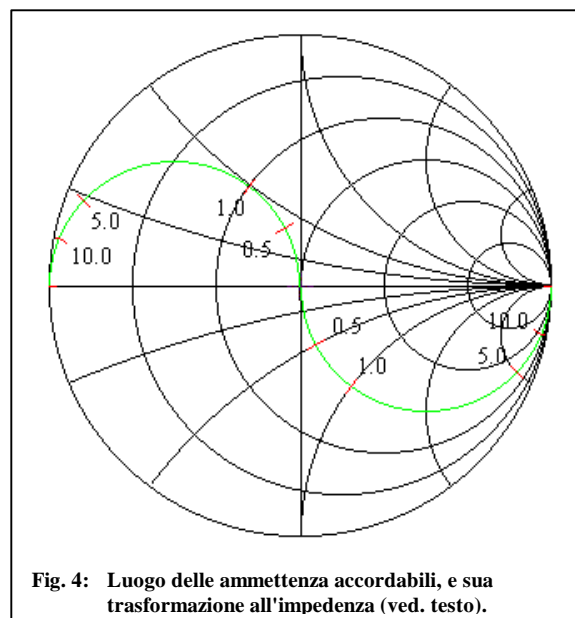


Fig. 4: Luogo delle ammettenza accordabili, e sua trasformazione all'impedenza (ved. testo).

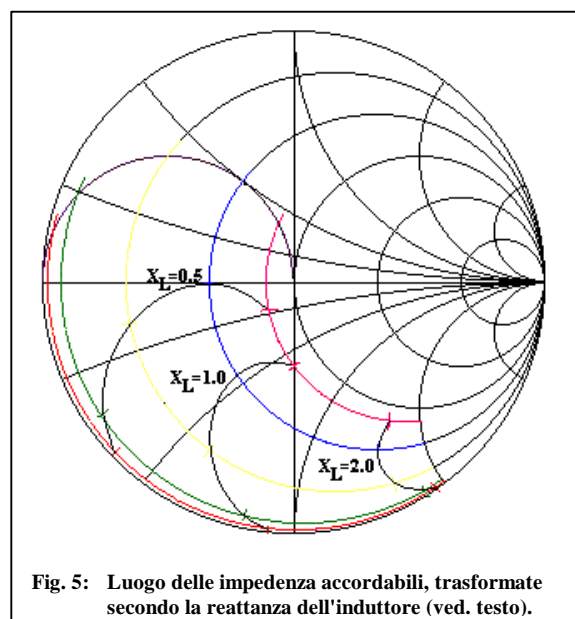


Fig. 5: Luogo delle impedenza accordabili, trasformate secondo la reattanza dell'induttore (ved. testo).

impedenze corrispondenti alle trasformazioni del generatore come si è visto sopra (ved. Fig. 3). Perciò è necessario trasformare le ammettenze accordabili in impedenze, il che si ottiene ancora una volta ruotando di 180° sulla Carta di Smith il luogo dei punti trovato; se si è usata la carta trasparente, è sufficiente ruotare il foglio esattamente mezzo giro come prima.

Passo 6. Dobbiamo ora trasformare queste impedenze sottraendo loro la reattanza dell'induttore, così da poterle confrontare con le impedenze trasformate del generatore. Questo è il passo che richiede più attenzione e pazienza, in quanto è necessario trasformare la curva per un certo numero di valori di reattanza induttiva, fino a trovare il più adatto.

Si comincia sovrapponendo i due fogli e misurando 'ad occhio' la distanza, in termini di reattanza, tra il centro della linea trasformata trovata al passo 5 e la superficie delle trasformazioni del carico trovata al passo 3. Nel nostro caso, come primo tentativo, tracciamo tre curve, rispettivamente per $x_L=0.5$, $x_L=1$ ed $x_L=2$.

Per tracciare ciascuna di queste curve, si parte dal luogo trovato al passo 5, sottraendo ad ogni suo punto la reattanza induttiva prescelta (in pratica è sufficiente fare questo per 4÷5 punti e raccordare la curva 'ad occhio'). Il risultato è visibile in Fig. 5.

Passo 7. Sovrapponiamo ora i fogli e confrontiamo le curve ottenute al passo 6 con le famiglie trasformate (Fig. 6); la migliore soluzione è data dalla curva che interseca tutte le curve della famiglia delle trasformate del carico.

Nel caso si voglia ampliare al massimo il campo delle impedenze adattabili, si sceglierà l'induttanza che interseca tutte le curve nel minor arco possibile, mentre qualora si voglia sfruttare al massimo l'escursione dei variabili, si sceglierà la curva che le interseca ancora tutte, ma nell'arco più ampio possibile.

Se, come è probabile, nessuna delle curve tracciate al primo tentativo si rivela ottimale, si procede a tracciarne delle altre, fino a raggiungere il risultato voluto.

Una volta scelta ed identificata la curva ottimale, dalla differenza di reattanza tra questa e le trasformazioni del generatore (Fig. 4) si ricava la reattanza normalizzata necessaria x_L , dalla quale si trova l'induttanza necessaria:

$$L = x_L Z_g / (2 \pi f)$$

Nel nostro caso, si potrà scegliere $x_L = 0.4$, che dà:

$$L \approx 0.23 \mu\text{H}$$

Passo 8. L'ultimo passaggio del procedimento è la verifica dell'escursione richiesta ai condensatori variabili; anche questo si può fare sulla Carta di Smith, osservando che i punti di intersezione estremi della curva scelta al passo 7 rappresentano i valori massimo e minimo richiesti per la capacità di C_1 ; riportando questi punti sulla linea trasformata ottenuta al passo 5, quindi ruotandoli di mezzo giro fino a riportarli sul luogo delle ammettenze trasformabili (vedi passo 4), si trovano le ammettenze massima e minima necessarie per il condensatore variabile d'ingresso; da queste si calcolano le capacità con le formule:

$$C_{\max} = b_{\max} / (2 \pi f Z_g),$$

$$C_{\min} = b_{\min} / (2 \pi f Z_g).$$

Nel nostro caso, si trova $b_{\max} \approx 6.5$, $b_{\min} \approx 3$, da cui

$$C_1 = 680 \div 1500 \text{ pF},$$

capacità che si potrà facilmente ottenere ponendo un condensatore fisso in parallelo ad uno variabile.

Ancora guardando le intersezioni estreme delle curve, e riportandole sul luogo delle ammettenze di carico trasformate (ved. Fig. 2) troviamo che la massima

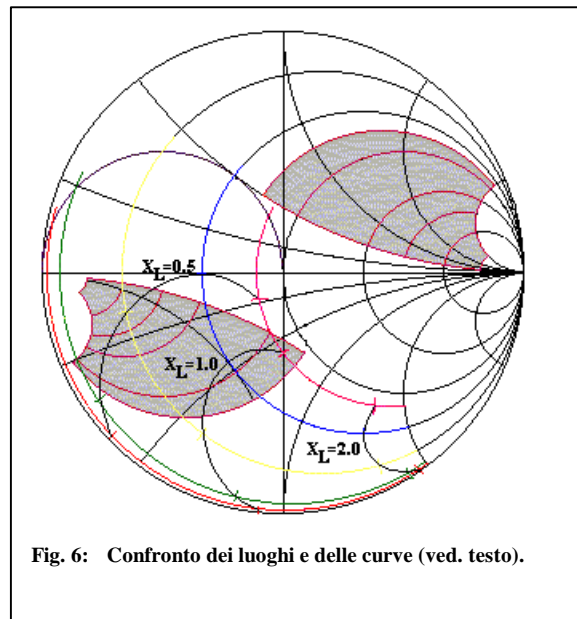


Fig. 6: Confronto dei luoghi e delle curve (ved. testo).

suscettanza utilizzata per C_2 è di $b \approx 2.4$, mentre la minima corrisponde in pratica con $b \approx 0.5$ che è il limite della famiglia; usando ancora le stesse formule, questo ci dà:

$$C_2 = 110 \div 550 \text{ pF}$$

Osserviamo infine che, se la capacità massima dei variabili è superiore al necessario, si possono avere dei punti di accordo doppi e questo non è conveniente perché, anche se non impedisce di ottenere comunque l'accordo, in pratica lo rende più difficoltoso.

Verifica dell'accordatore

In caso siano già noti i componenti dell'accordatore, con una procedura analoga a quella

vista è possibile verificare il campo di accordo del filtro, secondo la procedura descritta nel seguito.

Passo 1. Si trova il luogo delle ammettenze adattabili al carico, come descritto al passo 4 della procedura precedente, quindi si trasforma alle impedenze come descritto al passo 5 (ved. Fig. 4).

Passo 2. Alla linea così tracciata si sottrae la reattanza normalizzata dell'induttore, come descritto al passo 6, ottenendo una curva trasformata (ved. Fig. 5).

Passo 3. La curva ottenuta al passo 2 si trasforma alle ammettenze, ruotandola di 180° sulla Carta di Smith; si ottiene così una curva che rappresenta tutte le ammettenze che possono essere ricondotte all'accordo mediante C_2 ed L .

Passo 4. Alla curva trovata al passo precedente si sottrae la suscettanza data dalla capacità variabile di C_1 ; si ottiene così una superficie delimitata dai valori minimo e massimo della suscettanza di cui sopra.

Tutti i punti compresi in questa superficie corrispondono ad ammettenze che, tramite un qualche valore della capacità C_1 , possono essere ricondotti alla curva di partenza e quindi sono accordabili.

Nel caso si desideri visualizzare i valori delle impedenze anziché delle ammettenze, la superficie trovata andrà ruotata di 180° come al solito.