

Trasformatori a linea di trasmissione. Cosa sono, come e quando usarli. by 13rke

Premessa.

E' noto che nella costruzione dei baluns (sia voltage che current) si usano materiali magnetici (Polvere di ferro e Ferrite). Quello che non è molto ben capito è la funzione che fanno, che talora è molto differente ed in funzione di come si avvolgono e si connettono gli avvolgimenti. Sia che si usino i voltage o i current baluns, capita spesso di dover realizzare anche una trasformazione di impedenza. Il risultato che si pretende, quando si tratta di trasformatori di impedenza a RF, è che siano il più possibile a larga banda.

Ci sono 2 modi di realizzare questi trasformatori:

- A) **Quello convenzionale** nel quale l'energia si trasmette tramite l'accoppiamento magnetico del circuito primario con il secondario ed il flusso magnetico è convogliato tramite il nucleo. In questo tipo le prestazioni dipendono in grossa parte dalle caratteristiche del nucleo, ma anche dalle componenti parassite capacitive ed induttive.

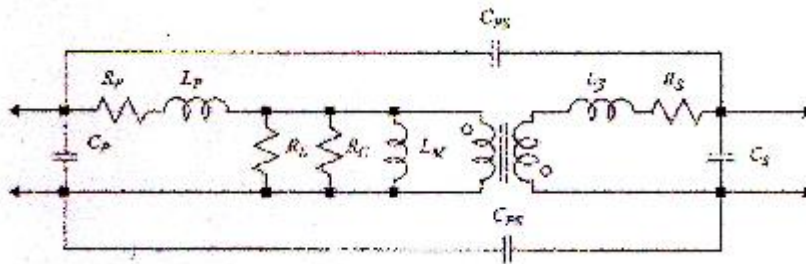


Fig. 1 Modello completo di un trasformatore magnetico

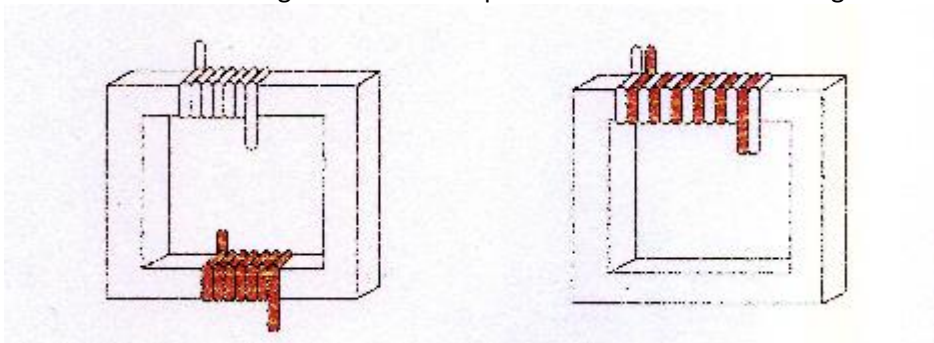


Fig.2- Metodi differenti di costruzione di un trasformatore magnetico.

A SX quello che minimizza gli accoppiamenti capacitivi.

A DX con accoppiamenti capacitivi e magnetici

- B) **Quello non convenzionale** che utilizza per l'appunto il trasformatore a linee di trasmissione, nel quale l'energia si trasmette tramite una linea di trasmissione nella quale viaggia un campo elettromagnetico completamente entro contenuto. Proprio per questo, mettere un nucleo ferromagnetico attorno ad una linea di trasmissione non ha nessun effetto sul campo interno alla linea. Comunque, se la linea diventa più corta di $0,1 \lambda$, il campo non è più completamente entro contenuto e così entrambi i conduttori contribuiscono a creare un flusso magnetico sul nucleo che avvolge la linea. Questo flusso converte la combinazione Linea-Nucleo da trasformatore a linea di trasmissione a trasformatore convenzionale. Ne consegue che la capacità del trasformatore a trasmettere potenza dipende dalla capacità che la linea ha di sopportare tensioni e correnti alle frequenze alte e dalle proprietà del nucleo alle frequenze basse. Nel funzionamento alle alte frequenze la funzione del nucleo è precipuamente quella di creare un'alta impedenza per le correnti di modo comune.

Vantaggi del trasformatore a linea di trasmissione.

Nella costruzione di un trasformatore di tipo A) la trasformazione di impedenza è quella classica, pari al quadrato del rapporto spire tra i due avvolgimenti. $Z_1/Z_2 = (N_{s1}/N_{s2})^2$ e, per quanto concerne la banda passante, sfruttando l'alta efficienza magnetica dei materiali odierni, si costruiscono trasformatori capaci di bande passanti da 9KHz a 200 MHz con perdite di 1dB. Oltre non si può andare a causa delle componenti parassite (capacità tra gli avvolgimenti e e flussi dispersi). Inoltre per buona parte del suddetto range, le perdite sono anche di soli 0,2dB. Esiste il problema della saturazione del nucleo alle alte correnti, che rende il dispositivo non lineare.

I trasformatori di tipo B) permettono una larghezza di banda molto più ampia e maggiori efficienze, perché le componenti parassite sono generalmente riassorbite nell' impedenza caratteristica della linea di trasmissione. Inoltre il flusso magnetico nel nucleo è cancellato dalla proprietà della linea di trasmissione in cui le correnti sono bilanciate e ciò elimina il problema della saturazione del nucleo. In questo modo si ottengono efficienze elevatissime su una larghissima porzione dello spettro con perdite di soli 0.02-0.04 dB con opportuni materiali del nucleo. In questi trasformatori la trasformazione di impedenza avviene connettendo le linee in parallelo all' ingresso ed in serie all' uscita.

Il lavoro di Guanella .

Lo schema base di un trasformatore a linea di trasmissione è raffigurato in Fig.3 con ingresso sbilanciato ed uscita bilanciata (Balun) . **E' realizzato con 2 spezzoni uguali di linea di trasmissione connessi in parallelo all' ingresso ed in serie all' uscita.**

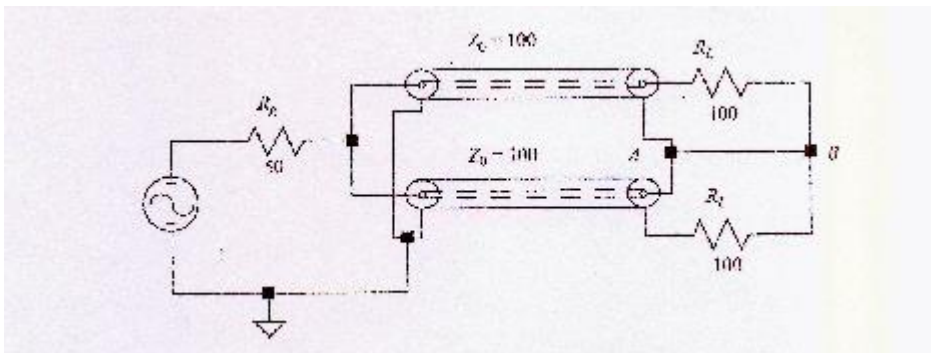


Fig. 3- Trasformatore di Guanella 1:4 . La connessione A-B è omessa nel caso di un carico da 200 Ohm.

Se le due linee sono caricate con un carico uguale alla loro impedenza caratteristica Z_0 , l' impedenza al loro ingresso è sempre pari a Z_0 qualunque sia la loro lunghezza (entro certi limiti). Nel nostro caso il trasformatore realizza la trasformazione 50/200 Ohm. Alla fine del 1800 Oliver Heaviside ha usato le equazioni di Maxwell per sviluppare una espressione matematica delle linee di trasmissione, con la quale dimostrò che un carico sulla linea è isolato dall' ingresso se la linea è lunga almeno o più di 0.1λ . In questo caso, le capacità e le induttanze distribuite della linea si combinano per produrre l' effetto che noi conosciamo come *Impedenza Caratteristica*.

Gustav Guanella presentò per la prima volta il suo lavoro sui trasformatori a linea di trasmissione nel 1944, nel quale propose una linea di trasmissione avvolta a spirale per formare un choke che avrebbe ridotto il modo indesiderato nelle applicazioni di circuiti di accordo bilanciati-sbilanciati. Prima di Guanella le

trasformazioni di questo tipo erano realizzate con linee di trasmissione lunghe $\lambda/4$ e $\lambda/2$ che, come tali, erano a banda stretta. Combinando linee di trasmissione, avvolte su nuclei ferromagnetici, arrangiate in serie-parallelo fu in grado di dimostrare il funzionamento di balun a larga banda con rapporti di trasformazione di $1:n^2$, dove n è il numero di linee di trasmissione. Anche l'impedenza caratteristica delle linee usate in questi trasformatori hanno una relazione precisa che la lega sia all'impedenza del generatore che a quella del carico. **La regola è sempre quella nota della media geometrica tra impedenza del carico e quella del generatore:**

$$\sqrt[2]{(R_g * R_l)} = Z_o$$

La costruzione pratica dei trasformatori a Linea di Trasmissione, regole ed accorgimenti da rispettare.

Se osserviamo il trasformatore di impedenza di fig.3 e supponiamo che sia omesso il collegamento tra A e B, il carico ha impedenza 200 Ohm ed il generatore 50 OHM, la cui media geometrica diventa:

$$\sqrt[2]{(50 * 200)} = 100 \text{ Ohm}$$

Che è esattamente l'impedenza caratteristica delle due linee usate nel trasformatore di Guanella. Ora siamo in grado concludere che per il funzionamento di questa classe di trasformatori è indispensabile procurarci delle linee di trasmissione con impedenza caratteristica che varia in funzione del rapporto di trasformazione che si vuol realizzare. I cavi coassiali più comuni hanno valori di impedenza: 50 Ohm, 75 Ohm, 100 Ohm e molto meno facilmente si trovano cavi a 25 Ohm. Questi ultimi si trovano attualmente più facilmente perché vengono utilizzati negli amplificatori per le HF dove serve convertire la bassa impedenza d'uscita di un Push-Pull di MOSFET (all'incirca 12,5 Ohm) in quella del carico a 50 Ohm.

$$\sqrt[2]{(12,5 * 50)} = 25 \text{ Ohm}$$

Quando la trasformazione comporta rapporti con n diverso da 2 si incontrano notevoli problemi nell'utilizzo di linee di trasmissione in cavo coassiale o perché risulta difficile realizzare trasformatori di dimensioni accettabili con 3 o più cavi, o perché non esistono cavi coassiali con l'impedenza necessaria. In tutti questi casi si usano linee di trasmissione bifilari facendo attenzione sia all'interasse tra i due fili, sia al materiale isolante che li separa. Infatti proprio da questi due parametri dipende l'impedenza caratteristica della linea che, come visto sopra deve obbedire alla regola della media geometrica. Quindi, una volta fissato il rapporto di trasformazione, ne consegue l'obbligo di realizzare una linea di trasmissione con quello specifico valore di impedenza caratteristica. La quale segue la legge:

$Z_o = (1/\sqrt[2]{\epsilon}) * 120 \arccos(D/d)$ dove ϵ è la costante dielettrica dell'isolante tra i fili.

$Z_o = (1/\sqrt[2]{\epsilon}) * 276 \text{Log}_{10}(D/d)$ per $D \gg d$

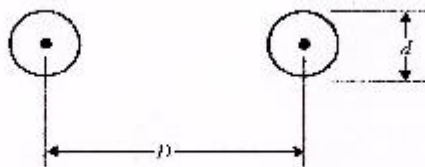


Figure S-3 Illustration shows how to measure D and d from equation (S-1).

Nella costruzione di questi trasformatori, che sono i migliori in assoluto come prestazioni, la scelta dei materiali è determinante per un corretto funzionamento. Come bonus finale bisogna anche considerare che a frequenze basse, dove la linea risulta di lunghezza $< 0,1\lambda$ il dispositivo si comporta come un trasformatore tradizionale, lavorando come trasformatore a linee di trasmissione alle frequenze medio-alte e come trasformatore ad accoppiamento magnetico a quelle basse, consentendo di estendere di molto il range di utilizzo.

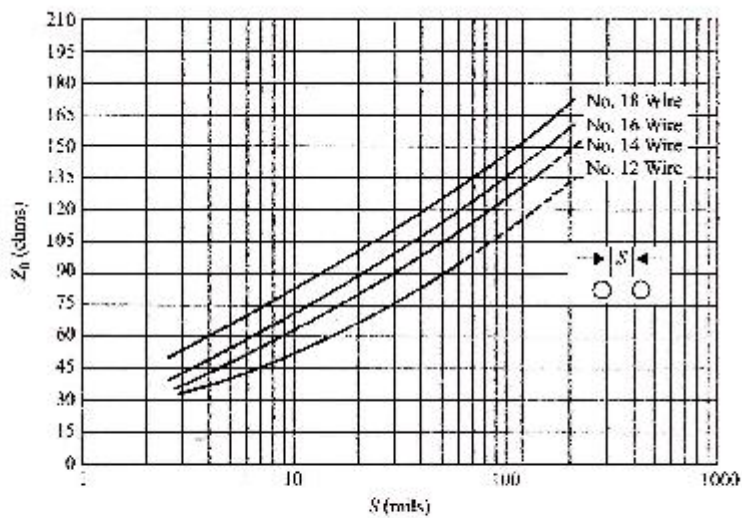


Figure 5-4 Curves show characteristic impedance, Z_0 , versus wire diameter and spacing (S) for parallel transmission lines.

Guardando su Internet certe costruzioni si è portati a credere che costruire un buon Balun consista semplicemente nell' avvolgere una coppia o un tris di fili lungo un nucleo di ferrite. Non è così !!

Per chi volesse cimentarsi nella costruzione consiglio di consultare il testo (2)

73 de Leo, I3RKE

Bibliografia:

- (1) Sevick's : Transmission Line Transformers. Theory and Practice 5th Edition. Raymond A. Mack and Jerry Sevick
- (2) Transmission line transformers Handbook 48 improved designs. Jerry Sevick, W2FMI