

Tema ..... (allegata una figura)

Il vostro cliente vi scrive:

Devo affrontare e risolvere il problema della variazione di certe grandezze elettriche con la temperatura, in applicazioni critiche come quelle satellitari.

Come si sa, la funzione di trasferimento di un qualsiasi quadripolo, attivo o passivo che sia, dipende in misura più o meno rilevante dalla temperatura dell'ambiente in cui esso si trova a funzionare. Variazioni delle grandezze dei singoli componenti producono come effetto complessivo una alterazione della funzione di trasferimento del quadripolo sia in fase che in ampiezza.

Nelle applicazioni di alta ed altissima frequenza, quali quelle riguardanti le trasmissioni per mezzo di satelliti ed in generale nel campo delle microonde, questo fenomeno può creare seri problemi. In particolare nel caso di quadripoli a parametri distribuiti la variazione della fase della funzione di trasferimento crea spesso problemi molto più gravi della variazione di ampiezza poiché è più difficilmente compensabile.

Inoltre in un quadripolo a costanti distribuite le variazioni di fase indotte dalle variazioni di temperatura sono essenzialmente legate alla variazione della geometria dei circuiti, a causa delle dilatazioni termiche dei materiali, ma soprattutto alla variazione della costante dielettrica del mezzo in cui avviene la propagazione del segnale ad alta frequenza, che determina una variazione della velocità di propagazione.

La soluzione che ho indicato è molto semplice ed efficace: basta porre nello stesso ambiente in cui è immerso il quadripolo a costanti distribuite, ed in cascata rispetto ad esso, un dispositivo anch'esso a parametri distribuiti, ma realizzato con materiali aventi variazioni termiche di fase nella funzione di trasferimento di uguale entità e segno opposto.

Questo sistema può trovare numerose applicazioni pratiche facilmente immaginabili, ma per dimostrare la sua pratica efficacia ed utilità sarà sufficiente verificarne l'uso in un caso particolarmente semplice quale è quello delle linee di ritardo in microstriscia utilizzate nel campo delle microonde.

Nella figura allegata ho schematizzato il dispositivo di compensazione DC, costituito da una linea di trasmissione in microstriscia, collegato in cascata ad una linea di ritardo LR in microstriscia costituita da quattro filtri con un ritardo di 4 nS operanti nel campo delle microonde (banda Ku) realizzata su di un substrato di quarzo a basso coefficiente di variazione della costante dielettrica, del tipo delle linee di ritardo utilizzate nella demodulazione differenziale di segnali numerici codificati in fase (PSK).

Ovviamente l'impedenza caratteristica della linea di trasmissione è uguale all'impedenza di riferimento della linea di ritardo.

La scelta di una linea di trasmissione per realizzare l'elemento di compensazione non è l'unica possibile, ma risulta molto conveniente perché non comporta l'introduzione di modifiche sensibili nel progetto della linea di ritardo.

Per un corretto funzionamento del demodulatore, le variazioni di fase nella funzione di trasferimento della linea di ritardo devono essere contenute entro  $\pm 2$  gradi elettrici, mentre, specialmente a bordo di satelliti, le variazioni di temperatura possono raggiungere  $\pm 15$  gradi centigradi intorno al valore di riferimento. In queste condizioni, una linea di ritardo di 16 nS senza compensazione può presentare, nella migliore delle ipotesi, variazioni dell'ordine di  $\pm 7$  gradi elettrici nella fase.

Ho ottenuto la compensazione voluta facendo in modo che, al variare della temperatura, le variazioni di fase della funzione di trasferimento della linea di trasmissione siano della stessa entità ma di segno opposto a quelle che avvengono nella linea di ritardo.

Ho pertanto realizzato la linea di trasmissione su di un substrato che ha le seguenti caratteristiche, tutte facilmente riscontrabili in commercio:

- coefficiente di variazione della costante dielettrica di segno opposto a quello del materiale cui è realizzata la linea di ritardo;
- elevata costante dielettrica di entità sufficiente per ottenere una lunghezza ridotta della linea di trasmissione;
- basse perdite dielettriche;
- basso coefficiente di dilatazione volumica.

Per dimensionare opportunamente la lunghezza della linea di trasmissione ho fatto ricorso alla formula:

$$\Delta\Phi = 2\pi L / \lambda (\Delta l/l + 1/2 \Delta\epsilon/\epsilon)$$

che è ben nota in letteratura, avendo indicato con:

- $\Delta\Phi$  la variazione di fase che si vuole compensare,
- $L$  la lunghezza della linea di trasmissione,
- $\lambda$  la lunghezza d'onda nel mezzo in cui avviene la propagazione,
- $\Delta l/l$  il coefficiente di dilatazione lineare,
- $\Delta\epsilon/\epsilon$  il coefficiente di variazione della costante dielettrica effettiva, che cioè tiene conto della disomogeneità del mezzo di propagazione, al variare della temperatura.

Tutte queste grandezze sono facilmente determinabili con normali misure sui materiali.

Qualora se ne ravvisi l'opportunità, ovviamente, la compensazione può essere attuata utilizzando un quadripolo più complesso del doppio bipolo costituito dalla semplice linea di trasmissione qui adoperata; eventualmente parte della struttura da compensare può anche essere inglobata nel quadripolo di compensazione.

Quindi l'uso di questa mia soluzione in sistemi elettronici critici per applicazioni di alta ed altissima frequenza, quali come detto le trasmissioni satellitari ed in generale nel campo delle microonde, ha comportato indubbi vantaggi in termini di compensazione degli effetti negativi dovuti alle variazioni termiche.

