ANALISI ACCURATA DELLE CARATTERISTICHE PROPAGATIVE DI MICROSTRISCE E SLOTLINE ACCOPPIATE

M. Lucido, G. Panariello, F. Schettino

Dipartimento di Automazione, Elettromagnetismo, Ingegneria dell'Informazione e Matematica Industriale, Università di Cassino
via G. Di Biasio 03043, Cassino (FR)
schettino@unicas.it

Abstract

Aim of this paper is the accurate analysis of the dispersion characteristics of N coupled microstrip and slot lines. The problem has been formulated as a system of coupled dual integral equations, and solved by means of a Galerkin procedure using the Neumann series. The use of such a series lets the factorisation of the right edge behaviour, thus leading to fast converging series.

INTRODUZIONE

Oggetto del presente lavoro è lo studio delle caratteristiche propagativi in strutture costituite da N microstrisce o slotline accoppiate. Tale problematica trova un vasto campo di applicabilità, testimoniato da una bibliografia troppo ampia per essere qui riportata in maniera esaustiva, che va dai filtri in microstriscia [1] alle interconnessioni su circuiti stampati [2], ma presenta soluzioni numeriche non efficienti o valide solo a bassa frequenza [3, 4]. Le geometrie analizzate sono riportate in figura 1, anche se generalizzazioni della stratificazione possono facilmente essere portate in conto modificando la funzione di Green.

FORMULAZIONE DEL PROBLEMA

E' ben noto che le strutture planari in microstriscia possono essere efficacemente analizzate formulando il problema nel dominio spettrale. La natura delle condizioni al contorno, di tipo diverso in regioni complementari, consente di ricondurre il problema a N coppie di equazioni integrali del tipo [5]

$$\begin{aligned} &\int_{-\infty}^{\infty} \underline{\underline{G}}(u)\cdot \underline{J}(u)e^{-jux}du = \underline{0} \qquad \text{se} \qquad x\in\Omega \\ &\int_{-\infty}^{\infty} \underline{J}(u)e^{-jux}du = \underline{0} \qquad \text{se} \qquad x\notin\Omega \end{aligned} \tag{1}$$

dove $\underline{\underline{G}}(u)$ è la funzione di Green bidimensionale nel dominio spettrale per la geometria in esame, $\underline{J}(u)$ è la distribuzione di corrente elettrica o magnetica incognita, e Ω è il dominio in cui tale corrente è diversa da zero. Il sistema (1) può essere risolto mediante

il metodo di Galerkin, prestando particolare attenzione alla scelta delle funzioni di base con cui sviluppare la corrente incognita. In particolare, al fine di migliorare l'efficienza del metodo, le funzioni d'espansione devono fattorizzare termine a termine il corretto andamento di bordo, ed essere analiticamente trasformabile.
Una scelta che soddisfa entrambi tali criteri è costituita dalle seguenti funzioni, eventualmente scalate e traslate,

$$f_m(x) = \begin{cases} \left(1-x^2\right)^{p-1/2} C_m^{(p)}(x) & |x| < 1 \\ 0 & |x| > 1 \end{cases} \qquad m = 0,1,2,\ldots \tag{2}$$

dove $C_m^{(p)}(x)$ è il polinomio di Gegenbauer di grado m, e p è un parametro libero che può essere fissato opportunamente per fattorizzare il corretto andamento di bordo. In particolare, nel caso di spessore della metallizzazione infinitesimo, il parametro p deve essere scelto pari a zero o a uno, a seconda della componente della corrente, e i polinomi di Gegenbauer degenerano in polinomi di Chebychev di prima e seconda specie.
Con tale scelta, la corrente sulla microstriscia o slot i-sima, di larghezza $2a_i$ e posizione x_i, può essere espressa, nel dominio trasformato, attraverso gli sviluppi in serie di Neumann

$$\begin{aligned} J_x^{(i)}(u) &= e^{jux_i} \sum_{n=0}^{\infty} J_{x_n}^{(i)} \frac{J_{n+s_i}(a_i u)}{(a_i u)^{s_i}} \\ J_z^{(i)}(u) &= e^{jux_i} \sum_{n=0}^{\infty} J_{z_n}^{(i)} \frac{J_{n+p_i}(a_i u)}{(a_i u)^{p_i}} \end{aligned} \tag{3}$$

dove s_i e p_i sono i parametri liberi dell'espansione.
Oltre a consentire la fattorizzazione del corretto andamento di bordo, le espansioni (3) garantiscono anche l'automatico soddisfacimento della seconda delle (1), mentre la prima, proiettata su una base analoga seguendo lo schema di Galerkin, porta ad un sistema di equazioni omogeneo. I modi propagativi della struttura possono, allora, essere determinati imponendo l'annullamento del determinante di tale sistema.

RISULTATI NUMERICI

Per entrambi i tipi di struttura si è visto che sono, in generale, sufficienti pochi termini di espansione (3-4) per ottenere risultati accurati. E' stata simulata una struttura costituita da 3 microstrisce: in figura 2a sono riportati gli andamenti della ε_{eff} per i 3 modi presenti nella struttura; nelle figure 3 e 4 sono riportati gli andamenti delle correnti quando le 3 microstrisce sono vicine, e quando la terza è distante; in quest'ultimo caso i modi presenti nella struttura sono praticamente quelli di due microstrisce accoppiate e di una microstriscia isolata (figure 3b e 4b).

E' inoltre possibile studiare i modi di ordine superiore: a titolo di esempio in figura 2b sono riportati gli andamenti della ε_{eff} per i primi due modi di una microstriscia isolata.

Infine, in figura 5 sono riportate le caratteristiche di dispersione di due slotline accoppiate, mentre in figura 6 è riportato l'errore relativo rispetto alle formule quasi-statiche comunemente utilizzate per le guide coplanari.

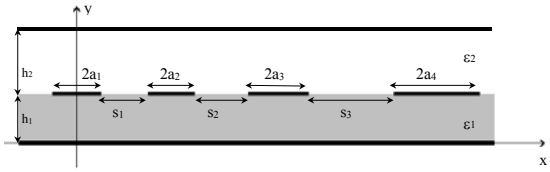

Figura 1a: microstrisce accoppiate.

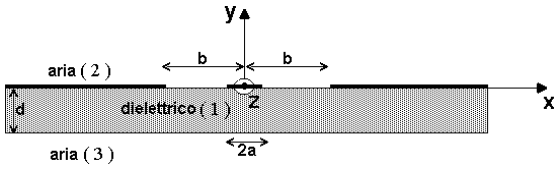

Figura 1b: slotline accoppiate.

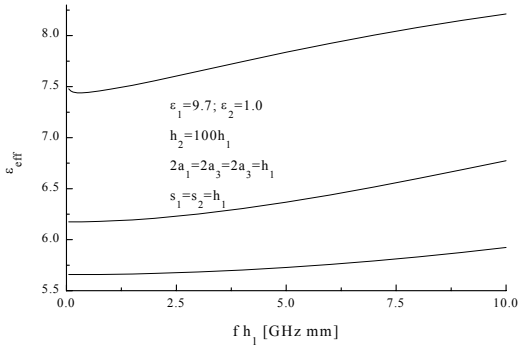

Figura 2a: andamento della ε_{eff} dei 3 modi presenti in 3 microstrisce.

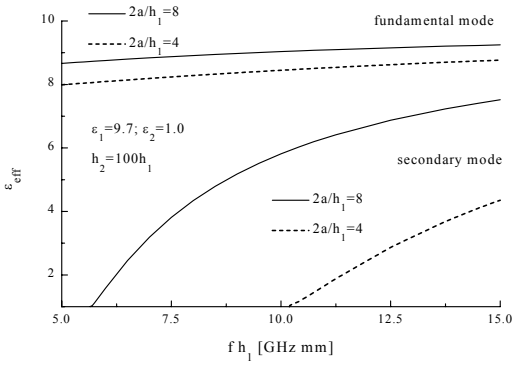

Figura 2b: andamento della ε_{eff} del modo fondamentale e del primo modo superiore in una microstriscia singola.

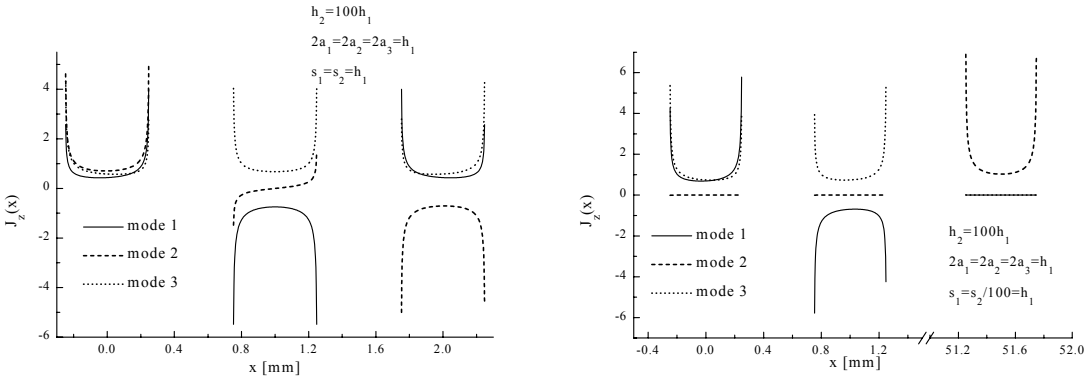

Figura 3: andamento della componente longitudinale di corrente per i 3 modi presenti in 3 microstrisce: (a) tre microstrisce vicine, (b) la terza microstriscia è lontana.

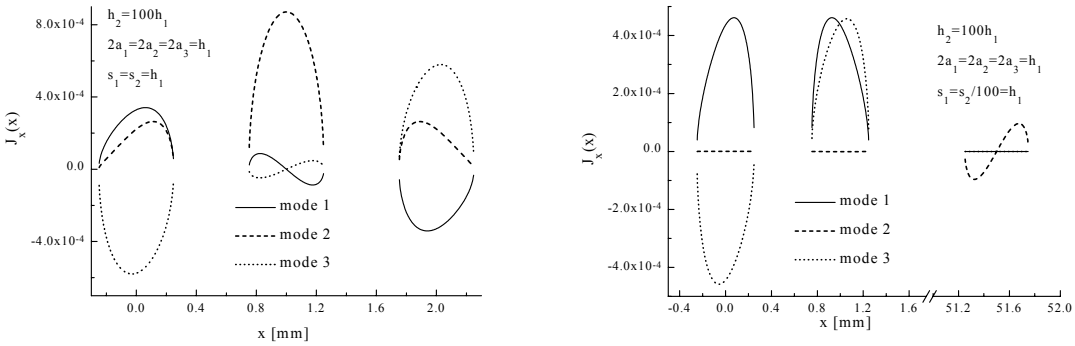

Figura 4: andamento della componente trasversale di corrente per i 3 modi presenti in 3 microstrisce: (a) tre microstrisce vicine, (b) la terza microstriscia è lontana.

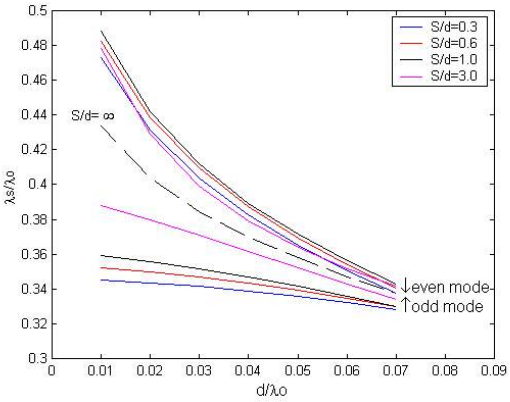

Figura 5: caratteristiche di dispersione di due slotline accoppiate.

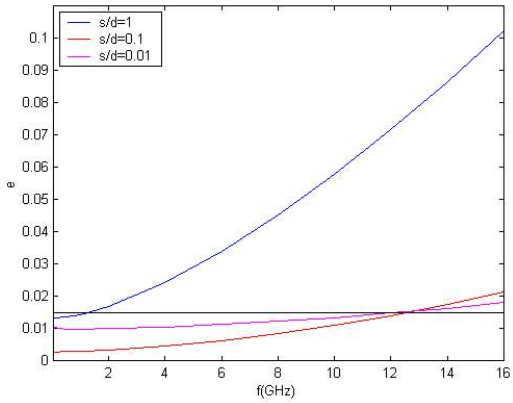

Figura 6: errore percentuale rispetto alle formule quasi statiche di Davis [6].

BIBLIOGRAFIA

[1] R. Schwindt, C. Nguyen, *Spectral Domain Analysis of Three Symmetric Coupled Lines and Application to a New Bandpass Filter*, IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniques, Vol. 42, July 1994.

[2] Special Issue dei Proceedings of the IEEE, Vol. 89, April-May 2001.

[3] D. Homentcovschi, R. Oprea, *Analytically Determined Quasi-Static Parameters of Shielded or Open Multiconductor Microstrip Lines*, IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniques, 46, Jan. 1998.

[4] C.J. Hsu, *Coplanar-Waveguide Dispersion Characteristics Including Anysotropic Substrate*, IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniques, Vol. 49, February 2001.

[5] I.N. Sneddon, *Mixed Boundary Value Problems in Potential Theory*, North-Holland, Amsterdam, 1966.

[6] M. E. Davis et. al., *Finite Boundary Correction to the Coplanar Waveguide Analysis*, IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniques, Vol. 21, September 1973.