

Análisis eficiente de modos de fuga en líneas de transmisión impresas en medios estratificados

Joaquín Bernal Méndez, Francisco Mesa Ledesma, Francisco Medina Mena

Dpto. de Electrónica y Electromagnetismo, Facultad de Física. Universidad de Sevilla
Avda. Reina Mercedes S/N, 41012 Sevilla
jbmendez@cica.es

RESUMEN

En este trabajo se hace uso de la técnica *Mixed Potential Integral Equation* (MPIE) junto con el método de las imágenes complejas para analizar líneas de transmisión impresas en medios multicapa. La principal contribución del método aquí presentado es que permite estudiar tanto el régimen ligado como el radiante (*leaky*) de una manera muy simple y eficaz. Dado que el análisis se lleva a cabo en el dominio espacial, es posible estudiar los modos de fuga en estructuras cuyos conductores no pueden considerarse planos.

1. INTRODUCCIÓN

El método de la Ecuación Integral en sus distintas versiones se ha mostrado como una herramienta particularmente eficaz para el análisis de estructuras de guiado en medios estratificados. Para estructuras con conductores no planos, es preferible formular la ecuación integral en el dominio espacial. En este caso, se hace necesario obtener la función de Green en el dominio espacial a partir de su versión espectral por medio de una transformada inversa de Fourier [1]. Para facilitar este cálculo, se ha desarrollado en la última década una herramienta muy eficiente: la técnica de las imágenes complejas [2]. Aunque esta técnica nace en el marco de problemas 3D, ha sido adaptada recientemente para tratar problemas de guiado (2D) [3, 4, 5]. Sin embargo, estos trabajos se restringen al análisis de modos ligados, dejando de lado el problema de la aparición de modos de fuga tanto de superficie como de volumen. Los modos de fuga se han estudiado exhaustivamente mediante análisis en el dominio espectral [6]. Este tipo de análisis requiere realizar una integración numérica a lo largo de un camino de integración apropiadamente elegido en el plano complejo de la variable espectral. En este trabajo se muestra que es posible adaptar la técnica de las imágenes complejas para realizar el análisis tanto de modos ligados como de fuga, obteniéndose un método más simple y que, a diferencia del método espectral, permite abordar el estudio de estructuras con conductores no planos.

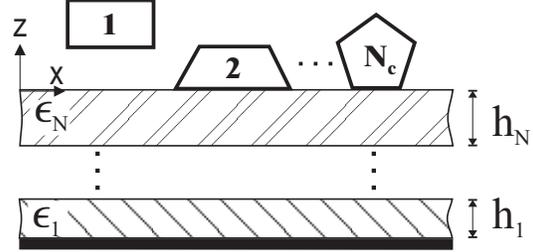


Figura 1: Sección transversal de la estructura analizada.

2. ANÁLISIS

Una vez formulada la ecuación MPIE [3, 4], las funciones de Green para los potenciales escalar eléctrico y vector magnético deben obtenerse a partir de sus contrapartidas espectrales. En consecuencia, es necesario calcular transformadas inversas de Fourier del tipo:

$$G(x, x') = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-jk_x|x-x'|} \tilde{G}(k_\rho) dk_x \quad (1)$$

donde $k_\rho = \sqrt{k_x^2 + k_y^2}$, k_x es el número de ondas transversal y $k_y = \beta - j\alpha$ es la constante de propagación.

El método de las imágenes complejas puede emplearse para evitar la integración numérica (1). La idea básica de este método es desarrollar la función espectral como una suma de exponenciales complejas, cada una de las cuales tiene un versión espacial conocida.

Sin embargo, las imágenes complejas sólo resultan apropiadas para aproximar funciones analíticas, mientras que la función espectral $\tilde{G}(k_x)$ tiene dos puntos de rama en $k_x = \pm \sqrt{k_0^2 - k_y^2}$, además de infinitos polos. El cambio de variable $u_0 = \sqrt{k_\rho^2 - k_0^2}$ elimina el punto de rama. Los polos asociados con los modos de la guía que están por encima del corte resultan ser los más significativos y pueden extraerse analíticamente. Si la contribución cuasi-estática se extrae también, la función de Green espectral queda expresada como:

$$\tilde{G} = \tilde{G}_0 + \tilde{G}_P + \frac{1}{u_0} \tilde{G}_I \quad (2)$$

donde \tilde{G}_0 es el término cuasi-estático, \tilde{G}_P representa la contribución de los términos de onda de superficie y \tilde{G}_I es la parte de la función que se aproxima como una suma de exponenciales:

$$\tilde{G}_I \approx \sum_{i=1}^{N_m} a_i e^{-\gamma_i u_0} . \quad (3)$$

La versión espacial de este término puede obtenerse analíticamente gracias a la siguiente identidad:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{-\gamma u_0}}{4\pi u_0} e^{-jk_x |x-x'|} dk_x = \begin{cases} \frac{1}{4j} H_0^{(2)} \left(\xi \sqrt{k_0^2 - k_y^2} \right) & \text{Im} \sqrt{k_0^2 - k_y^2} > 0 \\ \frac{1}{2\pi} K_0 \left(\xi \sqrt{k_y^2 - k_0^2} \right) & \text{Im} \sqrt{k_0^2 - k_y^2} < 0 , \end{cases} \quad (4)$$

donde $\xi = \sqrt{(x-x')^2 + \gamma^2}$, K_0 es la función modificada de Bessel de primera clase y orden cero y $H_0^{(2)}$ es la función de Haenkel de segunda clase y orden cero. La primera opción da lugar a campos crecientes, lo que representa al modo de fuga. La segunda opción proporciona los modos ligados. En [6, 7] los modos de fuga de volumen se obtienen proponiendo un camino de integración alternativo en el plano complejo k_x para la evaluación numérica de la integral (1). Esto se evita con el método aquí propuesto. Respecto al término \tilde{G}_0 , es un caso particular de (4).

En la exposición de este trabajo se presentará una identidad que permite calcular la versión espacial de \tilde{G}_P tanto en régimen ligado como en presencia de modos de fuga de superficie.

La ecuación integral se resuelve eficazmente mediante el método de momentos [3, 4].

3. RESULTADOS NUMÉRICOS

En primer lugar hemos comparado nuestros resultados con los obtenidos utilizando un análisis espectral [7] para conductores de sección transversal plana. Se ha encontrado una concordancia excelente. Como ejemplo, en la figura 2 se muestra la constante de propagación de un modo de fuga de superficie que aparece en la estructura tipo microstrip de la figura. Para el caso de conductor plano, la figura muestra nuestros datos en comparación con los obtenidos mediante la técnica espectral. El mismo modo en esta estructura ha sido analizado en [1] para el caso en que el conductor presenta grosor no nulo con sección rectangular. Nuestros resultados coinciden con los presentados en ese trabajo, y se muestran en la misma gráfica. En la figura 2 se han representado también los resultados que proporciona nuestro método cuando se considera que la sección transversal del conductor es trapezoidal.

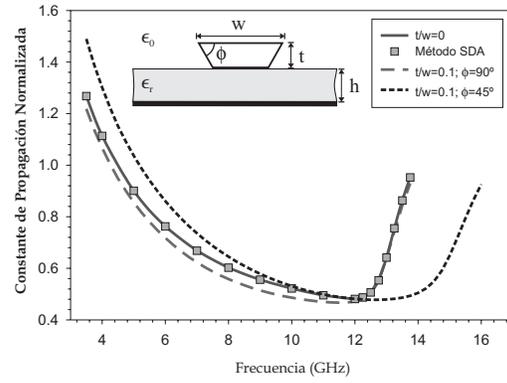


Figura 2: Constante de propagación normalizada (β/k_0) de un modo de fuga de volumen presente en la estructura de la figura. $\epsilon_r = 9.8$, $w = 3$ mm, $h = 0.635$ mm, $t =$ grosor de la tira.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del proyecto TIC98-0630 subvencionado por la CICYT.

Referencias

- [1] K. A. Michalsky and D. Zheng, "Rigorous analysis of open microstrip lines of arbitrary cross section in bound and leaky regimes," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 37, pp. 2005–2010, Dec. 1989.
- [2] D.G. Fang, J.J. Yang and G.Y. Delisle, "Discrete image theory for horizontal electric dipoles in a multilayered medium," *Proc. Inst. Elec. Eng.*, vol. 135, pp. 297–302, Oct. 1988.
- [3] J.Bernal, F.Medina, R.R.Boix and M.Horno, "Fast full wave analysis of multistrip transmission lines based on MPIE and complex images," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 48, pp.445–452, Mar. 2000.
- [4] J.Bernal, F.Medina, R.R.Boix and M.Horno, "Full-wave analysis of nonplanar transmission lines on layered medium by means of MPIE and complex image theory," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 49, pp. 177–185, Jan. 2001.
- [5] E. A. Soliman, P. Pieters, E. Beyne and G.A.E. Vandenbosch, "Numerically efficient spatial-domain moment method for multislotted transmission lines in layered media —application to multislotted in MCM-D technology," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, pp. 1782–1787, Sep. 1999.
- [6] N.K. Das and D.M. Pozar, "Full-wave spectral-domain computation of material, radiation and guided wave losses in infinite multilayered printed transmission lines," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 39, pp. 54–63, Jan. 2000.
- [7] R. Marqués, F. Mesa, "Spectral domain analysis of higher order leaky modes in microstrip lines: a new spectral-gap effect," *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, vol. 11, pp. 1367–1384, 1997.