

# NUEVA FORMULACIÓN DEL MÉTODO DE MODOS ACOPLADOS: APLICACIÓN AL ESTUDIO DE LA PROPAGACIÓN EN GUÍAS DE PLANOS PARALELOS PARCIALMENTE LLENAS DE FERRITAS

A. Gómez, J. S. Ipiña, A. Prieto, A. Vegas y M. A. Solano

Departamento de Ingeniería de Comunicaciones  
E.T.S.I.I. Y TELECOMUNICACIÓN  
Universidad de Cantabria  
[solanom@unican.es](mailto:solanom@unican.es)

## RESUMEN

En esta comunicación se extiende a medios anisótropos la formulación del método de modos acoplados con funciones escalón que se ha mostrado útil para medios isótropos. La formulación se aplica a una guía de onda de planos paralelos parcialmente llena con una lámina de ferrita magnetizada. Los resultados tanto en lo que respecta al campo electromagnético como a las constantes de propagación mejoran sensiblemente respecto a la formulación clásica.

## 1. INTRODUCCIÓN

El método de Modos Acoplados es un método seminumérico que permite obtener el campo electromagnético en el interior de una guía rectangular parcialmente llena con materiales dieléctricos isótropos o anisótropos independientemente de que exista o no solución analítica [1]. Básicamente, el método de modos acoplados es un método de momentos en el que las funciones base son las correspondientes a una guía ideal que no contenga los dieléctricos de la guía a resolver. Como no es necesario aplicar condiciones de contorno, el método se muestra muy versátil en el sentido de que es capaz de ser utilizado para cualquier estructura sin tener que rehacer la formulación [1]. Sin embargo, muestra un inconveniente cuando se aplica a estructuras con fuertes discontinuidades transversales: la convergencia resulta ser lenta y es necesario introducir muchas funciones base para obtener buenos resultados. Esto es debido a que cada componente de campo se aproxima por suma de funciones continuas sinusoidales; si una componente de campo es discontinua en una dirección, es posible que haya que recurrir a un gran número de funciones para obtener una buena aproximación del comportamiento discontinuo del campo. En esta comunicación se extiende la formulación presentada en [3] con objeto de hacerla capaz de analizar no sólo estructuras isótropas sino también estructuras anisótropas magnéticas. La formulación consiste en obligar, a priori, a ser discontinuas a aquellas componentes que sean discontinuas en una dirección transversal, modificando adecuadamente su desarrollo en serie de funciones base. Se aplicará a un caso sencillo cual es el de la guía de planos paralelos parcialmente llena con una lámina de ferrita (figura 1).

## 2. TEORÍA

Para una lámina de ferrita magnetizada según la dirección Y el tensor permeabilidad viene dado por el tensor

$$[\mathbf{m}_r] = \begin{bmatrix} \mathbf{m} & 0 & jk \\ 0 & 1 & 0 \\ -jk & 0 & \mathbf{m} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Si suponemos además que la ferrita tiene una permitividad  $\epsilon_r$ , al aplicar las condiciones de contorno, vemos que la única componente discontinua es  $E_y(y)$ . Si introducimos el uso de la función escalón [3], donde se impone a priori la discontinuidad, tendremos como desarrollo para la componente normal del campo eléctrico

$$E_y = \frac{1}{\epsilon} D_y = \left( \frac{1}{\epsilon_r} U_{y_1} + U_{y_2} \right) \sum_i V_{(i)} \frac{\partial T_{(i)}}{\partial y} \quad (2)$$

donde  $T_{(i)}(y)$  es la función potencial escalar correspondiente a los modos TM para una guía de planos paralelos vacía,  $V_{(i)}(z)$  los coeficientes de cada término del desarrollo, y  $U_{y_1} = U_d(y) - U_d(y-h)$  y  $U_{y_2} = U_d(y-h) - U_d(y-b)$ .  $U_d$  es la función escalón.

Tomando para el resto de las componentes del campo los mismos desarrollos que se tomaban en la formulación original de Schelkunoff, y siguiendo el proceso habitual del Método de Modos Acoplados, se obtiene el sistema de matricial de ecuaciones, cuyos autovalores son las constantes de propagación del campo, mientras que los autovectores son los coeficientes buscados de los desarrollos en serie de las componentes.

## 3. RESULTADOS

La formulación descrita, se ha aplicado a una guía de planos paralelos parcialmente llena de una lámina de ferrita (ver figura 1). Para chequear la bondad de la formulación se han obtenido resultados para los casos particulares en los que es posible obtener una solución analítica. Así en la figura 2, se muestra la gráfica de dispersión para los tres primeros modos para el caso de una lámina dieléctrica obtenida haciendo que el campo magnético externo  $H_0$  y la magnetización de saturación sean cero, comparando los resultados del método de modos acoplados con los exactos. De la misma manera en la gráfica 3 se muestran

resultados similares para el caso en el que la guía está completamente llena de ferrita magnetizada según la dirección  $y$ . Los resultados exactos se han obtenido mediante la solución exacta dada en [2]. En cada caso se han tomado un total 40 modos base para el desarrollo de las componentes. Los resultados muestran una buena concordancia.

En la figura 4 se muestran los resultados obtenidos para las constantes de propagación para los seis primeros modos, en el caso general en que la lámina está formada por una ferrita magnetizada según la dirección  $Y$ . Finalmente, en la figura 5 se muestra el perfil del campo eléctrico correspondiente a la componente discontinua  $E_y$  para los tres primeros modos. Se puede observar cómo la discontinuidad es recogida perfectamente.

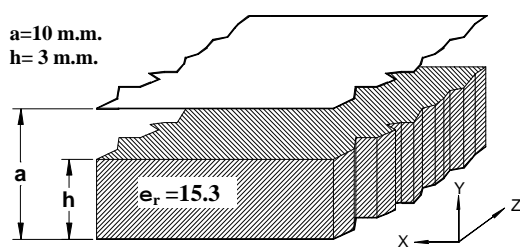


Figura 1. Guía de onda de planos paralelos parcialmente llena de ferrita con una lámina de ferrita.

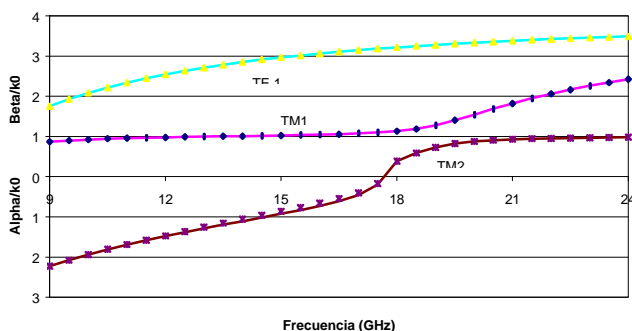


Figura 2. Gráfica de dispersión para una lámina dieléctrica

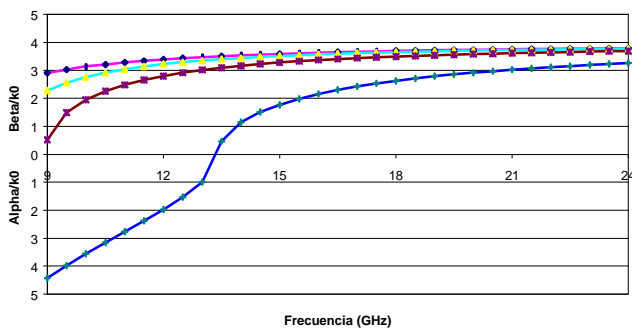


Figura 3. Gráfica de dispersión de la guía llena de ferrita

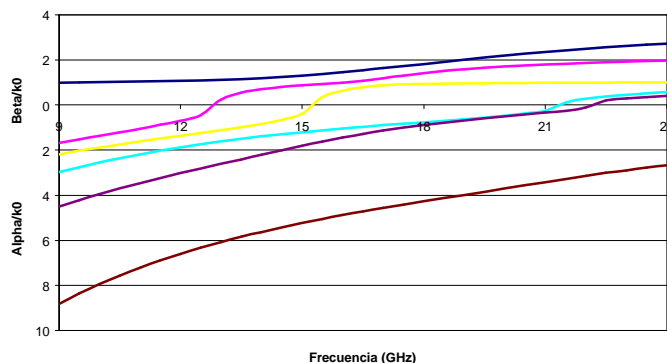


Figura 4. Gráfico de dispersión de la guía parcialmente llena de ferrita

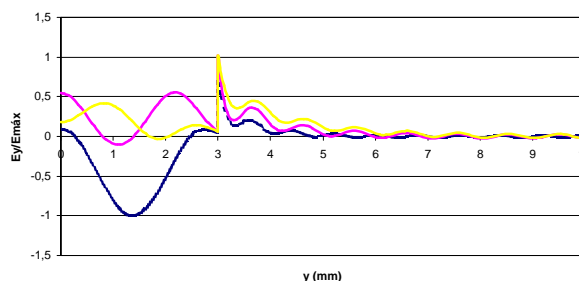


Figura 5. Campo eléctrico en el interior de la guía con ferrita

#### 4. CONCLUSIONES

En esta comunicación se ha presentado una nueva formulación del método de modos acoplados utilizando funciones escalón. Ello permite obtener una mejor convergencia en las constantes de propagación y una mejor representación del campo electromagnético en el interior de la guía.

#### 5. REFERENCIAS

- [1] M.A. Solano, A. Vegas and A. Prieto: Numerical analysis of discontinuities in a rectangular waveguide loaded with isotropic or anisotropic obstacles by means of the coupled-mode-method and the mode-matching method", Int. Journal of Numerical Modelling: Electronic networks, devices and fields. Vol. 7, pp.433-452. 1994.
- [2] J.S. Ipiña, A.Gómez, A. Prieto, A.Vegas y M.A. Solano: "Utilización de funciones de salto en el desarrollo del método de Modos acoplados Acoplados", XV Symposium Nacional de URSI, pp.399-400, Zaragoza, 13 - 15 de septiembre de 2000.}
- [3] H. Unz: "Propagation in arbitrarily magnetized ferrites between two conducting parallel planes" IEE Transaction on Microwave theory and techniques, Vol. #, pp 204-210, May 1963.