

UTILIZACIÓN DE FUNCIONES DE SALTO EN EL DESARROLLO DEL MÉTODO DE MODOS ACOPLADOS

J.S. Ipiña, A. Gómez, A. Prieto, A. Vegas y M. A. Solano
 Departamento de Ingeniería de Comunicaciones
 E.T.S.I.I Y TELECOMUNICACIÓN
 UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
 AVDA. DE LOS CASTROS S/N, 39005 SANTANDER
 942-201392 ext. 23 Fax 942-201488 E-mail:
jsaiz@dicom.unican.es

ABSTRACT

En esta comunicación se presenta una nueva formulación del método de modos acoplados que mejora el comportamiento tanto en exactitud como en resultados de convergencia. Los resultados para una guía de planos paralelos parcialmente llena con una lámina dieléctrica muestran la bondad del método aplicado.

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 isotropos o anisotropos [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 [2] se muestra una alternativa para guías con dos discontinuidades transversales, que consiste en utilizar como funciones base las funciones de los modos LSE y LSM de una guía con una sola discontinuidad transversal. La dificultad de esta formulación estriba en que la formulación del problema se complica bastante respecto al caso habitual.

Otra alternativa que no complica en exceso la formulación, es la que se presenta en esta comunicación. Esta nueva formulación del método de modos acoplados consiste en obligar, a priori, a las componentes del campo electromagnético que presenten saltos abruptos, debido a un cambio en las características de los medios, a ser discontinuas. Se aplicará a un caso sencillo cual es el de la guía de planos paralelos parcialmente llena con una lámina dieléctrica (figura 1).

TEORÍA

El desarrollo matemático del método de modos acoplados puede verse, para un caso general, en [1]. Para el caso de una guía de planos paralelos como la de la figura 1, sólo la componente $E_y(y)$ es discontinua en $y=h$. La formulación clásica implica expresar cada componente del campo electromagnético como un sumatorio de funciones continuas. La componente $E_y(y)$ sería

$$E_y(y) = \sum_i^{\infty} V_{(i)}(z) \frac{\partial T_{(i)}(y)}{\partial y} \quad (1)$$

donde $T_{(i)}(y)$ es la función potencial escalar correspondiente a los modos TM para una guía de planos paralelos vacía y $V_{(i)}(z)$ los coeficientes de cada sumando. Con este desarrollo se simula el comportamiento discontinuo de E_y como suma de funciones continuas. Ello es posible, pero, cuanto mayor sea el "tamaño" de la discontinuidad, más funciones habrá que introducir en el desarrollo y, en general, peor será la reproducción del comportamiento exacto de esa componente de campo.

Ya que la componente E_y es discontinua en $y=h$, y que D_y es continua, un desarrollo del tipo al indicado en (1) sería más adecuado para la componente D_y . En ese caso, y aplicando las relaciones de constitución, el desarrollo para la componente E_y quedaría como

$$E_y = \frac{1}{\varepsilon} D_y = \left(\frac{1}{\varepsilon_r} U_{y1} - U_{y2} \right) \sum_i^{\infty} V_{(i)} \frac{\partial T_{(i)}}{\partial y}$$

donde las funciones $U_{y1} = U_{\delta}(y) - U_{\delta}(y-h)$ y $U_{y2} = U_{\delta}(y-h) - U_{\delta}(y-b)$. U_{δ} es la función escalón. El resto de las componentes transversales, al ser continuas, se expresan con el desarrollo clásico.

Siguiendo el proceso habitual se obtiene el sistema de ecuaciones que en forma matricial es

$$\frac{\partial}{\partial z} \begin{bmatrix} V_{(i)} \\ V_{[m]} \\ I_{(n)} \\ I_{[m]} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & [Z^T_{(i)(n)}] & 0 \\ 0 & 0 & 0 & j\omega\varepsilon_0 [U_{[m][l]}] \\ j\omega\varepsilon_0 [U_{(n)(i)}] & 0 & 0 & 0 \\ 0 & [Y^T_{[m][l]}] & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{(i)} \\ V_{[l]} \\ I_{(n)} \\ I_{[l]} \end{bmatrix}$$

donde U es la matriz identidad y Z e Y son matrices con coeficientes de acoplo similares a los dados en [1]. Los autovalores de la matriz del sistema son las constantes de propagación y los autovectores los coeficientes del desarrollo del campo electromagnético.

RESULTADOS

La formulación descrita se ha aplicado a la guía de planos paralelos parcialmente llena mostrada en la

figura 1. Se han realizado pruebas de convergencia en lo que respecta a las constantes de propagación, en función del número de modos base escogidos, para dieléctricos con permitividades variando entre 2 y 30. En todos los casos estudiados se ha visto que con elegir 30 funciones base se alcanzan valores estables de las constantes de propagación para todos los modos obtenidos.

En la figura 2 se muestra el diagrama de dispersión para los 5 primeros modos correspondientes a la guía de la figura 1, obtenido con 30 funciones base. Se puede ver el excelente acuerdo entre los resultados proporcionados por el método de modos acoplados y los resultados exactos obtenidos de resolver la ecuación característica correspondiente. En lo que respecta al comportamiento del campo electromagnético, en la figura 3 se muestra la variación con la coordenada "y" de la componente discontinua E_y y las continuas E_z y H_x (normalizadas a su valor máximo) para el mismo caso de la figura 2, correspondientes al modo TM_1 , obtenidos con el método de modos acoplados. No se han dibujado los valores exactos por no diferenciarse, dentro de la exactitud del dibujo, de los aproximados. Se puede observar como se recoge el comportamiento discontinuo de la componente E_y en la superficie de separación dieléctrico vacío. Análogamente, en la figura 4 se muestra el campo para el modo TM_3 , que en este caso está en corte.

CONCLUSIONES

En esta comunicación se ha presentado una nueva formulación del método de modos acoplados que se basa en desarrollar las componentes discontinuas del campo electromagnético mediante una combinación del desarrollo clásico junto con funciones de salto. Los resultados aplicados a una guía de planos paralelos parcialmente llena con una lámina dieléctrica, comparados con los exactos, son excelentes.

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.W.Tao, J. Atechian, R. Ratovondrahanta, H. Baudrand: "Transverse operator study of a large class of multidielctric waveguides" IEE Proceedings, Vol. 137, Pt.H, No. 5, pp. 311-317, October 1990.

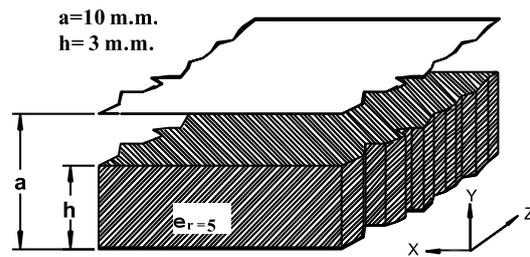


Figura.1

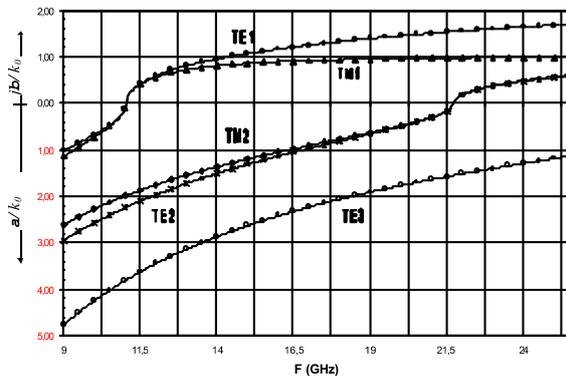


Figura.2

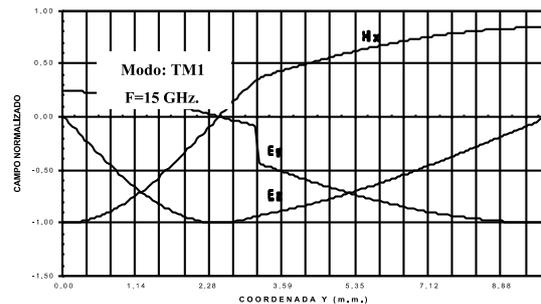


Figura.3

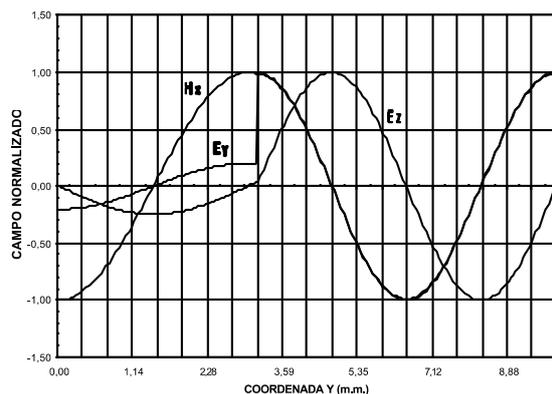


Figura.4

Modo: TM_3
F=15 GHz.