

DISEÑO DE BOCINAS RIDGE CONFORMADAS USANDO EL MÉTODO INCREMENTAL

M. Tintoré, S. Blanch, LL. Jofre.

Dpto. Teoria del Señyal i Comunicacions, Grup AMR.
E.T.S. Enginyers de Telecomunicació de Barcelona, U.P.C.
Apdo. Postal 30002, 08080 Barcelona (España)

ABSTRACT

A ridged horn for solving the drawbacks of huge bandwidth applications -such as ISAR imaging and radar absorbing materials characterization- is proposed. To analyze it we use a new interpretation of the spectral incremental propagation method which decomposes the fields in a set of distributions each corresponding to a ridged waveguide eigenvalue, propagating later each distribution separately.

1. INTRODUCCIÓN

El presente artículo obedece a la necesidad de disponer de una antena de gran ancho de banda para satisfacer dos necesidades: la medida del eco radar de objetos (sección recta e imágenes ISAR) y la caracterización de las propiedades electromagnéticas de materiales absorbentes radar. De esta manera se evitan los inconvenientes que tiene el uso de un alimentador diferente para cada banda, con los inconvenientes que ello tiene tanto en coste (varios juegos de antenas, cables, etc) como en el proceso de medida (calibración para cada banda, cambios indeseados en la posición del objeto a medir, mayor tiempo de medida, etc).

La opción escogida es una bocina *ridge*, que permite cubrir anchos de banda con relaciones entre frecuencia inferior y superior de hasta 1 a 10, que satisface el objetivo perseguido.

El fin era disponer de un programa de análisis numéricamente eficiente para el caso de bocinas conformadas como es el método de la propagación incremental del espectro (M.P.I.E.) [1]. El hecho de que la geometría de la guía no sea rectangular ha comportado que no se pueda aplicar dicho método, ya que hay que eliminar las paredes de la guía y conseguir que el campo sea periódico en el espacio. Esto ha obligado a proponer una nueva interpretación de dicho método que es el método de propagación modal y a un análisis detallado de la guía *ridge* para obtener las frecuencias de corte y la distribución de campos existentes en ella. En caso de que la guía estudiada tenga otra sección cuya solución sea conocida, el método de propagación modal es igualmente aplicable.

2. ANÁLISIS DE UNA GUÍA RIDGE

La literatura referente al diseño de bocinas *ridge* es escasa y se circunscribe básicamente al artículo de Walton y Sundberg [2], donde se da una primera aproximación al diseño de antenas *ridge* usando tablas halladas empíricamente. Como referencia en cuanto a análisis de guías *ridge* está el artículo de Y.Utsumi [3], sin duda el más completo, con el cual se comparan resultados.

Para analizar la guía *ridge* se parte de las siguientes consideraciones: que los modos que se propagan son TE, es decir que la única componente longitudinal que tendremos será de campo magnético, y que la dependencia según el eje z es del tipo $e^{-jk_z \Delta z}$

Se usa el teorema de unicidad que permite sustituir una distribución de campos en la guía por una distribución de corrientes equivalentes en la zona de contacto entre la región interior 1 y la región 2 exterior (ver figura 1). Utilizando una pared conductora eléctrica o magnética se puede trabajar únicamente con las corrientes magnéticas o eléctricas respectivamente. Si usamos una pared eléctrica la zona de contacto puede substituirse por una lámina de corrientes magnéticas equivalentes.

De esta manera encontrar los campos electromagnéticos en la guía *ridge* queda reducido a hallar la distribución de corrientes en dicha zona. Por condiciones de simetría de la estructura tan sólo se excitan de manera significativa los modos que tienen simetría par respecto al eje y y para la componente vertical del campo eléctrico, lo que equivale a añadir una pared magnética en dicho eje, y los que tengan simetría par respecto al eje x lo que en este caso al ser la componente y de campo eléctrico normal equivaldría a poner una pared eléctrica en dicho eje.

Los campos dentro de la guía pueden describirse en función de un potencial escalar magnético $\Psi(x,y,z)$. Esta función de potencial satisface la ecuación de onda o Helmholtz y a partir de él se obtienen los campos eléctricos y magnéticos. Una solución que cumple las condiciones impuestas puede escribirse como:

$$\Psi_1(x, y) = \sum_{m=0}^{\infty} a_m \sin k_{x_1} x \cos k_{y_1} y \quad (1a)$$

$$\Psi_2(x, y) = \sum_{n=0}^{\infty} b_n \cos k_{x_2} (a-x) \cos k_{y_2} y \quad (1b)$$

que satisfacen las condiciones de contorno de E_x , para que satisfagan también las de E_y los valores de k_y han de ser $m\pi/s$ en la región 1, y $\pi n/b$ en la región 2.

Mediante (1) se obtienen las expresiones completas de los campos eléctricos tanto en la zona interior como en la exterior. Para la componente y del campo eléctrico en la región exterior:

$$E_{y_2} = -\frac{\partial \Psi_2}{\partial x} = \sum_{n=0}^{\infty} b_n k_{x_2} \sin k_{x_2} (a-x) \cos k_{y_2} y \quad (2)$$

Los valores de los coeficientes a_m y b_n se obtienen iterando de manera que a partir de una distribución arbitraria de campo en la región de contacto se obtiene la solución. Esta zona es la que corresponde a $x=t$ e $|y| < s$. En este algoritmo, es suficiente trabajar con la componente E_y , ya que al ser tangencial a las paredes del escalón vale cero en los intervalos definidos por $x=t$ y $s < |y| < b$.

Si $\eta_0(y)$ es la distribución inicial de la componente y del campo eléctrico, se la puede igualar a las expresiones de campo en la zona interior:

$$\eta_{1,0}(y) = -\frac{\partial \Psi_1}{\partial x} = \sum_{m=0}^{\infty} a_m k_{x_1} \cos k_{x_1} t \cos \frac{m\pi}{s} y \quad (3)$$

Utilizando las simetrías impuestas por la geometría y las propiedades de la Transformada de Fourier, se puede hacer una periodificación de periodo $2s$, de $\eta_1(y)$. De manera que cada

término espectral queda reducido a:

$$\tilde{\eta}_{1,0}(m) = \frac{a_m k_x}{\epsilon_m} \cos k_{x_1} t \quad (4)$$

Donde $\epsilon_m=2$ ($m \neq 0$), $\epsilon_0=1$ (número de Neumann).
De donde se aísla a_m , y substituyendo en (1a) se obtiene:

$$\psi_{1,0}(y) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\tilde{\eta}_{1,0}(m)}{k_{x_1}} \epsilon_m \tan k_{x_1} t \cos \frac{m\pi}{S} y \quad (5)$$

Procediendo de manera parecida en la región 2, se obtiene el valor de b_n y de $\psi_{2,0}$. Ambos resultados se combinan imponiendo la continuidad del potencial. Este nuevo valor de potencial escalar magnético lo designaremos como $\xi_{2,0}(y)$, a partir de él se calcula el nuevo valor de E_y , de manera parecida a como lo se ha hecho anteriormente. Si $\xi_{2,0}(y)$ es el potencial magnético, debe cumplir:

$$\xi_{2,0}(y) = \sum_{n=0}^{\infty} b_n \cos k_{x_2} h \cos \frac{n\pi}{b} y \quad (6)$$

Al igual que antes, se halla el valor de b_n y substituyendo dicho valor en la expresión E_y en la región 2, se tiene:

$$E_{y_{2,0}}(y) = \sum_{n=0}^{\infty} \xi_{2,0}(n) \epsilon_n \tan k_{x_2} h \cos \frac{n\pi}{b} y \quad (7)$$

Imponiendo las condiciones de contorno, se fuerza que los valores E_y para el intervalo $s < |y| < b$ sean iguales a cero.

$$\eta_{2,1}(y) = E_{y_{2,0}}(y) \Pi\left(\frac{2s}{y}\right) \Pi\left(\frac{y}{s}\right) \begin{cases} 1 & |y| < s \\ 0 & \text{fuera} \end{cases} \quad (8)$$

Completando la secuencia se inicia el proceso iterativo cuya convergencia puede evaluarse estudiando la potencia del error en la zona del escalón.

$$\epsilon = \int_s^b |E_{y_{2,0}}(y)|^2 dy \quad (9)$$

Cuando la distribución sea correcta el valor del campo E_y en dicho intervalo tenderá a cero, con lo que el error también lo hará. El algoritmo convergerá a una solución correcta o sea con la potencia del error tendiendo a cero, sólo para las frecuencias de corte de la guía.

3. ANÁLISIS DE UNA BOCINA RIDGE CONFORMADA

Una bocina *ridge* conformada no permite debido a la existencia del escalón una aplicación directa del método de imágenes ni la posterior utilización del M.P.I.E. [1]. Por ello se propone una generalización del método incremental basado en la descomposición de la distribución de campos en un conjunto de modos ortogonales. De forma equivalente al M.P.I.E. se realiza una propagación incremental de la forma:

$$\vec{E}(x, y, z + \Delta z) = \sum_{i=0}^{\infty} c_i \vec{E}_i(x, y, z) e^{-jk_{z_i} \Delta z} \quad (10)$$

Donde E_i es la distribución para cada modo existente en la guía, c_i es el resultado del producto escalar de la distribución de campos existente en z con la de cada modo E_i , y k_z es la constante de propagación de cada modo en la guía. Para asegurarnos que esta descomposición modal es única es necesario que los diferentes modos sean ortogonales entre sí: Esto se cumple en cualquier guía de ondas con paredes perfectamente conductoras para todos los modos tanto TE como TM [4].

En caso de que haya un abocinamiento se discretiza a base de escalones. Para propagar se tiene que interpolar el plano de campo de cada sección para pasar a la siguiente sección, extendiéndolo a toda la nueva región de existencia, considerando de valor cero el campo añadido en las nuevas regiones. Una vez se tenga la nueva distribución únicamente se tiene que propagarla en dicho segmento, que se considera como una guía con sus valores de frecuencias de corte y distribuciones de campo propias. Una vez propagado se vuelve a interpolar, descomponer el campo en la siguiente región, propagar y así sucesivamente según todos los cortes transversales que se hayan hecho.

4. RESULTADOS

Para validar el análisis realizado de la guía *ridge*, se comparan las frecuencias de corte halladas con el método propuesto en [3]. También se han añadido una comparación del campo E_y a lo largo de un corte realizado en $x=t$, es de destacar el nulo rizado que presenta el método propuesto comparado con [3], satisfaciendo mejor las condiciones de contorno. También se ofrece la distribución de campos en la guía para el modo TE_{10} usando el método presentado. Por último, se da la distribución de la componente E_y del campo, tanto en módulo como en fase.

5. AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido financiado por el C.I.C.Y.T. y coordinado por la empresa Construcciones Aeronáuticas S.A.

6. REFERENCIAS

- [1] Joan Manel Rius, Angel Lozano, Angel Cardama, LLuís Jofre Spectral propagation algorithm for RCS of perfectly conducting waveguides IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Chicago - III. E.E.U.U., 18-25 Jul. 1992.
- [2] K.L. Walton, V.C. Sundberg Broadband ridged horn design Microwave Journal, vol. 7, Mar. 1964, pp 96-101.
- [3] Yozo Utsumi Variational analysis of ridged waveguide modes IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. MTT-33, Feb 1985, pp 111-121.
- [4] R.E. Collin Field theory of guided waves IEEE Press, Piscataway N.J. E.E.U.U. 1990, pp 333-337.

Método usado en [3]	Método usado en el presente artículo
0.093	0.096
0.333	0.333
0.3818	0.383
0.5265	0.530
0.6654	0.663
0.6913	0.692
0.7456	0.743

Tabla 1 Valor de K_T de los primeros siete modos de la guía propuesta en [3]

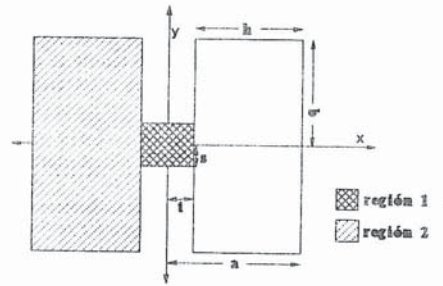


Fig. 1 Corte de una guía ridge

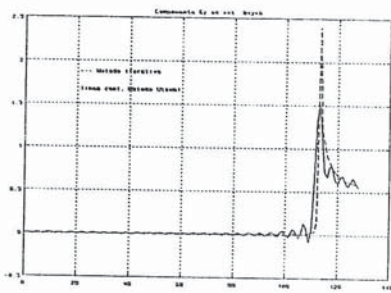


Fig. 2 Corte de la componente E_y en $x=t$, e $0 < y < b$. Dim (mm): $a=9,5$ $b=9,5$ $t=0,15$ $s=1,175$

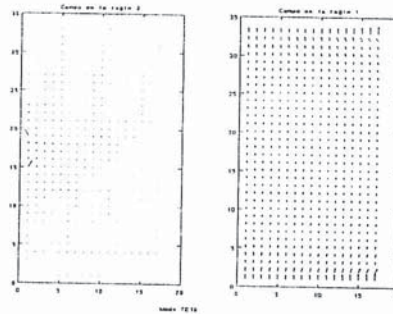


Fig. 3 Distribución de campo en una guía de las mismas dimensiones que la fig. 2.

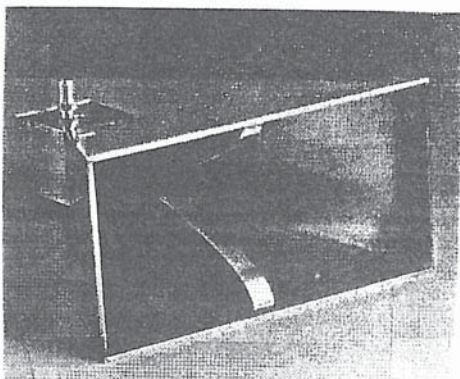


Fig. 4 Bocina ridge estudiada

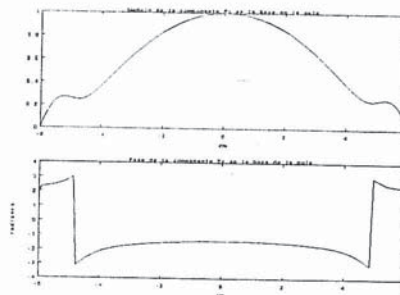


Fig. 5 Módulo y fase en la boca de la bocina ($y=0$)