

Análisis de transiciones de microcinta a guía de onda circular mediante un nuevo método de imágenes espaciales

F. D. Quesada Pereira, P. Vera Castejón, J. L. Gómez Tornero, D. Cañete Rebenaque,
J. Pascual García y A. Álvarez Melcón
Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
Universidad Politécnica de Cartagena, 30202 Cartagena, España
e-mails: fernando.quesada@upct.es, pvera@upct.es, josel.gomez@upct.es, david.canete@upct.es,
juan.pascual@upct.es, alejandro.alvarez@upct.es

Abstract—In this paper a new spatial images procedure has been applied to the analysis of microstrip to circular waveguide transitions. The numerical technique is based on the utilization of stratified image rings, where the weights and orientations of either discrete charges or dipole images are determined. This is accomplished by enforcing the scalar and vector potentials boundary conditions on the cavity walls. The results obtained with the new Green's functions have been compared to those given by a standard integral equation method based on the free space Green's functions, and a finite elements implementation. Good agreement is shown between the different techniques, thus demonstrating the usefulness of the new approach.

I. INTRODUCCIÓN

Las guías de onda circulares constituyen la base de multitud de circuitos de radiofrecuencia, como puedan ser filtros de modo dual [1], [2], resonadores dieléctricos [3], antenas de cavidad [4], [5], [6], [7], [8] o multiplexores. La utilización de guías de onda es especialmente importante en las etapas de alta potencia de los transmisores, donde podemos encontrar niveles muy grandes de potencia. A la hora del diseño de componentes de microondas dentro de guías de onda circulares, generalmente se necesita una transición microcinta que conecte esta etapa con otras partes del subsistema de radiofrecuencia [9], [10], [11].

Tradicionalmente, el diseño de transiciones de coaxial a guía ha sido llevado a cabo experimentalmente [12]. No obstante, las técnicas de elementos finitos [13], o de diferencias finitas [4] han sido aplicadas por ciertos autores al estudio de problemas en cavidad circular. Un procedimiento numérico más eficiente es la utilización de la técnica de acoplo modal, la cual ha sido empleada para el estudio de iris en guía circular [14], [15]. Respecto a las técnicas de ecuación integral, existencias ciertas contribuciones donde sondas o excitaciones de tipo coaxial dentro de guía de onda circular son tratadas numéricamente [16], [11]. Por otra parte, la técnica de ecuación integral también ha sido aplicada al análisis de antenas de cavidad circular [7], [8], [10]. En todos estos trabajos, el núcleo de la ecuación integral está formulado en términos de la función de Green espectral de la cavidad

circular expresada como una serie de funciones de Bessel (modos de la guía circular) [17], [18].

Como alternativa, se puede formular la técnica de ecuación integral en términos de la función de Green de espacio libre [19]. Este procedimiento es más costoso computacionalmente, ya que la estructura completa, incluyendo las paredes de la cavidad, ha de ser discretizado para poder aplicar el procedimiento numérico. Como consecuencia, se tienen que resolver sistemas de ecuaciones de gran tamaño tras la aplicación del método de los momentos. Para reducir las necesidades computacionales asociadas a la anterior técnica, ciertos autores han desarrollado procedimientos que permiten transformar las matrices llenas de los anteriores sistemas a matrices dispersas [20], [21], reduciéndose de este modo el tiempo de resolución necesario por métodos iterativos como el gradiente conjugado y sus variantes. No obstante, este tipo de técnicas se encuentran en una etapa preliminar cuando se trata de resolver complejas estructuras tridimensionales en las que se mezclan cuerpos dieléctricos y conductores. Por el contrario, el uso de la función de Green en el dominio espectral reduce de forma significativa el número de incógnitas, las cuales se encuentran limitadas a las partes metálicas de la estructura, mientras que la propia función de Green contiene la información de la cavidad. La anterior reducción en número de incógnitas se hace a costa de tener que evaluar funciones de Bessel de orden muy alto, cuya precisión es un tanto reducida.

En esta comunicación, un nuevo procedimiento numérico basado en ecuación integral se aplica al análisis de transiciones de microcinta a guía de onda circular [22]. La técnica emplea por primera vez imágenes espaciales discretas para la obtención de la función de Green de la cavidad circular. Las funciones de Green, por tanto, están enteramente formuladas en el dominio espacial. Los pesos de las imágenes se determinan imponiendo condiciones de contorno apropiadas a los potenciales sobre el contorno de la cavidad. El cumplimiento de dichas condiciones de contorno a lo largo del eje longitudinal de la cavidad se tiene en cuenta mediante la utilización de anillos de imágenes situados en diferentes capas. Una de las principales ventajas de formular la función de

Green en el dominio espacial, es la posibilidad de emplear la misma formulación que en espacio libre sin más que cambiar una función de Green por otra. Además, existen diversas variantes, como la utilización de la función de Green del medio multicapa formulada mediante integrales de Sommerfeld en el dominio espacial [23]. En este caso es muy sencillo tener en cuenta automáticamente el efecto de substratos dieléctricos situados dentro de la cavidad, así como el de la tapa superior e inferior de ésta.

La aplicación práctica de la anterior técnica al análisis de transiciones de microcinta a guía circular ha sido puesta en relieve en la presente comunicación. Se ha estudiado, asimismo, el efecto de separar los puertos de entrada y salida una distancia grande en términos eléctricos y la convergencia según el número de anillos empleados. Los resultados obtenidos con el nuevo procedimiento han sido validados comparando con elementos finitos y una implementación de la técnica de ecuación integral en la que se discretiza el contorno completo, observándose una buena concordancia entre las tres técnicas.

II. TEORÍA

Los detalles teóricos de la implementación del nuevo método de imágenes espaciales se pueden encontrar en [24], [22]. En el primer artículo [24], se presentó el método de imágenes espaciales para el cálculo de las funciones de Green del potencial vector magnético y el potencial escalar dentro de una guía circular. En el segundo artículo, se seguía una estrategia similar para el cálculo del potencial vector eléctrico y el potencial escalar magnético.

El procedimiento básico se fundamenta en el uso de la función de Green de espacio libre para la imposición de ciertas condiciones de contorno en puntos discretos de las paredes de la cavidad. Una vez impuestas dichas condiciones de contorno, se resuelven dos sistemas de ecuaciones lineales que nos permitirán determinar los pesos de las cargas y dipolos imagen. El mismo procedimiento se puede emplear para incluir capas en la estructura, sin más que sustituir la función de Green de espacio libre por la del medio multicapa [23].

En el trabajo original, los puntos de fuente y observación para los cuales se calcula la función de Green se sitúan en el mismo plano. Esto es debido a que los circuitos analizados se encontraban encapsulados en cavidades de pequeña altura. En esta comunicación se pretende estudiar transiciones de microcinta a guía circular, existiendo puertos que se encuentran separados unas pocas longitudes de onda. En este caso será necesario calcular el acoplo entre los dos puertos. Por lo tanto, hay que evaluar la función de Green donde la fuente y la observación se encuentran en diferentes planos. Asimismo, al ser grande la altura de la cavidad será necesario imponer las condiciones de contorno en puntos intermedios entre los puertos. Esta tarea, tal y como se verá, se puede llevar a cabo mediante la utilización de distintos anillos estratificados de imágenes.

En la figura Fig. 1, se presenta una situación típica de una estructura con dos metalizaciones diferentes. Un caso similar es el que se emplea para el análisis de un transición de

microcinta a guía circular, en la cual los puertos de entrada y salida se sitúan en dos secciones distintas. En esta situación al menos dos anillos de imágenes son necesarios, uno por cada interfaz donde se encuentren los puertos. Tal y como se muestra en la figura Fig. 1, las condiciones de contorno se imponen en puntos discretos en cada una de las secciones. Si la distancia entre los puertos es grande, la misma idea se puede generalizar y un número creciente de anillos se introducirá para conseguir cierta precisión. Esta idea queda representada en la figura Fig. 2.

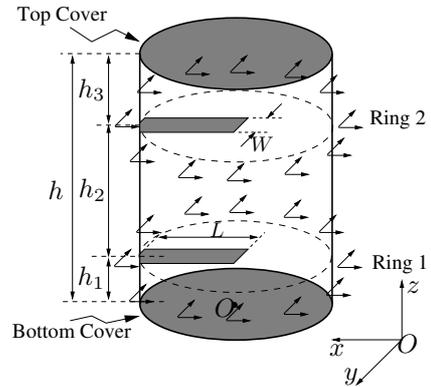


Fig. 1. Transición de guía circular a microcinta con puertos de entrada y salida; $h_1 = h_2 = h_3 = 5\text{mm}$, $W = 0.5\text{mm}$, $L = 4\text{mm}$, O : Origen de coordenadas.

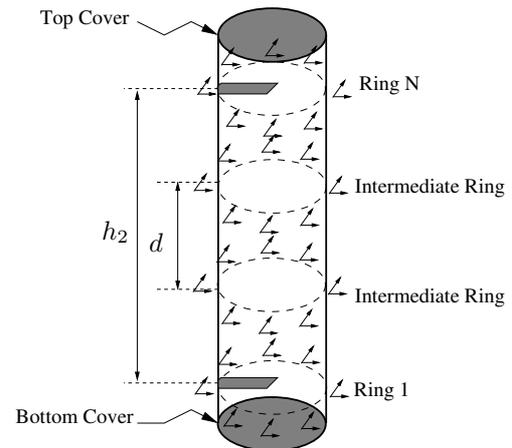


Fig. 2. Transición de guía circular a microcinta larga. Las dimensiones son las mismas que en Fig. 1, pero con $h_2 = 20\text{mm}$; distancia entre anillos de imágenes: $d = 5.0\text{mm}$.

III. RESULTADOS

La técnica descrita en la sección anterior se ha empleado para el análisis de transiciones de microcinta a guía circular (ver Fig. 1). En lugar de utilizar la función de Green de espacio libre como base del método, se ha optado por usar la función de Green espacial del medio multicapa. De esta forma se tienen en cuenta en la formulación las tapas superior e inferior de la estructura. De este modo, la parte de la estructura que habrá que mallar es únicamente la correspondiente a las tiras

que componen los puertos. Como se puede ver, el número de incógnitas se reduce notablemente en relación a otras técnicas de ecuación integral o elementos finitos.

La primera estructura que se ha estudiado en esta comunicación es una transición de guía de onda circular a microcinta de tamaño eléctrico ($h = \lambda_0$). Los detalles geométricos de dicha transición se incluyen en Fig. 1. Los parámetros de reflexión y de transmisión de la transición han sido evaluados haciendo uso de tres métodos numéricos diferentes, como son elementos finitos, ecuación integral con la función de Green de espacio libre y ecuación integral con la nueva función de Green de la cavidad circular. En la figura Fig. 3 se muestra en la misma gráfica los resultados obtenidos con los tres procedimientos pudiéndose observar una muy buena concordancia. Para esta simulación únicamente se han empleado dos anillos de imágenes para el cálculo de la función de Green (uno por cada puerto). Se ha podido comprobar la buena convergencia del método para este caso, ya que el resultado apenas cambia si se aumenta el número de anillos.

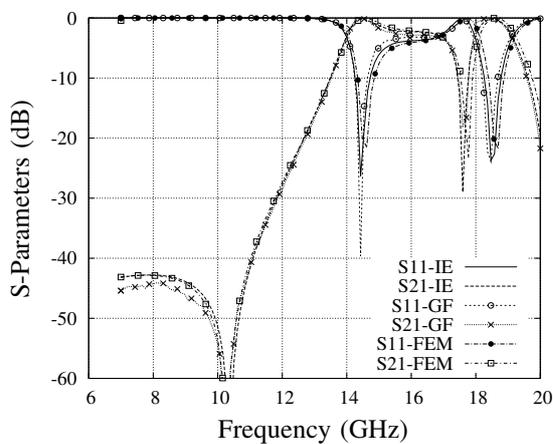


Fig. 3. Parámetros de dispersión obtenidos para la estructura de la figura Fig. 1, con tres técnicas diferentes; IE- Ecuación integral con la función de Green de espacio libre; GF- Ecuación integral con la función de Green de la cavidad; FEM- Elementos finitos.

La técnica también ha sido validada realizando un estudio del acoplo de la polarización cruzada en la estructura. En esta situación la orientación del puerto de salida ha sido girada noventa grados respecto al puerto de entrada. El resto de la transición tiene el mismo aspecto representado en Fig. 1. En la figura Fig. 4 se presentan los parámetros de dispersión evaluados con las tres técnicas descritas previamente. De nuevo se puede apreciar una buen acuerdo entre los distintos métodos. En particular, se observa un rechazo de unos 12dB hasta los 17GHz. A partir de esa frecuencia el rechazo se reduce debido a la excitación de modos de orden superior.

El ejemplo final es una transición parecida a la anterior, pero con una altura eléctrica de dos longitudes de onda ($h = 2 \lambda_0$). Para este caso se ha realizado un estudio de la convergencia de los parámetros de dispersión obtenidos con la nueva función de Green en función del número de anillos de imágenes. En las figuras Fig. 5 y Fig. 6, se muestran, respectivamente, los

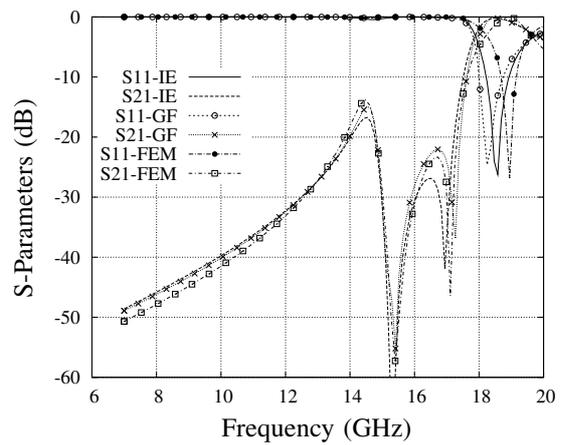


Fig. 4. Parámetros de dispersión obtenidos para la estructura de la figura Fig. 1, pero con el puerto de salida girado noventa grados.

parámetros reflexión y de transmisión de la estructura para dos, tres y cinco anillos de imágenes. Se puede apreciar que no basta con dos anillos para conseguir una buena convergencia. Por otra parte, para el caso de tres anillos, los resultados son buenos hasta una frecuencia 15GHz. Finalmente, con cinco anillos de imágenes los resultados son precisos en todo el rango de frecuencias hasta 20GHz, tal y como se pone de manifiesto en Fig. 7.

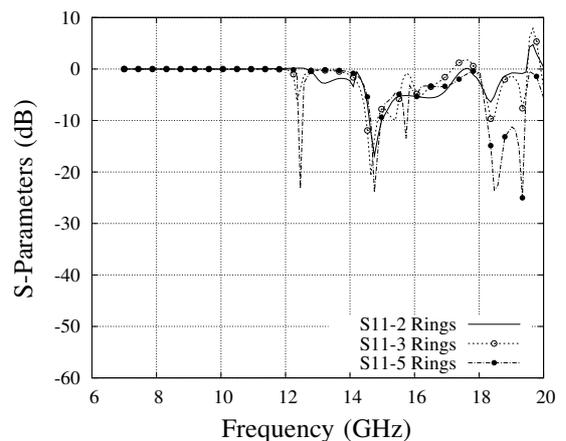


Fig. 5. Convergencia del parámetro de reflexión de la estructura de la figura Fig. 2 en función del número de anillos.

La última figura Fig. 7 muestra los resultados obtenidos para la transición larga con los tres métodos numéricos descritos previamente. Para el calculo de la función de Green de la cavidad se han empleado cinco anillos. Una vez más se observa una notable similitud entre las diferentes curvas. Este último resultado y las curvas Fig. 5, Fig. 6, indican que al menos un anillo de imágenes por cada $(\lambda_0/4)$ de la altura de la cavidad es necesario para conseguir una buena convergencia.

IV. CONCLUSIONES

En la presente comunicación se ha empleado una nueva formulación de ecuación integral basada en imágenes espaciales

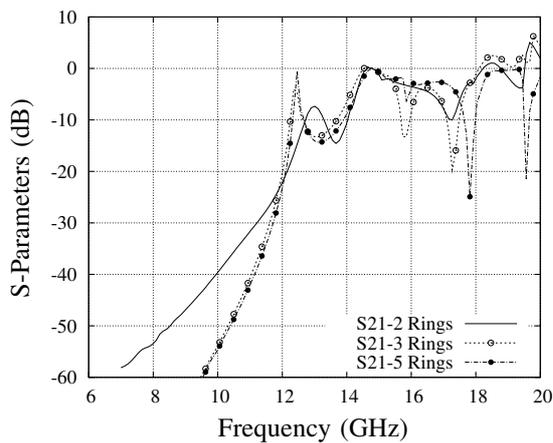


Fig. 6. Convergencia del parámetro de transmisión de la estructura de la figura Fig. 2 en función del número de anillos.

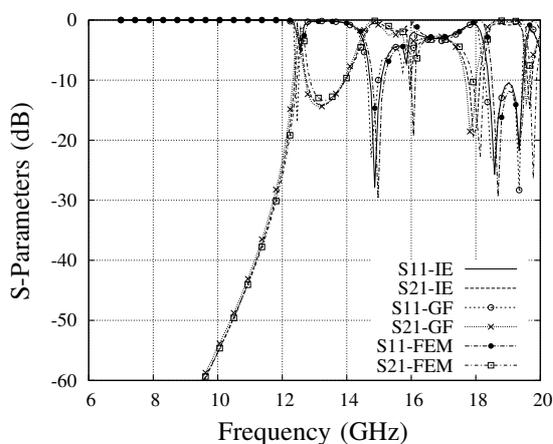


Fig. 7. Parámetros de dispersión obtenidos para la estructura de la figura Fig. 2, con tres técnicas distintas. Se han utilizado cinco anillos de imágenes para el cálculo de la nueva función de Green.

discretas para el análisis de transiciones de microcinta a guía de onda circular. Se evita de esta forma el cálculo tradicional de funciones de Bessel de orden superior para obtener la función de Green espectral de la cavidad circular. Se muestra, asimismo, como se pueden analizar estructuras eléctricamente larga mediante la distribución de distintos anillos de imágenes. Los resultados se han comparado con los obtenidos por la técnica de elementos finitos y con un método ecuación integral que usa la función de Green de espacio libre, consiguiéndose un buen acuerdo. Los resultados demuestran que la nueva técnica numérica es útil para el análisis y diseño de componentes basados en cavidades circulares.

REFERENCES

[1] L. Accatino, G. Bertin, and M. Mongiardo, "A four-pole dual mode elliptic filter realized in circular cavity without screws," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 44, pp. 2680–2687, December 1996.

[2] P. Guillot, P. Couffignal, H. Baudrand, and B. Theron, "Improvement in calculation of some surface integrals: Application to junction characterization in cavity filter design," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 41, pp. 2156–2160, December 1993.

[3] R. R. Mansour, "Filter technology for wireless base stations," *IEEE Microwave Magazine*, vol. 5, pp. 68–74, March 2004.

[4] H. Nakano, M. Sugama, and J. Yamauchi, "Cavity-backed circular aperture antenna constructed using a triplate transmission line," *IEE Proceedings*, vol. 146, pp. 385–390, December 1999.

[5] J. Rubio, M. A. Gonzalez, and J. Zapata, "Efficient full-wave analysis of mutual coupling between cavity-backed microstrip patch antennas," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 2, pp. 155–158, 2003.

[6] N. C. Karmakar, "Investigations into a cavity-backed circular patch antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 50, pp. 1706–1715, December 2002.

[7] F. Zavosh and J. T. Aberle, "Single and stacked circular microstrip patch antennas backed by a circular cavity," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 43, pp. 746–750, July 1995.

[8] J. C. Goswami and M. Sachidananda, "Cylindrical cavity-backed suspended stripline antenna; theory and experiment," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 41, pp. 1155–1160, August 1993.

[9] G. K. C. Kwan and N. K. Das, "Excitation of a parallel-plate dielectric waveguide using a coaxial probe; basic characteristics and experiments," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 50, pp. 1609–1620, June 2002.

[10] D. M. Pozar, "Analysis and design of cavity coupled microstrip couplers and transitions," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 51, pp. 1034–1044, March 2003.

[11] W. W. S. Lee and E. K. N. Yung, "The input impedance of a coaxial line fed probe in a cylindrical waveguide," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 42, pp. 1468–1473, August 1994.

[12] L. Fan, M. Y. Li, and K. Chang, "Circular waveguide to microstrip transitions," *Electronics Letters*, vol. 31, pp. 294–295, February 1995.

[13] R.-B. Wu, "A wideband waveguide transition design with modified dielectric transformer using edge-based tetrahedral finite-element analysis," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 44, pp. 1024–1031, July 1996.

[14] L. Accatino and G. Bertin, "Design of coupling irises between circular cavities by modal analysis," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 42, pp. 1307–1313, July 1994.

[15] R. Keller and F. Arndt, "Rigorous modal analysis of the asymmetric rectangular iris in circular waveguides," *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, vol. 3, pp. 185–187, June 1993.

[16] B.-S. Wang, "Mutual impedance between probes in a circular waveguide," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 37, pp. 1006–1011, June 1989.

[17] A. H. Mohammadian, "Time-dependent dyadic Green's functions for rectangular and circular waveguide," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 36, pp. 369–375, March 1988.

[18] E. L. T. and Soon Yim Tan, "Dyadic Green's functions for circular waveguides filled with biisotropic media," *mit*, vol. 47, pp. 1134–1137, July 1999.

[19] F. Q. Pereira, J. L. G. Tornero, D. C. Rebenaque, J. P. García, and A. A. Melcon, "Analysis of finite microstrip structures using an efficient implementation of the integral equation technique," *Radio Science*, vol. 40, January 2005.

[20] A. Vidal, A. Belenguer, H. Esteban, V. E. Boria, C. Bachiller, and M. Taroncher, "Efficient and accurate spectral analysis of large scattering problems using wavelet and wavelet-like bases," *Radio Science*, vol. 39, pp. 5.1–5.17, October 2004.

[21] W. C. Chew, J. M. Song, and E. Michielssen, "A succinct way to diagonalize the translation matrix in three dimensions," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 15, pp. 144–147, June 1997.

[22] F. Q. Pereira, P. V. Castejon, D. C. Rebenaque, J. P. Garcia, and A. A. Melcon, "Numerical evaluation of the Green's functions for cylindrical enclosures," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 53, pp. 94–105, January 2005.

[23] J. R. Mosig and A. A. Melcon, "Green's functions in lossy layered media: Integration along the imaginary axis and asymptotic behavior," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 51, pp. 3200–3208, December 2003.

[24] P. V. Castejon, F. Q. Pereira, D. C. Rebenaque, J. P. Garcia, and A. A. Melcon, "Numerical evaluation of the Green's functions for cylindrical enclosures by a new spatial images method," in *IEEE, International Microwave Symposium*, (Fort Worth, Texas, USA), 6–11 June 2004. No. TH5A-6.