

Tiras AMC-PEC-AMC en Guías de Onda de Placas Paralelas.

P. Padilla de la Torre

Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación
Universidad Politécnica de Madrid
e-mail :
ppadilla00@gr.ssr.upm.es

J.M. Fernández

Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación
Universidad Politécnica de Madrid
e-mail :
jmfdez@gr.ssr.upm.es

M. Sierra Castañer

Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación
Universidad Politécnica de Madrid
e-mail :
m.sierra.castaner@gr.ssr.upm.es

Abstract—The study of Electromagnetic BandGap (EBG) structures have become an encouraging investigation area due to their behaviour as artificial magnetic conductor (AMC). Their properties allow us to control the propagation of electromagnetic waves, which is impossible to reach with a perfect electric conductor (PEC). In this work we analyze a particular structure that behaves as an AMC-PEC-AMC strips structure.

The aim of using this configuration is the improvement of the wave guidance, working as if it were a virtual waveguide. The AMC lines stop the propagation of the electric field, as if they were the metallic walls of the equivalent real waveguide, whereas the PEC strip allow the propagation over it.

The present work exposes not only simulation results but also real measured prototype results, applying different useful measuring trials.

I. INTRODUCCIÓN

El campo de los metamateriales y su desarrollo presenta una innegable actualidad y novedad con respecto a los desarrollos electromagnéticos clásicos, siendo un campo todavía incipiente y abierto a desarrollos tanto experimentales como teóricos.

Una aplicación fundamental de estos metamateriales en su versión EBG (Electromagnetic Bandgap) consiste en la obtención de materiales con comportamiento magnético perfecto (PML). Los materiales con comportamiento magnético artificial no son, al igual que los de comportamiento eléctrico perfecto, ningunos desconocidos para el mundo investigador. Sin embargo, pese a conocerse realmente bien las características que estos materiales deberían presentar, hasta hace bien poco se consideraba que su obtención era poco menos que imposible.

Las actuales líneas de desarrollo nos han permitido ver que de manera artificial, con unas estructuras concretas, podemos simular de modo más o menos efectivo estas propiedades para una cierta banda.

Los desarrollos con un comportamiento EBG están constituidos, a grandes rasgos, por estructuras periódicas dispuestas en una geometría tal que permite el paso de los campos electromagnéticos en unas direcciones concretas, impidiendo su expansión en otras direcciones debido al

aprovechamiento de las propiedades de conductor magnético artificial [1].

Un material AMC ideal (también conocido como PMC) es una superficie que exhibe unas características concretas:

- Un coeficiente de reflexión $\rho=+1$ (cuando para un PEC este valor es $\rho=-1$). Este fenómeno se produce para un intervalo de frecuencias para el que se mantiene la fase (0°).
- Sobre un plano de material AMC el campo magnético tangencial se anula ($H_t=0$).

Para la obtención de dichos materiales nos centraremos en la utilización de arquitectura plana que supone la utilización de superficies (en adelante celdas) selectivas en frecuencia (FSS). Nos centraremos en la estructura UC-EBG [2] Uniplanar Compact EBG), como se muestra en la Figura 1, que nos permitirá emular tales comportamientos.

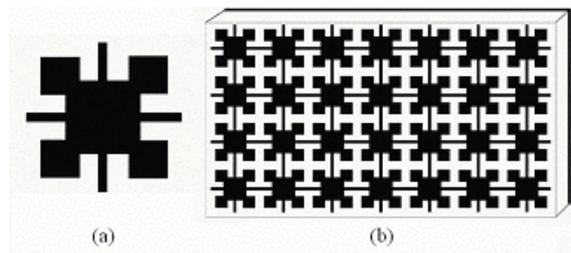
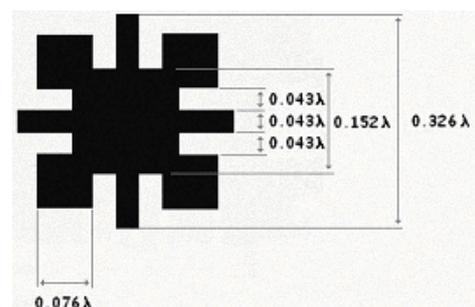


Fig. 1. Celda aislada UC-EBG (a) y estructura periódica de celdas (b).

Tal como encontramos descrito en [2], la celda fundamental de la estructura se puede dimensionar en función de la longitud de onda (λ) a la que queremos trabajar. No obstante, al simular estructuras de este tipo, hemos aplicado una corrección a las dimensiones ofrecidas por Itoh, como se observa en la Figura 2.



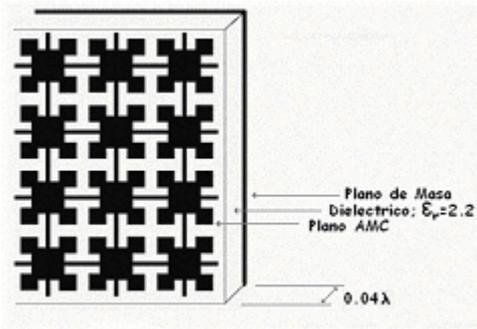


Fig. 2. Dimensiones prácticas de la celda UC-EBG obtenidas en simulación.

II. ESTRUCTURA DE TIRAS PEC-AMC

Consideraremos una estructura de tiras AMC-PEC-AMC como la de la Figura 3.

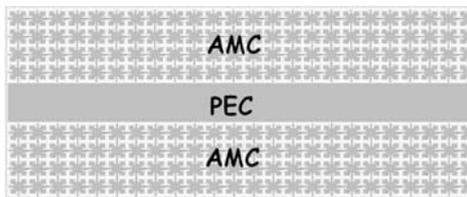


Fig. 3. Estructura AMC-PEC-AMC bajo análisis.

El interés fundamental reside en la posibilidad de simular el funcionamiento de una guía rectangular utilizando simplemente una estructura plana de este tipo, siempre que esta estructura se encuentre entre dos placas paralelas. Para una mayor claridad se muestra una sección del modelo real y su equivalente (Figura 4).

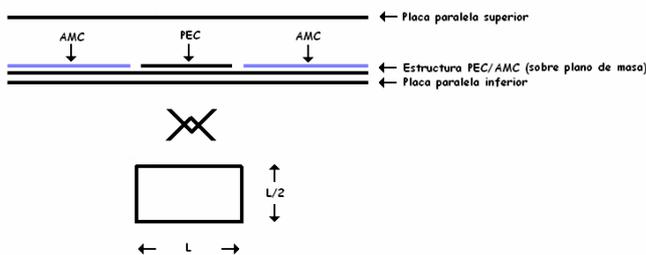


Fig. 4. Modelo equivalente de la estructura AMC-PEC-AMC.

La tira de metal central se asimilará a la cara inferior de la guía equivalente, mientras que la sucesión de celdas periódicas deberán propiciar la caída de campo eléctrico normal al plano, es decir, comportarse como paredes metálicas. El grado de periodicidad será un factor importante a controlar.

Con una sucesión de estructuras como la anterior obtendremos una sucesión de guías virtuales, una a continuación de la otra, sin más que haber definido un plano con sucesiones PEC/AMC.

III. SIMULACIONES Y RESULTADOS

Para la comprobación de la estructura descrita en (II) simularemos un modelo con software de simulación adecuado.

El entorno de simulación utilizado permite adjudicar propiedades ideales concretas a las distintas superficies del modelo. Utilizaremos esta facilidad para simular una estructura AMC-PEC-AMC ideal y posteriormente la estructura real. Para ambos casos tomaremos los siguientes valores de origen:

- Frecuencia de trabajo: 12.65GHz.
- Dimensiones totales de la estructura: 305mm x 65mm.
- Espesor entre placas: 9.5mm (la propia del lado menor de la sección de una guía en el rango de 10GHz a 15GHz).
- Anchura PEC: 19mm (la propia del lado mayor de la sección de una guía en el rango de 10GHz a 15GHz).
- Periodicidad de la estructura AMC: 37 x 3.
- Longitud PEC: la equivalente a 37 celdas AMC

A. Simulación de estructura ideal

Sustituiremos las dos tiras AMC por tiras ideales que definimos con la propiedad $H_t=0$ en su superficie, como vemos en la Figura 5.

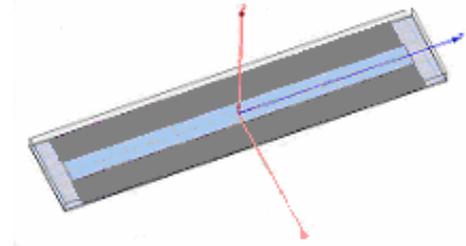


Fig. 5. Estructura AMC-PEC-AMC ideal

La Figura 6 indica la distribución de campo al excitar con un puerto desde el extremo (dirección z de propagación).

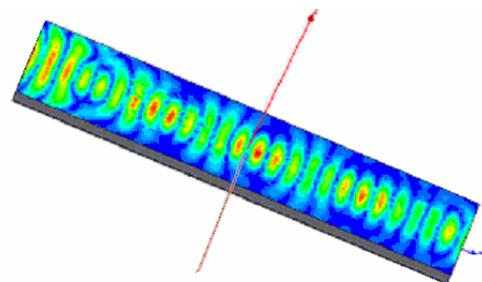


Fig. 6. Distribución de campo eléctrico en la estructura AMC-PEC-AMC ideal.

Del mismo modo, en la Figura 7, podemos ver el módulo de la distribución de campo en una sección (plano xy).

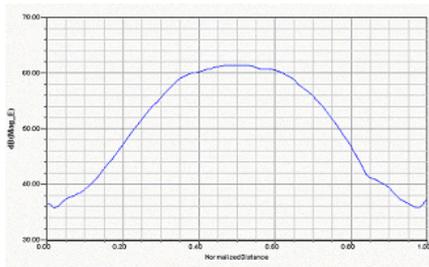


Fig. 7. Distribución de campo eléctrico en una sección de la estructura AMC-PEC-AMC ideal.

B. Simulación de estructura real

Sustituiremos las dos tiras de material que definimos con la propiedad $H_t=0$ por las tiras AMC originales (Figura 8).

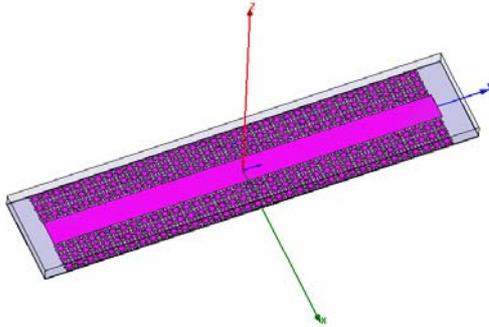


Fig. 8. Estructura AMC-PEC-AMC real

Del mismo modo, podemos obtener la distribución de campo al excitar con un puerto desde el extremo para 12.65GHz (Figure 9a). Comprobamos que para otras frecuencias distintas de las de trabajo (Ej.12GHz) el campo no se propaga (Figura9b).

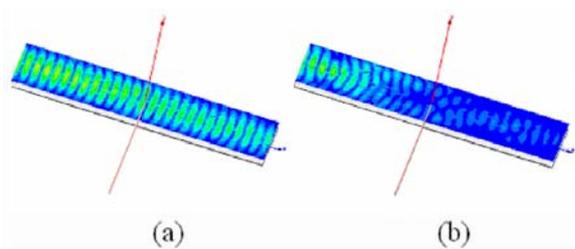


Fig. 9. Distribución de campo eléctrico en la estructura AMC-PEC-AMC real: (a) para la frecuencia de trabajo; (b) para frecuencia distinta a la de trabajo.

Como hicimos en el caso ideal, analizamos la distribución de campo en una sección (plano xy), para la frecuencia de trabajo (12.65GHz) y para frecuencias fuera de la zona de trabajo (12GHz), como se observa en la Figura 10.

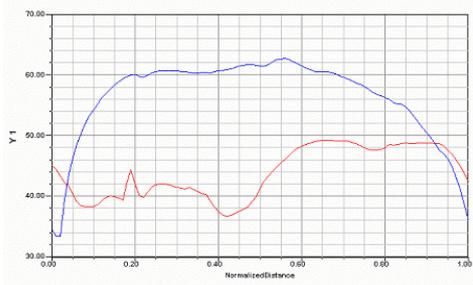


Fig. 10. Distribución de campo eléctrico en una sección de la estructura AMC-PEC-AMC real: 12.65GHz (azul); 12GHz (rojo).

IV. CONSTRUCCIÓN Y MEDIDAS

En la fase de construcción, elaboramos dos estructuras para analizar y corroborar los resultados obtenidos, como se muestra en la Figura 11.

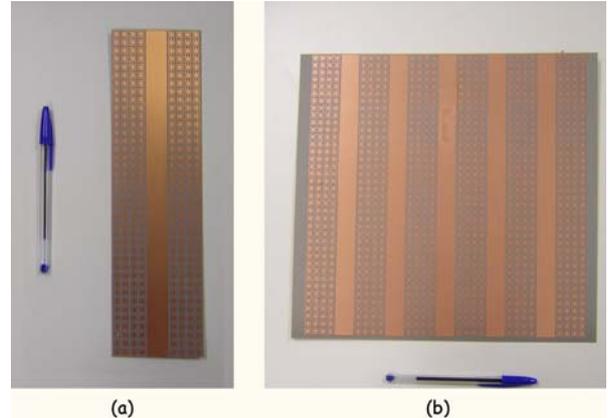


Fig. 11. (a) Prototipo estructura AMC-PEC-AMC. (b) Prototipo periódico de (a)

El primero de ellos (Figura 11a) es de vital importancia para comprobar los resultados, tanto teóricos como de simulación, obtenidos con anterioridad; es por ello que en el presente documento nos centraremos únicamente en el análisis de esta estructura.

Entre los diferentes análisis que se pueden realizar presentamos aquellos que mejor reflejan estos efectos, y son factibles de realizar.

A. Análisis con excitación coaxial

El objetivo de la presente medida es lograr mostrar el efecto de guiado de onda, favoreciendo la propagación sobre la zona PEC e impidiéndolo en las zonas AMC.

El montaje realizado supone mantener las dimensiones utilizadas en la fase de simulación; de este modo situamos la estructura entre dos placas paralelas, excitemos en el centro de la línea PEC con una sonda coaxial y analizaremos en un anillo a $\lambda/2$ alrededor de la sonda. El montaje queda reflejado en la Figura 12.

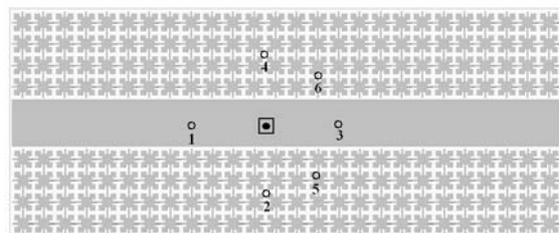


Fig. 12. Análisis estructura AMC-PEC-AMC con sonda coaxial.

De esta manera, con un analizador vectorial de redes (AVR) comprobamos que la sonda se encuentra bien adaptada y procedemos a medir el campo eléctrico en los puntos del anillo, para un rango amplio de frecuencias (12GHz-13.45GHz), obteniéndose los valores óptimos a 12.65GHz.

Para representar las medidas presentaremos dos gráficos (Figura 13): para los 'puntos cardinales' (puntos 1, 2, 3 y 4) y para la semicircunferencia (puntos 2, 5, 3, 6 y 4).

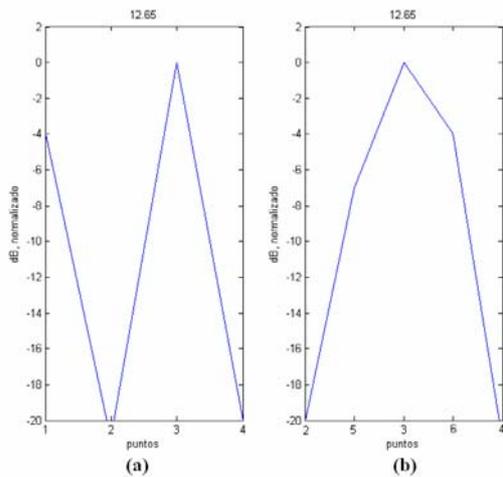


Fig. 13. Distribución de campo eléctrico (a) en los 4 puntos 'cardinales' (b) en semicircunferencia. 12.65GHz.

Como vemos en la Figura 13a, los puntos 1 y 3 (sobre PEC) presentan máximos de transmisión y mínimos para 2 y 4 (sobre AMC), presentando una diferencia de unos 20dB. La Figura 13b nos permite ver la simetría del campo.

B. Análisis con excitación uniforme

Además del análisis anterior podemos realizar otra prueba para cerciorarnos del funcionamiento adecuado de la estructura. Para tal fin situamos una línea tendida sobre la estructura, de manera que generamos una onda uniforme en amplitud (aunque no en fase) de campo sobre la estructura, como se indica en la Figura 14. A cierta distancia (4λ) analizamos en paralelo a la línea de excitación.

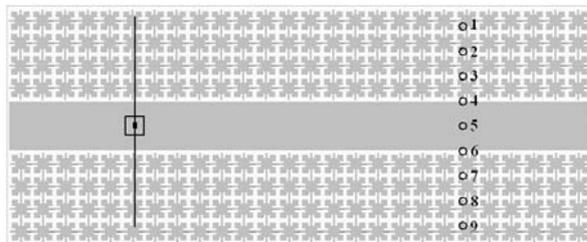


Fig. 14. Análisis estructura AMC-PEC-AMC con excitación uniforme

De este modo, para la frecuencia de trabajo (12.65GHz), obtenemos la distribución de campo (Figura 15).

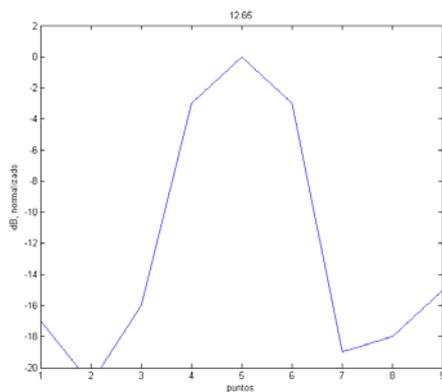


Fig. 15. Distribución del campo sobre una sección, con excitación uniforme.

Obtenemos una distribución que se ajusta a la que esperábamos encontrar.

V. CONCLUSIONES

Para comprobar que la estructura AMC-PEC-AMC funciona de modo adecuado, hemos tratado de realizar un desarrollo completo. De ahí una breve presentación teórica, algunas simulaciones software y la evaluación y medidas de un prototipo.

Este trabajo demuestra la posibilidad de aplicar la configuración AMC-PEC-AMC en guías de onda de placas paralelas para favorecer la propagación. En el caso de utilizar una sucesión de tiras AMC-PEC, funcionando como guías de onda virtuales en el mismo plano, reduciremos el acoplo entre guías vecinas.

Los resultados obtenidos nos permiten considerar diferentes posibilidades en el uso de este tipo de arquitectura, que combina efecto PEC y PMC, para desarrollar antenas planas de características específicas.

Los resultados del prototipo final de tiras periódicas AMC-PEC en la guía de onda de placas paralelas (Figura 11b) y su aplicación a antenas planas de ranuras se presentarán en el congreso URSI 2005

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Neltec la cesión de muestras de material NY9220ST1143CHCH, utilizado como sustrato para los prototipos realizados.

Así mismo, los autores expresan su reconocimiento a Armando Escobar por la construcción de todas las estructuras metálicas (placas paralelas, etc.) necesarias para la realización de las medidas de laboratorio.

REFERENCIAS

- [1] Douglas J. Kern, Douglas H. Werner, A. Monorchio and L. Lanuzza. "The Design Synthesis of Multiband Artificial Magnetic Conductors Using High Impedance Frequency Selective surfaces". *IEEE trans. Antenas and Propagation*, vol. 53 no. 1, Jan. 2005.
- [2] A. Aminian, F. Yang, and Yahya Rahmat-Samii, "In-phase reflection and EM wave suppression characteristics of electromagnetic band gap ground planes," *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, Ohio, 2003.
- [3] S. Maci, Per-Simon Kildal. "Hard and Soft Surfaces Realized by FSS Printed on a Grounded Dielectric Slab" *IEEE*, 2004.
- [4] Y.J. Park, A. Herschlein and W. Wiesbeck. "A Photonic Bandgap (PBG) Structure for Guiding and Suppressing Surface waves in millimeter-wave antennas". *IEEE Trans. Microwave Theory*, vol. 49 no. 10, Oct. 2001.
- [5] N. C. Karmakar. "Potential applications of PBG engineered structures in microwave engineering: Part I & Part II". *Microwave Journal*, Sep. 2004.
- [6] P.-S. Kildal, "Artificially soft and hard surfaces in electromagnetics," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 38, pp. 1537-1544, Oct. 1990
- [7] J. Anders "Properties of Waves Guided Between Parallel, Artificially Hard Surfaces". *IEEE*, 1993
- [8] J. A. Aas, "Plane-wave reflection properties of two artificially hard surfaces", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 39, 5, pp. 651-656, May 1991.
- [9] P.-S. Kildal, "Definition of artificially soft and hard surfaces for electromagnetic waves", *Electronics Letters*, vol. 24, 3, pp. 168 -170, Febr. 1988.