

# Respuesta EBG en Microondas: ¿Efecto Bragg o simplemente resonadores?

Asier Ibáñez Loinaz

Grupo de Antenas  
Dpto. Ingeniería Eléctrica y Electrónica  
Universidad Pública de Navarra  
e-mail :  
ibanez.39801@e.unavarra.es

Carlos del Río Bocio

Grupo de Antenas  
Dpto. Ingeniería Eléctrica y Electrónica  
Universidad Pública de Navarra  
e-mail :  
carlos@unavarra.es

**Abstract-** A rigorous consideration of the EBG structures filtering effect at the microwave frequency range will be performed in this paper. We will show that in that frequency range, the periodic structure filtering (or Bragg effect) and the self-resonance of the different cells involved are tuned approximately at the same frequencies, mixing their influences in the final filter response. Both effects are defined by different geometrical laws and probably this is the main reason not to have a standard design method for a given filter requirements using these technologies.

## I. INTRODUCCIÓN

Cada mes, una gran cantidad de publicaciones presentan nuevas ideas y posibilidades en el campo del diseño de filtros en tecnologías microstrip, stripline u otras tecnologías planas, empleando para ello estructuras EBG/PBG (Electromagnetic Band Gap/Photonic Band Gap) o DGS (Defected Ground Structures). Habitualmente, se realizan agujeros o defectos en el plano de masa [1, 2 y 3], o se añade algún tipo especial de stub o elemento parásito a lo largo de una línea de transmisión [4]. Sin embargo, ninguna de estas publicaciones presenta un método analítico riguroso que permita diseñar completamente este tipo de filtros.

Es bien conocido que las estructuras EBG o PBG provienen del campo de la óptica, y proporcionan rechazo en unas bandas frecuenciales determinadas. Estas estructuras son, esencialmente, una distribución espacial periódica de diferentes materiales dieléctricos, [5].

En el rango frecuencial de las microondas, el fenómeno filtrante de las estructuras EBG, se explica mediante la teoría clásica de estructuras periódicas [6 y 7]. Las celdas unitarias empleadas en microondas son similares a las usadas en óptica, siendo la principal diferencia un factor de escala en las dimensiones físicas.

Hay que considerar un fenómeno adicional: La propia resonancia de cada celda unitaria. Aparentemente, este fenómeno no aparece en frecuencias ópticas, ya que las resonancias propias de las celdas unitarias son despreciables frente a la respuesta filtrante de la estructura periódica global. Esto se debe a que las celdas unitarias se definen mediante un cambio longitudinal del índice de refracción, definiendo un

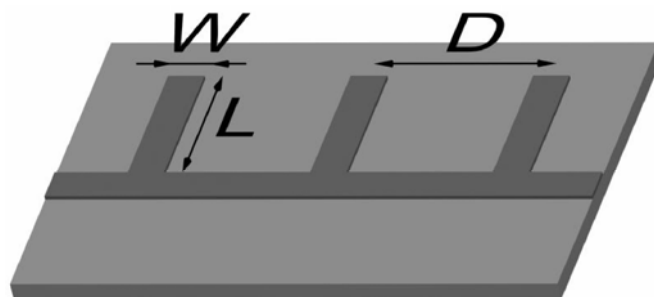


Fig. 1. Esquema del filtro de rechazo de banda empleando stubs en circuito abierto.

resonador muy pobre, de manera que la contribución individual de cada celda unitaria al efecto filtrante global es muy pequeña

Al trasladar estas estructuras a las frecuencias de microondas, las celdas unitarias se definen básicamente como un cambio de la impedancia característica de la línea de transmisión [1,2,3,4,8,9, entre otros muchos]. En este caso, las resonancias de cada celda unitaria ya no pueden ser despreciadas, y es previsible que ambos efectos estén próximos o incluso superpuestos en el mismo rango frecuencial.

Otra conclusión obtenida de la bibliografía es el hecho de que un filtro EBG (producido exclusivamente por una estructura periódica), requiere una mayor área de circuito (en longitudes de onda) que un filtro basado en resonadores, para lograr los mismos objetivos en términos de anchura o profundidad de la banda rechazada.

A frecuencias ópticas, debido a la poca definición de los resonadores individuales, es necesaria una gran cantidad de celdas. Esto no es un problema, ya que debido a las longitudes de onda involucradas, los filtros son pequeños, aun teniendo miles de celdas unitarias. En microondas sin embargo, las longitudes de onda son mucho mayores, por lo que filtros con ese número de celdas ocuparían un espacio inadmisiblemente. Afortunadamente, a estas frecuencias es mucho más sencillo definir celdas unitarias resonantes, reduciendo el número de celdas necesarias para obtener prestaciones similares.

Como se mostrará, la respuesta frecuencial de una única celda de una estructura periódica es mas ancha y mas suave (factor de calidad bajo) que la de un resonador (mayor factor

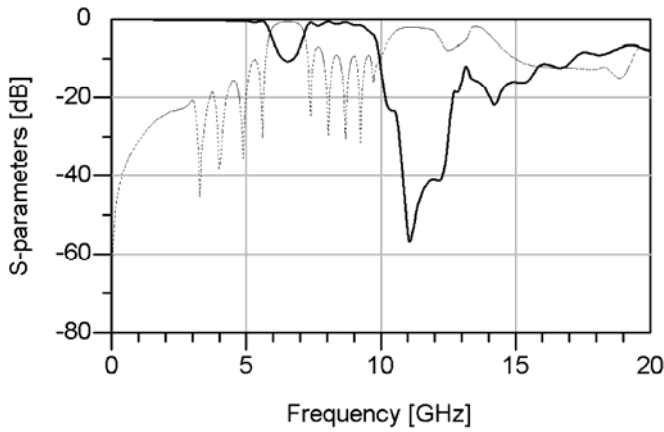


Fig. 2. Parámetros  $S_{11}$  (punteado) y  $S_{21}$  (continuo) simulados del circuito de la figura 1 con  $W = 0.5$  mm,  $L = 2$  mm, y  $D = 8$  mm.

de calidad). Debido a esto, necesitaremos usar un mayor número de celdas en una estructura periódica para obtener rechazos profundos en un ancho de banda determinado, mientras que en circuitos basados en resonadores, necesitaremos usar un gran número de resonadores para obtener un gran ancho de banda con una profundidad determinada.

Para ilustrar todos estos fenómenos, se ha diseñado un filtro de rechazo de banda empleando estructuras clásicas en tecnología microstrip, en el que ambos efectos pueden ser identificados fácilmente. A pesar de que hay una gran cantidad de celdas propuestas en las últimas publicaciones que se pueden emplear en el diseño de circuitos EBG/PBG o resonantes, se ha optado por elegir estructuras clásicas y bien conocidas como los stubs en paralelo (ver figura 1), para ofrecer una demostración sencilla de lo expuesto. Finalmente, se ha diseñado, simulado y medido experimentalmente, un filtro de rechazo de banda que emplea celdas unitarias inéditas, y que combina respuestas EBG y resonantes sobre la misma banda frecuencial, mostrando los beneficios resultantes de utilizar esta combinación

## II. FILTRO CON STUBS EN CIRCUITO ABIERTO

El primer circuito se ha diseñado usando ocho stubs en circuito abierto, con el propósito de obtener una respuesta resonante con polos de atenuación finitos. El ancho de la línea microstrip (1.16 mm.) se ha escogido para asegurar una

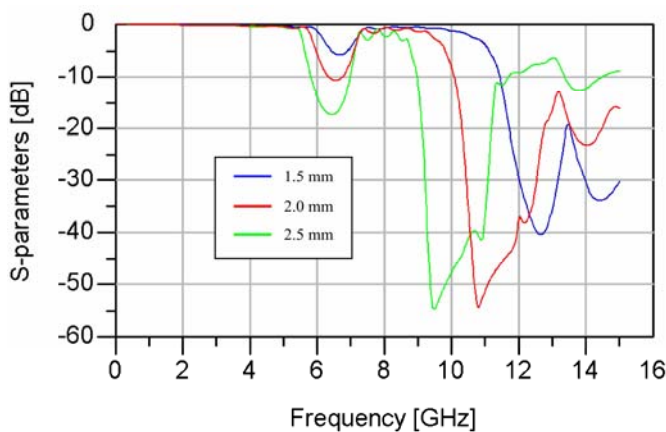


Fig. 3. Parámetros  $S_{21}$  simulados de los circuitos con  $L = 1.5$  mm,  $L = 2$  mm, y  $L = 2.5$  mm.

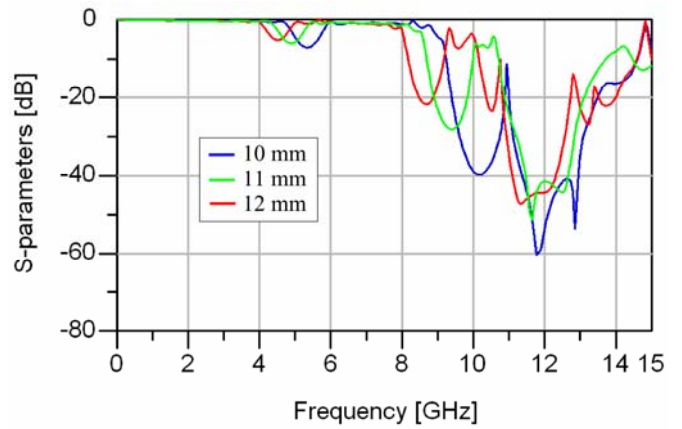


Fig. 4. Parámetros  $S_{21}$  simulados de los circuitos con  $D = 10$  mm.,  $D = 11$  mm, y  $D = 12$  mm.

buena adaptación en la banda de paso. En la figura 2 pueden verse los resultados simulados para este circuito con  $W = 0.5$  mm,  $D = 8$  mm, y  $L = 2$  mm. La respuesta frecuencial muestra una banda rechazada pronunciada y profunda en torno a 11 GHz, debida a la respuesta resonante de las celdas unitarias (stubs en este caso). Puede verse también a 6.6 GHz una banda rechazada menos profunda, causada por el efecto EBG, y controlada mediante la distancia entre las celdas ( $D = 8$  mm.  $\approx \lambda_g/2$ ).

Para mostrar que ambos efectos pueden ser sintonizados individualmente, se han simulado tres estructuras con  $L = 1.5$  mm,  $L = 2$  mm, y  $L = 2.5$  mm. (Ver figura 3). Como puede verse, la frecuencia de corte cambia desde 9 GHz hasta 11.5 GHz al cambiar la longitud de los stubs, mientras que la respuesta EBG solo ha cambiado en su profundidad, permaneciendo prácticamente en la misma frecuencia. Además, se ha verificado que la profundidad de la respuesta EBG depende fuertemente de la profundidad de rechazo de cada celda unidad, a la frecuencia en la que se sintoniza el rechazo EBG (en nuestro caso 6.6 GHz).

La figura 4 muestra una comparativa entre las respuestas de 3 filtros con diferentes distancias entre las celdas ( $D = 10$ , 11 y 12 mm.). Todos los circuitos tienen  $W = 0.5$  mm, y  $L = 2$  mm. (los stubs están sintonizados a 11.5 GHz)



Fig. 5. Celda resonante empleada en el circuito de rechazo de banda de 8 GHz a 12 GHz

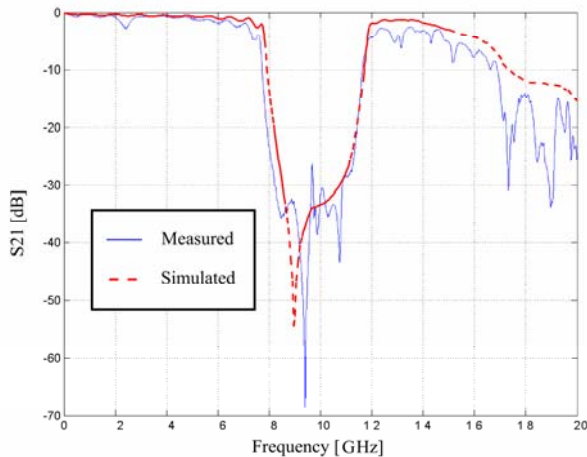


Fig. 6. Parámetro  $S_{21}$  simulado y medido experimentalmente del filtro con 10 celdas en cascada como la propuesta en la figura 5

La respuesta resonante permanece igual, y solamente se ve afectada por el desplazamiento del segundo armónico de la respuesta periódica de la estructura EBG. En cuanto a la respuesta EBG, cuanto mayor es la distancia entre las celdas, menor es la frecuencia central de la banda rechazada, permitiendo esta dimensión la sintonización del rechazo EBG.

Esto demuestra que la distancia entre las celdas es lo que realmente controla la frecuencia de rechazo del efecto EBG, y que variar las dimensiones de la celda unidad, solo afecta a la respuesta resonante.

### III. FILTRO DE RECHAZO DE BANDA EBG/RESONANTE DE 8 GHz A 12 GHz

Para mejorar las propiedades de rechazo de ambos efectos, se ha diseñado un filtro de rechazo de banda, sintonizando ambos efectos a la misma frecuencia. Se ha empleado la celda unitaria de la figura 5, que posee una buena respuesta resonante con un factor de calidad alto. Para obtener una banda de rechazo de 8 GHz a 12 GHz, se han sintonizado las celdas unitarias a una frecuencia central de 9.79 GHz. Además, las 10 celdas empleadas han sido separadas por secciones de línea diseñadas para obtener una separación entre celdas igual a  $\lambda/2$  a 9.79 GHz. Con estas dimensiones, se consigue sintonizar en efecto EBG a la misma frecuencia que las resonancias de las celdas unitarias.

En la figura 6 pueden verse los resultados de la simulación y medida experimental del filtro, pudiéndose observar la concordancia entre ellos. Hay algunas diferencias en la banda rechazada, debidas a pequeños desajustes de las celdas unitarias, inherentes al proceso de fabricación, además de unas pérdidas de inserción adicionales, debidas a los conectores SMA usados en el circuito.

Puede verse que sintonizando ambos efectos a la misma frecuencia, se obtienen rechazos profundos y pronunciados, empleando poco espacio de circuito (en este caso 55x5 mm.), y con pérdidas de inserción reducidas.

### IV. CONCLUSIONES

Se ha mostrado la coexistencia de la respuesta EBG de las estructuras periódicas y de las resonancias de las celdas unitarias que las forman. A la hora de diseñar filtros en el rango de las microondas usando estructuras periódicas, deberemos tener en cuenta los efectos de las resonancias de las celdas unitarias empleadas. Estas resonancias producirán una banda de rechazo más pronunciada, y a menudo más profunda que la obtenida a partir del efecto EBG.

Otra conclusión es que la profundidad de rechazo de las celdas unitarias a una frecuencia concreta, controla la profundidad de rechazo del efecto EBG sintonizado a esa misma frecuencia.

La interferencia entre las respuestas filtrantes sobre la misma banda frecuencial hace difícil el proporcionar un procedimiento analítico para diseñar filtros que combinan ambos efectos, pero como se ha visto en la sección anterior, sintonizando ambos efectos en la misma frecuencia, se pueden obtener filtros con buenas propiedades.

### REFERENCIAS

- [1] C.S Kim, J.S. Park, D. Ahn, and J.B. Lim, "A novel 1-D periodic defected ground structure for planar circuits", IEEE Microwave Guided Wave Letters 10 (2000)
- [2] Ieltxu A. Garde Irigoyen and Carlos del Río Bocio, "A stopband filter design using a 1D non-periodic defected ground structure", IEEE Microwave and Optical Technology Letters Vol. 36, No. 4 (2003)
- [3] Ieltxu Garde, Miguel Javier Yábar, and Carlos del Río, "Simple modelling of DGS to design 1D-PBG low-pass filters", IEEE Microwave and Optical Technology Letters Vol. 37, No. 3 (2003)
- [4] Dusan Nestic, "A new type of slow-wave 1D PBG microstrip band-pass filter", IEEE Microwave and Optical Technology Letters Vol. 37, No. 3 (2003)
- [5] J. Capmany, F.J. Fraile-Peláez, and J. Martí, "Dispositivos de comunicaciones", cap. 3, ed. Síntesis, España.
- [6] D.M. Pozar, "Microwave engineering", 2<sup>nd</sup> ed., chap 9, Wiley, New York, 1998.
- [7] G. Matthaei, L. Young, and E.M.T. Jones, "Microwave filters, impedance matching networks, and coupling structures", chap 3, Artech House, 1964
- [8] Seymour B. Cohn, "Slot line on a dielectric substrate", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. MIT-17, No. 10 (1969)
- [9] Wenmei Zhang, Xiaowei Sun, Junfa Mao, Rong Qian, and Dan Zhang, "A new compact 1D PBG microstrip structure with wider stopband based on semiconductor substrate", IEEE Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 39, No. 2 (2003)