

# DISEÑO DE FILTROS DE BANDA RECHAZADA USANDO “DEFECTED GROUND STRUCTURES” (DGS)

Ieltxu Aitor Garde Irigoyen  
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica  
Universidad Pública de Navarra  
e-mail : ieltxu.garde@unavarra.es

Carlos del Río Bocio  
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica  
Universidad de Pública de Navarra  
e-mail : carlos@unavarra.es

**Abstract**-In this paper a type of Defected Ground Structure (DGS) is studied and used to implement filters in microstrip technology. It is first demonstrated that the main parameter which controls its operation is the external perimeter, and that the periodicity is no longer required in order to achieve a filtering response. These two important conclusions are used to fabricate filters comparable to others already made by other authors, which are constrained to equal unit cells and a periodic distribution of them.

## I. INTRODUCCIÓN

El estudio de los Electromagnetic Band Gap (EBG) para eliminar la propagación de una onda electromagnética en ciertas direcciones y frecuencias surgió en el campo de la óptica (Photonic Band Gap, PBG), aplicándose posteriormente al campo de las microondas y ondas milimétricas tras un escalado en las dimensiones. En la tecnología microstrip, la aplicaciones de los EBG son múltiples, pero su uso más natural o directo es el de filtrado. Los EBG son estructuras periódicas que proveen el rechazo de banda por un efecto Bragg. Su estudio parte siempre de un defecto o celda unidad que se repite en el espacio infinitamente; su estudio se hace desde un punto de vista macroscópico. Como las estructuras reales no son infinitas, para que sus propiedades se asemejen a las del caso ideal necesitan ser muy largas. Además, al estar truncadas se produce una desadaptación que se puede hacer frente mediante técnicas de enventanado, pero que hace que el circuito resultante sea aún mayor. Si además se introducen otro tipo de transformaciones, como por ejemplo el chirpeado para controlar la anchura de la banda de rechazo, el circuito probablemente crecerá aún más.

En tecnología microstrip una implementación de EBG es hacer agujeros en el plano de masa (Defected Ground Structures, DGS), que se repiten periódicamente en una o dos dimensiones. Un nuevo tipo de estructura fue presentado en [1], cuya celda unidad se puede ver en la figura 1. La gran novedad de esta celda es que se trata de un resonador en sí misma, cada celda de la estructura tiene una respuesta filtrante intrínseca. De esta forma, en principio no es necesario aumentar el número de celdas para rechazar una banda de frecuencias, y la estructura final podría muy bien ser la de la figura 1, sin que sea necesaria la repetición periódica de la misma celda. Sin embargo, la conexión de

varias celdas aumenta el orden del filtro total, permitiendo el control de la respuesta en frecuencia. De esta manera se consiguen diseños con respuesta en frecuencia equivalente a un filtro con EBG, pero de dimensiones más reducidas.

Las DGS propuestas proporcionan gran rechazo y buen factor de calidad. Nuevamente, sus aplicaciones son muy variadas [2]-[4], pero en esta comunicación nos centraremos en su aplicación natural, el filtrado.

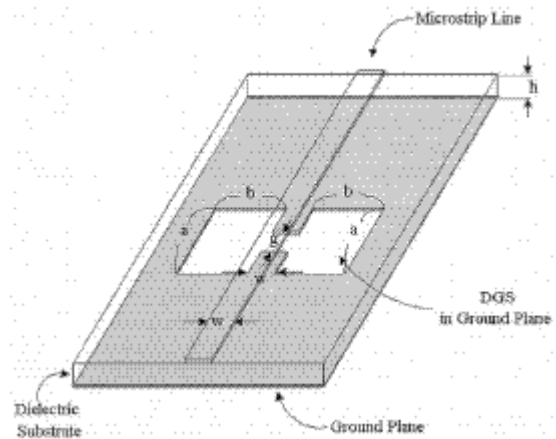


Fig. 1. Vista tridimensional de la celda unidad DGS propuesta en [1].

Varios autores han propuesto un modelo simple de elementos discretos L-C cuya respuesta se asemeje a la de una celda DGS y de esta forma se pueda hacer un diseño de un filtro de mayor orden [5],[6]. Estos modelos simples presentan muy buenos resultados para analizar la respuesta de un determinado diseño, pero no proporcionan en ningún caso una forma de volver atrás, es decir, de realizar la síntesis de un filtro DGS que proporcione una cierta respuesta deseada. En este trabajo se intentan fijar unas pautas para el diseño de filtros concretos con DGS [7].

## II. CARACTERIZACIÓN DE UNA CELDA

Se realizó un estudio exhaustivo para determinar el efecto de los diversos parámetros que caracterizan una celda DGS similar a la de la figura 1 para un sustrato fijo, esto es, las dimensiones del agujero en el plano de masas: la anchura del gap,  $g$ , la longitud,  $a$ , la anchura,  $b$ , e incluso la forma geométrica del agujero (cuadrada, rectangular, circular, triangular...). Se determinó que para una forma geométrica

concreta, la frecuencia de polo,  $f_0$ , depende principalmente de su perímetro exterior, como puede verse en la figura 2. En ella se muestran los resultados de simulación de varias celdas distintas. En ellas se ha mantenido constante en todo momento el valor del perímetro exterior igual a 18.4 mm, que es el doble de la suma de  $a$  y  $b$ . De este modo, variando uno de los lados, vamos a contemplar diferentes formas para la celda, todas con el mismo perímetro, que van desde una forma rectangular muy delgada situada a lo largo de la misma línea microstrip (cuando  $a \gg b$ ), pasando por un cuadrado perfecto ( $a=b$ ), y terminando con otra forma rectangular pero perpendicularmente a la línea ( $a \ll b$ ). Para cada celda, por simulación, se obtiene el valor de la frecuencia de resonancia,  $f_0$ .

Los resultados se muestran en la figura 2, y se han colocado los valores de  $a$  y  $b$  para cada caso estudiado en la frecuencia de resonancia correspondiente. Se puede observar, que alrededor de la frecuencia de 5GHz, existen muchas celdas de distinta forma que mantienen la frecuencia de resonancia.

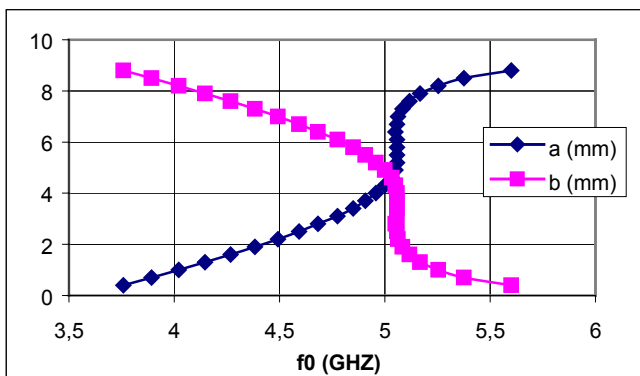


Fig. 2. Dimensiones  $a$  y  $b$  de la celda en función de la frecuencia de resonancia  $f_0$  que presentan. El perímetro es constante e igual a  $2*(a+b)=18.4$  mm,

Hasta la fecha, se tenía el convencimiento de que era el área del defecto lo que definía la frecuencia de resonancia [5]. Sin embargo, si hacemos el mismo experimento variando los valores  $a$  y  $b$ , manteniendo el área constante, y buscamos la frecuencia de resonancia de cada una de esas celdas, podemos observar cómo en este caso, cada celda tiene una frecuencia de resonancia diferente, figura 3.

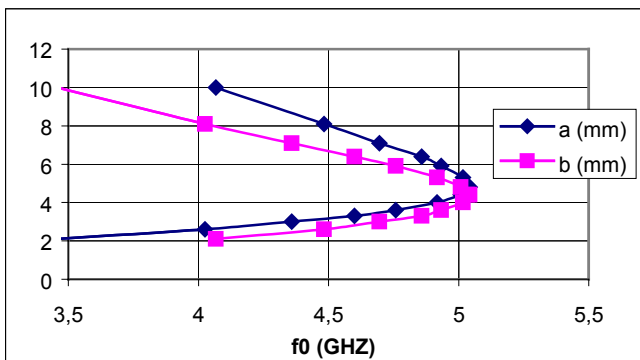


Fig. 3. Dimensiones  $a$  y  $b$  de la celda en función de la frecuencia de resonancia  $f_0$  que presentan. El área es constante e igual a  $a*b=21.16$  mm<sup>2</sup>,

Asumiendo el hecho de que es el perímetro exterior del defecto es el parámetro que define la frecuencia de resonancia de una celda, se pueden encontrar infinitas configuraciones distintas que presentan una misma frecuencia de resonancia, si bien se podrán diferenciar entre ellas por su factor de calidad, o equivalentemente, por la diferente anchura de la banda de rechazo.

### III. CONEXIÓN DE VARIAS CELDAS EN CASCADA

Normalmente, cuando se trabaja con estructuras periódicas (DGS, EBG, etc) se espera conseguir el efecto filtrante propio de estas estructuras periódicas. A este efecto filtrante, por ser achacable a la estructura completa, le denominaremos macroscópico.

Adicionalmente a este efecto filtrante propio de las estructuras periódicas, en nuestro caso se le superpone otro debido a que las celdas utilizadas [1], tienen un comportamiento filtrante rechaza banda intrínseco.

Este comportamiento resonante intrínseco de las celdas, debido a que se trata de buenos resonadores, resulta mucho más abrupto y efectivo, que el posible efecto debido a la definición de una estructura periódica, que normalmente suele presentar una respuesta con variaciones muy suaves y formas redondeadas.

Por simples razones de inercia del desarrollo de la investigación en el campo de las estructuras EBG, se han propuesto varios tipos de celdas sin reparar en el efecto intrínseco, esperando únicamente el efecto macroscópico por ser una estructura periódica.

En un principio, las celdas eran simples agujeros circulares justo debajo de la línea microstrip. El tipo de respuestas obtenidas por estas estructuras, debido a que los elementos unitarios utilizados tienen una respuesta en frecuencia muy poco definida (son resonadores muy malos), es prácticamente la misma que se puede predecir aplicando la teoría de estructuras periódicas. Únicamente vemos el efecto macroscópico de la estructura periódica. Normalmente estas estructuras para definir un rechazo grande, deben incluir un gran número de celdas, generando unos tamaños de filtros demasiado grandes en comparación con los que se pueden obtener por otras técnicas clásicas.

Sin embargo, al ir complicando la forma de la celda buscando respuestas en frecuencia más abruptas, han llegado a proponer celdas con efectos resonantes que enmascaran totalmente el efecto de cualquier tipo de estructura periódica. Con estas celdas, al tener una respuesta intrínseca de segundo orden (al presentar una frecuencia de resonancia), el colocar una celda más implica aumentar el orden del filtro resultante en dos órdenes. Así las cosas, para conseguir un rechazo parecido, en un caso se necesita por lo menos cuatro celdas separadas aproximadamente media longitud de onda (longitud total  $2\lambda$ ), y en el otro caso, bastan dos celdas resonantes, que pueden llegar a juntarse tanto como se quiera o se pueda antes de que se toquen (normalmente menores a  $\lambda/2$ ).

#### IV. FABRICACIÓN Y MEDIDAS

Para posibilitar la comparación con otros trabajos, se decidió fabricar tres filtros como los descritos en [1]. El sustrato escogido es ROGERS RO3010, con una altura de 1.27 mm y una constante dieléctrica de 10.2. La anchura de la línea microstrip es constante e igual a 1.2 mm. Los tres están compuestos por cinco celdas distintas entre sí por sus dimensiones y/o su forma (cuadrada, rectangular o circular), pero cada una de ellas está resonando a la misma frecuencia central,  $f_0$ .

En el primero, la frecuencia central se fijó en 5 GHz, y en los dos siguientes en 7.5 GHz. El tercer filtro es exactamente igual al segundo, pero en él los agujeros en el plano de masas no son enteros, sino que están formados sólo por su perímetro (los agujeros habrían sido “rellenados” de nuevo con conductor), como se puede apreciar en la foto de los circuitos (figura 4). La tabla 1 recoge los parámetros de diseño. Las distancias entre las celdas no son iguales, y varían de 7.5 a 8.5 mm en el primer filtro y de 5 a 6 mm en el segundo y el tercero.

Posición de la celda	Forma de la celda	Dimensiones de la celda			Situación del polo, $f_0$ (GHz)
		g (mm)	a (mm)	b (mm)	
1	Cuadrada	0.2	4.6	4.6	5.010
			2.6	2.6	7.552
2	Rectangular	0.2	7.4	1.8	5.063
			4.2	1.4	7.458
3	Circular	0.6	6.0	-	5.031
			3.6	-	7.375
4	Rectangular	0.2	6.0	3.2	5.042
			3.4	2.0	7.510
5	Circular	0.4	5.6	-	5.031
			3.2	-	7.594

Tabla 1. Parámetros de diseño de los filtros fabricados.

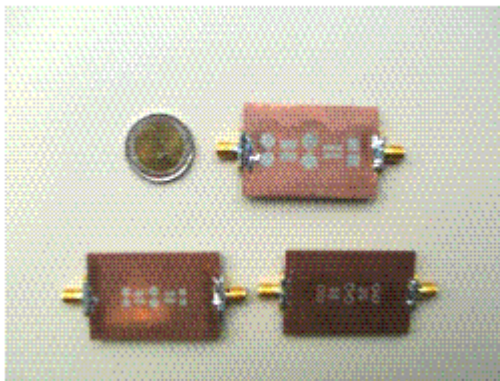


Fig. 4. Construcción de tres filtros de rechazo de banda con DGS. Todas las celdas están sintonizadas a 5GHz (filtro de arriba) o a 7.5 GHz (filtros de abajo).

Las medidas realizadas se pueden ver en las figuras 5 a 7.

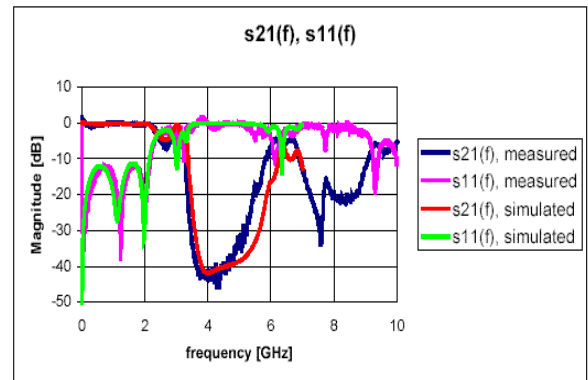


Fig.5. Respuesta en frecuencia del filtro centrado en 5 GHz.

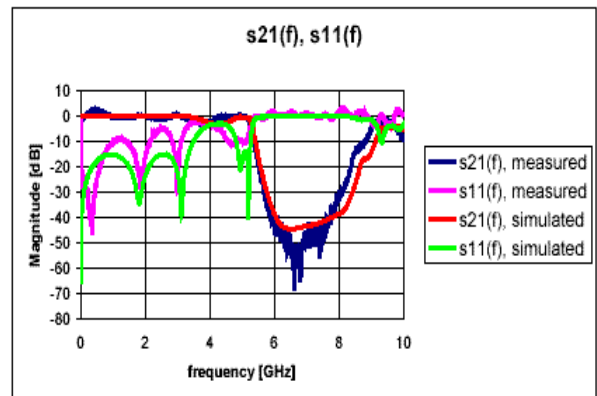


Fig.6. Respuesta en frecuencia del filtro centrado en 7.5 GHz con agujeros completos.

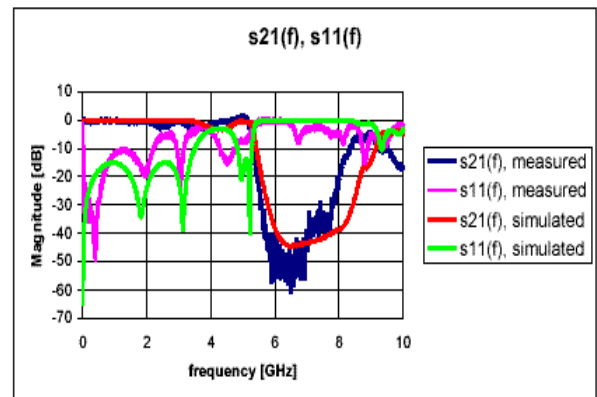


Fig.7. Respuesta en frecuencia del filtro centrado en 7.5 GHz con agujeros formados sólo por su perímetro.

En las figuras se incluyen las medidas y los resultados de simulación. Se puede observar unas respuestas en frecuencia con una buena definición de la banda rechazada, y son muy parecidos a los obtenidos en [1], utilizando celdas iguales colocados a distancias iguales.

El comportamiento de los dos últimos filtros (figuras 6 y 7) es idéntico demostrando efectivamente que es el perímetro y no el área el parámetro que define el comportamiento de este tipo de celdas.

#### V. CONCLUSIONES

Las ventajas de los EBG y DGS sobre otro tipo de implementaciones de filtros ha sido descrita en diversos trabajos. No obstante, en ninguno de ellos se había propuesto un método de diseño de filtros mediante DGS. En este

trabajo se ha intentado resolver esta carencia, en una primera aproximación, proporcionando un parámetro de diseño: el perímetro exterior del agujero practicado en el plano de masas. Celdas diferentes pueden tener una misma frecuencia de polo, y la elección de una u otra vendrá dada por su factor de calidad, o su aprovechamiento del espacio disponible.

Se ha presentado una explicación, y posterior demostración, acerca de la necesaria distinción de los efectos filtrantes involucrados en este tipo de celdas, distinguiendo los efectos macroscópicos achacables a las estructuras periódicas, de los efectos filtrantes que pueden implementar las mismas celdas individualmente.

Finalmente, se han diseñado, construido y medido filtros muy distintos a los presentados en [1], y se han obtenido respuestas muy similares cambiando sustancialmente la explicación teórica que fundamenta el diseño de este tipo de filtros.

#### 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 and Guided Wave Letters*, vol. 10, no. 4, pp. 131-133, April 2000.
- [2] J.S. Lim, H. S. Kim, J. S. Park, D. Ahn, and S. Nam, "Design of 10 dB 90° Branch Line Coupler using Microstrip Line with Defected Ground Structure", *Electronic Letters*, vol. 36, no. 21, pp. 1784-1785, 12<sup>th</sup> October 2000.
- [3] J. S. Lim, S. W. Lee, C. S. Kim, J. S. Park, D. Ahn and S. Nam, "A 4:1 Unequal Wilkinson Power Divider", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 11, no. 3, pp. 124-126, March 2001.
- [4] J.S. Lim, H. S. Kim, J. S. Park, D. Ahn, and S. Nam, "A Power Amplifier with Efficiency Improved Using Defected Ground Structure", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 11, no.4, pp. 170-172, April 2001.
- [5] D. Ahn, J. S. Park, C. S. Kim, J. Kim, Y. Qian, and T. Itoh, "A Design of the Low-Pass Filter using the Novel Microstrip Defected Ground Structure", *IEEE Transaction son Microwave Theory and Techniques*, vol. 49, no.1, pp. 86-92, Jan. 2001.
- [6] J. S. Park, J. S. Yun, and D. Ahn, "A Design of the Novel Coupled-Line Bandpass Filter Using Defected Ground Structure with Wide Stopband Performance", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 50, no. 9, pp. 2037-2043, September 2002.
- [7] I. A. Garde, C. Del Río, "A Stopband Filter Design using a 1-D Non-Periodic Defected Ground Structure", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 37, issue 3, pp. 249-250, 20<sup>th</sup> February 2003.