

Optimizando espurios en guía de onda rectangular, combinando estructuras inductivas y capacitivas

Paula Melcón Ruano, Antonio Oliva Aparicio, Alejandro Álvarez Melcón
paula.melcon.ruano@gmail.com, antonio.oliva@upct.es, alejandro.alvarez@gmail.com
Universidad Politécnica de Cartagena, Campus Muralla del Mar s/n, 30202
Dpto. de Tecnologías de la Información y Comunicaciones

Abstract — En esta contribución, se aborda el diseño de filtros en guía rectangular que combinan iris inductivos y capacitivos, con el propósito de investigar sus respuestas espurias a frecuencias situadas tanto por encima como por debajo de la banda de paso. Asimismo, se procederá con el diseño de filtros basados en singlets, donde se evaluará cómo afecta la posición del cero de transmisión en las respuestas espurias, y las posibilidades de combinarlos con iris inductivos y capacitivos.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, ha habido un notable aumento en la demanda de servicios de telecomunicaciones vía satélite, lo que ha impulsado una considerable cantidad de investigaciones en el campo de las microondas. El objetivo principal de estas investigaciones ha sido mejorar aspectos como el ancho de banda, el rechazo fuera de banda y la selectividad de los filtros de microondas, que son componentes críticos en este contexto.

Respecto a filtros implementados en guía rectangular, recientemente ha surgido la idea de combinar iris inductivos (ver Fig. 1) y capacitivos (ver Fig. 2) en la misma estructura, con el fin de mejorar las características de los filtros usados en las cabeceras de radiofrecuencia de los satélites. A estos nuevos tipos de filtros se les conoce como híbridos. En [1] se describe el procedimiento de diseño de un filtro de guía de onda compacto y de banda ancha, basado en resonadores de impedancia escalonada y el uso combinado de iris con acoplamiento capacitivo e inductivo.

Además, se están explorando filtros que presentan ceros de transmisión en sus respuestas, incorporando nuevas estructuras como los singlets, que están ganando popularidad en la actualidad. Estas estructuras permiten diseñar filtros con acoplamientos resonantes que introducen ceros de transmisión muy cercanos a la banda de paso. En el artículo [2] se detalla el diseño de una estructura singlet que facilita la creación de filtros con características mejoradas en términos de selectividad y respuesta en frecuencia.

En este contexto, el objetivo de este artículo es evaluar cómo la respuesta de este tipo de filtros para satélites puede mejorar combinando singlets e iris inductivos y capacitivos en el mismo filtro. Nos centraremos en el comportamiento de los espurios, tanto por encima, como por debajo de la banda de paso. También mostramos que la inclusión de singlets en la

entrada/salida de los filtros permite obtener respuestas con mejores selectividades, debido a la implementación de ceros de transmisión a frecuencias finitas, y veremos algunas limitaciones para combinarlos con iris inductivos y capacitivos. Los resultados demuestran que la combinación de estructuras inductivas y capacitivas en un mismo filtro puede resultar ventajosa para producir circuitos con características avanzadas respecto del estado del arte.

II. ESTRUCTURAS CON IRIS INDUCTIVO Y CAPACITIVO

En esta sección vamos a comparar los diseños de dos filtros en guía rectangular. El primero utilizará acoplamientos inductivos (ver Fig. 1), mientras que el segundo utilizará acoplamientos capacitivos, (ver Fig. 2). Para este estudio diseñaremos los filtros según las especificaciones mostradas en la TABLA 1.

TABLA 1. ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS PARA LOS DISEÑOS.

Parámetros	Valor
Ancho de la guía (a)	22.86 mm
Alto de la guía (b)	10.16 mm
Espesor del iris (il)	2 mm
Nivel de rizado (L_{ar})	0.05dB
Orden del filtro (n)	4
Ancho de banda	540MHz
Ancho de banda fraccional	6%
Frecuencia central	9GHz

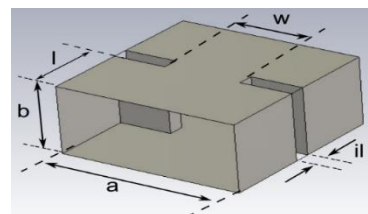


Fig. 1. Estructura de una guía de onda rectangular con iris inductivo.

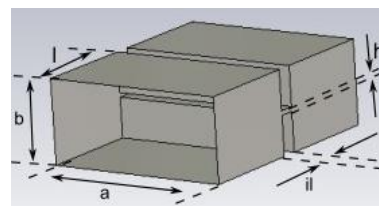


Fig. 2. Estructura de guía de onda rectangular con iris capacitivo.

Una vez diseñados, estos dos tipos de filtros presentan diferencias geométricas significativas, siendo la más evidente la diferencia que existe entre las dimensiones de los iris. Para el caso inductivo (iris según la Fig. 1) sus dimensiones son mayores, ($w=13.9\text{mm}$ para los iris externos y $w=10.49\text{mm}$ para los iris internos). Por el contrario, si se emplean iris capacitivos (iris según la Fig. 2), la estructura contiene dimensiones mucho más pequeñas, ($h=2.16\text{mm}$ para iris exteriores y $h=0.71\text{mm}$ para iris interiores). Desde un punto de vista práctico, el uso de iris capacitivos en el interior del filtro puede ser problemático, ya que cuanto más pequeñas sean las dimensiones de un iris, más difícil resultará fabricarlos. Además, podrán aparecer más fácilmente problemas con el manejo de altas potencias (efecto multipactor o corona). Estos problemas son especialmente significativos en filtros de banda estrecha, ya que necesitan acoplamientos más reducidos. En consecuencia, los iris capacitivos son más interesantes para filtros con anchos de banda relativamente grandes.

En la Fig. 3(a) vemos la respuesta espuria por encima y por debajo de la banda de paso del filtro formado por iris inductivos, y en la Fig. 3(b) el formado por iris capacitivos. Para el caso inductivo la respuesta se degrada mucho, obteniendo espurios que ocupan un gran ancho de banda. Esto ocurre principalmente por el comportamiento en frecuencia de los iris inductivos a alta frecuencia. Por otro lado, la respuesta del filtro capacitivo (Fig. 3(b)), tiene espurios mucho más estrechos en frecuencia. Además, se degrada mucho menos a medida que aumenta la frecuencia. Si ahora analizamos el comportamiento a bajas frecuencias, el filtro inductivo está libre de espurios. Sin embargo, para el caso capacitivo, se produce un espurio muy marcado, cercano a la frecuencia de corte de la guía. Este espurio está relacionado con lo que algunos investigadores han llamado el fenómeno de la transmisión extraordinaria, y no es posible evitarlo [3].

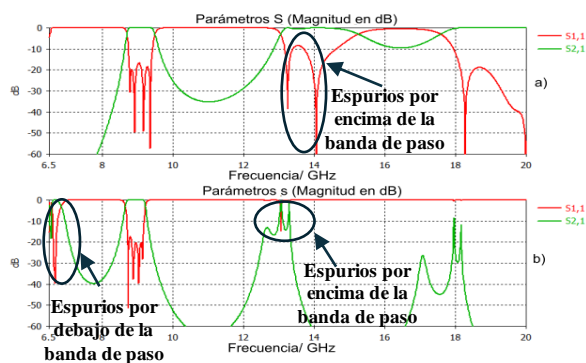


Fig. 3. Respuesta de los espurios por encima y por debajo de la banda de paso del filtro con iris inductivos (a) y el filtro con iris capacitivos (b).

III. ESTRUCTURAS HÍBRIDAS

En esta sección vamos a estudiar si es posible optimizar las estructuras de la sección II, combinando iris inductivos y capacitivos en el mismo filtro. Los parámetros de diseño utilizados se corresponden con los mostrados en la TABLA 1.

Para estudiar estas estructuras se han diseñado dos clases de filtros: Tipo 1, filtro formado por iris capacitivos en la entrada/salida e inductivos en el interior (ver Fig. 4); y Tipo 2, filtro formado por iris inductivos en la entrada/salida y capacitivos en el interior (ver Fig. 5).

En la TABLA 2 vemos las dimensiones físicas que se han obtenido después de realizar el diseño de estos dos tipos de filtros. La Fig. 6(a) muestra la respuesta espuria para el filtro Tipo 1, y la Fig. 6(b) muestra la respuesta espuria para el filtro Tipo 2. Si analizamos la respuesta del filtro Tipo 1 (Fig. 6 (a)), vemos que, aunque seguimos teniendo una gran cantidad de espurios, estos se ven notablemente mejorados, sobre todo en cuanto al ancho de banda que ocupan. Por otro lado, al haber colocado los iris capacitivos en la entrada/salida del filtro ha hecho que sus dimensiones sean $h_1=h_5=2.5\text{mm}$, que es un valor lo suficientemente grande como para poder implementar este filtro a nivel práctico, facilitando su fabricación y haciéndolo más robusto frente a fenómenos de alta potencia. Para el caso del filtro Tipo 2 (Fig. 6 (b)), hemos conseguido una respuesta que, en comparación con la respuesta del filtro inductivo, Fig. 3(a), muestra una degradación significativamente menor. Esta mejora se debe a la utilización de iris capacitivos en el interior del filtro. Incluso, si lo comparamos con el filtro capacitivo de la Fig. 3(b), también observamos que el ancho de banda de los espurios se ha reducido. En este caso la explicación se debería a que espurios generados por el iris inductivo se combinan peor con los generados por los iris capacitivos. Por el contrario, haber colocado los iris capacitivos en el interior, ha supuesto que sus dimensiones sean mucho más pequeñas ($h_2=h_4=0.65\text{mm}$), haciendo que implementar este filtro sea menos viable desde el punto de vista práctico.

En la zona por debajo de la banda de paso, para el filtro Tipo 1 (Fig. 6(a)), observamos una respuesta muy buena sin espurios a bajas frecuencias. En este caso la presencia del iris capacitivo en la entrada tiene poco impacto en la generación de espurios por debajo de la banda de paso. Para el Tipo 2 (Fig. 6 (b)), notamos la presencia de un espurio, pero éste se encuentra considerablemente más suavizado en comparación con un filtro completamente capacitivo. Es decir, el uso de la estructura híbrida Tipo 2 ha contribuido significativamente a atenuar el espurio inicialmente pronunciado, mostrado en la Fig. 3(b).

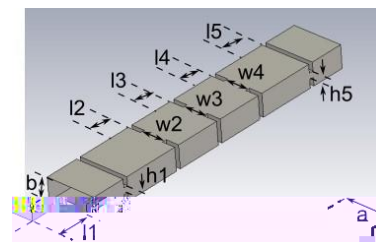


Fig. 4. Estructura de un filtro híbrido formado por iris capacitivos en la entrada e iris inductivos en el interior (Tipo 1).

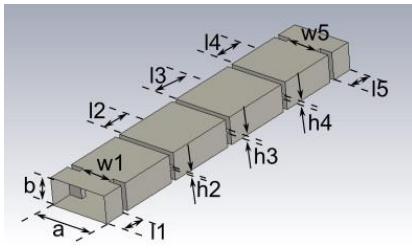


Fig. 5. Estructura de un filtro híbrido formado por iris inductivos en la entrada e iris capacitivos en el interior (Tipo 2).

TABLA 2. DIMENSIONES FÍSICAS PARA LOS FILTROS HÍBRIDOS TIPO 1 Y TIPO 2, MOSTRADOS EN LA Fig. 4 Y Fig. 5

Filtro Tipo 1		Filtro Tipo 2	
Parámetros	Valor (mm)	Parámetros	Valor (mm)
$l_1 = l_5$	15	$l_1 = l_5$	7.82
$l_2 = l_4$	10.3	$l_2 = l_4$	13.65
l_3	10.5	l_3	12.8
$h_1 = h_5$	2.75	$w_1 = w_5$	13.8
$w_2 = w_4$	10.1	$h_2 = h_4$	0.67
w_3	9.1	h_3	0.5

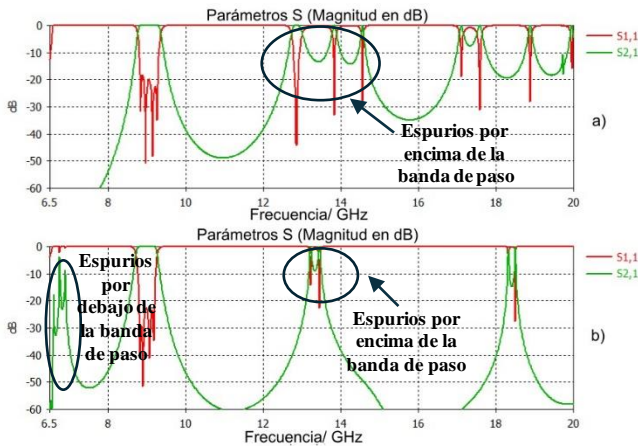


Fig. 6. Respuesta de los espurios por encima y por debajo de la banda de paso para el filtro Tipo 1 (Fig. 4) y para el filtro Tipo 2 (Fig. 5).

IV. ESTRUCTURAS BASADAS EN SINGLETES

En esta sección vamos a abordar cómo añadir funcionalidades a estos filtros utilizando la estructura conocida como singlet, que es capaz de introducir un cero de transmisión en la respuesta del filtro [2]. Para llevar a cabo este estudio, se han diseñado también dos tipos de filtros: Tipo 1, filtros basados en singlets inductivos en la entrada, con iris inductivos en el interior (ver Fig. 7); y Tipo 2, filtros basados en singlets inductivos en la entrada, con iris capacitivos en el interior (ver Fig. 8). Se diseñarán en total cuatro filtros. Los dos primeros serán de Tipo 1, diseñando los singlets para que produzcan ceros de transmisión respectivamente por encima y por debajo de la banda de paso. Los dos últimos serán de Tipo 2, estudiando también ambas posiciones para los ceros. Para estos diseños se utilizan los parámetros de diseño de la TABLA 1 a

excepción del orden del filtro que pasa a ser 3, y el nivel de rizado pasa a ser 0.5 dB. Tras el proceso de diseño, las dimensiones para tres de los filtros se recogen en la TABLA 3. No se incluye el caso de filtro Tipo 1 con el cero de transmisión por debajo de la banda de paso. Esto es debido al enorme efecto de carga del singlet, que, combinado con los iris inductivos del interior, hace que desaparezcan los resonadores de entrada y salida. Por tanto, no es posible combinar los polos del filtro en la banda de paso. Como solución, se podría trabajar con el modo TE₁₀₂.

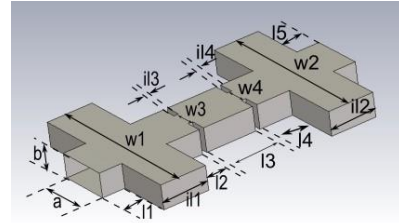


Fig. 7. Estructura de un filtro basado en Singlets inductivos en la entrada e iris inductivos en el interior (Tipo 1).

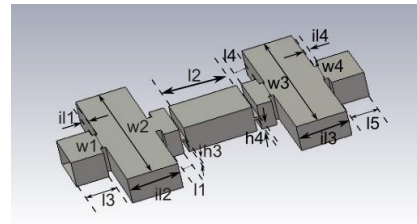


Fig. 8. Estructura de un filtro basado en Singlets inductivos en la entrada e iris capacitivos en el interior (Tipo 2).

TABLA 3. DIMENSIONES FÍSICAS PARA LOS FILTROS BASADOS EN SINGLETES, MOSTRADOS EN LA Fig. 7 Y Fig. 8

a) Filtro Tipo 1 con el cero de transmisión por encima de la banda de paso			
Parámetro	Valor (mm)	Parámetro	Valor (mm)
$l_1 = l_5$	13	$w_3 = w_4$	8.3
$w_1 = w_2$	72	$l_3 = l_4$	2
$il_1 = il_2$	20	l_3	22.2
$l_2 = l_4$	12.7		
b) Filtro Tipo 2 con el cero de transmisión por encima de la banda de paso			
Parámetro	Valor (mm)	Parámetro	Valor (mm)
$l_1 = l_5$	13	$w_1 = w_2$	68
$w_1 = w_2$	20.5	$il_1 = il_2$	20.2
$il_1 = il_2$	2	$h_1 = h_2$	0.45
l_3	26.2	$l_2 = l_4$	16.5
c) Filtro Tipo 2 con el cero de transmisión por debajo de la banda de paso			
Parámetro	Valor (mm)	Parámetro	Valor (mm)
$l_1 = l_5$	13	$w_1 = w_2$	80
$w_1 = w_2$	13.6	$il_1 = il_2$	20.1
$il_1 = il_2$	2	$h_1 = h_2$	0.8
l_3	27.2	$l_2 = l_4$	6

Si nos fijamos en las dimensiones de la TABLA 3(c) vemos que las longitudes de las cavidades 2 y 4 son muy reducidas ($l_2=l_4=6\text{mm}$). Esto es debido al gran efecto de carga del singlet en los resonadores de entrada/salida cuando el cero de transmisión se sintoniza por debajo de la banda de paso. Sin embargo, vemos que las longitudes de estos resonadores no son tan pequeñas para los casos en el que tenemos el cero de transmisión sintonizado por encima de la banda de paso ($l_2=l_4=12.7\text{mm}$ según TABLA 3(a), y $l_2=l_4=16.5\text{mm}$ según la TABLA 3(b)). Es decir, cuando el cero de transmisión está por encima de la banda de paso, el efecto de carga es mucho más pequeño.

En cuanto a los espurios producidos por estas estructuras, en la Fig. 9 mostramos el comportamiento del filtro Tipo 1 cuando el cero se sintoniza por encima de la banda de paso. A altas frecuencias tenemos una respuesta espuria que empieza a ser ancha a partir de 13GHz. Sin embargo, a bajas frecuencias, la respuesta es muy buena, sin espurios, debido a que tenemos iris inductivos en el interior del filtro.

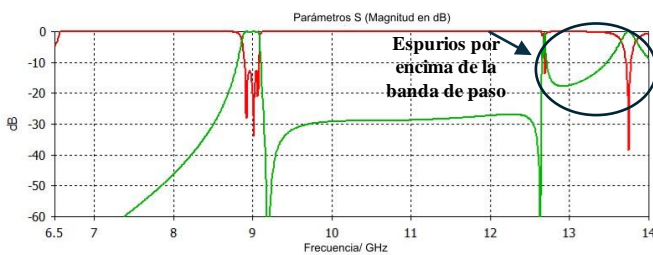


Fig. 9. Respuesta de los espurios del filtro Tipo 1 Fig. 7, con dimensiones de la TABLA 3(a), con el cero de transmisión por encima de la banda de paso.

Para el filtro Tipo 2 cuando el cero se encuentra a frecuencias por encima de la banda de paso (Fig. 10), a frecuencias altas la respuesta espuria es mejor que antes. Sin embargo, para bajas frecuencias nos aparecen los espurios propios de los iris capacitivos en la zona de la frecuencia de corte, empeorando así la respuesta.

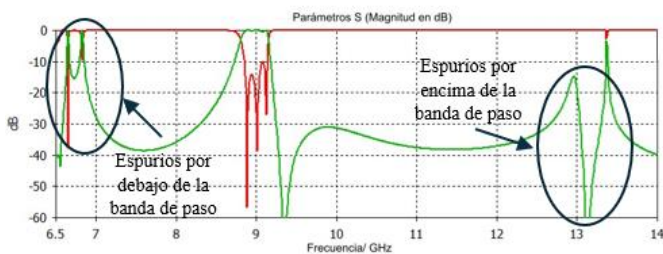


Fig. 10. Respuesta de los espurios del filtro Tipo 2 Fig. 8, con dimensiones de la TABLA 3(b) con el cero de transmisión por encima de la banda de paso.

La respuesta del Tipo 2 cuando el cero de transmisión se encuentra por debajo de la banda a altas frecuencias es buena (Fig. 11), aunque empeora en comparación con la Fig. 10. Por otro lado, para bajas frecuencias, los espurios en la zona de la frecuencia de corte empeoran mucho. La explicación sería que

los espurios del singlet interfieren constructivamente con los de los iris capacitivos, dando lugar a un ancho de espurio muy grande en esa zona.

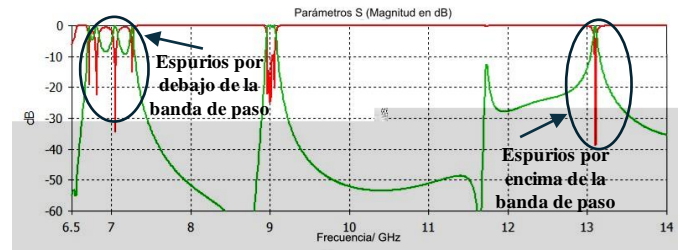


Fig. 11. Respuesta de los espurios del filtro Tipo 2 Fig. 8, con dimensiones de la TABLA 3(c) con el cero por debajo de la banda de paso.

V. CONCLUSIONES

En esta contribución hemos estudiado algunas posibilidades para mejorar los filtros en guía de onda rectangular, combinando estructuras inductivas y capacitivas en el mismo circuito. En particular, hemos visto cómo podemos combinar iris inductivos y capacitivos para atenuar las resonancias espurias que se producen por encima y por debajo de la banda de paso del filtro. A través de este estudio, hemos podido constatar una mejora notable en la banda de rechazo del filtro al emplear estructuras híbridas en comparación con el uso exclusivo de iris inductivos o capacitivos.

Finalmente, hemos comprobado algunas opciones para implementar ceros de transmisión por encima y por debajo de la banda de paso del filtro, incorporando singlets a la estructura. En este caso hemos comprobado que la ubicación del cero de transmisión influye significativamente en el efecto de carga del singlet. Específicamente, se ha comprobado que cuando el cero de transmisión se sitúa a frecuencias inferiores a la banda de paso, el efecto de carga es muy pronunciado, degradando la respuesta a frecuencias bajas. Sin embargo, este efecto no es tan fuerte cuando el cero de transmisión se sitúa en frecuencias superiores a la banda de paso.

REFERENCIAS

- [1] Valencia, J., Boria, V. E., Guglielmi, M., & Cogollos, S. (2020). "Compact Wideband Hybrid Filters in Rectangular Waveguide with Enhanced Out-of-Band Response". IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 68(1), 87.
- [2] Macchiarella, G., Gentili, G., & Accatino, L. (2020). Stopband Singlet: A Novel Structure Implementing Resonating Couplings. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 30(5), 473.
- [3] Medina, F., Mesa, F., & Marqués, R. (2008). "Extraordinary Transmission Through Arrays of Electrically Small Holes from a Circuit Theory Perspective". IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 56(12).