

## REDUCCIÓN DE INTERFERENCIA ELECTROMAGNÉTICA DE FILTROS PASABAJAS DE MICROONDAS

JOSÉ A. ESTRADA<sup>1</sup>, YUANDE A. SÁNCHEZ<sup>1</sup> Y MARCO A. AZPÚRUA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fundación Instituto de Ingeniería. Caracas – Venezuela.

<sup>2</sup> Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona – España.

e-mails: jestrada@fii.gob.ve/joseestradaing@gmail.com, ysanchez@fii.gob.ve/mailto:yuande.sas@gmail.com

Recibido: junio 2015

Recibido en forma final revisado: julio 2016

### RESUMEN

En este trabajo se diseñó y validó a través de simulaciones un filtro pasabajas usando una topología simétrica para reducir las emisiones de interferencia electromagnética (EMI), basándonos en la cancelación del campo electromagnético generado por corrientes antisimétricas. El filtro en cuestión se implementó en microcintas con frecuencia de corte 1.1 GHz. En primera instancia, se diseñó el filtro de la manera tradicional y luego se convirtió a un filtro simétrico, ambos fueron simulados con un simulador de onda completa para obtener sus respuestas en frecuencia, distribuciones de corriente y campo eléctrico en la zona lejana. Los resultados demostraron la eficacia del diseño en la reducción de las EMI y muestran el diseño simétrico como una técnica complementaria y de aplicación directa para lograr el cumplimiento de las normas de compatibilidad electromagnética (EMC).

*Palabras clave:* microondas, filtros, microcinta, EMC, EMI

### REDUCTION OF ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE FROM MICROWAVE LOW PASS

#### ABSTRACT

In this paper, the design and simulation of a low pass filter using a symmetrical topology is presented to reduce the emissions of electromagnetic interference (EMI), based on the cancellation of the electromagnetic field generated by antisymmetric currents. The designed filter was implemented in microstrip with cutoff frequency 1.1 GHz. Firstly, the filter was designed in the traditional way, then it was converted into a symmetric filter and both were simulated with a full wave EM solver to get their responses in frequency, current distributions and electric in a distant field. The results demonstrated the effectiveness of the design in reducing EMI and show the symmetrical design as a complementary technique and of straightforward application to achieve compliance with the electromagnetic compatibility standards (EMC).

*Keywords:* microwave, filters, microstrip, EMC, EMI

### INTRODUCCIÓN

En los sistemas de comunicaciones de microondas actuales los filtros pasabajas representan uno de los componentes fundamentales para su correcto funcionamiento. Esto ha llevado a extensas investigaciones en el diseño para mejorar su desempeño, logrando obtener excelentes características incluyendo bajos costos, anchas bandas de rechazo, roll-offs y tamaños compactos (Haifei, Jiapeng y Gang, 2102; Hayati, Sheikhi y Lotfil, 2010; Hayati, Nadery y Jafaryl, 2014; Karimi, Khamin-Hamedani y Siahkamari, 2013).

De igual manera existen muchas técnicas para el diseño orientado a Compatibilidad Electromagnética (EMC) en circuitos impresos (PCB) (Montrose, 1999; Montrose, 2000) y en la actualidad siguen presentándose trabajos con la finalidad de reducir las emisiones de dispositivos de PCB (Nai-Chung, Cheng-Nan, Hanchang y Jay-San, 2013).

Los filtros de alta frecuencia se caracterizan por implementarse usando elementos distribuidos, los cuales, a las frecuencias de interés, son eléctricamente grandes. Esto los hace candidatos a ser excelentes radiadores si

no se diseñan apropiadamente, lo que los convertiría en fuentes de interferencia electromagnética (EMI) radiada. Considerando que los dispositivos electrónicos deben cumplir con estrictos estándares de EMC, y sumado al hecho de que los dispositivos de microcintas son capaces de trabajar con mayores frecuencias y potencias, como es el caso de los dispositivos de Nitruro de Galio (GaN), se hace necesario el desarrollo de nuevas reglas de diseño para la reducción de las emisiones de dispositivos de microcintas, cuya finalidad es reducir los riesgos de EMI con dispositivos cercanos que trabajen en un entorno electromagnético a una misma frecuencia evitando a su vez el acoplamiento de las señales.

En este trabajo se busca desarrollar una técnica que permita reducir las EMI de filtros pasabajas de microcintas, la cual estará fundamentada en realizar un diseño que presente distribuciones de corriente antisimétricas que tengan un efecto de cancelación en la radiación de campo lejano del filtro.

El trabajo está estructurado de la siguiente manera: primero se presenta el diseño del filtro pasabajas de alta frecuencia implementado en tecnología de microcintas, luego se hace la conversión del filtro a uno con stubs duales simétricos. Posteriormente se evalúan las emisiones de los filtros, después se presentan los resultados y finalmente se concluye al respecto.

## DISEÑO DEL FILTRO PASABAJAS

Para el diseño del filtro se usó el método de pérdidas por inserción descrito en Pozar (2012), se realizó un filtro pasabajas Butterworth de tercer orden (siendo éste el indicativo del número de elementos del filtro) con frecuencia de corte  $f_c = 1.1$  GHz e impedancia característica  $Z_0 = 50 \Omega$ . Este filtro se implementó con stubs de líneas de transmisión de microcintas usando un sustrato de permitividad  $\epsilon_r = 4.4$ , espesor  $h = 0.4$  mm y espesor del conductor  $t = 17.8 \mu\text{m}$ . El resultado es el filtro que se muestra en la figura 1, el cual es perfectamente simétrico.

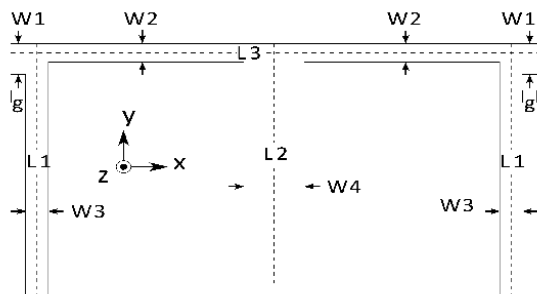


Figura 1. Diagrama del filtro pasabajas de microcintas

El filtro mostrado en la figura 1 cumple con las siguientes dimensiones:

Tabla 1. Dimensiones del filtro pasabajas

Dimensión	Valor (mm)
$W_1$	0.745
$W_2$	0.156
$W_3$	0.156
$W_4$	2.073
$g$	2.069
$L_1$	22.020
$L_2$	19.752
$L_3$	48.428

La respuesta del filtro se muestra en la figura 2, según los valores que se encuentran en la tabla 1 y el diagrama del mismo.

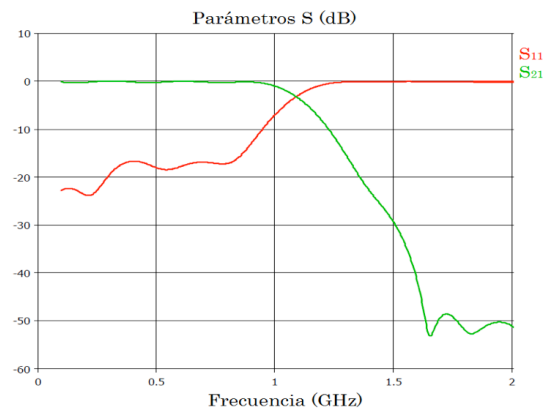


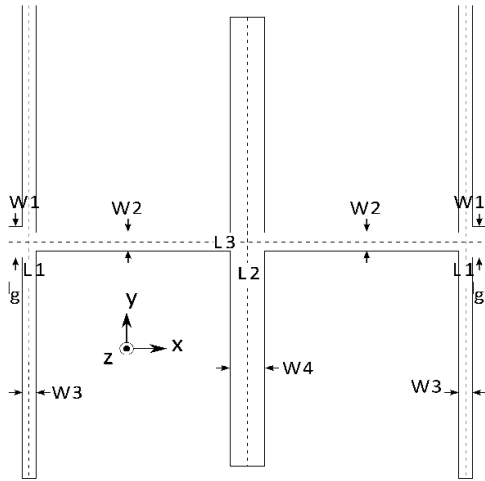
Figura 2. Respuesta del filtro pasabajas de microcintas

## CONVERSIÓN A STUB DUAL

Luego se implementó el filtro usando stubs duales en paralelo y dispuestos simétricamente. Las líneas centrales del filtro no se ven modificadas y para el caso de los stubs se debe duplicar sus impedancias de entrada para que el paralelo de ambas mantenga su valor a la frecuencia de corte. Como estos stubs tienen longitud  $\lambda/8$  y están terminados en circuito abierto, la impedancia de entrada de estos viene dada por Ec. 1.

$$Z_{in} = jZ_0 \quad (1)$$

Dada la Ec.1, para duplicar la impedancia de entrada en la línea solo se requiere duplicar la impedancia característica de la misma. Cumpliendo con la dúplica de las impedancias, el nuevo filtro con stubs duales se muestra en la figura 3, el cual también es simétrico.



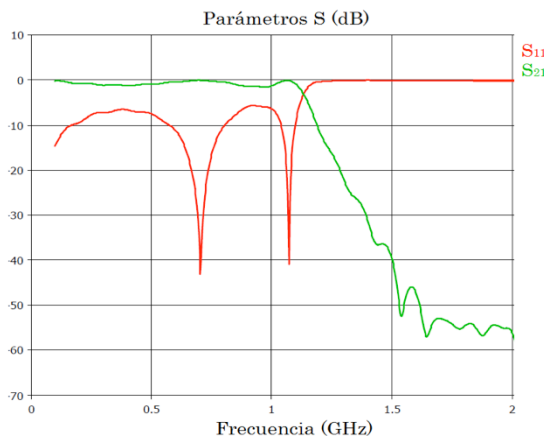
**Figura 3.** Diagrama del filtro pasabajas de microcintas implementado con stubs duales

Las dimensiones se muestran a continuación en la siguiente tabla.

**Tabla 2.** Dimensiones del filtro pasabajas de microcintas implementado con stubs duales

Dimensión	Valor (mm)
$W_1$	0.745
$W_2$	0.156
$W_3$	0.003
$W_4$	0.745
$g$	2.069
$L_1$	47.156
$L_2$	41.373
$L_3$	48.023

En la figura 4 se observa la respuesta del filtro, la cual presenta un rizado en la banda de paso y una mejora en el roll-off con respecto al filtro original. También presenta una reducción en el ancho de banda de la banda de rechazo.



**Figura 4.** Respuesta del filtro pasabajas de microcintas implementado con stubs duales

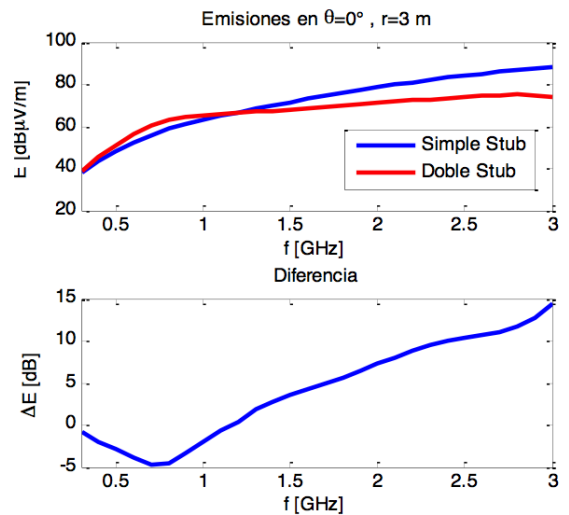
## RADIACIÓN EN LA ZONA LEJANA

Ambos filtros, antes diseñados, fueron simulados usando un simulador de onda completa, con el software CST Microwave Studio®, el cual usa FDTD (Diferencias finitas en el dominio del tiempo) para obtener su radiación de campo lejano. Se excitaron con una fuente de 1 V y 50  $\Omega$  y se estableció como distancia de observación  $d = 3$  m. Las emisiones fueron evaluadas en los ángulos que se verán a continuación en la siguiente tabla:

**Tabla 3.** Definición de ángulos para las mediciones de las emisiones electromagnéticas, utilizando las coordenadas esféricas como referencia

Theta ( $\theta$ )	Phi ( $\varphi$ )
0°	0°
45°	90°
90°	90°
45°	45°
90°	45°
45°	0°
90°	0°

Entre la figura 6 y 7 se muestra una comparación de las respuestas de los filtros con respecto a las mediciones tomadas de las radiaciones electromagnéticas en todos los ángulos mencionados en la tabla 3, para el cual en la figura 6, el caso  $\theta = 0^\circ$  obtuvo la mejor respuesta del filtro, y en la figura 7, el caso  $[\theta, \varphi] = [90^\circ, 45^\circ]$  resultó tener la peor respuesta del filtro.



**Figura 5.** Emisiones del filtro pasabajas (mejor caso)

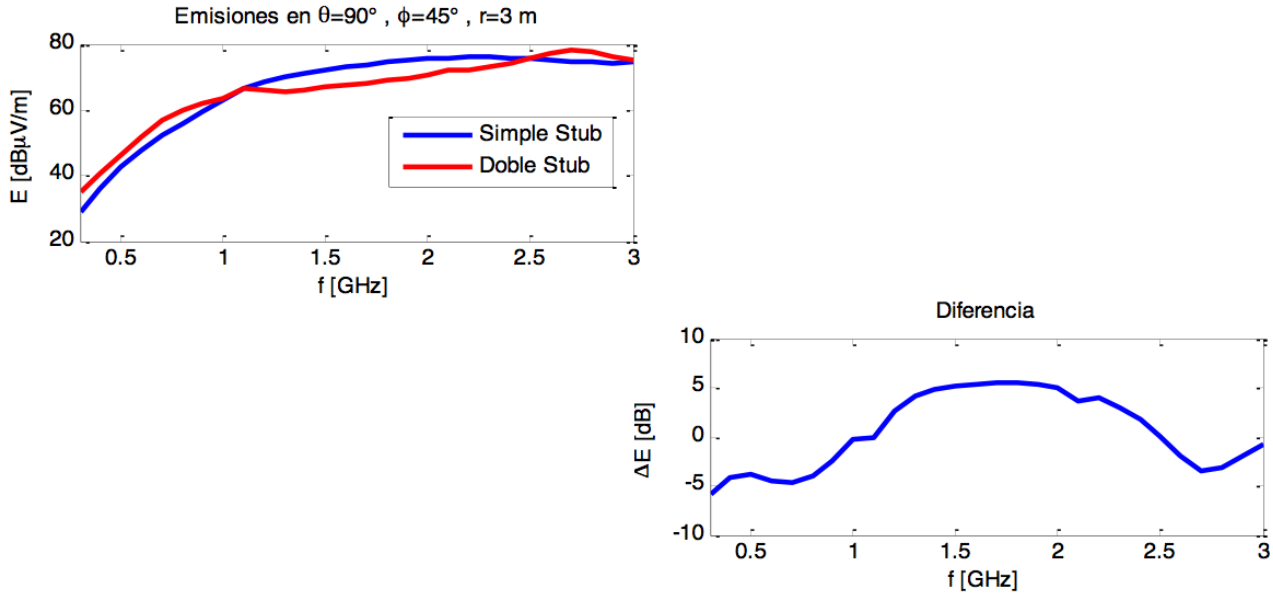


Figura 6. Emisiones del filtro pasabajas (peor caso)

## RESULTADOS

Los resultados muestran una reducción considerable en la radiación de zona lejana en la banda de rechazo, a expensas de mayores emisiones a frecuencias en la banda de paso. Las mayores emisiones de los filtros ocurren en la banda de rechazo, por lo tanto el sacrificio de aumentar la radiación a bajas frecuencias se justifica con la reducción de la radiación de alta frecuencia, en la cual se encuentra bastantes decibeles por encima de la de baja frecuencia.

La mayor variación del campo eléctrico para el filtro fue de 19 dB, para el caso de  $[r, \theta, \phi] = [3 \text{ m}, 90^\circ, 0^\circ]$  a la frecuencia de 1 GHz (visto en escala esférica). La disminución de

las EMI se observa en todas las direcciones, en la peor dirección se logran márgenes que oscilan entre 0.5 y 5.5 dB. La transición entre empeorar las emisiones y mejorarlas sucede justo a la frecuencia de corte del filtro, 1.1 GHz. Esto es de esperarse, pues en las figuras 7 y 8 las corrientes en el filtro se concentran en los stubs a frecuencias de la banda de rechazo y en la línea central en la banda de paso. Cuando se tienen corrientes principalmente en los stubs, estas corrientes al ser antisimétricas interfieren destructivamente entre sí, obteniéndose la reducción de las EMI que se predijo originalmente al plantear el diseño simétrico del filtro. Las distribuciones de corrientes para los filtros se muestran en las figuras 7 y 8.

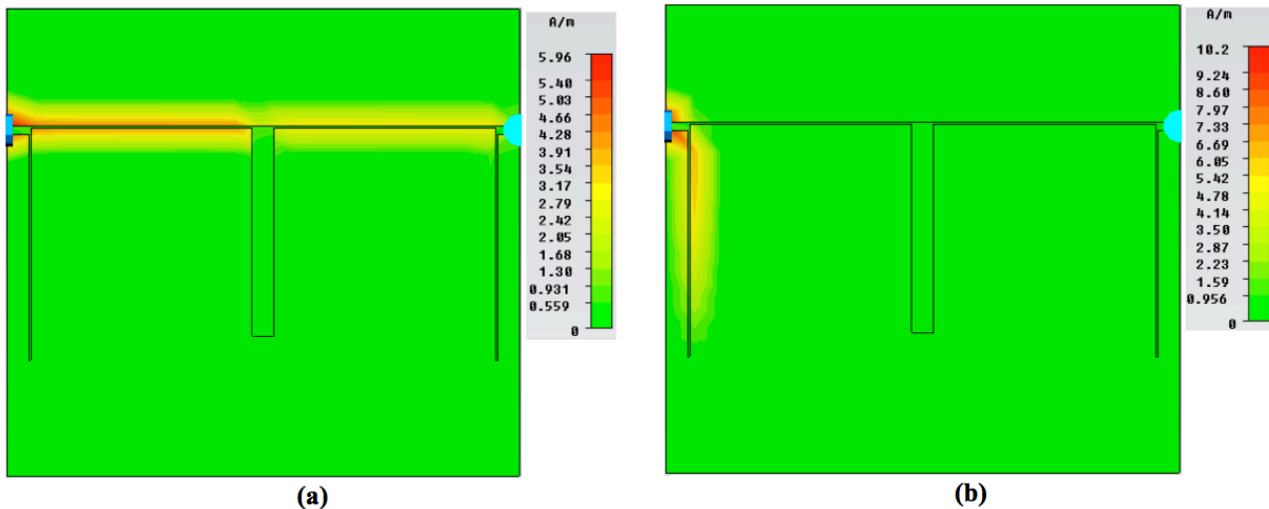
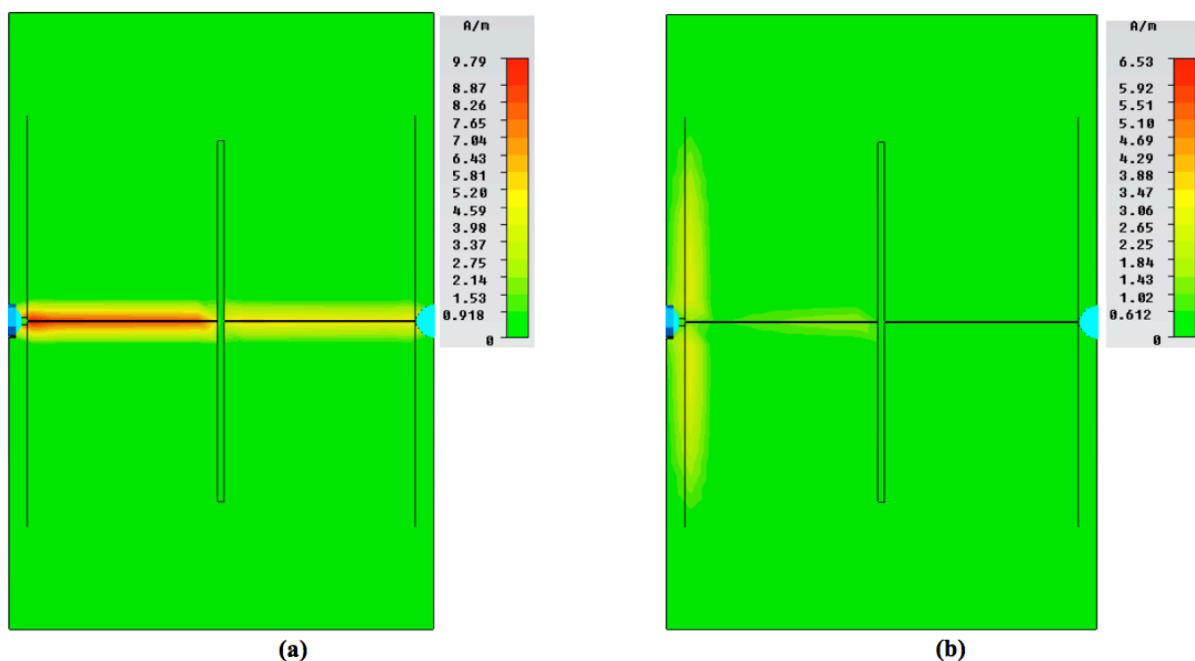


Figura 7. Distribuciones de corriente en el filtro pasabajas a: a) 300 MHz y b) 2 GHz



**Figura 8.** Distribuciones de corriente en el filtro pasabajas, implementado con stubs duales a: a) 300 MHz y b) 2 GHz

## CONCLUSIONES

Las emisiones radiadas de mayor magnitud en el filtro pasabajas de microondas ocurrían para frecuencias en la banda de rechazo del filtro, tal como se muestra en la figura 5 y 6. Estas se pueden reducir con diseño simétrico a expensas de aumento de la radiación para las frecuencias en la banda de paso y aumento del tamaño del filtro. Como la radiación a frecuencias en la banda de paso es naturalmente pequeña, su aumento representa el punto de compromiso para reducir la radiación de la banda de rechazo.

La mejoría en las emisiones radiadas se da en todas las direcciones y esta reducción en las emisiones llega a valores de hasta 19 dB en el mejor de los casos (frecuencia y dirección de mayor mejoría). En la peor dirección se sigue obteniendo reducción de entre 0.5 y 5.5 dB de la radiación en la banda de rechazo, de esta manera se muestra el diseño simétrico como una técnica complementaria y de aplicación directa para la mitigación de las EMI.

## REFERENCIAS

- POZAR, D. (2012). "Microwave Engineering", John Wiley & Sons, Inc.
- HAI FEI CUI; JIANPENG WANG; GANG ZHANG. (2012) "Design of microstriplowpass filter with compact size and ultra-wide stopband," Electronics Letters , vol.48, no.14, pp.856,857.
- HAYATI, M.; SHEIKHI, A.; LOTFI, A. (2010) "Compact lowpass filter with wide stopband using modified semi-elliptic and semi-circular microstrip patch resonator," Electronics Letters , vol.46, no.22, pp.1507,1509.
- HAYATI, M.; NADERI, S.; JAFARI, F. (2014) "Compact microstriplowpass filter with sharp roll-off using radial resonator," Electronics Letters , vol.50, no.10, pp.761,762.
- KARIMI, G.; KHAMIN-HAMEDANI, F.; SIAHKAMARI, H. (2013) "Miniaturisedmicrostriplowpass filter with sharp roll-off and ultra-wide stopband," Electronics Letters , vol.49, no.21, pp.1343,1345.
- MONTROSE, M. (1999). "EMC and the Printed Circuit Board, Design Theory and Layout Made Simple. IEEE Press Series on Electronics Technology", Wiley Inter-Science.
- MONTROSE, M. (2000). "Printed Circuit Board Design Techniques for EMC Compliance" .IEEE Press Series on Electronics Technology, Wiley Inter-Science.
- NAI-CHUNG KUO; CHENG-NAN CHIU; HAN-CHANG HSIEH; JAY-SAN CHEN. (2013) "Radiation Minimization of Single-Stub Microstrip Impedance Transformers" Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on vol.61, no.3, pp.1018,1029.

