

Análisis y diseño de filtros de resonadores *hairpin* en tecnología microtira

A. Gutiérrez Molina¹, I. Ledesma Obellar², J. Gismero Menoyo³, M. Salazar Palma⁴, F. Pérez Martínez⁵

Grupo de Microondas y Radar, Dpto. Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones. ETSI Telecomunicación
Universidad Politécnica de Madrid. C/ Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid

(1) elfosii@terra.es (2) iledesma@iies.es (3) javier@gmr.ssr.upm.es
(4) m.salazar-palma@ieee.org (5) felix@gmr.ssr.upm.es

ABSTRACT

A simple procedure for the design of hairpin-line and bend hairpin-line filters is presented. It allows the design of filters with negligible intra-resonator coupling so that the analysis can be performed by means of two coupled-line models usually available in widespread microwave simulators. Two trial designs are tested.

1. INTRODUCCIÓN

Los clásicos filtros de líneas acopladas son muy populares debido a su facilidad de diseño [1] y análisis. Además su construcción en tecnología microtira es inmediata ya que no precisan de cortocircuitos (fig. 1a). Sin embargo, cuando se necesitan filtros para frecuencias relativamente bajas o sobre sustratos de baja ϵ_r , los filtros de líneas acopladas pueden no ser apropiados debido a su gran tamaño. Igualmente, si el ancho de banda requerido es considerable, las líneas de entrada y salida han de estar muy próximas al primer y último resonador respectivamente, por lo que podría ocurrir que la tecnología de fabricación empleada no permitiese obtener la separación requerida con la debida precisión. La solución para este problema puede ser el uso de líneas *taped*. Los filtros con resonadores *hairpin* se derivan conceptualmente de los clásicos filtros de líneas acopladas y solucionan en gran medida ambos problemas: son mucho más compactos pues, aunque sus resonadores son

también de longitud eléctrica $\theta = \pi$ a la frecuencia central de diseño f_0 , no es necesario disponerlos en escalera y pueden apilarse uno tras otro; esta disposición da lugar de forma natural a una entrada por línea *taped* (fig. 1b). Los filtros con resonadores tipo *bend hairpin-line* permiten aún una mayor reducción de tamaño, sobre todo en diseños de bajas frecuencias (fig. 1c). En cualquier caso habrá que buscar una solución de compromiso debido a las limitaciones propias de la tecnología de fabricación. En la figura 1, realizada a escala, se puede apreciar la reducción que se llega a conseguir.

Los métodos habituales de diseño de filtros *hairpin* son más complicados que los empleados para los filtros de líneas acopladas, si bien fácilmente programables. El análisis de este tipo de filtros requiere, en principio, un modelo de múltiples líneas acopladas que no está disponible en muchos simuladores circuitales.

Si el acoplo entre los brazos verticales de un mismo resonador es despreciable (por estar separados suficientemente), es posible un diseño sencillo y similar al de los conocidos filtros de líneas acopladas. Además el análisis puede realizarse empleando los mismos modelos que para el caso de líneas acopladas.

2. DISEÑO

El método clásico de diseño de un filtro *hairpin* [2] implica el paso intermedio por el diseño de un filtro interdigitado del que

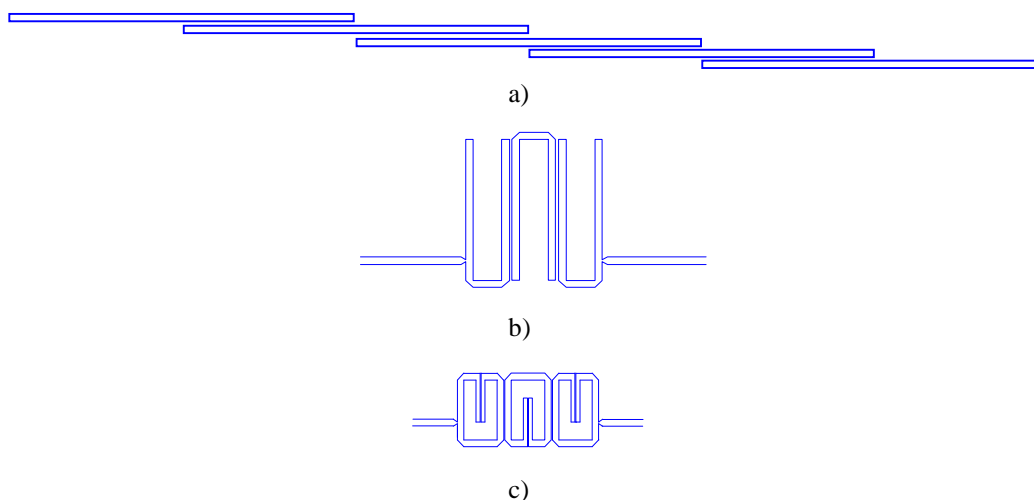


Figura 1. Filtros a) de líneas acopladas, b) *hairpin-line*, c) *bend hairpin-line*

el primero es dual. De éste se obtendría su matriz de capacidades, dual de la matriz de inductancias de la estructura *hairpin*. Posteriormente se procedería a desdoblar los resonadores en dos brazos. Este método es fácilmente programable pero se pierde una comprensión más directa de los parámetros reales del filtro *hairpin*. Si se está dispuesto a perder cierta flexibilidad en el diseño, es posible un método más directo.

Utilizando alguno de los programas disponibles de síntesis de líneas de transmisión se determina una separación entre líneas tal que el acoplo sea suficientemente bajo. Por otro lado, la separación no debe ser excesiva para mantener la estructura del filtro lo más compacta posible. Esta longitud, determina la longitud eléctrica, θ_u , no acoplada a los resonadores adyacentes (fig. 2).

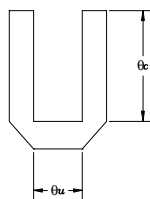


Figura 2. Resonador *hairpin* en el que se indica la longitud eléctrica acoplada y no acoplada

El diseño puede proseguir sin considerar el acoplo entre los brazos de un mismo resonador y utilizando para las impedancias par e impar Z_{0e} y Z_{0o} ecuaciones similares a las dadas en [1] para los filtros clásicos de líneas acopladas, modificadas de manera que se tenga en cuenta que el acoplamiento se produce sobre una longitud menor que $\pi/2$, esto es θ_c (fig. 2), lo que conduce a coeficientes de acoplamiento más elevados. Las ecuaciones necesarias para el caso de entrada por línea *taped* pueden encontrarse en [3]. En el caso de los *bend hairpin-line*, el circuito equivalente propuesto es una línea de transmisión en paralelo con un par de líneas acopladas (las líneas interiores), cuyo acoplo facilita una sintonía fina [3]. En este caso, además, la longitud total ya no es π , por lo que se elimina la respuesta al segundo armónico.

Las simulaciones utilizando los valores iniciales dados por el diseño se muestran muy cercanas a la respuesta deseada, siendo sólo necesario alterar ligeramente la posición de la línea *taped* para conseguir la adaptación requerida. Esto es equivalente a acortar los resonadores de entrada y salida, ya que se modifica el valor del factor de calidad cargado del filtro, y por lo tanto su adaptación.

3. MEDIDAS

A modo de ejemplo se presentan los resultados del diseño de filtros de ambos tipos de orden 3, respuesta de tipo Chebychev, frecuencia central 3,25 GHz y ancho de banda relativo del 10 %, sobre sustrato de $\epsilon_r=2,14$ y espesor de 0,254 mm. La comparación entre las medidas y las simulaciones (mediante el simulador ADS) de ambos filtros se muestran en la figura 3.

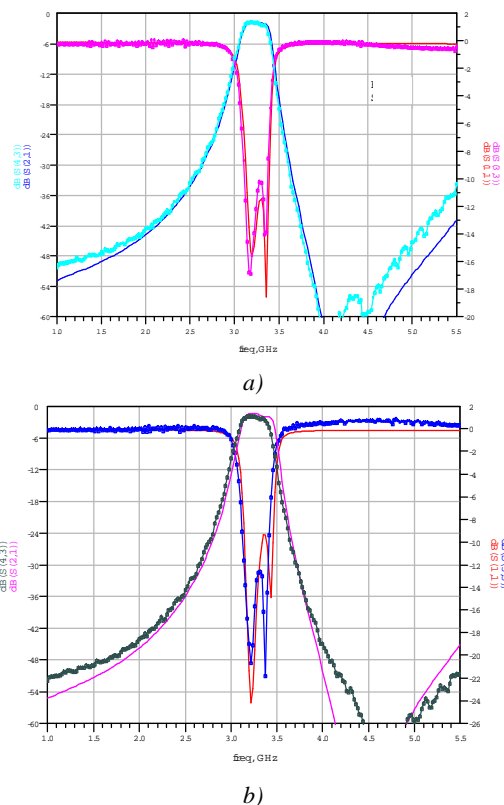


Figura 3. Comparación entre simulaciones y medidas experimentales. a) Filtro *hairpin-line*. b) Filtro *bend hairpin-line*

4. CONCLUSIONES

Se ha presentado el diseño de filtros *hairpin-line* y *bend hairpin-line* útiles para la reducción de espacio en la parte baja de la banda de microondas. Las medidas experimentales confirman sus buenas prestaciones.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado en parte por IKUSI, INDRA SISTEMAS y la CYCIT (proyecto TIC 1999-1172-C02-01/02).

Referencias

- [1] G.L. Matthaei, Leo Young and E.M.T Jones, "Microwaves filters, impedance matching networks, and coupling structures," Artech House, MA, 1988, 2nd ed.
- [2] E.G. Cristal and S. Frankel, "Hairpin-Line and hybrid hairpin-line/half-wave parallel-coupled-line filters," *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. 20, No. 11, pp. 719-728, Nov. 1972.
- [3] R. Neves, and H. Abdalla Jr., "Techniques yield tiny hairpin-line resonator filters," *Microwaves & RF*, pp.142-149, Nov. 1999.