

IMPLEMENTACION DE LINEA DE ϵ NEGATIVA EN TECNOLOGIA STRIPLINE

Jesús Illescas⁽¹⁾, Eduardo Jarauta⁽²⁾, Aritz Estevez⁽¹⁾, Jose Antonio Marcotegui⁽¹⁾, Francisco Falcone⁽²⁾.

jillescas@tafcomw.com, eduardo.jarauta@unavarra.es, aestevz@tafcomw.com, jmarcotegui@tafcomw.com, francisco.falcone@unavarra.es

⁽¹⁾ Dpto. I+D, Tafco Metawireless, Poligono Industrial Mocholi, Plaza CEIN 5, Nave T1, 31110, Noain, Navarra

⁽²⁾ Dpto. de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Pública de Navarra, Edificio Los Tejos, Planta 1, Campus Arrosadía, 31006, Pamplona, Navarra

Abstract- In this work, a negative- ϵ equivalent response medium is proposed in stripline technology. To achieve band rejection behaviour, Complementary Split Ring Resonators (CSRR) are placed in the central conductor strip of a conventional stripline planar transmission line. Due to strong normal electric field incidence, adequate excitation of the stripline is achieved, leading to band rejection in the quasi-static resonance frequency of the CSRR particles. Full wave simulation results from our own FDTD code and measurement results are presented, showing good agreement.

I. INTRODUCCIÓN

Los metamateriales han despertado gran interés en los últimos años debido a las propiedades electromagnéticas inusuales que revelan. A finales de los años 60 se analizó teóricamente las consecuencias de contar con medios cuyas valores efectivos tanto de permeabilidad magnética como permitividad dieléctrica negativa, resultando en velocidades de grupo y fase antiparalelas, inversión de efecto Doppler y radiación Cerenkov inversa, entre otras [1]. A finales de los años 90 y principios de la década actual, se propuso el Split Ring Resonator como medio equivalente efectivo de μ -negativa y combinado con un medio de hilos, un medio zurdo o Left-Handed Material (LHM) [2,3]. Posteriormente, se han realizado numerosos estudios con el fin de poder implementar de manera práctica estos conceptos a la implementación de dispositivos de tecnología planar, como filtros, acopladores, antenas, etc. [4-9].

Una de las variantes propuestas en tecnología planar ha sido el anillo CSRR, dual del anillo SRR propuesto inicialmente. Por la aplicación del principio de Babinet, el papel del campo eléctrico y magnético se intercambian, lo que da lugar a tener una estructura que presenta un comportamiento equivalente a un medio con ϵ negativa. En este caso, al incidir con un campo eléctrico normal al plano que contiene dicho anillo CSRR, se excita de manera adecuada y se obtiene una respuesta selectiva en frecuencia sub-lambda, a la frecuencia de resonancia cuasi-estática del CSRR.

En este trabajo se propone la incorporación de anillos CSRR a la tira central conductora de una línea stripline. Debido a la estructura de polarización vertical del campo

eléctrico propio del modo TEM dentro de la stripline, se logra una excitación adecuada de los anillos CSRRs. Tanto resultados de simulación EM 3D completa con código propio FDTD como resultados de medida se presentan, mostrando el comportamiento selectivo en frecuencia.

II. DISEÑO DE LINEA STRIPLINE CARGADA CON CSRR

La línea de transmisión sobre la que se propone la incorporación de los anillos CSRR es una línea stripline. Se trata de una guía de onda planar, cuyo modo fundamental es TEM y que tiene componentes de campo eléctrico que están fundamentalmente polarizados verticalmente y concentrados en las inmediaciones de la tira conductora central.

Teniendo en cuenta la estructura del campo electromagnético y fundamentalmente de la incidencia del campo eléctrico, se propone la inclusión de anillos CSRR en la tira central conductora de la stripline, tal y como se muestra de manera esquemática en la figura 1.

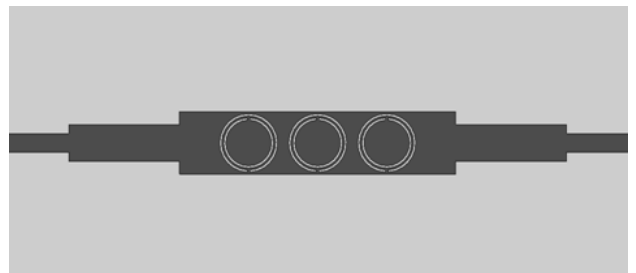


Fig. 1. Esquema de ubicación de anillos CSRR en la tira conductora de la stripline. Debido a las dimensiones de los anillos, es necesario incorporar un adaptador $\lambda/4$ entre los puertos de acceso de 50 Ω y la tira central.

Se ha diseñado una línea stripline con CSRR que presentan una frecuencia de resonancia cuasi-estática de aproximadamente 1.6GHz sobre un sustrato de bajo coste FR4 (con permitividad 4.6 y grosor de sustrato 1.5mm). Esto lleva a que las dimensiones de los anillos CSRR son los siguientes: radio exterior 4.2mm, anchura de anillos 0.3mm,

separación de anillos 0.3mm, gap 0.4mm [6]. El circuito se ha diseñado para tener una impedancia de entrada de 50Ω (lo que supone una pista de acceso con anchura 1.31mm). Por ello, se ha diseñado un adaptador de impedancia $\lambda/4$, tal y como se puede ver en la figura 1.

Una vez diseñado el dispositivo, se han realizado simulaciones electromagnéticas completas, mediante el empleo de código FDTD propio. En las figuras 2 y 3 se muestran valores de densidades de corrientes obtenidos en la frecuencia de resonancia cuasi-estática, mostrando la distribución de corrientes propia de este modo de funcionamiento de los anillos complementarios. Al introducir más anillos CSRR en la tira central conductora (el caso de la figura 3, en el que se han colocado 3 anillos CSRR en la tira), para cada uno de los anillos se replica el comportamiento en relación con las corrientes, debido a que se mantiene la excitación del campo eléctrico sobre los anillos CSRR, contenidos en un plano de incidencia normal con respecto a dicho campo eléctrico.

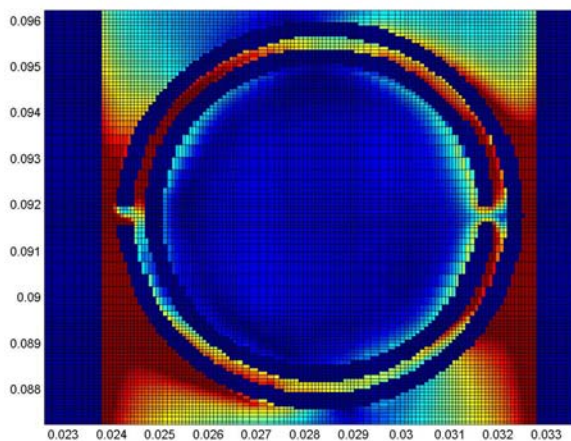


Fig. 2. Densidad de corriente obtenida mediante simulación FDTD a la frecuencia de resonancia cuasi-estática del anillo.

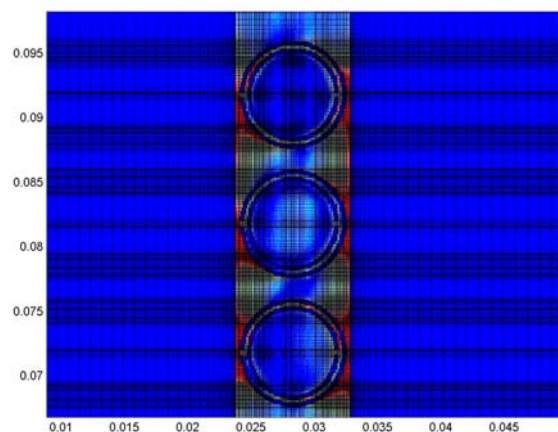


Fig. 3. Densidad de corriente obtenida mediante simulación FDTD a la frecuencia de resonancia cuasi-estática del anillo para el conjunto completo de 3 CSRR en la tira central conductora de la línea stripline

III. RESULTADOS DE MEDIDA

Con el fin de poder contrastar los resultados de simulación, se ha fabricado el prototipo previamente diseñado. Para ello, se ha empleado una microfresadora

LPKF mecánica, sobre sustrato de bajo coste de fibra de vidrio FR4. En la figura 4 se muestra un detalle de la pista central de acceso, de manera previa a la colocación de la capa superior de dieléctrico y conductor para conformar la línea stripline definitiva.

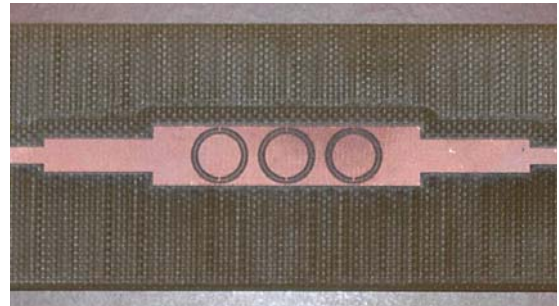


Fig. 4. Muestra fabricada en FR-4 mostrando la tira conductora central, sin la tapa superior.

El circuito se ha medido con un VNA HP 8722 ES, con calibración completa sobre conectores SMA de 3.5mm. El resultado de medida se muestra de manera comparativa con el de simulación en la figura 5.

Se observa en las inmediaciones de 1.55GHz una banda de rechazo, consecuencia de la resonancia cuasi-estática de los CSRR. Existe un desplazamiento frecuencial de aproximadamente 150MHz, debido a diferencias en los valores de la constante dieléctrica de los sustratos frente a su valor de referencia, así como a errores propios del proceso de fabricación.

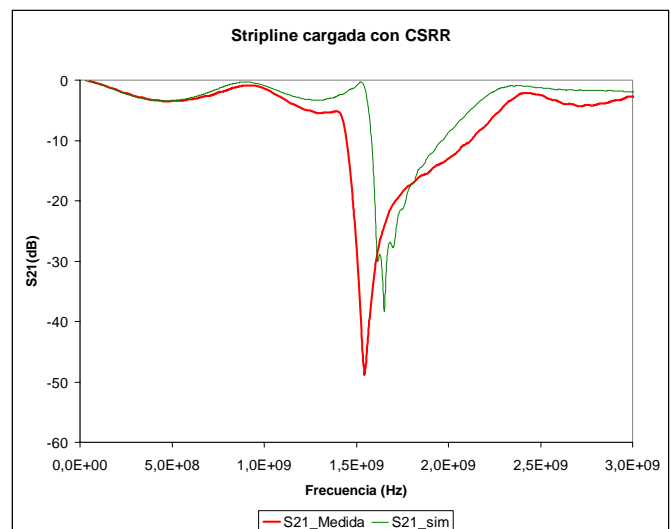


Fig. 5. Resultados de simulación (línea fina) y de medida (línea gruesa), en donde se observa el carácter selectivo en frecuencia ligado a la resonancia cuasi-estática de los CSRR.

IV. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado la aplicación de anillos complementarios CSRR sobre una línea stripline. Debido a la configuración de campo electromagnético, con componente de campo eléctrico polarizado fuertemente de manera vertical, es factible excitar de manera adecuada los anillos CSRR. Se han realizado simulaciones electromagnéticas 3D sobre un código FDTD propio y se ha fabricado un prototipo sobre sustrato de bajo coste FR4. Los resultados de

simulación y medida muestran una banda de rechazo en la vecindad de la frecuencia de resonancia cuasiestática de los anillos CSRR, abriendo la posibilidad de implementación de dispositivos en este tipo de línea de transmisión planar.

REFERENCIAS

- [1] V. Veselago, "The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ " *Sov. Phys.—Usp.*, vol. 10, pp. 509–514, 1968.
- [2] J. B. Pendry, "Negative refraction makes perfect lens," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 85, pp. 3966–3969, 2000.
- [3] D. R. Smith, W. J. Padilla, D. C. Vier, S. C. Nemat-Nasser, and S. Schultz, "Composite medium with simultaneously negative permeability and permittivity," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 84, pp. 4184–4187, 2000.
- [4] R. Marqués, J. Martel, F. Mesa, and F. Medina, "Left handed media simulation and transmission of EM waves in sub-wavelength SRR-loaded metallic waveguides," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 89, pp. 183 901(1)–183 901(4), 2002.
- [5] F. Martín, F. Falcone, J. Bonache, R. Marqués, and M. Sorolla, "A new split ring resonator based left handed coplanar waveguide," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 83, pp. 4652–4654, 2003
- [6] F. Falcone, T. Lopetegi, J. D. Baena, R. Marqués, F. Martín, and M. Sorolla, "Effective negative-" stopband microstrip lines based on complementary split ring resonators," *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 14, no. 6, pp. 280–282, Jun. 2004.
- [7] F. Falcone, T. Lopetegi, M. A. G. Laso, J. D. Baena, J. Bonache, M. Beruete, R. Marqués, F. Martín, and M. Sorolla, "Babinet principle applied to metasurface and metamaterial design," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 93, pp. 197 401(1)–197 401(4), 2004
- [8] J. Martel, J. Bonache, R. Marqués, F. Martín and F. Medina, " Design of Wide-band Semi-lumped Bandpass Filters Using Open Split Ring Resonators ", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 17, pp. 28-30, January 2007
- [9] J. Bonache, G. Posada, G. Garchon, W. De Raedt, F. Martín, " Compact (<0.5mm²) K-band metamaterial band pass filter in MCM-D technology ", *Electronics Letters*, vol.43, No. 5, pp.288-290, March 2007.