

Verificación de la Permeabilidad de un Meta-Material tipo DSRR en Función de la Frecuencia a partir de la Extracción de sus Parámetros S Obtenidos Mediante la Simulación sobre HFSS

Verification of the permeability of a type DSRR Meta-Material according to the frequency from the extraction of its S parameters obtained through a simulation over HFSS

Recibido: : Noviembre 2015, aceptado: febrero 2016

J. R. Navarro*

Resumen

Este documento tiene como objetivo proporcionar de manera informativa la particularidad en los meta-materiales con permeabilidad negativa como respuesta en frecuencia a un frente de onda electromagnética, específicamente los de tipo DSRR (Double Split Ring Resonator). Para la verificación de esta característica se requiere medir la permeabilidad de los mismos en función de la frecuencia. Para esto, se obtiene la matriz S del meta-material como respuesta de la propagación de una onda electromagnética a través del mismo y se traduce ésta matriz S (con un método de obtención de parámetros efectivos) a una permeabilidad, verificando así, si las características en permeabilidad del meta-material son válidas.

Palabras Clave: Meta-materiales Electromagnéticos, Permeabilidad Magnética, Mediciones de Permeabilidad. Onda Electromagnética.

Abstract

The purpose of this paper is to discuss the peculiarities of the metamaterials with negative permeability as a response in frequency to an electromagnetic wave front; specifically, those of DSRR (Double Split Ring Resonator) type. To verify these characteristics, it is necessary to measure their permeability according to the frequency. To do this, the S matrix of the metamaterial is acquired as a response to the electromagnetic wave propagation through itself, translating the S matrix (with a method to acquire effective parameters) to a permeability, verifying in this way if the characteristics of permeability of the metamaterial are valid.

Keywords: Electromagnetic meta-materials, magnetic permeability, permeability measuring, electromagnetic wave.

* Escuela de Electrónica, Universidad Don Bosco Soyapango. E-mail: juan.navarro@udb.edu.sv

Introducción

Los meta-materiales permiten la creación de propiedades electromagnéticas que no se encuentran en un material natural, es decir, son materiales que poseen características que en la naturaleza no podemos encontrar. Los meta-materiales de los que aquí hablamos son materiales que poseen características en permeabilidad electromagnética, permeabilidad que ha de ser negativa a determinada frecuencia o rango de frecuencias. Estas redes de meta-material están situadas en la región IV del diagrama $\epsilon-\mu$, con una permeabilidad negativa en un rango de frecuencias que depende de las magnitudes físicas del meta-material (Anchura de anillos, distancia entre anillos, espesor de sustrato, tipo de sustrato, entre otros parámetros).

Estructuras Meta-materiales

Un meta-material denota a un material artificial compuesto de propiedades que no se encuentran en la naturaleza. Podemos hablar de estructuras meta-materiales con permitividad negativa y en nuestro caso de estudio, estructuras meta-materiales con permeabilidad negativa.

Estas estructuras son construidas a base de hojas conductoras no magnéticas y que son resonantes a cierta frecuencia debido a la capacitancia e inductancia interna de las estructuras al interactuar con un frente de onda electromagnético (Pendry et al 1999).

Para que éste tipo de estructuras se comporten como meta-materiales deben de cumplir ciertos criterios de diseño (periodicidad) y configuración que están ligados a la onda electromagnética: Un criterio de suma importancia es la orientación de la estructura con respecto a la dirección de propagación de la onda electromagnética. Un segundo criterio indica que el frente de onda electromagnética debe de ver varias placas de meta-material para asemejar una periodicidad infinita. Un tercer criterio (Pendry et al 1999) es el tamaño de las estructuras, ellas deben de ser de dimensiones a mucho más pequeña en comparación a la longitud de onda de la radiación electromagnética que interactúa con ellas.

Estructura Meta-material DSRR

Para nuestro caso nos situaremos en el meta-material de tipo DSRR (Meta-característica: permeabilidad negativa) el cual consiste en la repartición de anillos partidos de cobre grabados sobre placas de sustrato que son resonantes a cierta frecuencia debido a la capacitancia interna entre las hojas conductoras y la inductancia de los cilindros formados con las hojas conductoras. Presentamos en la Fig. 1 la célula elemental de una estructura meta-material de tipo DSRR.

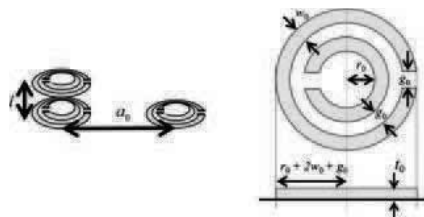


Fig. 1. Vista esquemática del arreglo DSRR para meta-materiales con permeabilidad negativa instalados en una región de propagación de micro-ondas. Figura extraída de (Bambina 2014).

Criterios de diseño y configuración

Para este tipo de estructura tal como lo indica el primer criterio en (Sakai et al 2013), para que exista un meta-material, el campo magnético asociado a la onda debe atravesar perpendicularmente a los anillos de cobre (campo eléctrico paralelo a los anillos), generando así una resonancia magnética que permite obtener un estado de permeabilidad negativa en determinado rango de frecuencias, de lo contrario la permeabilidad que se obtiene es positiva.

De igual manera tal cual lo indica (Sakai et al 2013), vamos a considerar la estructura como periódica, para éste fin (en mediciones reales), replicaremos la célula elemental mostrada en la Fig. 1, en los tres grados de libertad (eje x, y y z), suponiendo así una estructura periódica infinita. Para el último criterio en relación al tamaño de la célula elemental, tomaremos en cuenta una talla que sea menor a la longitud de onda mínima radiada y donde se incluya la longitud de onda correspondiente a la frecuencia de interés.

Tomando en cuenta estos tres criterios, presentamos dos prototipos que se presentan en (Bambina 2014) cuyos parámetros de diseño se presentan en la Tabla I.

Tabla I. Parámetros del arreglo DSRR en milímetros. Tabla extraída de (Bambina 2014)

Parameter	DSRR ₁	DSRR ₂
r_0	3.2	2.4
g_0	0.7	0.4
w_0	0.7	1.6
a_0	13	13
l	11.5	11.5
l_0	0.035	0.035

Experimentación

(Bambina 2014) nos presenta los resultados de la permeabilidad en función de la frecuencia (Fig. 2), en un rango de [1.8-2.8] GHz para ambos diseños del meta-material, respetando los criterios de diseño y configuración antes mencionados (indicados en [8]), los cuales se pueden apreciar mejor gráficamente en la Fig. 3. Los parámetros S fueron obtenidos a partir de mediciones reales al vacío, basadas en la configuración representada en la Fig. 3 con la ayuda de un analizador de redes vectorial de dos puertos (VNA), conectando en cada puerto una antena (Transmisión y Recepción) e inyectando una onda electromagnética en dirección k cuyo campo eléctrico es paralelo a las placas de metamaterial y el campo magnético perpendicular a los anillos. Luego, estos parámetros S son traducidos a valores de permeabilidad compleja gracias al método "the parameter retrieval method" ampliado con detalle en (Smith et al 2005) y (Nakamura et al 2014).

En la Fig. 2 podemos observar que a la frecuencia de 2.45 GHz (Línea vertical discontinua) ambos diseños reflejan una permeabilidad negativa (parte real simbolizada por la línea negra), con la diferencia que el diseño 2 posee más pérdidas que el diseño 1 (Parte imaginaria simbolizada por la línea roja). Podemos decir que la frecuencia de resonancia de éste arreglo está alrededor de la frecuencia de 2.45 GHz.

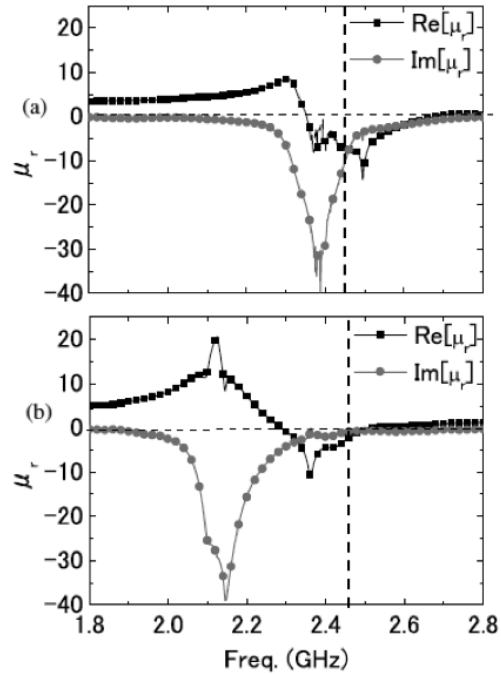


Fig. 2. μ_r en función de la frecuencia del DSRR. (a) Para el caso del DSRR 1 y (b) Para el caso del DSRR 2. Figura extraída de (Bambina 2014).

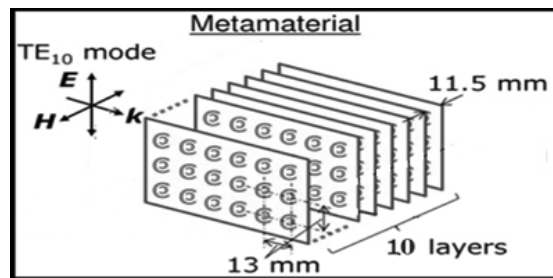


Fig. 3. Criterios de diseño y configuración para el DSRR 1 y DSRR 2.

Del lado de las simulaciones (nuestro objeto de estudio en el presente artículo), de la misma manera, para poder comparar los valores de permeabilidad obtenidos mediante mediciones reales, se realiza el método de verificación por medio del software de simulación HFSS (software comercial de solución en modo electromagnético basado en elementos finitos). Se toman en cuenta los mismos criterios de diseño y configuración sobre una célula elemental de meta-material. Con ayuda de herramientas del software se crea la célula elemental de tal manera que el campo magnético asociado atravesase los anillos como se muestra en la Fig. 3. De igual forma, se insertan condiciones de frontera periódicas para representar la periodicidad de la estructura y se sitúan los puertos de excitación que funcionarían como las antenas de transmisión y recepción (como en la etapa de mediciones reales). Finalmente se lanza la simulación y se obtienen los parámetros S de la estructura que luego se traducirán en valores de permeabilidad mediante el mismo método mencionado anteriormente en la fase de mediciones reales.

Conclusiones

Tomando en cuenta los criterios de diseño y configuración de estructuras meta-materiales sabemos que en cuanto a mediciones reales es posible: a) Obtener la lectura de parámetros S de dichas estructuras como respuesta a un frente de onda electromagnética, b) traducir estos parámetros S a valores de permeabilidad compleja en función de la frecuencia, y c) que ésta permeabilidad sea negativa a determinado rango de frecuencias.

También sabemos que en cuanto a simulaciones es posible: a) Crear una célula elemental de meta-material en el software de simulación con las dimensiones físicas establecidas y con sus respectivos tipos de material (conductor-dieléctrico), b) Asemejar mediante herramientas del software los puertos de excitación como las antenas de transmisión y recepción utilizadas para la lectura de parámetros S y semejar también la periodicidad por medio de condiciones de frontera periódicas, y c) Utilizar el mismo método de traducción de parámetros S a valores de permeabilidad, pudiendo llegar finalmente a la lectura de una permeabilidad negativa en una frecuencia x de estructuras meta-materiales simuladas.

Referencias

- Bambina (2014) "Génération d'un plasma par microondes dans un dispositif intégrant un métamatériau à perméabilité négative", *Rapport final de stage LABORATOIRE DE LAPLACE*.
- Lam, V. D., Kim, J. B., Lee, S. J., & Lee, Y. P. (2008). Electromagnetic Behavior of Representative Metamaterial Structures. *Journal of the Korean Physical Society*, 53(2), 558-563.
- Nakamura, Y., Iwai, A., & Sakai, O. (2014). Nonlinear properties of negative-permittivity microwave plasmas embedded in metamaterial of macroscopic negative permeability. *Plasma Sources Science and Technology*, 23(6), 064009.
- Pendry, J. B., Holden, A. J., Robbins, D. J., & Stewart, W. J. (1999). Magnetism from conductors and enhanced nonlinear phenomena. *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, 47(11), 2075-2084.
- Y. N. a. O. Sakai, "High-density microwave plasma source using negative-permeability metamaterial with tuned wave attenuation" *Japanese Journal of applied Physics*, pp. 53, 03DB04, 2014.
- Sakai, O., Iio, S., & Nakamura, Y. (2013). Overdense Microwave Plasma Generation in a Negative-Permeability Space. *Plasma and Fusion Research*, 8(0), 1406167-1406167.
- Smith, D. R., Schultz, S., Markoš, P., & Soukoulis, C. M. (2002). Determination of effective permittivity and permeability of metamaterials from reflection and transmission coefficients. *Physical Review B*, 65(19), 195104.
- Smith, D. R., Vier, D. C., Koschny, T., & Soukoulis, C. M. (2005). Electromagnetic parameter retrieval from inhomogeneous metamaterials. *Physical Review E*, 71(3), 036617.