

UNA APROXIMACIÓN NUMÉRICA EN EL DOMINIO DEL TIEMPO AL COMPORTAMIENTO DE MEDIOS QUIRALES REALIZADOS EN CIRCUITO IMPRESO

Álvaro Gómez⁽¹⁾, Ana C. L. Cabeceira⁽¹⁾, Ismael Barba⁽¹⁾, José Represa⁽¹⁾, Gregorio Molina⁽²⁾, Ángel J. García⁽³⁾, María J. Núñez⁽²⁾, José Margineda⁽²⁾
gomezal@ee.uva.es, anacris@ee.uva.es, ibarba@ee.uva.es, jrepresa@ee.uva.es, gregomc@um.es, ajgarcia@pdi.ucam.edu, maripepa@um.es, jmargi@um.es

⁽¹⁾ Dpto. de Electricidad y Electrónica, Universidad de Valladolid, C/Real de Burgos s/n, Valladolid.

⁽²⁾ Dpto. de Física, Universidad de Murcia, Facultad de Químicas, Campus de Espinardo, Murcia

⁽³⁾ Dpto. de C. Politécnicas, Univ. Católica San Antonio, Avda. de los Jerónimos s/n, Guadalupe, Murcia

Abstract- The growing development of the new communications technologies requests devices to perform new features or to improve the old ones. The trend is to develop new artificial materials reproducing well-known properties already present in other frequency ranges (such as optics) or materials with properties inexistent in the nature. Among the first kind, artificial chiral media, based on the inclusion of particles with chiral symmetry into a host medium are worth to mention. Recently, we have considered new fabrication techniques based on the Printed Circuit Board (PCB) technology, because the use of via holes gives a great additional flexibility to select the type of chiral inclusions from helix to cranks. In this work, a numerical study in the time domain of the EM wave propagation through such a structure is achieved using the commercial software MEFiSTOTM.

I. INTRODUCCIÓN

Durante las dos últimas décadas se han venido realizando diferentes estudios sobre materiales complejos (entre los cuales se encuentran los conocidos como bi-isótropos) tendientes a conocer su comportamiento y su caracterización para una potencial aplicación a dispositivos de microondas y ondas milimétricas. Así, la tendencia actual se dirige al desarrollo de nuevos materiales artificiales que reproduzcan propiedades bien conocidas en otros márgenes de frecuencia (i.e: a frecuencias ópticas) o con propiedades desconocidas en medios naturales. Entre los primeros pueden citarse los medios quirales artificiales, basados en la inclusión en un medio huésped de “partículas” que exhiben simetría quiral, [1]. Las técnicas de fabricación de tales medios presentan varios inconvenientes: elevado coste, dificultad de “tallado”, e imperfecciones y efectos de anisotropía.

Recientemente, nos planteamos la posibilidad de construir nuevos materiales mediante tecnología de circuito impreso (CI) sobre un sustrato especial para frecuencias de microondas, utilizando el usual decapado del recubrimiento metálico, incluso en doble capa. Ofrece una enorme flexibilidad de diseño de la celda elemental ya que, por ejemplo, pueden implementarse fácilmente inclusiones

quirales como las manivelas (“cranks”), aunque las opciones son innumerables.

En el presente trabajo presentamos los primeros resultados, fundamentalmente de carácter cualitativo, de la propagación a través de estructuras conteniendo manivelas metálicas, con el fin de observar su efecto sobre las componentes del campo electromagnético en propagación libre. Se ha realizado mediante el software comercial MEFiSTOTM [2], que permite la visualización gráfica de la propagación durante la ejecución de la simulación.

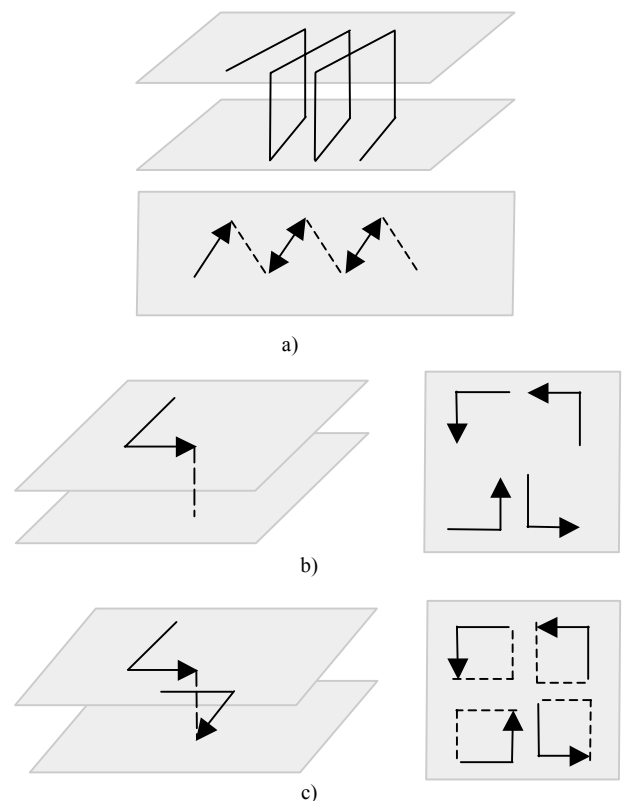


Fig. 1. Diseño de partículas quirales sobre placas de CI de doble cara: a) hélice “cuadrada”, b) manivela o “crank”, c) doble crank.

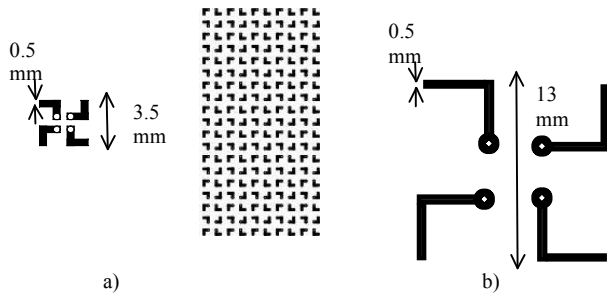


Fig. 2. Agrupación de elementos quirales de diferentes dimensiones.

II. DISEÑO DE MUESTRAS QUIRALES EN CI

Anteriormente se había trabajado con medios quirales fabricados a partir de pequeñas hélices de acero inoxidable inmersas en una resina de bajo punto de fusión. Siguiendo con esta opción de “partículas quirales”, la idea inicial para aplicar la tecnología de Circuito Impreso (CI) fue crear hélices de sección cuadrada, Fig. 1a, y a continuación se adoptaron modelos mas simples de elementos quirales como son los denominados cranks o manivelas, Fig. 1a y 1b, [3].

Es de destacar que, en cuanto al diseño, el grosor del sustrato impone que los elementos individuales tengan un segmento de menor longitud, correspondiente a la vía entre las dos caras.

Asimismo, dada la distribución de los elementos individuales, las muestras resultantes son bi-anisótropas con un eje principal perpendicular a la placa, aunque no supone ningún problema cuando son usadas en propagación uniaxial, tal y como haremos en nuestros próximos experimentos.

A. Diseño de las manivelas.

Se comienza preparando muestras con una alta densidad de elementos de pequeñas dimensiones. El sustrato elegido para estos prototipos es FR-4 (fibra de vidrio), cuyo grosor es de 1.2mm y tanto la anchura de las pistas como el diámetro de la vía es de 0.5mm, Fig. 2a.

Sin embargo, no se obtienen los efectos de quiralidad esperados y además los resultados apuntan al hecho de que la longitud total del elemento L , suma de las longitudes de los segmentos que lo componen, es el único parámetro que guarda relación con la longitud de onda λ a la que se comporta como quiral ($2L = \lambda$) [4], que resulta ser la frecuencia de 25GHz, fuera de la banda de frecuencias de los equipos de medida disponibles. Así, se opta por nuevos diseños en los que se incluya una menor densidad de elementos de mayores dimensiones, Fig.2b, lo que disminuye la frecuencia de trabajo.

Añadamos que los primeros resultados de los ensayos experimentales realizados en medio guiado (guía circular) con estas nuevas muestras indican la existencia de un giro del plano de polarización. Esta rotación puede ser debida tanto a la reestructuración de los campos para adaptarse a los contornos metálicos de cada elemento quiral individual, como a la propia quiralidad que presenta el conjunto, teniendo en cuenta además que un elemento y su simétrico quiral producirán giros de sentidos contrarios, lo que también es verificado experimentalmente.

Estas conclusiones experimentales [3] nos animan a realizar el presente estudio numérico mediante el simulador en el dominio del tiempo MEFiStoTM.

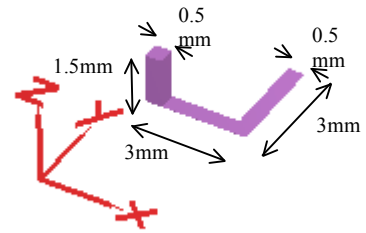


Fig. 3. Dimensiones y orientación de la manivela como elemento quiral.

B. Diseño final para las simulaciones con MEFiStoTM.

El tamaño del crank diseñado para el análisis numérico consta de dos tramos de 3mm, siendo el grosor de las pistas de 0.5mm, y una vía de diámetro de 0.5mm y longitud 1.5mm (Fig.3). La frecuencia correspondiente para los efectos de quiralidad resulta ser 20GHz.

III. SIMULADOR

El simulador en el dominio del tiempo MEFiStoTM (Multi-purpose Electromagnetic Field Simulation Tool) [1], desarrollado por Faustus Scientific Corporation, utiliza para la resolución de las ecuaciones del campo el método de la matriz de líneas de transmisión (TLM) [5], que proporciona una precisión de segundo orden, con propiedades de dispersión superiores.

Al resolver las ecuaciones de Maxwell en el espacio y en el tiempo, tanto los transitorios como los campos armónicos están incluidos en la solución.

A. Método TLM (Transmission-Line Matrix)

El método TLM es un método discreto en el espacio y en el tiempo para el modelado de fenómenos electromagnéticos, utilizando un robusto algoritmo de scattering en lugar de diferencias finitas para resolver las ecuaciones de Maxwell [5]. Una malla de líneas de transmisión interconectadas modela el espacio de propagación, denominándose nodos los puntos de conexión de las líneas.

La excitación se introduce mediante pulsos de voltaje de intensidad adecuada en las zonas de las fuentes de campo electromagnético. El algoritmo TLM se basa, entonces, en el scattering de los pulsos de voltaje incidentes en los nodos, función de las propiedades locales del medio (constante dieléctrica, permeabilidad, conductividad, ...), y la propagación de los pulsos reflejados entre nodos adyacentes, teniendo en cuenta que los pulsos reflejados se convierten en pulsos incidentes en los nodos vecinos.

Al explotar la analogía con la propagación en líneas de transmisión, TLM presenta cierta simplicidad a la hora de implementar conductores, dieléctricos, paredes eléctricas y magnéticas, contornos absorbentes, etc.

B. MEFiStoTM

El software utilizado, MEFiSto-3D PROTM, es una completa herramienta para la resolución de campos y ondas en el espacio (3D) y el tiempo, que nos permite observar durante la simulación la propagación del campo electromagnético y su interacción con los diferentes materiales, contornos y dispositivos, así como disponer de un laboratorio virtual para realizar experimentos numéricos.

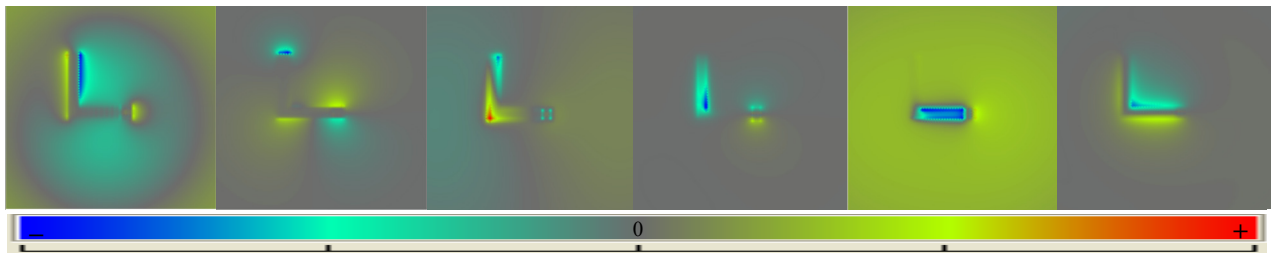


Fig. 4. Representación cualitativa en el plano XY de la Fig. 5, de las componentes del campo EM: E_x , E_y , E_z , H_x , H_y y H_z , respectivamente

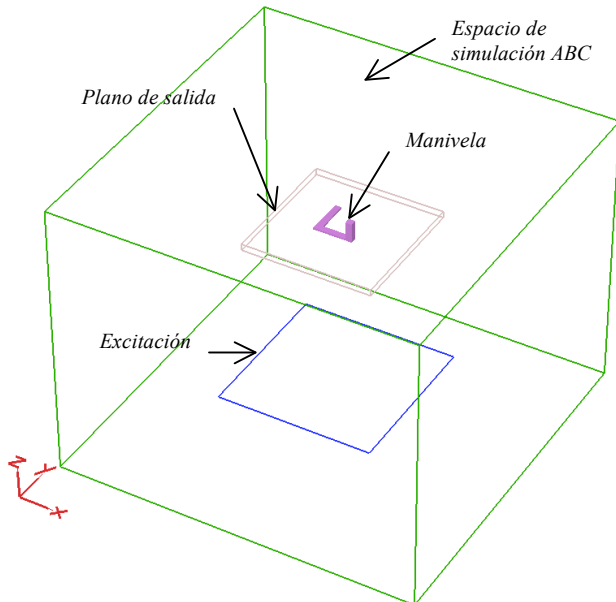


Fig. 5. Bloque para la simulación del campo EM en torno a una manivela.

El editor permite dibujar desde contornos eléctricos y magnéticos perfectos, hasta contornos de convolución de banda ancha. Se pueden incluir propiedades materiales como la inhomogeneidad y la anisotropía, así como metamateriales. Las fuentes de excitación pueden ser puntuales o distribuidas en el espacio, pudiendo elegir entre varias formas usuales de variación en el tiempo disponibles, o bien una forma de onda definida por el usuario.

IV. RESULTADOS

Como hemos dicho, nuestro objetivo es estudiar el efecto que producen las manivelas diseñadas (Fig.3) sobre la propagación de una onda electromagnética en el espacio libre. En realidad, estamos interesados en la interacción completa onda EM–manivela, es decir, tanto en el mencionado giro de la polarización como en ver qué componentes comprende el campo electromagnético cercano. Por tanto, presentamos a continuación los resultados de dos tipos de simulaciones:

- una primera para observar cualitativamente la distribución por componentes del campo al adaptarse a la estructura metálica que conforma la manivela.
- un segundo tipo de simulación para el estudio del giro del plano de polarización de una onda EM al atravesar una estructura compuesta por varias manivelas.

En todos los experimentos numéricos, la excitación se realiza mediante una onda TEM de frecuencia 20GHz (adecuada a la longitud total de la manivela) que se propaga en dirección Z, es decir, en la dirección normal a la placa de CI. Además, para focalizar el haz incidente, se añade una distribución espacial gaussiana en el plano XY.

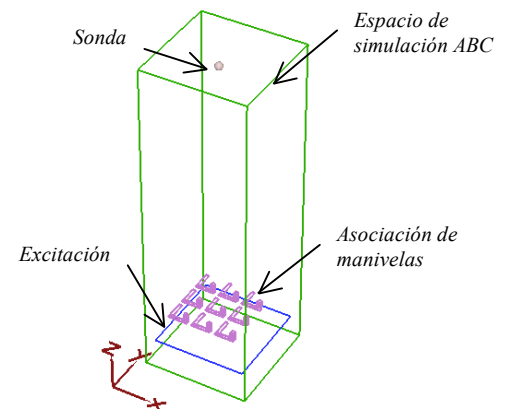


Fig. 6. Estructura utilizada para el estudio del giro de la polarización.

A. Efecto sobre una manivela.

En este primer caso, queremos observar la distribución de los campos eléctrico y magnético alrededor de una manivela. Para ello, hemos diseñado en el simulador una estructura como la que se muestra en la Fig. 5. La malla base tiene las propiedades del vacío, y se encuentra rodeada por paredes absorbentes (ABC), para evitar posibles reflexiones en las mismas que nos perturben los resultados. La excitación se introduce en el cuadrado azul que se observa en la figura, y observaremos lo que sucede en un plano que incluye las dos pistas de la manivela. En la Fig. 4 vemos las tres componentes de los campos eléctrico y magnético en el plano XY.

Se puede observar que el campo eléctrico corresponde a una carga positiva en la primera pista y una carga negativa en la vía. El campo magnético se distribuye alrededor de los brazos de la manivela (pistas y, como se puede observar en la primera imagen, también alrededor de la vía).

B. Efecto de una asociación de varias manivelas.

En este caso, hemos optado por colocar una distribución de manivelas, idénticas a las estudiadas en el caso anterior, en un plano, formando una estructura como la que se muestra en Fig. 6. La entrada es una vez más una señal sinusoidal de 20GHz, distribuida de forma gaussiana (cuadro azul debajo de las manivelas) y polarizada a lo largo del eje Y. Obtenemos los campos que se obtienen en un punto alejado 39,25 mm de la misma distribución, lo que corresponde a más de 2,5 veces la longitud de onda, con lo que podemos suponer que observaremos, fundamentalmente, el campo lejano. Esto se confirma, adicionalmente, del cálculo de la relación de campo eléctrico/campo magnético obtenidos mediante la simulación, valor que coincide con la impedancia de onda del medio libre.

Si observamos la evolución del campo eléctrico en la salida a lo largo del tiempo, el resultado es como el que podemos apreciar en las Fig. 7 y 8. En ellas se puede ver cómo, en primer lugar, el eje de polarización ha girado hacia la derecha (un total de $31,16^\circ$); por otro lado la señal, que inicialmente tenía una polarización lineal, ahora tiene polarización elíptica, como corresponde al típico fenómeno del dicroísmo circular de los materiales quirales con pérdidas [6]. (Las manivelas incluidas en la simulación son conductores reales con conductividad finita).

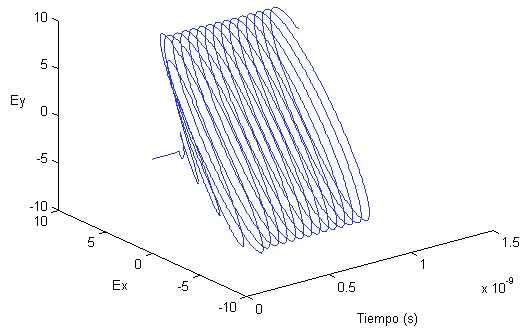


Fig. 7. Evolución temporal del campo eléctrico en un punto distanciado más de $2,5\lambda$ del plano de la estructura quiral.

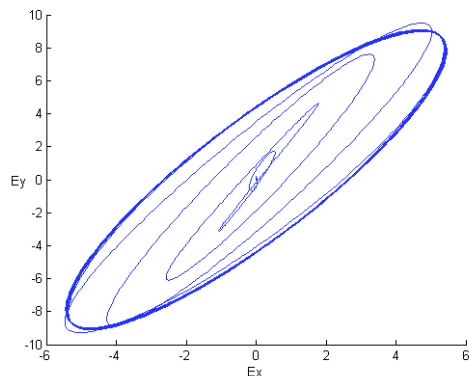


Fig. 8. Vista desde la dirección de propagación (eje Z) de la evolución temporal del campo eléctrico en la sonda (Fig.7).

V. CONCLUSIONES

Se ha realizado una primera aproximación al modelado numérico en el dominio del tiempo de la propagación en medios quirales artificiales. La herramienta utilizada es un software comercial, MEFiStoTM, basada en el método TLM. Los medios modelados son manivelas metálicas realizadas sobre un sustrato de circuito impreso, a base de metalizaciones y vías a través del sustrato. Inicialmente se ha modelado el efecto de una manivela aislada y, posteriormente el comportamiento de una asociación de manivelas. Los resultados obtenidos se corresponden cualitativamente con los que provienen del estudio experimental en el laboratorio. En particular se aprecian los efectos de rotación del plano de polarización de la onda y la aparición de dicroísmo circular asociado a las pérdidas en el medio.

Si bien se trata solamente de una primera aproximación, en la que pretendemos visualizar el comportamiento ya obtenido experimentalmente, la utilización de la herramienta numérica es prometedora para su futura aplicación a diversas estructuras basadas en la tecnología de circuito impreso que presenten propiedades especiales.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Dirección General de Investigación del MEC y el FEDER a través de los proyectos TEC 2006-13268-C03-01 y TEC 2006-13268-C03-02.

REFERENCIAS

- [1] G. J. Molina-Cuberos, M. J. Nuñez y J. Margineda, "Medios Bi-isótropos: Propagación en Guía Circular", *XVII Symp. Nacional URSI*, Alcalá de Henares, 2002.
- [2] Faustus Scientific Corporation, www.faustcorp.com
- [3] Á. J. García-Collado, J. Margineda, E. Martín, G. J. Molina-Cuberos, M. J. Nuñez, "Estudio experimental de inserciones metálicas quirales en medios guiados", *XXII Symp. Nacional URSI*, Tenerife, 2007.
- [4] J. Margineda et al., "Avances en el Diseño, Caracterización y Modelado de Medios Quirales para Frecuencias de Microondas", *V Encuentro Iberico sobre Electromagnetismo Computacional EIEC*, Aiguablava (Girona), 2007.
- [5] W. J. R. Hoefler, "The Transmission-Line Matrix method - Theory and Applications," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-33, no.10, pp. 882-893, Oct. 1985.
- [6] A. Grande, I. Barba, A. C. L. Cabeceira, J. Represa, P. P. M. So, W. J. R. Hoefler, "FDTD modeling of transient microwave signals in dispersive and lossy bi-isotropic media", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-52, no.3, pp. 773-784, Mar. 2004.