

ANÁLISIS DEL EFECTO DE UN SUPERESTRATO LEFT HANDED EN LA APERTURA DE UNA GUÍA RECTANGULAR

E. Sáenz, I. Ederra, R. Gonzalo

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Universidad Pública de Navarra
e-mail : ramon@unavarra.es

P. de Maagt

European Space Research and Technology Centre
ESTEC The Netherlands
e-mail : Peter.de.Maagt@esa.int

Abstract- In this paper, results showing the experimental verification of the gain improvement of a rectangular waveguide antenna when a Left Handed Material (LHM) is used as superstrate are presented. This improvement has been characterised by means of measuring the increase of transmission (S_{21} parameter) obtained when this LHM is placed between two open-ended rectangular waveguide antennas. An average increase of transmission of about 6.5 dB has been obtained. Besides, improvements in the radiation patterns of a rectangular waveguide with a LH superstrate are analysed. An enhancement of 3.5 dB in the directivity and a reduction of 15 dB in the back radiation have been obtained.

I. INTRODUCCIÓN

Los materiales Left-Handed (LHM) pueden entenderse como estructuras resonantes que permiten la transmisión y reflexión de la radiación electromagnética en un ancho de banda reducido. Hasta ahora, estas estructuras se han aplicado en el campo de las antenas trabajando en la banda de rechazo para reflejar la potencia radiada [1,2] y mejorar así las propiedades de sistemas radiantes como por ejemplo, antenas tipo dipolo. Recientemente se han empezado a utilizar como superestratos de antenas planas, trabajando en la banda de transmisión [3-6] con el objetivo de mejorar las propiedades de radiación de las antenas.

En este trabajo se investigarán experimentalmente dichos superestratos. Para simplificar el sistema, se utilizará como antena una guía rectangular convencional delante de la cual se colocará el material LHM. El material LHM será sintonizado para trabajar en la banda de paso, permitiendo así la transmisión de la potencia incidente a través de él. Tal y como se mostrará, el medio zurdo mejorará las propiedades de radiación de la guíaonda y en particular la ganancia de la configuración total (guía rectangular más LHM). La mejora de ganancia se obtendrá comparando la transmisión entre dos guías cuando el medio Left-Handed se coloca entre ellas, frente a la transmisión cuando están separadas la misma distancia en el espacio libre.

Aunque este estudio de las posibilidades de aplicación de los materiales Left-Handed al campo de las antenas se ha realizado con guías rectangulares, es posible aplicar estas configuraciones de superestratos LHM a cualquier sistema

radiante para mejorar sus propiedades. Por otro lado, se analizará mediante simulación el efecto del superestrato LH en el diagrama de radiación de la guía, obteniéndose un aumento de la directividad y una reducción de la radiación trasera.

II. MEDIO LHM

El medio LHM es una estructura periódica finita formada por celdas unitarias basadas en un substrato dieléctrico con incrustaciones metálicas *Capacitively Loaded Strips (CLS)*, o elementos de permitividad negativa, y *Split Ring Resonators (SRR)*, o elementos de permeabilidad negativa, los cuales proporcionan el índice de refracción negativo [1-3].

Para fabricar la estructura, se utilizó una técnica por capas. El material seleccionado para las capas fue el RT/Duroid 5880, un dieléctrico de bajas pérdidas cuyas características son $\epsilon_r = 2.2$, $\tan \delta = 0.0009$, grosor 0.254 mm y una capa de cobre de 70 μm en ambas caras (a, cara frontal; b, cara trasera).

Para construir el medio LHM se utilizaron tres tipos de capas (1, 2 y 3), siendo necesarias dos capas de cada tipo por periodo, es decir, un total de 6 capas por celda. El tipo 1 tenía dieléctrico en ambas caras (1_a y 1_b), el tipo 2, con dieléctrico en una cara (2_a) y CLSs en la otra (2_b) y el tipo 3 con CLS en la cara 3_a y SRR en la cara 3_b . Apilando las capas según el patrón $1_a 1_b 2_a 2_b 3_a 3_b 3_a 2_b 2_a 1_b 1_a$ se obtiene una celda unidad (ver Fig. 1).

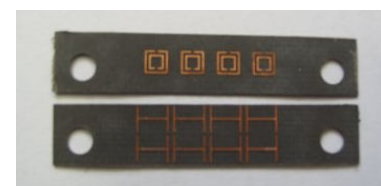
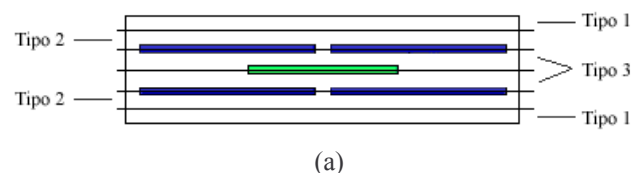


Fig. 1. (a) 3 tipos de capas de la celda unidad (b) Detalle de las capas tipo 3

En la Fig.2. se muestra en detalle los SRR y CLS de una de las capas de la celda.

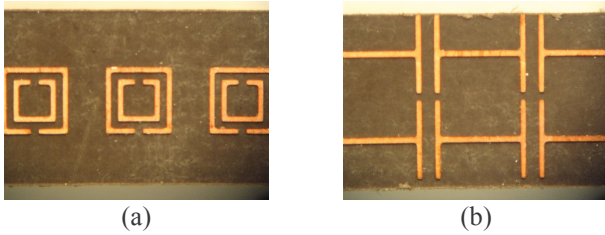


Fig. 2. Detalle de los (a) SRR y (b) CLS de una capa.

Cada una de estas capas contiene una fila de 4 CLSs o SRRs, tal y como se ha descrito previamente (ver Fig. 1 (b)). Tras apilar 12 periodos de celdas unitarias en la dirección transversal, se obtiene una estructura formada por 4 x 12 celdas en la dirección transversal y 1 periodo en la dirección de propagación (ver Fig. 3).

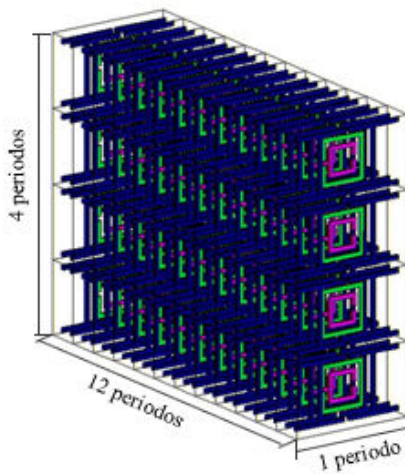


Fig. 3. Medio LHM formado por 4 x 12 celdas.

Para conseguir un alineamiento perfecto entre las diferentes capas, se colocaron dos tornillos que atraviesan cada una de las capas. El tamaño físico total de la estructura es de 37.27 x 22.69mm y 7.36mm en la dirección de propagación, sin embargo, las dimensiones del LHM (eliminando la superficie correspondiente a los tornillos) se reducen a 22 x 22.69 mm y 7.36 mm.

III. MEJORA DE GANANCIA

Para medir la mejora de ganancia debida al medio LHM, se utilizaron dos guíasondas rectangulares en banda X, una de ellas como transmisora y otra como receptora, y un analizador de redes (Agilent 8722 ES). El medio Left-Handed se colocó muy cerca de la antena transmisora actuando como superestrato y se rodeó de material absorbente para evitar reflexiones de potencia y difracción en los bordes. Para excitar correctamente la estructura LHM, los CLSs se orientaron paralelos al campo E en la apertura de la antena.

Para caracterizar la mejora de ganancia, se midieron y compararon los parámetros S de las guías para una distancia dada en el espacio libre y cuando se insertaba entre ellas el medio LHM. En particular, dichos parámetros S se midieron fijando una distancia entre la antena transmisora y el medio

LHM (d_1) y separando la antena receptora de forma que se realizase un barrido de la distancia entre las guías (d). Este proceso de medida se repitió para diferentes valores de d_1 . En la Fig. 4. puede observarse una foto de la configuración utilizada para la medida de las propiedades del sistema completo.

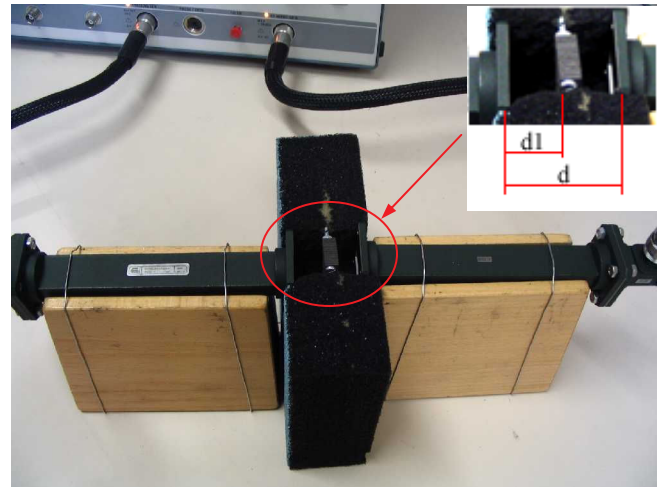


Fig. 4. Configuración para la medida de la mejora de ganancia de la antena y el medio LHM.

En la Fig. 5. se muestra la mejora en el parámetro S_{21} a la frecuencia de resonancia del medio LHM, comparándose los resultados para diferentes valores de d_1 . En todos los casos se obtuvo un patrón sinusoidal cuyos máximos están separados $\lambda_0/2$, donde λ_0 es la longitud de onda en el espacio libre. Este patrón de onda estacionaria se crea debido a la desadaptación entre el aire y el medio LHM. El incremento medio de transmisión obtenido es de aproximadamente 6.5 dB, el cual se atribuye a la mejora de ganancia del sistema radiante debido a la utilización del medio Left-Handed como superestrato.

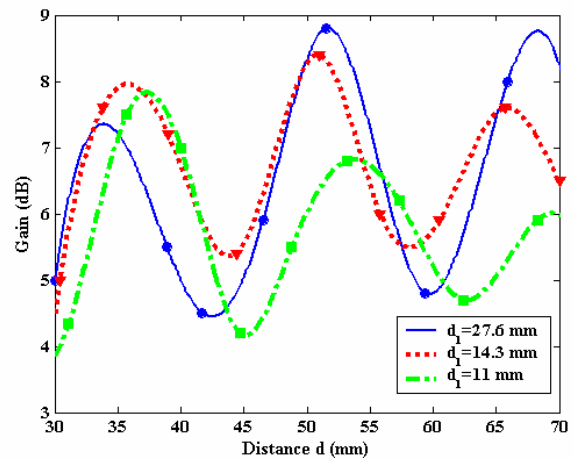


Fig. 5. Mejora de ganancia vs distancia para diferentes valores de d_1 .

En la Fig. 6. se representan los parámetros S del sistema para un caso en particular de distancia entre las guías y el LHM, siendo éstas de $d = 50.94$ mm y $d_1 = 27.6$ mm. Comparando los parámetros S con y sin metamaterial se puede comprobar la influencia del superestrato en las propiedades globales del sistema. Puede observarse una frecuencia de resonancia de la antena más el medio Left-

Handed de 10.89 GHz. Comparando el parámetro de transmisión S_{21} a dicha frecuencia de resonancia para ambos casos, se puede observar una mejora de ganancia de aproximadamente 8 dB. Este valor se corresponde con uno de los puntos presentados en la Fig. 4.

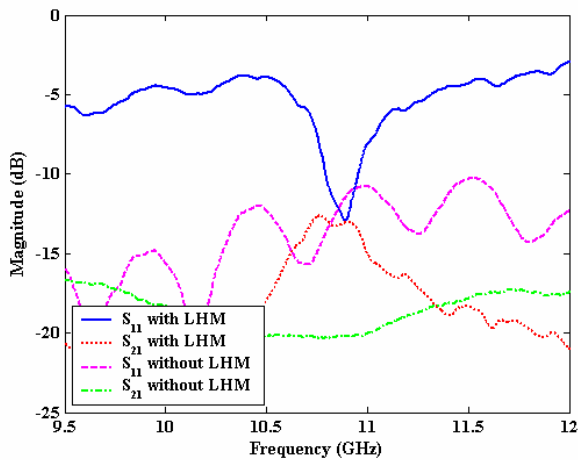


Fig. 6. Parámetros S $d = 50.94$ mm $d_t = 27.6$ mm.

IV. MEJORA DEL DIAGRAMA DE RADIACIÓN

Analizada la mejora en términos de ganancias de la guía rectangular debido al superestrato, se estudió teóricamente la influencia en el diagrama de radiación de dicha guía. Para ello se simularon mediante el software ANSOFT-HFSS los diagramas de radiación en los planos E y H de una guía de onda rectangular abierta y se compararon con los de la guía con el superestrato, los cuales se muestran en la Fig. 7 (a) y (b) respectivamente normalizados a 0 dB.

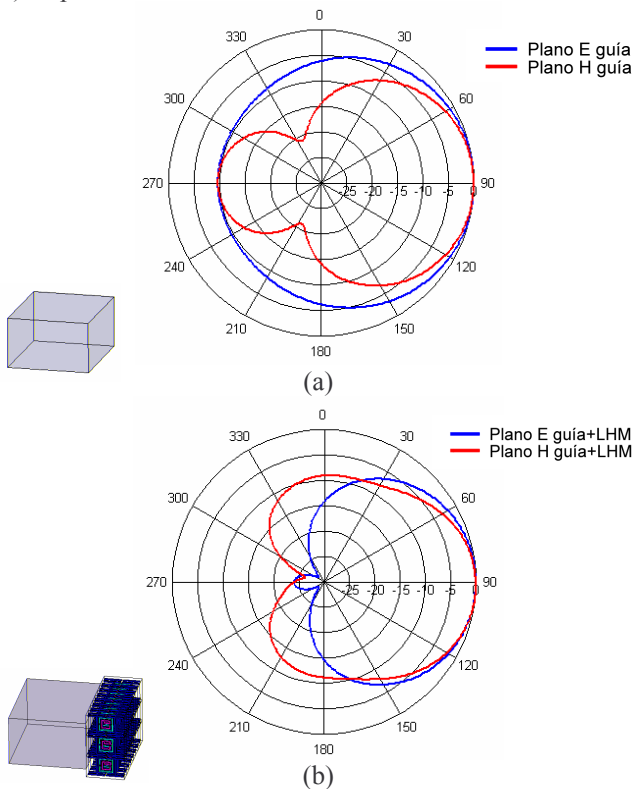


Fig. 7. Diagramas de radiación en los planos E y H de la guía a la frecuencia de resonancia. (a) Guía abierta (b) Guía con superestrato

Si se comparan en valor absoluto dichos diagramas de radiación (ver Fig. 8) puede observarse una mejora en la directividad de 3.5 dB así como una reducción de la radiación trasera de 15 dB. Por otro lado, los diagramas en ambos planos se hacen más simétricos.

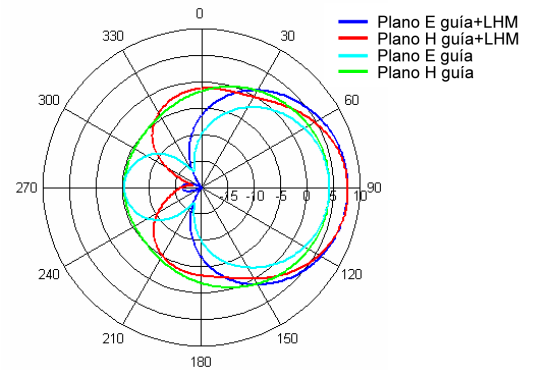


Fig. 8. Comparación entre los diagramas de radiación en los planos E y H de la guía con superestrato y la guía abierta.

Observando la distribución del campo \vec{E} en el plano H de las dos configuraciones (ver Fig. 9), se puede observar una iluminación muy uniforme en el superestrato lo que produce la mejora observada en la directividad. Debido al carácter resonante del metamaterial, la potencia radiada por la guía es confinada y absorbida por el superestrato, lo que se traduce en una reducción de la radiación trasera a la frecuencia de resonancia.

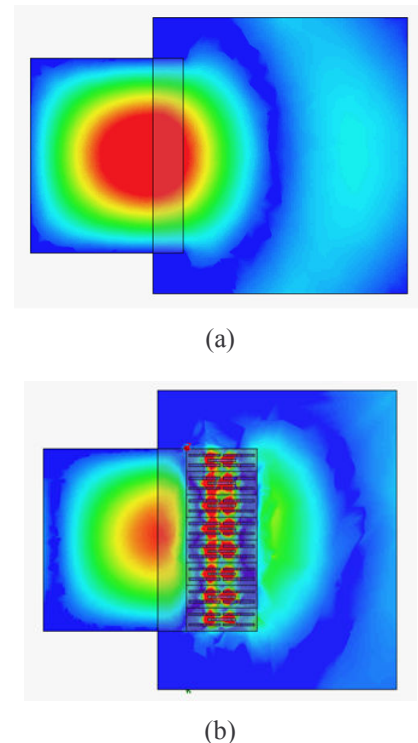


Fig. 9. Campo E en el plano H de la guía a la frecuencia de resonancia. (a) Guía abierta (b) Guía con superestrato.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se han mostrado resultados experimentales sobre la mejora de ganancia que se puede obtener al usar un medio LHM como superestrato de sistemas radiantes. Este aumento de ganancia se ha caracterizado midiendo la mejora en el parámetro de transmisión S_{21} entre dos guías rectangulares abiertas cuando se inserta el medio Left-Handed entre ellas. La mejora obtenida en términos de ganancia ha sido de aproximadamente 6.5 dB.

En cuanto las mejoras en radiación, se ha analizado mediante simulación la influencia de un superestrato Left-Handed en el diagrama de radiación de una guía rectangular, obteniéndose una mejora de directividad de 3.5 dB, una reducción de la radiación trasera de 15 dB además de unos diagramas de radiación en los planos E y H más simétricos.

Estos resultados muestran las ventajas de usar un medio Left-Handed en régimen de transmisión para mejorar la ganancia y propiedades de la radiación de las antenas.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo presentado ha sido financiado por el Gobierno de Navarra bajo la resolución 17/2004 y la Red de Excelencia METAMORPHOSE fundada por la Comunidad Europea bajo el contrato NMP3-CT-2004-50252.

REFERENCIAS

- [1] R. W. Ziolkowski, "Design, Fabrication, and Testing of Double Negative Metamaterials", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol 51, No 7 July 2003.
- [2] A. Erentok, P. L. Luljak, R. W. Ziolkowski, "Characterization of a Volumetric Metamaterial Realization of an Artificial Magnetic Conductor for Antenna Application", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 53, No. 1, January 2005.
- [3] E. Sáenz, R. Gonzalo, I. Ederra, P. de Maagt, "High Efficient Dipole Antennas by Using Left-Handed Superstrates", 13th International Symposium on Antennas JINA 2004
- [4] Young Ju Lee, Junho Yeo, Raj Mittra, Wee Sang Park, "Design of a High-Directivity Electromagnetic Band Gap (EBG) Resonator Antenna Using a Frequency-Selective Surface (FSS) Superstrate", Microwave and Optical Technology Letters, Vol.43, No. 6, pp 462 – 467 December 2004.
- [5] Young Ju Lee, Junho Yeo, Raj Mittra, Wee Sang Park, "Application of Electromagnetic Bandgap (EBG) Superstrates With Controllable Defects for a Class of Patch Antennas as Spatial Angular Filters", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol 53, No 1, January 2005.
- [6] Pekka Ikonen, Constantin Simovski, Sergei Tretyakov, "Compact Directive Antennas With a Wire-Medium Artificial Lens", Microwave and Optical Technology Letters, Vol.43, No. 6, December 2004.