

Escaneo Electrónico Backward-a-Forward en Antenas Leaky Wave 1D con Excitación Central

Raúl Guzmán-Quirós, María García-Vigueras y José Luis Gómez-Tornero
 Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
 Universidad Politécnica de Cartagena
 Cartagena 30202, España
 E-mail: raul.guzman@upct.es, maria.garcia@upct.es, josel.gomez@upct.es

Resumen. En el artículo se demuestra la posibilidad de ampliar el rango de escaneo electrónico de antenas leaky wave unidimensionales (1D-LWA) activas basadas en cavidades Fabry-Perot (FP) cargadas con superficies selectivas en frecuencia. En concreto, se parte de una FP 1D-LWA excitada por el inicio capaz de escanear electrónicamente su ángulo de apuntamiento en forward a una frecuencia fija de operación. Se demuestra como mediante una excitación simétrica de la estructura original y el control de la dispersión y de las propiedades de band gap electromagnético (EBG) de la cavidad FP es posible ampliar el rango de escaneo electrónico, barriendo de forma continua desde backward a forward, incluyendo broadside, y llegando así a duplicar el rango de escaneo de la FP 1D-LWA de partida.

1. Introducción

El escaneo del ángulo de apuntamiento a una frecuencia fija de operación puede ser una propiedad muy interesante para numerosas aplicaciones [1]. Varios trabajos han estudiado antenas leaky-wave unidimensionales (1D-LWA) que permitan controlar electrónicamente la radiación tanto en backward como forward. En trabajos anteriores esta propiedad se ha logrado fundamentalmente de tres formas: 1) mediante la excitación del armónico espacial $n=-1$ y $n=0$ [2], 2) mediante superficies metamateriales [3] o 3) mediante técnicas de holografía [4]. En este trabajo se plantea otro método que logra escaneo continuo backward-forward. Para ello se parte de las propiedades de band gap electromagnético (EBG) del armónico $n=0$ que se propaga por una 1D-LWA activa basada en una cavidad Fabry-Perot (FP) cargada con circuitos impresos periódicos excitada de forma simétrica.

2. FP LWA 1D activa excitada de forma simétrica

En la Fig.1-a se presenta el esquema de la FP 1D-LWA excitada de forma simétrica con sus principales dimensiones. Dicha estructura parte de la presentada en [5], la cual se basa en una cavidad FP excitada por un extremo mediante el modo TE_{01} de la guía rectangular. La cavidad FP se encuentra comprendida entre dos placas paralelas metálicas y dos circuitos impresos periódicos: una superficie parcialmente reflectante (PRS) y una superficie de alta impedancia (HIS) sintonizable electrónicamente al estar cargada con diodos varactores. Los esquemas de las celdas unidad de sendas estructuras se ofrecen en la Fig.1-b. Mediante la inserción de un coaxial justo a la mitad de la cavidad FP (Fig.1-a) de la guía original se definen por simetría de la estructura dos cavidades

FP: FP_L y FP_R , cada una de ellas cargada con una HIS sintonizable independiente. La alimentación central excitará dos ondas leaky en sentidos opuestos, como se observa en la Fig.1-a y Fig.1-c. En la siguiente sección se explica en detalle cómo se controla electrónicamente la dirección radiación mediante la sintonización electrónica de ambas cavidades por separado.

3. Control electrónico del ángulo de apuntamiento

El mecanismo de radiación de la 1D-LWA activa presentada en [5] se basa en la resonancia del modo de fuga o modo leaky en la cavidad FP [6]. Este modo se caracteriza por una constante de propagación compleja ($k_y = \beta_y - j\alpha_y$) cuyas partes real e imaginaria pueden ser controladas de forma independiente [6]. En [6] ya se demostró como la HIS influye fuertemente sobre la constante de fase (β_y) de los modos leaky que se propagan por la cavidad FP, la cual está directamente relacionada con el ángulo de apuntamiento de la antena ($\theta_{RAD} = \sin(\beta_y/k_0)$) [7]. Por otro lado, en [5] se comprobó que variando la capacidad intrínseca (C_j) introducida por los diodos cargados en la HIS (Fig.1-b) mediante su debida polarización (V_R), se repercutía en la condición de contorno impuesta por la HIS dentro de la cavidad FP, alterando así la frecuencia de resonancia de la misma y controlando electrónicamente el ángulo de apuntamiento (θ_{RAD}) a una frecuencia fija de operación. En la Fig.2 se demuestra la capacidad de escaneo electrónico de la 1D-LWA estudiada en [5], con respecto a C_j . Además, se pueden observar dos regiones bien diferenciadas: a) una región de propagación, donde el modo leaky viaja a través de la cavidad FP con un ángulo de radiación que crece con C_j teóricamente entre 0° y 90° , y b) una región de no-propagación o de band gap electromagnético (EBG)

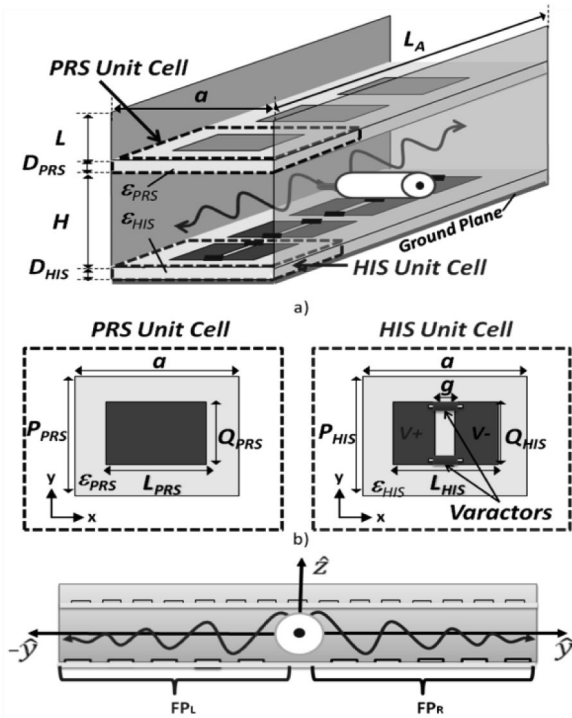


Fig.1 FP 1D-LWA activa excitada simétricamente mediante coaxial: a) Vista tridimensional; b) Vista planta celda unidad de PRS (Izq.) y HIS sintonizable (Der.); c) Vista de perfil. Dimensiones de la estructura: $a=25\text{mm}$, $H=25.2\text{mm}$, $L=13.6\text{mm}$, $D_{HIS}=1.524\text{mm}$, $\epsilon_{HIS}=3$, $P_{HIS}=30\text{mm}$, $Q_{HIS}=14\text{mm}$, $L_{HIS}=17\text{mm}$, $g=1\text{mm}$, $D_{PRS}=0.8\text{mm}$, $\epsilon_{PRS}=4.4$, $P_{PRS}=20\text{mm}$, $Q_{PRS}=18\text{mm}$, $L_{PRS}=22\text{mm}$

en la que no existen modos *leaky* propagándose dada la excitación de campo aplicada. En este caso se observa que no existe radiación por modos *leaky* para $C_j \geq 0.24\text{pF}$, mientras que en la zona de propagación las simulaciones predicen como el modo *leaky* logra radiar su energía entre $\theta_{RAD}=6^\circ$ y $\theta_{RAD}=50^\circ$ a una frecuencia de operación de 5.6GHz en un rango de C_j entre 0.05pF y 0.24pF , no pudiéndose alcanzar ángulos mayores en la práctica debido a la brusca caída de la tasa de radiación a partir de ciertos valores de operación de C_j [5].

Basándonos en la dispersión de la cavidad FP en función de C_j a la frecuencia de operación (5.6GHz), y dado que cada una de las cavidades FP definidas anteriormente (Fig.1-c) está cargada con una HIS sintonizable cuyos varactores pueden ser polarizados de forma independiente (Fig.1-c), seremos capaces de sintonizar electrónicamente la frecuencia de resonancia de cada cavidad (FP_L o FP_R) por separado en función de C_j (C_{jL} o C_{jR} respectivamente). En la Fig.3 se muestran diferentes configuraciones simuladas. La Fig.3-a y Fig.3-c muestran como la antena es capaz de radiar en *backward* ($\theta_{RAD} < 0^\circ$) o *forward* ($\theta_{RAD} > 0^\circ$), según se sintonice la cavidad FP_R o FP_L en región EBG respectivamente (Fig.3). En estos dos modos de operación, para sintonizar la región EBG en la cavidad FP correspondiente, se escogió un valor optimizado de $C_j=0.3\text{pF}$ que proporcionaba el mejor valor de directividad y nivel de lóbulo secundario. Para el caso *broadside* ilustrado

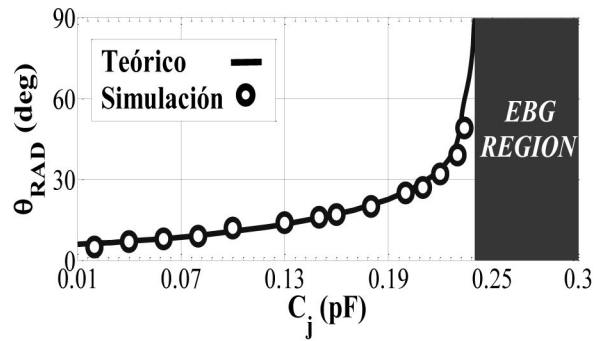


Fig.2 Variación del ángulo de apuntamiento (θ_{RAD}) de una 1D-LWA activa operando a 5.6GHz en función del valor de la capacidad de unión de los diodos varactores (C_j).

en la Fig.3-b, ambas cavidades deben sintonizarse próximas al corte para satisfacer la llamada condición de *splitting*, la cual debe cumplirse para conseguir la existencia de un único lóbulo de radiación apuntando en 0° [8]. En concreto se escogieron valores de $C_{jL}=C_{jR}=0.05\text{pF}$ que sintonizasen la frecuencia de resonancia próxima a la frecuencia de operación de 5.6GHz .

Con objeto de una mejor comprensión, en la Fig.4 se ilustran las distribuciones de campo eléctrico a lo largo de la estructura obtenidos mediante simulaciones full-wave para tres casos de operación principales de la antena. La Fig.4-a y 4-c se corresponden con los casos de radiación *backward* y *forward* respectivamente. En estos casos se observa como la cavidad FP sintonizada en región EBG rechaza la propagación de campo apenas éste intenta penetrar en la cavidad, redirigiéndose la mayor parte de la energía en la dirección de la cavidad que opera en régimen de propagación. Por otro lado, en la Fig.4-b se evidencia como existe propagación en ambas cavidades y como la energía es enfocada hacia $\theta_{RAD} = 0^\circ$, en dirección *broadside*.

4. Conclusiones

En este trabajo se presenta como prueba de concepto la extensión del rango de escaneo electrónico en antenas *leaky-wave* unidimensionales (1D-LWA) activas basadas en cavidades *Fabry-Perot* (FP). Partiendo de la 1D-LWA activa presentada en [5] excitada simétricamente, se definen dos cavidades FP (FP_L y FP_R) a través de las cuales se propagarán dos ondas *leaky* en sentido opuesto. Añadiendo una HIS sintonizable en cada cavidad FP definida y controlando la propagación de cada onda de forma independiente por el mecanismo planteado en [5], se ha logrado escanear electrónicamente de *backward* a *forward*, incluyendo *broadside* si se cumplen ciertas condiciones, a una frecuencia fija de operación (5.6GHz). Las simulaciones demuestran como casi se duplica el rango de escaneo respecto de la estructura original estudiada en [5], lográndose un escaneo continuo del ángulo de escaneo de $[-36^\circ, 36^\circ]$ a una frecuencia de operación de 5.6GHz .

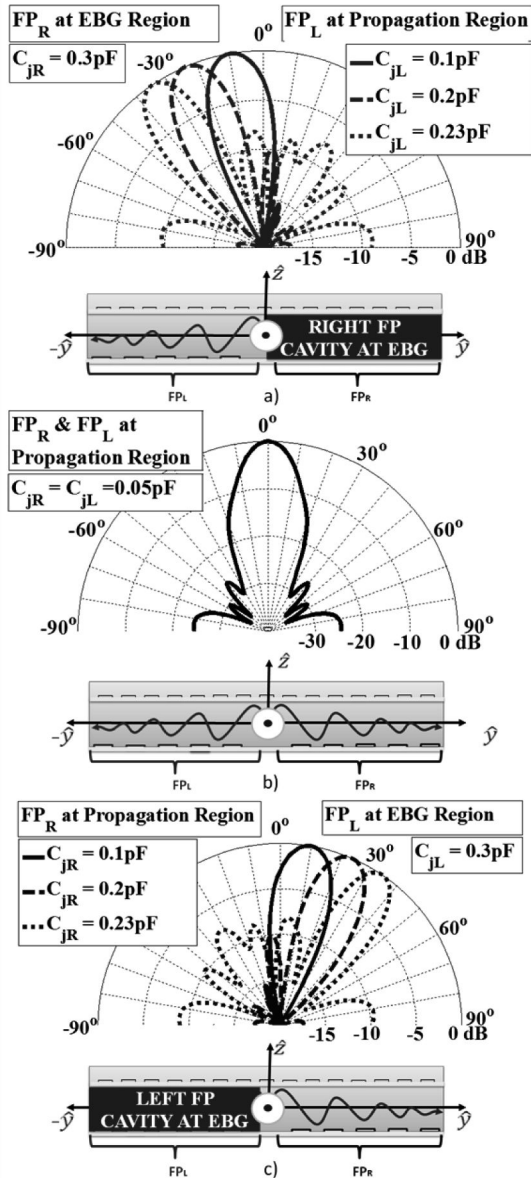


Fig. 3 Diagramas de radiación (directividad normalizada) obtenidos para diferentes modos de operación de la antena: a) configuraciones *backward*, b) configuraciones *broadside* y c) configuraciones *forward*.

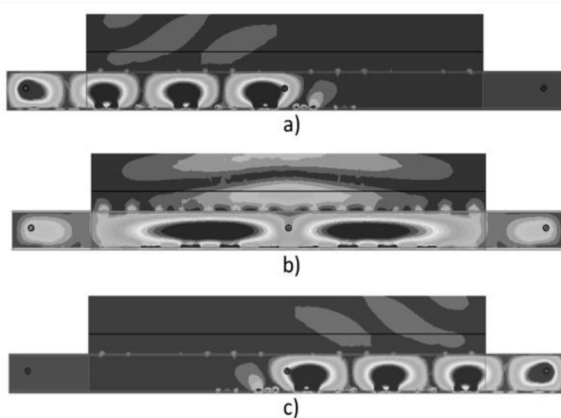


Fig. 4 Distribución de la magnitud de campo eléctrico en la sección longitudinal de la estructura para tres zonas de operación de la antena: régimen de operación a) *backward* ($C_{jL}=0.2pF; C_{jR}=0.3pF$), b) *broadside* ($C_{jL}=0.05pF; C_{jR}=0.05pF$) y c) *forward* ($C_{jL}=0.3pF; C_{jR}=0.2pF$).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos nacionales TEC2007-67630-C03-02, TEC2010-21520-C04-04 y el proyecto regional de la Fundación Séneca 08833/PI/08.

Referencias

- [1] J. T. Bernhard, K. Chang, Ed., "Reconfigurable antennas," in *The Wiley Encyclopedia in The Wiley Encyclopedia of RF and Microwave Engineering*. New York: Wiley, Feb. 2005.
- [2] D.F. Sievenpiper, "Forward and backward leaky wave radiation with large effective aperture from an electronically tunable textured surface," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 53, no. 1, pp. 236-247 Jan. 2005.
- [3] Sungjoon Lim; Caloz, C.; Itoh, T.; , "Electronically scanned composite right/left handed microstrip leaky-wave antenna," *Microwave and Wireless Components Letters, IEEE* , vol.14, no.6, pp. 277- 279, June 2004.
- [4] Fong, B.H.; Colburn, J.S.; Ottusch, J.J.; Visher, J.L.; Sievenpiper, D.F.; , "Scalar and Tensor Holographic Artificial Impedance Surfaces," *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on* , vol.58, no.10, pp.3212-3221, Oct. 2010.
- [5] R. Guzmán Quirós; M. García Viguera; A. J. Martínez Ros; J.L. Gómez Tornero, "Control electrónico del haz radiado en antenas leaky wave activas", IV Jornadas de Introducción a la Investigación (UPCT), Ed. UPCT, ISBN: 1888-8356, pp.94-96, Mayo 2011
- [6] M. García-Viguera, J.L. Gómez-Tornero, G. Goussetis, A. R. Weily, and Y.J. Guo, "1D-leaky wave antenna employing parallel-plate waveguide loaded with PRS and HIS", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol.59, no.10, pp. 3687 - 3694, Oct. 2011.
- [7] A.A. Oliner, "Leaky-wave antennas", in *Antenna Engineering Handbook*, 3rd ed, R.C. Johnson, Ed. New York, McGraw-Hill, 1993, Ch. 10.
- [8] G. Lovat, P. Burghignoli, and D. R. Jackson, "Fundamental properties and optimization of broadside radiation from uniform leaky-wave antennas," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol.54, pp. 1442-1452, May 2006.