

Antenas Leaky-Wave 1D y 2D iluminadas eficientemente

M. García-Vigueras, R. Guzmán-Quirós y J. L. Gómez-Tornero
 Antiguo Cuartel de Antigonos. Plaza del Hospital, Nº 1, 30202 Cartagena (Murcia)
 Teléfono: 968338868
 E-mail: maria.garcia@upct.es

Resumen. En este artículo se lleva a cabo el estudio de antenas leaky-wave Fabry-Perot diseñadas para optimizar su directividad en broadside. Para conseguir este propósito, es indispensable una cuidada síntesis de la iluminación de la apertura radiante de la antena (tanto en amplitud como en fase). Primero se introducirá el caso de antenas leaky unidimensionales (1D), para a continuación pasar al diseño más complejo de antenas leaky bidimensionales (2D). Los resultados teóricos y simulados que se han obtenido muestran que el aumento de la directividad es del orden de 2dBs en el caso 1D y de 4dBs en el 2D.

1. Introducción

Las antenas basadas en una cavidad Fabry-Perot (FP) en la que radia una onda de fuga (en inglés: *leaky-wave antennas*, LWAs) proporcionan diagramas de radiación altamente directivos a partir de una fuente puntual [1-3]. La síntesis cuidada y sistemática de una distribución de campo requerida en la apertura de una FP LWA no ha sido propuesta aún, según consta a estos autores. Tomando como perspectiva el mecanismo de radiación de las LWAs [4], en este trabajo se propone la modulación de la constante de propagación de las ondas de fuga (también llamado procedimiento “taper”) a lo largo de la apertura de la antena para aumentar su eficiencia de iluminación. Un taper apropiado de la constante de propagación leaky ($k=\beta-j\alpha$) a lo largo de la LWA permite controlar la amplitud y la fase de los campos que iluminan la superficie radiante, y por lo tanto, la síntesis del diagrama de radiación correspondiente. Esta técnica ha sido aplicada con éxito en LWAs unidimensionales (1D) [5,6] y bidimensionales [7], sin embargo, esta es la primera vez que se aplica en la optimización de la radiación en broadside en FP LWAs. Se utilizará la estructura Fabry-Perot propuesta en [2,4] (ver Fig. 1) para conseguir el control independiente sobre la constante de fase del modo leaky (β) y la de atenuación (α). Ambas topologías 1D y 2D de la Fig. 1 serán analizadas y diseñadas en esta contribución.

2. 1D Fabry-Perot LWA

Aunque la mayoría de LWAs 1D se han utilizado recientemente para escanear en el plano de elevación [4-6], la radiación que producen en broadside cuando su alimentación se coloca en el centro y se satisface la condición de *splitting* $\beta=\alpha$ [8-11], ha atraído mucho interés recientemente [8-11]. Hasta la fecha, no se ha aplicado ninguna técnica de taper en diseños de LWAs 1D que radian en broadside. Por lo tanto, en estos diseños la iluminación tenía una amplitud exponencial (como se muestra en los esquemas de la Fig. 2(a) y 2(b)). En estos diseños, cuanto más

disminuye α/k_0 , más energía guiada llegará a los extremos de la LWA, resultando en el aumento de la iluminación de la antena y lóbulos de difracción por la discontinuidad en los extremos. El compromiso entre la eficiencia de radiación (η_{RAD}) y la eficiencia de iluminación (η_A) se puede superar si se realiza un taper sobre la tasa de radiación, de modo que se consiga una iluminación uniforme ideal $\eta_A=1$ y consiguiendo además una alta η_{RAD} (Fig. 2(c)). El valor de $\alpha(z)$ necesario en cada posición longitudinal de la antena para obtener la distribución deseada de campo en la apertura se puede obtener utilizando las expresiones en [5, 11]. La misma función de taper se aplica también a la constante de fase $\beta(z)$, para que así siempre se cumpla la condición de *splitting* $\beta(z)=\alpha(z)$ [8-11]. La línea roja en la Fig. 3 muestra el valor de taper de $\beta=\alpha$ obtenido para una LWA 1D simétrica con $L=3\lambda_0$ and $\eta_{RAD}=0.98$, junto a tres casos de antenas no taper. El diagrama de radiación en el plano H obtenido con HFSS cara cada uno de los casos anteriores se muestra en la Fig. 4; la tabla resume los principales resultados finales. Como se puede observar, el caso taper proporciona la mejor directividad e iluminación de la apertura, como resultado de su distribución de campo cuasi-uniforme; además, también consigue alta eficiencia de radiación. El nivel de lóbulo principal a secundario (en inglés *Sidelobe level*, SLL) también se muestra para cada uno de los casos, vemos que aumenta conforme la apertura se ilumina más uniformemente, tendiendo al valor de $-13dB$, que se corresponde con una iluminación perfecta uniforme.

3. 2D Fabry-Perot LWA

Las LWA FP bidimensionales producen anchos de haz tipo lápiz cuando radian en broadside, excitando una onda cilíndrica desde una fuente puntual central [12]. Sin embargo, suelen presentar un ancho de banda muy estrecho y una eficiencia de iluminación de la apertura muy bajo debido al alto factor de calidad del resonador. El ancho de banda se puede mejorar disminuyendo la reflectividad de la PRS, a costa de reducir la eficiencia de iluminación [13]. En

esta contribución se presenta por primera vez un método sistemático para diseñar LWAs FP 2D taper, en las cuales se modulan tanto la PRS como la HIS, para que se obtenga una alta eficiencia de iluminación y asegurar radiación broadside. La expresión aproximada dada en [7] se utiliza para obtener el taper de las ondas *leaky* cilíndricas en función de la posición radial ρ en la apertura, imponiendo de nuevo la condición de *splitting* $\beta(\rho)=\alpha(\rho)$. Aunque este procedimiento parece bastante similar al presentado para el caso 1D, la complejidad aumenta considerablemente, no solo por la naturaleza cilíndrica de las ondas *leaky*, sino también por su polarización híbrida [12]. La Fig. 5 ilustra la iluminación de la apertura en tres casos de LWA FP 2D con dimensiones $10\lambda_0 \times 10\lambda_0$: la primera es no taper con alta tasa de radiación $\alpha/k_0=0.07$, la segunda también es no taper, con $\alpha/k_0=0.015$, y la tercera es taper, con una iluminación cuasi-uniforme y $\eta_{RAD}=0.9$. El segundo escenario proporciona una iluminación mejor de la superficie de la antena. Sin embargo, debido a su baja eficiencia de radiación, se produce distorsión de los campos en la apertura como consecuencia de las ondas estacionarias creadas por la energía guiada que llega a los bordes de la LWA [13]. Como resultado, la directividad se incrementa muy poco mientras que los niveles de difracción aumentan. Como en el caso 1D, la solución taper proporciona el mejor balance, aportando η_A y η_{RAD} altas, dando lugar a la directividad más alta y manteniendo bajos los niveles de difracción..

4. Conclusiones

La optimización de la eficiencia de iluminación en la apertura de antenas *leaky-wave* Fabry-Perot 1D y 2D se estudia en este artículo. Se propone un taper cuasi-uniforme para conseguir una alta eficiencia de apertura y asegurar una alta eficiencia de radiación para minimizar la difracción y las ondas estacionarias. Además, la condición de *splitting* se debe satisfacer en todas las secciones radiantes de la LWA para obtener la mayor directividad posible en broadside. En particular, la técnica propuesta se aplica en el caso de LWAs 1D y 2D creadas con una superficie parcialmente reflectante (PRS) y una superficie de alta impedancia (HIS). De una forma totalmente novedosa, se ha ilustrado con varios ejemplos numéricos cómo una apropiada modulación de las superficies PRS y HIS hace posible el aumento de la directividad de estas antenas resonantes.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos nacionales TEC2010-21520-C04-04, el proyecto regional de la Fundación Séneca 08833/PI/08, y las ayudas de la Universidad Politécnica de Cartagena R578-08 and PMPDI-UPCT-2011.

Referencias

- [1] G. V. Trentini, "Partially reflective sheet arrays," *IRE Trans. Antennas Propag.*, vol. 4, no. 4, pp. 666–671, Oct. 1956
- [2] A. P. Feresidis, G. Goussetis, S. Wang, and J. C. Vardaxoglou, "Artificial magnetic conductor surface and their application to low-profile high gain planar antennas," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 53, no.1, pp. 209-215, Jan. 2005.
- [3] N. Guerin, S. Enoch, G. Tayeb, P. Sabouroux, P. Vincent, H. Legay, "A metallic Fabry-Perot directive antenna," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol.54, no.1, pp. 220- 224, Jan. 2006.
- [4] M. García-Vigueras, 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.
- [5] J.L. Gómez, G.Goussetis, A.Feresidis, and A.A.Melcón, "Control of Leaky-Mode Propagation and Radiation Properties in Hybrid Dielectric-Waveguide Printed-Circuit Technology: Experimental Results", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol.54, no.11, pp.3383-3390, Nov.2006.
- [6] R. Honey, "A flush-mounted leaky-wave antenna with predictable patterns," *IRE Trans. Antennas Propag.*, vol.7, no.4, pp.320-329, October 1959.
- [7] J M. Takahashi, J.-I. Takada, M. Ando, and N. Goto, " A slot design for uniform aperture field distribution in single-layered radial line slot antennas," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Vol.39, No.7, pp. 954–959, July 1991.
- [8] M. Yamamoto, and K. Itoh, "Resonant type leaky-wave antenna using image NRD guide", *Electron. Lett.*, vol.35, no.11, pp. 857–858, 1999.
- [9] 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.
- [10] A. Sutinjo, M. Okoniewski, and R.H. Johnston, "Beam-splitting condition in a broadside symmetric leaky-wave antenna of finite length," *IEEE Antennas and Wireless Propag. Lett.*, vol.7,pp.609-612, 2008.
- [11] M. García-Vigueras, R. Guzmán-Quirós, and J.L. Gómez-Tornero, "Beamwidth control of 1D

LWA radiating at broadside," *European Conference on Antennas and Propagation*, 2011, pp. 1853 – 1856, 2011.

[12] A. Ip, and D.R. Jackson, "Radiation from cylindrical leaky waves," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol.38, no.4, pp.482-488, Apr 1990.

[13] Y. Sun, Z.N. Chen, Y. Zhang, H. Chen and T.S.P. See, "Subwavelength Substrate-Integrated Fabry-Pérot Cavity Antennas Using Artificial Magnetic Conductor", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol.60, no.1, pp.30-35, Jan. 2012.

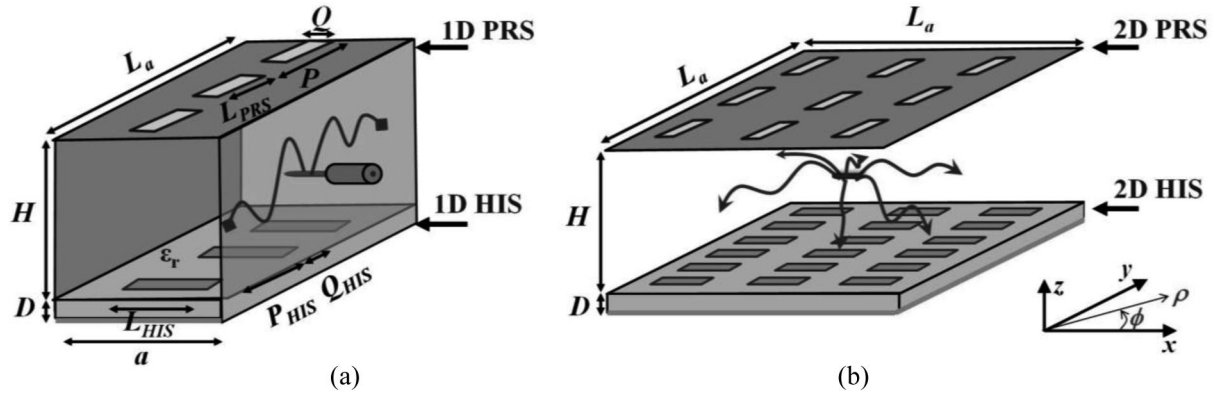


Fig.1 Esquema de antenas leaky-wave Fabry-Perot con circuitos impresos planares (PRS y HIS) a) 1D y b) 2D.

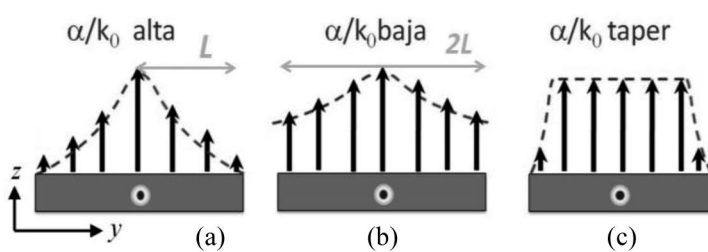


Fig.2 Iluminación de la apertura en LWAs 1D a) b) Sin taper c) Con taper.

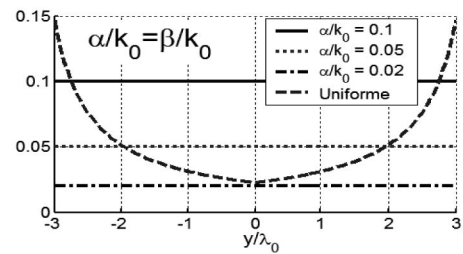


Fig.3 Función de taper en LWAs 1D.

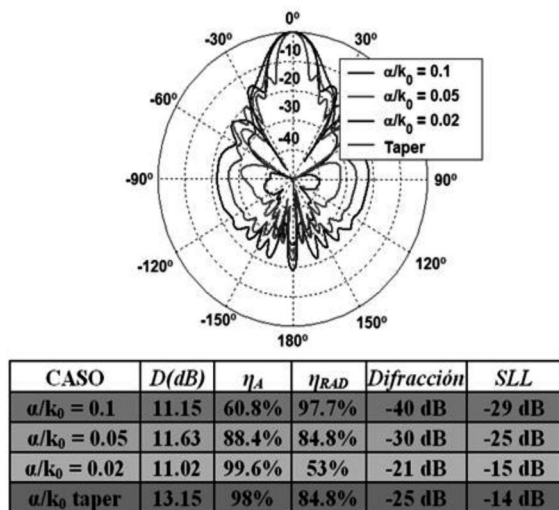


Fig.4 Diagramas de radiación en LWAs 1D.

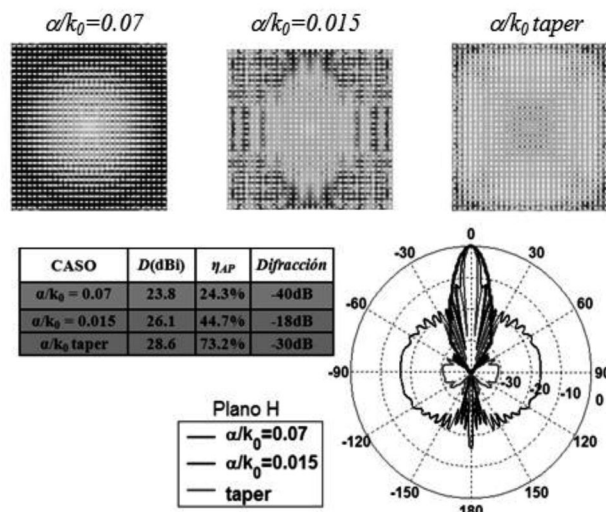


Fig.5 Iluminación de la apertura y diagramas de radiación en LWAs 2D