

Aplicación de Diseño Holográfico para Reducir el Nivel de Lóbulo Secundario en Antenas Leaky-Wave en Tecnología SIW

Alejandro Javier Martínez-Ros, Raúl Gúzman-Quiros y José Luis Gómez-Tornero
 Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
 Universidad Politécnica de Cartagena
 E-mail: alejandro.martinez@upct.es, raul.guzman@upct.es, josel.gomez@upct.es

Resumen. En este trabajo se presenta el diseño de antenas leaky-wave (LWAs) unidimensionales en tecnología de guía de onda integrada en sustrato (SIW). Una de las principales ventajas de este tipo de antenas, es que van a permitir modular la amplitud y la fase de los campos radiados, y por lo tanto controlar los diagramas de radiación tanto en campo cercano como en campo lejano. La síntesis de los campos radiados está inspirada en un sistema holográfico, en el cual se modula la constante de propagación de la SIW LWA para de esta forma conseguir un determinado patrón de interferencia que genere el diagrama de radiación deseado. Para demostrar la capacidad de síntesis utilizando esta técnica, se ha diseñado y validado mediante HFSS una antena con reducción del nivel de lóbulo principal a secundario, para el que se ha requerido un control efectivo tanto del modulo como de la fase de los campos radiados por la SIW LWA.

1. Introducción

La capacidad de controlar de forma flexible la radiación producida por estructuras planas, tales como arrays de antenas impresas, en las cuales la alimentación es debida a una única fuente de excitación, ha generado un gran interés por parte de la comunidad científica especializada en la ingeniería de antenas. De esta forma, mediante la modulación de la superficie radiante se puede obtener un control efectivo de los campos radiados con la ventaja de evitar utilizar complicadas redes de alimentación. Para obtener dicho control, el circuito impreso debe de ser excitado por una onda de superficie (SW) que se propaga a lo largo de la estructura y que a su vez es transformada en una onda de fuga (LW), cuyo patrón es controlado por los circuitos impresos modulados, como se ilustra en Fig. 1a.

Este concepto es conocido como “metasurfing”, y esta relacionada con las técnicas de síntesis holográficas [1]. La SW es la señal de entrada y la que excita la superficie holográfica, que en nuestro caso es la modulación de circuito impreso de una guía de onda integrada en sustrato (SIW). Como se puede ver en Fig. 1b, la SIW tiene dos variables geométricas que se modulan a lo largo de su longitud z : una es la anchura del circuito impreso $W(z)$, y la segunda es la distancia entre los postes metálicos situados cerca del borde radiante $P(z)$. Como se ha demostrado en [2], estas dos variables permiten transformar la SW en una LW, con un control flexible sobre el ángulo de radiación $\theta_{RAD}(z)$ y la $\alpha(z)$

tasa de radiación k_0 . De esta manera, se propone la modulación del circuito impreso de la SIW a lo largo de su longitud z , de modo que la transformación SW-a-LW puede ser controlada con precisión y los campos creados en la abertura por la LW pueden ser sintetizados, mediante la modulación de la distribución de amplitud y fase de los campos radiados, como es representado en Fig. 1.

2. Síntesis del Modo de Fuga en SIW LWA

Para sintetizar los campos radiados en la SIW LWA, se ha utilizado un enfoque basado en la apertura radiante, en lugar de las técnicas de síntesis basadas en la superficie impresa, las cuales han sido propuestas por otros autores [1, 3, 4]. Las principales ventajas es que nuestra técnica utiliza directamente como función objetivo el campo en la apertura de la antena, lo que puede ser fácilmente relacionado con el campo cercano o lejano a sintetizar. De esta manera, se evita el uso de reactancias equivalentes para modelar la superficie. Además, puesto que

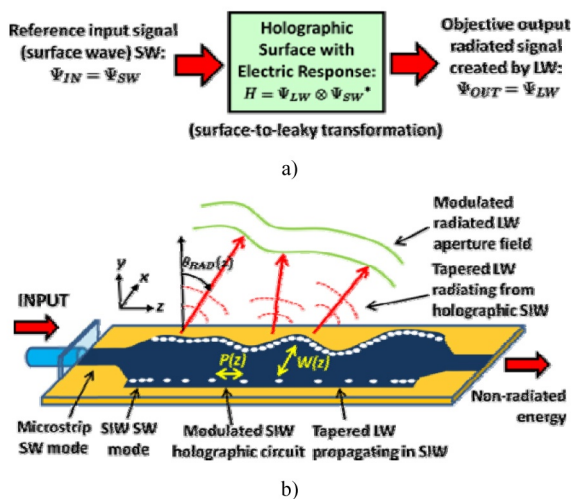


Fig. 1. Esquema de la antena holográfica leaky-wave modulada en tecnología SIW: a) Diseño Holográfico. b) SIW HLWA modulada.

también se puede usar directamente la información de la dispersión de la LW con respecto a la geometría de la antena, también se omite la complicada etapa que debe relacionar la reactancia equivalente de la superficie con la geometría modulada. Por último, se ha de mencionar que nuestro planteamiento de síntesis no se limita a superficies moduladas de forma sinusoidal como en [1, 3, 4], sino que se puede tratar la síntesis de los campos radiados en la apertura de una manera arbitraria.

Como se ha comentado anteriormente, se parte de una función arbitraria de los campos en la apertura, la cual puede ser descrita por una distribución de amplitud y de fase a lo largo de la longitud de la antena:

$$E_{RAD}^{APERT}(z) = M(z) \cdot e^{j\phi(z)} \quad (1)$$

Usando la teoría LW [5], la modulación de la constante de propagación de la LW que sintetiza la distribución compleja en la apertura (1) se puede obtener como:

$$k(z) = \beta(z) - j\alpha(z) \quad (2)$$

$$\beta(z) = k_0 \sin \theta_{RAD}(z) = -\frac{\partial \phi(z)}{\partial z} \quad (3)$$

$$\alpha(z) = \frac{1}{2 \frac{1}{\eta} \int_0^{L_A} |M(\tau)|^2 \partial \tau - \int_0^{L_A} |M(\tau)|^2 \partial \tau} |M(z)|^2 \quad (4)$$

En (3) $\theta_{RAD}(z)$ es el ángulo de apuntamiento de la LW modulada, en (4) L_A es la longitud radiante de la antena, y η representa la eficiencia de radiación. La parte más delicada del diseño viene cuando se quiere relacionar la constante de propagación compleja a lo largo de la LW (2) con la modulación de la geometría de la antena. Obviamente, este paso depende del tipo de LWA utilizada, y requiere una herramienta de análisis modal capaz de obtener la dispersión de la LW en la estructura estudiada. En nuestro caso, se utiliza una técnica de resonancia transversa [6] que es capaz de obtener la variación del ángulo de apuntamiento de la LW y la tasa de radiación como una función de las dimensiones de la SIW. Utilizando los datos de dispersión de esta herramienta de análisis modal, uno puede finalmente obtener la modulación de la anchura W de la SIW y la distancia entre los postes metálicos P a lo largo de la longitud de la antena (vea Fig. 1b):

$$\{\beta(z), \alpha(z)\} \rightarrow \{W(z), P(z)\} \quad (5)$$

3. Resultados

En esta sección se van a presentar los resultados obtenidos de una antena diseñada para sintetizar un diagrama de radiación con bajo nivel de lóbulo secundario. Se mostrará su diagrama de radiación junto con la correspondiente modulación de la LW, donde se incluirá la función de iluminación $M(z)$ y la constante de propagación compleja a lo largo de la antena (2). Además, se representarán las dimensiones geométricas del circuito impreso ($W(z)$ y

$P(z)$) para una frecuencia de diseño de 15 GHz y una eficiencia de radiación del 90%. El sustrato utilizado es Rogers RT-Duroid-5880 ($h = 0,508$ mm, $\epsilon_r = 2,2$, $\tan \delta = 0,0009$). La función de iluminación de amplitud tipo coseno se utiliza para la reducción del nivel de lóbulo secundario (SLL), debido a la menor difracción producida en los extremos de la antena [7]. Fig. 2a muestra esta iluminación del campo radiado para una antena de longitud $L_A = 135$ mm = $6,75\lambda_0$ radiando en $\theta_{RAD} = 30^\circ$. Además, la modulación de la LW requerida para sintetizar tal iluminación coseno se representa en Fig. 2b, donde se puede observar un valor constante para el ángulo de apuntamiento 30° ($\beta/k_0 = 0,5$) a lo largo de la longitud de la LWA, y una tasa de radiación normalizada α/k_0 que toma valores pequeños en ambos extremos de la antena para evitar difracciones, de acuerdo con la función de iluminación que se describe en Fig. 2a.

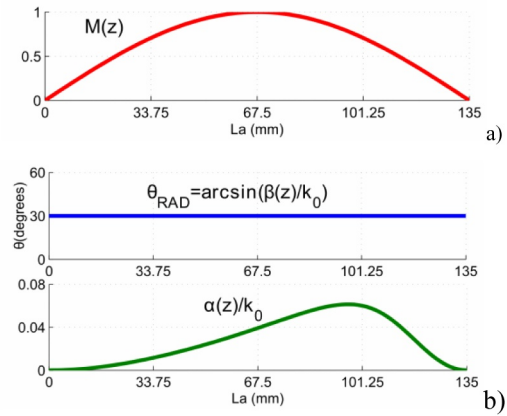


Fig. 2. Modulación requerida para sintetizar una iluminación de amplitud coseno: a) Función de iluminación de amplitud coseno por unidad de longitud. b) Modo leaky.

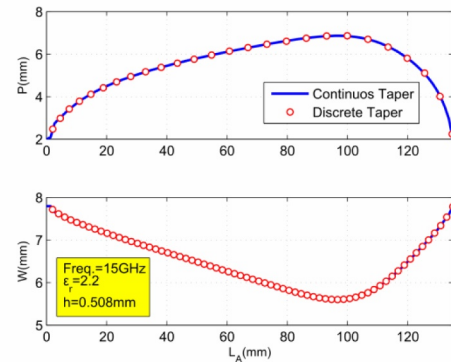


Fig. 3. Variación de $W(z)$ y $P(z)$ a lo largo de la longitud de la antena para obtener una iluminación de amplitud coseno.

Una vez que se ha obtenido la LW para sintetizar la función de iluminación deseada (ver Fig. 2), las dimensiones físicas $W(z)$ y $P(z)$ se determinan mediante el análisis TEN presentado en [6]. Estas dimensiones del circuito impreso se muestran en Fig. 3, donde se observa en la línea azul continua los datos obtenidos con la TEN, y en círculos rojos los valores discretos que W y P toman a lo largo de L_A . Particularmente, se puede observar como P debe variar desde $P = 2$ mm en los bordes de antena (para que la radiación sea muy baja) hasta $P = 7$ mm

en la sección central de la LWA para proporcionar $a/k_0 = 0,06$. W también debe ser modulada para mantener un ángulo de apuntamiento uniforme en 30° a lo largo de la longitud total de la antenna (vea Fig. 3). También debe tenerse en cuenta que si un solo parámetro (W o P) es modulado, no se podría controlar simultáneamente θ_{RAD} y a/k_0 y por tanto daría lugar a una incapacidad para sintetizar la función de iluminación $M(z)$ y su correspondiente LW, mostrada en la Fig. 2. Esto resultaría en una pérdida de directividad debido a las aberraciones de fase y de amplitud producidas en la apertura [8].

Fig. 4 muestra el diagrama de radiación de una SIW LWA apuntando en $\theta_{RAD} = 30^\circ$, que ha sido modulada utilizando los valores de Fig. 2 y Fig. 3. El diagrama de radiación teórico en el plano H (línea azul continua) se compara con el obtenido con HFSS (línea roja discontinua) después de simular con un modelo en 3D de la SIW LWA, y se observa una elevada similitud entre ambos resultados. En Fig. 5 este diseño modulado (línea roja discontinua) se compara con una antenna sin modular (línea azul continua) obtenida con HFSS: se puede apreciar como el SLL se reduce de -13 dB en el caso de la LWA sin modular a -26 dB cuando la tasa de radiación es debidamente modulada. Además, se observa como el ancho del haz para el caso de la LWA modulada esta ligeramente ensanchado con respecto a la antenna sin modular. Este efecto es debido a una reducción en la eficiencia de iluminación en la apertura, causada por la sintetizada función de amplitud coseno [7].

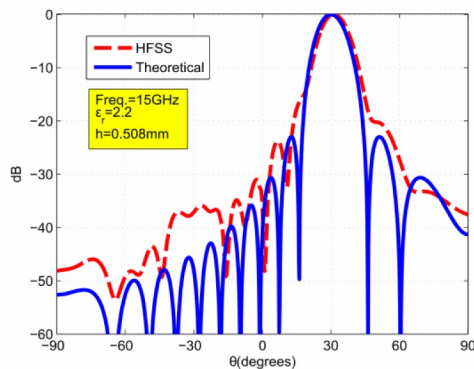


Fig. 4. Diagramas de radiación en el plano H teórico y simulado para una iluminación de amplitud coseno.

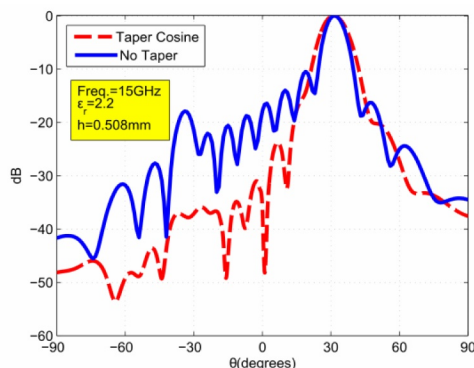


Fig. 5. Diagrama de radiación en plano H para una LWA sin modulación tipo coseno y con modulación.

4. Conclusiones

Se ha presentado una técnica de síntesis basada en diseño holográfico, la cual permite obtener una determinada distribución de los campos radiados en la apertura de la antenna. De esta forma, tanto el modulo como la fase son controlados, y por lo tanto, se puede conseguir el diagrama de radiación deseado. Para mostrar la versatilidad de dicha técnica, se ha diseñado una antenna con modulación de amplitud tipo coseno, la cual permite reducir el nivel de lóbulo secundario, pasando de -13 dB para la antenna sin modular a los -26 dB de la antenna con modulación de amplitud tipo coseno. Además, es importante resaltar las características de bajo coste y bajo perfil, de las antenas utilizadas.

Referencias

- [1] Maci, S.; Minatti, G.; Casaletti, M. & Bosiljevac, M. (2011) Metasurfing: Addressing Waves on Impenetrable Metasurfaces. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 10, 1499 -1502.
- [2] Martinez-Ros, A.J.; Gomez-Tornero, J.L. & Goussetis, G. (2012) Planar Leaky-Wave Antenna With Flexible Control of the Complex Propagation Constant. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 60, 1625 -1630.
- [3] Oliner, A. & Hessel, A. (1959) Guided waves on sinusoidally-modulated reactance surfaces. Antennas and Propagation, IRE Transactions on, 7, 201 -208.
- [4] Sievenpiper, D.; Colburn, J.; Fong, B.; Ottusch, J. & Visher, J. (2005) Holographic artificial impedance surfaces for conformal antennas. 2005 IEEE Int. Symp. on Antennas and Propagation, 1B, 256 -259.
- [5] Gomez-Tornero, J.L. (2011) Unusual tapering of leaky-wave radiators and their applications. Proc. of the 5th European Conf. on Antennas and Propagation (EUCAP), 821 -824.
- [6] Martinez-Ros, A.J.; Gomez-Tornero, J.L.; Quesada-Pereira, F. & Alvarez-Melcon, A. (2011) Transverse resonance analysis of a planar leaky wave antenna with flexible control of the complex propagation constant. 2011 IEEE Int. Symp. on Antennas and Propagation (APSURSI), 1289 -1292.
- [7] Oliner, A.A., Jackson, D.R. & Volakis, J.L. (2007) Leaky-wave antennas 11 Antenna Engineering Handbook, McGraw-Hill.
- [8] Gomez-Tornero, J.; delaTorreMartinez, A.; Rebenaque, D.; Gugliemi, M. & Alvarez-Melcon, A. (2005) Design of Tapered Leaky-Wave Antennas in Hybrid Waveguide-Planar Technology for Millimeter Waveband Applications. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 53, 2563 - 2577.