

DISEÑO, SIMULACIÓN Y PROTOTIPADO DE UN TRANSMITARRAY RECONFIGURABLE EN BANDA Ku

A. Muñoz-Acevedo, P. Padilla, M. Sierra-Castañer

alfonsoma@gr.ssr.upm.es, ppadilla00@gr.ssr.upm.es, m.sierra.castaner@gr.ssr.upm.es.

Dpto. de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones. Universidad Politécnica de Madrid.

Avenida de la Complutense, s/n, 28040, Madrid.

Resumen – The aim of this paper is to introduce some theory as well as prototype results of a Ku-band active transmitarray. Its architecture is based in two bi-dimensional radio interfaces interconnected by a multiport microwave circuit. This makes the system reconfigurable through a driver device acting on the microwave circuit, which is based in analog phase shifters. The development of the prototypes implies the design of broadband multilayer antenna patches and a novel high-performance reflection analog phase shifter

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es abordar el estudio de un transmitarray activo en la banda de 12 GHz. Presentaremos algunos fundamentos teóricos de los que parten nuestros diseños para extraer ciertas conclusiones sobre la medida de prestaciones de nuestros prototipos.

Nuestra atención se centrará en dibujar la línea de trabajo que dota al transmitarray de inteligencia. Ello requiere tener presente el funcionamiento de transmitarray como dispositivo de microondas para así introducir un módulo que implemente la componente reconfigurable. En consecuencia, nuestra toma de contacto con el transmitarray parte de unas primeras nociones sobre este tipo de estructuras.

- Un transmitarray es un dispositivo de RF con dos interfaces radio. Una de ellas funciona en recepción y la segunda, en transmisión. Entre ambas existe una etapa de procesado que actúa sobre la radiación entrante, configurando así la saliente.
- Para que un transmitarray sea reconfigurable es preciso que la etapa intermedia tenga un comportamiento fácilmente modificable. Esto requiere que se pueda efectuar sobre él un control que modifique la onda saliente. Este planteamiento nos conduce a la necesidad de introducir elementos activos dentro de la circuitería intermedia.
- Dicha circuitería consistirá en una red multipuerta de microondas basada en desfases controlables por un dispositivo driver al uso.

Que este último módulo de procesado electromagnético ofrezca verdadera reconfigurabilidad requiere que nuestros desfases tengan un amplio margen dinámico y un control flexible. En la figura 1 queda resumida la idea de transmitarray que estudiamos en el presente artículo.

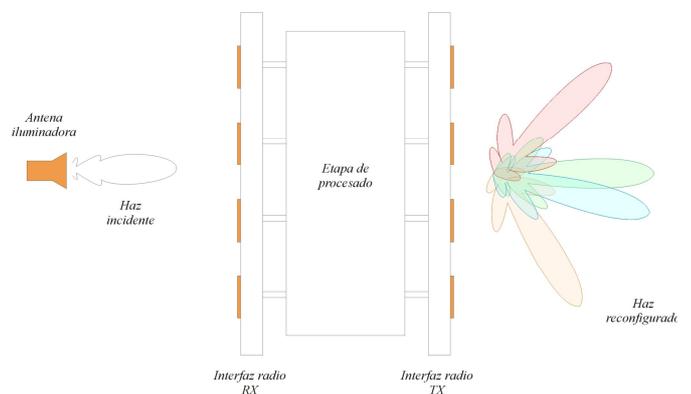


Figura 1. Idea de transmitarray reconfigurable

II. ESTRUCTURA DE TRANSMITARRAY

A continuación nos dedicamos a analizar cada una de las partes que lo componen por separado.

II-A. Elemento radiante

Consultando la teoría de arrays de antenas concluimos que para lograr reconfigurabilidad en el apuntamiento en torno a 2 ejes ortogonales es necesario disponer de un array bidimensional de elementos radiantes. Para lograr cierta homogeneidad en la estructura, nuestras interfaces radio serán ambas iguales en recepción y transmisión. La alimentación de los elementos del array de transmisión se efectuará con una corriente $I_{m,n}$, de acuerdo con la matriz de la figura 2.

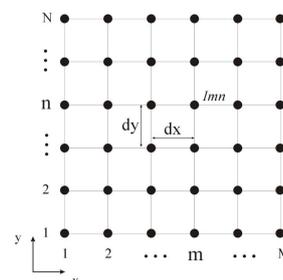


Figura 2. Matriz de alimentación de los elementos radiantes en transmisión

Nuestra interfaz radio consistirá en un array plano cuadrado, lo que significa que $M = N$ en la figura 2. Es preciso definir cuál será nuestra unidad radiante. Se nos presentan dos opciones: hacer que la unidad radiante sea simplemente un parche o que, por otra parte, esta estructura radiante sea una agrupación de parches idénticamente alimentados. Apreciamos estas dos opciones en la figura 3.

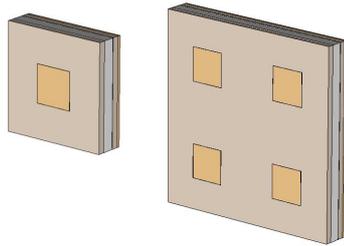


Figura 3. Elementos radiantes unitarios

Optaremos por la matriz de 2×2 parches como unidad radiante, consiguiendo así simplificar la circuitería activa del transmitarray.

Diseñamos nuestro parche unitario para funcionar en banda ancha. Un esquema de su arquitectura es la figura 4. Es importante añadir que el sistema de alimentación se basa en un plano de masa perforado a través del cual introducimos una vía que alimenta directamente el parche inferior.

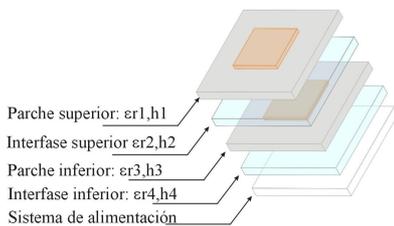


Figura 4. Arquitectura del parche radiante en banda ancha

II-B. Red de alimentación

Nuestra decisión de elegir un sub array 2×2 como unidad radiante nos lleva a la necesidad de construir una red de alimentación. Este dispositivo conectará cada uno de estos 4 parches a una salida de RF y se utilizará tanto en el array de recepción como en el de transmisión.

Por tanto es importante que nuestra red de alimentación consiga los siguientes puntos:

- Actuando en recepción: sumar la potencia de las señales de los parches con una ponderación uniforme en módulo y fase.
- Actuando en transmisión: presentar bajas pérdidas de reflexión en el puerto de entrada y distribuir esta potencia uniformemente en módulo y fase a los 4 puertos de salida.

Optamos por diseñar una red de alimentación "en H". Teniendo en cuenta la topología del circuito, el esquema circuital de nuestra red de alimentación podría resumirse en

la figura 5. Los accesos a parche son los puertos 2 a 5. Podemos observar cómo se conectan compensaciones capacitivas "C", uniones en T, los transformadores de longitud eléctrica $\pi/2$ y los tramos de línea a impedancia característica Z_0 con longitudes eléctricas θ_x .

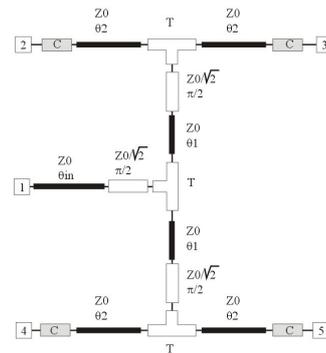


Figura 5. Esquema circuital de la red de alimentación "en H"

II-C. Desfasador

El desfasador constituye el elemento central del transmitarray. El circuito de microondas que actúa como etapa intermedia está formado por un conjunto de N^2 unidades desfasadoras. Para entender cómo se interconectan, hemos de volver a la figura 2. Cada una de las N^2 unidades desfasadoras se encargan de implementar un desfase controlable entre el elemento radiante en (m, n) y su homólogo de la interfaz radio opuesta.

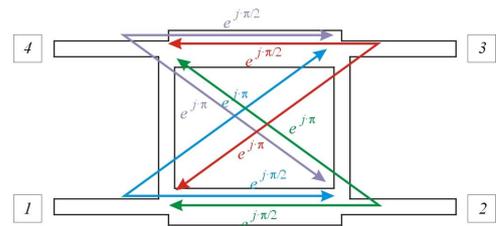


Figura 6. Desfases entre los puertos de nuestro circuito branch-line.

Nuestro propósito es ahora desarrollar un circuito de dos puertos de RF entre los cuales podamos implementar un desfase gradual y controlable. Para ello nos basaremos en un circuito branch-line en 90 grados. En la figura 6 analizamos los desfases de las señales que atraviesan este circuito. Este branch funcionará como circuito de dos puertos accediendo a él por 1 y 4. En 2 y en 3 efectuamos un control sobre la combinación lineal de señales que llegan desde el puerto 1, obteniendo en 4 una señal cuya fase puede separarse en las componentes ψ y ϕ . La primera componente es un offset invariable debido a las dimensiones físicas del circuito, si bien ϕ es el desfase progresivo controlable que caracteriza al circuito desfasador. Estas consideraciones se esquematizan en la figura 7.

III. RESULTADOS

Nos centraremos ahora en presentar los resultados de simulación que estos dispositivos ofrecen. Para ello haremos uso

de CST Microwave Studio 6, software comercial de simulación en onda completa. De este modo tendremos una idea muy aproximada de cómo se comportarán nuestros prototipos una vez construidos.

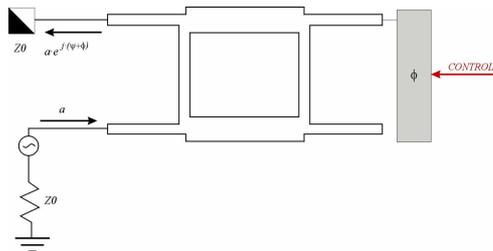


Figura 7. Funcionamiento del circuito desfasador

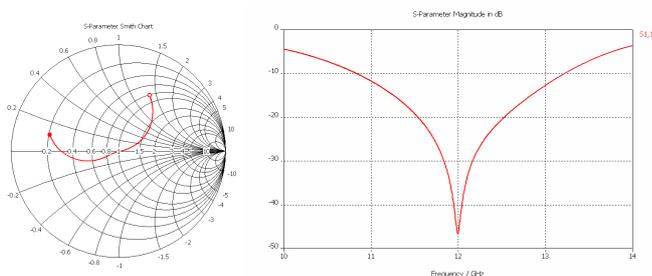


Figura 8. Adaptación del parche en simulación

En primer lugar evaluamos resultados del parche unitario. Es interesante comprobar su funcionamiento en banda ancha en torno a la frecuencia de 12 GHz. Los resultados de adaptación se encuentran en la figura 8. Su diagrama de radiación se compara en la figura 9 (a) con el correspondiente al array de 4 parches en 9 (b). Comprobamos que la agrupación en array de 2×2 redundante en un aumento de la directividad en 6 dB y la aparición de lóbulos secundarios.

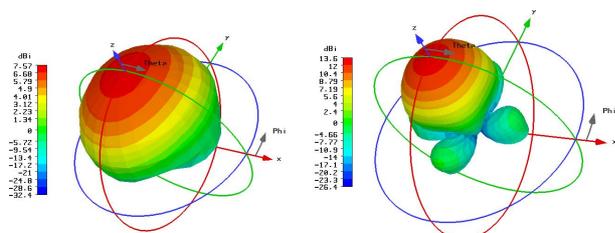


Figura 9. Diagramas de radiación: parche (a) y celda radiante (b)

La simulación de la red de alimentación nos ofrece resultados precisos de la adaptación en el puerto que se conecta con la etapa intermedia así como curvas de transmisión a los parches. En la figura 10 verificamos la adaptación a 12 GHz en el puerto 1 y una transmisión de potencia en torno a -6 dB a los puertos 2 a 5.

La simulación del desfasador se articula en torno a resultados en reflexión - transmisión por una parte y por otro lado, resultados de desfase. En la figura 11 comprobamos en azul la adaptación en puertos de RF del desfasador y en rojo la transmisión entre los mismos.

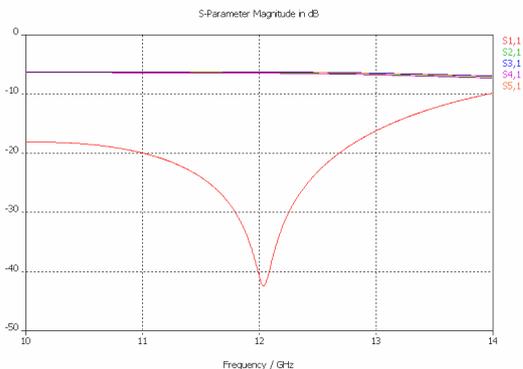


Figura 10. Adaptación y transmisión en la red de alimentación

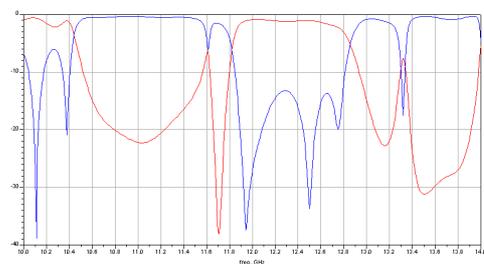


Figura 11. Adaptación y transmisión del desfasador

Evaluamos el desfase entre la puerta de entrada y de salida para diferentes señales de control sobre el desfasador. En la figura 12 observamos gráficas de desfase en la banda de 12 GHz para estas distintas señales de control. Comprobamos que el margen dinámico de nuestro desfasador es superior a 360° .

IV. PROTOTIPOS

Hasta el momento disponemos de prototipos medidos de la celda radiante y la red de alimentación. El primero de ellos se puede apreciar en la figura 13. La medida en reflexión de uno de sus parches con los otros tres cargados a Z_0 se aprecia en la figura 15. Por otra parte, hemos construido un prototipo de un único parche, obteniendo los resultados en reflexión de la figura 14. Comprobamos un mejor comportamiento de la celda radiante 2×2 respecto de la basada en un parche simple.

También disponemos físicamente la red de alimentación. Podemos apreciar su prototipo en las imágenes de la figura 16. En la imagen, sus puertas 2 a 4 están cargadas con una impedancia Z_0 , dejando visible en la puerta 5 el conector SMA. La medida de reflexión para esta red entrando por el puerto 1 y cargando a Z_0 el resto de puertos está recogida en la figura 17.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se ha diseñado un transmitarray reconfigurable. Hemos partido de un punto de vista de ingeniería de sistemas para, a través de simulaciones con software comercial, llegar a unos prototipos cuya medida

con analizador de redes valida nuestros resultados en simulación.

Nuestro trabajo subsiguiente se centrará en la construcción y medida del subsistema desfaseador. Igualmente, disponiendo físicamente del resto de subsistemas conseguiremos la terminación del transmitarray, llevando así a cabo medidas en cámara anecoica.

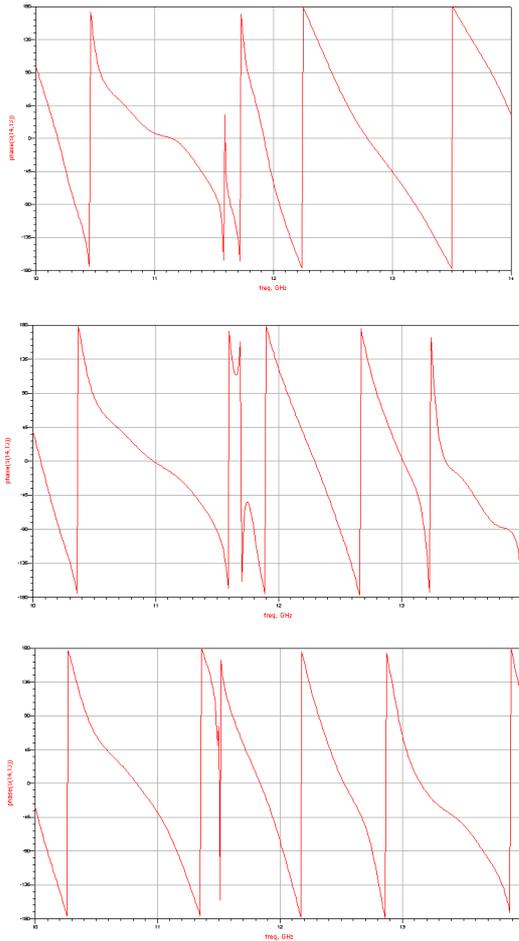


Figura 12. Distintos desfases entre los puertos del desfaseador.

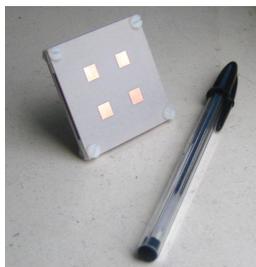


Figura 13. Prototipo de celda radiante

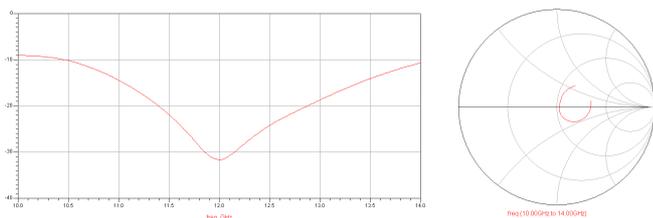


Figura 14. Reflexión medida a la entrada de un parche aislado

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se ha llevado a cabo en el Grupo de Radiación del departamento SSR con la ayuda de una beca de colaboración del Ministerio de Educación y Ciencia y una beca FPU del mismo Ministerio. Las simulaciones han sido realizadas con el software CST Microwave Studio 6.0 gracias a una licencia de cooperación entre CST y la UPM. El sustrato NY empleado en la construcción de los prototipos fue amablemente cedido por NELTEC S.A.

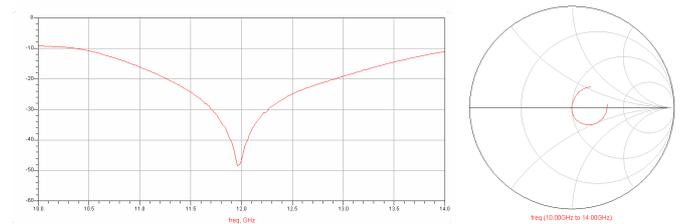


Figura 15. Reflexión medida a la entrada de un parche de la celda radiante

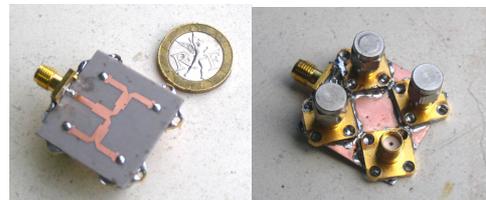


Figura 16. Prototipo de red de alimentación

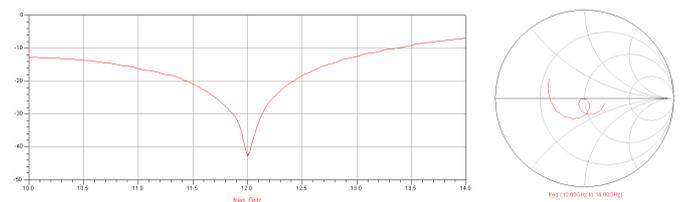


Figura 17. Reflexión medida a la entrada de la red de alimentación

REFERENCIAS

- [1] R. E. Collin Foundations for Microwave Engineering 2nd Ed. Wiley-IEEE Press. December 2000.
- [2] K. Chang Handbook of RF/Microwave Components and Engineering Wiley & Sons. 2003.
- [3] C. A. Balanis, Antenna Theory: Analysis and design, 2nd ed. Wiley, ay 1996.
- [4] Sh. Zhong, G. Liu and G. Qasim, "Closed form Expressions for Resonant Frequency of Rectangular Patch Antennas With Multidielectric Layers". IEEE Transactions on antennas and propagation. vol 42. no. 9, September 1994.
- [5] M. V. Schneider "Microstrip Dispersion", Proceedings of the IEEE, January 1992
- [6] I. J. Bahl et al. "Design of microstrip antennas covered with a dielectric layer", IEEE transactions on antennas and propagation. vol ap-30 no. 2 March 1982
- [7] J.I. Upshur and B. D. Geller, "Low loss 360 degree x-band analog phase shifter", Patent number: 5119050, 2 Jun 1992
- [8] Ch. Chen, W. E. Courtney, "A Low-Loss Ku-Band Monolithic Analog Phase Shifter", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol MTT-35 no. 3 March 1987.
- [9] P. Gay-Balmaz and J. R. Mosig, "Three-dimensional planar radiating structures in stratified media", Microwave and Millimeter-Wave Computer-Aided Engineering, vol. 7, no. 5 pp. 330-343, September 1997.