

Antena monopulso compacta de una sola capa en banda Ka con tecnología Gap Waveguide

Miguel Ferrando-Rocher⁽¹⁾⁽²⁾

(1) Microwave and Applied Computational Electromagnetics Group (GMECA) of University of Alicante (UA), Spain

(2) Antennas and Propagation Laboratory (APL) of Universitat Politècnica de València (UPV), Spain

Abstract

Este artículo presenta una antena monopulso compacta para aplicaciones de seguimiento de ondas milimétricas en la banda Ka (27.5 a 30.5 GHz). Se ha diseñado una antena de bajas pérdidas para ser utilizada en una red comparadora de monopulso. La red comparadora monopulso utiliza una red de alimentación combinando guías Groove Gap y Ridge Gap Waveguide y se integra en una sola capa. Se presentan los resultados simulados de una agrupación de 2×2 antenas. Se han obtenido coeficientes de reflexión de entrada mejores que -12 dB para los puertos de suma y diferencia en la banda de frecuencias de interés. Además, el aislamiento entre los puertos suma y diferencia es superior a 50 dB. La simplicidad del diseño y el hecho de que esté alojado en una sola capa permiten un fácil escalado a agrupaciones más grandes.

1 Introducción

Los radares monopulso de ondas milimétricas son atractivos para aplicaciones de seguimiento de alta resolución. Pueden proporcionar un ancho de haz estrecho para una alta precisión angular con un tamaño de apertura relativamente pequeño. Para obtener un ancho de haz estrecho para los radares de seguimiento monopulso de alta ganancia, las antenas reflectoras son buenas candidatas, gracias a su facilidad de diseño y buen rendimiento [1]-[2]. Sin embargo, las antenas reflectoras son estructuras voluminosas que no suelen ser adecuadas para su implementación en los sistemas de comunicaciones modernos. Alternativamente, las antenas microstrip o SIW pueden ser una alternativa de bajo perfil y bajo coste a los reflectores parabólicos [3]-[4]. Sin embargo la necesidad de materiales con pérdidas en este rango de frecuencias y un ancho de banda estrecho son algunos de los inconvenientes de las antenas basadas en sustratos. Una situación de compromiso entre estas dos alternativas son las antenas planas totalmente metálicas. Aquí se encuentra una extensa revisión de las propuestas en los últimos años [5]-[15]. Estos trabajos han proporcionado un avance para las antenas planas de alta ganancia junto con una estructura compacta y de bajo perfil. Asimismo, existen ciertos retos que no son menores; en primer lugar, la red de alimentación corporativa es mucho más voluminosa que la de la tecnología impresa; en segundo lugar, obtener una eficiencia de antena tan buena como la lograda por los reflectores parabólicos es un reto notable.

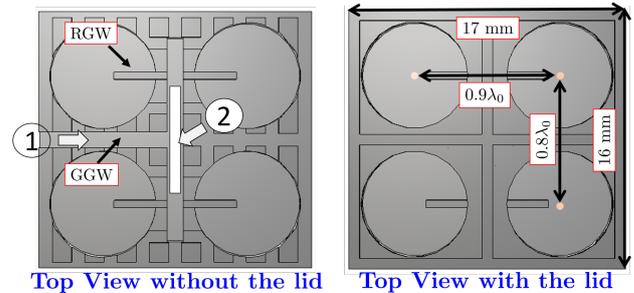


Figure 1. Vista superior de la antena sin tapa (izquierda) y con la tapa (derecha).

En el pasado, se han utilizado diferentes tecnologías de líneas de transmisión para realizar antenas planas de array para aplicaciones monopulso, principalmente redes de alimentación de guías de onda huecas. Sin embargo, conseguir un buen contacto eléctrico entre los bloques no es especialmente fácil en frecuencias de ondas milimétricas debido a la miniaturización de los dispositivos, proporcional al aumento de la frecuencia.

Ante este problema, se han utilizado diferentes tecnologías para abordarlo, como la unión por difusión o, más recientemente, varias técnicas de fabricación aditiva (AM). Sin embargo, la unión por difusión es una técnica difícilmente accesible y costosa, y la AM tiene ciertos retos por delante, como asegurar superficies libres de rugosidad para reducir las pérdidas del conductor. En la última década, se ha popularizado el uso de la tecnología Gap Waveguide (GW), ya que puede asegurar el confinamiento del campo en estructuras metálicas sin contacto bajo ciertas condiciones [22, 23, 24]. Bajo estas premisas, en este trabajo se presenta una antena monocapa de ranura en banda Ka, cuya red de alimentación corporativa y cavidades se alojan en una cama de pines característica de la GW. A continuación se presenta el diseño y los resultados simulados.

2 Celda unidad 2×2

La celda de 2×2 de esta antena monopulso consta de 4 cavidades cilíndricas alojadas en una la cama de pines de la GW. Las Figs. 1 y 2 muestran una vista frontal y una vista en perspectiva de la celda propuesta, respectivamente. La antena consta de dos puertos, uno suma (puerto 2) y otro de diferencia (puerto 1). La antena tiene unas dimensiones horizontales de $17 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$, y la altura total es inferior a 1.5 cm . El radio de las cavidades cilíndricas es de $0.6\lambda_0$

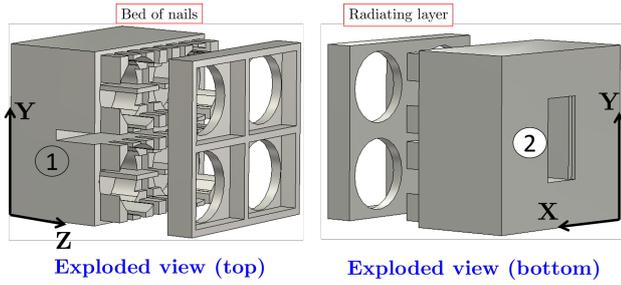


Figure 2. Vista explosionada de la antena.

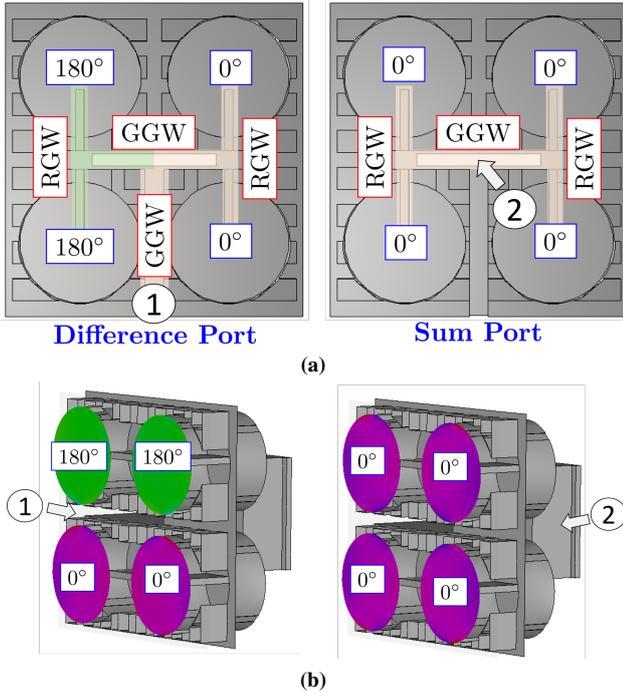


Figure 3. (a) Descripción de la red RGW-GGW y (b) comportamiento de la fase en la antena.

(donde λ_0 es de 10 mm, longitud de onda en el espacio libre de 30 GHz), y están separadas por $0.9\lambda_0$ y $0.8\lambda_0$ en los ejes X e Y, respectivamente. El puerto diferencia está etiquetado como 1 y se encuentra en el lateral de la antena. Este puerto está conectado a una red de alimentación corporativa de 1 a 4. El primer divisor de potencia balanceado es un divisor GGW de pared estrecha que introduce un desequilibrio de fase de 180° entre ambos brazos. A continuación, el siguiente divisor es un GGW a RGW, que divide la señal con igual amplitud y fase entre ambos brazos y finalmente alimenta las cavidades cilíndricas. Este comportamiento de las redes GGW-RGW se implementó por primera vez en [25] y posteriormente se utilizó en otras antenas en banda Ka, pero nunca en una antena suma-diferencia. La libertad de combinar las GGW-RGW consecutiva o alternativamente permite esta característica única de posibilidad de desequilibrio de fase en los divisores. Por último, el puerto 2 es el puerto de suma y está situado en la parte inferior de la antena. El puerto está acoplado con una ranura que excita directamente el GGW en el centro. A continuación, el

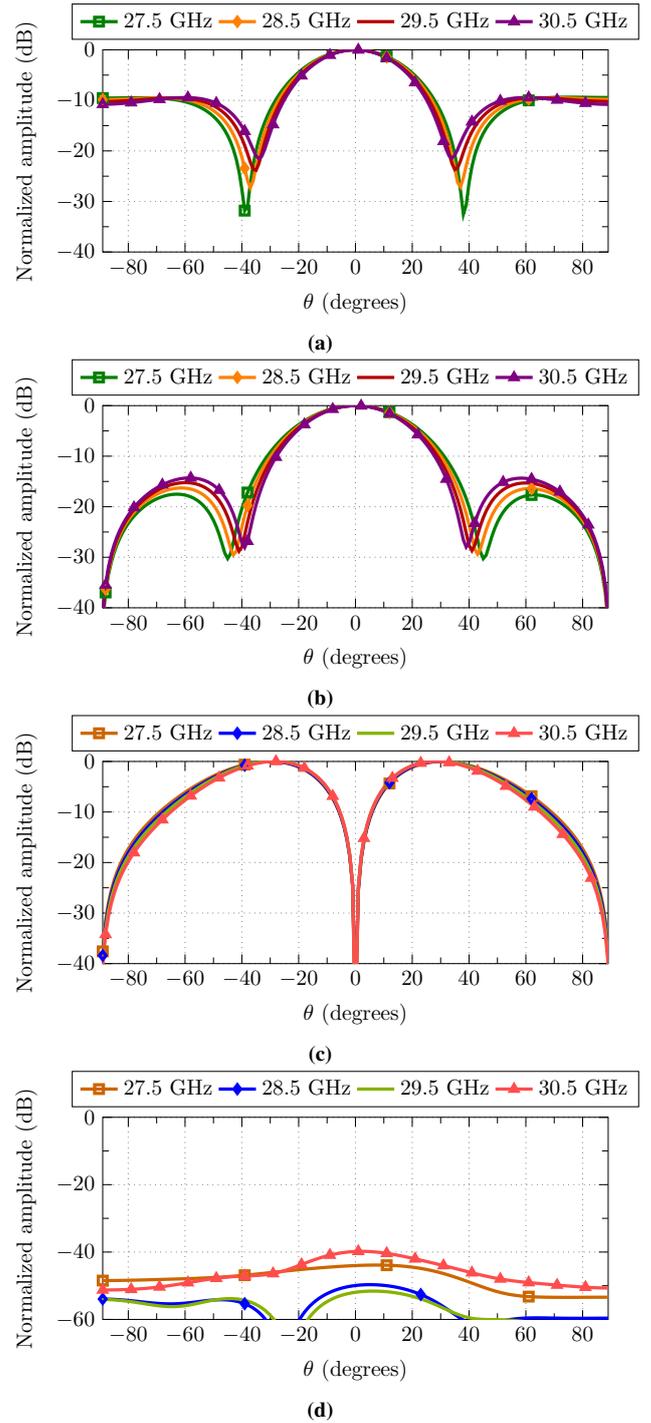


Figure 4. Diagramas de radiación simulados; en (a) y (b) se muestran los planos XZ e YZ del puerto suma (Σ), en (c) y (d) los planos XZ e YZ del puerto diferencia (Δ).

camino seguido es el mismo que el descrito anteriormente, por lo que finalmente todas las cavidades cilíndricas son excitadas con la misma fase y amplitud. Una descripción de las redes de distribución y de las fases de las cavidades en cada caso puede verse en las Figs. 3a y 3b.

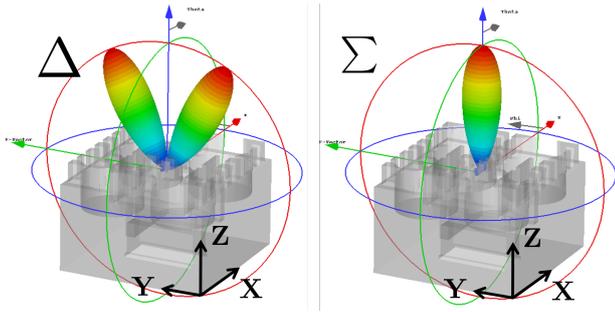


Figure 5. Diagramas de radiación simulados en 3D en escala lineal. La figura de la izquierda corresponde al diagrama de diferencia, el de la derecha al diagrama de suma.

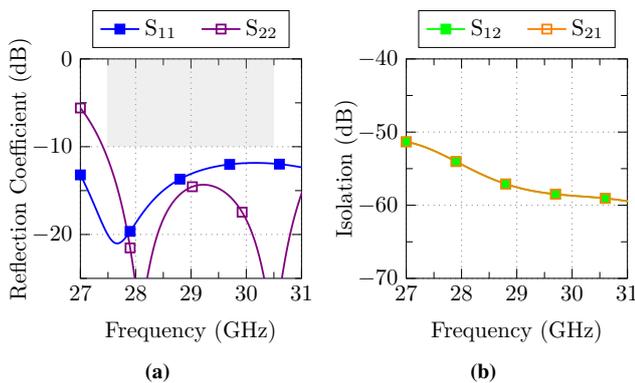


Figure 6. Coeficientes de reflexión simulados. (a) Coeficiente de reflexión de cada puerto y (b) aislamiento entre puertos.

3 Resultados preliminares

Las Figs. 4 a 6 muestran diferentes resultados simulados sobre el funcionamiento de la antena. En primer lugar, se muestran dos cortes de los diagramas de radiación, en $\phi=0^\circ$ (plano XZ) y $\phi=90^\circ$ (plano YZ). Las Figs. 4a y 4b muestran los diagramas suma, y las Figs. 4c y 4d los diagramas diferencia. Obsérvese la buena estabilidad de todos los diagramas en todo el rango de frecuencias (más de un 10%). Además, para una mejor ilustración, la Fig. 5 muestra el diagrama 3D en cada caso. Por último, la Fig. 6a muestra la buena adaptación en ambos casos y, lo que es más importante, el gran aislamiento entre los puertos, superior a 50 dB en toda la banda de trabajo (Fig. 6b).

4 Conclusiones

En este trabajo se propone una antena monopulso 2×2 . Su principal novedad radica en su gran compacidad, inusual en el campo de las antenas monopulso totalmente metálicas. La antena consta de una sola capa de placa metálica. La función de comparador monopulso se realiza combinando diferentes guías de onda de la tecnología GW: GW y RGW. La agrupación de antenas de una sola capa presenta una alta eficiencia por encima del 90%. Los resultados simulados demuestran la viabilidad de la idea a la espera de la

demostración experimental con una agrupación mayor.

References

- [1] N. Rezazadeh and L. Shafai, "Ultrawideband monopulse antenna with application as a reflector feed," *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 10, no. 4, pp. 393–400, 2016.
- [2] J. Zhao, H. Li, X. Yang, W. Mao, B. Hu, T. Li, H. Wang, Y. Zhou, and Q. Liu, "A compact ka-band monopulse cassegrain antenna based on reflectarray elements," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 17, no. 2, pp. 193–196, 2017.
- [3] J. Zhu, S. Liao, S. Li, and Q. Xue, "60 ghz substrate-integrated waveguide-based monopulse slot antenna arrays," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 66, no. 9, pp. 4860–4865, 2018.
- [4] F. Cao, D. Yang, J. Pan, D. Geng, and H. Xiao, "A compact single-layer substrate-integrated waveguide (siw) monopulse slot antenna array," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 16, pp. 2755–2758, 2017.
- [5] M. Ferrando-Rocher, J. I. Herranz-Herruzo, A. Valero-Nogueira, and B. Bernardo-Clemente, "Full-metal k-ka dual-band shared-aperture array antenna fed by combined ridge-groove gap waveguide," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 18, no. 7, pp. 1463–1467, 2019.
- [6] T. Makdissy, R. Gillard, E. Fourn, M. Ferrando-Rocher, E. Girard, H. Legay, and L. Le Coq, "'phoenix' reflectarray unit cell with reduced size and inductive loading," *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 10, no. 12, pp. 1363–1370, 2016.
- [7] J. I. Herranz-Herruzo, A. Valero-Nogueira, M. Ferrando-Rocher, B. Bernardo-Clemente, R. Lenormand, A. Hirsch, J.-L. Almeida, M. Arnaud, and L. Barthe, "Low cost switchable rhcp/lhcp antenna for sotm applications in ka-band," in *2015 9th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*. IEEE, 2015, pp. 1–4.
- [8] M. Ferrando-Rocher, A. Valero-Nogueira, J. I. Herranz-Herruzo, and A. Berenguer, "V-band single-layer slot array fed by ridge gap waveguide," in *2016 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI)*. IEEE, 2016, pp. 389–390.
- [9] J. Herranz-Herruzo, M. Ferrando-Rocher, A. Valero-Nogueira, R. Lenormand, A. Hirsch, J. Almeida, M. Arnaud, and L. Barthe, "Locomo satcom terminal: A switchable rhcp/lhcp array antenna for on-the-move applications in ka-band," in *2015 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*. IEEE, 2015, pp. 210–211.

- [10] M. Ferrando-Rocher, J. I. Herranz-Herruzo, D. Sánchez-Escuderos, and A. Valero-Nogueira, "Dual circularly-polarized slot-array antenna in ka-band fed by groove gap waveguide," in *2020 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and North American Radio Science Meeting*. IEEE, 2020, pp. 421–422.
- [11] M. Ferrando Rocher, "Gap waveguide array antennas and corporate-feed networks for mm-wave band applications," Ph.D. dissertation, Universitat Politècnica de València, 2019.
- [12] M. Baquero-Escudero, A. Valero-Nogueira, M. Ferrando-Rocher, B. Bernardo-Clemente, and V. E. Boria-Esbert, "Compact combline filter embedded in a bed of nails," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 67, no. 4, pp. 1461–1471, 2019.
- [13] A. Berenguer, V. Fusco, M. Ferrando-Rocher, and V. E. Boria, "A fast analysis method for the groove gap waveguide using transmission line theory," in *2016 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*. IEEE, 2016, pp. 1–5.
- [14] D. Sánchez-Escuderos, J. I. Herranz-Herruzo, M. Ferrando-Rocher, and A. Valero-Nogueira, "True-time-delay mechanical phase shifter in gap waveguide technology for slotted waveguide arrays in ka-band," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 69, no. 5, pp. 2727–2740, 2020.
- [15] M. Ferrando-Rocher, J. I. Herranz-Herruzo, D. Sánchez-Escuderos, and A. Valero-Nogueira, "A novel circularly-polarized t-shaped slot array antenna in ka-band," in *2020 14th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*. IEEE, 2020, pp. 1–3.
- [16] D. Sánchez-Escuderos, M. Ferrando-Rocher, J. I. Herranz, H. C. Moy-li, and A. Valero-Nogueira, "Dual-polarized frequency selective surface for sotm applications," 2018.
- [17] M. Ferrando-Rocher, J. I. Herranz-Herruzo, A. Valero-Nogueira, and B. Bernardo-Clemente, "Compact k/ka dual-band antenna on gap waveguide technology," in *2019 13th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*. IEEE, 2019, pp. 1–4.
- [18] M. Ferrando-Rocher, A. Valero-Nogueira, J. I. Herranz-Herruzo, and D. Sánchez-Escuderos, "Single-layer dual-band subarray for 20/30 ghz using gap waveguide technology," in *2018 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*. IEEE, 2018, pp. 1097–1098.
- [19] M. Ferrando-Rocher, J. I. Herranz-Herruzo, D. Sánchez-Escuderos, and A. Valero-Nogueira, "8x8 single-layer 30-ghz antenna with a combined ridge-groove gap waveguide network," 2018.
- [20] M. Ferrando-Rocher, A. Valero-Nogueira, and J. I. Herranz-Herruzo, "K/ka dual-band dual-polarized gap waveguide array antenna," in *2019 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting*. IEEE, 2019, pp. 663–664.
- [21] M. Ferrando-Rocher, J. Herranz-Herruzo, A. Valero-Nogueira, and B. Bernardo-Clemente, "Satcom on-the-move antenna with mechanically switchable circular polarization," 2017.
- [22] M. Ferrando-Rocher, A. Valero-Nogueira, J. I. Herranz-Herruzo, A. Berenguer, and B. Bernardo-Clemente, "Groove gap waveguides: A contactless solution for multilayer slotted-waveguide array antenna assembly," in *2016 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*. IEEE, 2016, pp. 1–4.
- [23] M. Ferrando-Rocher, A. Valero-Nogueira, J. I. Herranz-Herruzo, and J. Teniente, "60 ghz single-layer slot-array antenna fed by groove gap waveguide," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 18, no. 5, pp. 846–850, 2019.
- [24] A. Valero-Nogueira, J. I. Herranz-Herruzo, M. Ferrando-Rocher, R. Lenormand, A. Hirsch, and J.-L. Almeida, "Switchable rhcp/lhcp slotted waveguide array antenna for satcom on-the-move applications in ka-band," in *The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014)*. IEEE, 2014, pp. 2047–2051.
- [25] M. Ferrando-Rocher, A. Valero-Nogueira, and J. I. Herranz-Herruzo, "New feeding network topologies for high-gain single-layer slot array antennas using gap waveguide concept," in *2017 11th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*. IEEE, 2017, pp. 1654–1657.