

Híbrido 180° de banda ancha en tecnología uniplanar para ondas milimétricas

Enrique Villa, Jaime Cagigas, Eduardo Artal

villae@unican.es, cagigasj@unica.es, artale@unican.es

Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones. Universidad de Cantabria.
Plaza de la Ciencia s/n, 39005, Santander, Cantabria

Abstract- This document presents the design, simulation and characterization of a hybrid-ring coupler using uniplanar technology, developed at millimetre-wave frequencies. The hybrid-ring coupler is designed using a combination of coplanar waveguide (CPW) and slotline transmission lines in order to achieve the phase difference response between the transmitted and coupled ports. The use of uniplanar technology makes a straightforward and fast implementation, and also offers an easy integration with other MIC or MMIC applications. The circuit is optimized to get the best phase results by tuning the slotline branch of the ring. Circuit characterization shows a wideband frequency response, around 17 GHz, in terms of phase difference ($180^\circ \pm 5^\circ$) working up to 40 GHz.

I. INTRODUCCIÓN

El diseño de circuitos utilizando tecnología planar frecuentemente utiliza líneas microstrip como la línea de transmisión más común para la propagación de las señales. Como variante competitiva para el diseño de líneas de transmisión se encuentra el uso de tecnologías uniplanares, tales como la guía de onda coplanar (CPW=Coplanar Waveguide), la ‘slotline’ o la línea coplanar (CPS=Coplanar slotline) (Fig. 1). La utilización de este tipo de líneas de transmisión presenta la ventaja de una sencilla integración de elementos en paralelo, evita la utilización de pasos a masa (‘via holes’), así como una menor sensibilidad al grosor del sustrato, frente a las líneas microstrip. En este sentido se pueden encontrar numerosas estructuras en la literatura [1-4] que utilizan líneas uniplanares.

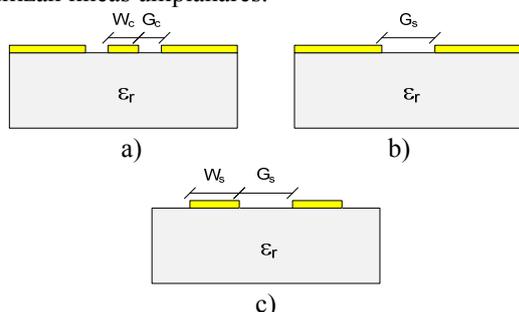


Fig. 1. Diferentes líneas en tecnología uniplanar: a) CPW; b) Slotline; c) CPS

Aprovechando las ventajas de este tipo de tecnología se presenta el diseño de un anillo híbrido de banda ancha con guías de onda coplanares y slotline. El uso de anillos híbridos (Fig. 2) tiene especial interés en la realización de múltiples sistemas de microondas, tales como mezcladores, moduladores o cambiadores de fase entre otros. Permite la obtención de la combinación de señales con idéntica fase,

conocida como salida suma (Σ), y la combinación en oposición de fase, conocida como salida diferencia (Δ), en un amplio rango de frecuencias. En el caso concreto de este diseño, debe cubrir un ancho de banda como mínimo del 32% en 31 GHz.

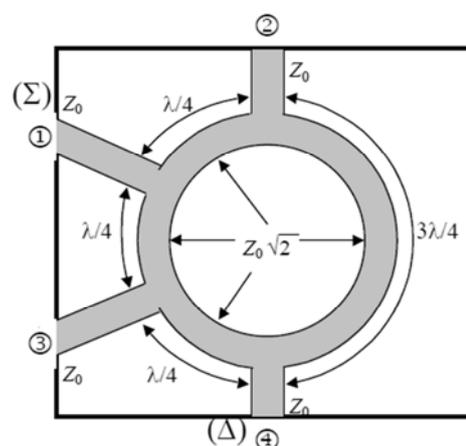


Fig. 2. Anillo híbrido como combinator: señales suma (Σ) y diferencia (Δ) en los accesos de salida

Dentro del conjunto de anillos híbridos se pueden encontrar diferentes tipos, que se dividen según la forma en la que se consigue el cambio de fase en uno de los accesos: tenemos el anillo ‘rat-race’ por diferencia de longitudes eléctricas [5], por el uso de un inversor de fase [2,4] o por el cruce de las referencias de líneas de transmisión (‘crossover’) [6]. El gran ancho de banda de funcionamiento que se requiere hace pensar en una opción de diseño de baja dependencia con la frecuencia. La opción escogida se basa en el uso de un inversor de fase a través de un tramo en slotline, que presentaría un cambio de fase independiente de la frecuencia.

El diseño viene marcado por el desarrollo de la Fase II del proyecto QUIJOTE (Q-U-I Joint TENERIFE), en el cual se ha modificado el esquema original de la Fase I, con el objeto de tener un mayor número de canales y obtener una mayor eficiencia por píxel [7].

II. HÍBRIDO 180° BANDA ANCHA

El circuito diseñado está basado en la utilización de guías de onda coplanares (CPW) y uniones en T de dichas guías CPW (Fig. 3a). En cada unión en T de línea CPW se conectan ramas de longitud eléctrica igual a un cuarto de longitud de onda. Se necesita modificar el circuito para

conseguir el cambio de fase 180° . Para conseguir dicho cambio, se utiliza una red inversora que sustituirá a una de las ramas $\lambda/4$ en línea CPW del híbrido. Está red inversora es un tramo de un cuarto de longitud de onda sobre slotline, con lo que una de las uniones en T de línea CPW pasa a ser una unión en T CPW-slotline (Fig. 3b).

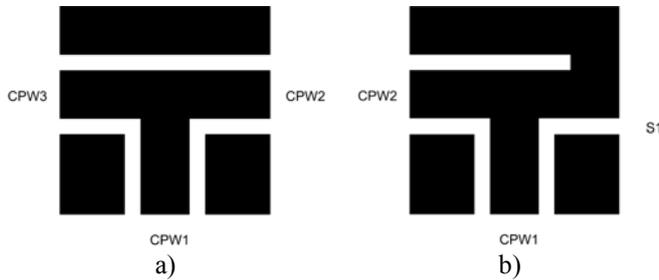


Fig. 3. a) Unión en T entre líneas CPW; (b) Unión en T para el uso del inversor de fase

La forma de conseguir el cortocircuito para el gap de línea CPW que no se usa en el inversor de fase puede realizarse de múltiples formas, pero se ha optado por la utilización de un stub radial en slotline por su mayor respuesta en frecuencia.

El circuito se ha diseñado sobre un sustrato de Alúmina, cuyas características pueden verse en la Fig. 4. Se debe eliminar la metalización inferior en el proceso de fabricación debido al tipo de líneas de transmisión utilizadas.

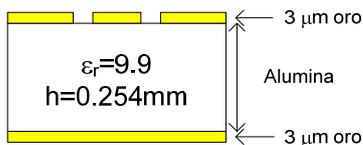


Fig. 4. Sustrato de Alúmina

La impedancia característica de las líneas de acceso en línea CPW es $Z_{CPW0}=50 \Omega$, mientras que la impedancia de las líneas que forman el anillo, tanto en CPW como en slotline, son aproximadamente $Z_{CPW-R}=70.7 \Omega$ y $Z_{S-R}=70.7 \Omega$. Los tramos del anillo tienen longitudes eléctricas iguales a un cuarto de longitud de onda a la frecuencia central de diseño ($f_0=31 \text{ GHz}$), aunque como se verá posteriormente, con objeto de mejorar la respuesta en fase del circuito, el tramo en slotline se utilizará para aumentar su banda de funcionamiento.

En la Fig. 5 puede verse un esquema equivalente del circuito diseñado, donde se observan las dos entradas (INPUT 1 e INPUT 2) al anillo y las dos salidas del mismo, marcadas con los símbolos Σ y Δ , que responden a (1) y (2) respectivamente:

$$\Sigma = INPUT1 + INPUT2 \quad (1)$$

$$\Delta = INPUT1 - INPUT2 \quad (2)$$

En dicho esquema puede verse como se cambia la fase de la señal por medio de un inversor en slotline, que hace que la línea CPW en Δ sea excitada por la ranura contraria respecto al resto de los accesos.

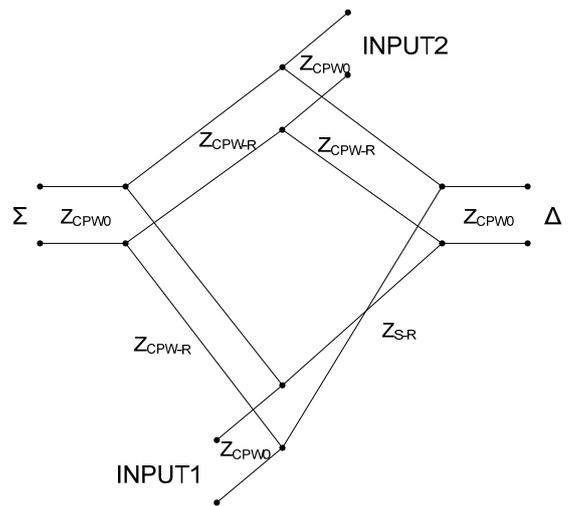


Fig. 5. Esquema equivalente del anillo híbrido diseñado

El circuito debe asegurar un correcto funcionamiento en la banda de 31 GHz para un rango superior al 32%, lo cual supone un alto porcentaje en ancho de banda. Para ajustar la respuesta del híbrido se va a utilizar la longitud del tramo en slotline a modo de sintonía para lograr un mayor ancho de banda de trabajo, siempre y cuando no produzca un mayor desequilibrio en la división de la señal hacia ambas ramas.

III. DISEÑO Y SIMULACIÓN

Como herramientas de diseño se han utilizado aplicaciones software comerciales (ADS de Agilent) para la obtención de los parámetros característicos de las diferentes líneas de transmisión para cada valor de impedancia utilizado. Para su cálculo, se han tenido en cuenta los factores limitadores, como la realización de la máscara en un fotolito de alta definición, el proceso de fabricación mediante grabado químico y el método de medida que se va a usar. La fabricación de línea con anchuras, en este caso ranuras para la rama en slotline, muy pequeñas, puede hacer que el proceso de grabado en el sustrato no sea exitoso, con lo que se debe tomar un valor de compromiso como límite inferior. El circuito final diseñado puede observarse en la Fig. 6.

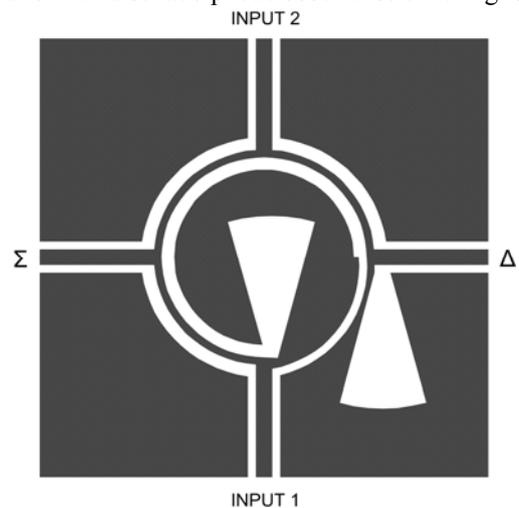


Fig. 6. Anillo híbrido CPW diseñado

El análisis del circuito con accesos CPW se ha llevado a cabo con simuladores electromagnéticos, fundamentalmente motivado por la ausencia de modelos circuitales para las

líneas de transmisión. Esto conlleva que el tiempo de computación sea sustancialmente más elevado, y es una dificultad añadida para la optimización del circuito.

Se presentan resultados de la simulación de la estructura desde dos puntos de vista, aprovechando la posibilidad que ofrece la herramienta software. En una de ellas se considera la pista conductora como 'strip' (existencia de metalización) mientras que en la segunda se considera pista 'slot' (ausencia de metalización).

La diferencia entre ambos tipos viene marcado por cómo se define la pista conductora sobre el sustrato. La utilización clásica es como pistas 'strip', en la que se considera que la pista conductora es la que está presente en la máscara de la estructura. Considerando como pista 'slot' se debe implementar la estructura inversa: se define como metalización lo que realmente son ranuras en el circuito. En la Tabla 1 pueden verse ambas definiciones.

FreeSpace	FreeSpace
Strip-metallization	Slot-metallization
Alúmina 9.9 h=10mil	Alúmina 9.9 h=10mil
FreeSpace	FreeSpace

Tabla 1. Definiciones para ambos tipos de simulación

En el caso de considerar las líneas de transmisión como 'strip', la estructura utilizada en simulación es idéntica a la que se muestra en la Fig. 6, mientras que si se utiliza la opción de 'slot', se debe generar la máscara inversa, con lo que se utiliza en la aplicación el circuito de la Fig. 7.



Fig. 7. Anillo híbrido CPW con máscara inversa

Para ambas simulaciones el estímulo al circuito se introduce de diferente manera, aprovechando la versatilidad que el software nos proporciona. En el caso de la definición con líneas 'strip' se utiliza un terminal asociado a la pista central de la línea CPW y dos terminales de masa de referencia a ambos lados de la línea. Esta solución presenta 12 terminales para la simulación, lo que deriva en un tiempo de cómputo elevado. En la segunda opción se reduce el número de terminales (8), utilizando estímulos coplanares. En ambas simulaciones se ha añadido un elemento de interconexión entre los dos planos laterales de la línea CPW, con el fin de asegurar la equipotencialidad de los mismos y evitar la propagación del modo impar de la línea CPW.

Los resultados obtenidos para ambas simulaciones pueden observarse en las siguientes figuras (Fig. 8 y Fig. 9).

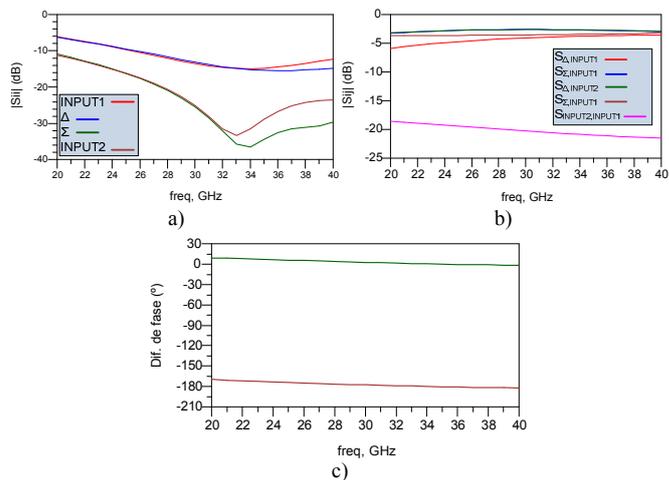


Fig. 8. Resultados simulación con configuración 'strip': a) Pérdidas de retorno; b) Pérdidas de inserción; c) En marrón diferencia de fase con entrada en INPUT 1 y verde con entrada en INPUT 2

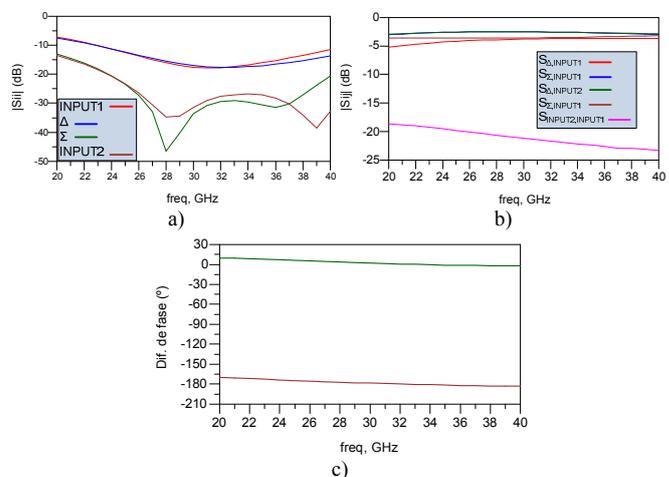


Fig. 9. Resultados simulación con configuración 'slot': a) Pérdidas de retorno; b) Pérdidas de inserción; c) En marrón diferencia de fase con entrada en INPUT 1 y verde con entrada en INPUT 2

Se observa que los resultados de ambas simulaciones son similares, pero para el análisis de estructuras CPW se considera más apropiada la segunda opción con el uso de la máscara inversa.

Los mejores resultados en cuanto a ancho de banda de funcionamiento, considerando como valor referencia la diferencia de fase, se consiguen con el circuito mostrado en las figuras anteriores, en el que ambas máscaras representan el mismo circuito CPW a implementar. En el proceso de diseño se ha ido modificando la longitud del arco en slotline a modo de elemento de sintonía, observando que el nivel de amplitudes y desequilibrio entre ramas no se vio afectado, pero se observó una mejor respuesta en banda a medida que el tramo en slotline se sintonizaba más arriba en frecuencia.

IV. CARACTERIZACIÓN

El híbrido diseñado tiene accesos en línea CPW, de forma que para caracterizar la respuesta del circuito se utiliza un banco de medida compuesto por la estación de sondas coplanares y el analizador de redes, obteniendo los parámetros de Scattering correspondientes.

Como se ha comentado, este circuito se ha fabricado sobre un sustrato de Alúmina, al cual se le debe eliminar la metalización inferior que presenta para el correcto

funcionamiento de las diferentes líneas de transmisión. Debido a esto, para facilitar la medida, se ha añadido en la parte inferior del circuito en alumina otro sustrato de baja constante dieléctrica, próxima a la unidad, y cierto espesor, que nos permita sustentar el circuito sobre la estación sin miedo de que el funcionamiento del circuito se degenere. La solución adoptada es un sustrato de $\epsilon_r=1.18$ y espesor $h=2.59\text{mm}$, que presenta una única cara metalizada.

El circuito fabricado puede verse en la Fig. 10. En la imagen pueden apreciarse las uniones de equipotencialidad de los planos laterales de la línea CPW por medio de hilos de oro de $25\ \mu\text{m}$ de diámetro. Estos hilos se han colocado en todas las intersecciones a fin de asegurar el potencial en estos puntos singulares.

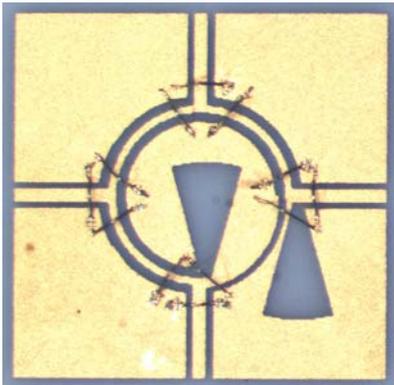


Fig. 10. Anillo híbrido en alumina

Las medidas del circuito se presentan en la Fig 11, representando las pérdidas de retorno de los diferentes accesos (a), la transmisión entre INPUT 1 e INPUT 2 y las pérdidas de cada rama (b), y la diferencia de fase en las salidas.

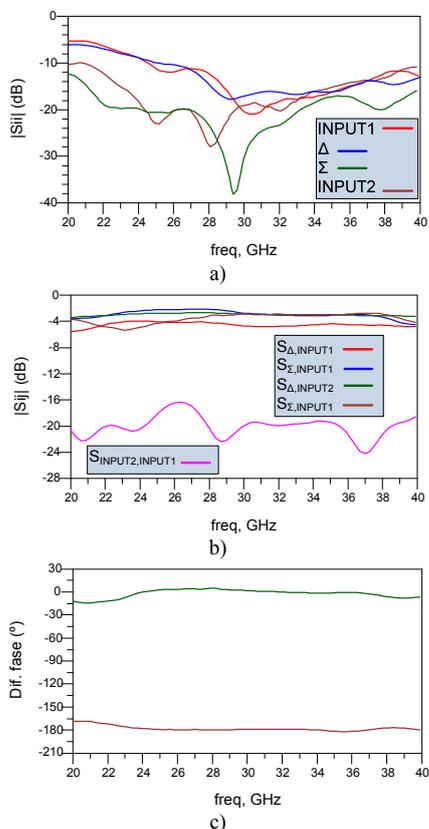


Fig. 11. Medidas del anillo híbrido

Los resultados de medida se observa que se ajustan de manera bastante precisa a los de simulación. Una vez el ajuste realizado con el tramo de un cuarto de longitud de onda en slotline, se ha obtenido un ancho de banda de funcionamiento de aproximadamente 17 GHz (23-40 GHz), si bien se ha observado un desequilibrio entre las ramas divididas. El camino que depende del tramo en slotline presenta un nivel de pérdidas superior del que presentan los otros tres, con lo que a pesar de haber seleccionado un valor de longitud eléctrica óptimo para la fase, se debería diseñar un tramo en slotline que equilibrase la división de potencia de ambas ramas dentro de las limitaciones tecnológicas. El problema de la no existencia de modelos de este tipo de líneas complica el proceso de optimización del circuito.

V. CONCLUSIONES

Se ha presentado el diseño, simulación y caracterización de un anillo híbrido en tecnología uniplanar en la banda de milimétricas. El circuito se ha diseñado con guías de onda coplanar y slotline como líneas de transmisión, y se ha caracterizado en la estación de sondas coplanares. El circuito presenta una banda de funcionamiento de alrededor de 17 GHz (23-40 GHz) considerando las señales en oposición de fase ($180^\circ \pm 5^\circ$), con un ligero desequilibrio en la división de potencia entre ramas. La respuesta para la combinación de señales en fase presenta también el mismo ancho de banda de funcionamiento en su respuesta en fase, con un mayor equilibrio entre los niveles de amplitud por rama. El circuito cumple el requerimiento de funcionamiento en un gran ancho de banda trabajando con longitudes de onda milimétricas, cubriendo incluso hasta 50 GHz en términos de fase (27 GHz de ancho de banda).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado con la financiación del Plan Nacional de I+D+i del Ministerio de Educación y Ciencia, proyecto del Programa Nacional de Astronomía y Astrofísica, referencia AYA2007-68058-C03-03.

La fabricación y montaje de los circuitos han sido realizados por Ana R. Pérez y Eva Cuerno.

REFERENCIAS

- [1] M. Abdo Tucko and I. Wolff, "Novel 36 GHz GaAs frequency doublers using (M)MIC coplanar technology" *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 1167-1170, Junio 1992.
- [2] C.H. Ho, L. Fan and K. Chang, "Broad-band uniplanar hybrid-ring coupler" *Electronic Letters*, vol. 29, pp. 44-45, Enero 1993.
- [3] D. Cahana, "A new coplanar waveguide/slotline double-balanced mixer" *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 967-968, 1989.
- [4] C.H. Ho, L. Fan and K. Chang, "New uniplanar coplanar waveguide hybrid-ring couplers and magic-T's" *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 42, no. 12, pp. 2440-2448, Diciembre 1994.
- [5] D.I. Kim and Y. Naito, "Broad-band design of improved hybrid-ring 3-dB directional couplers" *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 30, no. 11, pp. 2040-2046, 1982.
- [6] C.H. Ho, L. Fan and K. Chang, "Ultra wide band slotline hybrid-ring couplers" *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 1175-1178, Junio 1992.
- [7] QUIJOTE Project internal communication