

# Divisor Activo con Salidas en Cuadratura para Aplicaciones de Banda Ultra-ancha

Yolanda Jato Llano, Amparo Herrera Guardado

yolanda.jato@unican.es, amparo.herrera@unican.es

Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones . Universidad de Cantabria . Edificio de Ingeniería de Telecomunicación Jose Luis García García. Plaza de la Ciencia s/n. Santander. Cantabria

**Abstract-** This paper presents the design, simulation and measurement of an Ultra-wideband MMIC 0/90° splitter. This circuit provides the local oscillator signals to the mixers of the UWB transceiver with the appropriate phase shift. The splitter shows a novel topology as it integrates in the same circuit the division of the signals as well as the 90° phase shift. The simulations give good results with a phase shift error of only 1.2° in the whole operation band, from 6 GHz to 9 GHz. Probe measurements give results similar to simulations, however, PCB measurements differ more due to the effect of different parameters difficult to characterized in simulation.

## I. INTRODUCCIÓN

Una de las topologías de receptor más utilizadas recientemente en los sistemas de banda ultra-ancha (UWB) es la de conversión directa [1]. Las principales ventajas que presenta son su gran integración y bajo coste, ambas propiedades de gran importancia en las tecnologías móviles actuales. La conversión directa se caracteriza por encontrarse la RF y la OL en la misma frecuencia, siendo el esquema de esta arquitectura el que se presenta en la Fig.1.

Como se puede ver, se usan dos canales I/Q ya que las dos bandas laterales del espectro de RF contienen información diferente y si no son separadas en dos fases la señal se corrompería. Esta configuración obliga a que la señal del OL entre en los mezcladores desfasada 90° respecto a cada una de las ramas.

En este trabajo se va a presentar el diseño, simulación y medida, de un divisor 0/90° de banda ultra-ancha, que proporcionará a los mezcladores las señales provenientes del OL con el desfase necesario.

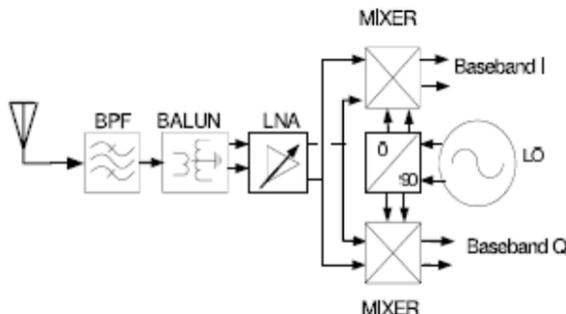


Fig.1 . Topología de un receptor de conversión directa.

Generalmente, los divisores se suelen diseñar como circuitos pasivos [2-4], sin embargo, el número de inconvenientes que presentan son numerosos, como por ejemplo grandes pérdidas, operación en banda estrecha y gran tamaño. Por estas razones se opta por adoptar una solución activa para el diseño del divisor, ya que se necesita que trabaje en una banda muy ancha, de 6 a 9 GHz y que su tamaño sea el menor posible.

El divisor que se presenta en este artículo, es una solución novedosa ya que proporciona en el mismo chip de reducido tamaño tanto la división de la señal del OL como el desfase de 90°, que generalmente se realizan en circuitos distintos. Además, se han realizado medidas tanto en estación de sondas como en montaje en un PCB usando como sustrato CuClad de  $\epsilon=2.17$ , permitiéndonos realizar una comparación de los resultados obtenidos. El tamaño del chip incluyendo los pads de RF y continua es de 1 mm x 2 mm.

## II. DISEÑO Y SIMULACIÓN

La topología del divisor consta de una primera etapa en puerta común que realiza la adaptación de entrada de banda ancha [5] a 50  $\Omega$ . La siguiente etapa es un amplificador con salidas simétricas en drenador y en fuente, que proporciona un desfase de 180° entre las salidas. Después, cada una de ellas es introducida en un transistor en fuente común que presenta a su entrada un circuito RC. Este circuito RC será el encargado de llevar a cabo el desfase entre las dos señales de salida. En cada una de las ramas se utilizó una combinación distinta de valores de resistencia y condensador para conseguir el desfase deseado. En la Fig.2 se puede ver la variación del desfase de salida en función del valor de uno de los condensadores (variación de 0.5 a 20 pF).

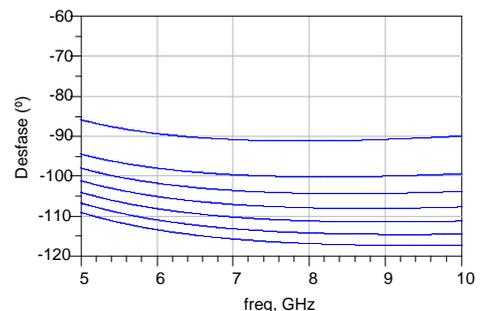


Fig.2. Variación del desfase con la red RC.

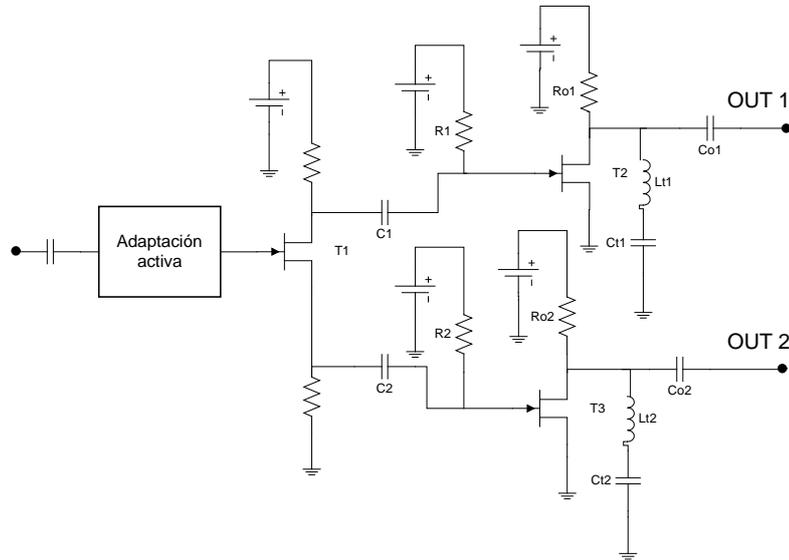


Fig.3 . Esquema del divisor 0/90°.

Esta etapa de salida tiene además la función de buffer, permitiendo la adaptación a 50 Ω. En la Fig.3 se presenta el esquemático del circuito.

Los resultados que se han obtenido son buenos, con unas pérdidas máximas de 2.3 dB, buenas adaptaciones en toda la banda de 6 a 9 GHz y un desfase entre las señales de salida en torno a 90°, con un error máximo en banda de 1.24°, como se muestra en la Fig. 4.

En estos resultados ya se tienen en cuenta las líneas de interconexión del “layout”, que ha sido diseñado poniendo especial cuidado en no alterar el desfase de las señales.

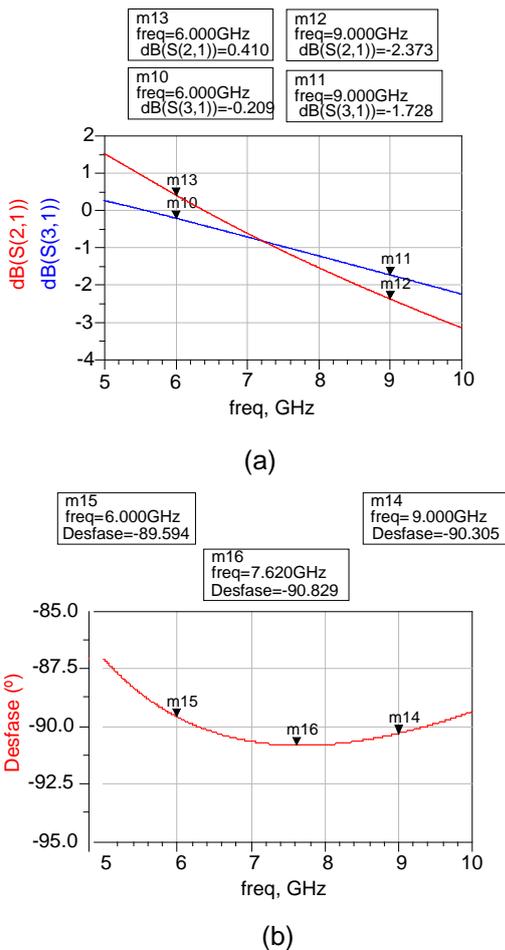


Fig.4 . Resultados de simulación: (a) Pérdidas, (b) Desfase.

### III. MEDIDAS

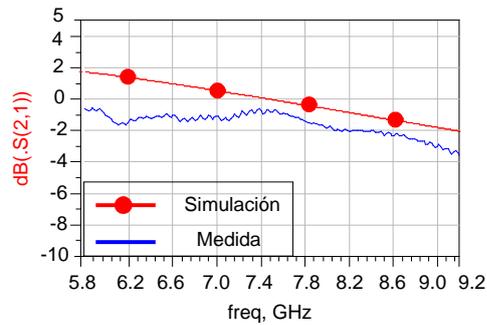
Se han realizado dos tipos de medidas para caracterizar el comportamiento del divisor 0/90°. A continuación se muestran los detalles de cada una.

#### A. Medida en estación de sondas.

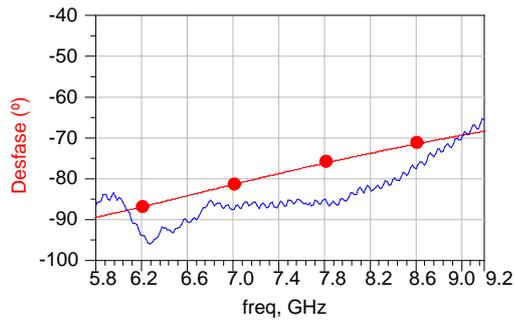
La medida con la estación de sondas [6] es la menos intrusiva, ya que se mide directamente el circuito, por lo que nos dará el resultado más similar a la simulación. El problema que apareció en la medida sin embargo, es que al carecer de un sustrato de calibración diferencial para las sondas de salida, se tuvo que realizar la medida de dos puertos consecutivamente dejando el otro puerto en abierto. Se analizó la misma topología en simulación para poder comparar ambas, mostrándose los resultados en la Fig.5 (solo se muestran los datos de un puerto ya que los del otro son similares).

Como se puede comprobar las pérdidas en medida y simulación son similares, con un valor máximo a 9 GHz de -3.5 dB. Los valores de adaptación son un poco peores que en simulación, y en cuanto al desfase entre las salidas, si bien no se obtienen -90°, ya que las salidas no estaban balanceadas, los valores obtenidos nos sirven para comparar con la simulación donde se comprueba que los resultados sean similares.

Los desfases que se obtienen a 6 GHz, el límite inferior de la banda son de 88.2 ° para simulación y de 84.6° para la medida. En el límite superior de la banda, a 9 GHz, los



(a)



(b)

Fig. 5 . Resultados de medida con estación de sondas: (a) Pérdidas, (b) Desfase.

resultados son de  $69.3^\circ$  en simulación y  $70.4^\circ$  en medida. Se comprueba que los valores obtenidos guardan gran concordancia, por lo que concluimos que la medida se ajusta bastante a la simulación realizada previamente.

### B. Medida en montaje.

Con el fin de poder medir el circuito con salidas diferenciales para caracterizarlo correctamente, se realizó un montaje del chip en un portador de latón sobre sustrato CuClad ( $\epsilon_r = 2.17$ ,  $T = 0.254$  mm). La Fig. 6 muestra una fotografía del montaje

El montaje del circuito nos permite el uso de un analizador de redes de 3 puertos, donde sí podremos realizar el proceso de calibración diferencial imposible de realizar en puntas.

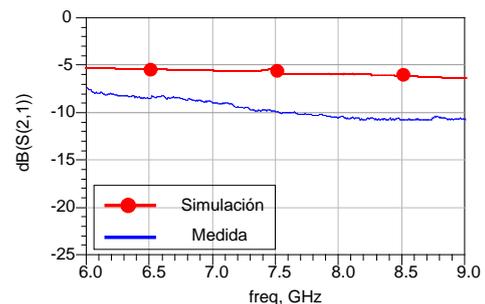
Para poder comparar las simulaciones con las medidas, es necesario introducir en las primeras todos los elementos presentes. En el caso de la medida con estación de sondas, sólo era necesario simular las líneas del layout, ahora además habrá que introducir las líneas del PCB con su sustrato correspondiente, los "bonding" de unión del chip con la placa, aquellos componentes externos que se hayan usado etc..En la Fig.7 se muestra la comparación de la medida y la simulación del montaje del circuito.

Como se puede ver en la figura, la medida presenta 5 dB más de pérdidas que la simulación. En cuanto al desfase, vemos que existe bastante diferencia entre la simulación y la medida. Además el resultado de simulación ya se aleja bastante de los  $-90^\circ$  que se obtenían inicialmente.

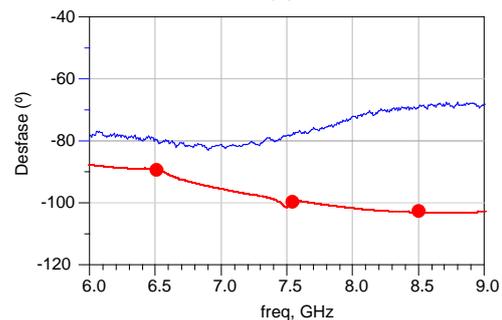
Durante el proceso de caracterización electromagnética de las líneas del circuito impreso, se comprobó que la introducción de estas líneas en la simulación cambiaba mucho los resultados, incluso las líneas de polarización.



Fig. 6 . Fotografía del montaje del balun 0/90°.



(a)



(b)

Fig. 7 . Resultados de medida en montaje.

Esto se debe a que la frecuencia de operación del circuito es lo bastante elevada como para apreciar de manera notable los efectos de los parásitos y acoplos introducidos por las líneas.

Por otro lado, otro de los elementos incluidos en la simulación del montaje son los hilos de "bonding" [7]. La longitud de estos hilos se midió de manera aproximada con un microscopio y se modelaron como un hilo (bobina en serie con resistencia) con el mismo diámetro que el hilo de "bonding". Otros componentes utilizados son condensadores DiCap para el desacoplo de continua y conectores SMA a la entrada y salida.

En definitiva, en la simulación del montaje aparecen muchos parámetros que influyen sobre el resultado inicial, y que además, es difícil caracterizarlos de manera exacta como se puede comprobar al compararla con la medida.

#### IV. CONCLUSIONES

Se ha diseñado un divisor con salidas desfasadas  $90^\circ$  entre sí en tecnología ED02AH de OMMIC para un sistema de banda ultra-ancha. Se trata de un circuito novedoso, ya que no se tiene conocimiento de la existencia de circuitos de tanta banda y con estas prestaciones. Los resultados obtenidos en simulación son muy buenos, con un error máximo de fase de  $1.2^\circ$  en la banda de 6 a 9 GHz, buenas adaptaciones y unas pérdidas en torno a 2 dB.

En el proceso de medida en puntas hemos comprobado la similitud de las simulaciones, aunque en el caso de la medida del circuito en un montaje, las medidas se alejaban del resultado de simulación debido a la influencia de los componentes externos propios del montaje.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias a la financiación del proyecto HORFI: Tecnologías de RF para terminales MIMO de banda ultra-ancha, TEC2012-38402-C04-04 del Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España.

#### REFERENCIAS

- [1] B. Razavi, "Design considerations for direct-conversion receivers," *IEEE Transactions on circuits and systems-II: Analog and digital signal processing*, Vol. 44, pp. 428-435, June 1997.
- [2] Liang-Hung Lu; Yu-Te Liao; Chung-Ru Wu, "A miniaturized Wilkinson power divider with CMOS active inductors," *Microwave and Wireless Components Letters, IEEE*, vol.15, no.11, pp.775,777, Nov. 2005.
- [3] Bialkowski, M.E.; Abbosh, A.M., "Design of a Compact UWB Out-of-Phase Power Divider," *Microwave and Wireless Components Letters, IEEE*, vol.17, no.4, pp.289,291, April 2007.
- [4] Kaijun Song; Quan Xue, "Novel Ultra-Wideband (UWB) Multilayer Slotline Power Divider With Bandpass Response," *Microwave and Wireless Components Letters, IEEE*, vol.20, no.1, pp.13,15, Jan. 2010.
- [5] K. B. Niclas, "Active matching with common-gate MESFET's," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. MTT-33, No. 6, June 1985.
- [6] Teparrti, V; Ferrero, A; Sayed, M, "Modern RF and microwave measurement techniques," *Cambridge University Press*, 2013.
- [7] Alimenti, F.; Mezzanotte, P.; Roselli, L.; Sorrentino, R., "Modeling and characterization of the bonding-wire interconnection," *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, vol.49, no.1, pp.142,150, Jan 2001.