

Diseño RF de un Transmisor MIMO UWB

Carlos Hidalgo García⁽¹⁾, Amparo Herrera Guardado⁽¹⁾

chg12@alumnos.unican.es, aherrera@unican.es

⁽¹⁾ Dpto. de Comunicaciones. Universidad de Cantabria 39005.

Abstract- An Ultra Wide Band MIMO Transmitter using a six way splitter is presented in this document. It has been designed as an hybrid circuit in an Arlon substrate to be confined in the smallest space at the desired frequency range. The aim of the proposed system is the integration of MIMO and UWB to obtain most advantages of both technologies and to balance their disadvantages. Although UWB is a suitable option if inexpensive costs are taking into account, it is limited to short range applications due to its very low transmitted power. But MIMO technique in UWB systems improve the link robustness of UWB or its data rate, exploiting multipath and diversity gain to improve the SNR without consuming extra radio frequency. This is only valid if the antennas are placed appropriately distance among them.

I. INTRODUCCIÓN

En este documento se presentan el diseño de la parte RF de un transmisor MIMO de cinco antenas con una banda ultra ancha de 3 GHz comprendida entre los 6 GHz y los 9 GHz. De la misma forma, se comentarán las medidas obtenidas tras la simulación tanto del transmisor individual como del sistema MIMO completo y la comparación de las mismas, con el objetivo de descubrir y comprender en que afecta al sistema utilizar estas tecnologías.

Se incluye además una descripción breve del proyecto del que forma parte el transmisor, detalles del divisor de potencia utilizado (medidas, adaptación, parámetros característicos) y la explicación de por qué la combinación de MIMO y UWB es la ideal para el mismo.

II. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El transmisor propuesto va a trabajar en el marco del proyecto HORFI (TEC2012-38402-C04-04). Dicho proyecto aborda la investigación necesaria para la completa caracterización de hormigones reforzados con alto contenido en fibra mediante radar MIMO de banda ultra-ancha, que permite la obtención de imágenes e información acerca de las propiedades de los materiales que componen las estructuras.

Para ello se propone realizar un circuito híbrido con componentes comerciales como prototipo que será integrado con el sistema de procesamiento de señal. Este radar de penetración de superficies usa las propiedades de los pulsos RF y microondas para penetrar en la mayor parte de los materiales no metálicos y así poder estudiar sus estructuras analizando a través de las propiedades de dispersión de las ondas electromagnéticas.

Es por ello que la Banda Ultra Ancha, al tratarse de zonas muy localizadas aporta grandes niveles de precisión pero introducen pérdidas de dispersión elevadas, del mismo modo dependiendo de las necesidades, la tecnología MIMO puede

aportar una mayor ganancia en diversidad, mejorando la eficiencia.

III. TECNOLOGÍAS APLICADAS

Este cabezal de RF se integrará con el sistema de procesamiento de señal, para en su conjunto hacer un radar MIMO de banda ultra-ancha.

A. Banda Ultra-Ancha (Ultra Wide Band)

La banda ultra-ancha [1] [2] [4] es una tecnología basada en la transmisión de impulsos eléctricos con unos tiempos de subida y bajada extremadamente cortos, siendo tan estrechos que en el dominio de la frecuencia se extienden del rango de varios GHz, siendo la base para el desarrollo de transmisores radio de bajo coste y consumo de potencia.

Se considera a un dispositivo radio UWB si su ancho de banda 10dB es igual o superior a 500 MHz, cumpliéndose en nuestro caso:

$$AF = 0.3f_c = 0.3 * 7 \text{ GHz} = 2,1 \text{ GHz} < 3 \text{ GHz} \quad (1)$$

Siendo por lo tanto es un sistema UWB, cuyas principales ventajas, como se ha comentado, son: su bajo consumo de potencia, su gran capacidad para alcanzar altas velocidades de transferencia de datos, su interoperabilidad y su robustez. Encontrando entre las desventajas: su poca estandarización, posibles problemas legales, su corto alcance y en algunos casos, el que su buen funcionamiento principalmente sea en entornos cerrados, puede afectar de forma negativa.

B. MIMO (Múltiples entradas, múltiples salidas)

Para aumentar el alcance y la definición de la señal, se planteó aplicar tecnología MIMO.

MIMO [1] [4] es un mecanismo que, por medio de la utilización del dominio espacial y aprovechando la propagación multitrayecto debida a la utilización de múltiples antenas en transmisión y recepción, consigue aumentar la eficiencia espectral. En este trabajo se decidió utilizar 5 antenas de transmisión para conseguir, dependiendo del caso, las ganancias de array, multiplexado o diversidad, dependiendo del procesamiento de señal utilizado. MIMO establece que la distancia entre antenas debe ser mayor de:

$$\frac{\lambda_c}{2} = \frac{c/f_c}{2} = 2,14 \text{ cm} \quad (2)$$

De esta forma, combinando ambas tecnologías, y utilizando el mismo número de antenas receptoras que transmisoras, se puede aumentar tanto el rango de

funcionamiento como la velocidad de comunicación, de forma lineal y proporcional al número de antenas utilizadas.

IV. TRANSMISOR UWB

En este apartado se expone el diseño del transmisor UWB, antes de aplicar tecnología MIMO, así como los componentes que lo forman, el sustrato utilizado y las medidas obtenidas y comparadas con las requeridas.

A. Descripción del Subsistema Transmisor UWB

El transmisor consta de dos entradas IF con desfase en cuadratura que son elevadas en frecuencia con la ayuda de la entrada OL y salida RF.

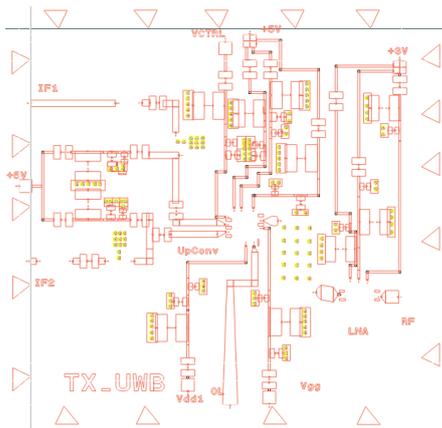


Fig. 1. Diseño del Transmisor UWB

Para conectar los componentes del transmisor se ha utilizado el sustrato ARLON con un grosor de 0,762 mm. Un sustrato con unas propiedades de transmisión óptimas para las frecuencias trabajadas y el tamaño del transmisor necesario.

El transmisor [3] consta de un filtro paso bajo y amplificador de IF para cada rama fase/cuadratura, un mezclador Up-Converter, un filtro paso banda y un amplificador.

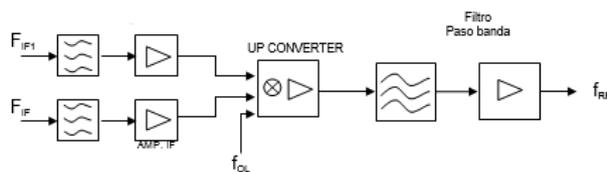


Fig. 2. Subsistema del Transmisor UWB

En baja frecuencia, el filtro IF es un filtro paso bajo, concretamente el LFCN-530 con banda de paso entre 0 y 530 MHz y pérdidas de inserción de 1.2 dB. A continuación el amplificador de IF es el HMC565LC5, con ganancia de 22 dB y OIP3 de 37 dBm.

En cuanto a la parte de alta frecuencia, el mezclador “Up-Converter” es el HMC925LC5, un mezclador activo con alta ganancia de conversión, 16.5 dB. El filtro paso banda es de tipo interdigital, centrado en 7,5 GHz y con ancho de banda de 3 GHz, y finalmente el amplificador de bajo ruido (LNA) trabaja entre las frecuencias de 6 y 20 GHz con una ganancia de 21 dB.

B. Simulación del Transmisor UWB en ADS

Para la simulación del Transmisor MIMO UWB, se ha utilizado el paquete de diseño ADS de Agilent Technology™, una potente herramienta que permite abordar el proceso completo de diseño de un circuito de microondas.

En primer lugar ha realizado la simulación electromagnética (EM) del layout del transmisor, a partir del cual obtenemos sus parámetros S. Posteriormente se implementa este componente en un esquemático con el resto de componentes.

Como resultado de la simulación se obtienen los siguientes resultados:

Freq. RF (GHz)	Pot. RF(dBm)	Gan. (dB)
6	12,851	48,000
7,1	12,152	47,301
8	11,477	46,626

Tabla 1. Simulación del Transmisor UWB

C. Medidas del Transmisor UWB

A partir del layout diseñado e implementado con los componentes, se añaden las entradas IF1 e IF2 que se conectan a señales I/Q de 12,5 MHz a -35 dBm; por la entrada OL se conecta un generador de señal con potencia 0 dBm y frecuencia elegida para obtener una señal de RF a 6 GHz, 7,1 GHz y 8 GHz.

A su vez, se polarizan los amplificadores de IF y el mezclador “Up-Converter” V_{dd1} , V_{dd2} , V_{dd3} , V_{dd4} y V_{dd5} a 5 V. Polarizamos el LNA conectándolo a 3V, y las tensiones a V_{gg} , V_{ctrl} a 0.7 V y 1.4 V respectivamente, para obtener la corriente requerida por el componente. Como resultado, obtenemos las siguientes medidas de ganancia y potencia RF para diferentes frecuencias RF:

Freq. RF (GHz)	Pot. RF(dBm)	Gan. (dB)
6	11,11	46,10
7,1	12,65	47,65
8	12,77	47,77

Estos resultados son adecuados para el posterior procesado de señal ya que la variación respecto a las ganancias y potencias reales son prácticamente despreciables.

V. APLICACIÓN MIMO EN EL TRANSMISOR UWB

Una vez está diseñado el transmisor individual UWB, se unifican todas las tomas de alimentación, utilizadas para la polarización de los componentes, mediante líneas microstrip del mismo sustrato a un mismo punto para hacer más fácil la implementación final y se diseña un divisor de potencia 1x6 para la entrada de OL común a todos los transmisores. Se respeta además la distancia entre transmisores calculada anteriormente [Ecuación 2].

Por otra parte, las entradas de IF1 e IF2 se podrán separar de un transmisor a otro, para dar la opción de introducir la misma señal en todos los transmisores y obtener una ganancia de array aumentando la SNR, o una diferente para obtener ganancia por multiplexación.

A. Divisor de Potencia 1x6

Este divisor de potencia de seis salidas y cinco etapas por salida se trata de un divisor pseudo-Wilkinson con tecnología fundamentada en *tapered lines* combinada con resistencias que adaptan perfectamente todas las entradas y salidas a 50Ω .

Se empleará principalmente para hacer la división de la entrada de OL a cada uno de los cinco transmisores UWB y asegurar por tanto que este la señal sincronizada en fase en todos los transmisores:

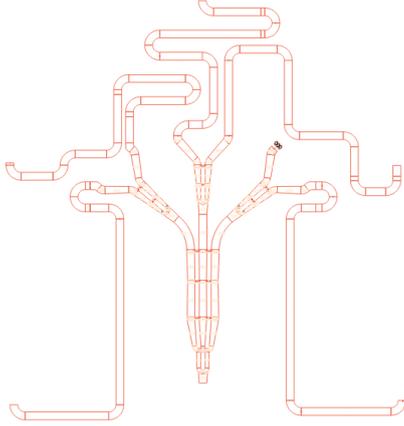
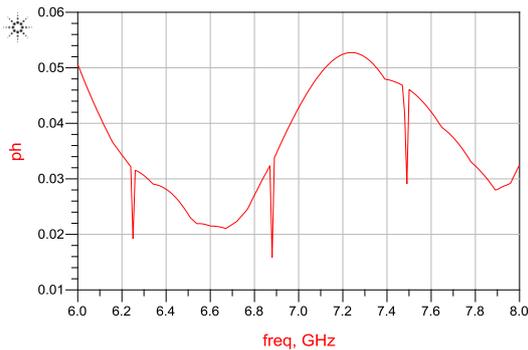


Fig. 3. Divisor de Potencia 1x6

Para conseguir la sincronización en fase, ya que cada uno de los transmisores se sitúa a una distancia diferente de la toma de OL, se realizó una optimización exhaustiva de las longitudes de las líneas necesarias. En el cálculo de este desfase se calculó la fase de cada salida, se realizó una transformación a radianes para evitar problemas debidos al rango de los ángulos (-180° a 180°) y se realizó la resta de cada uno, dando el siguiente promedio dependiendo de la frecuencia:



Gráfica 1. Variación Medio del Desfase Respecto a la Frecuencia en Radianes

Se pueden apreciar valores nulos debido a los pasos por 0 a la hora de calcular el desfase en radianes. El desfase máximo de 0,052 radianes es adecuado para poder realizar sin problemas el posterior procesado de señal.

B. Transmisor UWB MIMO.

Por último, una vez se conecta el divisor de potencia a cada uno de los transmisores, se añaden las líneas utilizadas en las redes de polarización de los amplificadores y mezcladores

para que todos los transmisores obtengan la alimentación de la misma fuente de entrada:

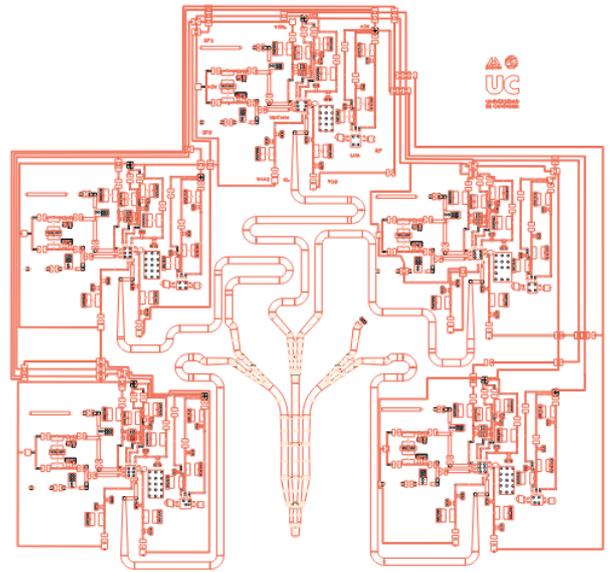


Fig. 4. Transmisor UWB MIMO

El layout definitivo posee unas dimensiones de 140×148 mm, con cinco tomas de IF I y cinco de IF Q, una entrada de OL común a todos los transmisores, siendo en total cinco salidas de RF que se acoplarán a una antena cada una.

C. Simulaciones en el Transmisor UWB MIMO.

A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos al realizar la simulación, a partir del modelo electromagnético del layout, sobre un esquemático en el que se incluyen los componentes y fuentes necesarias.

Para el cálculo de las ganancias en la salida de cada antena, se realizó un balance armónico, para frecuencia IF de 12,5 MHz, frecuencia de OL de 7,0875 GHz, y así obtener una frecuencia de RF de 7,1 GHz. Con potencias de entrada IF de -35 dBm y de OL de 7,78 dBm para obtener 0 dBm en la entrada OL de cada sub-transmisor. En la siguiente tabla se muestran las ganancias obtenidas, en orden de antena de izquierda a derecha del transmisor UWB MIMO:

	Ant. 1	Ant. 2	Ant. 3	Ant. 4	Ant. 5
Gan.(dB)	47,766	47,873	47,867	47,635	47,939

Tabla 2. Medidas de la Ganancia del Transmisor UWB MIMO

Como resultado se obtienen ganancias parecidas a las de los transmisores por individual y por tanto óptimas.

En cuanto al desfase producido entre las cinco antenas del transmisor, pese a que todos los subtransmisores que lo forman son idénticos en layout, el divisor de potencia aplicaba una cierta diferencia de fase entre sus salidas, que, junto con el desfase introducido por acoplos entre líneas contiguas, producen un desfase en conjunto más significativo.

Para el cálculo de este desfase se han realizado simulaciones con la herramienta ADS utilizando el elemento *Harmonic Balance* y los terminales apropiados en entradas y salidas.

- [3] Richard Chi Hsi Li, “*RF Circuit Design*”, Second Edition, pp 37-49, 349-370, 547-580, 628-653, 706-715, Ap. 2012.
- [4] Thomas Kaiser and Feng Zheng, “*Ultra Wideband Systems with MIMO*”, vol. 1., pp 17-23, 73-98, Ap. 2010.

Relación de Antenas	Desfase
Ant. 1/Ant. 2	0,074 rad
Ant. 1/Ant. 3	0,076 rad
Ant. 1/Ant. 4	0,056 rad
Ant. 1/Ant. 5	0,050 rad
Ant. 2/Ant. 3	0,020 rad
Ant. 2/Ant. 4	0,007 rad
Ant. 2/Ant. 5	0,070 rad
Ant. 3/Ant. 4	0,018 rad
Ant. 3/Ant. 5	0,095 rad
Ant. 4/Ant. 5	0.049 rad

Tabla 3. Desfases Entre Salidas

Se puede apreciar que el desfase es mayor en la salida de la antena que del divisor de potencia. Esto es debido a posibles acoplos por la cercanía entre líneas. Los resultados igualmente son aceptables y se encuentran dentro de los límites para que el procesado de señal, que se llevará a cabo en otro departamento, sea el correcto (menos de 10° entre antenas). Se evaluará en la fase de medida la influencia de este desfase en el rendimiento del equipo completo a lo largo de los próximos meses con la finalidad de mejorar las prestaciones del sistema.

VI. CONCLUSIONES

Los sistemas UWB ofrecen un bajo consumo, bajo coste y una alta productividad a costa de un rango corto que es compensado gracias a la tecnología MIMO, que permite obtener ganancia de multiplexación o array, favoreciendo el rango del transmisor total, por lo que su combinación es ideal para la aplicación buscada en el mismo.

En conclusión se puede afirmar que estamos ante el diseño RF de un transmisor UWB MIMO con unas potentes características para el objetivo que debe cumplir, en cuanto a ganancia, tecnologías aplicadas, diseño y componentes. La placa completa está en fase de fabricación y montaje y se presentarán los resultados de medida en la presentación, indicando entonces si los resultados son adecuados para el procesado de señal posterior.

Se ha de destacar que en optimizaciones realizadas en las conexiones del distribuidor de OL se han minimizado los desfases entre las diferentes antenas así como los desbalances de amplitud.

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] Thomas Kaiser, “*An Overview of Ultra-Wide-Band Systems With MIMO*”.
- [2] Juan Sebastián Guevara Henao, “*Tecnología Ultra-Wideband*”.