

DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE LOS CABEZALES DE RF PARA SISTEMAS MVDS A 40 GHz

Rafael de Andrés¹, Zulema Zubizarreta¹, Manuel Lobeira¹, César Barquintero², José María Agüero¹, José Luis García¹

¹Departamento Ingeniería de Comunicaciones, Universidad de Cantabria, Avda. Los Castros s/n, 39005 Santander, España, Tlfno.: 34-942200918, Fax: 34-942201488, mailto: chema@dicom.unican.es

²Advanced Communications Research & Development, Centro Desarrollo Tecnológico UC, Avda. Los Castros s/n, 39005 Santander, España, Tlfno.: 34-942200923, Fax: 34-942290404, mailto: cesar.barquintero@acorde.biz

Abstract- This paper presents the design and development of RF subsystems to be used in new broadband interactive systems such as Multipoint Video Distribution Systems (MVDS), in the 40 GHz band, which leads to deal with very innovative and challenging designs. Such a high frequency band implies the employ of MMIC technology, requiring specific assembly methods as well as proper housing. The designed subsystems jointly with the achieved results during the characterization are summarized in the document.

I. INTRODUCCIÓN

La congestión del espectro electromagnético así como la aparición de nuevas aplicaciones ha provocado la búsqueda de bandas de frecuencia en las que sea posible acomodar servicios multimedia interactivos que requieren altas velocidades de transmisión de información, y, por tanto, anchos de banda elevados. De este modo ha surgido un creciente interés por el uso de la banda de frecuencias milimétricas (de 30 a 300 GHz) para proporcionar nuevos sistemas de comunicaciones radio.

Uno de estos sistemas es el llamado MVDS, homólogo al LMDS, que funciona en la banda 40.5 GHz - 42.5 GHz asignada por la ITU y que dispone de espectro suficiente para dicho servicio. Estos sistemas de distribución punto-multipunto han ganado una gran popularidad como sistemas celulares locales proporcionando, por medio de un transmisor central (estación base), servicios de broadcast a viviendas individuales o bloques de apartamentos.

Por tanto, queda patente la importancia del desarrollo de equipos cabezales de RF, tanto para estaciones base como para terminales de usuario, capaces de operar en este tipo de sistemas que, debido a la elevada frecuencia de trabajo, presentan todo un reto tecnológico.

II. DIAGRAMA DE BLOQUES

A fin de optimizar el consumo y el tamaño del diseño, éste se realizó empleando una única síntesis frecuencial, como puede apreciarse en los diagramas de bloques de la Figura 1. El transmisor del cabezal de RF de la estación base transforma la señal de IF, centrada en 3070 MHz, hasta la banda de 42-42.5 GHz. Por otro lado, el receptor recibe la

señal en la banda 40.5-41 GHz y la convierte a 1445 MHz. Tanto la cadena transmisora como la receptora comparten el mismo oscilador local y se han usado multiplicadores x3 para relajar los requerimientos frecuenciales de dicho oscilador. Así mismo, se ha utilizado un diplexor a la salida del sistema para compartir la antena y maximizar los aislamientos.

Respecto al terminal de usuario, su diagrama de bloques es completamente análogo funcionalmente al descrito para la estación base, y también se muestra en la siguiente figura. Sus componentes tienen unos requerimientos más relajados que los de la estación base, a fin de abaratar costes y facilitar la explotación comercial.

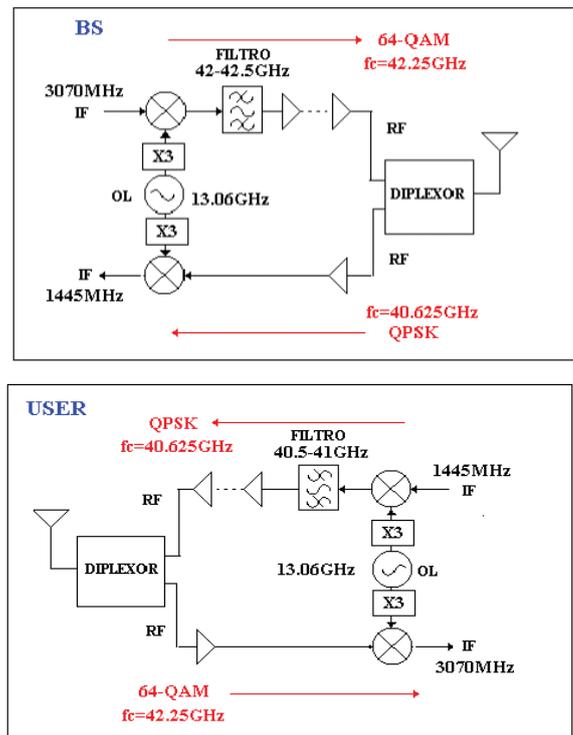


Fig. 1. Diagrama de bloques y plan frecuencial de la estación base y el terminal de usuario del sistema MVDS.

Dentro del ancho de banda disponible de 500 MHz se aplica multiplexado en frecuencia de forma que cada usuario tendrá asignado un canal de como máximo 50 MHz. Esta

selección se realiza mediante sintetizadores de frecuencia en la parte de IF, aunque esta sección no se describe en el presente documento. En el up-link (enlace ascendente) se puede emplear modulación QPSK ó 16-QAM, mientras que el down-link (enlace descendente) permite la utilización de modulaciones tan eficientes como la 64-QAM.

III. IMPLEMENTACIÓN DE LOS CABEZALES DE RF

Debido a la elevada frecuencia de trabajo de nuestro sistema, es necesario el uso de tecnología MMIC para la implementación de los circuitos de microondas (mezcladores, amplificadores de potencia y amplificador de bajo ruido). Este tipo de circuitos precisan de métodos de montaje avanzados y específicos, como son la utilización de hilos de bonding y adhesivos orgánicos para su interconexión [1,2].

Por otra parte, también es necesario el desarrollo de una mecánica apropiada en la que irán alojados los circuitos de microondas del cabezal de RF. Del diseño de estas cajas metálicas depende en gran medida el correcto funcionamiento de los circuitos. Dichas cajas actúan como apantallamiento electromagnético y proporcionan mayor rigidez y robustez a los equipos finales.

Para la implementación de los cabezales de RF se han utilizado MMICs comerciales para el mezclador, amplificador de potencia, etapa preamplificadora y amplificador de bajo ruido; se han diseñado los filtros en líneas acopladas en la banda de 40 GHz y la transición guía de onda-microstrip para unir el cabezal de RF al diplexor y de ahí a la antena. Todo esto se ha colocado en una única caja de aluminio diseñada para tal función, dando a nuestro sistema un gran nivel de integración.

A. Transición guía de onda-microstrip

El diseño de la transición fue realizado haciendo uso de información sobre técnicas microstrip a guía de onda [3]. La transición consiste en un circuito impreso microstrip, una porción del cual se extiende en la guía de onda a través de una apertura en la pared. Dicha apertura se mantiene lo más pequeña posible para minimizar su efecto en la distribución de campo de la guía de onda. El metal que soporta el substrato sirve de radiador acoplando la energía a la guía de onda. Se emplea un transformador de impedancia $\lambda/4$ para adaptar la línea de 50Ω al radiador.

En la Fig. 2 se muestra una fotografía del montaje de una transición doble, que ha sido empleado para la caracterización, previa a la integración final, de la transición diseñada. Mientras que en la Fig. 3 se tienen las medidas obtenidas de este montaje. Conviene resaltar, que se ha colocado un tramo de línea microstrip de 50Ω , entre ambas transiciones.

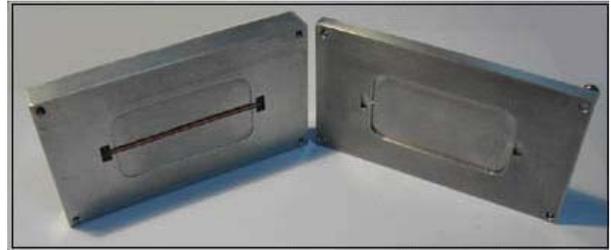


Fig. 2. Transición guía de onda-microstrip

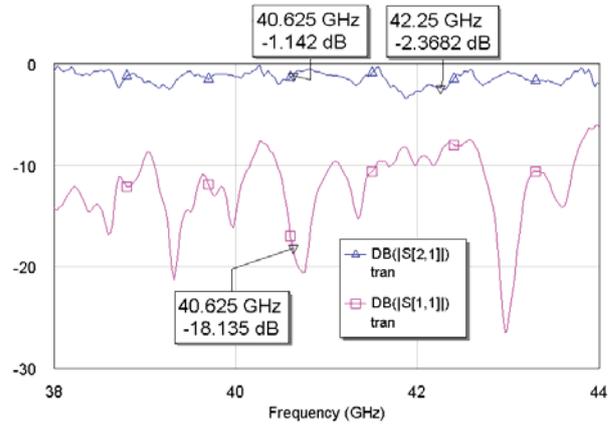


Fig. 3. Caracterización de la transición guía de onda-microstrip

Como puede apreciarse, las pérdidas obtenidas en la medida son de 2.4 dB@42.25 GHz y 1.1 dB@40.6 GHz. Teniendo en cuenta las pérdidas de una línea de Duroid de la longitud empleada (sobre 0.6 dB), podemos estimar que cada transición guía de onda-microstrip presenta unas pérdidas en torno a 0.9 dB@42.25 GHz y 0.25 dB@40.6 GHz, ya que los valores de 2.4dB y 1.1 dB son los obtenidos para la caja de la figura 2, es decir una doble transición.

Respecto a la adaptación, ésta se sitúa sobre los 10 dB en la parte alta de la banda, mientras que es mucho mejor, en torno a los 18 dB, para la frecuencia de 40.6 GHz.

B. Filtros

Los filtros en líneas acopladas, implementados en Duroid, tienen unas dimensiones de 2x3mm. En la siguiente figura se muestra el resultado obtenido para el filtro del terminal de usuario.

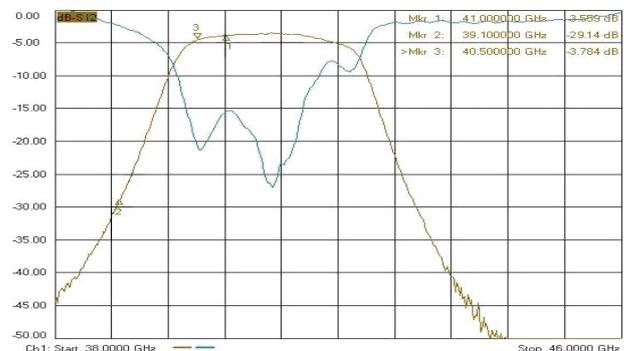


Fig. 4. Respuesta del filtro de líneas acopladas del terminal de usuario

Como puede observarse, las pérdidas en la banda de transmisión son de 3.7 dB en el peor caso, mientras que la adaptación es mejor de 10 dB en toda la banda.

Respecto al filtro de la estación base presenta una respuesta análoga, sólo que centrada en 42.25 GHz. En este caso las pérdidas se sitúan en 4.2 dB y la adaptación, nuevamente, es superior a 10 dB en toda la banda de trabajo.

C. Transmisor

Uno de los objetivos perseguidos desde el inicio de este proyecto ha sido la integración en un único módulo de todos los dispositivos que componen el bloque transmisor de radiofrecuencia. Es decir, el mezclador, el filtro conformador de banda, el amplificador de potencia, así como los circuitos de polarización y protección de continua necesarios para estos monolíticos. Se incluye además en el mismo bloque, la transición desde línea microstrip a guía de onda WR22. En la Figura 5, puede observarse el transmisor completo que presenta unas dimensiones finales de 80x30 mm. Las señales de IF y OL se introducen en el sistema utilizando conectores SMA (válidos hasta 18 GHz). Ha sido necesario colocar material absorbente en localizaciones específicas de las cavidades de nuestro transmisor, para garantizar el correcto funcionamiento del mismo.

Con el fin de abaratar costes y reducir la complejidad mecánica, la estación base y el terminal de usuario presentan una mecánica idéntica. Con este mismo propósito, se ha tratado de reducir al máximo la diversidad de componentes, de esta forma, ambos transmisores comparten el MMIC mezclador-multiplicador x3 de OL y el filtro conformador de banda. Sin embargo, ha sido necesario utilizar un amplificador de mayor punto de compresión para la estación base, ya que tiene que dar servicio a varios usuarios en cada célula y a que utiliza una modulación más exigente (64 QAM).

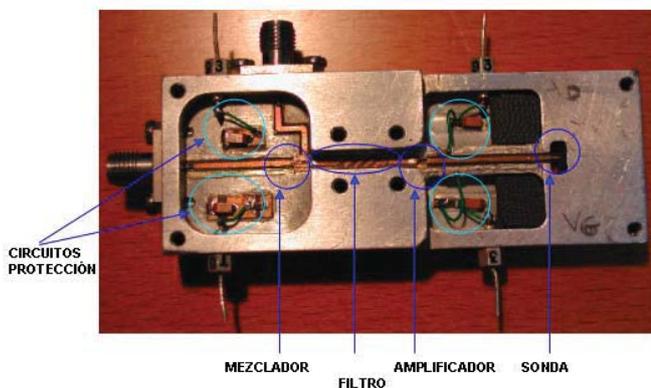


Fig. 5. Transmisor para un sistema MVDS

El uso de modulaciones digitales muy eficientes, como puede ser la 64-QAM, hace que los requerimientos de ruido de fase del oscilador local sean muy estrictos. Para simplificar su diseño, se ha utilizado, como se ha venido comentando anteriormente, un mezclador que incorpora un multiplicador x3 del OL. De esta forma, la señal de OL que entra en el transmisor se encuentra centrada en 13.06 GHz.

Una vez montados los equipos, se procedió a su caracterización. A modo de resumen, se puede decir que el terminal de usuario presentaba un punto de compresión de 14.5 dBm, manteniendo una relación superior a 60 dBc con los espurios en banda y en torno a los 40 dBc fuera de banda. Estos niveles espurios se han medido sin utilizar el diplexor, con lo que dichos valores serán mejorados una vez integrado

el sistema completo. La estación base, presentaba un punto de compresión superior a los 18 dBm (suficiente para nuestros requisitos), manteniendo los niveles de las señales espurias en valores similares a los indicados para el terminal de usuario.

En la siguiente figura se muestra el espectro obtenido para una señal 64-QAM transmitida por la estación base con una potencia de 10 dBm. Se consigue una relación con los lóbulos laterales en torno a 30 dB. Estos valores son mejores para el terminal de usuario ya que se utilizan modulaciones QPSK y 16-QAM.

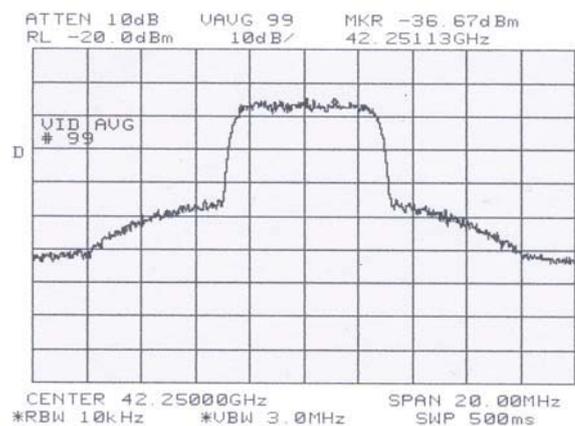


Fig. 6. Señal 64-QAM transmitida por la estación base a 42.25 GHz, con $P_{TX} = 10$ dBm

Los parámetros obtenidos en la caracterización del transmisor se encuentran dentro de los niveles dados por el DOCSIS 1.0 [4] para redes de expansión de un sistema cable como es el MVDS.

D. Receptor

Al igual que en el caso del transmisor, se ha integrado en una misma caja el sistema completo incluyendo mezclador (con multiplicador x3), amplificador de bajo ruido, transición a guía y los circuitos de polarización y protección de continua. En la siguiente figura se muestra una fotografía del receptor desarrollado.



Fig. 7. Receptor para un sistema MVDS

El receptor presenta una ganancia total de 15 dB, que debería mejorarse un poco más para que la parte de IF no entre a degradar la figura de ruido total del sistema.

Respecto a los espurios, en este caso se encuentran muy alejados de la señal fundamental de IF y por tanto es muy sencillo eliminarlos mediante un filtro en esa banda.

En el receptor aparecieron problemas de oscilaciones que fue necesario solucionar, principalmente mediante la utilización de material absorbente en las cavidades y tapa de la caja.

Otro de los objetivos cumplidos fue la reducción de las pérdidas, gracias a limitar al máximo la longitud de los hilos de bonding, y por ende, minimizando a su vez el efecto que sus parásitos tienen en el comportamiento frecuencial del sistema.

IV. CARACTERIZACION EN EXTERIORES

Una vez desarrollados y caracterizados estos cabezales de RF se procedió a su medida en campo abierto entre la azotea de dos edificios del campus de la Universidad de Cantabria. Para dicha medida se utilizaron antenas de bocina [5], proporcionadas por la Universidad de Vigo.

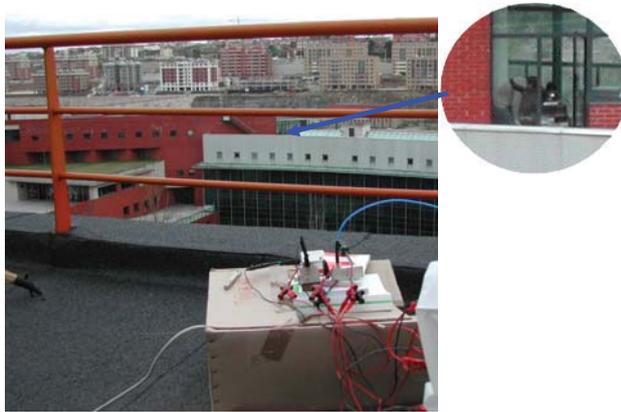


Fig. 8. Medidas en campo abierto de los cabezales de RF para el sistema MVDS.

En la Fig. 8 podemos apreciar la disposición de los equipos separados por una distancia de aproximada de 80 m. Para realizar la prueba se utilizó una señal de IF de 0 dBm de potencia, obteniéndose en el analizador de espectros situado en el Rx, una potencia de IF de -57dBm. Realizando balance de potencias, se comprueba que el sistema funciona correctamente.

Con los cabezales diseñados y teniendo en cuenta las pérdidas de propagación, la distancia máxima a la que puede operar el radioenlace con las antenas que empleamos en la medida es de 713 m, a 40.625GHz.

Sin embargo, si hubiéramos dispuesto de las antenas comerciales empleadas para estas aplicaciones, la distancia máxima del radioenlace sería de 4Km. Por otra parte, si tomamos como referencia sistemas que pronto aparecerán en el mercado [6], vemos que se utilizan antenas parabólicas en el usuario por su fácil ganancia (para 21cm de radio, 37dB) y los bajos requisitos de lóbulo ancho, y en la BS una antena sectorial de 90° de sector y ganancia 16dB, de mejores prestaciones a las utilizadas en nuestra caracterización.

V. CONCLUSIONES

En este artículo se ha presentado el diseño y caracterización de cabezales de RF en la banda de 40 GHz que pueden ser utilizados en sistemas multimedia interactivos como el MVDS. Se han puesto de manifiesto los problemas que presentan los diseños a tan alta frecuencia de trabajo así como la importancia de una mecánica en la que se integran los equipos finales.

Los resultados obtenidos, tanto en la caracterización inicial de los prototipos como en las medidas realizadas en exteriores, han sido muy satisfactorios, aunque hay que introducir ciertas mejoras, principalmente en el equipo receptor.

Durante la presentación oral se mostrará un mayor número de resultados de obtenidos durante las medidas llevadas a cabo de los equipos diseñados.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado dentro del proyecto "Acceso Radio a Servicios Multimedia Interactivos" financiado por el CICYT.

Los autores quieren agradecer además a Esther García el diseño de los filtros, y a Sandra Pana y Eva Cuerno su destreza en los montajes, así como a la Universidad de Vigo el préstamo de las antenas para las medidas en exteriores.

REFERENCIAS

- [1] Zulema Zubizarreta, *Diseño, montaje y caracterización del cabezal de RF de un terminal de usuario para un sistema MVDS a 40 GHz*, Proyecto Fin de Carrera, Diciembre 2003
- [2] Rafael de Andrés, *Diseño, montaje y caracterización del subsistema de RF de la estación base para un sistema MVDS a 40 GHz*, Proyecto Fin de Carrera, Diciembre 2003
- [3] Y.C.Shih, L.Q. Bui y T.Ton, "Waveguide to Microstrip Transitions for Millimeter Wave Applications", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-S, 1988.
- [4] DOCSIS 1.0, "Data Over Cable Interface Specification", recomendación recogida en el estándar ITU-T J.112, "Cable networks and Transmissions of Television, Sound Programme and Other Multimedia Signals. Transmission System for Interactive Cable Television Service"
- [5] http://www.flann.com/Products_Home/Antennas/Standard_Gain/70-FMICat01.pdf
- [6] MVDS Solutions from ELVA-1. <http://www.elva-1.spb.ru/>