

# DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE BANDA ANCHA A 44 GHz

Marco Detratti, M<sup>a</sup> Luisa de La Fuente, Eduardo Artal  
Dpto Ingeniería de Comunicaciones  
ETSI Telecomunicación  
Universidad de Cantabria  
[daitarn@dicom.unican.es](mailto:daitarn@dicom.unican.es)

## ABSTRACT

This paper deals with the process of realisation of a two-stage MIC broadband amplifier in the 44 GHz Band using a commercially available P-HEMT transistor.

The attention has been focused mainly on the practical aspects of the fabrication of a hybrid circuit in the millimetre wave band. The problems related with the manufacturing (due to the inevitable tolerances) and its effects on circuit performance are described and analysed.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el campo de los circuitos de microondas los amplificadores MMIC tienen ventajas como la repetibilidad y el bajo coste para producción a gran escala. Sin embargo, en muchos casos, una solución híbrida (MIC) puede ser mejor. Cuando hay necesidad de pequeñas cantidades, buenas prestaciones (especialmente en lo que concierne al ruido) y rápida disponibilidad del producto, los circuitos MIC representan la mejor alternativa. Lo que hay que tener en cuenta, son las desventajas directamente relacionadas con la propia fabricación. Las tolerancias de las dimensiones (*process offset*) y la presencia de los necesarios hilos de conexión afectan significativamente al comportamiento global.

El propósito de este trabajo es mostrar lo críticos que son estos aspectos para un amplificador de banda ancha diseñado para la banda Q y como las consecuencias de estas imprecisiones pueden ser minimizadas por medio de la realización de un montaje apropiado.

## 2. DISEÑO

Para el diseño del amplificador se ha elegido el transistor EC2612 de United Monolithic Semiconductors. En las simulaciones se ha usado un modelo de circuito equivalente ( $V_d=2V$ ,  $I_{ds}=10$  mA) proporcionado por el fabricante y validado hasta 50 GHz.

El primer objetivo del método de diseño ha sido obtener una ganancia plana en banda ancha. Se ha diseñado la red de adaptación de salida usando los círculos de ganancia constante en el plano  $\Gamma_L$ , para asegurar una ganancia plana en la banda de 39 a 49 GHz. A continuación se ha conseguido la adaptación conjugada a la entrada usando redes pseudo paso-bajo[1]. El amplificador resultante daba una ganancia de aproximadamente 5 dB a 44 GHz. Dicha ganancia pareció bastante baja considerando que las pérdidas asociadas con las transiciones y

los conectores de la caja en que el dispositivo se va a alojar, pueden ser del orden de 1-2 dB. Entonces dos etapas se pusieron en cascada y se optimizaron con la ayuda del simulador circuital ADS (Agilent). En la fig. 1 se muestran los resultados de la simulación con una satisfactoria ganancia de 10 dB de 39.5 a 49.5 GHz.

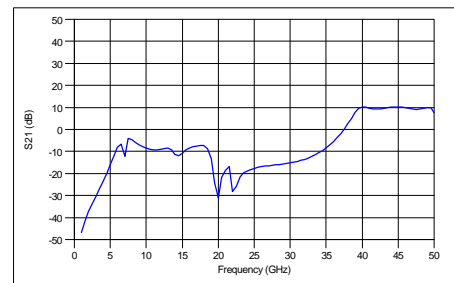


Figura 1. Resultados de la simulación para el amplificador de dos etapas.

## 3. FABRICACIÓN Y MEDIDA

En la figura 2 se puede ver una fotografía del amplificador en la caja, de fabricación propia, que se ha realizado con una anchura de 2.6 mm para suprimir los modos en guía y reducir las pérdidas de radiación. Las redes pasivas están hechas en sustrato  $Al_2O_3$  con un espesor de 0.254 mm y  $\epsilon_r=9.9$ . Se han usado condensadores cerámicos para bloqueo de DC y como parte de las redes de adaptación, mientras hilos de bonding de longitud  $\lambda/4$  actúan como choque de RF.

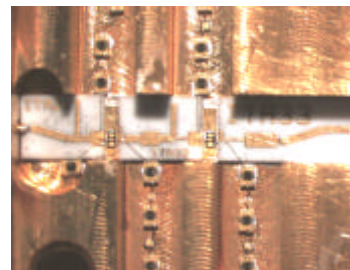


Figura 2. Fotografía del amplificador MIC de dos etapas

Como se puede notar una resistencia (*thick film*) está conectada a la entrada de la primera etapa. Ésta se ha usado, junto con las

redes de polarización, para proporcionar una carga resistiva en la banda de 18 a 23 GHz, donde el simulador mostraba problemas de oscilación. Los parámetros de scattering se han medido usando un analizador vectorial de redes (HP8510C). En la figura 3 se puede observar el parámetro S21 medido..

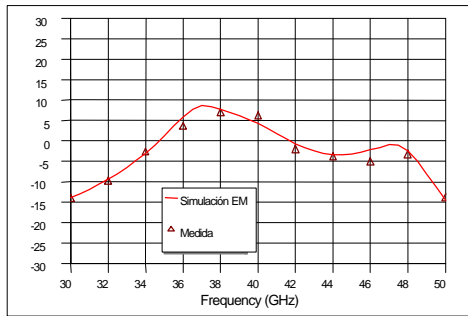


Figura 3. Medida y simulación electromagnética del primer montaje.

Comparando los resultados obtenidos en simulación con las medidas, se podría decir que éstas sean bastante insatisfactorias (la ganancia es inferior a 0 dB por encima de 41 GHz). Si se observa el circuito en un microscopio se advierte como las anchuras de las líneas de adaptación son distintas de las que se esperaban, hecho debido a las tolerancias del proceso de fabricación (que afecta especialmente a las líneas mas estrechas, que tienen un ancho de 80  $\mu\text{m}$ ). Otro problema está relacionado con los hilos de bonding. Las inductancias de puerta y drenador utilizadas en el modelo ( $L_g=149.55$  pH,  $L_d=131.72$  pH) corresponden a hilos de 270 y 250  $\mu\text{m}$  respectivamente[2]. Para conectar los pads del transistor a las redes de adaptación se requiere en realidad una mayor longitud. Se debe considerar la diferencia en altura entre sustrato y chip (incluso si se ha intentado reducirla insertando un pedestal de oro debajo del transistor) y el espacio donde está insertado el dispositivo activo (idealmente debería ser de la misma anchura del chip, sin embargo el proceso de corte del sustrato y el montaje manual proporciona una anchura mayor, fig. 2). Simulando el circuito efectivamente fabricado y con las adecuadas longitudes de hilo, con la ayuda del un simulador electromagnético (Momentum), se puede observar una buena concordancia con las medidas.

#### 4. MEJORAS DE LAS PRESTACIONES DEL AMPLIFICADOR

A continuación, se intentó mejorar el comportamiento del circuito disminuyendo las inductancias asociadas a los hilos de bonding. Se midieron dos diferentes montajes: en el primero cada hilo fue reemplazado por dos hilos mientras en el segundo otro pedestal de oro fue colocado debajo del transistor, para reducir aún mas la diferencia de altura y acortar de este modo los hilos.

Se obtuvo así una apreciable mejoría en la respuesta (~10 dB para frecuencias encima de 41 GHz) como se observa en la figura 4, donde la ganancia media por el ultimo montaje es del orden de 7 dB de 39 a 49 GHz. Puede también apreciarse una buena concordancia entre los resultados medidos y simulados.

Teniendo en cuenta esta experiencia el método de diseño del amplificador podría ser mejorado considerando desde el principio una mayor longitud de hilo, la que se tendrá en cuenta al momento de diseñar las redes de adaptación. Además no se debe de olvidar la influencia del *process offset* en la respuesta global del amplificador. Para minimizar su efecto se podría pensar en cambiar el sustrato utilizado por otro de la misma altura pero con constante dieléctrica más baja. De esta forma sería posible conseguir el mismo rango de impedancias con dimensiones mayores, reduciendo así la influencia de las tolerancias de fabricación en la respuesta en frecuencia.

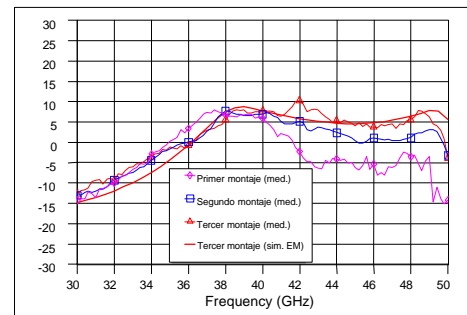


Figura 4. Comparación entre el comportamiento de los tres diferentes montajes y simulación electromagnética del último montaje.

## 5. CONCLUSIONES

Se ha presentado el diseño y la fabricación de un amplificador MIC de banda ancha a 44 GHz y se han medido las prestaciones del dispositivo, mostrando lo críticas que son las tolerancias de montaje (especialmente en lo que respecta las longitudes de los hilos de bonding) en un diseño híbrido en la banda de frecuencias de ondas milimétricas. A través de ligeras modificaciones en el método de diseño y la elección de un diferente sustrato (con una  $\epsilon_r$  más baja) se pueden esperar mejores resultados en los próximos montajes.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado con la ayuda 1FD97-1769-CO4-02 de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) y de la Comisión Europea. Los autores desean agradecer a Eva Cuerno García por sus esfuerzos en la realización de los montajes del amplificador.

## 7. REFERENCIAS

- [1] Matthaei, G. Young, L. Jones, E.M.T., *Microwave filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures*, Norwood, MA, USA, Artech House, 1964.
- [2] Gupta, K.C. Garg, R Chadha, R., *Computer-Aided design of Microwave Circuits*, Norwood, MA, USA, Artech House, 1981.