

Detector de banda ultraancha en tecnología microstrip hasta 40 GHz

Luis A. Tejedor Álvarez⁽¹⁾, José I. Alonso⁽²⁾, Jorge González Martín⁽¹⁾

latejedor@eservicios.indra.es, ignacio@gmr.ssr.upm.es, jgomartin@indra.es

⁽¹⁾Indra Sistemas S.A. C/La Madera s/n, 28850 Torrejón de Ardoz (Madrid)

⁽²⁾Dpto. de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones. Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria s/n, 28040 - Madrid.

Abstract—Detectors designing is a key aspect for the development of the new millimeter wave systems. In this paper two detectors in microstrip technology are presented. They use zero bias Schottky diodes to detect signals from low frequency to 40 GHz. High sensibility, flat frequency response and ultrabroadband are the main features of these designs. They are also cheap and easy to mount because they have been built using microstrip technology. This paper explains most technological questions which must be taken into account to design such detectors.

I. INTRODUCCIÓN

Los detectores de banda ultraancha son un circuito clave en numerosos sistemas de comunicaciones, aplicaciones de guerra electrónica o radioastronomía en bandas milimétricas. Los esquemas coherentes y superheterodinos permiten conseguir una mejor sensibilidad y relación señal a ruido, pero cuando la frecuencia aumenta, la fabricación de los circuitos se vuelve cada vez más complicada, siendo preferible la detección directa. En la banda de milimétricas, la detección no coherente es la alternativa más común. [1]

Las características más importantes que un detector debe tener son alta sensibilidad y buena adaptación, aunque la sencillez de montaje también es especialmente crítica en muy alta frecuencia. Hoy en día, existen detectores PDB (*Planar-Doped Barrier*), que pueden trabajar hasta 40 GHz con una sensibilidad en torno a 0.5 V/mW, una adaptación mejor que 12 dB y conexión coaxial. En guía, la sensibilidad puede aumentar hasta 1 V/mW. [2] [3] [4]

Sin embargo, a veces es necesario diseñar detectores para satisfacer necesidades especiales de las aplicaciones: mejorar la sensibilidad, reducir la potencia reflejada o simplificar el montaje. En este artículo, se presentan 2 detectores de banda ultra ancha. Cada uno usa 2 diodos de GaAs Agilent HSCH-9161 de barrera baja, *beam lead* y *zero bias* montados en circuitos microstrip. Ambos funcionan hasta 40 GHz con respuesta bastante plana. La diferencia es que uno de ellos está diseñado para optimizar la sensibilidad mientras que el otro pretende mejorar la adaptación. En la tabla I pueden verse las principales características de los detectores diseñados, comparados con 2 detectores comerciales.

La tabla I compara sensibilidad y adaptación, pero los detectores presentados poseen otras características interesantes. La tecnología microstrip es la más adecuada para construir circuitos sofisticados a un precio razonable, facilita la integración de los detectores diseñados en módulos más complejos. Además, la mayoría de los diodos detectores deben ser polarizados, mientras que los diodos utilizados en estos diseños no lo necesitan, lo que facilita el montaje.

TABLE I
COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE DETECTORES

Modelo	Sensibilidad(V/mW)	Adaptación(dB)	Interfaz
Agilent 8474E	0.4	12.7	coaxial
Agilent R422C	0.42	11	guía onda
Design 1(non adapted)	1	2	microstrip
Design 2 (adapted)	0.4	10	microstrip

En este artículo se tratan los principales aspectos a tener en cuenta para construir un detector que pueda funcionar en milimétricas. Primero se explican las principales características y modelos para los diodos. En segundo lugar, es necesario diseñar una red de adaptación a la entrada del diodo, con diferentes estrategias dependiendo de si el detector trabaja en banda estrecha, ancha o ultra ancha. Posteriormente, se analizan detenidamente 2 problemas técnicos especialmente relevantes para el diseño del detector: cómo construir masas y cargas de 50 Ω que mantengan sus características hasta frecuencias de milimétricas. Por último se presentan los resultados de las medidas de los detectores diseñados.

II. DIODOS

El diodo debe ser elegido cuidadosamente, ya que es el elemento que permite obtener la señal paso bajo deseada a partir de la señal de RF. Para que un diodo sea capaz de detectar correctamente a una cierta frecuencia, su frecuencia de corte debe ser 5 veces mayor que la frecuencia de trabajo. Esta frecuencia de corte se define de la siguiente manera:

$$f_{c0} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_s \cdot C_{j0}} \quad (1)$$

donde R_s y C_{j0} son elementos del circuito equivalente en pequeña señal del diodo (figura 1) [2], [4].

El diodo HSCH-9161 tiene una frecuencia de corte mayor que 200 GHz, por lo que es adecuado para trabajar a frecuencias de milimétricas.

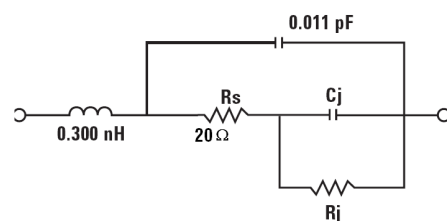


Fig. 1. Circuito equivalente de un diodo Schottky

En el circuito de la figura 1 la capacidad de la región de depleción está modelada por C_j , mientras que R_j modela la corriente que fluye a través de la unión. R_s representa las pérdidas debidas al contacto óhmico y Schottky, y L_s y C_p modelan los efectos parásitos del encapsulado. Los valores de los elementos del circuito equivalente pueden extraerse a partir de medidas con fuerte polarización en directa e inversa [4]. La tabla II muestra los valores de C_j y R_j para diferentes puntos de polarización [2] (los demás parámetros permanecen constantes):

TABLE II
VALORES DE LOS PARÁMETROS DEL CIRCUITO

Parameter	-4 V	Zero Bias	+0.1 V	+0.5 V
$R_j(\Omega)$	440	3000	277	34
$C_j(pF)$	0.019	0.035	0.027	0.034

En el detector presentado en este artículo, el diodo Agilent HSCH-9161 trabaja en polarización cero (*zero bias*). La polarización cero simplifica el circuito, evitando redes de polarización. Esto es una ventaja muy interesante, especialmente en milimétricas donde la simplicidad en el montaje de los circuitos es una cuestión capital.

III. RED DE ADAPTACIÓN A LA ENTRADA

Como pudo verse en el circuito equivalente presentado en el apartado anterior, la impedancia de entrada del diodo puede alcanzar valores de varios $k\Omega$, bastante lejos de los típicos 50Ω empleados en los circuitos de microondas, lo que supone un grave problema de adaptación. Para conseguir que la mayor parte de la potencia entre al diodo, mejorando la sensibilidad y reduciendo la reflexión, es necesaria una red de adaptación. La impedancia, además, sufre grandes variaciones en frecuencia, lo que hace que el diseño de la red de adaptación esté fuertemente influenciado por el ancho de banda de trabajo.

Si sólo se desea trabajar en banda estrecha, es fácil diseñar una red de adaptación que transforme la impedancia del diodo en 50Ω en esa banda. Un tramo de línea de transmisión y un stub suelen ser suficientes para conseguirlo [1], [6]. En la banda de trabajo es posible conseguir buena adaptación y alta sensibilidad.

Por el contrario, si el detector debe funcionar en banda ancha, el diseño de la red de adaptación se complica más y más cuanto mayor es el ancho de banda. Es posible conseguir buena adaptación pero con circuitos sofisticados [1], [6]. La solución suele ser un compromiso en el que la adaptación y la complejidad de la red son aceptables.

En el límite de la banda ancha se encuentran los circuitos de banda ultra ancha. Estos circuitos, utilizados principalmente en aplicaciones de guerra electrónica, necesitan anchos de banda de más del 50 %, en los que es muy difícil adaptar con una red sin pérdidas. La solución más habitual en este caso es utilizar una carga de 50Ω en paralelo con el diodo [6].

Sin embargo, utilizar una carga de 50Ω en paralelo tiene una desventaja importante: una gran parte de la potencia que llega al detector se disipa en la carga en vez de entrar al diodo, lo que reduce la sensibilidad. Si esta es una característica

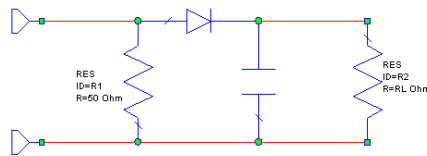


Fig. 2. Detector con carga de 50Ω en paralelo

crítica para la aplicación en cuestión, puede ser mejor aceptar la desadaptación eliminando la red de adaptación.

Los 2 detectores presentados en este artículo trabajan en banda ultra ancha, desde algunos megahertzios hasta 40 GHz. Uno tiene una carga de 50Ω en paralelo, mientras que el otro no tiene red de adaptación alguna. A pesar de usar las técnicas de banda ultra ancha ya descritas, el detector debe ser diseñado cuidadosamente para conseguir una respuesta aproximadamente plana en cuanto a sensibilidad y adaptación desde bajas frecuencias hasta 40 GHz.

IV. CUESTIONES TÉCNICAS

A. Masa de banda ultra ancha

Un importante problema tecnológico viene ocasionado por la necesidad de disponer de una masa, o una muy baja impedancia a masa a la salida del diodo, en una banda muy ancha. A la salida del diodo tiene que haber un condensador para separar la señal de baja frecuencia deseada de los armónicos generados en el diodo. Las altas frecuencias deben ver una baja impedancia a masa. Sin embargo, lo que hay en realidad es un tramo de línea microstrip, un condensador y una inductancia, como en la figura 3.

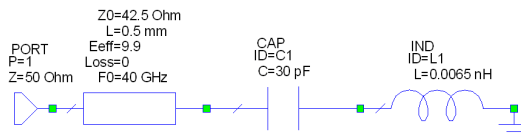


Fig. 3. Circuito equivalente en alta frecuencia del corto de RF

El tramo corto de línea de transmisión es necesario para soldar los contactos del diodo y el condensador, dejando algo de espacio para que pueda fluir el epoxi. Después viene el condensador y, a continuación se llega al plano de masa a través de un taladro metalizado. El taladro introduce efectos parásitos, que pueden modelarse como una inductancia. En consecuencia, no hay una baja impedancia a masa a la salida del diodo en todo el margen de frecuencias.

Los condensadores deben elegirse de forma que el valor de la capacidad sea suficientemente alto para presentar una baja impedancia desde frecuencias relativamente bajas, y no produzcan resonancias en la banda de trabajo. En los diseños presentados se utilizaron condensadores Dilabs MilliCap de 82 y 30 pF.

Por otro lado, la inductancia del taladro metalizado debe mantenerse en valores bajos incluso a 40 GHz. Para conseguirlo, el radio del taladro debe ser grande y el sustrato muy fino, como suelen ser los sustratos especiales para altas frecuencias.

Teniendo en cuenta estas ideas, el efecto de la capacidad y de la inductancia parásita es prácticamente despreciable. Por

el contrario, el efecto de la longitud de línea de transmisión puede ser un problema más grave. Suponiendo que el condensador y el taladro se comportaran como un cortocircuito a masa, la impedancia a la salida del diodo vendría dada por la ecuación 2.

$$Z_{in} = jZ_0 \cdot \tan \beta l \quad (2)$$

Solamente con que la longitud del tramo de línea sea suficiente para soldar los componentes, ya es suficientemente larga para hacer que el diodo vea a su salida impedancias altas a alguna frecuencia ($\lambda/4$ son sólo algunos cientos de micras), y el detector no funciona bien a esas frecuencias. Por lo tanto, es necesaria una topología mejorada que permita mantener la impedancia a masa baja a todas las frecuencias. Algunas ideas son utilizar más de un condensador y taladro y ensanchar la línea para reducir su impedancia. En los diseños presentados en el siguiente apartado, se han utilizado nuevos tipos de masas para alta frecuencia, con 3 condensadores y 3 taladros situados en cruz (figuras 5 y 6). La respuesta es mucho más plana que cuando se usa la topología convencional.

B. Carga de 50 Ω en banda ultra ancha

Los diseños adaptados en banda ultra ancha necesitan una carga de 50 Ω con una impedancia constante en toda la banda. Las resistencias grabadas típicas conectadas a un taladro cambian ligeramente su impedancia en frecuencias muy altas. Por este motivo, en el detector adaptado diseñado, la carga de 50 Ω se ha construido con 3 resistencias formando un atenuador en T, como puede verse en la figura 4. Las simulaciones electromagnéticas y las medidas demuestran que esta topología consigue una adaptación mejor que las configuraciones con una sola resistencia.

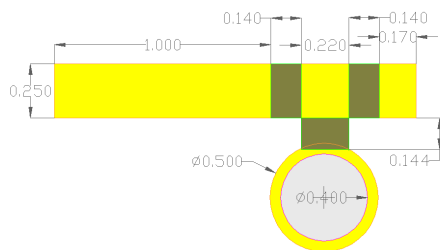


Fig. 4. Esquema de la carga de 50 Ω

V. DETECTORES DISEÑADOS

Teniendo en cuenta las cuestiones analizadas en los últimos apartados, se han diseñado 2 detectores de banda ultra ancha, con funcionamiento satisfactorio hasta 40 GHz:

A. Detector no adaptado

Se ha diseñado y construido un detector no adaptado, como puede verse en la figura 5.

El sustrato utilizado fue Rogers RT Duroid 5880 con $\epsilon_r = 2,2$ y 0,128 mm de grosor. Para realizar un buen corto a masa se han usado 2 condensadores de 82 pF y uno de 32 pF de Dilabs, colocados en una topología en cruz. La señal deseada de baja frecuencia se ha extraído a través de una bobina cónica soldada a la esquina del cuadrado. El diodo HSCH-91611 no está polarizado. De hecho, la bobina a la entrada del diodo puede eliminarse.

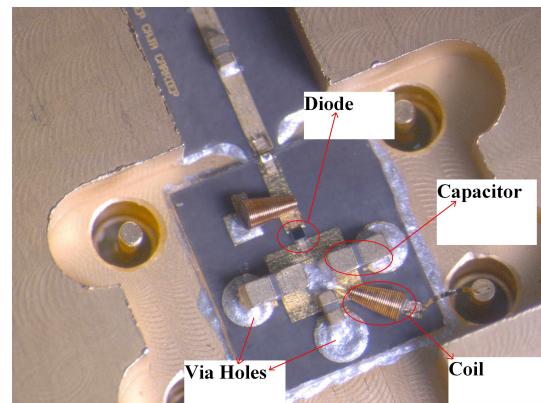


Fig. 5. Detector no adaptado

B. Detector adaptado

También se ha construido y medido un detector adaptado. En este caso, se ha utilizado una carga de 50 Ω en paralelo para mejorar la adaptación. No se disponía de la capacidad para realizar resistencias grabadas en sustratos plásticos, por lo que en esta ocasión se eligió un sustrato alúmina de 0.254 mm de grosor. Igual que en el diseño anterior, se han utilizado 2 condensadores Dilabs de 82 pF y otro de 30 pF para conseguir la masa de RF. La carga de 50 Ω se ha construido con 3 resistencias impresas en un atenuador en T, como ya se ha explicado en el apartado IV. El diseño adaptado puede verse en la figura 6.

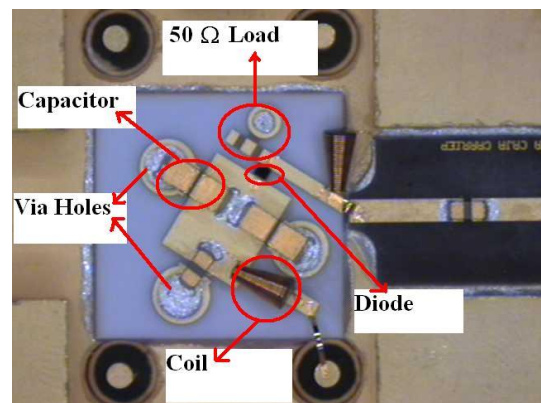


Fig. 6. Detector adaptado

VI. MEDIDAS

La sensibilidad de ambos diseños ha sido medida para una potencia de entrada de -10 dBm. La gráfica 7 muestra los resultados de estas medidas. El detector no adaptado tiene una sensibilidad de aproximadamente 1 V/mW, con respuesta bastante plana hasta 39 GHz, mientras que el caso adaptado es de tan sólo 0,4 V/mW. Esta diferencia es la consecuencia de la potencia que se disipa en la carga en el diseño adaptado. La variabilidad de la impedancia de la carga con la frecuencia hace además que la sensibilidad sea algo más inestable.

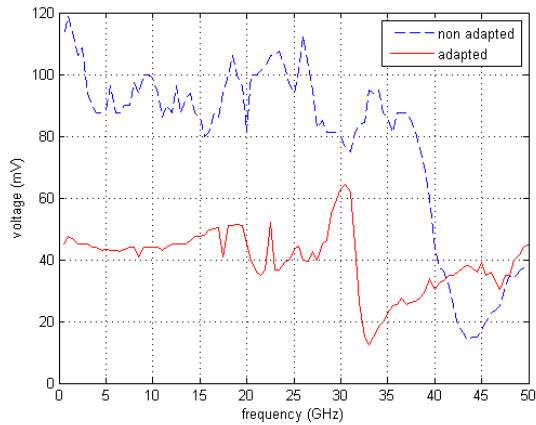


Fig. 7. Tensión detectada vs frecuencia

Sin embargo, como era de esperar, el diseño no adaptado presenta una adaptación muy mala (figura 8) y esto podría ser un grave problema según la aplicación. Podría ser necesario colocar un circulador a la entrada del detector si la etapa anterior no tolera la potencia reflejada. Por el contrario, el diseño adaptado consigue mantener $|S_{11}|$ por debajo de -10 dB en casi toda la banda, a costa de una menor sensibilidad.

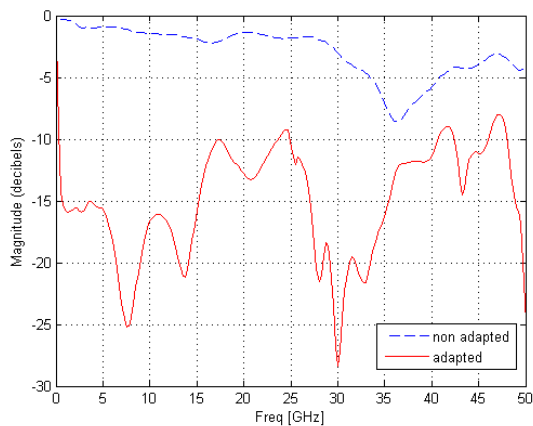


Fig. 8. $|S_{11}|$ de los detectores adaptado y no adaptado

También se ha medido la tensión detectada en el detector no adaptado para diferentes potencias de entrada (figura 9). Como puede observarse, existe una caída de la sensibilidad a partir de 35 GHz que se acentúa conforme aumenta la potencia de entrada. Sin embargo, afortunadamente, los detectores suelen trabajar con potencias bajas, ya sea en receptores o para detectar si hay señal en un determinado punto. Por lo tanto, no es un problema grave, ya que además, existe la posibilidad de atenuar de forma relativamente sencilla.

VII. CONCLUSIONES

Se han presentado dos detectores hasta frecuencias de milimétricas. Los principales problemas tecnológicos de trabajar en milimétricas y con bandas muy anchas han sido resueltos satisfactoriamente. Los diseños presentados pueden ser útiles para múltiples aplicaciones debido a su simplicidad y al relativo bajo precio de los circuitos.

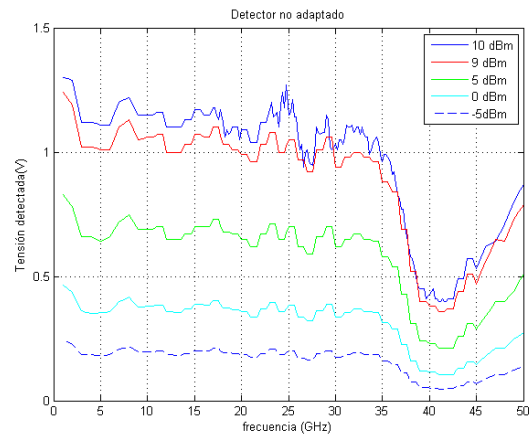


Fig. 9. Sensibilidad del detector no adaptado para varias potencias de entrada

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido realizado gracias a la financiación del proyecto P050935-556 de INDRA SISTEMAS S.A. y al proyecto TEC2005-07010-C02-01 del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

REFERENCES

- [1] Inder Bahl and Prakash Bhartia *Microwave Solid State Circuit Design, 2nd Edition*. Wiley-Interscience caps. 8, 11
- [2] Agilent website. [Online]. Available: <http://www.agilent.com>
- [3] Lam, W., Lee, P., Yujiri, L., Berenz, J., Pearlman, J., "Millimeter-Wave Imaging Using Preamplified Diode Detector". *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, Vol. 2, No. 7, July 1992
- [4] P. de Paco, L. Pradell, A. Lázaro "Detectores a Diodo para los Modelos de Cualificación de los Radiómetros a 30 y 44 GHz del Instrumento de Baja Frecuencia de la Misión Planck" in *XVIII Simposium de la Unión Científica Internacional de Radio*, September 2003
- [5] Charles M. Howell and Samuel J. Parisi "Principles, Applications and Selection of Receiving Diodes". MACOM Semiconductor Products Division. Application note AG314
- [6] *Impedance Matching Techniques for Mixers and Detectors*. Agilent Technologies Application Note No.963
- [7] *Dynamic Range Extension of Schottky Detectors*. Agilent Technologies Application Note 956-5
- [8] *The Zero Bias Schottky Detector Diode*. Agilent Technologies Application Note 969
- [9] Chang, C. C., Lynch, D. L., Sohigian, M. D., Anderson, G. F., Schaffner, T., Roberts, G. I. "A Zero-Bias GaAs Millimeter Wave Integrated Detector Circuit" in *IEEE MTT-S Int. Microwave Symposium Digest*, June 1982, pp. 206-208
- [10] Shillady, R. W. "High Dynamic Range Video Detector" in *IEEE MTT-S Int. Microwave Symposium Digest*, June 1986, pp.301-304
- [11] Adel S. Sedra y Kenneth C. Smith *Circuitos Microelectrónicos, 4ª edición* Oxford University Press, cap. 3.
- [12] Tri T. Ha *Solid State Microwave Amplifier Design* John Wiley and sons, cap. 5, 1981