

Módulos en tecnología fin-line para frontal de RF en una VSAT de banda Ka

José María Agüero San Emeterio, Tomás Fernández Ibáñez, José Luis García García, Francisco Gutiérrez Piñera*

Departamento de Ingeniería de Telecomunicaciones - Universidad de Cantabria

* ACORDE S.A. - C.D.T.U.C. - Universidad de Cantabria - <http://www.acordecom.com>
e-mail : chema@dicom.unican.es

Abstract- In this paper, the design and performance of a Ka band balanced mixer and a frequency multiplier (X5), using fin-line technology and commercially available low cost diodes, are described. The mixer achieves conversion losses less than 10 dB over a 26.5 – 31.25 GHz frequency range and exhibits excellent LO to RF isolation (>35dB), handling IF frequencies up to 10 GHz. The frequency multiplier (X5) conversion losses are less than 25 dB and all the harmonic signals remain at least 22 dB below the carrier.

I. INTRODUCCIÓN

Debido a la congestión que sufre el espectro radioeléctrico y con el fin de ofrecer canales de transmisión para aplicaciones multimedia de banda ancha, los sistemas de comunicaciones por satélite están evolucionando hacia bandas de frecuencia más altas. Además, un gran número de nuevos servicios están siendo propuestos para sistemas por satélite en banda Ka, desarrollados especialmente para VSAT's (Very Small Aperture Terminals).

Hace algunos años, P.J. Meier propuso una nueva línea de transmisión (fin-line) con el fin de obviar los problemas que surgen con el empleo de líneas microstrip en esta banda frecuencial, como son los de tolerancias críticas y anchos de línea muy reducidos [1].

Una de las características más importantes de la fin-line es su compatibilidad con guías de onda rectangulares. De esta forma, la fin-line se ha combinado con otras estructuras planares como microstrip y línea coplanar, para dar lugar a circuitos integrados en guía de onda muy versátiles colocados en el plano E de una guía metálica. Dentro de esta tecnología se han realizado una serie de componentes tales como detectores, atenuadores, acopladores direccionales, etc., con aplicación directa en sistemas de radar, comunicaciones y radiometría en banda milimétrica [2],[3].

En este artículo se presenta el diseño y construcción, en banda Ka y tecnología fin-line, de un mezclador de banda ancha usando una configuración simplemente balanceada con diodos Beam-Lead y un multiplicador (X5) usando diodos del mismo tipo, que debido a sus características finales y a su bajo coste, podrían ser unos módulos adecuados para cualquier frontal de RF de una VSAT en esta banda.

II. TECNOLOGÍA FIN-LINE

La fin-line es básicamente una slot-line, pero a diferencia de la slot-line convencional, se consigue el confinamiento del campo por medio de las paredes de la guía en lugar de por el uso de un sustrato grueso de alta permitividad.

En el plano E de una guía rectangular se coloca un sustrato dieléctrico; según la metalización de este podemos distinguir diferentes tipos de líneas fin-line: *unilateral*, con la metalización en un lado del dieléctrico y una pequeña ranura (slot) separando las dos tiras conductoras, *bilateral*, con tiras conductoras a cada lado del dieléctrico y, *antipodal*, con tiras en ambos lados del dieléctrico y colocadas en configuración asimétrica (ver *figura 1*).

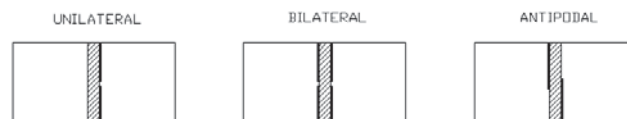


Fig. 1. Distintos tipos de líneas fin-line según la metalización del sustrato.

Las pérdidas en este tipo de líneas se deben: a las pérdidas en el conductor (efecto Skin), en la guía, y a las pérdidas en el dieléctrico ($\tan \delta$) que se coloca en la parte de la guía donde el campo es máximo. Varios autores [4],[5] han medido estas pérdidas en líneas fin-line unilaterales y bilaterales. En estos estudios queda determinado que si se disminuye el espesor de la metalización, y se aumenta el del sustrato, se incrementan las pérdidas en la línea.

En la práctica se adoptan dos tipos de montajes fin-line, como se puede observar en la *figura 2*.

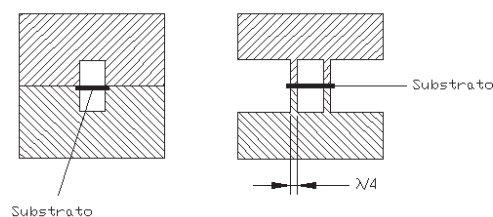


Fig. 2. Distintos tipos de montaje líneas fin-line.

El primero de los dos tipos es adecuado para el montaje de cualquier tipo de circuitos pasivos, como es nuestro caso, mientras que el otro montaje prevé posibles caminos de para alimentar distintos elementos semiconductores activos.

III. MULTIPLICADOR EN TECNOLOGÍA FIN-LINE

Cuando se necesita realizar una multiplicación en frecuencia, es preciso utilizar la característica no-lineal de un dispositivo de estado sólido. En la *figura 3*, se puede ver la corriente de salida resultante de aplicar una señal sinusoidal a la característica I-V no-lineal de un diodo. Un análisis de Fourier de esta señal muestra su contenido espectral, formado por componentes a la frecuencia de entrada, pero también por otras componentes: componente de DC y componentes de frecuencias distintas a la de entrada.

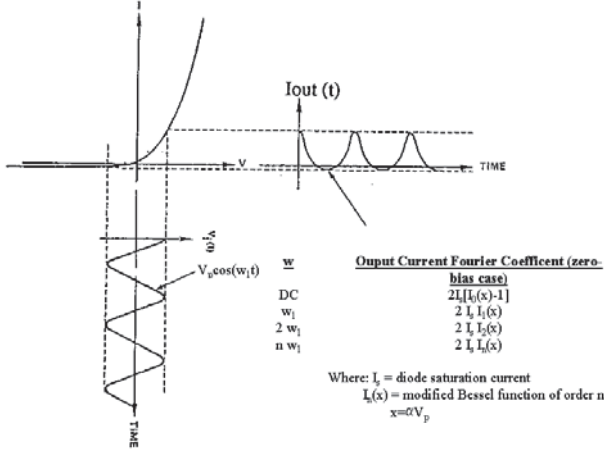


Fig. 3. Señales entrada-salida para un dispositivo no lineal (Bahl and Bhartia [6]).

Cuanto más no lineal sea la característica del diodo, mayor será el porcentaje de potencia contenido en las componentes frecuenciales distintas de la frecuencia de entrada. Cuando colocamos dos diodos en anti-paralelo, los términos pares se cancelan, en la *figura 4* podemos observar las corrientes y voltajes en un par de diodos situados en esta configuración.

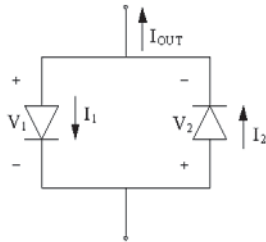


Fig. 4. Dos diodos en configuración anti-paralelo.

La característica I/V de cada uno de estos diodos se puede expresar mediante serie de potencias;

$$I_1 = a \cdot V_1 + b \cdot V_1^2 + c \cdot V_1^3 + d \cdot V_1^4 + e \cdot V_1^5 + \dots \quad (1)$$

$$I_2 = a \cdot V_2 + b \cdot V_2^2 + c \cdot V_2^3 + d \cdot V_2^4 + e \cdot V_2^5 + \dots \quad (2)$$

De esta forma, se puede observar como en esta configuración los términos pares se cancelan.

$$I_{OUT} = I_2 - I_1 \quad (3)$$

$$V_2 = -V_1 = -V \quad (4)$$

$$I_{OUT} = (-a \cdot V + b \cdot V^2 - c \cdot V^3 + d \cdot V^4 - e \cdot V^5 + \dots) - (a \cdot V + b \cdot V^2 + c \cdot V^3 + d \cdot V^4 + e \cdot V^5 + \dots) \quad (5)$$

$$I_{OUT} = -2 \cdot a \cdot V - 2 \cdot c \cdot V^3 - 2 \cdot e \cdot V^5 - \dots \quad (6)$$

Si la señal de entrada es sinusoidal de la forma $V = V_p \cos(\omega t)$, por simple trigonometría podemos deducir que la señal de salida contendrá únicamente términos frecuenciales impares en $\omega, \omega^3, \omega^5, \dots$

En la *figura 5*, se muestra el esquema del multiplicador (X5) desarrollado para este artículo. La estructura fin-line, es de tipo antipodal no solapada ($s > 0$) y se diseña con el slot mínimo posible, de forma que se consiga una alta concentración del campo en los diodos, a expensas de una impedancia alta de la línea de transmisión.

Un corto variable en el puerto 2, permitirá la adaptación de la señal de salida a la frecuencia de interés. El filtro en el puerto 1, debe rechazar la frecuencia de salida ($f_{in} \times 5$), de forma que toda la potencia a esa frecuencia se transfiera a la salida (puerto 3).

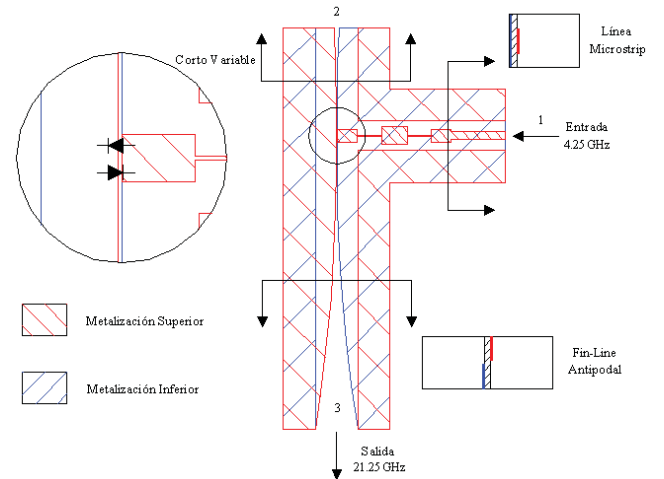


Fig. 5. Esquema multiplicador fin-line (X5).

Partiendo de las especificaciones de la *Tabla 1*, se montó y midió el diseño anterior para verificar que estas eran cumplidas. En primer lugar se estudió la relación entre las pérdidas de conversión y la potencia de entrada, *figura 6*, lo que nos permitió determinar la potencia de entrada adecuada para el funcionamiento del multiplicador; como puede observarse 8 dBm fueron suficientes.

Especificaciones Multiplicador X5	
Frecuencia Entrada	4.25 GHz
Pérdidas de Conversión	< 30 dB
Armónicos	< -20 dBc
Potencia de Entrada	< +15 dBm

Tabla. 1. Especificaciones multiplicador fin-line (X5).

Los resultados obtenidos en las medidas se pueden ver en la *figura 7* y en la *Tabla 2*, y cumplen sobradamente las especificaciones de partida. Además para verificar que este tipo de dispositivos presentan un comportamiento en banda ancha, se hizo un barrido de la señal de entrada (4.1 – 4.4 GHz) y se observaron las pérdidas de conversión a la salida (20.5 – 22 GHz), *figura 8*.

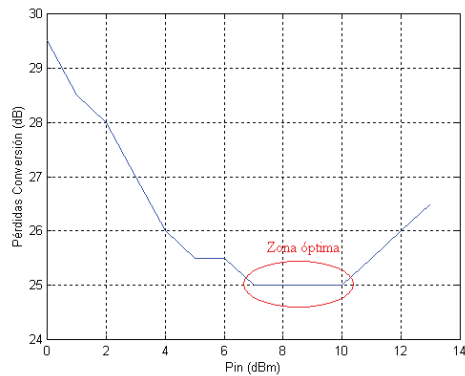


Fig. 6. Evolución de la Pérdidas de Conversión frente a la Potencia de Entrada.

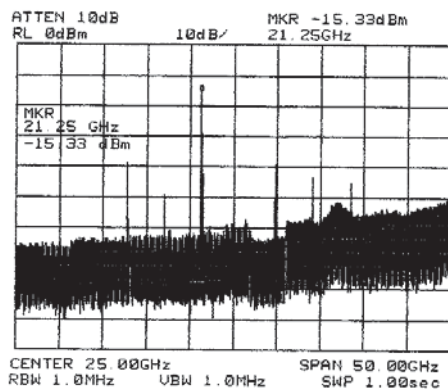


Fig. 7. Espectro de salida del multiplicador F_{IN} :4.25 GHz

Nº Armónico	Frecuencia (GHz)	P _{OUT} (dBm)
3	12.75	-37.5
4	17	-48.5
5	21.25	-15
6	25.5	-57.5
7	29.75	-38

Tabla. 2. Potencia de salida en los diferentes armónicos, para una frecuencia y potencia de entrada de 4.25 GHz y +8 dBm.

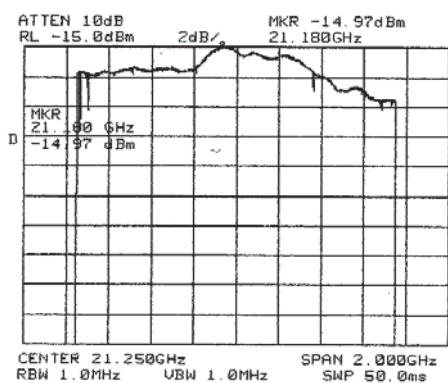


Fig. 8. Comportamiento banda ancha del circuito F_{OUT} : 20.5–22 GHz.

IV. MEZCLADOR EN TECNOLOGÍA FIN-LINE

En este apartado se pretende mostrar el diseño y montaje de un mezclador banda ancha, usando una configuración simplemente balanceada con diodos Beam-Lead. El mezclador se realizó en un sustrato de baja constante dieléctrica, montado en el plano E de una guía rectangular y conjugando líneas fin-line, stripline suspendido y

microstrip. La *Tabla 3* muestra las especificaciones mínimas exigidas al mezclador, puede verse que el ancho de banda requerido no es excesivamente grande, sin embargo el diseño del mezclador se ha enfocado de manera más general, con lo que el resultado final supera ampliamente las imposiciones mínimas de partida, tanto en ancho de banda como en pérdidas de conversión.

Especificaciones Mezclador		
Pérdidas de Conversión	< 12	dB
Aislamiento OL-RF	> 25	dB
Aislamiento OL-IF	> 30	dB
Aislamiento RF-IF	> 30	dB
Frecuencia de RF	29.5 – 30	GHz
Frecuencia de OL	21.25	GHz
Frecuencia de IF	8.25 – 8.75	GHz

Tabla. 3. Especificaciones Mezclador en tecnología Fin-Line.

La unión híbrida de 180° necesaria para el funcionamiento en modo balanceado del mezclador, se consigue utilizando dos líneas de transmisión ortogonales entre sí, las tensiones de RF se aplican a los diodos en contrafase, mientras que las tensiones de OL se aplican en fase. La *figura 9*, muestra la configuración de los conductores dentro de la guía de onda. Con este tipo de estructura se consigue un gran aislamiento RF-OL puesto que ambas señales se propagan por guías de onda diferentes; mientras la señal de RF se propaga en la guía WR28, la de OL lo hace en la guía WR42.

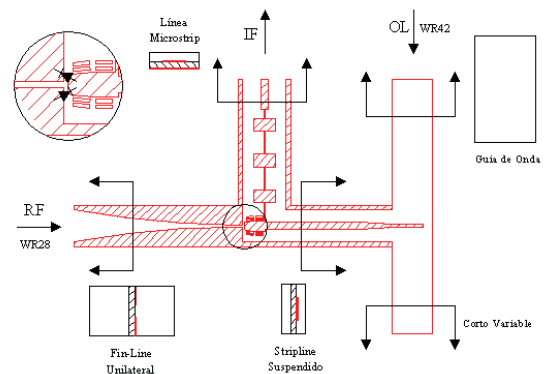


Fig. 9. Configuración de los conductores dentro de la guía de onda.

La señal de RF es acoplada a los diodos mezcladores por medio de una transición guía de onda a fin-line unilateral, a través de tapers tipo circular. Esta transición fue medida separadamente y los resultados obtenidos para una transición doble de este tipo se muestran en la *figura 10*.

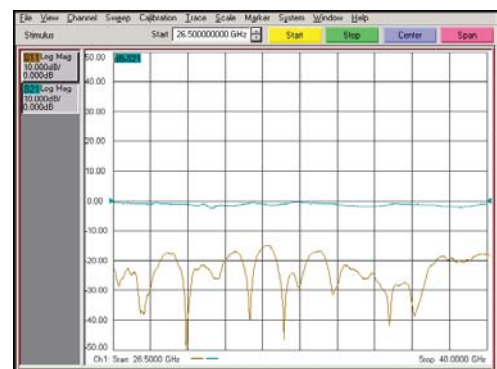


Fig. 10. Respuesta de una transición doble guía de onda a fin-line.

La señal de entrada de oscilador se acopla a los diodos por medio de una transición guía de onda a stripline suspendido del tipo sonda (probe). Esta transición es de banda estrecha, sin embargo puede ser sintonizada para diferentes frecuencias de oscilador local, por medio de un corto variable. La stripline suspendida es una línea de transmisión básica cuya estructura se muestra en la *figura 11*, para un medio con baja constante dieléctrica la frecuencia de corte del modo fundamental es:

$$f_c = \frac{c}{2 \cdot A} \sqrt{1 - \frac{H}{B} \left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r} \right)} \quad (7)$$

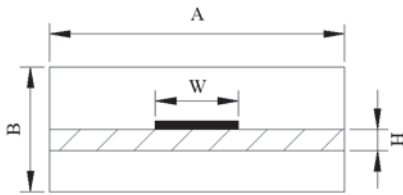


Fig. 11. Stripline suspendido.

Si se quiere suprimir la propagación de la guía para permitir únicamente la propagación del modo quasi-TEM a lo largo de la línea stripline, el tamaño de la guía debe ser diseñado de tal forma que permita que la frecuencia de corte del modo fundamental de la guía de onda sea mayor que la máxima frecuencia de trabajo. Para la banda Ka, se seleccionó $AXB = 3.55 \times 1.5 \text{ mm}^2$, que para el sustrato utilizado representa una frecuencia de corte del modo fundamental de 40.5 GHz, de esta forma aseguramos que el modo de propagación en la stripline es el quasi-TEM [7].

La señal de IF de salida, se extrae por medio de un filtro microstrip paso bajo, con una banda de paso DC-10 GHz y que rechaza las señales de OL y RF. Este filtro fue también medido por separado y los resultados que se obtuvieron se presentan en la *figura 12*.

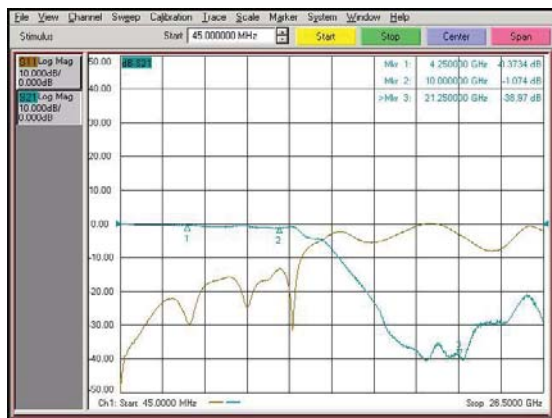


Fig. 12. Medidas Filtro Paso Bajo Microstrip puerto de IF.

En la *figura 13*, se representan las pérdidas de conversión del mezclador funcionando en conversión hacia abajo, para una señal de RF entre 26.5 y 31.25 GHz (potencia -30 dBm) y una señal de OL fija a 21.25 GHz (potencia $+8 \text{ dBm}$). En la *Tabla 5* se resumen las prestaciones del mezclador a las frecuencias indicadas en la *Tabla 4*.

Frecuencias de trabajo del Mezclador		
Señal de RF	26.5 - 31.25	GHz
Señal de OL	21.25	GHz
Señal de IF	5.25 - 10	GHz

Tabla. 4. Frecuencias Mezclador en tecnología Fin-Line.

Prestaciones Mezclador	
Pérdidas de Conversión	< 10 dB
Aislamiento OL-RF	> 35 dB
Aislamiento OL-IF	> 40 dB
Aislamiento RF-IF	> 35 dB

Tabla. 5. Prestaciones Mezclador en tecnología Fin-Line.

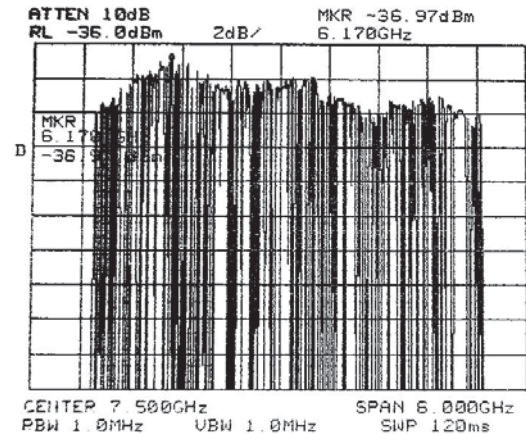


Fig. 13. Rizado a la salida del mezclador.

V. CONCLUSIONES

Se ha realizado un mezclador y un multiplicador de frecuencia (X5) en tecnología fin-line, susceptible de ser utilizado en el frontal de RF de una VSAT en banda Ka. Las opciones de diseño se han enfocado hacia dispositivos de banda ancha con prestaciones superiores a las requeridas en las especificaciones de partida.

Se han conseguido pérdidas de conversión inferiores a 10 dB para el mezclador y buenos aislamientos entre los diferentes puertos. Por otro lado, el multiplicador (X5) presenta unas pérdidas menores de 25 dB con los armónicos siempre 22 dB por debajo de la señal de salida.

REFERENCIAS

- [1] P.J. Meier, "Two New Integrated-Circuit Media with Special Advantages at Millimeter Wavelengths," IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Digest, 1972, pp.221-223.
- [2] H. Meinel, H. Callsen, "Fin-line PIN-diode attenuators and switches for the 94 GHz range" Electronics Letters, Vol. 18, 1982, pp. 541-542
- [3] H. Hofmann, "MM-wave gunn oscillator with distributed feedback fin-line circuit" IEEE Symp. Digest, MTT-S, Washington, D.C., 1980, pp. 59-61.
- [4] P.J.Meier, "Integrated fin-line millimetre components" IEEE MTT-22, N° 12, Dec 1974, pp. 1209-1216
- [5] R.V. Bates, M.D. Coleman, "Fin-line for microwave integrated Circuits (MICS) at Ka-band (27-40 GHz)", Philips Research, Annual Review 1978.
- [6] Bahl, I.J. and Bhartia, P., "Microwave Solid State Circuit Design", John Wiley & Sons, 1987.
- [7] Xie Jinxiong, "Suspended Stripline and Ka Band Integrated Mixer" Asia-Pacific Conference on Environmental Electromagnetics CEEM'2000.