

**Montaje y medida de un
multiplicador de frecuencia
basado en un diodo SRD**

D. Cordobés, J.A. López Pérez,
C. Almendros, J.A. Abad,
J. M. Yagüe, S. Henche

Informe Técnico IT - OAN 2008 - 10

CONTENIDO

<i>I. Introducción</i>	3
<i>II. Montaje y medida del multiplicador de frecuencia</i>	4
2.1.- Montaje	4
2.2.- Medida	6
<i>III. Inserción del multiplicador en el módulo phase-cal de holografía</i>	16
<i>IV. Inserción del multiplicador en el módulo de oscilador local del receptor banda C</i>	17
<i>V. Referencias</i>	23
<i>Anexo I: Características del diodo SRD</i>	24

I. Introducción

En el diseño del módulo de Oscilador Local del receptor banda C (3.7 – 4.2 GHz y 5.9 – 6.4GHz), se ha previsto emplear multiplicadores de frecuencia para generar las señales de OL que necesitan los mezcladores de los módulos de RF (**Figura 1**). El diodo también se ha utilizado para el módulo de phase-cal de holografía.

La solución originalmente propuesta pasaba por adquirir multiplicadores comerciales, cuyo precio era elevado. En este informe se presenta una solución alternativa basada en diodos SRD (Step Recovery Diode). Los diodos SRD se caracterizan por tener una capacidad de la unión muy pequeña y un tiempo de tránsito muy bajo (por debajo del nseg), lo que les permite conmutar extremadamente rápido entre sus estados de conducción ON y OFF. Esta característica les hace especialmente indicados para aplicaciones de generación de pulsos (multiplicación en frecuencia) [1],[2],[3].

El informe se complementa con una serie de tablas en las que se mide la potencia de salida del diodo para señales de entrada de distinta potencia y frecuencia, con el objeto de obtener una caracterización completa del dispositivo que pueda ser utilizada en futuros diseños.

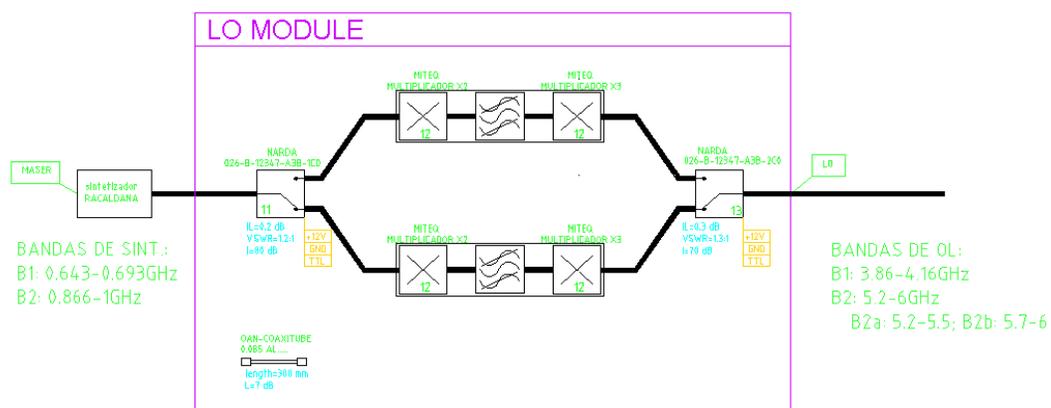


Figura 1. Detalle del diseño preliminar del módulo de Oscilador Local del receptor banda C

II. Montaje y medida del multiplicador

1) Montaje

El multiplicador de frecuencia se ha implementado con un diodo SRD modelo Micrometrics MSD700 que tiene las siguientes características: (ver Anexo I)

- Voltaje de ruptura $\geq 15\text{volt}$
- Capacidad inversa @ -6V: 0.2 – 0.4pF
- Resistencia serie máxima: 1.2Ω
- Tiempo de vida mínimo de los portadores: 8ns
- Tiempo de transición máximo: 60ps

Se han montado cuatro diodos en placas de circuito impreso en substrato Taconic TLX-8 con conectores SMA tipo *end-launch* como las mostradas en la **Figura 2** y posteriormente se han introducido en cajas cilíndricas de latón (**Figura 3**).

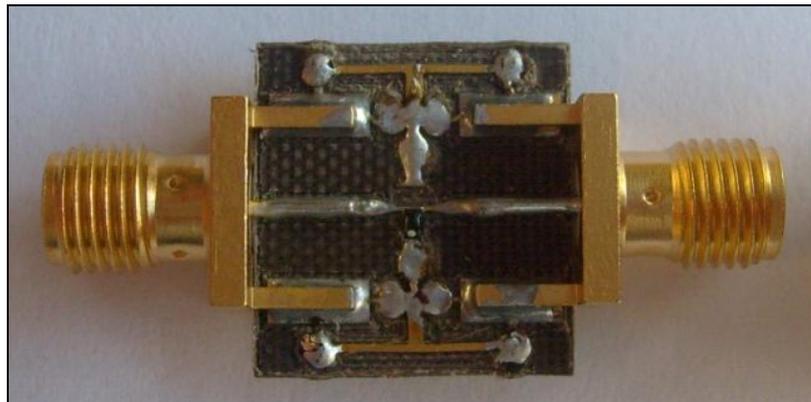


Figura 2. Placa de circuito impreso del multiplicador de frecuencia

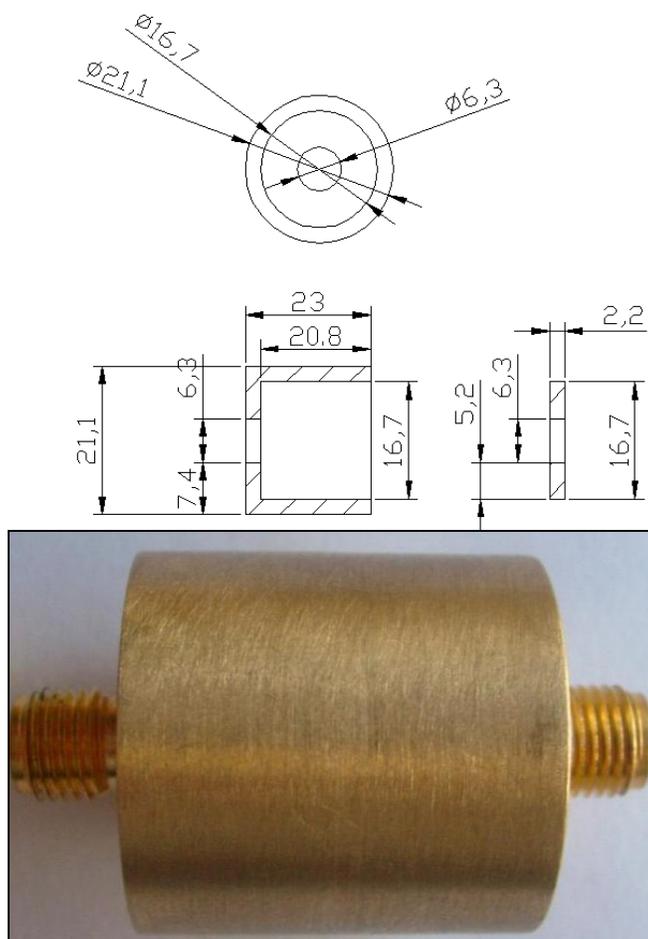


Figura 3. Caja del multiplicador de frecuencia. Dimensiones en mm.

2) Medida

En la **Figura 4** se muestra el banco de medida empleado.

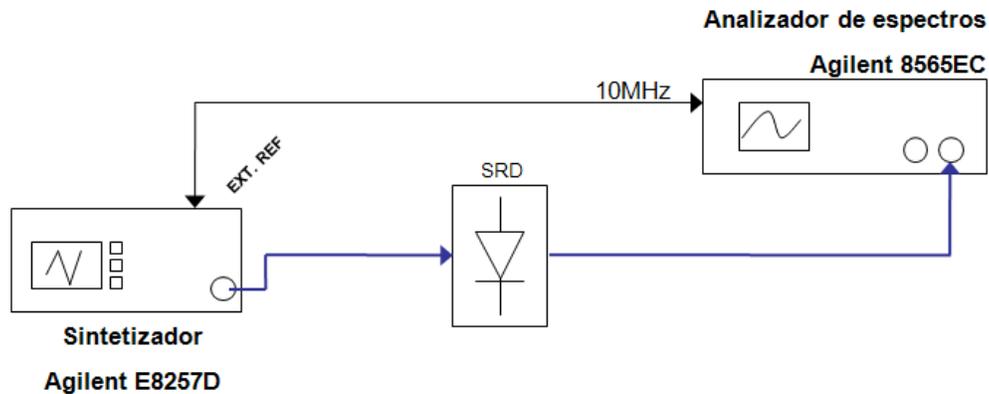


Figura 4. Banco de medida

El tipo de señal que se obtiene en el analizador de espectros es un tren de pulsos a frecuencias múltiplos de la frecuencia generada por el sintetizador (**Figura 5**).

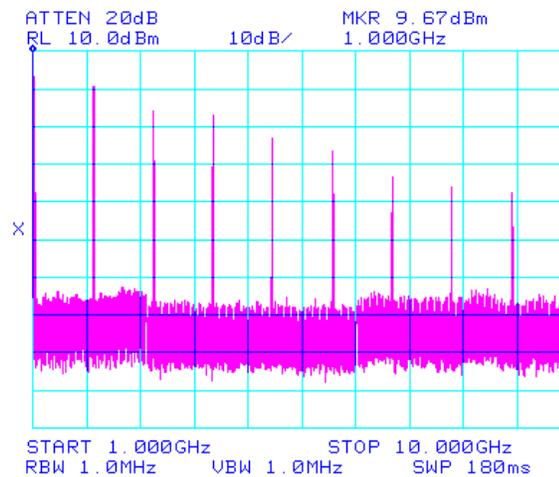


Figura 5. Señal medida con el analizador de espectros para una entrada al diodo de 12dBm@1GHz

Se han realizado medidas de la potencia a la salida del diodo inyectándole tonos de distintas frecuencias y potencias. Los resultados se presentan a continuación:

1) Frecuencia de entrada al diodo SRD: 1GHz

P_{in} = 13dBm @ 1GHz	P_{in} = 10dBm @ 1GHz	P_{in} = 8dBm @ 1GHz
P _{out} = 10.5dBm @ 1GHz	P _{out} = 8.3dBm @ 1GHz	P _{out} = 4.4dBm @ 1GHz
P _{out} = 4.5dBm @ 2GHz	P _{out} = -6.3dBm @ 2GHz	P _{out} = -24.4dBm @ 2GHz
P _{out} = -4dBm @ 4GHz	P _{out} = -13.8dBm @ 4GHz	P _{out} = -43dBm @ 4GHz
P _{out} = -11dBm @ 6GHz	P _{out} = -25.3dBm @ 6GHz	P _{out} = -71dBm @ 6GHz
P _{out} = -20dBm @ 8GHz	P _{out} = -35.8dBm @ 8GHz	P _{out} < -80dBm @ 8GHz
P _{out} = -26dBm @ 10GHz	P _{out} = -43.5dBm @ 10GHz	P _{out} < -80dBm @ 10GHz
P _{out} = -35.6dBm @ 12GHz	P _{out} = -54.5dBm @ 12GHz	P _{out} < -80dBm @ 12GHz
P _{out} = -43dBm @ 14GHz	P _{out} = -61.5dBm @ 14GHz	P _{out} < -80dBm @ 14GHz
P _{out} = -56dBm @ 16GHz	P _{out} = -67dBm @ 16GHz	P _{out} < -80dBm @ 16GHz

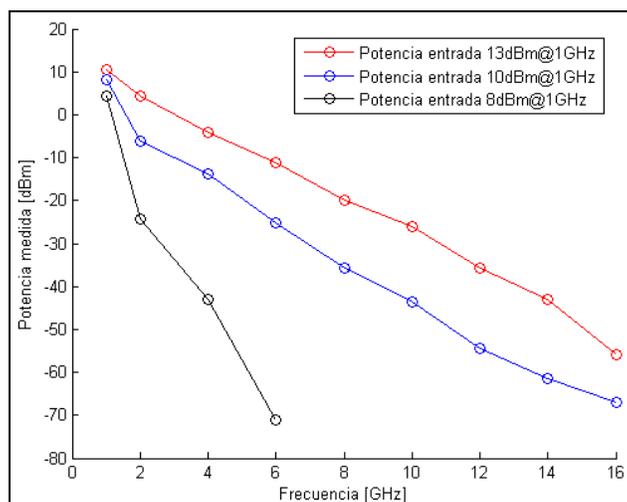


Figura 6. Potencias medidas a la salida del diodo SRD para una señal de entrada de 1GHz

2) Frecuencia de entrada al diodo SRD: 2GHz

P_{in} = 13dBm @ 2GHz	P_{in} = 10dBm @ 2GHz	P_{in} = 8dBm @ 2GHz
P _{out} = 5.7dBm @2GHz	P _{out} = 7.2dBm @2GHz	P _{out} = 3.8dBm @2GHz
P _{out} = 3.4dBm @4GHz	P _{out} = -2.1dBm @4GHz	P _{out} = -15.5dBm @4GHz
P _{out} = -2dBm @6GHz	P _{out} = -13dBm @6GHz	P _{out} = -32.6dBm @6GHz
P _{out} = -13.4dBm @8GHz	P _{out} = -24dBm @8GHz	P _{out} = -51.6dBm @8GHz
P _{out} = -20.2dBm @10GHz	P _{out} = -33dBm @10GHz	P _{out} = -67dBm @10GHz
P _{out} = -26dBm @12GHz	P _{out} = -41dBm @12GHz	P _{out} = -73dBm @12GHz
P _{out} = -35.4dBm @14GHz	P _{out} = -51dBm @14GHz	P _{out} = -78dBm @14GHz
P _{out} = -50dBm @16GHz	P _{out} = -61dBm @16GHz	P _{out} = -80dBm @16GHz

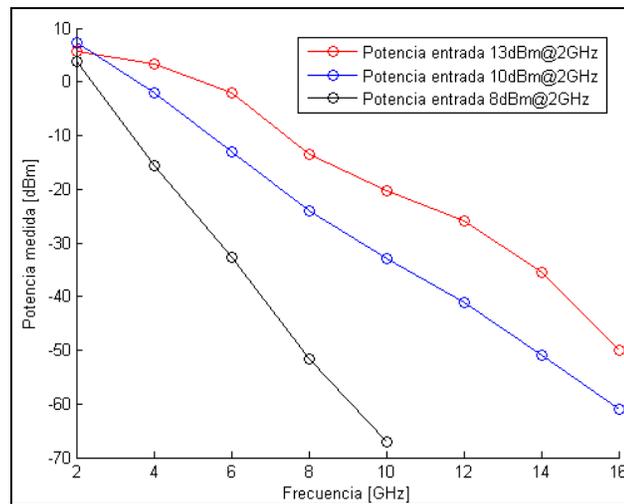


Figura 7. Potencias medidas a la salida del diodo SRD para una señal de entrada de 2GHz

3) Frecuencia de entrada al diodo SRD: 3GHz

P_{in} = 13dBm @ 3GHz	P_{in} = 10dBm @ 3GHz	P_{in} = 8dBm @ 3GHz
P _{out} = 0.5dBm @3GHz	P _{out} = 1.5dBm @3GHz	P _{out} = 0.5dBm @3GHz
P _{out} = -2.2dBm @6GHz	P _{out} = -4.2dBm @6GHz	P _{out} = -14.8dBm @6GHz
P _{out} = -18.8dBm @9GHz	P _{out} = -23.8dBm @9GHz	P _{out} = -32.5dBm @9GHz
P _{out} = -28.7dBm @12GHz	P _{out} = -31dBm @12GHz	P _{out} = -51dBm @12GHz
P _{out} = -44dBm @15GHz	P _{out} = -47dBm @15GHz	P _{out} = -67dBm @15GHz
P _{out} = -47dBm @18GHz	P _{out} = -50dBm @18GHz	P _{out} = -78dBm @18GHz

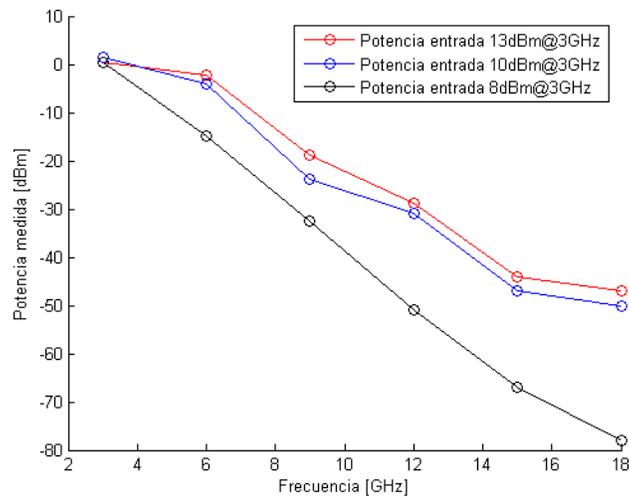


Figura 8. Potencias medidas a la salida del diodo SRD para una señal de entrada de 3GHz

4) Frecuencia de entrada al diodo SRD: 4GHz

P_{in} = 13dBm @ 4GHz	P_{in} = 10dBm @ 4GHz	P_{in} = 8dBm @ 4GHz
P _{out} = -2dBm @ 4GHz	P _{out} = -10dBm @ 4GHz	P _{out} = -8dBm @ 4GHz
P _{out} = -4dBm @ 8GHz	P _{out} = -9dBm @ 8GHz	P _{out} = -19.2dBm @ 8GHz
P _{out} = -26dBm @ 12GHz	P _{out} = -35.7dBm @ 12GHz	P _{out} = -46dBm @ 12GHz
P _{out} = -39dBm @ 16GHz	P _{out} = -54.6dBm @ 16GHz	P _{out} = -68.5dBm @ 16GHz
P _{out} = -63dBm @ 20GHz	P _{out} = -52dBm @ 20GHz	P _{out} = -78.2dBm @ 20GHz

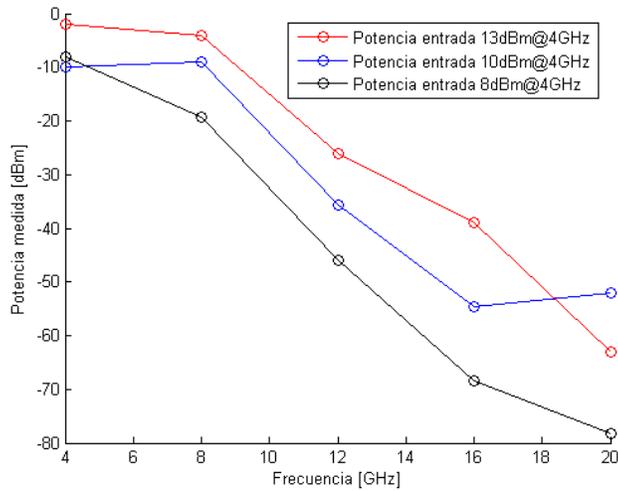


Figura 9. Potencias medidas a la salida del diodo SRD para una señal de entrada de 4GHz

5) Frecuencia de entrada al diodo SRD: 5GHz

P_{in} = 13dBm @ 5GHz	P_{in} = 10dBm @ 5GHz	P_{in} = 8dBm @ 5GHz
P _{out} = 2.5dBm @ 5GHz	P _{out} = -7.2dBm @ 5GHz	P _{out} = -14.3dBm @ 5GHz
P _{out} = -8.4dBm @ 10GHz	P _{out} = -18dBm @ 10GHz	P _{out} = -28.4dBm @ 10GHz
P _{out} = -44.5dBm @ 15GHz	P _{out} = -43.8dBm @ 15GHz	P _{out} = -62.3dBm @ 15GHz
P _{out} = -44.5dBm @ 20GHz	P _{out} = -59.8dBm @ 20GHz	P _{out} = -79.8dBm @ 20GHz

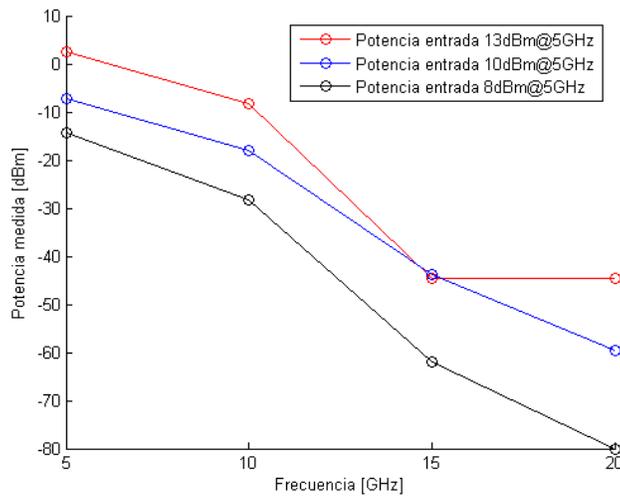


Figura 10. Potencias medidas a la salida del diodo SRD para una señal de entrada de 5GHz

6) Frecuencia de entrada al diodo SRD: 6GHz

P_{in} = 13dBm @ 6GHz	P_{in} = 10dBm @ 6GHz	P_{in} = 8dBm @ 6GHz
P _{out} = 5.8dBm @6GHz	P _{out} = 0.8dBm @6GHz	P _{out} = -5.2dBm @6GHz
P _{out} = -16dBm @12GHz	P _{out} = -27dBm @12GHz	P _{out} = -37dBm @12GHz
P _{out} = -33.7dBm @18GHz	P _{out} = -48.2dBm @18GHz	P _{out} = -65dBm @18GHz
P _{out} = -57.1dBm @24GHz	P _{out} = -63dBm @24GHz	P _{out} = -71dBm @24GHz

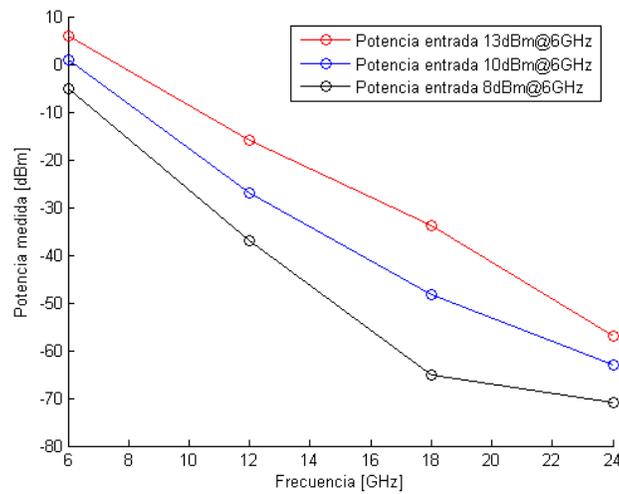


Figura 11. Potencias medidas a la salida del diodo SRD para una señal de entrada de 6GHz

7) Frecuencia de entrada al diodo SRD: 7GHz

P_{in} = 13dBm @ 7GHz	P_{in} = 10dBm @ 7GHz	P_{in} = 8dBm @ 7GHz
P _{out} = 8dBm @ 7GHz	P _{out} = 3dBm @ 7GHz	P _{out} = 1.8dBm @ 7GHz
P _{out} = -24dBm @ 14GHz	P _{out} = -35dBm @ 14GHz	P _{out} = -45.5dBm @ 14GHz
P _{out} = -31.3dBm @ 21GHz	P _{out} = -50dBm @ 21GHz	P _{out} = -65dBm @ 21GHz

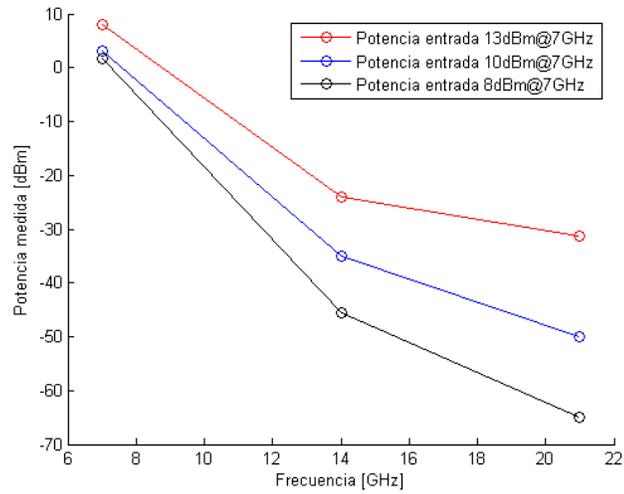


Figura 12. Potencias medidas a la salida del diodo SRD para una señal de entrada de 7GHz

8) Frecuencia de entrada al diodo SRD: 8GHz

P_{in} = 13dBm @ 8GHz	P_{in} = 10dBm @ 8GHz	P_{in} = 8dBm @ 8GHz
P _{out} = 9.2dBm @ 8GHz	P _{out} = 4.5dBm @ 8GHz	P _{out} = -0.7dBm @ 8GHz
P _{out} = -36.4dBm @ 16GHz	P _{out} = -47dBm @ 16GHz	P _{out} = -57dBm @ 16GHz
P _{out} = -45.3dBm @ 24GHz	P _{out} = -62.6dBm @ 24GHz	P _{out} = -80dBm @ 24GHz

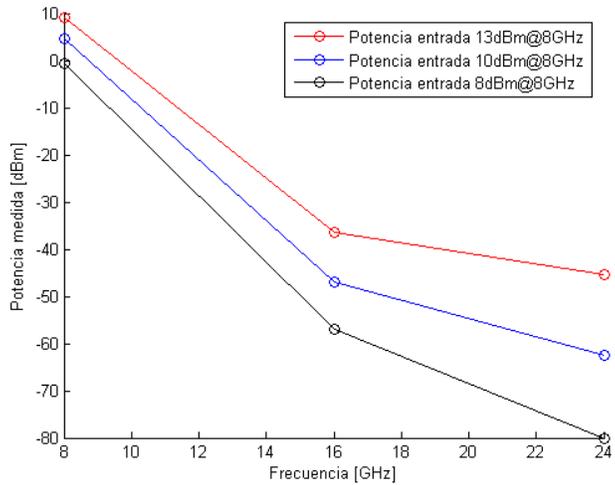


Figura 13. Potencias medidas a la salida del diodo SRD para una señal de entrada de 8GHz

9) Frecuencia de entrada al diodo SRD: 9GHz

P_{in} = 13dBm @ 9GHz	P_{in} = 10dBm @ 9GHz	P_{in} = 8dBm @ 9GHz
P _{out} = 12.8dBm @9GHz	P _{out} = 7.5dBm @9GHz	P _{out} = 2.5dBm @9GHz
P _{out} = -29.3dBm @18GHz	P _{out} = -40dBm @18GHz	P _{out} = -50dBm @18GHz
P _{out} = -47dBm @27GHz	P _{out} = -54dBm @27GHz	P _{out} = -71.4dBm @27GHz

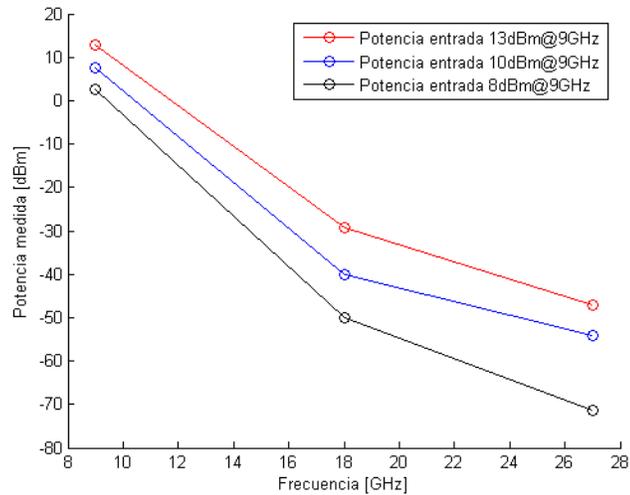


Figura 14. Potencias medidas a la salida del diodo SRD para una señal de entrada de 9GHz

10) Frecuencia de entrada al diodo SRD: 10GHz

$P_{in} = 13\text{dBm @ } 10\text{GHz}$	$P_{in} = 10\text{dBm @ } 10\text{GHz}$	$P_{in} = 8\text{dBm @ } 10\text{GHz}$
$P_{out} = 12.5\text{dBm @ } 10\text{GHz}$	$P_{out} = 8.8\text{dBm @ } 10\text{GHz}$	$P_{out} = 3.75\text{dBm @ } 10\text{GHz}$
$P_{out} = -42\text{dBm @ } 20\text{GHz}$	$P_{out} = -52\text{dBm @ } 20\text{GHz}$	$P_{out} = -62\text{dBm @ } 20\text{GHz}$
$P_{out} = -49\text{dBm @ } 30\text{GHz}$	$P_{out} = -64\text{dBm @ } 30\text{GHz}$	$P_{out} = -80\text{dBm @ } 30\text{GHz}$

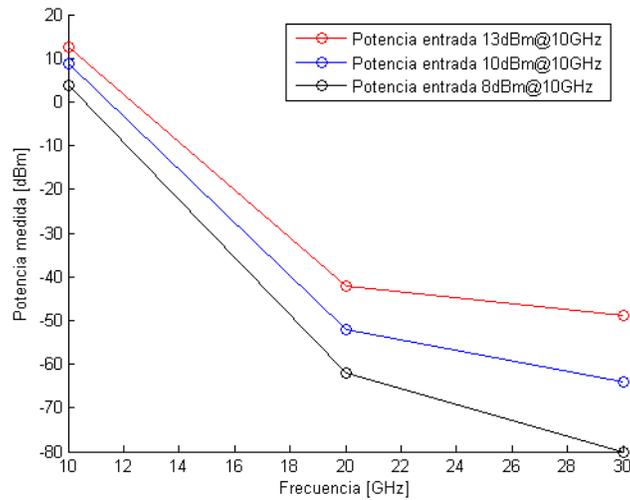


Figura 15. Potencias medidas a la salida del diodo SRD para una señal de entrada de 10GHz

III. Inserción del multiplicador en el módulo phase-cal de holografía

El diagrama de bloques del módulo phase-cal de holografía se muestra en la **Figura 16**. Los filtros fueron construidos en el CAY [4]. Los resultados se recogen en la **Tabla 1**.

Las salidas del divisor de 3dB serán inyectadas mediante un acoplador direccional a la entrada de los LNAs del receptor de holografía. Esto permitirá medir la deriva en amplitud y fase del receptor para descontarla de las medidas de amplitud y fase del receptor de holografía cuando se haga seguimiento del satélite, así se podrán separar las contribuciones de la atmósfera y del receptor a las fluctuaciones de amplitud y de fase. También permitirá hacer medidas de estabilidad del receptor.

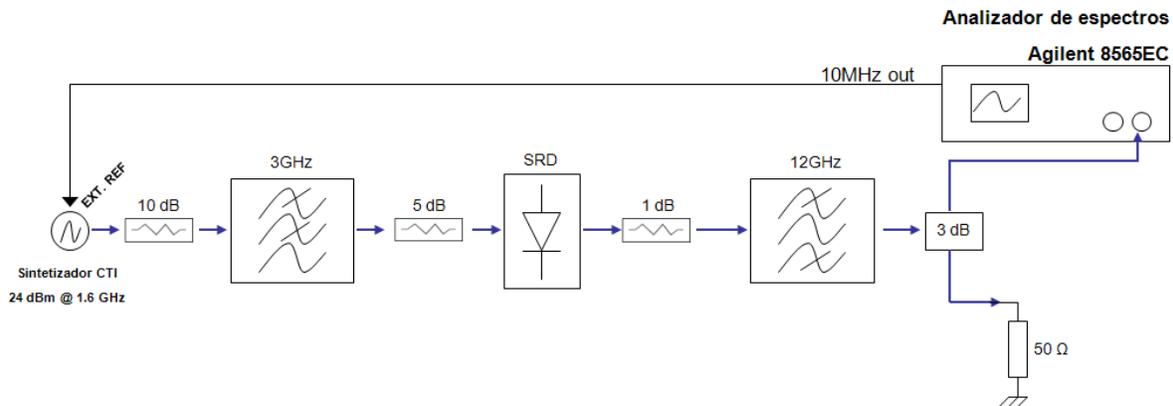


Figura 16. Diagrama de bloques del módulo de phase-cal de holografía

P_{medida} analizador espectros
-32dBm @9.6GHz
-42dBm @11.2GHz
-45dBm @12.8GHz
-53dBm @14.4GHz

Tabla 1. Potencia medida por el analizador de espectros

IV. Inserción del multiplicador en el módulo OL del receptor banda C

La cadena de componentes para el módulo de OL del receptor banda C, basada en el diseño preliminar presentado en la introducción, se muestra en la **Figura 17**. Las salidas de este módulo se introducen en las entradas OL de los mezcladores de las etapas de RF del receptor banda C. Tal como se aprecia en la figura, se tienen dos ramas: la rama superior genera una banda de frecuencias de 5.2 a 6GHz y la inferior va de 3.86 a 4.16GHz. Para ello se han integrado filtros paso banda [4] que se quedan con el armónico tercero generado por el multiplicador. La banda de entrada es por tanto de 1.73 a 2GHz para la rama superior y de 1.28 a 1.39GHz para la rama inferior. En el diagrama de bloques se pueden apreciar varios atenuadores cuyo fin es el de mejorar la adaptación entre componentes para obtener una banda lo más plana posible y un nivel adecuado a la salida del módulo. La entrada de OL del mezclador, según el fabricante, ha de tener unos niveles de entre 6 y 13dBm.

Se han realizado barridos de potencia, los cuales se presentan en la **Tabla 2** y gráficamente en las **Figuras 18 y 19**. De los resultados se concluye que el nivel de potencia obtenido en la salida del módulo es el adecuado para su inserción en las entradas de OL de los mezcladores de las etapas de RF.

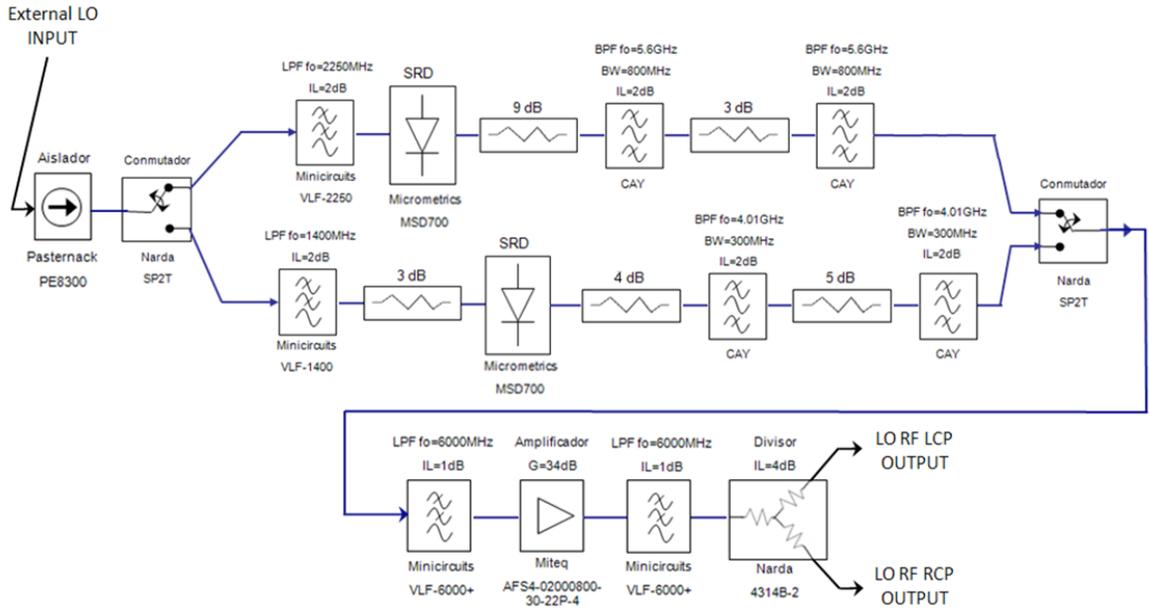


Figura 17. Diagrama del módulo de OL del receptor banda C

External LO INPUT	LO RF OUTPUT
Frec: 1.73 - 2GHz Pot: 12dBm	Frec: 5.2 - 6GHz Pot media: 10dBm Variación máxima pico-pico: 6.5dBm
Frec: 1.28 - 1.39GHz Pot: 12dBm	Frec: 3.86 – 4.16GHz Pot media: 9.5dBm Variación máxima pico-pico: 4.5dBm

Tabla 2. Potencia medida por el analizador de espectros. En estas medidas se han descontado las pérdidas debidas a los cables del generador externo y del equipo de medida

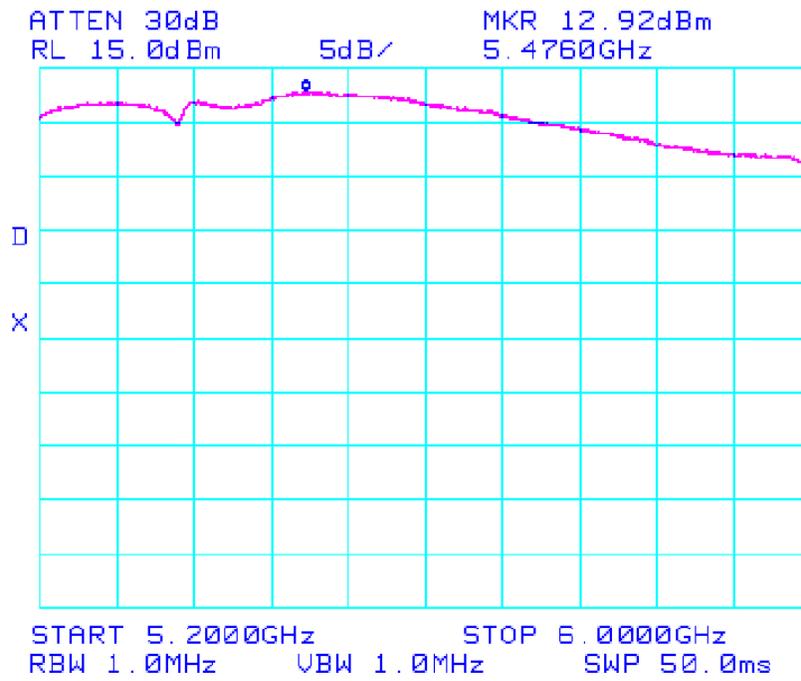


Figura 18. Banda de salida de la rama de alta frecuencia

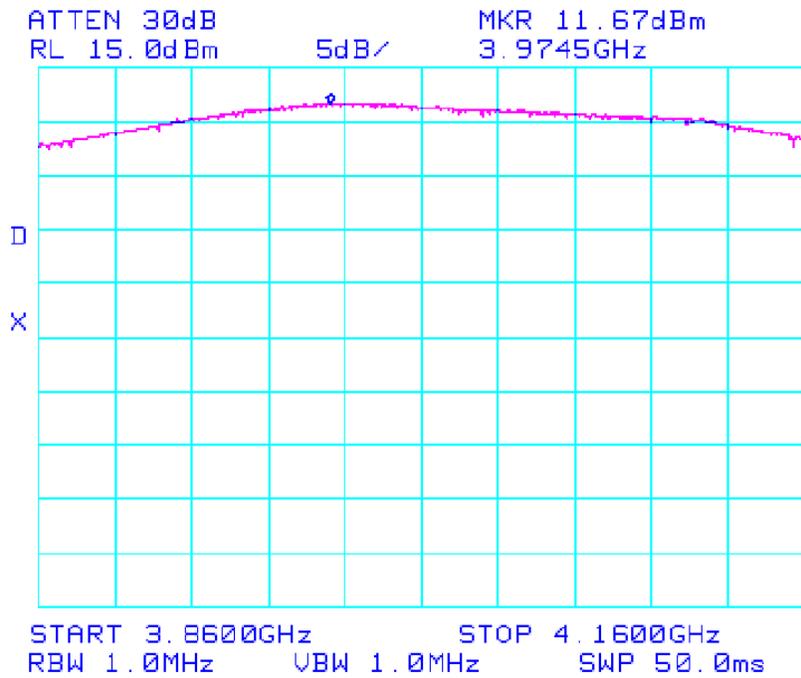


Figura 19. Banda de salida de la rama de baja frecuencia

En la rama de baja frecuencia se ha detectado una banda espúrea a las frecuencias de 7.7 a 8.3GHz debido al armónico sexto del diodo que se cuela en una banda pasante del filtro paso banda de 4GHz (**Figura 20**). Su nivel está por debajo de 50dB respecto a la portadora, por lo que no es susceptible de que genere efectos indeseados en el mezclador. Una forma de mitigar aún más este efecto, sería colocar filtros paso bajo de frecuencia de corte más baja que la actual en la salida del módulo.

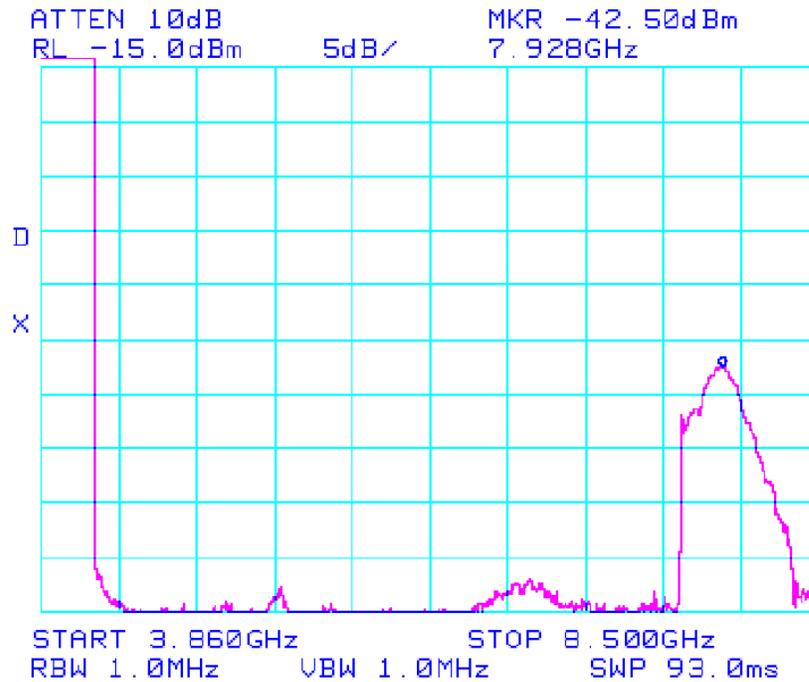


Figura 20. Frecuencias espúreas en la rama de baja frecuencia

Se han hecho medidas de pureza espectral del tono generado por el módulo, que se muestran en las **Figuras 21**(rama de alta frecuencia) y **22**(rama de baja frecuencia). Para ambas ramas se inyectaron tonos de frecuencia tal que a la salida se tuviese señal en la mitad de cada banda de frecuencias (3.86 – 4.16GHz, 5.2 – 6GHz) y como se puede ver el nivel de pureza es bastante bueno, estando la portadora del tono 77 dB por encima del ruido en el caso de la banda de baja frecuencia y 63dB en la de alta. Los picos de señal a múltiplos de 50Hz de la portadora son debidos a que la red de alimentación se cuela en la

instrumentación y en los componentes activos del módulo (sintetizador, analizador de espectros, amplificador).

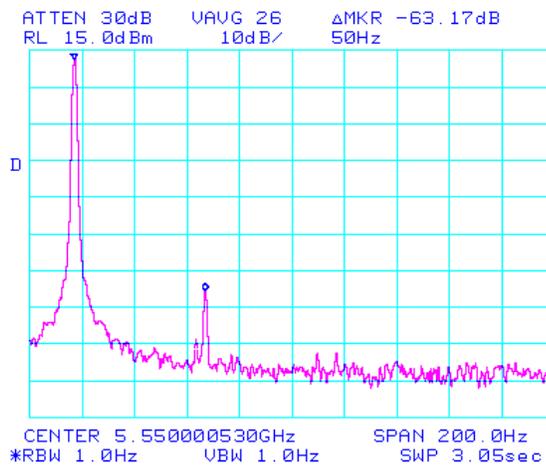
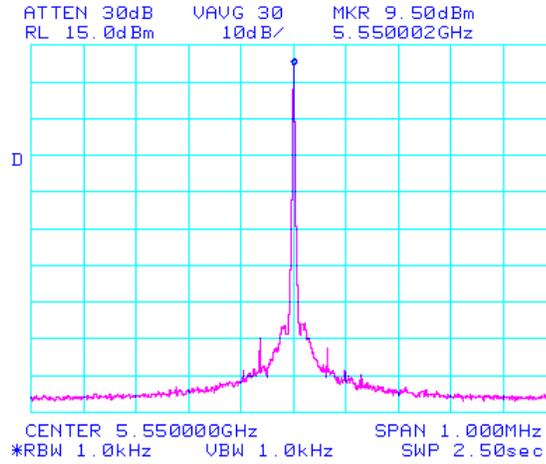


Figura 21. Pureza espectral en la rama de alta frecuencia.

Zoom alrededor de la portadora de (a) 1MHz (b) 200Hz

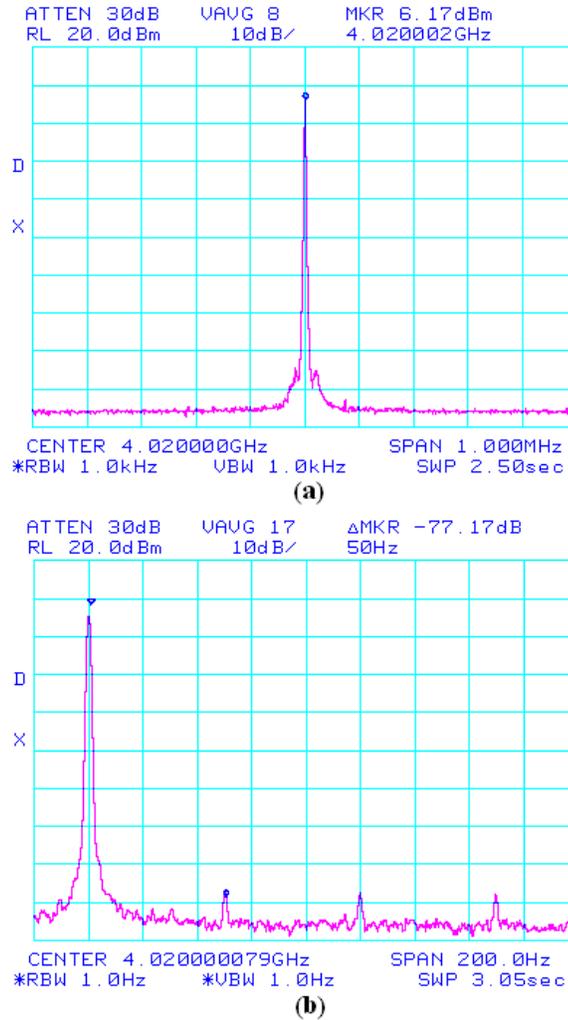


Figura 22. Pureza espectral en la rama de baja frecuencia.

Zoom alrededor de la portadora de (a) 1MHz (b) 200Hz

El módulo está alimentado por dos fuentes, una de 12V para los switches y otra de 15V para el amplificador. El consumo de la fuente de 12V es de 200mA cuando conmutan los switches y de 5mA en modo normal de funcionamiento. La de 15V tiene un consumo de 260mA. La temperatura de operación del módulo está dominada principalmente por el amplificador y es de 30°C aproximadamente.

V. Referencias

- [1] Stephen A. Maas, *Nonlinear Microwave Circuits*, Artech House Inc. 1998

- [2] Marek T. Faber, Jerzy Chramiec, Mirosław E. Adamski, *Microwave and Millimeter-Wave Diode Frequency Multipliers*, Artech House Inc. 1998

- [3] Step Recovery Diode Multiplier Design Program---- <http://www.rfcascade.com/srd.html>

- [4] D. Cordobés, J. A. López Pérez, J. A. López Fernández, J. A. Abad, G. Martínez, *Diseño de filtros en tecnología Microstrip*, Informe Técnico IT- OAN 2007-10.

Anexo I: Características del diodo SRD

Multiplier Devices

Multiplier Devices: MSD 700 Series

Step Recovery Diodes

Description

The **MicroMetrics** MSD 700 series Step Recovery diodes are epitaxial silicon varactors which provide high output power and efficiencies in harmonic generator applications.

Strict material and process controls result in high reproducibility. A unique silicon dioxide passivation process assures greater stability, reliability and low leakage currents at high temperatures.

Diodes are available in various capacitance ranges for each of the 4 voltage ratings. These diodes represent the lowest transition times (snap time) available for each voltage rating.

Unless otherwise specified, capacitance will be within the range shown above for each type. A capacitance tolerance of $\pm 10\%$ is available at an additional charge. Diodes can be optimized for custom electrical or mechanical specifications. Custom parameters for capacitance, voltage, transition time, series resistance, etc. are available upon request.

Applications

The MSD 700 series Step Recovery diodes are used as harmonic generators for all orders of multiplication, $\times 2$ through $\times 20$, for both narrow and wide bandwidths.

Applications include local oscillators, voltage controlled oscillators, frequency synthesizers and up converters. They are also used in comb generators to generate a broad frequency spectrum and in high speed pulse shaping circuits.

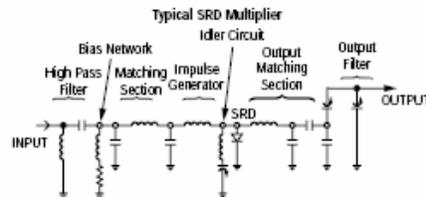
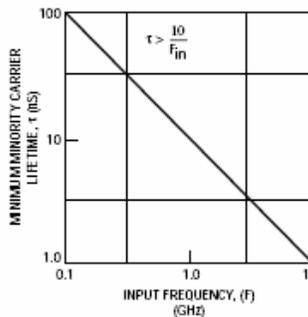
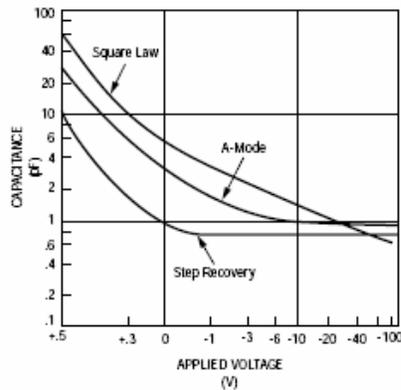
Features

- Wide Selection of Tightend Capacitance Ranges
- Low Transition Times
- High Efficiencies

Packaging

- Chip, Glass, Ceramic, Surface Mount, Beam Lead

Typical Performance



Multiplier Devices: MSD 700 Series

Electrical Characteristics'

Junction Capacitance, C_j^1 @ -6V, 1MHz (pF)	Minimum Breakdown Voltage, V_b @ 10 μ A (V)	Minimum Carrier Lifetime, T_l I_f 6 mA, I_f = 10 mA (nS)	Maximum Transition Time, T_t (pS)	Maximum Series Resistance, R_s^2 I_f = 25 mA R_s (Ohms)	Maximum Thermal Resistance ³ ΘC_j $^{\circ}$ C/W	Part Number
0.2 - 0.4	15	8	60	1.20	125	MSD700
0.4 - 0.6	15	8	60	1.00	100	MSD701
0.6 - 0.8	15	8	60	0.70	100	MSD702
0.8 - 1.0	15	8	60	0.50	75	MSD703
1.0 - 1.4	15	8	60	0.40	75	MSD704
1.4 - 2.0	15	8	60	0.30	60	MSD705
2.0 - 3.0	15	8	60	0.25	60	MSD706
0.2 - 0.4	20	11	70	1.00	100	MSD710
0.4 - 0.6	20	11	70	0.70	75	MSD711
0.6 - 0.8	20	11	70	0.60	75	MSD712
0.8 - 1.0	20	11	70	0.50	75	MSD713
1.0 - 1.4	20	11	70	0.40	75	MSD714
1.4 - 2.0	20	11	70	0.30	60	MSD715
2.0 - 3.0	20	11	70	0.25	60	MSD716
0.2 - 0.4	30	17	100	0.80	75	MSD720
0.4 - 0.6	30	17	100	0.60	60	MSD721
0.6 - 0.8	30	17	100	0.50	60	MSD722
0.8 - 1.0	30	17	100	0.40	60	MSD723
1.0 - 1.4	30	17	100	0.30	60	MSD724
1.4 - 2.0	30	17	100	0.25	50	MSD725
2.0 - 3.0	30	17	100	0.20	50	MSD726
0.2 - 0.4	40	21	150	0.80	50	MSD730
0.4 - 0.6	40	21	150	0.60	50	MSD731
0.6 - 0.8	40	21	150	0.50	50	MSD732
0.8 - 1.0	40	21	150	0.40	50	MSD733
1.0 - 1.4	40	21	150	0.30	50	MSD734
1.4 - 2.0	40	21	150	0.25	40	MSD735
2.0 - 3.0	40	21	150	0.20	40	MSD736

Notes:

1. Junction Capacitance is measured at 1 MHz on Hewlett Packard model 4277A LCZ meter.
2. Series Resistance is measured using a Hewlett Packard model 4191A impedance analyzer.
3. Thermal Resistance is measured using pulsed conditions while measuring forward voltage drop across the diode mounted in an infinite heat sink.
4. All specifications are measured in case style CS37.

Maximum Ratings

Storage Temperature	-65°C to + 200°C
Operating Temperature	-55°C to + 150°C
Minimum Voltage Breakdown	15, 20, 30 and 40 V at 10 μ A