

# Parámetros S On-Wafer

## Medidas Electrónicas II

Luis Pablo Seva<sup>1</sup>, Bruno Giuliano Errasti<sup>1</sup> y Pablo Andrés Di Sabato<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica Nacional, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

30 de Noviembre de 2018

**D**urante el presente proyecto se realizaron mediciones de parámetros S en un atenuador de 3dB. Esto permitió obtener sus características y gráficas, pudiendo así realizar comparaciones con las especificaciones del fabricante. El proyecto también abarcó realizar correcciones en las mediciones utilizando el software Metas VNA Tools.

## 1 Introducción

Para realizar las mediciones se utilizó el atenuador de Analog Devices HMC652LP2E [1]. El proyecto se segmentó en varios procesos, los cuales van a ser descritas en detalle en secciones y sub-secciones siguientes:

- Elección del DUT.
- Elección de PCB (teniendo en cuenta características de RF).
- Diseño de PCB y estándares de calibración.
- Fabricación de PCB.
- Mediciones.
- Conclusiones.

Pueden distinguirse en el proyecto tres grandes etapas o conjuntos de tareas:

**Etapla diseño** Comprende la selección de componentes y diseño de PCB.

**Etapla Fabricación** Fabricación del PCB y montado del Kit.

**Etapla Medición y conclusiones** Adquisición de datos, mediciones y conclusiones.

### 1.1 Atenuador 3dB AD HMC652LP2E

El DUT seleccionado es un atenuador de 3dB. Sus principales características son un ancho de banda de 25GHz y manejo de potencias de hasta +25dBm. Está preparado para trabajar en configuración CPW [2], que fue la elegida para realizar la placa de calibración.

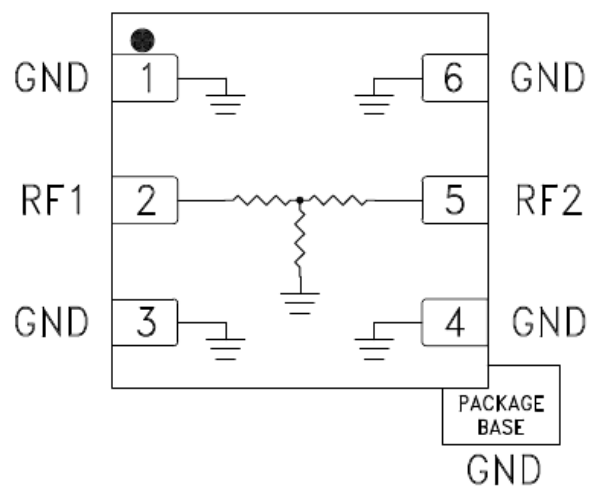


Figure 1: Analog Devices HMC652LP2E.

### 1.2 Elección de PCB

Para la elección del PCB se necesitaban cumplir con ciertos requerimientos y consideraciones de diseño:

- CPW (coplanar waveguide) [2].
- Dieléctrico 10.2
- Gap y Width limitados, por las características de las puntas de medición (probes): pitch desde 50 a 1250  $\mu\text{m}$ .
- Conductor de cobre.

Teniendo en cuenta todas estas características se optó por elegir un producto de Rogers Corporation, **RO3210 Series**[3]. Dicho producto cumplía con los requisitos necesarios para el diseño y adicionalmente aplicaba para ser enviado en forma gratuita (fines universitarios). El producto es confeccionado utilizando laminados de cerámica reforzados con fibra de vidrio tejida. Otras características destacadas del producto son un buen balance entre alta performance eléctrica y estabilidad mecánica (generalmente hay una relación de compromiso) y un **factor de disipación muy bajo** (0,0027). Dicha característica es muy apreciada en el

ámbito de RF y particularmente en el presente proyecto (minimizando pérdidas y errores de medición).

Para realizar los cálculos en base a los requerimientos se utilizó el Software TX Line [4], desarrollado por National Instruments.

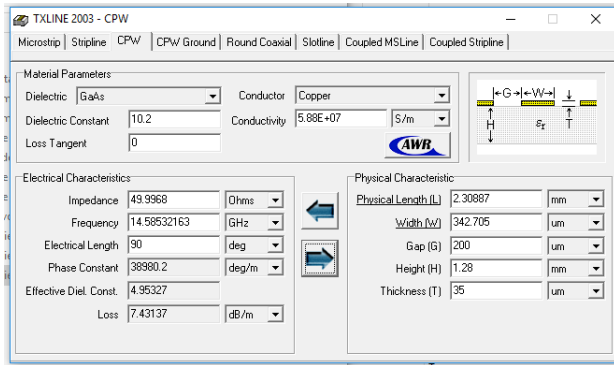


Figure 2: Validando parámetros con TX Line Software.

### 1.3 Diseño y fabricación

Se diseñó el PCB en base a los requerimientos y cálculos realizados previamente. Para realizar el layout utilizamos software de diseño CAD (AutoCAD).

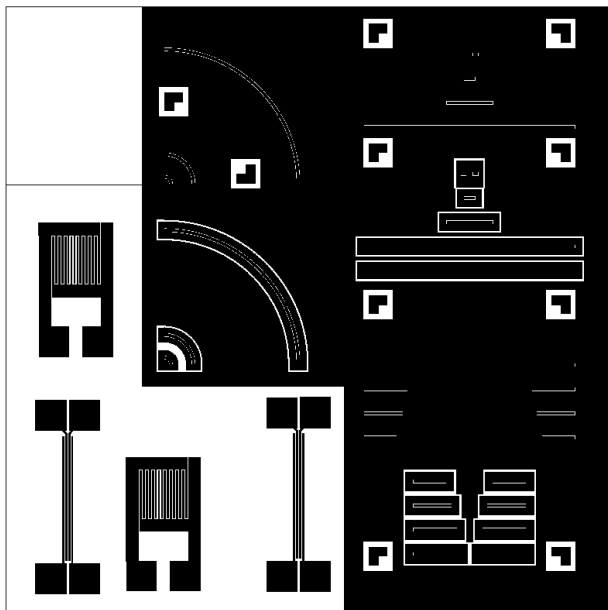


Figure 3: Vista del diseño.

Para la fabricación se realizaron dos versiones, una utilizando procesos de fotolitografía y otra utilizando CNC.

## 2 TRL

**TRL (Thru, Reflect, Line)** es una familia de técnicas de calibración que miden dos patrones de transmisión y uno de reflexión para determinar los coeficientes de error (2 puertos – 12 términos). Incluyen: TRM (Thru, Reflect, Match), LRL (Line, Reflect, Line) y LRM (Line,

Reflect, Match). Se utilizó este método por diversas características favorables:

- Excelente precisión.
- Muy utilizado cuando no se cuenta con patrones de calibración con los mismos tipos de conectores que el DUT (por ejemplo mediciones on-wafer).
- Utilizado generalmente para realizar mediciones con probe stations.
- Relativamente sencillo de fabricar e implementar.
- Los patrones no necesitan ser definidos con tanta precisión y exactitud, ya que son modelados (a diferencia de SOTL).

### 2.1 Line

Idealmente, el largo de la pista patrón debe ser exactamente un cuarto de la longitud de onda (90 grados eléctricos). Para realizar un barrido en frecuencia a lo largo de una gran porción del espectro, se vuelve impráctico e irrealizable. Lo más probable es que se requiera realizar mediciones en varias zonas del espectro, por lo que se necesita encontrar un método más apropiado.

Como podemos apreciar, es necesario adoptar ciertos criterios para utilizar el método en forma práctica. Esto quiere decir que se debe adoptar algún **criterio de ingeniería** que permita aplicar el método en un escenario real. Hay varias técnicas y métodos para identificar y aplicar un criterio, pero no hay demasiada documentación formal al respecto. Dicho criterio se basa mas bien en la experiencia práctica y resultados obtenidos [5].

#### 2.1.1 Criterio de ingeniería

El largo el patrón Line funciona razonablemente bien entre 20 y 160 grados eléctricos. Dependiendo del ancho de banda que se necesite medir, se crean los patrones necesarios. Podemos pensar el ancho de banda a cubrir como un ratio entre la menor frecuencia y la mayor. Esto nos permite fácilmente saber cuantos patrones line vamos a necesitar para cubrir el ancho de banda a estudiar:

- 1 línea cubre un ratio 8:1
- 2 líneas cubren un ratio 64:1
- 3 líneas cubren un ratio 512:1
- 4 líneas cubren un ratio 4096:1

#### 2.1.2 Cálculos

Continuando con el criterio adoptado, los cálculos necesarios se basan en encontrar dentro del rango de frecuencias a medir, los mejores puntos de cruce. Esto quiere decir hallar la cantidad de líneas y sus largos óptimos para cubrir el ancho de banda requerido, de tal manera que se trabaje lo más lejos posible de los extremos (20 y 160 grados eléctricos). De esta manera se logra que cada línea cubra el espectro, cercano a 90 grados eléctricos. Para lograrlo se

calcula segmentando las bandas en forma **geométrica**.

Presentamos a continuación los cálculos de la secuencia.

**2 líneas**

$$FT = \sqrt{\frac{FH}{FL}} \quad (1)$$

**3 líneas**

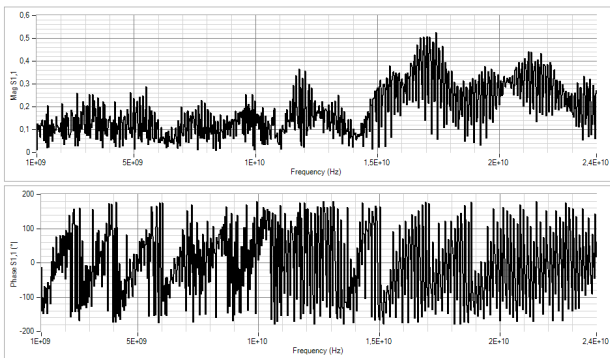
$$FT1 = \frac{FH^{\frac{1}{3}}}{FL} \quad (2)$$

$$FT2 = \frac{FH^{\frac{2}{3}}}{FL} \quad (3)$$

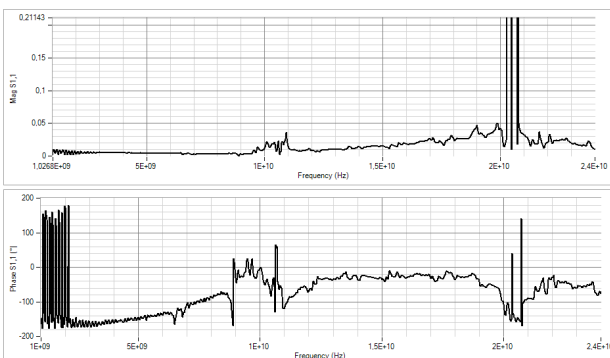
### 3 Mediciones

Para las mediciones se utilizó un VNA Rohde & Schwarz ZVA 24 [6] y puntas de prueba Picoprobe®Model 40A [7]. Para controlar el dispositivo y realizarlas mediciones se utilizó el Software Metas VNA Tools [8]. Presentamos a continuación toda la serie de mediciones realizadas.

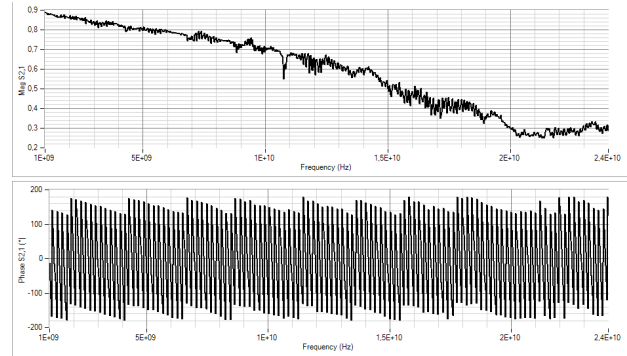
**Line**



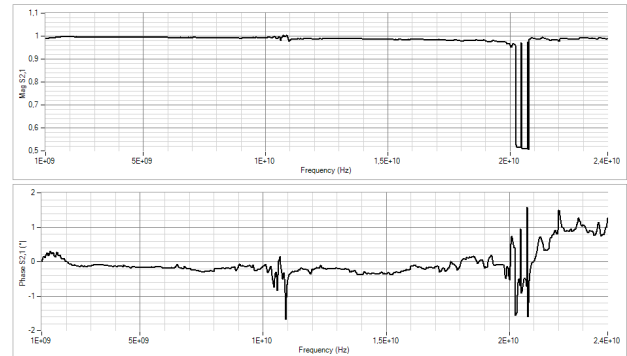
**Figure 4: Line S11.**



**Figure 5: Line S11 Corregido.**



**Figure 6: Line S21.**



**Figure 7: Line S21 Corregido.**

**Short**

**DUT**

### 4 Inconvenientes y consideraciones

Presentamos a continuación algunos inconvenientes que se fueron encontrando y superando a lo largo del proceso.

- Revisar todos los aspectos e imperfecciones del diseño antes de la impresión de la filmina. Revisar con diversos visores (pdf, imágenes, etc).
- Minimizar el tamaño de los contactos/pads (llamadas launchers) de cada uno de los patrones (para reducir imperfecciones y mediciones indeseadas).
- No usar conectores (generalmente SMA) baratos.
- Utilizar preferentemente un corto-circuito (short) para el patrón Reflect.
- Tener en cuenta tiempos de entrega, demoras y posibles imprevistos en caso de adquirir componentes de algún proveedor del exterior.
- Tener en cuenta desde un principio las características del probe.

## 5 Conclusiones

### References

- [1] Analog Devices HMC652LP2E  
<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/hmc652lp2-hmc655lp2.pdf>
- [2] Coplanar waveguide  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Coplanar\\_waveguide](https://en.wikipedia.org/wiki/Coplanar_waveguide)
- [3] Rogers RO3210  
<https://www.rogerscorp.com/documents/725/acs/R03200-Laminate-Data-Sheet-R03203-R03206-R03210.pdf>
- [4] TX Line Software  
<https://www.awrcorp.com/products/additional-products/tx-line-transmission-line-calculator>
- [5] TRL Calibration Blog  
<https://www.microwaves101.com/encyclopedias/trl-calibration>
- [6] Rohde & Schwarz ZVA 24  
[https://www.rohde-schwarz.com/us/product/zva-productstartpage\\_63493-9660.html](https://www.rohde-schwarz.com/us/product/zva-productstartpage_63493-9660.html)
- [7] PICOPROBE Model 40A  
<http://www.ggb.com/40a.html>
- [8] Metas VNA Tools  
<https://www.metas.ch/metas/en/home/fabe/hochfrequenz/vna-tools.html>