

# CONVERSOR TÉRMICO DE MULTIUNIONES DE PELÍCULAS DELGADAS SOBRE UN CHIP DE CUARZO COMO UN NUEVO PATRÓN DE TRANSFERENCIA AC-DC DE CORRIENTE HASTA 1 MHz

L. Scarioni <sup>(1)</sup>, M. Klonz <sup>(2)</sup> and T. Funck <sup>(2)</sup>

(1) Universidad de Carabobo, Facultad de Ciencias y Tecnología, Departamento de Física, Valencia, Venezuela. lscarion@uc.edu.ve

(2) Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Bundesallee 100, 38116 Braunschweig, Germany. Manfred.Klonz@ptb.de ; Torsten.Funck@ptb.de

**Resumen:** La nueva generación de convertidores planos de multiuniones de películas delgadas sobre chip y membrana de cuarzo desarrollados en el Physikalisch-Technische Bundesanstalt PTB han resultado en un nuevo calculable patrón de transferencia de corriente ac-dc para la corriente de 10 mA en el rango de frecuencia de 10 kHz a 1 MHz, acompañado de una reducción en la incertidumbre de medición. Diferencias de transferencia en corriente ac-dc por debajo de 1  $\mu\text{A/A}$  con incertidumbre estándar por debajo de 1  $\mu\text{A/A}$  han sido alcanzadas.

## 1. Introducción

El desarrollo de patrones de transferencia ac-dc en el Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) comenzó en el año 1980 con el diseño y fabricación de convertidores térmicos de multiuniones (MJTCs), los cuales han sido investigados extensivamente. Los MJTCs son usados como patrones básicos para la transferencia ac-dc en los niveles de corriente de 10 mA a 50 mA [1]. La construcción básica del PTB-MJTCs esta basada en el diseño de Wilkins [2]. Nuevos patrones de transferencia de corriente ac-dc son construidos en el PTB en el intervalo de corriente de 0,3 mA a 20 A y para frecuencias de 10 Hz a 100 kHz. Un convertidor térmico tridimensional (MJTC) con una resistencia del calefactor de 27  $\Omega$ , es la base para la transferencia ac-dc en el rango de 20 mA a 50 mA. Para valores bajos de corriente, son utilizados convertidores térmicos planos (PMJTC) con resistencias del calefactor de 90  $\Omega$  a 960  $\Omega$ . Shunts coaxiales conectadas en paralelo con los PMJTCs permiten extender el intervalo de corriente hasta 20 A [3]. Avances recientes en el PTB se centraron en el desarrollo de PMJTCs sobre membranas y chip de cuarzo [4]. La utilización del cristal de cuarzo como material del chip y la membrana ha mejorado la respuesta en frecuencia de los PMJTCs y ha permitido desarrollar un modelo para calcular la diferencia de transferencia de corriente ac-dc. Esto ha motivado al PTB a utilizar los PMJTCs sobre cuarzo como los nuevos patrones de transferencia

de corriente ac-dc para la corriente de 10 mA y en el intervalo de frecuencia de 10 kHz a 1 MHz.

## 2. Disposición de medida para la comparación de PMJTCs

Los PMJTCs para ser comparados son conectados en serie simétricamente utilizando un arreglo especial con mínima capacitancia (2,6 pF). La conexión en serie de los convertidores es realizada utilizando un conector especial tipo T hecho con conectores tipo N (Fig. 1). La carcasa de los dos PMJTC junto con las termocuplas y el nanovoltmetro se conectan a bajo y alto potencial respectivamente. La desviación estándar del valor medio de 12 mediciones es usualmente menor a 1  $\mu\text{A/A}$  en el intervalo de frecuencia de 10 kHz a 1 MHz.



Fig. 1. Conexión en serie simétrica de dos patrones de transferencia de corriente con mínima capacitancia

### 3. Modelo para la simulación y validación

Para calcular la diferencia de transferencia de corriente ac-dc del PMJTC, se desarrolló un modelo de la impedancia de entrada  $\underline{Z}$  del PMJTC. Este modelo incluye las contribuciones a la diferencia de transferencia ac-dc provenientes de:

- A. El cambio en la parte real de la impedancia  $\underline{Z}$  del calefactor con la frecuencia
- B. Capacitancia entre los hilos de conexión, sobre el carrier.

#### A. Impedancia $\underline{Z}$ del Calefactor

Para el cálculo de la diferencia de transferencia de corriente ac-dc, el calefactor fue modelado como una línea de transmisión de 10 elementos sin pérdida [4]. Todas las simulaciones son realizadas desde 100 kHz a 1 MHz. La diferencia de transferencia en corriente ac-dc se calcula con la siguiente ecuación

$$\delta_{i1} = \sqrt{\frac{R_H}{\text{Re}\{\underline{Z}\}}} - 1 \quad (1)$$

donde  $\text{Re}\{\underline{Z}\}$  representa la parte real de la impedancia de entrada  $\underline{Z}$  y  $R_H$  la resistencia dc del circuito de entrada.

#### B. Capacitancia entre los hilos de conexión sobre el carrier.

Un modelo paramétrico basado en [5] fue desarrollado para calcular la diferencia de transferencia de corriente ac-dc debida a la capacitancia entre los hilos de conexión sobre el carrier.

La diferencia de transferencia en corriente ac-dc fue calculada desde 100 kHz a 1 MHz con la siguiente ecuación:

$$\delta_{i2} = \frac{\left| \underline{Z}_2 \cdot (\underline{Z}_3 + \underline{Z}_4) \right|}{\left| \underline{Z}_3 \cdot (2\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2) \right|} - 1 \quad (2)$$

donde

$$\underline{Z}_1 = (R_{wCu} + j\omega L_{Cu})$$

$$\underline{Z}_2 = (G_{carrier} + j\omega C_{carrier})^{-1}$$

$$\underline{Z}_3 = (G_{quartz} + j\omega C_{wAu})^{-1}$$

$$\underline{Z}_4 = (R_H + j\omega 2L_H)$$

La Fig. 2 muestra los valores calculados de la diferencia de transferencia de corriente ac-dc  $\delta_i = \delta_{i1} + \delta_{i2}$  para diferentes resistencias del calefactor.

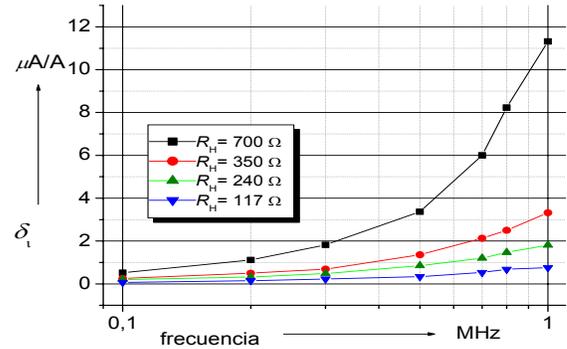


Fig. 2. Valores calculados de la diferencia de transferencia de corriente ac-dc  $\delta_i = \delta_{i1} + \delta_{i2}$ , para diferentes resistencias del calefactor.

Para validar el modelo desarrollado del PMJTC sobre cuarzo, se realizó una comparación de las diferencias de transferencia, medidas y calculadas entre dos PMJTCs con diferentes resistencias del calefactor. Los dos PMJTCs fueron conectados en serie en la misma carcasa por hilos cortos y delgados (Fig. 3). La Fig. 4 muestra los valores medidos y calculados de la diferencia ac-dc entre dos PMJTC con resistencias del calefactor de 117  $\Omega$  y 350  $\Omega$ , para frecuencias de 100 kHz a 1 MHz. Los valores medidos están dentro de las incertidumbres calculadas. Estos resultados soportan la validez del modelo.

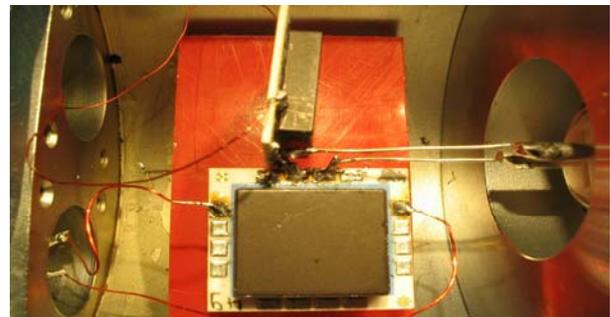


Fig.3. Dos PMJTCs conectados en serie por alambres cortos y delgados en la misma carcasa.

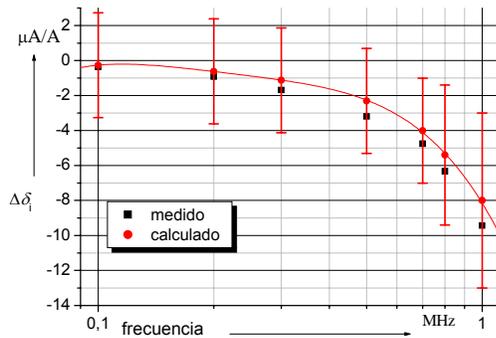


Fig. 4. Diferencias ac-dc medidas y calculadas entre dos PMJTCs con resistencias del calefactor de 117 Ω y 350 Ω, con barras de incertidumbre estándar  $u$ .

**4. Análisis de la incertidumbre**

El modelo para el cálculo de la diferencia de transferencia ac-dc de corriente del PMJTC sobre cuarzo ha sido evaluado por [4]

$$\delta_i = \delta_{i1} + \delta_{i2} \tag{3}$$

La varianza  $u^2(\delta_i)$  asociada con la diferencia de transferencia ac-dc es

$$u^2(\delta_i) = u^2(\delta_{i1}) + u^2(\delta_{i2}) \tag{4}$$

donde

- $\delta_{i1}$  diferencia de transferencia debida al cambio en la parte real de la impedancia  $\underline{Z}$  del calefactor con la frecuencia,
- $\delta_{i2}$  diferencia de transferencia debida a capacitancia entre los hilos de conexión, sobre el carrier.

Las varianzas se calcularon con el programa de simulación P-spice, investigando las influencias de todos los parámetros en el valor de la diferencia de transferencia ac-dc de corriente en el intervalo de frecuencia de 10 kHz a 1 MHz.

La Fig. 5 muestra la incertidumbre estándar calculada  $u$  del convertor térmico sobre cuarzo con una resistencia del calefactor de 117 Ω para frecuencias de 100 kHz a 1 MHz.

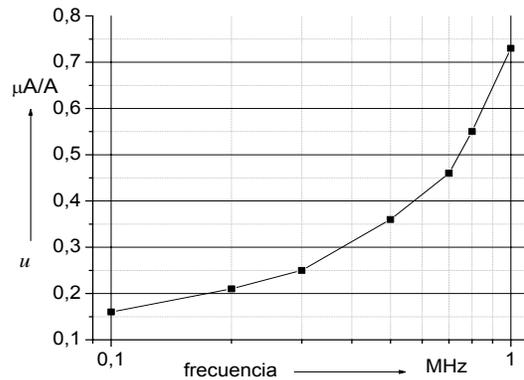


Fig. 5. Incertidumbre estándar calculada  $u$  del convertor térmico sobre cuarzo con una resistencia del calefactor de 117 Ω para frecuencias de 100 kHz a 1 MHz.

**5. Comparación entre el convertor térmico sobre cuarzo y el convertor de multiuniones tridimensional (MJTC)**

Una comparación entre el cuarzo-PMJTC con una resistencia del calefactor de 117 Ω y el convertor térmico de multiuniones PTB-MJTC fue realizada para frecuencias desde 10 kHz a 100 kHz con el propósito de verificar los valores calculados de la diferencia de transferencia ac-dc para el PTB-MJTC en el año 1987. La Fig. 6 muestra las diferencias de transferencia de corriente ac-dc del PTB-MJTC calculadas en el año 1987 y las medidas por comparación con el cuarzo-PMJTC en el año 2004.

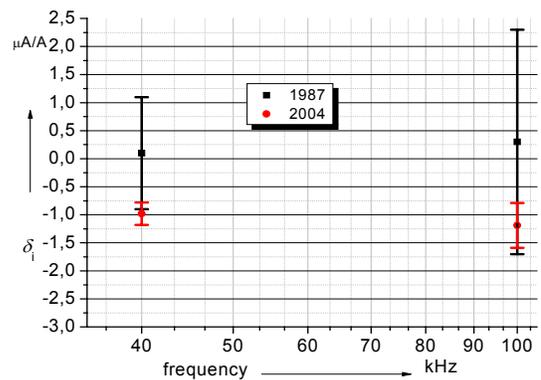


Fig. 6. Diferencias de transferencias de corriente ac-dc del PTB-MJTC calculadas en 1987[1] y en el 2004. Barras de incertidumbre con  $k = 2$ .

## 6. Conclusiones

El convertidor térmico plano de películas delgadas sobre chip y membrana de cuarzo desarrollado en el PTB con una resistencia del calefactor de  $117 \Omega$  ha resultado en un nuevo patrón para la transferencia de corriente ac-dc en el intervalo de frecuencia de 10 kHz a 1 MHz. La incertidumbre estándar calculada por el modelo de la diferencia de transferencia de corriente ac-dc es menor a  $1 \mu\text{A/A}$  para una resistencia del calefactor de  $117 \Omega$ .

## Referencias

1. M. Klönz, "Entwicklung von Vielfachthermokonvertern zur genauen Rückführung von Wechselgrößen auf äquivalente Gleichgrößen," Doctoral thesis, Technical University Braunschweig, 1987.
2. F. J. Wilkins, "Theoretical analysis of the ac/dc transfer difference of the NPL multijunction thermal converter over the frequency range of dc-100 kHz," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 21, no. pp 334-340, 1972.
3. M. Klönz, H. Laiz, T. Spiegel, P. Bittel, "AC-DC Current Transfer Step-Up and Step-Down Calibration and Uncertainty Calculation," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 51, no.5, pp 1027-1034, Oct. 2002.
4. L. Scarioni, "High Frequency Thin-Film Converter on a Quartz Crystal Chip," Doctoral Thesis, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, Germany, 2003.
5. L. Scarioni, M. Klönz, D. Janik, H. Laiz, and M. Kampik, "High-Frequency Thin-Film Multijunction Thermal Converter on a Quartz Crystal Chip," *IEEE Trans. Instrum. Meas.* Vol. 52, No.2, pp 345-348, April 2003.