

Evaluación de las incertidumbres de medición del sistema Josephson del INTI

Iuzzolino, R.; Melo, J.; Laiz, H.; Tischler, M.

Departamento de Patrones Nacionales de Medida (DPNM)

INTRODUCCIÓN

El ampere, una de las unidades de base del Sistema Internacional (SI) es mantenido en los Institutos Nacionales de Metrología por medio de dos efectos cuánticos macroscópicos: el efecto Josephson para la tensión eléctrica y el efecto Hall cuántico para la resistencia eléctrica. Empleando el efecto Josephson, el volt es reproducido utilizando los escalones cuánticos de tensión eléctrica de un arreglo de junturas Josephson. La tensión eléctrica de cada escalón es igual a $V_J = hf/2e$, donde h es la constante de Planck, e la carga del electrón y f la frecuencia de la radiación electromagnética con que se irradia la juntura Josephson. La tensión eléctrica total de las junturas conectadas en serie resulta $V_J = nhf/2e$, donde n es un entero obtenido en el proceso de medición.

En este trabajo se informa sobre la capacidad de medición de tensión eléctrica que posee el INTI, basada en este fenómeno cuántico macroscópico. En el sistema que posee el INTI la tensión eléctrica total de las junturas es del orden de 1 V. Se describe la evaluación de la incertidumbre intrínseca de su sistema Josephson (patrón nacional de tensión eléctrica), que resulta ser ± 13 nV.

Se muestra aquí que la incertidumbre típica de este procedimiento es de ± 315 nV, siendo dominante la componente de tipo estadístico, la cual es atribuible a la inestabilidad de la tensión eléctrica del patrón secundario de trabajo.

EVALUACIÓN DE LAS INCERTIDUMBRES

Esta sección describe el método utilizado para la evaluación de las incertidumbres de medición del equipo Josephson del INTI, basados en la referencia [1].

Una lista de las fuentes de incertidumbre y error en el sistema Josephson se mues-

tran en la Tabla 1. Sólo se listan las que conciernen al equipo Josephson en sí, y no las del dispositivo a calibrar, el cual agrega una serie de incertidumbres debidas a su ruido, corrimiento temporal (drift), y sensibilidad a las condiciones ambientales.

Tabla 1: Fuentes de error e incertidumbre en el sistema Josephson

1	Ruido y corrimiento de la referencia de frecuencia
2	Corriente eléctrica de fugas en el circuito de medición
3	Error de ganancia del detector
4	Corriente eléctrica de polarización del detector
5	Ruido, alinealidad, impedancia de entrada y corrimiento del detector
6	Tensiones eléctricas de origen térmico en el circuito de medición
7	Corrimiento debido a la rectificación de la corriente de la referencia de frecuencia
8	Interferencia electromagnética
9	Escalones no constantes debido a la polarización del chip Josephson

Para la determinación de la incertidumbre de medición se evaluaron las componentes citadas realizando algunas modificaciones en el circuito de medición utilizado para la calibración de patrones secundarios[2]. El circuito de medición se muestra en la Figura 1.

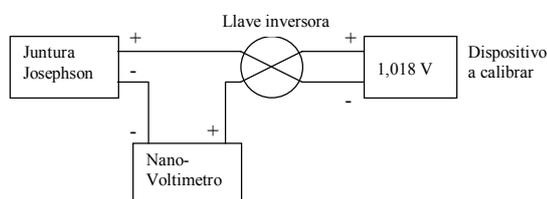


Figura 1 Esquema del circuito eléctrico utilizado para la calibración de patrones secundarios de tensión eléctrica.

Las modificaciones realizadas se listan en la Tabla 2, donde también se incluyen los resultados obtenidos.

Tabla 2: Incertidumbres evaluadas

Fuentes de Incertidumbres evaluadas	$\langle V \rangle$ (nV)	1σ (nV)
1. Entrada del detector en corto-circuito	0,61	1,03
2. Entrada llave inversora en corto	-6,44	6,99
3. Inversión de las conexiones de la llave inversora	2,20	5,71
4. Con microondas aplicadas	0,46	5,57

De todas las anteriores la que interesa para la determinación de la incertidumbre del sistema es la indicada en la fila 4, y es denominada incertidumbre de corto-circuito^[1].

La incertidumbre, u_c , de una muestra está definida por:

$$u_c = \sqrt{\frac{\sum (V_i - V_r)^2}{N}}$$

$$= \sqrt{\frac{N-1}{N} \sigma^2 + (\langle V \rangle - V_r)^2}$$
(1)

como en nuestro caso $V_r=0$, se reduce a:

$$u_0 = \sqrt{\frac{N-1}{N} \sigma^2 + \langle V \rangle^2}$$
(2)

Utilizando esta última expresión podemos obtener el valor de la incertidumbre buscada:

$$u_z = \sqrt{\frac{8-1}{8} 5.57^2 + 0.46^2} = 5.23 \text{ nV}$$
(3)

INCERTIDUMBRE EXPANDIDA

La tensión Josephson es obtenida a partir de la siguiente ecuación:

$$V_j = \frac{nf}{K_{j-90}}$$
(4)

donde f , es el valor de frecuencia con que se irradia a las juntas Josephson, n , es un número entero y $K_{j-90}=483597,9 \text{ GHz/V}$, es la constante de Josephson, cuyo valor fue adoptado por el BIPM en el año 1990. Por lo tanto, además de la incertidumbre calculada por la ecuación 1 debe tenerse en cuenta la incertidumbre en la medición de la frecuencia y componentes adicionales que representan errores en el sistema de medición, como puede ser corrientes de fugas o tensiones parásitas que no pueden ser eliminadas.

Las componentes de la incertidumbre de corto-circuito son aleatorias (tipo A^[3]), las incertidumbres en la medición de frecuencia y las debidas a la corriente eléctrica de fuga que aparecen en el circuito de medición son

sistemáticas (tipo B^[3]). Incluyendo a todas resulta un valor de incertidumbre combinada igual a $\pm 4,84 \text{ nV}$. Utilizando la distribución *t-student* para un nivel de confianza del 95% se calcula la Incertidumbre Total Expandida que resulta ser igual a $\pm 12,37 \text{ nV}$. La Tabla 3 muestra este resultado.

Tabla 3: Incertidumbre Expandida del Sistema Josephson del INTI

Componente	Tipo	Incertidumbre Estándar (nV)	Grados de Libertad
Corto-circuito	A	$\pm 5,23$	8
Frecuencia	B	$\pm 0,01$	∞
Corrientes de fuga	B	$\pm 0,33$	7
Incertidumbre combinada		$\pm 5,24$	
Incertidumbre total Expandida (nV)		$\pm 12,37$	

La incertidumbre total del proceso de calibración es la combinación de la incertidumbre del sistema Josephson con la incertidumbre propia del dispositivo a calibrar. Por ejemplo para una referencia zener resulta ser típicamente $\pm 315 \text{ nV}$. Lo cual muestra que la componente dominante en este proceso es la incertidumbre propia de la tensión eléctrica del zener, debida a su inestabilidad.

CONCLUSIONES

La incertidumbre de medición del sistema Josephson fue obtenida a partir de un conjunto de mediciones que tiene en cuenta todas las fuentes de error e incertidumbre. Este resulta en un valor de 12 nV con un nivel de confianza del 95 %. En la calibración de una referencia zener su ruido e inestabilidad propia son las principales contribuciones a la incerteza total, resultando en un valor total típico de 300 nV sobre 1 V con un nivel de confianza del 95 %.

Referencias

- [1] C.A. Hamilton, Y.H. Tang, "Evaluating the uncertainty of Josephson voltage standards", *Metrologia*, 1999, 36, 53-58.
- [2] "Josephson Voltage Standard", RISP-1, NCSL, November 1993.
- [3] "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", Genève, International Organization for Standardization, 1995.

Para mayor información contactarse con:

Ricardo Iuzzolino – ricardo.iuzzolino@inti.gov.ar

[Volver a página principal](#) ◀