

Generación de señales de espectro puro con el sistema Josephson pulsado

Ricardo Iuzzolino⁽¹⁾, Daniel Pinto^(1,2), Mariano Real⁽¹⁾, Alejandra Tonina⁽¹⁾

riuzzolino@inti.gob.ar

⁽¹⁾Departamento de Metrología Cuántica - INTI,

⁽²⁾Departamento de Física - FCEN - UBA

Palabras Clave: efecto Josephson; señales arbitrarias puras; JAWS; juntas superconductoras; medición;

INTRODUCCIÓN

Los sistemas Josephson son utilizados regularmente en los institutos de metrología para generar tensiones eléctricas cuyo valor depende únicamente de constantes universales y de una frecuencia de referencia determinada a través de relojes atómicos. Se basan en arreglos de varias juntas superconductoras. El instituto cuenta con las versiones convencional (JVS) y programable (PJVS), y recientemente se comenzó a desarrollar la versión pulsada, que permite generar señales arbitrarias basadas en el efecto Josephson (JAWS) [1]. Para esto, el arreglo de juntas superconductoras debe ser irradiado con pulsos de corriente del orden de GHz.

Estos sistemas abren un amplio espectro de posibles aplicaciones metrológicas y de nuevas tecnologías. La aplicación más directa es la generación de señales de espectro puro con tensiones cuantizadas para la medición y calibración de generadores y convertidores térmicos de transferencia ac/dc, pero también puede utilizarse en puentes de medición de impedancia y en particular a un futuro desarrollo de patrones cuánticos de impedancia basados también en el efecto Hall cuántico, y también para la calibración de analizadores de espectro [2-4].

Para lograr estos pulsos, se desarrolló un generador de pulsos basado en una FPGA (Field Programmable Gate Array). Este sistema permite generar patrones de pulsos de hasta 5 GHz, que son codificados por modulación $\Sigma\Delta$ de 2do orden [5].

OBJETIVOS

En esta etapa del desarrollo el objetivo primordial del trabajo fue desarrollar todos los requerimientos para probar un chip JAWS donado por el instituto de metrología alemán (PTB).

DESARROLLO

Para ello, fue necesario desarrollar un prototipo de **sonda criogénica**, que pueda trabajar a la temperatura del helio líquido (4,2 K), se adapte a criostatos existentes, soporte el dispositivo Josephson y a su vez contar con todo el cableado necesario para su funcionamiento. Para ello, debe tener una guía de onda (cable coaxial de alta frecuencia) para llevar las señales pulsadas de 5 GHz al chip, que cuenta con dos arrays Josephson, ver inserto de la Fig. 1.

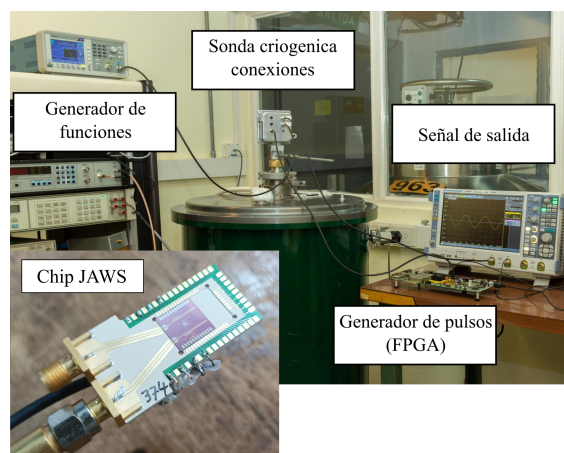


Figura 1. Imagen del arreglo experimental utilizado, el prototipo de sonda criogénica montada en el criostato de helio líquido.

También son necesarios cableados y conexiones para un generador de funciones y otros para la salida de la señal generada. Todos terminados en una caja superior de interconexión, ver Fig. 1. Finalmente, dadas las propiedades de los superconductores de tipo-II que conforman el dispositivo, es crucial una malla de μ -metal, que prevenga al dispositivo de atrapar campo electromagnético durante el enfriado del sistema.

La sonda consistió en un arreglo de caño de acero, con soportes internos de PTFE, especialmente diseñados, sobre los que se

fijaron los cables utilizados. El chip fue conectado a un cable coaxial semirrígido de alta frecuencia. Nótese que este cable termina en un conector SMA y se conecta a una guía de onda plana en el chip (inserto Fig.1), ésta es la que transmite los pulsos que finalmente lo irradiarán.

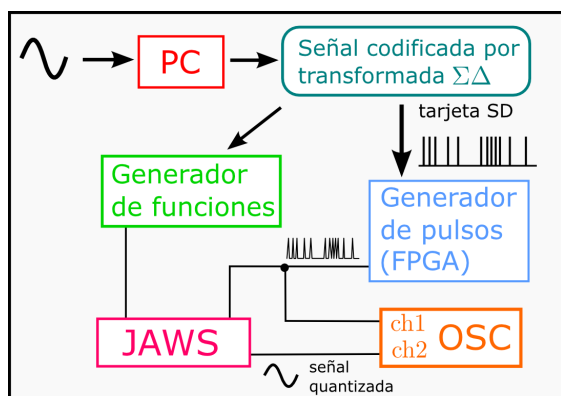


Figura 2. Esquema simplificado por bloques del arreglo experimental del sistema JAWS.

En la Fig. 2 se esquematiza el proceso de generación del sistema. La señal que se desea generar debe ser codificada en **pulsos de corriente** que serán producidos por medio de una FPGA y enviados al chip JAWS. Se desarrollaron entonces programas basados en modulación $\Sigma\Delta$ de 2do orden con el fin de generar el patrón de pulsos, que luego deben ser compilados por medio de programas específicos de la placa FPGA. Cabe destacar que dicha placa fue programada previamente en una colaboración con el Centro de Micro y Nano Tecnología del Bicentenario (CMNB). El chip JAWS cuenta con un arreglo de filtros de alta frecuencia de corte que eliminan las componentes espurias y así éste responde generando la señal deseada. Resultando en una señal casi ideal cuya frecuencia máxima está en el orden de los MHz, con pisos de ruido por debajo de -100 dBc.

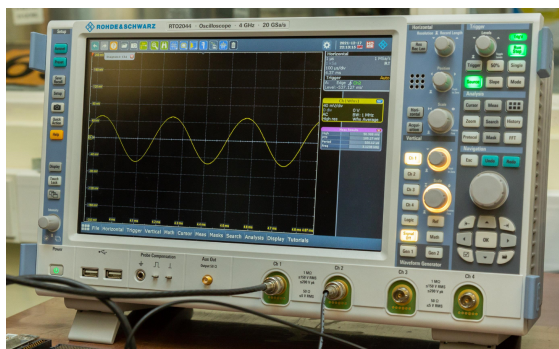


Figura 3. Oscilograma de la señal senoidal de tono puro de 3,125 kHz generada por el sistema JAWS.

RESULTADOS

Utilizando el esquema experimental de la Fig. 2 se puso en funcionamiento el sistema y se comprobó su funcionamiento. La Fig. 3 es una imagen de una señal senoidal de frecuencia única igual a 3,125 kHz generada por el sistema.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Este trabajo demostró el funcionamiento de diferentes partes del sistema y de su conjunto. Además, nos permitió entender problemas intrínsecos a solucionar, en particular, dado que la generación de pulsos permite únicamente codificar en esquemas positivos (0-1), esto resulta en una componente DC en la señal de salida que limita su funcionamiento. Dependiendo de la amplitud de señales deseadas el sistema se satura y sale del estado cuantizado. También, es necesario modificar los programas de la FPGA con el fin de controlar la amplitud de los pulsos generados. Cabe destacar que este es uno de los pocos sistemas de su clase a nivel mundial.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. Oliver Kieler del PTB quien suministró el array y por su ayuda. A los Ing. Alejandro Henze y Guillermo Monasterios por prestar elementos de RF. A Eduardo Scatena por maquinados de partes de la sonda criogénica. Al Dr. Marcos Bierzychudek y al Ing. Rodrigo Melo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Benz, Samuel P., and Clark A. Hamilton. 1996. "Benz, Samuel P., and Clark A. Hamilton. "A pulse-driven programmable Josephson voltage standard." *Applied physics letters* 68 (22): 3171-3173.
- [2] Kohlmann, J., & Behr, R. (2011). Development of Josephson voltage standards. In *Superconductivity-Theory and Applications*. IntechOpen.
- [3] Bauer, S., Behr, R., Hagen, T., Kieler, O., Lee, J., Palafox, L., & Schurr, J. (2017). A novel two-terminal-pair pulse-driven Josephson impedance bridge linking a 10 nF capacitance standard to the quantized Hall resistance. *Metrologia*, 54(2), 152.
- [4] Palafox, L., Herick, J., Bauer, S., Kraus, M., Kieler, O., & Behr, R. (2020, August). Applications of the Josephson based spectrum analyzer. In *2020 Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM)* (pp. 1-2). IEEE.
- [5] Kieler, O., Iuzzolino, R., & Kohlmann, J. (2009). Sub- μm SNS Josephson Junction Arrays for the Josephson Arbitrary Waveform Synthesizer. *IEEE transactions on applied superconductivity*, 19(3), 230-233.