



CONTROL DE LA DERIVA EN OSCILADORES DE RUBIDIO

Leonardo Trigo, Daniel Slomovitz

LABORATORIO de UTE, Montevideo, Uruguay, ltrigo@ieee.org

Resumen: Los osciladores atómicos de rubidio se caracterizan por tener bajo ruido en medidas de corto plazo, mientras los sistemas GPSDO (GPS con oscilador disciplinado, generalmente dicho oscilador es de rubidio) además de brindar el servicio de posicionamiento global pueden tener salidas de frecuencia estándar. Dichos equipos poseen alto ruido en medidas de corto plazo, pero a largo plazo no tienen deriva pues el sistema GPS es supervisado desde estaciones terrestres desde las cuales se realizan correcciones a los satélites que componen el sistema.

Este trabajo propone implementar un sistema automático con el cual compensar la deriva característica de osciladores de rubidio comparando dicha salida con la salida del GPSDO, con lo cual se obtendría la estabilidad a largo plazo del GPSDO y el bajo ruido a corto plazo típico del rubidio.

Palabras clave: Reloj atómico, Rubidio, GPS, Cesio.

1. INTRODUCCIÓN

Los osciladores atómicos de rubidio no se consideran patrones primarios pues su frecuencia varía con el tiempo debido a características propias de su funcionamiento y además existen influencias externas que cambian el valor de la frecuencia.

La mayor causa del cambio del valor de la frecuencia con el tiempo es el cambio de la relación entre el gas de rubidio y un gas buffer necesario para su funcionamiento. Dicho gas tiene el cometido de bajar el movimiento de los átomos de los gases dentro de la ampolla de vidrio y es una de las causas del bajo ruido en medidas de corto plazo. Pero tiene el inconveniente que los gases son muy lentamente liberados a través de las paredes del recipiente que los contiene, cambiando la relación entre el gas de rubidio y el gas buffer y en consecuencia varía la frecuencia del oscilador.

Los mayores factores externos que influyen son las perturbaciones electromagnéticas. Aunque estos dispositivos están protegidos con blindajes, existen

campos propios que también varían y no son totalmente inmunes a influencias externas [1].

Por otro lado, un punto a favor de estos relojes es que en medidas de corto tiempo tienen muy bajo ruido, del orden de 3×10^{-12} en tiempos de 100 s (ver Fig. 1).

Existe otro tipo de reloj llamado GPSDO (GPS con oscilador disciplinado), en el cual una conexión GPS controla la frecuencia del oscilador, generalmente de rubidio [2]. El sistema GPS, además de brindar el servicio de posicionamiento global, puede tener salidas de frecuencia estándar de 1 Hz, 5 MHz y 10 MHz. Algunos modelos pueden tener otras salidas, usadas en telecomunicaciones, de 1.544 MHz o 2.048 MHz.

Estos equipos a largo plazo no tienen deriva pues el sistema GPS es supervisado desde estaciones terrestres por relojes atómicos primarios (cesio), pudiendo realizarse correcciones a los satélites que componen el sistema. Sin embargo, los sistemas GPSDO poseen alto ruido en medidas de corto plazo (ver Fig. 2).

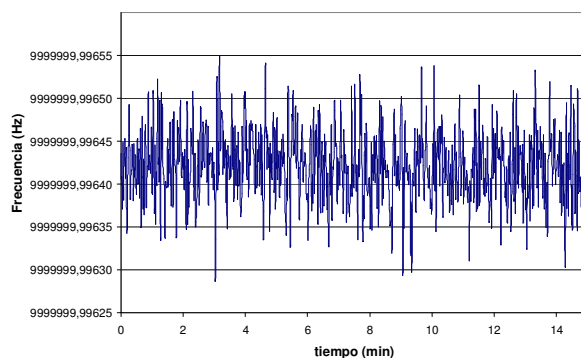


Fig 1. Gráfico de la señal del rubidio.

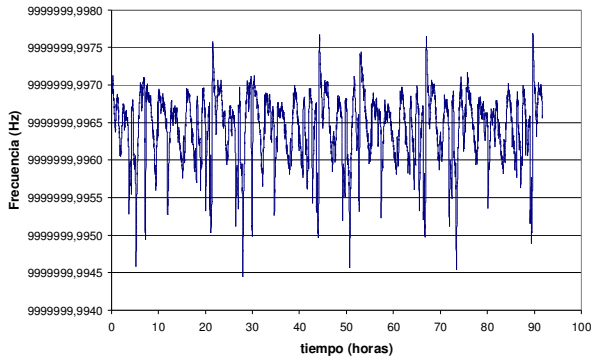


Fig 2. Gráfico de la señal de salida del GPSDO.

Los patrones primarios están constituidos por osciladores atómicos de Cesio, su frecuencia no se altera con el tiempo. Mediante el seguimiento de algunos parámetros se conoce cuándo están llegando al límite de su vida útil. Ésta puede ser de alrededor de diez años en los equipos comunes y de cinco años en los de alta performance. Al llegar al fin de su vida útil es necesario reemplazar la ampolla donde reside el cesio y parte del sistema de funcionamiento. Su alto costo, tanto en el momento de la compra como en el momento de cambiar dicha ampolla, ha motivado este estudio, de mejoramiento de los relojes basados en rubidio.

La idea clave es implementar un sistema automático el cual compense la deriva característica de estos osciladores, comparando dicha salida con la frecuencia promedio de un reloj GPSDO. Si el promedio se computa a lo largo de varias horas, se minimizan los efectos del ruido característicos del GPSDO. De esta forma, se obtiene el bajo ruido característico de relojes atómicos de primarios sin las altas derivas que caracterizan a los relojes de rubidio.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema está compuesto por un GPSDO, un reloj atómico de rubidio, un circuito electrónico de control, un contador universal y un computador. En la Fig. 3 se observa un diagrama de dicha configuración y en la Fig. 4 una foto de los instrumentos.

El reloj de rubidio [3] permite la variación de su frecuencia de salida (10 MHz) en función de una tensión de control. Dicha tensión puede variar de 0 a 5 V, siendo el cambio de frecuencia aproximadamente 5×10^{-10} Hz/V. El objetivo es controlar la frecuencia en pasos de 1×10^{-13} Hz/Hz o menores.

El circuito de control está formado por un zener de referencia de 10 V asociado a un divisor resistivo de alta estabilidad, compuesto por resistores Vishay, de relación 4:1 que entrega un voltaje de 2.5 V. Dicha tensión es aplicada a un convertor digital analógico de 16 bits que permite obtener pasos de

aproximadamente $38 \mu\text{V}$ al cambiar el bit menos significativo.

Debido a que la idea es lograr un sistema automático, se usa un microcontrolador encargado de variar las señales digitales que se aplican al convertor según información enviada vía comunicación RS232.

En el diagrama de la Fig. 3, se observa que el reloj de rubidio, el circuito de control y el microcontrolador forman un único equipo llamado Frequency Standard Rubidium. Además dicho equipo posee divisores de frecuencia que permiten tener salidas de 10 MHz, 5 MHz, 1PPS y una salida de frecuencia variable en décadas de 1 Hz a 10 MHz seleccionable por medio de una llave.

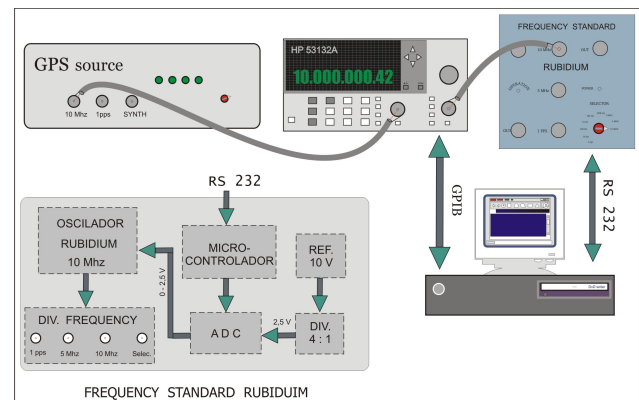


Fig 3. Diagrama en bloques del sistema.



Fig 4. Foto del equipamiento que compone el sistema.

El GPSDO entrega una frecuencia estándar de 10 MHz, la cual se compara con la señal del rubidio durante varias horas, tiempo necesario para obtener una proyección de la deriva y en función de ésta modificar la tensión de control aplicada al rubidio para lograr el valor de corrección de su frecuencia. Un contador universal se encarga de medir la diferencia de frecuencia entre el GPSDO y reloj de rubidio.

Por último, el computador ejecuta un software desarrollado para este propósito el cual se encarga de procesar los valores de diferencia de frecuencia medidos por el contador, calcula la deriva del rubidio utilizando los valores registrados durante varias horas y estima la corrección necesaria para mantener dicha variación de frecuencia en el entorno de 1×10^{-13} Hz/Hz. Una vez obtenido el valor de tensión para corregir la frecuencia, se envía la información al microcontrolador para modificar la tensión de control que ajusta la salida del rubidio.

La validación de este sistema se realizará mediante un sistema de seguimiento de frecuencia llamado SIM System. Dicho equipo es parte de un sistema que el SIM (Sistema Interamericano de Metrología) está implantando con los Laboratorios Nacionales de las Américas y que permite el seguimiento on-line de los patrones en dicha magnitud. No es necesario sacarlos del país para calibraciones, tal como ocurre con patrones secundarios en otras magnitudes. Este equipo ya fue enviado a nuestro Laboratorio y se están realizando las primeras evaluaciones del comportamiento del sistema en tiempo real.

Los primeros resultados son alentadores aunque no colman totalmente nuestras expectativas. Con el correr de los días tendremos información suficiente como para evaluar y posiblemente realizar ajustes en el algoritmo de evaluación y corrección de la deriva.

3. CONCLUSIONES

Este trabajo muestra un método por el cual es posible realizar correcciones en la frecuencia de salida de un reloj atómico de rubidio para mantenerla dentro de un entorno del orden de 1×10^{-13} Hz/Hz. De esta forma se obtiene una salida con un comportamiento de bajo ruido característico de relojes atómicos primarios sin las altas derivas que caracterizan a los relojes de rubidio. El costo del sistema así formado es unas diez veces menor que el costo de relojes primarios de cesio.

4. REFERENCIAS

- [1] Principio de funcionamiento relojes atómicos de rubidio, SIM, Seminario Metrología, Buenos Aires, febrero 2008.
- [2] Manual equipo, Spectratime, modelo GPSource.
- [3] Manual equipo, Spectratime, modelo RMO.

BIOGRAFÍAS



Leonardo Trigo (M'98) nació en Montevideo, Uruguay, en 1969. Se graduó en Ingeniero Tecnológico en Electrónica, expedido por Instituto Tecnológico Superior en 1993. Desde 1994 se desempeña funciones en el Departamento de Electrotecnia, Subgerencia Laboratorio UTE.



Daniel Slomovitz (M'86–SM'89) nació en Montevideo, Uruguay, en 1952. Recibió el título de Ingeniero Eléctrico en 1977 y Doctor en Ingeniería en 2000, en la Universidad de la República, Uruguay. Actúa como Profesor Catedrático en la misma universidad. En 1977, se incorporó al Laboratorio de UTE como Ayudante de Ing., ocupando actualmente el cargo de Jefe del Laboratorio. Ha llevado a cabo investigación en mediciones de baja frecuencia y alto voltaje, habiendo publicado más de 100 trabajos y el libro "Mediciones Eléctricas" del IEEE.