

Relojes atómicos perfeccionados con tarjetas AWG en formato PXIe

En todo el mundo, cientos de relojes atómicos se comparan continuamente para establecer el Tiempo Atómico Internacional (TAI). En Alemania, el Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) contribuye con dos de los principales relojes de fuente de cesio del mundo. Sin embargo, mantenerlos en funcionamiento depende de una tecnología sofisticada capaz de enfriar nubes de átomos con láseres hasta unos pocos microkelvin y realizar espectroscopia de Ramsey. Las tarjetas AWG de Spectrum Instrumentation desempeñan un papel clave en la configuración más reciente de los relojes atómicos. Los relojes de fuente de cesio CSF1 y CSF2 controlan la escala temporal de referencia nacional UTC (PTB) y constituyen la base de los servicios horarios del PTB y de la hora legal para toda Alemania, sincronizando desde relojes y trenes hasta el tráfico aéreo, las comunicaciones, la radiodifusión, los sistemas informáticos y mucho más.

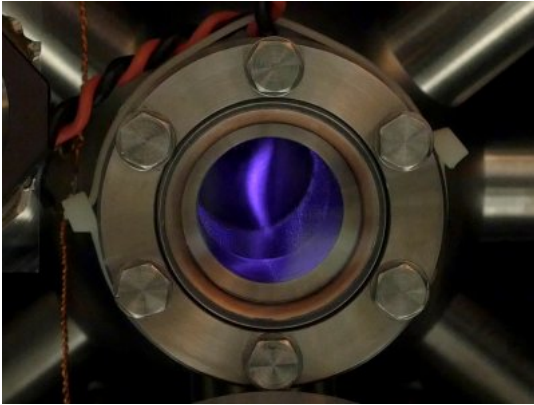


Los dos relojes de fuente de cesio del PTB proporcionan la hora legal para toda la República Federal de Alemania.

Los relojes de fuente de cesio, como los que funcionan en el PTB, se basan en el comportamiento cuántico de los átomos de cesio. Un segundo se define como la duración de exactamente 9.192.631.770 periodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles de energía del estado fundamental del átomo de cesio-133. En una cámara de vacío, una nube ultrafría de estos átomos atraviesa dos veces una cavidad de microondas de Ramsey antes de que su estado final se mida mediante espectroscopia de fluorescencia inducida por láser.

Cómo enfriar los átomos de cesio

El Dr. Johannes Rahm, miembro del departamento de Tiempo y Frecuencia del PTB, explica: "Antes de poder realizar la medición, es necesario cargar una nube de átomos ultrafríos. Esto se consigue mediante una trampa magneto-óptica (CSF1) o una melaza óptica (CSF2). En ambos casos, los láseres, dispuestos con una geometría específica, se desintonizan ligeramente por debajo de una transición óptica del cesio-133. Debido al movimiento térmico residual, esta luz láser experimenta un desplazamiento Doppler hacia la frecuencia de transición y, mediante la absorción de fotones del láser y la conservación del momento, los átomos de la nube se ralentizan y, por tanto, se enfrían."



Fotografía infrarroja de la cámara de vacío que muestra la nube de átomos de cesio fluorescente. (Fotografía cortesía de Mareike Bernien)

Un ciclo de funcionamiento del reloj de fuente de cesio

Una pequeña diferencia de frecuencia entre los láseres impulsa entonces la nube hacia arriba, como al lanzar una pelota al aire. Esto crea el efecto de "fuente": los átomos atraviesan la cavidad de Ramsey una vez durante el ascenso y otra vez durante el descenso bajo la acción de la gravedad. Después de atravesar la cavidad de Ramsey por segunda vez, la probabilidad de transición se determina mediante espectroscopia de fluorescencia. Durante cada paso por la cavidad de Ramsey, se aplica un pulso de microondas. La frecuencia de este pulso se ajusta de modo que la probabilidad de transición resultante sea de aproximadamente el 50 %. Con cada ciclo de la fuente, que consta de la fase de carga, la fase de lanzamiento, la interrogación de Ramsey, la detección y los vuelos balísticos entre las diferentes fases, se invierte el signo de la desviación de frecuencia de las microondas, de modo que se muestrean los lados izquierdo y derecho de la estructura simétrica de probabilidad de transición. La verdadera frecuencia de transición viene dada entonces por la media de las dos frecuencias controladas ajustadas para una probabilidad de transición del 50 %. Una vez completada la medición, después de aproximadamente 1,2 segundos, el ciclo comienza de nuevo y continúa las 24 horas del día.

Evolución de los relojes

El reloj de fuente de cesio requiere un control preciso de los láseres. Originalmente, esto se implementó mediante circuitos analógicos personalizados desarrollados por una generación anterior de ingenieros y científicos del PTB. Mantener un sistema tan complejo a largo plazo resulta cada vez más difícil. Por ello, al igual que el propio experimento, la electrónica de soporte también debe evolucionar, lo que llevó al Dr. Rahm a explorar cómo sustituir el sistema analógico por una alternativa digital. Su investigación le llevó a integrar tarjetas AWG (Arbitrary Waveform Generator) en formato PXIe de Spectrum Instrumentation. Estas tarjetas generan las frecuencias de RF necesarias para manipular las frecuencias de los láseres durante el enfriamiento, el lanzamiento y la detección de los átomos mediante moduladores acusto-ópticos.



El Dr. Johannes Rahm inspecciona los relojes de fuente de cesio, que funcionan continuamente las 24 horas del día. (Fotografía cortesía del PTB)

La rápida respuesta del soporte de Spectrum

Sin embargo, durante la implementación surgió un desafío. Aunque las tarjetas AWG M4x.6622-x4 cumplían con creces los requisitos de precisión, ninguno de los modos de generación de señales disponibles se ajustaba a los requisitos especiales necesarios en el PTB. Para un diseño eficiente del ciclo del reloj de fuente de cesio, cada láser necesita un conjunto específico de formas de onda en un momento específico del ciclo. El Dr. Rahm contactó con el soporte de Spectrum Instrumentation, gestionado directamente por los ingenieros de diseño. En tan solo dos días, los ingenieros de software desarrollaron una nueva función denominada “Sequence Restart Mode”. Las pruebas del Dr. Rahm fueron satisfactorias y el nuevo modo funciona exactamente como había previsto.



Tarjeta Spectrum M4x.6622 Arbitrary Waveform Generator en formato PXIe. (Fotografía: Spectrum)

Mientras tanto, Spectrum Instrumentation ha lanzado Sequence Restart Mode como una actualización gratuita para todos los AWG de las series 65xx y 66xx. El nuevo modo puede activarse fácilmente instalando los controladores más recientes.

Acerca de Spectrum Instrumentation

La empresa Spectrum Instrumentation, fundada en 1989, sigue un exclusivo concepto modular para diseñar y producir una amplia gama de más de 200 digitalizadores y productos para generadores, como tarjetas de PC (PCIe y PXIe) y unidades de Ethernet independientes (LXI). Spectrum se ha ganado durante más de 35 años la confianza de clientes de todo el mundo, entre los que figuran primeras marcas del ámbito industrial y prácticamente todas las universidades de prestigio. La empresa tiene su sede cerca de Hamburgo (Alemania), y es conocida por sus excelentes servicios, como la garantía de 5 años y la asistencia técnica a cargo de los propios ingenieros de diseño. Para obtener más información sobre Spectrum, visite www.spectrum-instrumentation.com.

Spectrum Instrumentation GmbH

Ahrensfelder Weg 13-17
22927 Grosshansdorf
Germany
Sven Harnisch
Teléfono: +49-4102-6956-0
sven.harnisch@spec.de
<https://spectrum-instrumentation.com/>