

Orologi atomici perfezionati con schede AWG in formato PXIe

In tutto il mondo, centinaia di orologi atomici vengono continuamente confrontati per stabilire il Tempo Atomico Internazionale (TAI). In Germania, il Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) contribuisce con due dei principali orologi a fontana di cesio al mondo. Mantenerli in funzione, tuttavia, richiede una tecnologia sofisticata per raffreddare con laser nubi di atomi fino a pochi microkelvin ed eseguire la spettroscopia di Ramsey. Le schede AWG di Spectrum Instrumentation svolgono un ruolo fondamentale nell'ultima configurazione degli orologi atomici. Gli orologi a fontana di cesio CSF1 e CSF2 regolano la scala temporale di riferimento nazionale UTC (PTB) e costituiscono la base dei servizi di tempo del PTB e dell'ora legale per tutta la Germania, sincronizzando qualsiasi cosa, dagli orologi e dai treni al traffico aereo, alle comunicazioni, alle trasmissioni, ai sistemi informatici e molto altro.



I due orologi a fontana di cesio presso il PTB forniscono l'ora legale per l'intera Repubblica Federale di Germania.

Gli orologi a fontana di cesio, come quelli utilizzati presso il PTB, si basano sul comportamento quantistico degli atomi di cesio. Un secondo è definito come la durata di esattamente 9.192.631.770 periodi della radiazione corrispondente alla transizione tra i due livelli energetici dello stato fondamentale dell'atomo di cesio-133. In una camera a vuoto, una nube ultrafredda di questi atomi attraversa due volte una cavità a microonde di Ramsey prima che il loro stato finale venga misurato mediante spettroscopia di fluorescenza indotta da laser.

Come raffreddare gli atomi di cesio

Il Dr. Johannes Rahm, membro del dipartimento Tempo e Frequenza del PTB, spiega: "Prima che possa essere effettuata la misurazione, è necessario caricare una nube di atomi ultrafreddi. Ciò viene realizzato mediante una trappola magneto-ottica (CSF1) o una melassa ottica (CSF2). In entrambi i casi, laser disposti secondo una specifica geometria vengono leggermente disaccordati al di sotto di una transizione ottica del cesio-133. A causa del moto termico residuo, questa luce laser subisce uno spostamento Doppler verso la frequenza di transizione e, attraverso l'assorbimento dei fotoni del laser e la conservazione della quantità di moto, gli atomi nella nube vengono rallentati e quindi raffreddati."

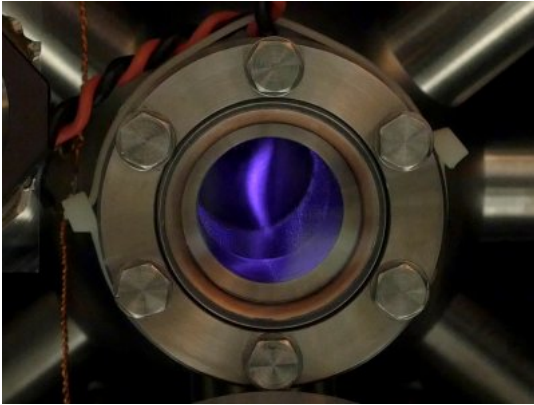


Foto a infrarossi della camera a vuoto che mostra la nube di atomi di cesio fluorescente. (Foto per gentile concessione di Mareike Bernien)

Un ciclo operativo dell'orologio a fontana di cesio

Una piccola differenza di frequenza tra i laser spinge quindi la nube verso l'alto, come quando si lancia una palla in aria. Questo crea l'effetto "fontana": gli atomi attraversano la cavità di Ramsey una volta durante la salita e nuovamente durante la discesa sotto l'azione della gravità. Dopo aver attraversato la cavità di Ramsey per la seconda volta, la probabilità di transizione viene determinata mediante spettroscopia di fluorescenza. Durante ogni passaggio attraverso la cavità di Ramsey, viene applicato un impulso a microonde. La frequenza di questo impulso viene regolata in modo che la probabilità di transizione risultante sia circa del 50%. Ad ogni ciclo della fontana, che consiste nella fase di caricamento, nella fase di lancio, nell'interrogazione di Ramsey, nella rilevazione e nei voli balistici tra le diverse fasi, il segno della deviazione della frequenza delle microonde viene invertito, in modo da campionare il lato sinistro e quello destro della struttura simmetrica della probabilità di transizione. La frequenza di transizione reale è quindi data dalla media delle due frequenze regolate impostate per una probabilità di transizione del 50%. Una volta completata la misurazione, dopo circa 1,2 secondi, il ciclo ricomincia e continua 24 ore al giorno.

Evoluzione degli orologi

L'orologio a fontana di cesio richiede un controllo accurato dei laser. In origine, questo veniva realizzato utilizzando circuiti analogici personalizzati sviluppati da una precedente generazione di ingegneri e scienziati del PTB. Mantenere un sistema così complesso a lungo termine diventa sempre più difficile. Pertanto, come l'esperimento stesso, anche l'elettronica di supporto deve evolversi, portando il Dr. Rahm a esplorare come sostituire il sistema analogico con un'alternativa digitale. La sua ricerca lo ha portato a integrare le schede AWG (Arbitrary Waveform Generator) in formato PXIe di Spectrum Instrumentation. Queste schede generano le frequenze RF necessarie per manipolare le frequenze laser per il raffreddamento, il lancio e la rilevazione degli atomi utilizzando modulatori acusto-ottici.



Il Dr. Johannes Rahm ispeziona gli orologi a fontana di cesio, che funzionano continuamente 24 ore al giorno. (Foto per gentile concessione del PTB)

La rapida reazione del supporto Spectrum

Tuttavia, durante l'implementazione è emersa una difficoltà. Sebbene le schede AWG M4x.6622-x4

soddisfacessero ampiamente i requisiti di accuratezza, nessuna delle modalità di generazione del segnale disponibili corrispondeva ai requisiti speciali necessari presso il PTB. Per una progettazione efficiente del ciclo dell'orologio a fontana di cesio, ogni laser necessita di uno specifico insieme di forme d'onda in un momento specifico del ciclo. Il Dr. Rahm ha contattato il supporto di Spectrum Instrumentation, gestito direttamente dagli ingegneri di progettazione. In soli due giorni, gli ingegneri software hanno sviluppato una nuova funzione chiamata "Sequence Restart Mode". I test del Dr. Rahm hanno avuto esito positivo e la nuova modalità funziona esattamente come previsto.



Scheda generatore di forme d'onda arbitrarie Spectrum M4x.6622 in formato PXIe. (Foto di Spectrum)

Nel frattempo, Spectrum Instrumentation ha rilasciato Sequence Restart Mode come aggiornamento gratuito per tutti gli AWG delle serie 65xx e 66xx. La nuova modalità può essere abilitata facilmente installando i driver più recenti.

Informazioni su Spectrum Instrumentation

Spectrum Instrumentation, fondata nel 1989, ha ideato un sistema modulare unico per progettare e produrre un'ampia gamma di oltre 200 digitalizzatori e generatori sotto forma di schede PC (PCIe e PXIe) e unità Ethernet stand-alone (LXI). In oltre 35 anni, Spectrum ha acquisito clienti in tutto il mondo, tra cui molte aziende leader del settore e praticamente tutte le università più prestigiose. L'azienda ha sede nei pressi di Amburgo, in Germania, ed è nota per la sua garanzia di 5 anni e per l'eccezionale assistenza fornita direttamente dai suoi tecnici progettisti. Ulteriori informazioni su Spectrum sono disponibili sul sito www.spectrum-instrumentation.com.

Spectrum Instrumentation GmbH

Ahrensfelder Weg 13-17

22927 Grosshansdorf

Germany

Sven Harnisch

Telefono: +49-4102-6956-0

sven.harnisch@spec.de

<https://spectrum-instrumentation.com/>