

Zegary atomowe udoskonalone dzięki kartom AWG w formacie PXIe

Na całym świecie setki zegarów atomowych są nieustannie porównywane w celu ustanowienia Międzynarodowego Czasu Atomowego (TAI). W Niemczech Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) wnosi swój wkład, wykorzystując dwa z wiodących na świecie cezowych zegarów fontannowych. Ich nieprzerwana praca wymaga jednak zaawansowanej technologii umożliwiającej schładzanie chmur atomów za pomocą laserów do temperatury kilku mikrokelwinów oraz przeprowadzanie spektroskopii Ramseya. Karty AWG firmy Spectrum Instrumentation odgrywają kluczową rolę w najnowszej konfiguracji zegarów atomowych. Cezowe zegary fontannowe CSF1 i CSF2 sterują krajową referencyjną skalą czasu UTC (PTB) i stanowią podstawę usług czasu PTB oraz czasu urzędowego dla całych Niemiec, synchronizując wszystko – od zegarów i pociągów po ruch lotniczy, komunikację, nadawanie, systemy komputerowe i wiele innych.

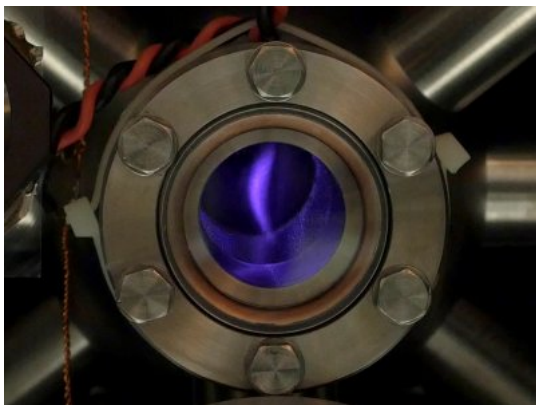


Dwa cezowe zegary fontannowe w PTB zapewniają czas urzędowy dla całej Republiki Federalnej Niemiec.

Cezowe zegary fontannowe, takie jak te pracujące w PTB, wykorzystują kwantowe właściwości atomów cezu. Jedna sekunda jest definiowana jako czas trwania dokładnie 9 192 631 770 okresów promieniowania odpowiadającego przejściu pomiędzy dwoma poziomami energetycznymi stanu podstawowego atomu cezu-133. W komorze próżniowej ultrazimna chmura tych atomów dwukrotnie przechodzi przez mikrofalową wnękę Ramseya, zanim jej stan końcowy zostanie zmierzony za pomocą spektroskopii fluorescencji wzbudzonej laserem.

Jak schładzać atomy cezu

Dr. Johannes Rahm, członek działu Czasu i Częstotliwości w PTB, wyjaśnia: "Przed rozpoczęciem pomiaru należy załadować chmurę ultrazimnych atomów. Jest to realizowane za pomocą pułapki magnetooptycznej (CSF1) lub melasy optycznej (CSF2). W obu przypadkach lasery, ustawione względem siebie w określonej geometrii, są dostrajane nieznacznie poniżej częstotliwości przejścia optycznego cezu-133. Ze względu na resztkowy ruch termiczny światło laserowe ulega przesunięciu Dopplera do częstotliwości przejścia, a poprzez absorpcję fotonów z lasera i zachowanie pędu atomy w chmurze zostają spowolnione, a tym samym schłodzone."



Zdjęcie w podczerwieni komory próżniowej przedstawiające fluorescencyjną chmurę atomów cezu. (Zdjęcie dzięki uprzejmości Mareike Bernien)

Cykl pracy cezowego zegara fontannowego

Niewielka różnica częstotliwości między laserami powoduje następnie wypchnięcie chmury ku górze, podobnie jak przy wyrzuceniu piłki w powietrze. Tworzy to efekt „fontanny”: atomy przechodzą przez wnękę Ramseya raz podczas ruchu w górę i ponownie podczas opadania pod wpływem grawitacji. Po drugim przejściu przez wnękę Ramseya prawdopodobieństwo przejścia jest określone za pomocą spektroskopii fluorescencyjnej. Podczas każdego przejścia przez wnękę Ramseya przykładany jest impuls mikrofalowy. Częstotliwość tego impulsu jest dostrajana tak, aby uzyskane prawdopodobieństwo przejścia wynosiło około 50%. W każdym cyklu fontanny, który składa się z fazy ładowania, fazy wyrzutu, interogacji Ramseya, detekcji oraz przelotów balistycznych pomiędzy poszczególnymi fazami, znak odstrojenia częstotliwości mikrofalowej jest odwracany, dzięki czemu próbkowana jest lewa i prawa strona symetrycznej struktury prawdopodobieństwa przejścia. Rzeczywista częstotliwość przejścia jest następnie określana jako średnia z dwóch sterowanych częstotliwości ustawionych dla 50% prawdopodobieństwa przejścia. Po zakończeniu pomiaru, po około 1,2 sekundy, cykl rozpoczyna się ponownie i jest kontynuowany przez 24 godziny na dobę.

Ewolucja zegarów

Cezowy zegar fontanny wymaga precyzyjnego sterowania laserami. Początkowo realizowano to za pomocą specjalnie zaprojektowanych układów analogowych opracowanych przez wcześniejsze pokolenie inżynierów i naukowców PTB. Długoterminowe utrzymanie tak złożonego systemu staje się coraz trudniejsze. Dlatego, podobnie jak sam eksperyment, również elektronika wspomagająca musi ewoluować, co skłoniło dr. Rahma do zbadania możliwości zastąpienia systemu analogowego rozwiązaniem cyfrowym. Jego badania doprowadziły go do integracji kart AWG (Arbitrary Waveform Generator) firmy Spectrum Instrumentation w formie PXle. Karty te generują częstotliwości RF wymagane do manipulowania częstotliwościami laserów podczas chłodzenia, wyrzucania i detekcji atomów za pomocą modulatorów akustooptycznych.



Dr. Johannes Rahm podczas kontroli cezowych zegarów fontannowych, które pracują nieprzerwanie przez 24 godziny na dobę. (Zdjęcie dzięki uprzejmości PTB)

Szybka reakcja zespołu wsparcia Spectrum

Podczas wdrażania pojawiło się jednak pewne wyzwanie. Chociaż karty AWG M4x.6622-x4 spełniały wymagania dotyczące dokładności w bardzo wysokim stopniu, żaden z dostępnych trybów generowania sygnałów nie odpowiadał specjalnym wymaganiom PTB. W celu zapewnienia wydajnej konstrukcji cyklu cieżowego zegara fontannowego każdy laser wymaga określonego zestawu przebiegów w określonym momencie cyklu. Dr. Rahm skontaktował się ze wsparciem Spectrum Instrumentation, które jest bezpośrednio realizowane przez inżynierów projektowych. W ciągu zaledwie dwóch dni inżynierowie oprogramowania opracowali nową funkcję o nazwie "Sequence Restart Mode". Testy dr. Rahma zakończyły się pomyślnie, a nowy tryb działa dokładnie zgodnie z założeniami.



Karta generatora przebiegów arbitralnych Spectrum M4x.6622 w formie PXIe. (Zdjęcie: Spectrum)

W międzyczasie Spectrum Instrumentation udostępniło Sequence Restart Mode jako bezpłatną aktualizację dla wszystkich generatorów AWG z serii 65xx i 66xx. Nowy tryb można łatwo aktywować poprzez zainstalowanie najnowszych sterowników.

O firmie Spectrum Instrumentation

Firma Spectrum Instrumentation, założona w 1989 r., oferuje ponad 200 digitizerów i generatorów o modułowej konstrukcji, dostarczanych w postaci kart PCIe i PXIe oraz samodzielnych jednostek Ethernet (LXI). Przez ponad 35 lat firma zyskała klientów na całym świecie, w tym wśród wielu liderów branżowych oraz na praktycznie wszystkich prestiżowych uniwersytetach. Siedziba główna Spectrum jest zlokalizowana koło Hamburga w Niemczech. Firma udziela długiej, 5-letniej gwarancji na swoje produkty i zapewnia wsparcie techniczne, pochodzące bezpośrednio od inżynierów projektowych. Więcej informacji można znaleźć pod adresem www.spectrum-instrumentation.com.

Spectrum Instrumentation GmbH

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