

Atomové hodiny zdokonalené pomocí AWG karet ve formátu PXIe

Po celém světě jsou stovky atomových hodin nepřetržitě porovnávány za účelem stanovení Mezinárodního atomového času (TAI). V Německu k tomuto úsilí přispívá Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) dvěma předními cesiovým fontánovým hodinám na světě. Jejich nepřetržitý provoz však závisí na sofistikované technologii, která pomocí laserů ochlazuje oblaka atomů na několik mikrokelfvinů a umožňuje provádět Ramseyho spektroskopii. AWG karty společnosti Spectrum Instrumentation hrají klíčovou roli v nejnovější konfiguraci atomových hodin. Cesiové fontánové hodiny CSF1 a CSF2 řídí národní referenční časovou stupnici UTC (PTB) a tvoří základ časových služeb PTB a zákonného času pro celé Německo, přičemž synchronizují vše od hodin a vlaků až po leteckou dopravu, komunikace, vysílání, počítačové systémy a mnoho dalšího.

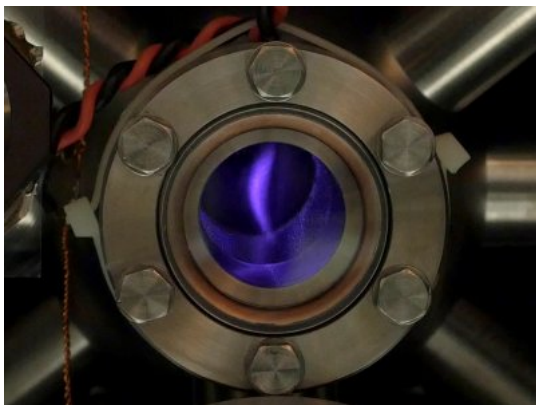


Dvě cesiové fontánové hodiny v PTB poskytují zákonný čas pro celou Spolkovou republiku Německo.

Cesiové fontánové hodiny, jako jsou ty provozované v PTB, využívají kvantové chování atomů cesia. Jedna sekunda je definována jako doba trvání přesně 9 192 631 770 period záření odpovídajícího přechodu mezi dvěma energetickými hladinami základního stavu atomu cesia-133. Ve vakuové komoře prochází ultrachladný oblak těchto atomů dvakrát Ramseyho mikrovlnnou dutinou, než je jeho konečný stav změřen pomocí laserem indukované fluorescenční spektroskopie.

Jak ochladit atomy cesia

Dr. Johannes Rahm, člen oddělení Času a frekvence v PTB, vysvětluje: "Před provedením měření musí být naplněn oblak ultrachladných atomů. To se realizuje pomocí magnetooptické pasti (CSF1) nebo optické melasy (CSF2). V obou případech jsou lasery ve specifickém geometrickém uspořádání mírně rozladěny pod optický přechod cesia-133. V důsledku zbytkového tepelného pohybu je toto laserové světlo Dopplerovsky posunuto k přechodové frekvenci a díky absorpci fotonů z laseru a zachování hybnosti jsou atomy v oblaku zpomalovány, a tedy ochlazovány."



Infračervený snímek vakuové komory zobrazující fluoreskující oblak atomů cesia. (Foto: Mareike Bernien)

Pracovní cyklus cesiových fontánových hodin

Malý frekvenční rozdíl mezi lasery následně vytlačí oblak vzhůru, podobně jako při vyhození míče do vzduchu. Vzniká tak efekt „fontány“: atomy procházejí Ramseyho dutinou jednou při cestě vzhůru a podruhé při sestupu působením gravitace. Po druhém průchodu Ramseyho dutinou je pravděpodobnost přechodu určena pomocí fluorescenční spektroskopie. Během každého průchodu Ramseyho dutinou je aplikován mikrovlnný impuls. Frekvence tohoto impulsu je nastavena tak, aby výsledná pravděpodobnost přechodu byla přibližně 50 %. V každém cyklu fontány, který se skládá z fáze plnění, fáze vypuštění, Ramseyho interrogace, detekce a balistických letů mezi jednotlivými fázemi, je obráceno znaménko rozladění mikrovlnné frekvence, takže je vzorkována levá i pravá strana symetrické struktury pravděpodobnosti přechodu. Skutečná přechodová frekvence je poté dána průměrem dvou řízených frekvencí nastavených pro 50% pravděpodobnost přechodu. Po dokončení měření, přibližně po 1,2 sekundách, cyklus začíná znovu a pokračuje 24 hodin denně.

Vývoj hodin

Cesiové fontánové hodiny vyžadují pečlivé řízení laserů. To bylo původně realizováno pomocí vlastních analogových obvodů vyvinutých předchozí generací inženýrů a vědců PTB. Dlouhodobá údržba takto komplexního systému je stále obtížnější. Stejně jako samotný experiment se proto musí vyvíjet i podpůrná elektronika, což vedlo Dr. Rahma k průzkumu možností nahrazení analogového systému digitální alternativou. Jeho výzkum vedl k integraci AWG (Arbitrary Waveform Generator) karet ve formátu PXIe od společnosti Spectrum Instrumentation. Tyto karty generují RF frekvence potřebné k manipulaci s frekvencemi laserů pro chlazení, vypuštění a detekci atomů pomocí akustooptických modulátorů.



Dr. Johannes Rahm kontroluje cesiové fontánové hodiny, které pracují nepřetržitě 24 hodin denně. (Foto: PTB)

Rychlá reakce podpory Spectrum

Během implementace se však objevila výzva. Ačkoli AWG karty M4x.6622-x4 velmi dobře splňovaly požadavky na přesnost, žádný z dostupných režimů generování signálu neodpovídal speciálním požadavkům potřebným v PTB. Pro efektivní návrh cyklu cesiových fontánových hodin potřebuje každý laser specifickou sadu průběhů v konkrétním okamžiku cyklu. Dr. Rahm kontaktoval podporu společnosti

Spectrum Instrumentation, kterou přímo zajišťují designoví inženýři. Během pouhých dvou dnů vyvinuli softwaroví inženýři novou funkci nazvanou "Sequence Restart Mode". Testy Dr. Rahma byly úspěšné a nový režim funguje přesně podle jeho představ.



Karta generátoru libovolných průběhů Spectrum M4x.6622 ve formátu PXIe. (Foto: Spectrum)

Mezitím společnost Spectrum Instrumentation vydala Sequence Restart Mode jako bezplatnou aktualizaci pro všechny AWG řady 65xx a 66xx. Nový režim lze snadno aktivovat instalací nejnovějších ovladačů.

O společnosti Spectrum Instrumentation

Společnost Spectrum Instrumentation, založená v roce 1989, využívá jedinečnou modulární koncepci a navrhuje a vyrábí širokou škálu více než 200 digitizérů a generátorů signálů v podobě PC karet (PCIe a PXIe) a samostatných ethernetových jednotek (LXI). Za více než 35 let si společnost Spectrum Instrumentation získala zákazníky po celém světě, včetně mnoha předních průmyslových firem a téměř všech prestižních univerzit. Společnost sídlí nedaleko Hamburku v Německu a je známá svou pětiletou zárukou a vynikající podporou, která pochází přímo od konstruktérů. Další informace o společnosti Spectrum najdete na adrese 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/>