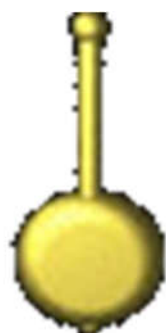


Merjenje in diseminacija časa

- Čas merimo z urami. Kako točna je ura, pa je odvisno od konstrukcije in izdelave.
- Da zgreši eno sekundo potrebuje ura s kvarčnim kristalom 30 let, rubidijeva ura 30 000 let, cezijeva 300 000 let in hidrogenski maser 30 milijonov let.
- Nestabilnost dolžine sr. s. dne je $1,5 \times 10^{-9}$, kar pomeni, da bi se ura, ki bi štela čas na podlagi vrtenja Zemlje, lahko zmotila za sekundo že v 10 tisoč letih.
- Napredek, ki ga je dosegla sodobna tehnologija v merjenju in vzdrževanju časa kaže tabela desno.

stabilnost s/dan	Konstrukcija
10 ps	hidrogenski maser
100 ps	cezijeva ura
1 ns	rubidijeva ura
10 ns	prva atomska ura
1 μ s	kvarčna (kremenova) ura
--	--
1 ms	najbolj stabilna nihalna ura (Short 1921)
1-2 ms	spremenbe rotacije Zemlje
0,01 s	ura z nihalom (S. Reifler, 1889)
--	--
0,2 s	kronometer (J.Harrison 1761)
1 s	G. Graham 1721
100 s	C. Hyugens (prva nihalna ura, 1657)

Kaj je ura?



+



=



Oscilator

+

števec

=

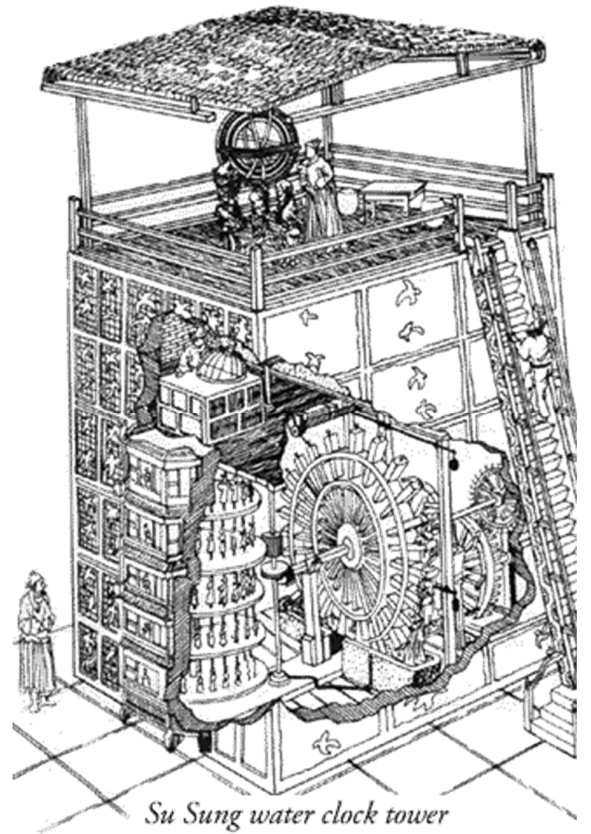
ura

Oscilator je vsak sistem, ki je sposoben mehničnega ali električnega nihanja.

Vodne ure



Early water clock

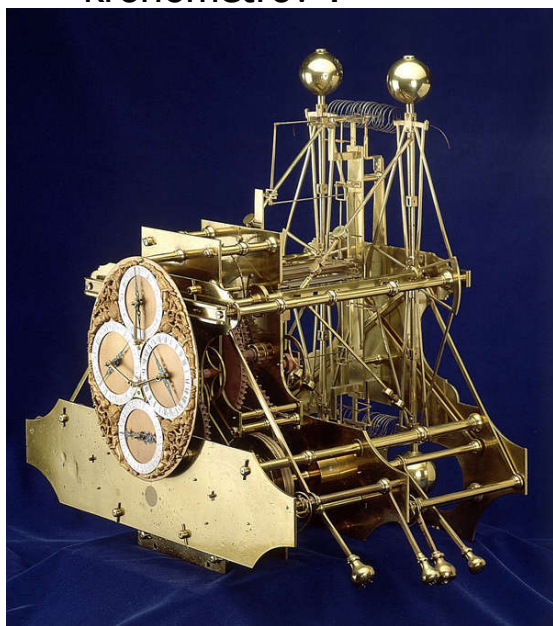


Su Sung water clock tower



Kronometri

- Natančnost določitve geografskih koordinat se je zvišala s konstrukcijo "kronometrov".



H1, 1732 (ura Johna Harrisona)



kronometer, 1800



H4, 1759

5

Kvaliteta ure (1)

- Kako kvalitetna je neka ura je odvisno od štirih dejavnikov:
 - točnosti frekvence ("frequency rate"),
 - stabilnosti frekvence,
 - časovne točnosti,
 - časovne stabilnosti.
- Dejavniki niso medsebojno neodvisni. S **točnostjo urine frekvence** ("rate", tempo oscilacij) ocenjujejo njeno sposobnost, da realizira dolžino sekunde, kot je definirana. Je neka vrsta relativne napake oz. razmerje med napako meritve in merjenim časom. Primer:
 - cilj Harrisonovih kronometrov je bil, da se zmotijo manj kot 3 s v enem dnevu, torej $3/86400 = 3,5 \times 10^{-5}$.
 - Najbolj točne ure danes (primarni standardi časa) imajo točnost frekvence 1×10^{-15} .

Kvaliteta ure (2)

- Stabilnost frekvence je njena sprememba od enega časovnega obdobja do drugega oz. stabilnost meri enakost trajanja zaporednih oscilacij ure.
- Dobra stabilnost ure še ne pomeni točnosti na dolgi rok, saj se lahko nihaji ure res razlikujejo le za malenkost (dobra stabilnost), a če se njihovo malenkostno spreminjanje akumulira, lahko povzroči odstopanje od točnosti.
- Časovna točnost pomeni kao dobro se ura ujema z UTC časom. Primer:
 - sistemi v katerih deluje več različnih ur in vse naj bi kazale čim bolj konsistenten čas (UTC),
 - sistem GPS, kjer se ure nahajajo in na satelitih in v kontrolnih oz. sledilnih postajah.

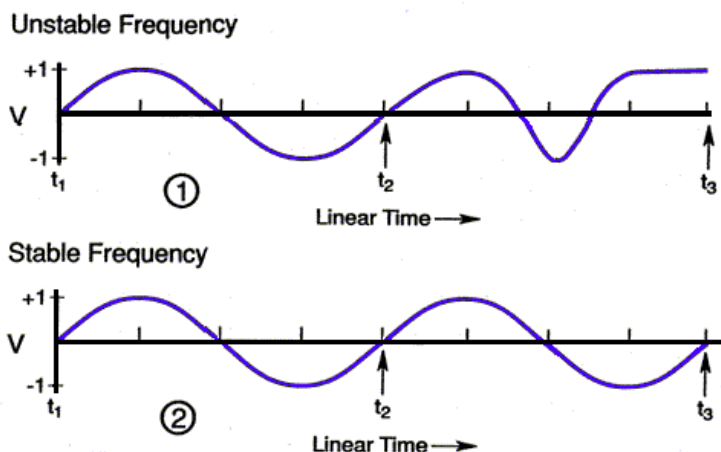
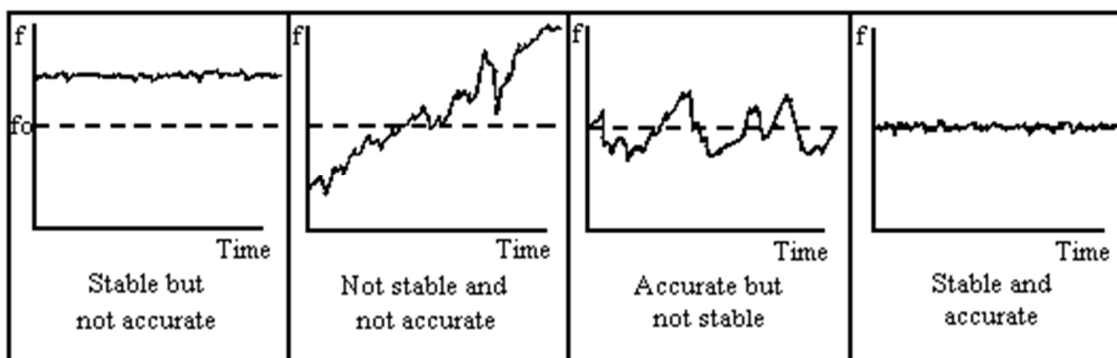


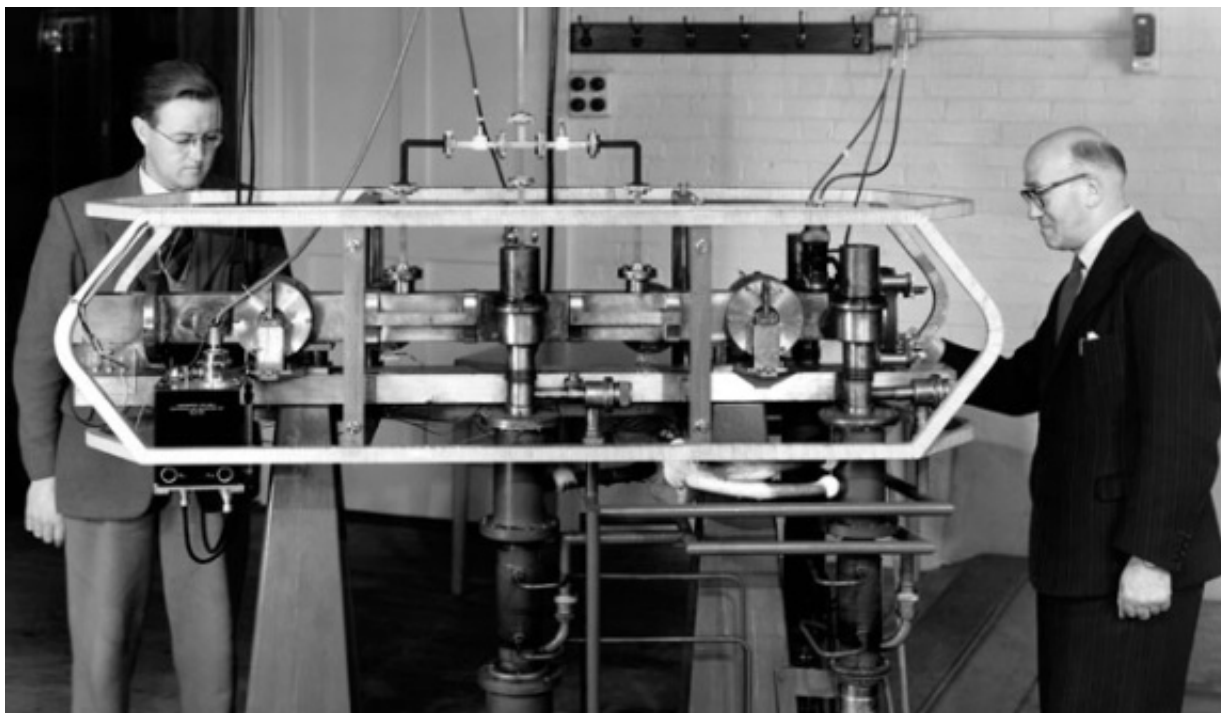
Figure 1.3

Kvaliteta ure (3)

- Časovna stabilnost: v neposredni zvezi s stabilnostjo frekvence. Vzemimo na primer uro, ki zamuja (ali prehiteva) sekundo na dan, in tako vsak dan. Njena časovna točnost upada z dneva v dan, vendar je njena frekvenčna stabilnost velika in posledično tudi časovna stabilnost saj je možno točno predicerati (napovedati) njen čas v bodočnosti.



Prva atomska ura (1955)



Atomska ura (1975)



(HP, Agilent, Symmetricon, Microsemi) 5071A

- točnost frekvence: 1×10^{-13} ;
- stabilnost: 1×10^{-14} ;

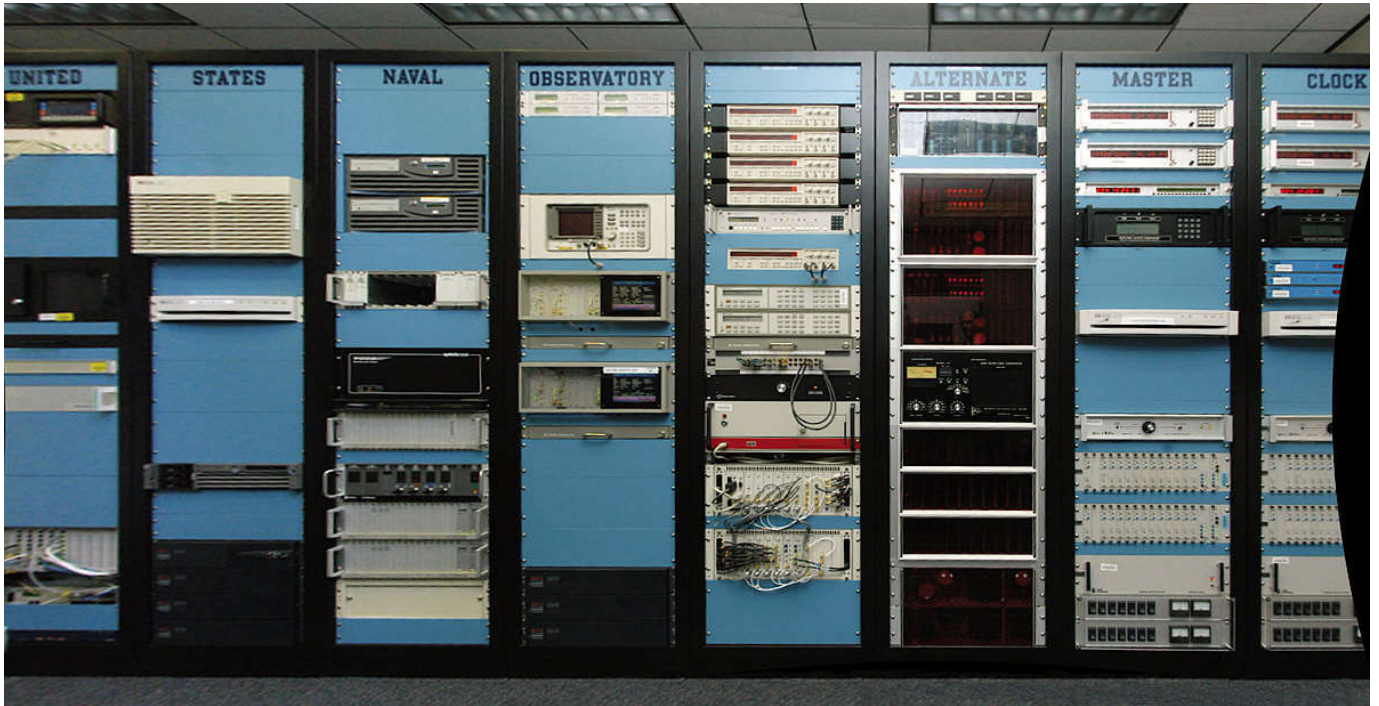


HP razvil leta 1997.



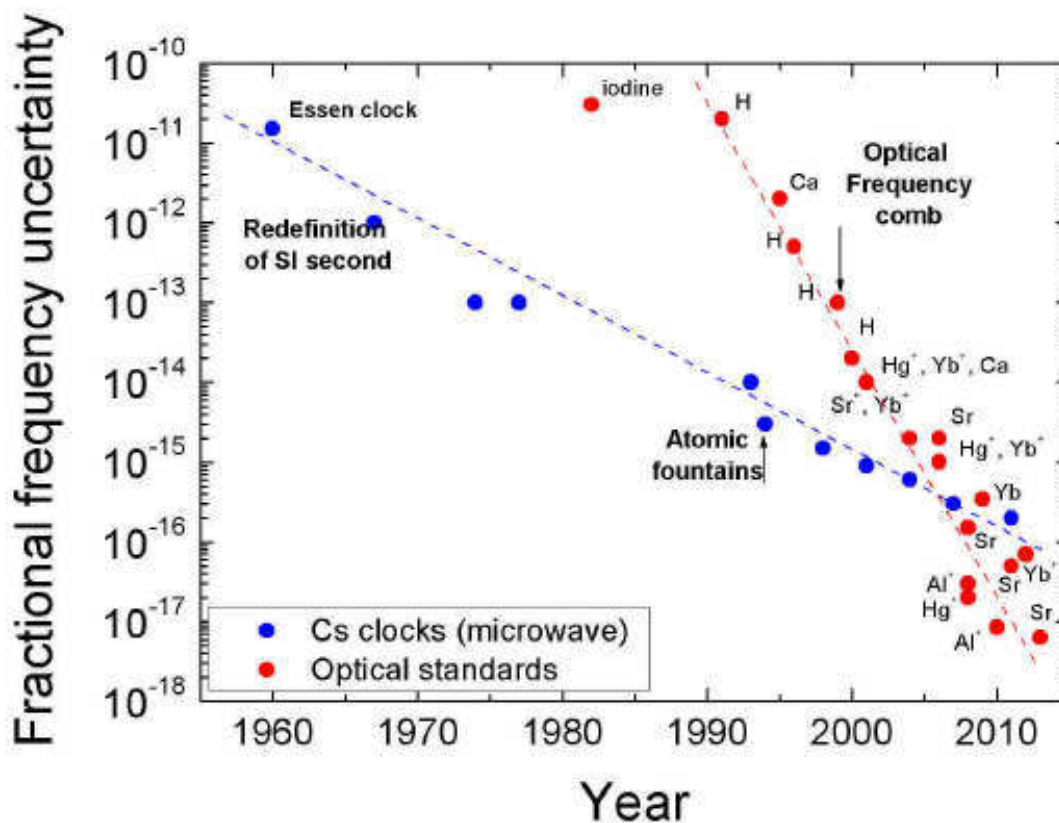
Atomska ura s prestopno sekundo na zaslону

USNO (Master clock)



USNO "US Naval Observatory, Master clock - približno 50 cezijevih atomskih ur

Razvoj točnosti frekvence atomskih ur



Princip delovanja atomskih ur

- [How an atomic clock works,](https://www.youtube.com/watch?v=p2BxAu6WZI8)
<https://www.youtube.com/watch?v=p2BxAu6WZI8>
- [Franziska Riedel erklärt, wie eine Atomuhr funktioniert,](#)
- [How a quartz clock works,](https://www.youtube.com/watch?v=1pM6uD8nePo)
<https://www.youtube.com/watch?v=1pM6uD8nePo>

Modern Applications of Time & Frequency

- Telecom Service
- Networks
- Cable Operators
- Government / Aerospace & Defense
- Enterprise IT
- High Frequency Trading
- Broadcast Infrastructure
- Underwater Exploration and Navigation
- Energy / Utilities
- RFID
- Intelligent Transportation Systems
- Industrial Processes
- Air Traffic Control
- Spacecraft Navigation
- Scientific Research & Development



Diseminacija časa

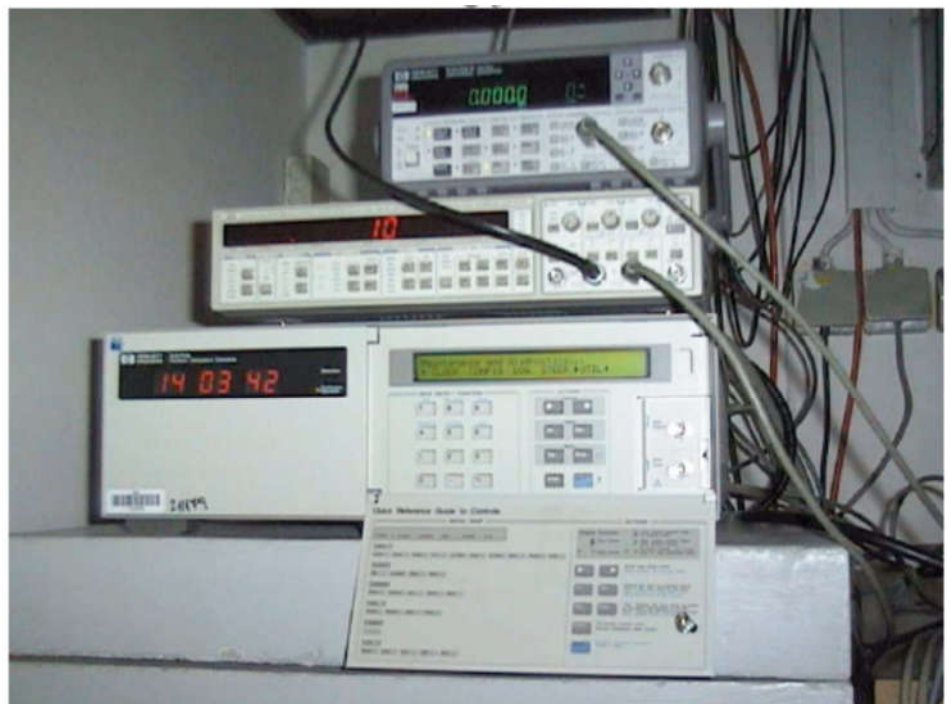
- Sredstva za diseminacijo časa (frekvence):
 - radijski valovi,
 - telefonske (internet) povezave,
 - sistemi za radio navigacijo (LORAN-C);
 - sistemi GNSS.

Pregled metod prenosa časa in frekvence			
Signal (veza)	Sprejemna oprema	Negotovost časa (24 h)	Negotovost frekvence (24 h)
klicni dostop	PC (program, modem, tlf. linija)	< 15 ms	ni priporočljivo za frekv.
Internet časovni servis	PC (program, Internet povezava)	< 1 s	ni priporočljivo za frekv.
HF radio (3 - 30 MHz)	HF sprejemnik in antena	1 do 20 ms	10^{-6} - 10^{-9}
LF radio (30 - 300 kHz)	LF sprejemnik in antena	1 - 100 μ s	10^{-10} - 10^{-12}
GPS	sprejemnik GPS in antena	< 20 ns	< 2×10^{-13}

Slovenski etalon frekvence in časa

Nosilec nacionalnega etalona za čas je SIQ – Slovenski institut za kakovost in meroslovje.

Enota sekunde v Sloveniji je realizirana s pomočjo enega komercialnega frekvenčnega etalona proizvajalca HP 5071A.



Slika 1: Nacionalni etalon frekvence in časa