

MERENJE FREKVENCIJE I DUGOTRAJNE STABILNOSTI OSCILATORA KORIŠĆENJEM GPS PRIJEMNIKA

Zoran Zindović, Ivica Milanović, Predrag Rakonjac, Tehnički opitni centar, Beograd

Sadržaj – U radu je opisana metoda merenja frekvencije i dugotrajne stabilnosti oscilatora korišćenjem GPS prijemnika AOA TTR-6 i dati rezultati merenja za temperaturno stabilisan kvarcni oscilator. Ova metoda je realizovana 2005. godine za potrebe etaloniranja najkvalitetnijih etalona kao što su cezijumski i rubidijumski oscilatori.

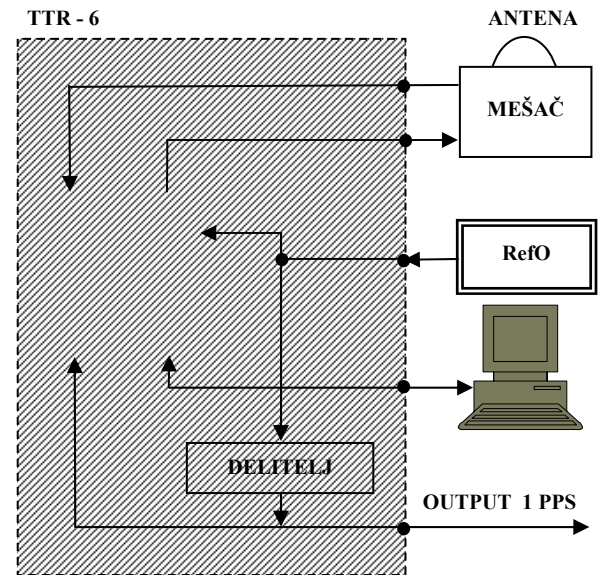
1. UVOD

GPS (*Global Positioning System*) je najpoznatiji i potpuno operativan sistem za navigaciju. Čine ga svemirski i kontrolni segment. Svemirski segment sastoji se od najmanje 24 aktivna satelita raspoređena u 6 orbita na visini od 20200 km. Trenutno se u orbiti nalazi III generacija satelita iz serije Blok II, čiji je prvi satelit lansiran u februaru 1998, a poslednji u novembru 2004. godine. Svaki satelit sadrži najmanje 3 rubidijumska ili cezijumska oscilatora. Kontrolni segment čini 5 monitorskih zemaljskih stanica, od kojih je jedna glavna. Kompletan sistem je u upravnom smislu pod kontrolom ministarstva odbrane SAD, a u tehničkom smislu pod kontrolom mornaričke opservatorije (USNO). Razlika između koordinisanog svetskog vremena UTC (USNO) i UTC (NIST) se održava unutar 100 ns, a frekvenzijski pomak unutar 1×10^{-13} [1]. GPS je prevashodno namenjen za određivanje pozicije u geografskom sistemu WGS-84 ali činjenica da iznad vas lete etaloni frekvencije i vremena i da signal sekunde iz etalona možete “uhvatiti” sa odgovarajućim prijemnikom, daje mogućnost korišćenja istih za veoma tačna merenja frekvencije referentnog oscilatora (**RefO**). Ovaj jedinstveni slučaj u metrologiji omogućava i neprekidnu i vrlo preciznu komparaciju etalona frekvencije i vremena, ma gde se oni nalazili na zemljinoj kugli.

2. KARAKTERISTIKE MERNOG MESTA

Osnovni element mernog mesta je prijemnik TTR-6 proizvodnje Allen Osborne (SAD). Prijemnik radi na frekvenciji L1 (1575.42 MHz) u C/A modu. Signal iz merenog odnosno RefO oscilatora (nazivne frekvencije: 5 MHz) dovodi se na ulaz prijemnika. Prijemnik sadrži delitelj frekvencije koji iz RefO signala generiše signal RefO sekunde. Merač intervala vremena (**MIV**, rezolucija: 100 ps), koji je sastavni deo prijemnika, svake sekunde meri razliku između GPS sekunde detektovane iz GPS signala satelita koji se prati i RefO sekunde. Vreme praćenja pojedinih satelita može varirati od 4-39 min. Kada se praćenje završi prijemnik linearno fituje podatke i čuva podatke o srednjoj razlici RefO-GPS, strmini fitovane krive i RMS vrednost odstupanja podataka od fitovane krive. Izmereni podaci prema BIPM protokolu čuvaju se u memoriji (150 linija max.) i mogu se štampati ili očitati na PC-u preko RS 232 ili GPIB 488 interfejsa [2].

S obzirom na konstrukciju GPS prijemnika TTR-6, za određivanje razlike frekvencija između dva oscilatora, koristi se metoda koja se zasniva na merenju fazne razlike između dva signala sekunde [3]. Blok šema mernog mesta data je na slici 1.



Slika 1. Blok šema mernog mesta

Srednja razlika između frekvencija RefO i GPS oscilatora (Δf) jednaka je:

$$\Delta f = -\frac{\Delta t}{\tau} \cdot f \quad (1)$$

gde je:

Δt - razlika usrednjenih faznih razlika između RefO i GPS signala sekunde,

τ - period usrednjavanja,

f - nominalna frekvencija oscilatora (5 MHz).

Kako je sam GPS signal, kao i signal koji se meri, “kontaminiran” šumovima, to je u zavisnosti od zadate nesigurnosti merenja potrebno odrediti period usrednjavanja. Obzirom da prijemnik ne može usrednjavati u dužem periodu od 39 min i da je pri merenju potrebno čuvati i računski i grafički obraditi relativno veliki broj podataka, to je prijemnik povezan sa PC-em preko RS232 interfejsa i urađen program za obradu i grafičku prezentaciju podataka. Za obradu podataka koriste se Microsoft Excel i softverski paket AlaVar 5.0 koji je namenjen za izračunavanje stabilnosti oscilatora. Merno mesto prikuplja, čuva i sortira 18 podataka koji se dobijaju nakon svakog završenog praćenja satelita (*track history*) od kojih su za analizu frekvencije i stabilnosti najbitniji: vreme praćenja satelita i fazna razlika. Na osnovu ovih podataka iz jednačine (1) izračunavaju se srednje razlike između frekvencija RefO i GPS oscilatora.

Rezultati se prikazuju numerički i grafički što je neophodno za kvalitetnu analizu dobijenih podataka. Programski paket AlaVar 5.0 daje podatke o srednjoj relativnoj razlici frekvencija, gustini spektralne snage signala relativne razlike frekvencija (FFT analiza), određuje vrstu šuma (5 vrsta), izračunava stabilnost oscilatora i grafički prikazuje sledeće 4 standardne devijacije:

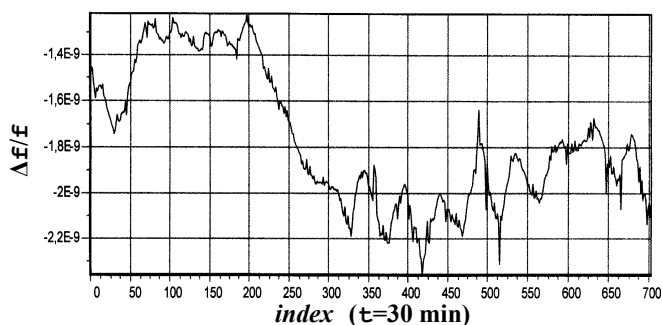
1. $\sigma(\tau)$ -Overlapping ALLAN STD DEV.
2. **Mod** $\sigma(\tau)$ -Modified ALLAN STD DEV.
3. **T** $\sigma(\tau)$ -Allan Time STD DEV.
4. **H** $\sigma(\tau)$ - Overlapping HADAMARD STD DEV.

Za $\sigma(\tau)$ se izračunavaju gornja i donja granica za unapred određen nivo poverenja.

Dominantan uticaj na nesigurnost etaloniranja imaju šumovi, odnosno stabilnost GPS i RefO signala i rezolucija merenja fazne razlike (100 ps). Stabilnost GPS prijemnika se kreće u granicama od 1×10^{-9} za $\tau = 1$ s do 1×10^{-13} za $\tau = 24$ h, i dostiže red veličine 10^{-14} za $\tau > 10^5$ s, što znači da se merno mesto, kada je vreme usrednjavanja $\tau > 24$ h, može koristiti za merenje frekvencije i stabilnosti i najkvalitetnijih oscilatora kakvi su cezijumski etaloni. [4]

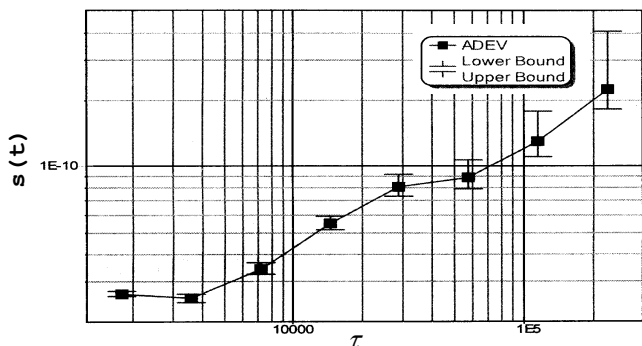
3. REZULTATI

U ovom radu je dat grafički primer rezultata merenja za temperaturno stabilisan kvarcni oscilator koji je sastavni deo cezijumskog etalona HP 5061A. Na slici 2. data je relativna promena frekvencije sa vremenom, za $\tau = 30$ min i period praćenja od 15 dana (srednja greška frekvencije: -1.76×10^{-9} standardna devijacija: 2.98×10^{-10}).



Slika 2. Promena frekvencije sa vremenom

Stabilnost oscilatora, odnosno $\sigma(\tau)$ dato je u tabeli 1 i na sl. 3 sa ucrtanim gornjim i donjim granicama, za nivo poverenja od 68.3 %.

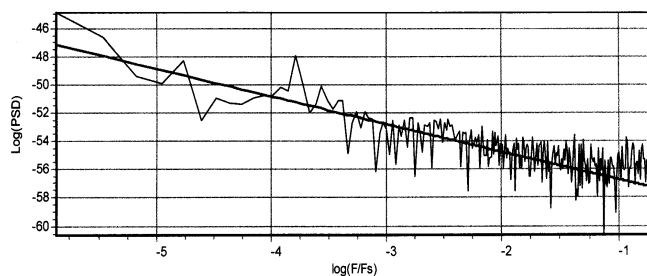


Slika 3. Stabilnost oscilatora (vremenski domen)

Tabela 1. Stabilnost oscilatora

τ [s]	ADEV	ADEV min	ADEV max
1800	2.64×10^{-11}	2.58×10^{-11}	2.72×10^{-11}
3600	2.54×10^{-11}	2.45×10^{-11}	2.64×10^{-11}
7200	3.45×10^{-11}	3.28×10^{-11}	3.66×10^{-11}
14400	5.47×10^{-11}	5.10×10^{-11}	5.94×10^{-11}
28800	8.10×10^{-11}	7.34×10^{-11}	9.17×10^{-11}
57600	8.88×10^{-11}	7.74×10^{-11}	1.07×10^{-10}
115200	1.30×10^{-10}	1.08×10^{-10}	1.79×10^{-10}

Na slici 4. prikazana je spektralna gustina signala promene frekvencije za $F_s = 5.6 \times 10^4$ Hz. (strmina krive je -2 što ukazuje da signal promene frekvencije oscilatora ima karakteristike *Random Walk FM* šuma).



Slika 4. Stabilnost oscilatora (frekvencijski domen)

4. ZAKLJUČAK

Realizovana metoda omogućava potpuno automatizovano etaloniranje najkvalitetnijih oscilatora. Mogućnosti kao što su precizno merenje frekvencije i dugotrajne stabilnosti i velike mogućnosti u pogledu čuvanja i obrade podataka omogućavaju eksperimentalni i istraživački rad u oblasti metrologije frekvencije i vremena. S obzirom da je TTR-6 *common view* prijemnik, to se realizacijom metode stvaraju mogućnosti povezivanja i obezbeđivanja sledljivosti sa nekom od razvijenijih nacionalnih metroloških laboratorija iz Evrope, odnosno smanjenje merne nesigurnosti pri merenju frekvencije i vremena.

LITERATURA

- [1] "GPS system description", *United States Naval Observatory*, August 2005.
- [2] "TTR-6 GPS Time Transfer Receivers Operation Manual", *AOA*, February 1997.
- [3] "NIST frequency measurement and analysis system (Appendix A)", *Operator's Manual*, NIST, August 4] M.A. Lombardi, L.M. Nelson, A.N. Noick, V.S. Zhang "Time and frequency measurements using the GPS", *Cal Lab*, August 2001. god.

Abstract - This work describes method for measuring frequency and long term stability of the oscillators using GPS receiver AOA TTR-6. This method has been realizing since 2005 for calibration the high precision oscillators, such as cesium and rubidium oscillators. Experimental results for oven controlled crystal oscillators (OCXO) are presented.

MEASUREMENT FREQUENCY AND LONG TERM STABILITY OF THE OSCILLATORS USING GPS RECEIVER

Zoran Zindović, Ivica Milanović, Predrag Rakonjac