

Evaluacija funkcije gustine raspodele generatora pseudoslučajnog napona

Dorđe Novaković, Dragan Pejić, Stefan Mirković, Jelena Đorđević-Kozarov,
Marjan Urekar, Marina Bulat

Apstrakt— U ovom radu prikazan je sistem za evaluaciju generatora pseudoslučajnog napona, kako bi se poboljšala SAADK 2G metoda merenja pomoću dva generatora šuma. Poboljšanje se ogleda u određivanju funkcija gustine verovatnoće i funkcije raspodele verovatnoće. U radu će biti opisan način izvedbe, kao i princip funkcionisanja uređaja za evaluaciju funkcije gustine verovatnoće. Na kraju rada dato je poređenje razvijenih generatora sa pseudoslučajnim generatorom brojeva na računaru.

Ključne reči—funkcija gustine verovatnoće; funkcija raspodele verovatnoće; SAADK 2G; generator pseudoslučajnog šuma

I. UVOD

Razvoj stohastičke adicione analogno-digitalne konverzije sa dva generatora (SAADK 2G) je započeo sredinom 90-ih godina prošlog veka [1] na Katedri za električna merenja Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu. Neobična pojava kod ove metode je primena fleš analogno-digitalnih (AD) konvertora vrlo male rezolucije koji na svom izlazu imaju svega tri moguće vrednosti: -1, 0 i +1. Ovi AD konvertori su okarakterisani kao dvobitni, iako bi možda bilo ispravnije njihovu rezoluciju saopštiti kao $\log_2 3 \approx 1,6$ bita. Ovako niska rezolucija nosi sa sobom veliku grešku kvantizacije, ali olakšava realizaciju digitalnih elemenata koji slede u SAADK 2G: množača i akumulatora. Množač je realizovan kao jednostavna kombinaciona mreža sa svega desetak logičkih kola, dok je akumulator realizovan kao *up-down* brojač. Druga neobična pojava u vezi sa SAADK 2G je primena ditera - šuma uniformne raspodele vrednosti. Usrednjavanjem velikog broja rezultata merenja u prisustvu ditera (*oversampling*), dobija se efekat povećanja rezolucije, odnosno smanjenja kvantizacione greške. Pokazuje se da se

preciznost rezultata na izlazu SAADK 2G povećava sa korenom iz broja merenja [2]. U međuvremenu je analizirana primena fleš AD konvertora veće rezolucije, što po ceni povećanja složenosti hardvera daje smanjenje broja merenja za postizanje istih metroloških performansi [3]. Problem naponskog ofseta brzih komparatora (koji sačinjavaju fleš AD konvertor) je prepoznat kao ograničavajući faktor u daljem razvoju i uspešno je rešen metodom periodične zamene ulaznih krajeva komparatora [4]. Prostor za dalje unapređenje SAADK 2G metode jeste u nalaženju što kvalitetnijih generatora ditera. Razvijen matematički model pretpostavlja postojanje dva međusobno statistički nezavisna deterska signala uniformne raspodele vrednosti u tačno definisanom opsegu. Pod ovim uslovima su izvedeni izrazi koji daju granice greške u zavisnosti od broja merenja u posmatranom intervalu merenja. Usled neidealnosti deterskih signala, bilo u pogledu odstupanja od očekivane uniformnosti ili međusobne nekorelisanosti, u praktičnim realizacijama dobijamo grešku veću od one koju predviđa matematički model.

Ovaj rad prikazuje jedno rešenje sistema koji je namenjen za utvrđivanje statističkih osobina ditera radi poređenja realizovanih izvora ditera. U nedostatku opreme, autori su bili prinuđeni da se dovijaju i da raznim metodama određuju bitne parametre deterskih signala, te da na osnovu njih vrše izbor optimalnog generatora ditera.

II. POSTAVKA PROBLEMA

Po načinu generisanja ditere možemo podeliti na pseudoslučajne i istinski slučajne. Pseudoslučajni se generišu po nekom algoritmu, ustvari su u potpunosti deterministički, njihova sekvenca je konačna, nakon čega se u potpunosti ponavljaju. Sekvence mogu biti vrlo dugačke, a način smenjivanja vrednosti naizgled slučajan, pa se zato nazivaju pseudoslučajne sekvence. Zbog poznavanja algoritma generisanja, ponašanje pseudoslučajnih izvora se u potpunosti može ispitati primenom simulacija.

Istinski slučajni dileri su bazirani na nekom prirodnom fenomenu (termički šum, lavinski proboj inverzno polarisanog pn spoja, itd.). Istinski dileri nisu predvidivi i nije poznat način koji dovoljno dobro simulira njihovo ponašanje, a da pri tome može realno da oceni bitne statističke osobine izvora.

Bez obzira na način generisanja, dileri mogu biti kontinualni ili diskretni po vrednostima i po vremenu. Ukoliko diter može da poprimi svaku vrednost u nekom opsegu, onda je kontinualan po vrednosti; diskretan je po vrednosti ako može da poprimi samo konačan broj vrednosti u posmatranom opsegu. Vrednost ditera kontinualnih po vremenu se menja u

Dorđe Novaković – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: djordjenovakovic@uns.ac.rs).

Dragan Pejić – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: pejicdra@uns.ac.rs).

Stefan Mirković – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: mirkovicst@uns.ac.rs).

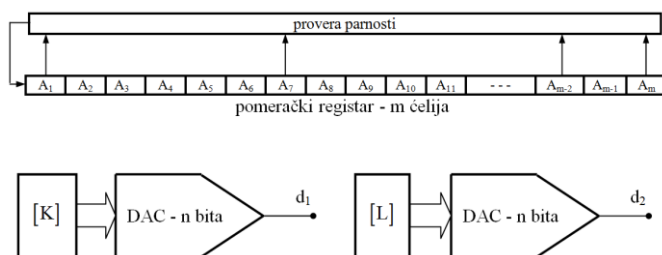
Jelena Đorđević-Kozarov – Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: JelenaDjordjevic-Kozarov@elfak.ni.ac.rs).

Marjan Urekar – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: urekarm@uns.ac.rs).

Marina Bulat – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: marina.bulat@uns.ac.rs).

svakom trenutku. Diteri čije je generisanje upravljano taktom su diskretni po vremenu. Kod ditera diskretnih po vremenu nas zanimaju samo vrednosti ditera u trenucima aktivnih ivica takta, pošto se između susednih aktivnih ivica takta dešavaju prelazne pojave.

Do sada su diteri za SAADK 2G generisani pseudoslučajnim postupkom na bazi LFSR (Linear Feedback Shift Register) registra i digitalno-analognog (DA) konvertora [5], slika 1. Prednosti ovog načina generisanja ditera su laka hardverska izvodivost i mogućnost ispitivanja osobina generatora primenom simulacija. Ovako generisani diteri imaju konačan broj mogućih vrednosti koji je ograničen rezolucijom, odnosno brojem mogućih stanja DA konvertora, pa se kaže da su diskretni po amplitudi. Takođe su diskretni i po vremenu: zbog vremena postavljanja DA konvertora čime je definisano najkraće trajanje takta. Zgodna stvar je što se iz jednog LFSR-a mogu dobiti dva deterska signala. Od raspoloživih m bita iz pomeračkog registra, potrebno je na odgovarajući način odabrati dva vektora K i L , dužine n bita, koje potom dovodimo na ulaze dva DA konvertora. Teorija tvrdi da svaki od m bita u pomeračkom registru ima verovatnoću pojave jedinice 50 % i da će vektori K i L imati uniformnu raspodelu vrednosti. Na izlazu oba DA konvertora takođe očekujemo napone sa uniformnim raspodelama vrednosti. Od načina izbora vektora K i L će zavisiti međusobna korelisanost d_1 i d_2 .



Sl. 1. Blok šema principa rada pseudoslučajnog generatora šuma

Odnedavno se autori zanimaju mogućnošću realizacije istinskih generatora ditera. Problem je što u tom slučaju nije moguće simulacionim putem odrediti osobine generatora i na taj način vršiti poređenje raznih rešenja. Neophodno je biti u stanju merenjem ustanoviti bitne karakteristike ditera i na taj način imati kriterijum za odabir boljeg generatora.

Zadatak ovog rada je: a) realizacija sistema kojim može da se utvrdi uniformnost raspodele dva deterska signala, kao i njihovu međukorelisanost i b) ispitivanje realizovanog sistema na pseudoslučajnim generatorima čije su osobine dobro poznate ili se mogu ispitati simulacionim putem. Ukoliko se pokaže da predloženi sistem dobro radi, dalje bi bio korišćen za ispitivanje istinski slučajnih generatora ditera.

III. HARDVER I FIRMVER UREĐAJA

U nekim sferama nauke neophodno je proizvesti šum određenih karakteristika. Šum predstavlja slučajnu promenljivu, pa se samim tim može odrediti i njegova funkcija gustine verovatnoće. Zbog problema u implementaciji u ovom radu realizovan je sistem za snimanje funkcije raspodele verovatnoće, čijim se diferenciranjem

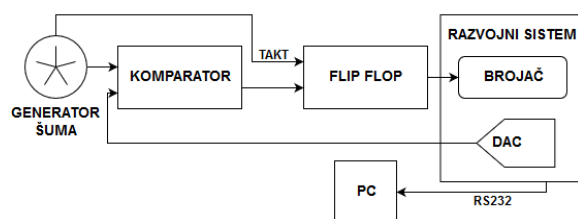
dobija podatak o funkciji gustine verovatnoće slučajne promenljive. Definicija funkcije raspodele verovatnoće data je jednačinom 1.

$$F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt \quad (1)$$

Drugim rečima, funkcija raspodele verovatnoće predstavlja verovatnoću da će se slučajna promenljiva naći ispod određene vrednosti x , u daljem tekstu će se koristiti termin prag.

Ideja realizacije celokupnog sistema, proizilazi iz želje da se proverí da li već razvijeni generator pseudoslučajnog napona ima uniformnu funkciju gustine raspodele. Snimanjem signala dobija se funkcija raspodele verovatnoće, a zatim se njenim diferenciranjem dobija funkcija gustine raspodele verovatnoće, pa se na taj način može odrediti po kojoj raspodeli se vrši generisanje signala.

Hardverska implementacija sistema za evaluaciju funkcije gusitne verovatnoće prikazana je blok šemom na slici 2.

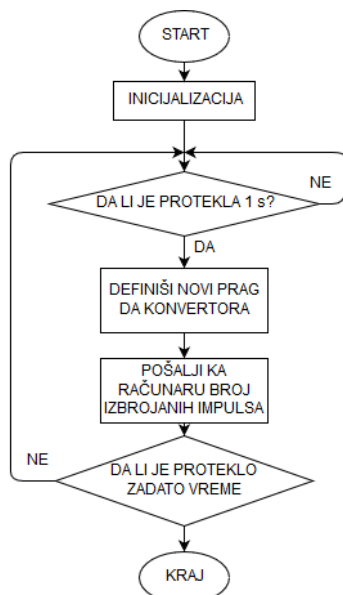


Sl. 2. Blok šema uređaja za snimanje funkcije raspodele verovatnoće

Način realizacije uređaja se zasniva na definiciji funkcije raspodele verovatnoće, gde se postavljanjem praga prati koliko je puta napon bio niži od tog praga. Svaka promena napona generisaće ili visok naponski nivo ako je napon generatora iznad praga, ili nizak naponski nivo u slučaju da je napon generatora niži u odnosu na prag. Za određivanje da li se napon nalazi iznad ili ispod praga korišćen je naponski komparator LM311.

Nakon komparatora neophodno je dodati D flip flop, kojem je doveden takt direktno sa generatora šuma. Generator šuma na svom izlazu prosleđuje signale diskretno po vremenu, pa da bi se izvršila sinhronizacija rada neophodno je dovesti takt sa generatora šuma komparatora. Ovakav digitalni signal je dalje pogodan za dovođenje na mikrokontroler.

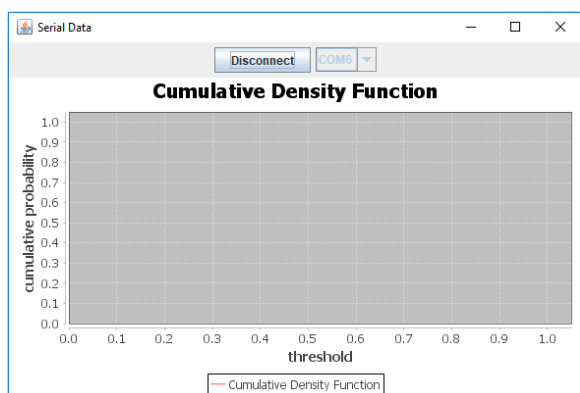
Signal se dovodi na pin mikrokontrolera sa mogućnošću generisanja spoljašnjeg prekida. Uloga mikrokontrolera je da broji uzlazne ivice ekstraktovanog signala, kao i postavljanje praga pomoću DA konvertora. Korišćeni mikrokontroler je PIC18F8520, dok je MCP4921 dvanaestobitni DA konvertor. Korišćeni MCP4921 DA konvertor za komunikaciju koristi SPI protokol, a takođe ga odlikuju brzo podešavanje izlaza za 4,5 μ s, greška reda 2 LSB (2,45 mV). Takođe, mikrokontroler šalje podatke ka računaru posredstvom RS232 modula. Kao test ploča korišćen je razvojni sistem BigPIC5 koji sadrži integrisan DA konvertor, RS232 modul sa čipom MAX232, kao i mogućnost programiranja PIC18F8520 mikrokontrolera. Algoritam firmvera mikrokontrolera dat je na slici 3.



Sl. 3. Algoritam rada firmvera mikrokontrolera

U inicijalizaciji se vrši prilagođenje komunikacionih modula (RS232 modula za komunikaciju sa računarom i SPI modula za komunikaciju sa DA konvertorom), kao i omogućavanje dve vrste prekida. Prvi prekid se definiše kao vremenski i javlja se nakon određenog broja sekundi, dok se druga prekidna rutina koristi za brojanje dobijenih impulsa. Nakon toga se ulazi u beskonačnu petlju gde mikrokontroler čeka na signal da je proteklo zadati broj sekundi, a taj signal će joj biti prosleđen iz prve prekidne rutine. Kada se generiše signal, izvršava se očitavanje izbrojanih impulsa u drugoj prekidnoj rutini skladištenih u brojačkom registru, a zatim se ti podaci konvertuju u string i prosleđuju računaru. Takođe se DA konvertoru prosleđuje vrednost da podigne prag na odgovarajuću vrednost. Kraj izvršavanja programa je definisan u samom firmveru i definisan je na određeni broj sekundi tj. na odgovarajući broj pragova.

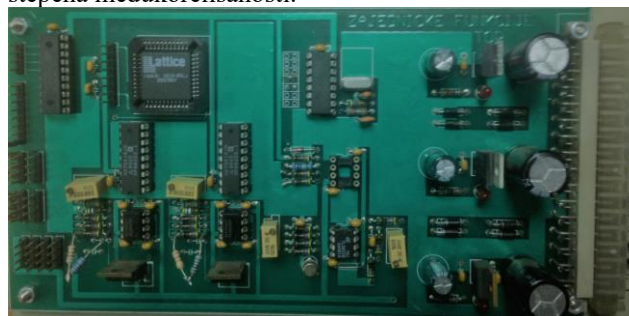
Softver koji ima ulogu da prima, prikazuje i skladišti podatke razvijen je u programskom jeziku Java. Prikaz podataka se vrši u realnom vremenu na graficima, a paralelno se vrši i skladištenje podataka u fajl. Snimljeni fajlovi se čuvaju u .csv formatu, čime je olakšana manipulacija nad podacima. Izgled GUI aplikacije dat je na slici 4.



Sl. 4. Izgled softverske aplikacije

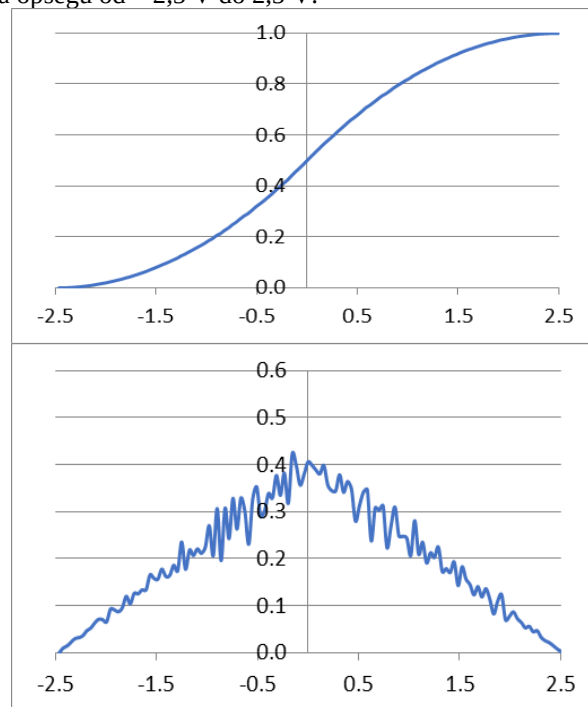
IV. REZULTATI

Prikaz korišćenog pseudoslučajnog generatora napona dat je na slici 5. Osnovni elementi su programabilni logički čip u kojem je definisan LFSR i izvršen odabir vektora K i L koji su dovedeni na ulaze DA konvertora. Za različite konfiguracije vektora K i L se dobijaju više ili manje korelisani deterski signali. Obzirom da su u pitanju pseudoslučajni izvori, simulacionim putem je moguće unapred ustanoviti funkcije gustine i raspodele verovatnoće, kao i stepen međukorelacije, a onda to uporediti sa rezultatima snimanja. Može se reći da je ova ploča "kalibrator" za dva deterska signala proizvoljnog stepena međukorelisanosti.



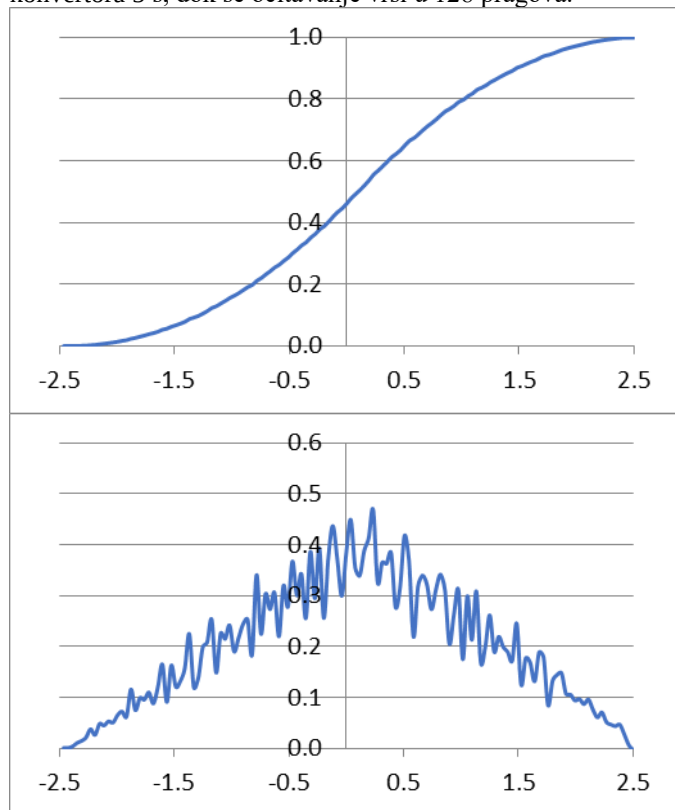
Sl. 5. Generator pseudoslučajnog napona

Kako bi se prikazali rezultati, uporedno je u računarskoj simulaciji izvršeno snimanje pseudoslučajnog generatora brojeva u programskom jeziku C++. Snimanje signala se vrši identično kao i u radu sa razvijenim hardverom, podešava se vrednost 128 pragova u razmacima od 5 s. Dobijene vrednosti funkcije raspodele verovatnoće i funkcije gustine verovatnoće prikazane su na slici 6, kao zbir brojeva iz dva generatora pseudoslučajnih brojeva uniformnih raspodela normalizovanih na opsegu od $-2,5$ V do $2,5$ V.



Sl. 6. Snimljena funkcija raspodele (slika gore) i funkcija gustine raspodele (slika dole) zbira pseudoslučajnih (generatora) brojeva iz random generatora PCja

Dobijeni rezultati snimljeni kao suma napona dva generatora pseudoslučajnog napona, prikazanih na slici 5, dati su na slici 7. Važno je napomenuti da je u ovom slučaju frekvencija generatora 62,5 kHz, brzina promene praga DA konvertora 5 s, dok se očitavanje vrši u 128 pragova.



Sl. 7. Snimljena funkcija raspodele (slika gore) i funkcija gustine raspodele (slika dole) zbira pseudoslučajnih generatora napona

V. ZAKLJUČAK

Zbog osobine da suma napona generatora uniformne raspodele koji su nekorelisani generišu trougaoni oblik funkcije gustine raspodele, očekivani oblik funkcije gustine raspodele suma napona je trougaona raspodela. Iz rezultata se može zaključiti da su dobijeni rezultati računarske simulacije evidentno bolji u odnosu na evaluaciju izvršenu razvijenim uređajem.

Ovi rezultati su bili očekivani jer u realnosti dolazi do velikog uticaja neidealnosti korišćenih komponenata. Takođe merenjem napona u više pragova i sa većim vremenskim razmakom između njih dobiće se na usrednjavanju rezultata, čime će i sami rezultati merenja biti pouzdaniji.

U narednom periodu je planirana izrada uređaja za evaluaciju funkcije gustine raspodele verovatnoće na zasebnoj PCB pločici, kao i korišćenje kvalitetnijih komponenata kao i naponskih referenci za podešavanje DA konvertora kako bi se smanjio uticaj hardverskih nedostataka na rezultate merenja.

LITERATURA

- [1] Vladimir Vujičić, Slobodan Milovančev, Mile Pešaljević, Ivan Župunski, "Low-Frequency Stochastic true RMS Instrument", IEEE Trans. Instr. Meas., vol 48, pp 467-470, April 1999.
- [2] Vladimir Vujičić, "Generalized Low-Frequency Stochastic True RMS Instrument", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 50., No. 5, October 2001
- [3] Velibor Pjevalica, Vladimir Vujičić, "Further Generalization of the Low-Frequency True-RMS Instrument", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Volume 59 Issue 3, March 2010.
- [4] Urekar, M., Pejic, D., Vujicic, V., Avramov-Zamurovic, S. (2017). Accuracy improvement of the stochastic digital electrical energy meter. Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, 98, 139–150. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.11.038>
- [5] Peter, Alfke, Efficient Shift Registers, LFSR Counters, and Long Pseudo-Random Sequence Generators, Application Note XILINX, 1996

ABSTRACT

This paper presents a system for evaluating the pseudo-random voltage generator in order to improve the SAADK 2G measurement method using two noise generators. The improvement is the determination of the probability density functions and the probability distribution function. This paper describes hardware of the device, as well as the principle of functioning of the device for evaluating the function of probability density. Comparison of developed generators with a pseudo-random number generators on a computer is given at the end of the paper.

Evaluation of the distribution density function of a pseudorandom noise generator

Đorđe Novaković, Dragan Pejić, Stefan Mirković, Jelena Đorđević-Kozarov, Marjan Urekar, Marina Bulat