

# Идејни пројекат генератора аналогног дискретног униформног шума

Бојан Вујичић, Драган Пејић, Александар Радоњић, Владимир Вујичић

**Сажетак-** У раду се предлаже идеја генератора аналогног дискретног униформног шума (ГАДУШ) за примену у стохастичкој дигиталној мерној методи. Предложеним решењем, за разлику од стандардног, које користи генератор случајних бројева и прецизни и тачни дигитално-аналогни конвертор (ДАК), се превазилази проблем ограничене резолуције ДАК-а и његов узак пропусни опсег.

**Кључне речи-** Стохастичка дигитална мерна метода, генератор аналогног дискретног униформног шума, дигитално-аналогна конверзија.

## I. УВОД

Основни мотив за ово истраживање и писање овог рада је потреба за квалитетним генератором аналогног дискретног униформног шума (ГАДУШ) који би нашао примену у стохастичким дигиталним мерењима (СДМ) [1]-[6]. У [5] је дата строга дефиниција једноставне аналогно-дигиталне (А/Д) конверзије и једноставне обраде сигнала у оквиру једноставне СДМ методе (СДММ). Обе су или једнобитне или двобитне. Ова чињеница имплицира једноставан хардвер и свега пар извора систематске грешке у једноставној СДММ који се лако идентификују и елиминишу [3], [7]. Изузетна тачност је најважнија перформанса једноставне СДММ.

С друге стране, сваки нови бит у СДММ је еквивалентан примени приближно четири пута брже технологије [8]. Ово убрзање се плаћа дупло сложенијим хардвером, а самим тим и дупло већим бројем извора систематске грешке. Оптимална резолуција СДММ је три бита [8]. Тада ефективно убрзање технологије износи девет пута у односу на двобитну СДММ. Привлачна је, стога, идеја врло тачног мерења тробитном СДММ, или, уопште, вишебитном СДММ. Та идеја није предмет овог рада.

У [9] је дат кратак преглед инструмената у којима је примењена једноставна СДММ. Општа особина свих тих инструмената је велика тачност али не само она. Једноставан хардвер имплицира и велике могућности паралелног мерења и паралелне обраде сигнала. У [9] је наведена могућност детекције основног и најзначајнијег вишег хармоника у клизећем прозору од половине периоде мрежног напона, док је у [10] описана примена једноставне СДММ у решавању проблема редукције велике количине података у електро-дистрибутивној (ЕД) мрежи.

Бојан Вујичић, Факултет техничких наука Нови Сад, Нови Сад, Србија (и-мејл: bojanvujic@uns.ac.rs)

Владимир Вујичић, Факултет техничких наука Нови Сад, Нови Сад, Србија (и-мејл: vujiciv@uns.ac.rs)

Александар Радоњић, Институт техничких наука САНУ, Београд, Србија (и-мејл: sasa\_radonjic@yahoo.com)

Драган Пејић, Факултет техничких наука Нови Сад, Нови Сад, Србија (и-мејл: pejicdra@uns.ac.rs)

У свим варијантама СДММ је неопходан елемент ГАДУШ. Поновимо још једном општу дефиницију СДММ у којој се то и експлицитно види. СДММ је: дигитално мерење средње вредности производа два сигнала на временском интервалу када се сваком од сигнала пре АД конверзије дода шум униформне расподеле у опсегу +/- половине кванта АД конвертора. Шумови на оба канала морају бити међусобно некорелисани а средња вредност сваког од њих мора бити нула. Усредњавају се, не дигитални одмерци, него производи парова одмерака. Све остало је или специјалан случај горе наведене дефиниције или њена директна генерализација.

## II. ПРОЈЕКТНА ИДЕЈА ГАДУШ-А

Термички или Никвистов шум у отпорнику има Гаусову густину вероватноће расподеле:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x}{\sigma}\right)^2} \quad (1)$$

Претпоставимо, сада, да је шум  $x$  могуће линеарно појачати  $k$  пута у опсегу од интереса (бар у  $3\sigma$ ). Тада за појачани шум важи:

$$f(kx) = \frac{1}{k \cdot \sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{kx}{k\sigma}\right)^2} \quad (2)$$

У  $x \leq x_g \approx 0$  околини  $x = 0$ ,  $kx = 0$  је фактор одступања  $Q$  Гаусове расподеле од униформне:

$$Q = \frac{1}{2} \cdot \frac{f(k \cdot 0) - f(k \cdot x_g)}{f(k \cdot 0)} \approx \frac{1}{4} \cdot \frac{x_g^2}{\sigma^2} \quad (3)$$

У Табели 1 су приказане карактеристичне вредности  $x_g$ , односно  $kx_g$  у зависности од изабраног фактора одступања  $Q$  (напомена:  $k = 10^5$  и  $\sigma = 10^{-6}V$ ).

ТАБЕЛА 1  
ЧЕТИРИ КАРАКТЕРИСТИЧНЕ ВРЕДНОСТИ  $x_g$  И  $kx_g$

$Q$	$x_g$ [V]	$kx_g$ [V]
0.001	$6.32 \cdot 10^{-8}$	$6.32 \cdot 10^{-3}$
0.0001	$2 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-3}$
0.00001	$6.32 \cdot 10^{-9}$	$6.32 \cdot 10^{-4}$
0.000001	$2 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{-4}$

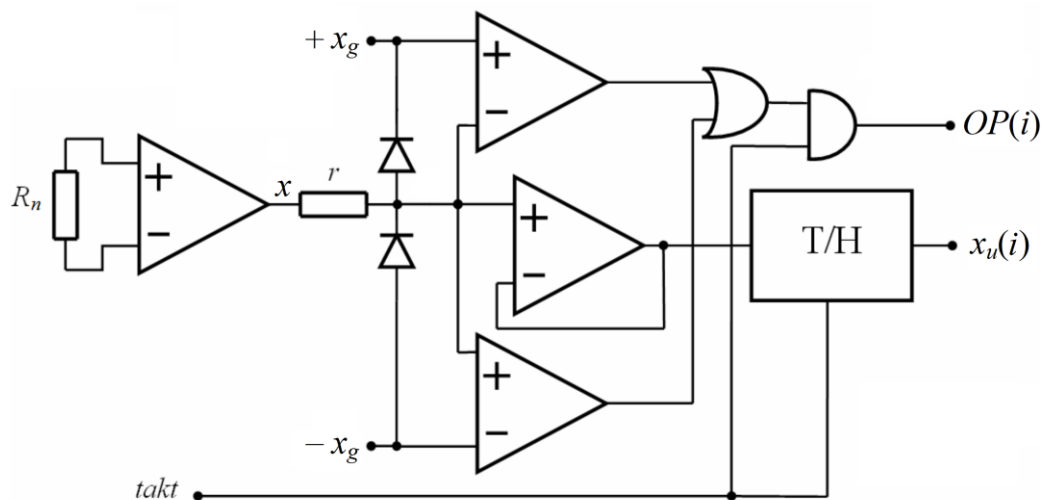
## III. ПОСТАВКА ПРОБЛЕМА

Теорија и досадашња искуства су показала да ГАДУШ мора имати следеће особине:

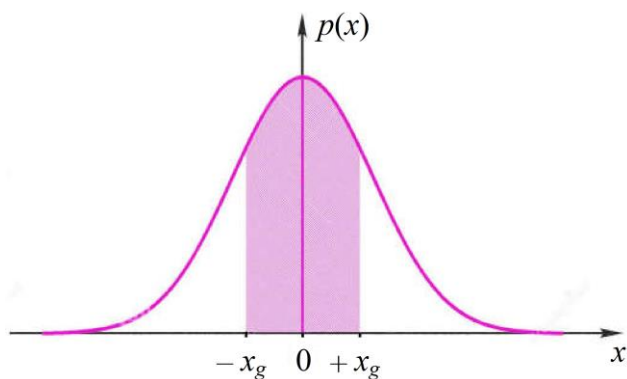
1) ГАДУШ мора да генерише напон стварно униформне расподеле,

2) Одмерци ГАДУШ-а морају бити међусобно некорелисани – аутокорелациона функција излаза ГАДУШ-а мора бити нула,

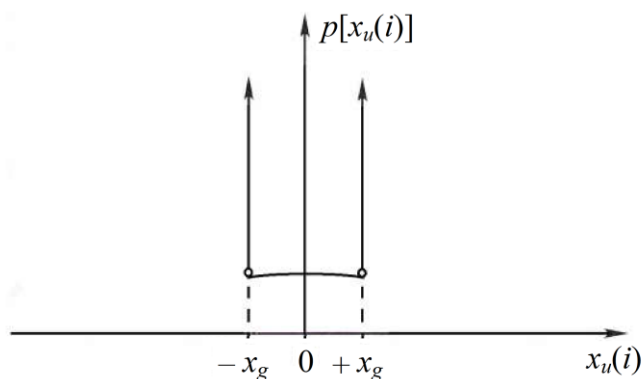
3) Одмерци ГАДУШ морају бити у опсегу једног кванта стохастичког адиционог А/Д конвертора



Слика 1. Предлог новог ГАДУШ-а.



Слика 2. Гаусова функција густине расподеле вероватноће (облик Никвистовог отпорничког шума).



Слика 3. Функција густине расподеле вероватноће на излазу из Т/Н кола.

(СААДК),

4) Одмерци морају бити распоређени униформно у интервалу времена,

5) Одмерци морају бити аналогни морају да имају бесконачно велику резолуцију).

Само такав ГАДУШ може заменити постојеће решење засновано на генератору случајних бројева и ДА конвертору и, евентуално, превазићи његова ограничења. У постојећем решењу је уско грло ДА конвертор, посебно, његов пропусни опсег [11].

Аналогни дискретни случајни одмерци на његовом излазу се сврставају у две класе: а) неуниформни случајни одмерци када излазни бинарни класификациони сигнал  $OP(i)$  има вредност 0 (лаж) и б) униформни случајни одмерци када излазни бинарни класификациони сигнал има вредност 1 (истина). За дигитално мерење и дигиталну обраду сигнала се користе само одмерци из класе б). Одмерци из класе а) се игноришу – не обрађују се.

Извор шума је отпорник а термички шум у отпорнику има нормалну (Гаусову) функцију густине расподеле вероватноће са средњом вредношћу нула. У довољно уским симетричним границама  $|x| < |x_g|$  око нуле Гаусова расподела је униформна. Термички шум из отпорника се снажно напонски појачава и преко редног отпорника доводи на симетрични двострани диодни ограничавач. Када је тренутна вредност појачаног термичког шума

унутар граница  $|x| < |x_g|$ , диоде су закочене и излазни бинарни класификациони сигнал има вредност 1. Тада тренутна вредност појачаног термичког шума иде у даљу обраду. Када је тренутна вредност појачаног термичког шума изван горенаведених граница, излазни бинарни класификациони сигнал има вредност 0, сама тренутна вредност појачаног термичког шума се преко редног отпорника своди на граничну вредност увећану за пад напона на диоди и игнорише се – не иде у даљу обраду.

Важан елемент у овој идеји је коло за праћење и задршку (енгл. Track & Hold – Т/Н). Ако су симетричне границе диодног ограничавача уске, тј. ако  $|x_g| \rightarrow 0$ , онда Т/Н коло може да ради на врло високој учестаности и тиме се превазилази проблем уског пропусног опсега ГАДУШ-а. Чињеница да су одмерци аналогни имплицира да је у овом ГАДУШ-у превазиђен и проблем ограничене резолуције претходних решења. Дигитални генератор такта дефинише посматране дискретне тренутке у обе класе одмерака.

#### IV. ДИСКУСИЈА

Са слика 2 и 3 је јасно да уколико су симетричне границе  $|x_g| \rightarrow 0$  уже, расподела приказана на слици 3 је ближа униформаној у области  $|x| < |x_g|$ . Више технолошких параметара утиче на употребљивост ове идеје реализације ГАДУШ-а. У првом реду, то је начин

реализације и пропусни опсег Т/Н кола. Уколико је вредност  $|x_g|$  мала у односу на напонски опсег улаза у Т/Н коло, његов фреквентни опсег се може повећати два до три реда величине тако да и ретки догађаји, каква је вероватноћа  $p(|x| < |x_g|)$ , могу да имају прихватљиву учесталост. Прелиминарне анализе су показале да учесталост таквог догађаја може да иде, са доступном технологијом Т/Н кола, до 20 МHz. Искрпна анализа тог проблема превазилази оквире овог рада. Предлог, изнет у раду, је намењен научној и стручној јавности у области мерења и метрологије, јер за више од реда величине подиже фреквентни опсег СДММ и обезбеђује аналогну (бесконечно велику) резолуцију дитерског сигнала.

## V. ЗАКЉУЧАК

У раду је изнет предлог идеје новог генератора аналогног дискретног униформног шума. Дата је његова идејна хардверска шема, описан је принцип његовог рада и наведене су његове главне предности: бесконачно велика резолуција и бар за ред величине већи фреквентни пропусни опсег. Озбиљан инжењерски напор и труд мора бити уложен да би се од њега направило решење које и по осталим параметрима мора да буде на нивоу стандардног решења, а то је, у првом реду, тачност.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] V. Vujicic *et al.*, "Low frequency stochastic true RMS instrument", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 48, no. 2, pp. 467-470, Apr. 1999.
- [2] V. Vujicic *et al.*, "Measurement in a point versus measurement over an interval", *Proc. of the IMEKO XIX World Congress*, pp. 1128-1132, Sep. 2009.
- [3] M. Urekar *et al.*, "Accuracy Improvement of the Stochastic Digital Electrical Energy Meter," *Measurement*, vol. 98, pp. 139-150, Feb. 2017.
- [4] D. Pejic *et al.*, "Stochastic Digital DFT Processor and Its Application to Measurement of Reactive Power and Energy," *Measurement*, vol. 124, pp. 494-504, Aug. 2018.
- [5] P. Sovilj *et al.*, "Synergy and completeness of simple A/D conversion and simple signal processing," *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 127, Nov. 2019.
- [6] V. Vujicic *et al.*, "Mathematical Basis of the Stochastic Digital Measurement Method", *Proc. of the 2nd Int. Conf. on Stochastic Processes and Algebraic Structures*, pp. 55-56, Oct. 2019.
- [7] V. Vujicic *et al.*, "Stochastic Measurement of Wind Power using a Two-bit A/D Converter", *Measurement*, vol. 152, paper no. 107184, Feb. 2020.
- [8] M. Urekar, Contribution to the optimization of digital measurements performance (in Serbian), Ph.D. dissertation, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad.
- [9] V. Vujicic, D. Pejic and A. Radonjic, "A brief overview of stochastic instruments for measuring flows of electrical power and energy", *FU Elec. Energ.*, vol. 32, no. 3, pp. 439-448, Sept. 2019.
- [10] V. Vujicic *et al.*, "Measurement in Fourier domain - a Natural Method of Big Data Volume Reduction", *Proc. of the 6th Int. Conf. on Electrical, Electronic and Computing Engineering (IcETRAN 2019)*, pp. 471-474, June 2019.
- [11] Analog Devices Inc., AD5791 Series Digital to Analog Converters, <https://www.analog.com/en/products/ad5791.html#>

## ABSTRACT

The paper proposes the idea of an analog discrete uniform noise generator for application in the stochastic digital measurement method. The proposed solution, unlike the standard one, which uses a random number generator and a precise and accurate digital-to-analog converter (DAK), overcomes the problem of limited DAK resolution and its narrow bandwidth.

### Preliminary design of analog discrete uniform noise generator

Bojan Vujicic, Dragan Pejic, Aleksandar Radonjic and Vladimir Vujicic