

ПЕТРУШАК В.С., ПІДЧЕНКО С.К., ТАРАНЧУК А.А.

Хмельницький національний університет

ORCID ID: 0000-0002-7232-1044, 0000-0001-9488-1782, 0000-0001-9686-8784

e-mail: petrushak@ukr.net, sergpchn@gmail.com, allatr@ukr.net

ВПЛИВ ШУМІВ НА ПРОЦЕС КВАНТУВАННЯ ПЕРІОДИЧНИХ СИГНАЛІВ МЕТОДОМ ПРЯМОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ

Вказано на джерела шуму та проаналізовано вплив шумів під час перетворення періодичних сигналів в код методом прямого квантування. Представлені аналітичні вирази для оцінки впливу шумів на процес вимірювання. В середовищі Matlab з використанням пакету Simulink розроблено модель для наочного дослідження впливу внутрішніх шумів на процес вимірювання параметрів амплітуди періодичного сигналу. За результатами моделювання отримана залежність сигнал/шум від частоти вхідного сигналу. Наведені графічні матеріали, які наочно демонструють вплив шумів на процес вимірювання амплітуди. Встановлено, що відношення сигнал/шум не перевищує 63 дБ на частотах вхідних синусоїдних сигналів до 210 МГц при значенні амплітуди 1В, що покращує технічні показники перетворювача.

Ключові слова: активний сенсор, амплітуда, білий шум, інтернет речей, періодичний сигнал, прямий метод квантування, телекомунікаційна мережа, цифро-аналогове перетворення.

PETRUSHAK VOLODYMYR S., PIDCHENKO SERGIY K., TARANCHUK ALLA A.

Khmelnyskyi National University

INFLUENCE OF NOISE ON THE PROCESS OF QUANTIFYING PERIODIC SIGNALS BY THE DIRECT CONVERSION METHOD

In the practice of electrical and radio measurements, voltage measurement is a common operation. This determines the potential difference or voltage drop in the section of the electrical circuit (on its element). The purpose of measuring DC voltage is to determine its value and sign of polarity. When measuring AC voltage, any of its parameters can be determined (amplitude, mean, rms, rectified value or signal scope). The efforts of prominent scientists are aimed at improving the metrological and technical indicators of existing measuring instruments, in particular the development of new methods for correcting the characteristics of the transformation of the measuring channel, which is their main component. However, all these methods focus on converting the amplitude of the periodic signal into an equivalent parameter, followed by converting it into digital code. All this leads to additional conversion errors and requires additional hardware costs. Accordingly, the improvement of known methods for creating new converters of high-frequency periodic signals into code is a promising task at this stage of development of measuring technology.

The paper points to noise sources and analyzes the influence of noise during the conversion of the amplitude of periodic signals into code by direct level quantization. It is established that for industrial tomography, the influence of external factors on the probing input signal is practically absent, because the processes of cavitation and chain reaction take place in a closed environment. It was found that the internal noise is related to the technical characteristics and features of each element of the structural diagram of the converter. Analytical expressions for estimating the influence of noise on the measurement process are presented. In the Matlab environment using the Simulink package, a model was developed for visual study of the influence of internal noise on the process of measuring the parameters of the amplitude of the periodic signal. According to the simulation results, the signal / noise dependence on the frequency of the input signal is obtained. Graphic materials are presented, which clearly demonstrate the influence of noise on the amplitude measurement process. It is established that the signal-to-noise ratio does not exceed 63 dB at frequencies of input sinusoidal signals up to 210 MHz at an amplitude value of 1В, which improves the technical performance of the converter.

Keywords: active sensor, amplitude, white noise, Internet of Things, periodic signal, direct quantization method, telecommunication network, digital-to-analog conversion.

Постановка проблеми

Зусилля видатних науковців спрямовані на покращення метрологічних та технічних показників існуючих засобів вимірювання, зокрема на розробку нових методів корекції характеристики перетворення вимірювального каналу, що є їх головною складовою [1].

Відповідно вдосконалення відомих методів для створення нових перетворювачів високочастотних періодичних сигналів в код є перспективною задачею на сьогоднішньому етапі розвитку вимірювальної техніки [2].

Аналіз останніх джерел

Засоби вимірювання різноманітних параметрів та технічних характеристик радіотехнічних засобів завжди займали провідні позиції в науці та техніці. Без точного визначення відповідних значень неможлива побудова сучасних якісних систем радіозв'язку, радіолокації, навігаційних наземних та супутникових систем.

Україна має значні досягнення в галузі метрології та радіовимірювань. Так, в практиці електрорадіовимірювань вимірювання напруги є поширеною операцією. При цьому визначається різниця потенціалів чи падіння напруги на ділянці електричного кола (на її елементі). Метою вимірювання постійної напруги є визначення її значення і знака полярності. При вимірюванні змінної напруги може бути визначений будь-який її параметр (амплітудне, середнє, середньоквадратичне, середньовипрямлене значення чи розмах сигналу).

В радіолокації від амплітуди відбитого сигналу залежить ефективна площа об'єкта. Разом з тим необхідним є застосування високочастотних засобів вимірювання амплітуди в системах з активними сенсорами [3], наприклад LiDAR, що використовуються в телекомунікаційних мережах на базі технології інтернет речей.

Сучасні дослідження спрямовані на покращення метрологічних та технічних показників існуючих засобів вимірювання, зокрема на розробку нових методів корекції характеристики перетворення вимірювального каналу, що є їх головною складовою [4].

Разом з тим, всі ці методи зосереджені на перетворенні амплітуди періодичного сигналу у еквівалентний параметр, з подальшим перетворенням його у цифровий код. Все це веде до появи додаткових похибок перетворення і потребує додаткових апаратних витрат.

Метою роботи є дослідження впливу шумів під час вимірювання амплітуди періодичних сигналів запропонованим методом [2].

Математична модель перетворювача періодичних сигналів

Перетворювач амплітуди періодичних сигналів в код прямим методом квантування характеризується наявністю шумів, які можна поділити на внутрішні та зовнішні.

Зовнішні шуми зумовлені джерелом зовнішньої (вхідної) напруги і паразитними параметрами вхідних кіл. Зокрема до паразитних параметрів можуть бути віднесені: опір $R_{3,n}$, індуктивність $L_{3,n}$ та ємність $C_{3,n}$ з'єднувальних провідників і R_3, C_3, L_3 самих з'єднувачів [5]. Відповідно вхідний досліджуваний сигнал можна задати виразом:

$$U(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi_0) \pm U_{ш.з.дж.}(U_{ш.с}, R_{3,n}, C_{3,n}, L_{3,n}, R_3, C_3, L_3), \quad (1)$$

де $U_{ш.з.дж.}(U_{ш.с}, R_{3,n}, C_{3,n}, L_{3,n}, R_3, C_3, L_3)$ – напруга шумів джерела вхідного сигналу.

Розглянемо випадок, коли вплив зовнішніх факторів на вхідний сигнал практично відсутній, при цьому збільшення фізичної величини, яка вимірюється, призводить до зростання амплітуди сигналу на виході електрофізичного перетворювача (рис. 1) [6].

Внутрішні шуми пов'язані з технічними характеристиками і особливостями кожного елемента структурної схеми перетворювача [2]. Для даної схеми цими елементами є: компаратор, джерело опорної напруги, джерело живлення і цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП). Решта елементів схеми: лічильник, дешифратор та індикатор впливають лише на часові параметри перетворювача.

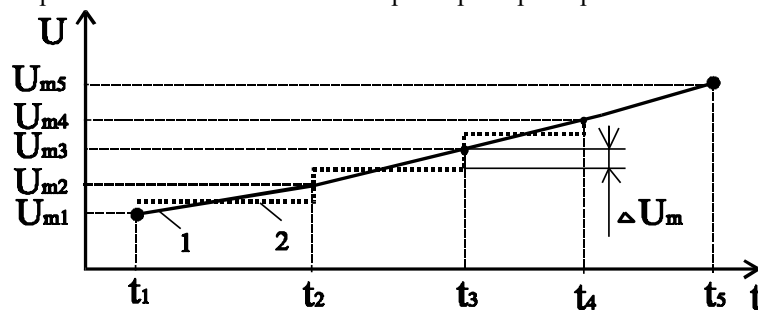


Рис. 1. Еюра амплітуди відбитого сигналу

Шуми джерела опорної напруги впливають на рівень його вихідної напруги $U_{оп.}$, значення якої визначається за формулою:

$$U_{оп.} = U_0 \pm U_{ш.дж.оп.}, \quad (2)$$

де $U_{ш.дж.оп.}$ – напруга шумів джерела опорної напруги ЦАП.

Разом з тим наявні внутрішні шуми ЦАП, які пов'язані з нелінійністю характеристик внутрішніх елементів ЦАП і які матимуть вплив на вихідну напругу ЦАП так як це показано на рис. 2.

Відповідно напруга на виході ЦАП може бути визначена з виразу:

$$U_{вих.ЦАП} = \frac{(U_0 + U_{ш.дж.оп.})n}{2^N} + U_{ш.ЦАП}, \quad (2)$$

де n – значення двійкового коду на вході ЦАП,
 N – кількість двійкових розрядів ЦАП.

Як правило шумові параметри елементів вказують в специфікаціях до них, так для 12-бітного ЦАП

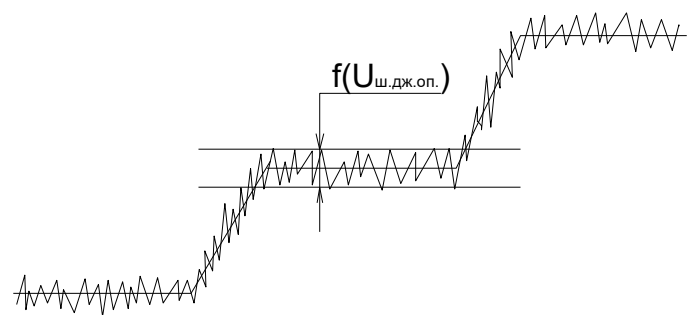


Рис. 2. Вихідна напруга ЦАП

DAC7621 фірми «Burr-Brown Corporation», який має вбудоване джерело опорної напруги 2,435 В, напруга шумів на виході ЦАП не перевищує 0,6 мВ [7].

Напруга шумів на виході компаратора визначається власною напругою шумів цих елементів, а також напругою підсиленних зовнішніх шумів, яку можна визначити за формулою [5]:

$$U_{u.k} = K_u \cdot \sqrt{U_{ш.з.дж}^2 + i_{ш.з.дж}^2 R_G^2 + 4kTR_G \Delta f}, \quad (3)$$

де $4kTR_G$ – спектральна густина теплового шуму;

Δf – смуга частот;

k – постійна Больцмана;

R_G – опір джерела сигналу;

T – абсолютна температура;

K_u – коефіцієнт підсилення;

$U_{ш.з.дж}$ і $i_{ш.з.дж}$ – відповідно напруга шумів і шумовий струм джерела сигналу.

Імітаційне моделювання вимірювального перетворювача періодичних сигналів

Вплив внутрішніх шумів на процес вимірювання параметрів амплітуди періодичного сигналу наочно досліджувався шляхом моделювання в середовищі Matlab, використовуючи пакет Simulink (рис. 3).

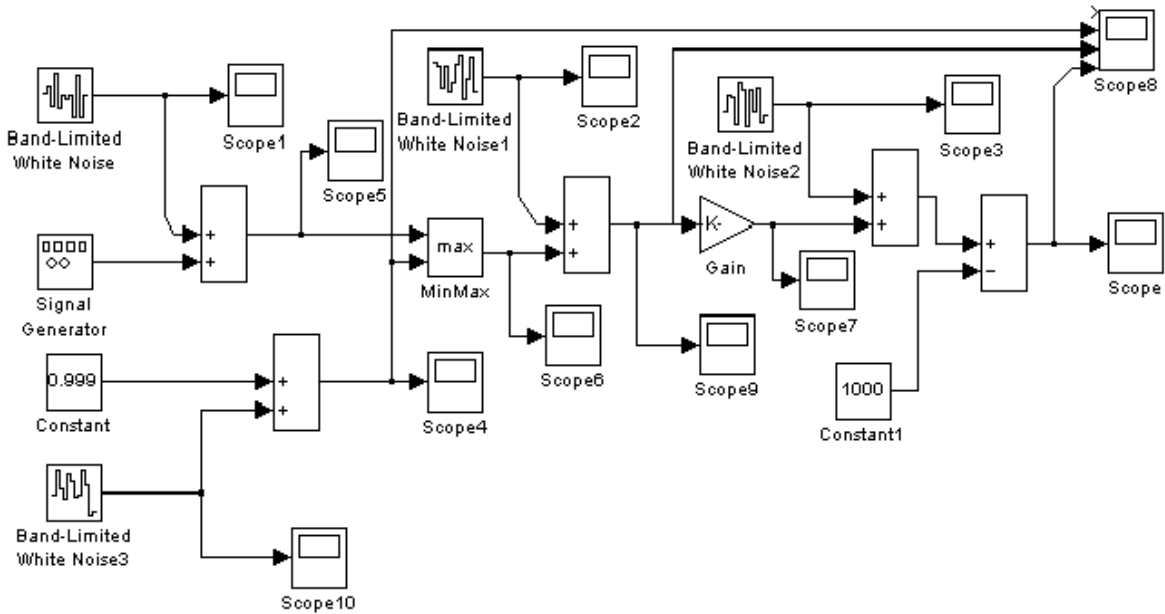


Рис. 3. Схема процесу моделювання в середовищі Matlab

Для процесу моделювання встановили, що амплітуда вхідного сигналу відповідає 1В, при цьому рівень зовнішніх шумів (рис. 3) складає 0,5 мВ. Рівень сигналу з виходу ЦАП змінювали в діапазоні від 0,8 В до 0,999 В. Тоді як рівень шумів на його виході, тобто $U_{ш.дж.он.}$ не перевищує 20 мкВ.

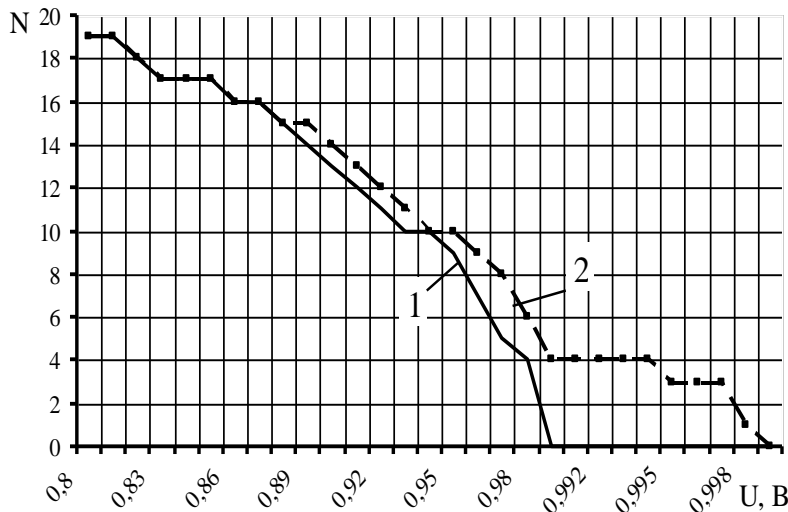


Рис. 4. Вплив внутрішніх шумів на результат вимірювання

Різниця напруга з виходу компаратора містить шум, рівень якого відповідає 5 нВ згідно технічних характеристик. Наочно вплив внутрішніх шумів на результат вимірювання параметрів амплітуди періодичних сигналів представлений на рис. 4. На якому відповідно позначено, що N – кількість сигналів зі змінною складовою, рівень яких відповідає рівню логічної одиниці і становить більше 1,4 В.

Крива 1 (рис. 4) відображає залежність N від рівня вихідного сигналу ЦАП, при значенні коефіцієнта підсилення 100. Крива 2 показує залежність при значенні коефіцієнта підсилення 1000.

За результатами моделювання отримана залежність сигнал/шум від частоти вхідного сигналу, яка представлена на рис. 5. Так відношення сигнал/шум становить близько 40дБ на частотах від 10 МГц до 210 МГц при значенні амплітуди вхідного сигналу 0,1 В. При підвищенні амплітуди вхідного сигналу до 0,5 В та 1 В, відношення сигнал/шум відповідно становитиме 50 дБ та 60 дБ.

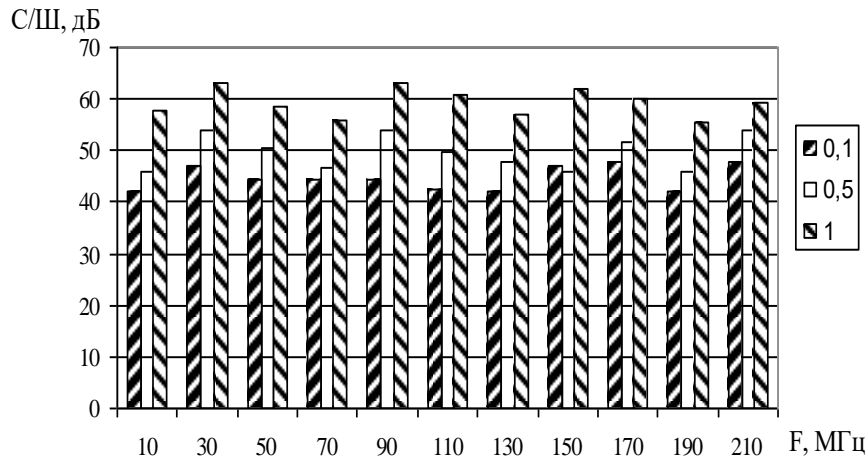


Рис. 5. Залежність сигнал/шум від частоти вхідного сигналу

Під час дослідження в середовищі MATLAB впливу шумів на процес перетворення амплітуди періодичних сигналів в код встановлено, що при збільшенні амплітуди вхідних синусоїдних сигналів до 1 В на частотах до 210 МГц відношення сигнал/шум збільшується на величину від 5 до 10 дБ, що може бути використано для покращення метрологічних показників перетворювача (рис. 5).

Висновки

На основі побудованої імітаційної моделі перетворювача періодичних сигналів в код в середовищі Matlab/Simulink проаналізовано вплив внутрішніх шумів під час перетворення методом прямого квантування. Встановлено, що на частотах до 210 МГц відношення сигнал/шум збільшується на величину від 5 до 10 дБ при збільшенні амплітуд вхідних сигналів від 0,5 до 1 В, що може бути використано для покращення метрологічних характеристик перетворювача.

Література

1. Петрушак, О. М. Особливості вимірювання амплітуди періодичних сигналів / О. М. Петрушак, В. С. Петрушак // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2012. – № 1. – С. 200–203.
2. Petrushak V. S. Measurement of the amplitude of periodic signals using the Fibonacci method / V. S. Petrushak // Прибори и методы измерений. – 2018. – Т. 9. № 2. – С. 168–173.
3. Ли П. Архитектура интернета вещей / Ли П.; перевод с англ. М.А. Райтмана. – М. : ДМК Пресс, 2019. – 454 с.
4. Пат. № 133686 Україна, МПК G01L 9/08, G01L 9/12. Вимірювальний перетворювач на основі механотронного п'єзоакустичного датчика тиску / А. А. Таранчук, С. К. Підченко, А. А. Акуліничев, А. В. Співак, А. І. Жизневський ; заявник і патентовласник Хмельниц. нац. університет. – № u201807922 від 16.07.2018 ; опубл. 25.04.2019, Бюл. № 8/2019. – 6 с. : іл.
5. Гельман М.М. Аналого-цифрові перетворювачі для інформаційно-вимірювальних систем / Гельман М.М. – М. : Видавництво стандартів, 2009. – 317 с.
6. Yanenko A. Experimental study of microwave radiation caused by the materials contacting with human body / A. Yanenko, A. Totsky, S. K. Pidchenko, A. A. Taranchuk // Telecommunications and Radio Engineering. – 2018. – V. 77. i7. – P. 635–644.
7. Специфікація до компонента DAC7621 Texas Instruments Incorporated, 2021. – URL : <https://www.ti.com/lit/ds/sbas107/sbas107.pdf>.

References

1. Petrushak, O. M. Osoblyvosti vymiriuvannia amplitudy periodychnykh syhnaliv / O. M. Petrushak, V. S. Petrushak // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2012. – № 1. – S. 200–203.
2. Petrushak V. S. Measurement of the amplitude of periodic signals using the Fibonacci method / V. S. Petrushak // Pribory i metody izmerenij. – 2018. – T. 9. № 2. – C. 168–173.
3. Li P. Arhitektura interneta veshej / Li P.; perevod s angl. M.A. Rajtmana. – M. : DMK Press, 2019. – 454 s.
4. Pat. № 133686 Ukraina, MPK G01L 9/08, G01L 9/12. Vymiriuvalni peretvoriuvach na osnovi mekhanotronnoho piezoakustychnoho datchyka tysku / A. A. Taranchuk, S. K. Pidchenko, A. A. Akulynichev, A. V. Spivak, A. I. Zhyznevskiy ; zaiavnyk i patentovlasnyk Khmelnyts. nats. universytet. – № u201807922 vid 16.07.2018 ; opubl. 25.04.2019, Biul. № 8/2019. – 6 s. : il.
5. Helman M.M. Analoho-tsyfrovii peretvoriuvachi dlia informatsiino-vymiriuvalnykh system / Helman M.M. – M. : Vydavnytstvo standartiv, 2009. – 317 s.
6. Yanenko A. Experimental study of microwave radiation caused by the materials contacting with human body / A. Yanenko, A. Totsky, S. K. Pidchenko, A. A. Taranchuk // Telecommunications and Radio Engineering. – 2018. – V. 77. i7. – P. 635–644.
7. Spetsyfikatsiia do komponenta DAC7621 Texas Instruments Incorporated, 2021. – URL : <https://www.ti.com/lit/ds/sbas107/sbas107.pdf>.

Рецензія/Peer review : 02.10.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.