

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕТВОРЕННЯ АМПЛІТУДИ ПЕРІОДИЧНИХ СИГНАЛІВ У КОД МЕТОДОМ ПРЯМОГО КВАНТУВАННЯ ЗА РІВНЕМ В СЕРЕДОВИЩІ МАТЛАВ

Хмельницький національний університет

### Анотація

Вказано на джерела шуму та проаналізовано вплив шумів під час перетворення амплітуди періодичних сигналів в код методом прямого квантування за рівнем. 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 63дБ на частотах вхідних синусоїдних сигналів до 210МГц при значенні амплітуди 1В, що покращує технічні показники перетворювача.

**Ключові слова:** амплітуда, періодичний сигнал, прямий метод квантування за рівнем, цифро-аналогове перетворення, білий шум.

### Abstract

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:** amplitude, periodic signal, direct level quantization method, digital-to-analog conversion, white noise.

У практиці електрорадіовимірювань вимірювання напруги є поширеною операцією. При цьому під час вимірювання змінної напруги може бути визначений будь-який її параметр (амплітудне, середнє, середньоквадратичне, середньовипрямлене значення чи розмах сигналу). 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.

Перетворювач амплітуди періодичних сигналів в код прямим методом квантування за рівнем[1] 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. Відповідно вхідний досліджуваний сигнал можна задати виразом[2]:

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

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.

Разом з тим вплив зовнішніх факторів на зондуєчий вхідний сигнал практично відсутній, оскільки процеси кавітації та ланцюгової реакції протікають в замкненому середовищі. Так на збільшення температурного поля в атомному реакторі вказує поступове зростання амплітуди відбитого сигналу (крива 1 на рис.1), тому значення амплітуд в моменти часу відрізняються.

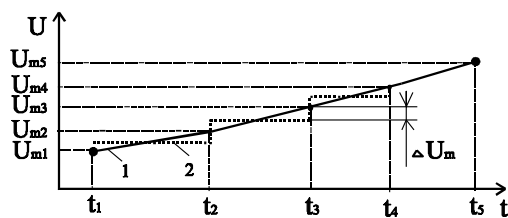


Рисунок 1. Вплив зовнішніх факторів на зондуєчий вхідний сигнал

Внутрішні шуми пов'язані з технічними характеристиками і особливостями кожного елемента структурної схеми перетворювача[3]. 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.

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

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

де  $U_{ш.д.ж.оп.}$  - 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. Відповідно напруга на виході ЦАП може бути визначена з виразу:

$$U_{вих.ЦАП} = \frac{(U_0 + U_{ш.д.ж.оп.})n}{2^N} + U_{ш.ЦАП}, \quad (3)$$

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 DAC7621 фірми Burr-Brown Corporation, який має вбудоване джерело опорної напруги 2,435В, напруга шумів на виході ЦАП не перевищує 0,6 мВ [4]. Напруга шумів на виході компаратора визначається власною напругою шумів цих елементів, а також напругою підсилених зовнішніх шумів.

Вплив внутрішніх шумів на процес вимірювання параметрів амплітуди періодичного сигналу наочно досліджувався шляхом моделювання в середовищі Matlab, використовуючи пакет Simulink (рис.2).

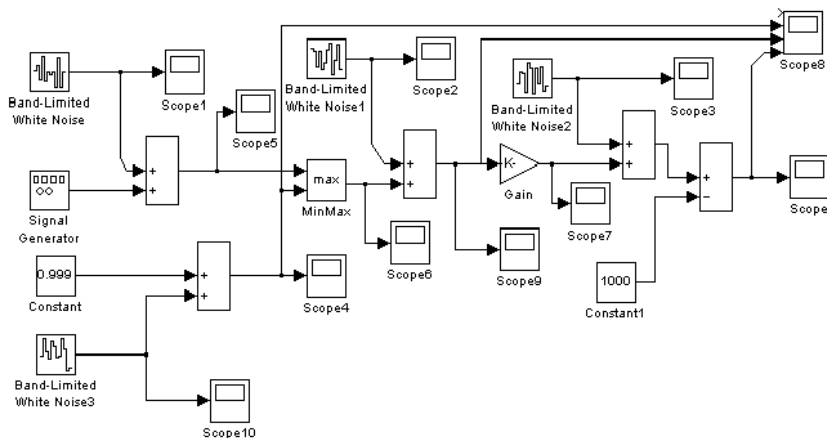


Рисунок 2. Схема процесу моделювання в середовищі Matlab

Для процесу моделювання встановили, що амплітуда вхідного сигналу відповідає 1В, при цьому рівень зовнішніх шумів (рис. 2) складає 0,5 мВ. Рівень сигналу з виходу ЦАП змінювали в діапазоні від 0,8В до 0,999В. Тоді як рівень шумів на його виході, тобто  $U_{ш.д.ж.оп.}$  не перевищує 20мкВ.

Різницева напруга з виходу компаратора містить шум, рівень якого відповідає 5нВ згідно технічних характеристик. Наочно вплив внутрішніх шумів на результат вимірювання параметрів амплітуди періодичних сигналів представлений на рис. 3. На якому відповідно позначено, що N – кількість сигналів зі змінною складовою, рівень яких відповідає рівню логічної одиниці і становить більше 1,4В.

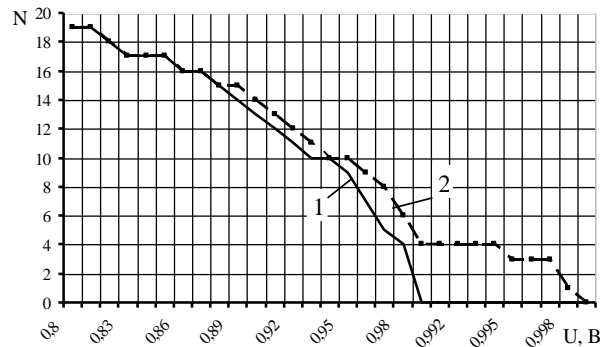


Рис.4. Вплив внутрішніх шумів на результат вимірювання

За результатами моделювання отримана залежність сигнал/шум від частоти вхідного сигналу, яка представлена на рис. 4. Так відношення сигнал/шум становить близько 40дБ на частотах від 10МГц до 210МГц при значенні амплітуди вхідного сигналу 0,1В. При підвищенні амплітуди вхідного сигналу до 0,5В та 1В, відношення сигнал/шум відповідно становитиме 50дБ та 60дБ.

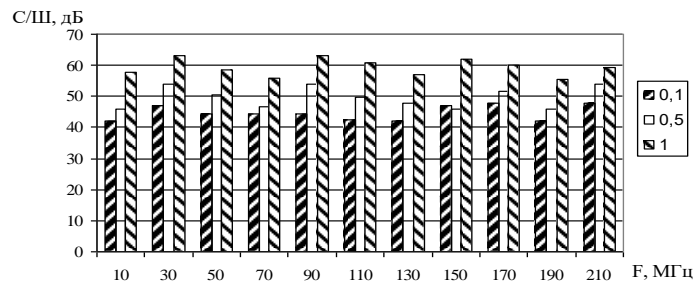


Рис.5. Залежність сигнал/шум від частоти вхідного сигналу

Під час дослідження в середовищі MATLAB впливу шумів на процес перетворення амплітуди періодичних сигналів в код встановлено, що відношення сигнал/шум не перевищує 63дБ на частотах вхідних синусоїдних сигналів до 210МГц при значенні амплітуди 1В, що покращує технічні показники перетворювача.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

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. Гельман М.М. Аналого-цифрові перетворювачі для інформаційно-вимірювальних систем / Гельман М.М. .- М.: Видавництво стандартів, 2009. - 317с.
3. Petrushak V. S. Measurement of the amplitude of periodic signals using the Fibonacci method / V. S. Petrushak // Приборы и методы измерений.- 2018. Т. 9.- № 2. - С. 168 – 173.
4. Специфікація до компонента DAC7621 Texas Instruments Incorporated, 2021.-16с. Режим доступу до специфікації: <https://www.ti.com/lit/ds/sbas107/sbas107.pdf>.

**Петрушак Володимир Степанович**, к.т.н., доцент, доцент кафедри Телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій, Хмельницький національний університет, місто Хмельницький, [petrushak@ukr.net](mailto:petrushak@ukr.net)

**Petrushak Volodymyr Stepanovych**, Ph.D. Associate Professor, Associate Professor of Department of Telecommunications, Media and Intellectual Technologies, Khmelnytsky National University, Khmelnytsky, [petrushak@ukr.net](mailto:petrushak@ukr.net)