

## ПРИСТРІЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ З КОРИГУВАННЯМ ПОХИБОК У ЧАСТОТНІЙ ОБЛАСТІ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет

### Анотація

У роботі представлено метод розширення динамічного діапазону пристрою аналого-цифрових перетворення сигналів з коригуванням похибок часової нестабільності вихідного сигналу. Доведено, що часова нестабільність вихідного сигналу перетворювача проявляється у вигляді паразитних складових у спектрі вихідного сигналу, при чому амплітуда і форма цих складових залежить від самого вхідного сигналу та від значення часової нестабільності. Компенсація похибок часової нестабільності виконується у частотній області.

**Ключові слова:** пристрій аналого-цифрового перетворення, часова нестабільність, динамічний діапазон

### Abstract

The paper presents a method of expanding the dynamic range of the analog-to-digital signal conversion device with correction of the errors of the temporal instability of the output signal. It is proved that the temporal instability of the output signal of the converter manifests itself in the form of parasitic components in the spectrum of the output signal, while the amplitude and shape of these components depends on the input signal itself and on the value of the temporal instability. Compensation of temporal instability errors is performed in the frequency domain.

**Keywords:** analog-digital conversion device, temporal instability, dynamic range

### Вступ

Паралельні аналого-цифрові перетворювачі (ПАЦП) знаходять широке використання в цифрових телекомунікаційних системах. Для підвищення швидкодії ПАЦП використовують структурне розпаралелювання каналів аналого-цифрового перетворення сигналів з розгортанням у часі. Такий підхід передбачає використання багатофазної дискретизації паралельно ввімкнених  $M$  каналів ПАЦП, що призводить до підвищення частоти дискретизації пристрою аналого-цифрового перетворення сигналів в  $M$  разів [1].

У реальному пристрої аналого-цифрового перетворення, побудованому на базі ПАЦП процес дискретизації вхідного сигналу супроводжується відхиленням фактичних моментів формування цифрових відліків сигналу від їх номінального положення на часовій осі. В результаті виникає явище часової нестабільності вихідного сигналу ПАЦП [2]. При спектральному аналізі спостерігаються паразитні частотні складові у спектрі вихідного сигналу пристрою аналого-цифрового перетворення, що призводить до звуження динамічного діапазону ПАЦП [3]. Розробка телекомунікаційних систем з розширеною частотною смугою підвищує вимоги до динамічного діапазону оброблюваних сигналів, що обумовлює актуальність дослідження швидкодієвих пристроїв аналого-цифрового перетворення з розширеним динамічним діапазоном.

Метою роботи є розширення динамічного діапазону пристрою аналого-цифрового перетворення за рахунок коригування часової нестабільності вихідного сигналу у частотній області.

### Результати дослідження

У  $M$ -канальному пристрої аналого-цифрового перетворення часові вибірки кожного каналу ПАЦП можна записати як

$$t_k = (nM + k) \cdot T_s, \quad (1)$$

де  $k$  – номер каналу ПАЦП ( $k = 0, 1, \dots, M - 1$ );

$T_s$  – період дискретизації пристрою аналого-цифрового перетворення.

Амплітуда і форма паразитних складових у спектрі вихідного сигналу ПАЦП залежать від самого вхідного сигналу та від значення часової нестабільності  $\sigma_k$ :

$$R_i(j\omega) = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} e^{-j\frac{2\pi k}{M}} e^{j\left(\omega - \frac{2\pi}{M}\right)\sigma_k} X\left[j\left(\omega - \frac{2\pi}{M}\right)\right]. \quad (2)$$

На практиці значення часової нестабільності  $\sigma_k$  є різними у кожному каналі ПАЦП. З виразу (2) видно, що паразитні компоненти  $R_i(j\omega)$  пов'язані з вхідним сигналом. Теоретично, якщо точно оцінити значення  $\sigma_k$ , то добуток коефіцієнта модуляції та зсуненого за частотою вхідного сигналу  $C_i \cdot X\left[j\left(\omega - \frac{2\pi}{M}\right)\right]$  дорівнює  $R_i(j\omega)$ . Таким чином, скоригований вихідний сигнал можна записати у такому вигляді

$$\tilde{Y}(j\omega) = Y(j\omega) - \sum_{i=0}^{M-1} R_i(j\omega). \quad (3)$$

Пристрій аналого-цифрового перетворення містить  $M$  паралельно ввімкнених каналів ПАЦП. Відцифровані значення вхідного сигналу  $X(t)$  з кожного ПАЦП надходять у відповідні блоки спектральних перетворень, де виконується коригування сигналів кожного ПАЦП у частотній області. Для формування сигналів у часовій області слугують блоки оберненого швидкого перетворення Фур'є. На виході пристрою використовується мультиплексор (МП), який об'єднує  $M$  сигналів ПАЦП у вихідний сигнал  $Y(n)$ . Етап калібрування виконується в умовно-реальному масштабі часу, тобто, накопичення масиву даних здійснюється з робочою швидкістю передачі без втрати інформації, а розрахунків значень часової нестабільності та їх запис у блоці керування (БК) виконується з частотою, доступною для функціонування комп'ютера. У робочому режимі на вхідну шину пристрою подається реальний аналоговий сигнал. Скоригований вихідний сигнал ПАЦП з виходу МП подається на вихідну шину пристрою. За допомогою БК формуються імпульси дискретизації та значення часової нестабільності для кожного каналу ПАЦП.

### Висновки

У роботі запропоновано метод розширення динамічного діапазону пристрою аналого-цифрового перетворення на базі коригування часової нестабільності вихідного сигналу.

Процес коригування складається з двох етапів: оцінювання та компенсації. На першому етапі виконується оцінювання значення часової нестабільності. Компенсація похибки часової нестабільності виконується у частотній області. Аналіз ефективності запропонованого методу підтвердив, що завдяки розробленому методу вдається розширити динамічний діапазон ПАЦП на 20-30 дБ у смузі робочих частот.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бортник Г.Г., Кичак В.М., Стальченко О.В. Аналого-цифрові тракти комп'ютерних систем з цифровим обробленням високочастотних сигналів : монографія. Вінниця: ВНТУ, 2016. – 140 с.
2. Бортник Г.Г., Бортник С.Г., Кичак В.М. Методи та засоби аналого-цифрового перетворення високочастотних сигналів : монографія. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 128 с.
3. Бортник Г.Г., Васильківський М.В., Стальченко О.В., “Пристрій аналого-цифрового перетворення високочастотних сигналів”, Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, № 3, С. 82-85, 2013.

**Бортник Геннадій Григорович** – канд. техн. наук, професор кафедри інфокомунікаційних систем і технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [bgen88@gmail.com](mailto:bgen88@gmail.com)

**Бріль Михайло Романович** – аспірант кафедри інфокомунікаційних систем і технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [mishkabrill@gmail.com](mailto:mishkabrill@gmail.com)

**Bortnyk Gennadiy Grygorovych** – Ph.D., Professor of the Department of Infocommunication Systems and Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [bgen88@gmail.com](mailto:bgen88@gmail.com)

**Bryl Mykhailo Romanovych** – postgraduate of the Department of Infocommunication Systems and Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [mishkabrill@gmail.com](mailto:mishkabrill@gmail.com)