

# МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АНАЛОГО-ЦИФРОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ У БАЗИСІ ДИСКРЕТНИХ ФУНКЦІЙ УОЛША-ФУР'Є

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

## Анотація

У роботі представлено метод визначення динамічних характеристик аналого-цифрових перетворювачів (АЦП), що базується на обробленні вихідного сигналу АЦП у базисах дискретних функцій Уолша-Фур'є. Доведено, що запропонований метод характеризується високою ефективністю визначення динамічних характеристик АЦП за рахунок підвищення продуктивності та спрощення програмної реалізації алгоритмів цифрового оброблення вихідних сигналів досліджуваних перетворювачів.

**Ключові слова:** аналого-цифровий перетворювач, цифрове оброблення сигналів, динамічні характеристики.

## Abstract

The paper presents a method for determining the dynamic characteristics of analog-digital converters (ADCs), which is based on the processing of the output signal of the ADC in the bases of discrete Walsh-Fourier functions. It is proved that the proposed method is characterized by high efficiency of determining the dynamic characteristics of ADCs by increasing productivity and simplifying the program implementation of algorithms for digital processing of output signals of the investigated converters..

**Keywords:** analog-digital converter, digital signal processing, dynamic characteristics.

## Вступ

Підвищення ефективності радіотехнічних і телекомунікаційних систем у сучасних умовах неможливе без використання в задачах перетворення неперервних сигналів аналого-цифрових перетворювачів (АЦП). Застосування методології цифрового оброблення сигналів (ЦОС) у цих засобах призводить до використання їх в умовах роботи з широкосмуговими сигналами [1]. Ефективність оброблення широкосмугових сигналів безпосередньо залежить від властивостей АЦП [2].

Особливістю АЦП є нелінійний вид функції перетворення, який проявляється як в статичному, так і в динамічному режимах функціонування. Якщо проблеми аналізу поведінки АЦП у статичному режимі функціонування достатньо добре вивчені та відповідна методологія добре відома широкому колу спеціалістів, то проблеми визначення динамічних характеристик (ДХ) з урахуванням нелінійних і стохастичних властивостей продовжують інтенсивно досліджуватись [2-4].

Метою роботи є підвищення ефективності визначення динамічних характеристик АЦП за рахунок оброблення вихідних сигналів досліджуваних перетворювачів у базисах дискретних функцій.

## Результати дослідження

Використання дискретного перетворення Фур'є (ДПФ) дає змогу з високою точністю оцінити вплив окремого розряду АЦП на нелінійність його характеристики перетворення (ХП) та визначити відповідне значення коефіцієнта гармонічних спотворень. У разі виникнення нелінійності у двох і більше розрядів АЦП, здійснити таке оцінювання з достатньою точністю неможливо внаслідок появи інтермодуляційних спотворень при аналізі послідовностей кількох вихідних розрядів. Це пояснюється наявністю помилок суперпозиції при дослідженні спектрів нелінійностей на базі ДПФ [5].

Останнім часом у зв'язку з інтенсивним розвитком комп'ютерних систем з ЦОС привертає увагу повна ортогональна система прямокутних функцій Уолша, що набувають двох значень  $+1$  та  $-1$ . Для базису дискретних функцій Уолша існує дискретне перетворення Уолша (ДПУ), яке є узагальненням ДПФ і має такий вигляд [1]:

$$X_w(k) = \sum_{m=0}^{N-1} x(m) \cdot Wal(k, m), \quad (1)$$

де  $Wal(k, m)$  – функції Уолша.

ДПУ послідовності, що відображає нелінійність АЦП для кожного спотвореного розряду формує лише одну частотну складову, що спрощує процес визначення поправки для коригування вихідного сигналу АЦП. Ефективним засобом прискорення спектрального аналізу вихідного сигналу АЦП є алгоритм швидкого перетворення Уолша (ШПУ), що базується на можливості обчислення коефіцієнтів ітераційним методом [4]. Основний принцип побудови алгоритмів швидкого перетворення у базисі Уолша – розбиття матриці Уолша на ряд слабкозаповнених матриць тієї ж розмірності таким чином, щоб кожний співмножник містив у рядку лише два ненульових елементи.

Ефективність методу визначення ДХ АЦП пропонується оцінювати за допомогою коефіцієнта продуктивності, який демонструє вигравш у кількості необхідних операцій для запропонованого методу порівняно з існуючим методом на базі ШПФ [6, 7]. Коефіцієнт продуктивності запропонованого методу дорівнює

$$G_s = \frac{2N \cdot \log_2 N + 3N - 1}{N[\log_2 N - 2]} . \quad (2)$$

Підставивши чисельні значення у (2), можна стверджувати, що коефіцієнт продуктивності залишається майже постійним залежно від обсягу вибірки (розрядності АЦП) і дорівнює  $2,5 \div 2,88$ .

### Висновки

У рамках запропонованого методу встановлено, що частотно-впорядковані функції Уолша мають таку ж періодичність, що і послідовності порушення лінійності АЦП. Тому їх можна застосовувати для аналізу нелінійності ХП АЦП. Встановлено, що нелінійність АЦП знаходить своє відображення у відповідній складовій у базисі Уолша. Причому наявність інтермодуляційних складових не спотворює спектр Уолша і не знижує точність визначення нелінійності АЦП.

Аналіз ефективності розробленого методу показав, що коефіцієнт продуктивності знаходиться в межах  $2,5 \div 2,88$ . При цьому аналіз нелінійності ХП АЦП реалізується на основі процедури композиції базової операції і з точки зору програмної реалізації це створює умови для організації програми з гнучким переналаштуванням на інший режим оброблення вихідних сигналів досліджуваного АЦП.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кестер У. Аналого-цифровое преобразование / Уолт Кестер. – М. : Техносфера, 2007. – 1016 с.
2. Бортник Г.Г. Методи та засоби аналого-цифрового перетворення високочастотних сигналів / Г.Г. Бортник, С.Г. Бортник, В.М. Кичак. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 128 с.
3. Бортник Г.Г. Швидкодіючий аналого-цифровий перетворювач підвищеної точності / Г.Г. Бортник // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2002. – № 5. – С. 47-50.
4. Бортник Г.Г. Дослідження інтегральної нелінійності аналого-цифрового перетворювача у базисі дискретних функцій Фур'є / Г.Г. Бортник, С.Г. Бортник // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – № 5. – С.117-119.
5. Бортник Г.Г. Метод аналого-цифрового перетворення високочастотних сигналів з додатковим шумоподібним сигналом / Г.Г. Бортник, О.В. Стальченко, К.О. Боярський // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах.–2015.– № 1.– С. 100-105.
6. Бортник Г.Г. Аналіз ефективності аналого-цифрового перетворення сигналів у радіотехнічних комплексах / Г.Г. Бортник, М.Л. Мінов, О.В. Стальченко // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2011. – № 2. – С.12-15.
7. Бортник Г.Г. Методи та засоби первинного цифрового оброблення радіосигналів / Г.Г. Бортник, М.В. Васильківський, В.М. Кичак. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – 168 с.

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

**Коваленко Андрій Валерійович** – аспірант кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [andrew.kovalenko4@gmail.com](mailto:andrew.kovalenko4@gmail.com)

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

**Kovalenko Andriy Valerievych** – postgraduate of the Department of Telecommunication Systems and Television, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [andrew.kovalenko4@gmail.com](mailto:andrew.kovalenko4@gmail.com)