

# Основні переваги застосування високорозрядних ЦАП з ваговою надлишковістю у системах прямого цифрового синтезу

Олексій Азаров, Леонід Крупельницький, Євгеній Генеральницький  
кафедра обчислювальної техніки,  
Вінницький національний технічний університет,  
м. Вінниця, Україна,  
[krupost@gmail.com](mailto:krupost@gmail.com)

## The main advantages of using the high-speed DAC with the weight redundancy redundancy with direct digital synthesis systems

Oleksyi Azarov, Leonid Krupelnitskyi, Yevhenii Heneralnytskyi  
department of computer technology,  
Vinnytsia National Technical University,  
Vinnytsia, Ukraine,  
[krupost@gmail.com](mailto:krupost@gmail.com)

**Анотація** — Показано, що побудова систем прямого цифрового синтезу Direct Digital Synthesizer з використанням ЦАП на основі надлишкових позиційних систем числення дозволяє не тільки підвищити сумарну точність та надійність за рахунок корекції ваг розрядів, але й зменшити рівень шумів за рахунок статистичного усереднення декількох послідовно використаних кодових еквівалентів вихідного сигналу.

**Anotation** — It is shown that the construction of direct digital synthesis systems Direct Digital Synthesizer with the use of a DAC based on redundant positional number systems allows not only to increase the total accuracy and reliability due to the correction of the discharge weights, but also to reduce the noise level due to statistical averaging of several consecutively used code equivalents of the output signal.

**Ключові слова** — Цифроаналоговий перетворювач, DDS-генератор, синтез цифрових сигналів, динамічні параметри ЦАП, прямий цифровий синтез, надлишкові позиційні системи числення, самокалібрування, відмовостійкість.

**Key words** — Digital-to-analog converter, DAC, DDS-generator, synthesis of digital signals, dynamic parameters of DAC, direct digital synthesis, redundant positioning systems, self-calibration, fault tolerance.

### I. ВСТУП

Пристрої цифрового синтезу знаходять все ширше коло застосування, проте більша частина цих синтезаторів з фазовим автопідстроюванням частоти (PLL) виконана на старій елементній базі та має низьку точність через аналоговий спосіб формування сигналів. Тому сучасні системи прямого цифрового синтезу реалізуються на сигнальних ЦАП, більшість з яких використовують двійкову систему числення. Якість вихідного сигналу синтезаторів сигналів залежить від статичних і динамічних параметрів ЦАП. Покращити їх можна шляхом самокалібрування, яке можливе при використанні ЦАП із ваговою надлишковістю (ВН). При цьому не потрібно використовувати в спеціальні еталонні сигнали, а вмонтоване джерело опорної напруги визначатиме лише масштаб вихідного сигналу. Поправка вводиться у цифровій формі, що не впливає на швидкість системи прямого цифрового синтезу Direct Digital Synthesizer (DDS) у цілому.

### II. МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ САМОКОРИГОВАНИХ ЦАП НА ОСНОВІ НПСЧ

Можливість програмної корекції похибок ваг розрядів ЦАП на основі надлишкових позиційних

систем числення (НПСЧ) для систем прямого цифрового синтезу дозволяє усунути технологічні, температурні, часові фактори, що можуть приводити до пропусків кодів та спотворення форми вихідного сигналу. У систем DDS на основі ЦАП на основі НПСЧ є можливість, знаючи точні значення реальних ваг розрядів, що беруть участь у перетворенні, одержати точне значення вихідного аналогового сигналу. Процедура самокалібрування дозволяє повністю усунути похибку ваг розрядів та значно підвищити точність DDS-генераторів [1,2,6].

Також саме для систем прямого цифрового синтезу з ЦАП на основі НПСЧ є можливість заздалегідь занести у пам'ять всі відліки вихідних сигналів які наперед відомі. При такому підході структура системи DDS взагалі не змінюється, а лише дещо збільшується об'єм пам'яті постійного

запам'ятовуючого пристрою через більше число розрядів ЦАП [3].

Збільшення лінійності передатної характеристики ЦАП на основі НПСЧ досягається при виконанні періодичної процедури визначення реальних старших ваг розрядів, на основі значень молодших ваг розрядів. Для цього до складу системи прямого цифрового синтезу (див. рисунок) була введена схема порівняння (СП), що використовується для реалізації алгоритму порозрядного врівноваження вагами розрядів ЦАП значень джерела опорної напруги (ДОН) та «нуля» [4,5].

Специфічними елементами для систем DDS з використанням ЦАП на основі НПСЧ є наявність пристрою коригування, який вносить результати коригування в запам'ятовуючий пристрій (ЗП).



Рисунок – Структура DDS-генератора з використанням ЦАП із НПСЧ

### III. ПЕРЕВАГИ ЗАСТОСУВАННЯ ЦАП ІЗ НПСЧ

Виділимо основні переваги використання ЦАП із НПСЧ для систем прямого цифрового синтезу:

- 1) можливість програмної корекції дійсних ваг розрядів ЦАП на основі НПСЧ за рахунок виміру їх реальних значень при виробництві і внесення цих значень в пам'ять генератора;
- 2) можливість самокоригування лінійності передатної характеристики ЦАП при виконанні періодичної процедури визначення реальних старших «неточних» ваг розрядів за рахунок значень молодших точних ваг розрядів;
- 3) можливість самокалібрування і компенсації похибок нуля та масштабу перетворення за рахунок використання джерела опорної напруги;

4) можливість збільшення відношення сигнал/шум за рахунок статистичного усереднення декількох ваг розрядів і їх комбінацій при відтворенні значень окремих відліків і сигналу в цілому;

5) можливість підвищення відмовостійкості системи прямого цифрового синтезу за рахунок компенсації функціональних та параметричних відмов ваг розрядів ЦАП.

Також можна означити деякі супутні труднощі використання ЦАП із НПСЧ для систем прямого цифрового синтезу:

- збільшення розрядної сітки «надлишкового» ЦАП порівняно з «двійковим»;
- деяке ускладнення апаратної частини та алгоритму при використанні самокалібрування.;

- збільшення об'єму пам'яті для запису результатів корекції .

Але вказані переваги використання ЦАП на основі надлишкових позиційних систем числення значно переважають всі означені недоліки.

Для побудови систем DDS на основі НПСЧ слід провести такі теоретичні та експериментальні дослідження:

- промодельовати та експериментально реалізувати процес програмної корекції вагів розрядів;

- створити модель та алгоритм методу коригування для систем DDS;

- розробити метод, структуру та схему калібрування зсуву «нуля» та похибки масштабу для ЦАП на основі НПСЧ в системах DDS;

- реалізувати метод зменшення шумів за рахунок багатоваріантного формування відліків сигналу ЦАП із НПСЧ для систем DDS;

- обґрунтувати умови підвищення відмовостійкості в системах DDS при функціональних та параметричних відмовах.

#### IV. ВИСНОВКИ

Виділено основні переваги та недоліки використання ЦАП на основі надлишкових позиційних систем числення. Закладено можливість програмної корекції дійсних вагів розрядів для

ЦАП на основі НПСЧ, що дозволить побудову точних систем прямого цифрового синтезу на неточних елементах. Запропоновано підходи до самокоригування, самокалібрування, зменшення рівня шумів та підвищення відмовостійкості системи. Поставлені задачі для подальших досліджень.

#### ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

1. Методи цифрового калібрування відмовостійкого ЦАП із ваговою надлишковістю / Азаров О. Д., Кадук О. В., Дудник О. В., Росощук А. В. // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія – 2011, №1, с. 4-13.
2. Кадук О. В. Багаторозрядні АЦП і ЦАП із ваговою надлишковістю, стійкі до параметричних відмов: [Монографія] / О.Д. Азаров, О. В. Кадук. — Вінниця: ВНТУ, 2010. — 150 с
3. Крупельницький Л.В., Азаров О. Д. Аналого-цифрові пристрої систем, що самокоригуються, для вимірювань і оброблення низькочастотних сигналів : монографія / Під заг. ред. О.Д. Азарова, - УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005.- 167 с.
4. Двотактні підсилювачі струму для цифрового аналізатора параметрів звукових трактів / Азаров О.Д., Крупельницький Л.В., Теплицький М.Ю. // Проблеми інформатизації та управління – Київ, НАУ, 2014 – №4 (48). С.5-13
5. Аналого-цифрове порозрядне перетворення на основі систем числення з ваговою надлишковістю / монографія Азаров О. Д. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 232 с.
6. Методи та засоби високоточного слідкувального аналого-цифрового перетворення з ваговою надлишковістю : монографія / О. Д. Азаров, О. В. Дудник. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 120 с.