

## **ФОРМУВАННЯ СТАНДАРТНИХ ЦИФРОВИХ МОДУЛЬОВАНИХ СИГНАЛІВ**

Огар В.І., Демкова Д.Д.

e-mail: valeriy.ogar@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки каф. КРiCTЗi  
м. Харків, Україна

This work examines the process of forming standard digitally modulated signals used to test the performance and sensitivity of digital communication receivers. The main mobile communication standards, their generation methods, and the application of DDS generators and Signal Studio software are analyzed. The use of these technologies enables precise testing and calibration of radio scanners.

Сучасні системи цифрового мобільного зв'язку базуються на використанні складних модульованих сигналів, які забезпечують ефективну передачу інформації. Для перевірки працездатності та чутливості приймачів цифрового зв'язку необхідно використовувати тестові сигнали, що відповідають реальним умовам експлуатації. Одним з методів генерації таких сигналів є використання DDS-генераторів (Direct Digital Synthesis) та програмного забезпечення Signal Studio. Це дозволяє відтворювати сигнали стандартів мобільного зв'язку, аналізувати їх спектральні характеристики та моделювати завадостійкість приймачів.

### **ОСНОВНІ СТАНДАРТИ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ**

Для забезпечення ефективного функціонування мобільних мереж зараз використовуються такі стандарти зв'язку:

- GSM/EDGE – використання фазової маніпуляції (GMSK, 8-PSK, 16QAM, 32QAM);
- W-CDMA/HSPA+ – модуляційні схеми QPSK, 16QAM, 64QAM;
- LTE/LTE-Advanced – технологія мультиплексування OFDMA (низхідний канал), SC-FDMA (висхідний канал) з часовим розподілом LTE TDD та з частотним розподілом LTE FDD;
- 5G NR – технології використання множинних піднесучих (OFDM), beamforming, MIMO.

### **DDS-ГЕНЕРАТОРИ У ФОРМУВАННІ СИГНАЛІВ**

Метод цифрового синтезу сигналів (DDS) широко застосовується для генерації тестових сигналів, що дозволяє:

- Отримувати високу точність відтворення сигналу;
- Формувати складні цифрові модульовані сигнали;
- Гнучко змінювати параметри сигналу в режимі реального часу;
- Відтворювати сигнали різних стандартів зв'язку для тестування

приймачів.

- Відтворювати сигнали глобальних навігаційних спутникових систем (GNSS)
- Відтворювати сигнали Bluetooth, WiMAX та ін.
- Відтворювати сигнали тестування апаратури

DDS – генератори (наприклад генератор типа N5172B фірми Agilent Technology (Keysight) [1]) мають високу точність формування рівнів сигналів і можливість підключення зовнішнього генератора опорної частоти, що дозволяє при використанні стандартів частоти отримати високу стабільність і точність частоти вихідного сигналу.

## ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ SIGNAL STUDIO

Програмне забезпечення Signal Studio від Keysight Technologies [2] використовується для:

- Генерації еталонних тестових сигналів;
- Моделювання та аналізу сигналів різних стандартів мобільного зв'язку;
- Додавання каліброваних спотворень для перевірки стійкості приймачів;
- Відтворення реальних сценаріїв роботи цифрових приймачів.

Програмне забезпечення Signal Studio дозволяє проводити детальні випробування обладнання, налаштовувати параметри сигналів та аналізувати їх спектральні характеристики, що критично важливо для перевірки радіосканерів.

## КАЛІБРУВАННЯ ТА ПЕРЕВІРКА ПРИЙМАЧІВ

- Формування стандартних цифрових модульованих сигналів необхідне для:
  - Оцінки чутливості приймачів цифрового зв'язку;
  - Аналізу впливу шумів та завад на якість сигналу;
  - Тестування роботи радіосканерів мобільного зв'язку та інших приймачів у реальних умовах [3,4];
  - Оптимізації параметрів приймально-передавальних пристроїв.

Використання DDS-генераторів та Signal Studio забезпечує високу точність тестування та калібрування, що дозволяє створювати надійні системи цифрового зв'язку.

Для контролю форми і спектра сформованого цифрового сигналу використовуються аналізатори спектра з можливістю вимірювання параметрів цифрових модуляцій – “зірчасті” діаграми – сузір'я, око- діаграми, модуль вектора помилки (EVM- Error vector magnitude).

## ВИСНОВКИ

Формування стандартних цифрових модульованих сигналів є важливим процесом у тестуванні та калібруванні пристроїв цифрового зв'язку. Застосування DDS-генераторів та програмного забезпечення Signal Studio дає змогу створювати тестові сигнали з високою точністю та проводити аналіз характеристик приймачів. Це сприяє покращенню якості мобільного зв'язку та підвищенню надійності роботи сучасних телекомунікаційних систем.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Keysight Technologies. Keysight Signal Generator Selection Guide. URL: <https://www.keysight.com/us/en/product/N5172B/exg-x-series-rf-vector-signal-generator-9-khz-6-ghz.html>
2. Keysight Technologies. ПО Signal Studio для створення сигналів. [Джерело: файл waveform signal.pdf]
3. Rohde & Schwarz. Огляд сканера R&S®TSME6. [Джерело: файл RS-TSME6\_brochure.pdf]
4. Олена Васильєва, Валерій Огар . Метод калібрування чутливості радіосканерів мобільного зв'язку. 13-та Міжнародна науково-технічна конференція «Інформаційні системи та технології ICT-2024», 26-28 листопада 2024.м.Харків,ХНУРЕ.