

УДК 621.396.62:[654.19:004.738.5]

РОЗРОБКА SDR-ПРИЙМАЧА ДЛЯ ІНТЕРНЕТ-РАДІО НА ОСНОВІ ESP32

Тесленко О.С.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Огар В. І.

email: oleksandr.teslenko@nure.ua

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

The article explores the possibilities of using SDR (Software Defined Radio) in the field of internet radio. In particular, it focuses on the implementation of an SDR receiver based on the ESP32 microcontroller, which efficiently decodes digital signals and converts them into audio using a Class D low-frequency amplifier. The system architecture, methods for improving signal quality, and features of working with data transmission protocols in wireless networks are analyzed.

Інтернет-радіо набуває все більшої популярності завдяки зростанню швидкості та доступності мережевого підключення. програмно визначеного радіо (SDR). SDR -приймачі [1, 2, 3] забезпечують гнучкість у прийманні та обробці сигналів, дозволяючи змінювати параметри роботи без необхідності апаратних модифікацій.

Одним із перспективних рішень у цій галузі є мікроконтролера ESP32, що має достатню обчислювальну потужність для цифрової обробки сигналів та підтримує бездротовий зв'язок

ESP32 – це 32-розрядний процесор з тактовою частотою 240 МГц, 520 Kbit оперативної пам'яті SRAM.

Система ESP32-PICO-D4 в пакетному модулі поєднує в собі процесор ESP32, кварцовий генератор, мікросхему 4 МВ флеш-пам'яті, конденсатори з фільтром та RF-з'єднання в єдиний пакет розміром 7 мм × 7 мм.

Вона є перспективною для можливості обробки сигналів у реальному часі і реалізації програмно визначеного радіо (SDR) завдяки вбудованому антенному перемикачу, радіочастотному симетруючому трансформатору (балуну), підсилювачу потужності, приймачу з низьким рівнем шумів, фільтрами. Живлення процесора здійснюється від напруги 3,3 В та завдяки оптимізованому керуванню [4] має надзвичайно низьке енергоспоживання: (5 мкА в режимі «Сон»).

Прийнятий сигнал обробляється за допомогою цифрового фільтра, який усуває сторонні перешкоди. Після цього здійснюється перетворення на низьку проміжну частоту і демодуляція сигналу, що дозволяє відтворювати аудіо з мінімальними втратами.

Для покращення якості прийому використовуються:

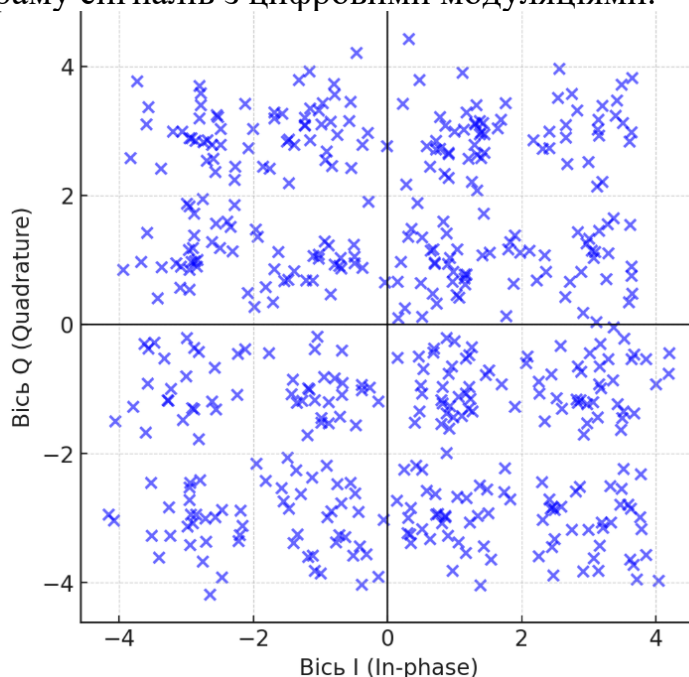
- Адаптивні фільтри, що зменшують рівень шуму;
- Корекція затримок у цифровому сигналі;

- Оптимізація живлення приймача для стабільності роботи.

Розширені можливості приймача:

Приєм частот у діапазоні 2-30 МГц. Дана система підтримує розширений діапазон частот від 2 до 30 МГц, що дозволяє приймати сигнали короткохвильового радіо (HF), включаючи аматорські та комерційні станції. Цей діапазон забезпечує можливість прийому радіосигналів на значні відстані, використовуючи іоносферне відбиття. Відображення спектра частот у форматі "водоспад" (Waterfall Display). Додано можливість графічної візуалізації спектра сигналів у реальному часі. Використовуючи Wi-Fi, система передає спектральні дані на мобільний пристрій або ПК, дозволяючи спостерігати зміну спектру у форматі "водоспаду", що спрощує аналіз радіочастотного середовища.

Цифрова модуляція "зіркова діаграма" (сузір'я). Система підтримує візуалізацію сигналів у вигляді сузір'я (Constellation Diagram), що використовується для аналізу цифрових модуляцій (QAM, PSK). Це дає змогу оцінювати якість прийому та коригувати параметри для покращення сигналу. Модулі Wi-Fi за стандартом 802.11 b/g/N та Bluetooth за стандартом B4.2 BR/EDR дозволяють інтегрувати систему з іншими бездротовими технологіями, передавати на екран мобільного телефона спектр сигналу, водоспад та зіркову діаграму сигналів з цифровими модуляціями.



Зіркова Діаграма (Сузір'я) QAM-16

Для програмування роботи процесора використовується мова програмування Arduino IDE з ESP32 Arduino Core. Розглянута система на базі ESP32 дозволяє ефективно реалізувати SDR-приймач для інтернет-радіо. Вона має низьке енергоспоживання, підтримує роботу в бездротових мережах та забезпечує високий рівень якості відтворення сигналу. Подальші

дослідження можуть бути спрямовані на розширення частотного діапазону приймача та інтеграцію з іншими бездротовими технологіями.

Використання підсилювача НЧ класу D дозволяє отримати якісне відтворення аудіо, знижуючи енергоспоживання системи.

Модулі Wi-Fi за стандартом 802.11 b/g/N та Bluetooth за стандартом B4.2 BR/EDR дозволяють інтегрувати систему з іншими бездротовими технологіями, передавати на екран мобільного телефону спектр сигналу, водоспад та зіркову діаграму сигналів з цифровими модуляціями.

Для програмування роботи процесора використовується мова програмування Arduino IDE з ESP32 Arduino Core.

Розглянута система на базі ESP32 дозволяє ефективно реалізувати SDR-приймач для інтернет-радіо. Вона має низьке енергоспоживання, підтримує роботу в бездротових мережах та забезпечує високий рівень якості відтворення сигналу. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розширення частотного діапазону приймача та інтеграцію з іншими бездротовими технологіями.

Список використаних джерел:

1. Zhang, X. Digital Signal Processing Techniques in SDR Radio Systems. – IEEE Transactions, 2023.
2. Brown, J. Implementation of ESP32-Based Radio Receivers. – Springer, 2022.
3. Smith, R. Software-Defined Radio for Wireless Communications. – CRC Press, 2021.
4. Wilson, P. Low-Power DSP Applications in Embedded Systems. – Elsevier, 2020.