

УДК 621.396

Ярошенко К.Р.<sup>1</sup>, Малий О.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. БК-511 НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

## **РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОГО БЛОКУ ДЛЯ РАДАРНОЇ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ДРОНІВ**

Сучасний розвиток безпілотних літальних апаратів, зокрема дронів, відкриває нові можливості у сферах логістики, сільського господарства,

охорони навколишнього середовища та багатьох інших галузях. Однак зростання кількості дронів у повітряному просторі потребує впровадження ефективних систем для їхнього виявлення, контролю та координації. Особливо важливим це є в умовах інтенсивного використання БПЛА поблизу аеропортів, захищених територій або об'єктів з підвищеним технічним навантаженням.

Метою цієї роботи є створення електронного блоку для радарної системи, який забезпечить точне та своєчасне виявлення безпілотних літальних апаратів у контрольованій зоні. Такий підхід сприятиме підвищенню рівня організації повітряного простору, запобіганню можливим конфліктам між об'єктами та загалом підвищить ефективність роботи систем моніторингу. Робота базується на сучасних технологіях радіолокації та аналізу сигналів, з урахуванням міжнародного досвіду в даній сфері.

Конструкція радіолокаційної системи складається з основних апаратних компонентів: передавача, приймача, антен, підсилювачів, мікшерів, генератора опорної частоти, а також програмованого радіо (Pluto SDR) представлена на рисунку 1.



Рисунок 1 – Конструкція радіолокаційної системи

Передавач генерує сигнал, що подається через підсилювач на антену, яка випромінює його в простір. Відбитий сигнал приймається другою антеною, обробляється в мікшері та надходить на аналого-цифровий перетворювач. Основою є SDR-пристрій, який дозволяє гнучко керувати параметрами сигналу з допомогою програмного забезпечення (наприклад, Python-бібліотека PyADI). Генератор ADF4159 з VCO використовується для формування лінійно змінного сигналу (CHIRP), що дозволяє визначити як відстань, так і швидкість цілі. Принцип дії базується на передаванні та

прийманні частотно-модульованого сигналу. Коли сигнал відбивається від об'єкта, він повертається із затримкою, яка залежить від відстані. Порівнюючи переданий і прийнятий сигнали, утворюється частота биття ( $f_{beat}$ ), яка дозволяє розрахувати відстань:

$$R = (c * f_{beat}) / (2 * B), \quad (1)$$

де  $c$  — швидкість світла,  $B$  — ширина смуги частот CHIRP.

Опис елементів конструкції:

Основними апаратними складовими системи є (рис. 2):

- SDR-модуль Pluto SDR — використовується як джерело передачі та прийому сигналів, має високу гнучкість у налаштуваннях частоти та пропускну здатності;
- генератор ADF4159 із зовнішнім VCO — формує лінійно-модульований сигнал (CHIRP), що дозволяє визначати відстань до об'єкта;
- мікшери LTC5548 — здійснюють пониження частоти сигналу до рівня, придатного для обробки;
- підсилювачі ADL8107 — використовуються як підсилювачі потужності (PA) на передачі та малопотужні підсилювачі (LNA) на прийомі;
- антенний масив (фазер) — дозволяє формувати напрям прийому.

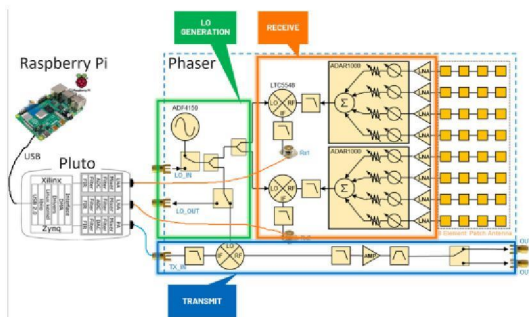


Рисунок 2– Блок схема радарної системи

Принцип дії системи полягає в генерації лінійно-модульованого сигналу (LFM-CHIRP), який випромінюється передавальною антеною. Сигнал відбивається від об'єкта і приймається антеною приймача. Після обробки сигналу на мікшерах і підсилювачах, він надходить до аналого-цифрового перетворювача Pluto SDR. За результатами обробки формується спектр beat-частот, з яких можна визначити відстань та швидкість цілі.

Під час обробки сигналу в Python використовується бібліотека PyADI, яка надає доступ до керування апаратними елементами. Дані аналізуються у частотній області за допомогою швидкого перетворення Фур'є (FFT).

Порівняно з імпульсними радарми, ця система має переваги:

- простіша реалізація без потреби в генерації високовольтних імпульсів;
- вища середня передавальна потужність;
- краща роздільна здатність за рахунок широкої смуги частот;
- можливість безперервного вимірювання швидкості та відстані.

Програмна частина дозволяє реалізовувати різні типи обробки: фільтрацію шумів, побудову спектрограм, трекінг цілей. Можна легко додати логіку класифікації об'єктів на основі амплітудних характеристик або моделей машинного навчання. Серед переваг цієї системи:

- низька вартість реалізації;
- компактність і простота конструкції;
- можливість програмного керування та модифікацій;
- придатність для освітніх цілей і дослідницької роботи;
- ефективність у виявленні малорозмірних об'єктів.

Тож варто зазначити, що реалізована система демонструє практичну можливість створення ефективного радара з використанням доступних засобів. Вона є хорошою основою для подальших вдосконалень і вивчення сучасних методів радіолокації.

Таким чином, запропонована система є не лише ефективною в задачах виявлення малих об'єктів, а й є гнучкою платформою для проведення експериментів та розробки сучасних радіолокаційних технологій.