

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет інформаційної безпеки та електронних комунікацій  
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра радіотехніки та телекомунікацій  
(повне найменування кафедри)

## Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)  
магістра  
\_\_\_\_\_ (ступінь вищої освіти)

на тему МЕТОДИКА ПЕРЕДАЧІ ТЕЛЕМЕТРІЇ БПЛА З  
ВИКОРИСТАННЯМ АУДІОКАНАЛУ АНАЛОГОВОГО  
ВІДЕОПЕРЕДАВАЧА

Виконав(ла): студент(ка) 2м курсу, групи БКз-913м

Спеціальності \_\_\_\_\_

172 «Електронні комунікації та радіотехніка»  
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація) \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ «Інформаційні мережі зв'язку»

\_\_\_\_\_ СТЕЛЬМАХ Р.В.  
(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_ КОСТЕНКО В.О.  
(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**  
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет Інформаційної безпеки та електронних комунікацій  
 Кафедра Радіотехніки та телекомунікацій  
 Ступінь вищої освіти магістр  
 Спеціальність 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»  
 (код і найменування)  
 Освітня програма (спеціалізація) Інформаційні мережі зв'язку  
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. завідувача кафедри РТТ  
 к.ф.-м.н., доц. Сергій САМОЙЛИК  
 «    » грудня 2024 року



**ЗАВДАННЯ**  
**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)**

СТЕЛЬМАХУ Роману Васильовичу

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Методика передачі телеметрії БПЛА з використанням аудіоканалу аналогового відеопередавача

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доцент КОСТЕНКО Валер'ян Остапович

(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «15» жовтня 2024 року №416

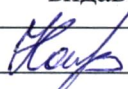
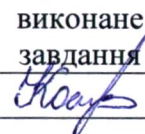
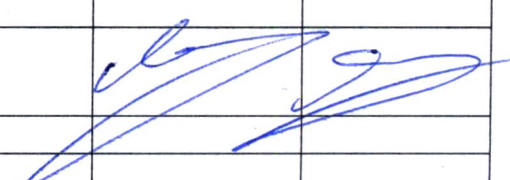
2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 10 грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Параметри, що передаються у вигляді телеметрії у БПЛА, моділяція та тип каналу передачі аудіо в аналогових відеопередавачах

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Призначення та способи передавання телеметрії БПЛА, Методика передавання даних по аудіоканалу, Розробка структури та принципи роботи системи передавання телеметрії через аудіоканал аналогового відеопередавача, Проведення експериментів та аналіз отриманих результатів


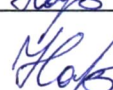
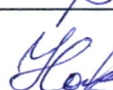
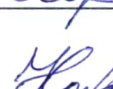
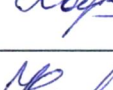
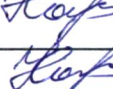
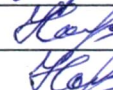
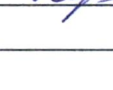
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів) презентація роботи в PowerPoint

## 6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-4	КОСТЕНКО В.О., к.т.н., доцент		
Нормо-контроль	МОРОЗ Г.В., ст. викладач		

7. Дата видачі завдання «02» вересня 2024 року.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Пошук та вивчення наукових джерел	02.09-01.10	
2	Аналіз призначення та способів передавання телеметрії БПЛА	02.10-14.10	
3	Розробка методики передавання даних по аудіоканалу	14.10-24.10	
4	Розробка структури та принципів роботи системи передавання телеметрії через аудіоканал аналогового відеопередавача	24.10-02.11	
5	Проведення експериментів та аналіз отриманих результатів	24.10-02.11	
6	Оформлення пояснювальної записки	02.11-02.12	
7	Перевірка ПЗ на добросовісність	08.12	
8	Створення презентації у Power Point	10.12	
9	Захист		

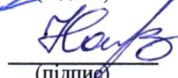
Студент(ка)



Роман СТЕЛЬМАХ

(ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)



Валер'ян КОСТЕНКО

(ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи: 69 с., 11 табл., 35 рис., 15 джерел.

ЧАСТОТА, ВІДЕОСИГНАЛ, ПЕРЕДАВАЧ, ПРИЙМАЧ, ЗВУК, ЧАСТОТНА МОДУЛЯЦІЯ, БПЛА.

Мета роботи – розробка методики передавання телеметрії БПЛА у схованому вигляді засобами відеопередавача аналогового відеосигналу по аудіоканалу.

Об'єкт дослідження – принципи та алгоритми передачі телеметричних даних БПЛА з використання аналогових передавачів відеосигналу.

Предмет дослідження – пристрій, що дозволяє здійснювати передавання даних телеметрії з використанням аудіоканалу відеопередавача.

У магістерській роботі досліджується методика використання аудіоканалу бездротових аналогових відеопередавачів для схованої передачі телеметрії від БПЛА до оператора.

## ЗМІСТ

	С.
Скорочення та умовні позначки .....	6
Вступ.....	7
1 Призначення та способи передавання телеметрії БПЛА .....	9
1.1 Параметри, що передаються БПЛА засобами телеметрії .....	9
1.2 Телеметрія через прийомо-передавач керування .....	11
1.3 Передавання телеметрії шляхом накладення на відеозображення.....	11
2 Методика передавання даних по аудіоканалу.....	14
2.1 Огляд використання звукового каналу для передачі даних .....	14
2.2 Аудіоканал в бездротових аналогових відеопередавачах, що використовуються в БПЛА .....	18
2.3 Запропонована методика передачі даних засобами аудіоканалу.....	20
3 Розробка структури та принципи роботи системи передавання телеметрії через аудіоканал аналогового відеопередавача .....	26
3.1 Структура методики передавання телеметрії через аудіоканал.....	26
3.2 Реалізація передачі даних засобами аудіоканалу .....	28
3.3 Реалізація зворотнього перетворення аудіоданих на дані телеметрії з виведенням на пристрій відображення .....	41
4 Проведення експериментів та аналіз отриманих результатів.....	58
4.1 Перевірка надійності передачі даних засобами аудіоканалу .....	58
4.1.1 Середовище експериментів для вимірювання ефективності запропонованого методу.....	58
4.1.2 Перевірка працездатності запропонованого способу.....	61
4.3 Отримання телеметрії з польотного контролеру та накладання параметрів на зображення на приймальній стороні .....	65
Висновки .....	67
Перелік джерел посилань .....	68

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

- FPV – First Person Vision
- OSD – On Screen Display
- DSL – Digital Subscriber Line
- CRC – (Cyclic Redundancy Check) циклічний надлишковий код
- FSK – Frequency Shift Keying
- БПЛА – беспілотний літальний апарат
- ШПФ – швидкое перетворення Фур'є

## ВСТУП

В умовах військових дій як правило дані керування передаються лише в одну сторону та відключається телеметрія по каналу керування з метою зменшити ймовірність втрати керування та зменшити радіочастотну помітність БПЛА. Відповідно, телеметричні дані, що дозволяють пілоту, що проводить віддалене керування, передаються шляхом накладання їх на відеозображення і передаються разом з відеопотоком.

Для забезпечення віддалених польотів зі збереженням можливості віддаленого керування з візуальним контролем, в умовах дії радіоелектронних завад, в БПЛА достатньо часто використовуються аналогові передавачі відеосигналу від дрону до оператора. Використання саме аналогового відеосигналу дозволяє не повністю втрачати відображення відеопотоку при дії як природніх так і штучних завад, а отримувати лише зашумлення яке хоч і створює незручності але дозволяє візуально проводити керування або вивести БПЛА з зони дії завад.

Основним недоліком аналогової бездротової передачі відео є можливість його перехоплення з подальшим переглядом. В умовах військових дій при перехопленні аналогового відеосигналу супротивник отримує також дані телеметрії, що може створювати небезпеку пілоту адже на даних телеметрії можуть бути параметри, що можуть демаскувати місцезнаходження пілота і призвести до його ураження артилерійським чи іншим озброєнням дальньої дії. Отже передача даних телеметрії має бути схована і передаватись таким чином, щоб навіть у разі перехоплення відеосигналу супротивник не бачив даних про місцезнаходження пілота.

Під час керування БПЛА особливо при військовому використанні передавання звуку не використовується при тому, що майже кожен аналоговий відеопередавач, представлений на ринку, має вбудований

звуковий вхід, а приймач відповідно вбудований звуковий вихід і відповідно при бездротовій передачі є піднесуча передачі аудіоканалу. Отже виходить, що аудіоканал при військовому каналі не задіяний і його можна використати для передавання інформації.

В магістерській роботі пропонується розробити методику передавання даних телеметрії по аудіоканалу аналогового відеопередавача, що дозволить сховати технічні данні при можливому перехопленні відео. Додаткове шифрування даних дозволить майже повністю унеможливити несанкціонований перегляд даних телеметрії.

# 1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА СПОСОБИ ПЕРЕДАВАННЯ ТЕЛЕМЕТРІЇ БПЛА

## 1.1 Параметри, що передаються БПЛА засобами телеметрії

Основні вимоги швидкості передачі даних від бортових сенсорів БПЛА сформульовані в стандарті НАТО STANAG 4609 Edition 2 і в другій редакції "Посібники з реалізації" цього стандарту AEDP-8. Мета стандарту – підвищення здатності до взаємодії між системами контролю та управління (СЗІ) НАТО у питаннях обміну цифровими мультимедійними зображеннями (телевізійними, радіолокаційними тощо), у тому числі формованими на борту БПЛА.

Основа вимог до каналів передачі – якість мультимедійної інформації. Воно характеризується розрядністю та формою пікселів, їх кольоровістю, а також кількістю пікселів у кадрі зображення, частотою кадрів, форматом кадру (співвідношенням сторін), ступенем стиснення зображення, ймовірністю появи помилкових пікселів у кадрі, типом зображень та їх вмістом. Звичайно, для зниження необхідної швидкості передачі даних в режимі повітряної розвідки може використовуватися і покадрова передача фотографій замість потокового відео, проте при цьому необхідна додаткова ідентифікація цілей, що особливо рухаються або маневрують. Сказане відноситься не тільки до телевізійних, а й до зображень радіолокацій. З іншого боку, завдання ідентифікації ускладнюється коливаннями платформи БПЛА. Перехід до відеоданих дозволяє спростити ідентифікацію цілей, що рухаються, тому передача цифрових відеопотоків стала стандартною вимогою до бортових сенсорів сучасних БПЛА. Спільноти користувачів НАТО виконують різноманітні місії, які потребують різних систем формування рухомих зображень. Доступні користувачам смуги пропускання

також відрізняються в межах. Тому стандарт STANAG 4609 класифікує всю сукупність МІ за рівнем складності.

Основні з параметрів що передаються у вигляді даних телеметрії є:

- швидкість від GPS;
- висота за GPS;
- висота від датчика тиску;
- смуга, що показує підйом за датчиком тиску BMP085;
- швидкість опускання/підйому показана числом (з датчиком тиску BMP085);
- таймер польоту;
- LOS/Дистанція до дому;
- напруга акумулятора;
- струм батареї;
- МАГ використано;
- напрямок додому;
- розташування площини землі відносно БПЛА;
- малі GPS координати;
- сигналізація низької напруги;
- меню керування за допомогою RC-трансмівера;
- напрямок площини відносно вашого початкового положення (використовується для наведення антени тощо);
- RSSI і якість зв'язку;
- кількість супутників;
- середня швидкість мах/км;
- поточна швидкість мах/км;
- скільки залишилося кілометрів із поточним використанням;
- позивний;
- різні функції запуску для польотного таймера;
- контроль температури (для метеорологічної кулі) і т.д.

## **1.2 Телеметрія через прийомо-передавач керування**

Застосовуватися телеметрія може у принципі на вирішення різних завдань під час організації польоту. Наприклад, за її допомогою можна буде оперативно виконати зміну робочих режимів. Надалі за рахунок отриманої інформації можна буде на карті Google переглянути траєкторію, якою відбувався політ.

Якщо на квадрокоптері буде застосовуватися телеметрія, це дозволить повноцінно контролювати пристрій, але головне індивідуально налаштовувати робочі параметри FPV дрону. Єдина подібна реалізація не дозволить завантажувати прошивку контролера АРМ.

У будь-якому випадку використання телеметрії – це буде виправдано, як мінімум за рахунок підвищення зручності використання та мобільності. Система даного виду пропонується у великому асортименті, тому з її вибором не виникне складнощів і навіть її можна буде підібрати, орієнтуючись виключно на власні вимоги. Але тут найголовніше буде якість, тому при виборі не потрібно економити і краще, якщо розглядати товар, представлений перевіреним та відомим брендом.

Телеметрія також дозволить чітко контролювати відстань зі стартової точки, напрямок польоту, розташування. Інформація, яка передаватиметься від датчиків, надходить на окуляри оператора або монітор. Одним словом, наявність телеметрії дозволить повністю контролювати політ, забезпечуючи цим ще більшу ефективність та безпеку використання літального апарату.

## **1.3 Передавання телеметрії шляхом накладення на відеозображення**

В умовах бойових дій передавати телеметрію по каналу керування не дуже безпечно бо демаскує місцезнаходження БПЛА та дає змогу зламати

канал керування через виявлені частоти керування. Тому в більшості випадків зв'язок на БПЛА організовується в односторонньому порядку – від оператора до дрона лише керування, від дрона до оператора лише відеосигнал. Відповідно для контролю параметрів телеметрію БПЛА накладають у вигляді тексту на відеозображення, що передається від БПЛА до оператора.

OSD це скорочення від On Screen Display, переклад – “на екрані дисплея”.

OSD, OSD-меню, OSD-текст, OSD-інформація це текстова або графічна інформація, що відображається поверх основного зображення, що надходить на дисплей, як правило, від відеокамери. За бажанням можна вигадати й інші джерела відеосигналу, на які необхідно накласти додаткову інформацію.

Типовим прикладом OSD-меню є меню будь-якого сучасного телевізора. Безглуздо для встановлення параметрів телевізора використовувати окремий дисплей, коли є величезний екран.

Широко використовується OSD-інформація у системах відеоспостереження, цифрових фотоапаратах, стільникових та стаціонарних телефонах. Практично у всіх пристроях, які мають дисплей.

Загалом система виглядає так. На OSD-контролер подається вихідний (фоновий) аналоговий відеосигнал, а на виході контролера формується відеосигнал із додатковою текстовою та графічною інформацією.

Існує досить простий і дешевий спосіб реалізації OSD-контролера. Це використання OSD-генератора – мікросхеми MAX 7456.

Ця мікросхема дозволяє накласти на стандартний відеосигнал текстову та графічну інформацію. У разі відсутності відеосигналу мікросхема сама сформує його. Тобто. MAX7456 може використовуватися як генератор відеосигналу, служити своєюрідною відеокартою (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Мікросхема MAX7456

У більшості сучасних польотних контролерів мікросхема MAX7456 або її аналог впаюються прям на плату.

## 2 МЕТОДИКА ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ ПО АУДИОКАНАЛУ

### 2.1 Огляд використання звукового каналу для передачі даних

Попередні дослідження вивчали використання аудіо для передачі даних між комп'ютерними пристроями в багатьох контекстах. Модеми є першим прикладом використання звуку для передачі даних «точка-точка».

Найпоширенішими технологіями, що використовуються для модемів, є DSL (Digital Subscriber Line) і ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line). DSL дозволяє передавати дані через стандартні телефонні лінії, використовуючи діапазон частот, що не заважає телефонним дзвінкам. ADSL, своєю чергою, забезпечує асиметричну швидкість передачі, де завантаження відбувається швидше, ніж відправка (рис. 2.1).

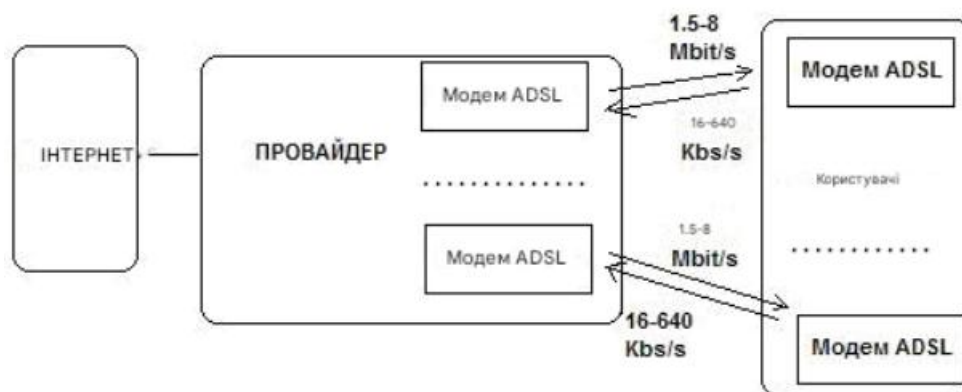


Рисунок 2.1 – Типовий обмін даними між абонентами з використанням ADSL модемів

Обмін даними між ADSL модемами йде трьох різко рознесених між собою частотних модуляціях (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Частотні діапазони роботи ADSL модему

Як видно з рисунку 2.2, голосові частоти (1) зовсім не задіяні у прийомі/передачі даних, і використовуються виключно для телефонного зв'язку. Смуга частот прийому даних (3) чітко розмежована з смужкою, що передає (2). Таким чином, на кожній телефонній лінії організуються три інформаційні канали – вихідний потік передачі даних, вхідний потік передачі даних і канал звичайного телефонного зв'язку. Технологія ADSL резервує смугу частот шириною 4 кГц для використання звичайного телефонного зв'язку або POTS – Plain Old Telephone Service (простий старий телефонний зв'язок). Завдяки цьому телефонну розмову можна вести одночасно з прийомом/передачею не знижуючи швидкості пересилання даних.

У модемних підключень максимальна теоретична швидкість становить 56 кбіт/с (при використанні протоколів V.90 або V.92), хоча на практиці швидкість рідко перевищує 40-45 кбіт/с, а в переважній більшості випадків тримається на рівні не більше 30 кбіт/с. Такі фактори, як шум у телефонній лінії та якість самого модему відіграють велику роль у значенні швидкостей зв'язку. У деяких випадках, в особливо шумній лінії швидкість може падати нижче 15 кбіт/с. У телефонного з'єднання через модем зазвичай великий час затримки, що сягає 400 мілісекунд або більше.

Нещодавно дослідники досліджували використання передачі аудіо в контекстно-зрозумілих обчислювальних програмах: Мадхавapedі та інші описують кілька методів модуляції для аудіомережі, включаючи фізичний

рівень, який використовує нечутний звук для передачі даних. Це дослідження продемонструвало швидкість передачі даних 8 біт/с з точністю 95%.

Паскаль Білер вивчав використання нечутних частот, щоб допомогти відвідувачам музею зрозуміти роботи, і розробив систему Smart Guide, яка передає 8 біт даних за 208 мс [3]. Хоча використовувалися високі нечутні частоти, через швидку зміну частот виникав шум, що погіршувало правильність. Після цього дослідження Кім запропонував використовувати ці частоти та смартфони користувачів для автентифікації користувачів замість того, щоб вимагати окремий маркер безпеки [9], але для передачі сигналу знадобилося багато часу; отже, це не буде ефективним методом передачі даних. Чунг запропонував технологію бездротового керування, модифікувавши метод обробки сигналу, запропонований Білером [6]. Він показав 96% успіху на відстані 7 метрів, але він був оптимізований для керування пристроями та не підходить для передачі даних. З цих причин дослідження щодо використання нечутних частот як носіїв бездротової передачі даних були обмежені лише кількома областями, такими як передача тригерних сигналів або надсилання ключів автентифікації.

Пристрій, що надсилає, відображає кожен біт у даних на певну частоту, створює сигнал шляхом змішування відображених частот відповідно до значень даних і передає сигнал. Приймальний пристрій перевіряє нечутні високі частоти та може витягувати дані, декодуючи бітові значення, зіставлені з частотами сигналу. CRC використовується для виявлення помилок передачі. Цей метод може регулювати значення змінних. Тобто його перевага полягає в тому, що він може контролювати баланс між швидкістю передачі та точністю. Щоб довести його здійсненність, були проведені експерименти з використанням різних змінних. Сорок біт було передано за 92 мс при налаштуванні високої швидкості, і рівень успіху становив близько 99,8% при налаштуванні високої точності. Ми порівняли цю продуктивність із системою Smart Guide, запропонованою Bihler.

Чунг запропонував новий алгоритм для дистанційного керування розумними пристроями, використовуючи метод передачі сигналу систем передачі даних, запропонований Білером . Ця система надсилає три частоти одночасно шляхом поєднання одного керуючого сигналу та двох базових сигналів, 19 кГц і 22 кГц. Приймач приймає команду, коли керуючий сигнал розпізнається протягом попередньо визначеного періоду часу, який називається порогом. Цей метод може нормально керувати пристроями, навіть якщо частина сигналу втрачається або виникає шум. Незважаючи на те, що цей метод показав 100% успішність на відстані 2 м як у приміщенні, так і на вулиці без урахування будь-якого шуму, він зосереджувався лише на керуванні пристроями, тому не підходить для передачі даних.

Кім запропонував метод аутентифікації користувачів смартфонів за допомогою високих нечутних частот, при цьому одна частота генерується на кожному стереоканалі. При отриманні біта, який представлений комбінацією двох частот чотири рази, цей метод розпізнає його як один виклик, але для розпізнавання 2-байтового виклику потрібно 8 с. Незважаючи на те, що цей метод використовує смартфони як апаратні токени і таким чином мінімізує незручності, він надто повільний, щоб використовувати його для передачі даних.

Як згадувалося раніше, існуючі дослідження включали винайдення методів бездротової передачі даних, які використовують нечутні високі частоти для надсилання невеликих обсягів даних; однак вони мають обмеження щодо передачі даних і не можуть використовуватися в різних областях. Тому, якщо ми розробимо нову технологію з високою швидкістю передачі даних, бездротовий зв'язок на нечутних високих частотах зможе використовуватися в більш різноманітних сферах.

На рисунку 2.3 зображено загальну архітектуру методу передачі в рамках приміщення з використанням динаміка та мікрофону.

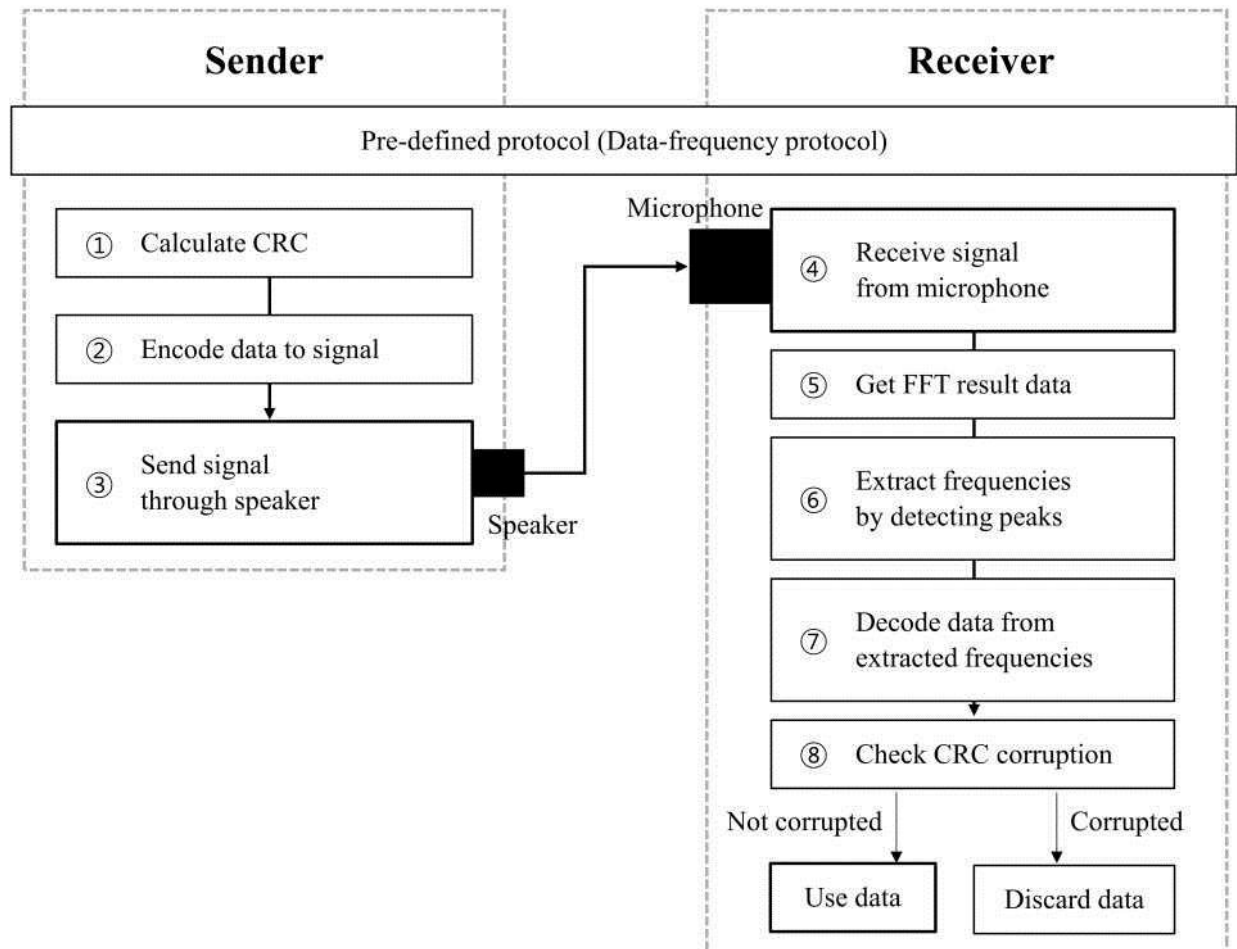


Рисунок 2.3 – Загальна архітектура методу передачі в рамках приміщення з використанням динаміка та мікрофону

## 2.2 Аудіоканал в бездротових аналогових відеопередавачах, що використовуються в БПЛА

В аналогових відеопередавачах, що використовуються в БПЛА, застосовується частотна модуляція сигналу. Частотна модуляція (FSK) передає інформацію шляхом зміни частоти несучої каналу. У цьому методі амплітуда і фаза хвилі постійні. Тому наші символи модулюють частоту (рис. 2.4). Робота приймача зводиться до перевірки гучності всіх частот, на яких

можуть з'являтися символи. Знаходження максимуму в попередньо визначеній смузі дасть нам переданий символ.

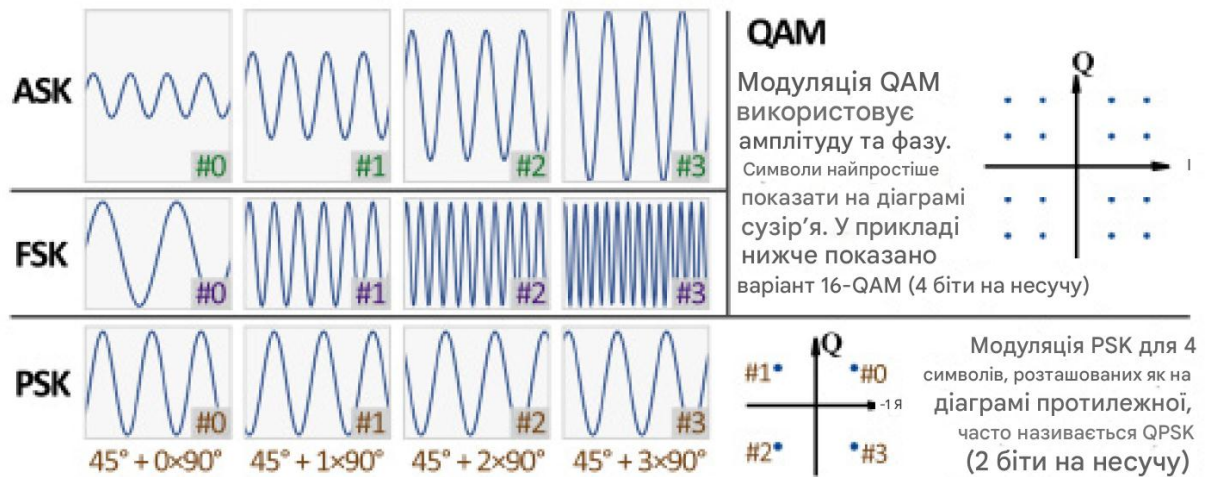


Рисунок 2.4 – Основні методи цифрової модуляції

Загалом принцип передачі відео та аудіо сигналу аналоговими відеопередавачами повністю повторює принципи телебачення, а отже має ті самі характеристики щодо передачі зображення та звуку.

Повний телевізійний сигнал кольорового аналогового телебачення є сукупністю трьох сигналів: відеосигналу, що несе інформацію про яскравість зображення, кольоровий піднесе з закодованою інформацією про колір зображення, і звукового сигналу. Кожен із перелічених сигналів передачі на відстань використовує свою несучу частоту, яка визначається конкретним стандартом телевізійного мовлення і номером каналу. Різниця несучих частот відеосигналу і звуку строго стандартизована в кожній країні і не залежить від номера каналу мовлення, що використовується. Прийнято аналоговий мовний стандарт, що передбачає фіксовану різницю несучих відеосигналу та звуку в 6,5 МГц.

Для передачі звуку разом із телевізійним зображенням у всіх системах із негативною полярністю відео використовується частотна модуляція,

аналогічна FM-радіо. Інші системи з позитивною полярністю передбачають амплітудну модуляцію звукової несучої. У системах із частотною модуляцією можлива передача стереозвуку за технологіями, аналогічними FM-радіостанціям.

У кожному стандартному радіоканалі шириною 8 МГц крім ТБ сигналу передається відповідний сигнал звукового супроводу. Причому радіосигнал звукового супроводу передається за допомогою ЧМ несучої частоти звуку, що забезпечує високу стійкість до перешкод тракту звукового супроводу. Максимальна девіація частоти становить  $\pm 50$  кГц при номінальній ширині смуги частот, що займає радіосигнал звукового супроводу, не більше 0,25 МГц. Для використання загальної антенно-фідерної системи в радіопередаючих пристроях і загального підсилювального тракту для посилення ТБ сигналу та сигналу звукового супроводу в телевізорах прийнято передавати сигнал звукового супроводу на частоті, що несе, близької до несучої частоти зображення. Насправді рознесення несучих частот звуку і зображення становить 6,5 МГц, причому несуча частота зображення менше частоти звуку, що несе. Різні види модуляції ТБ та звукового радіосигналів значною мірою полегшують їх поділ у телевізорах. На практиці потужність радіопередавача звукового супроводу становить 10-20% від потужності ТВ радіопередавача в моменти передачі СІ.

На передавачі БПЛА з метою запобігання зашумленню зовнішнім середовищем бажано випаювати мікрофон навіть враховуючи те, що пропонується використовувати частоти, що знаходяться в нечутній для людини полосі.

### **2.3 Запропонована методика передачі даних засобами аудіоканалу**

Ми пропонуємо новий метод бездротової передачі телеметрії на основі сигналу, змішаного з кількома акустичними частотами в діапазоні на верхній

межі сприйняття вухом людини. Пристрій-відправник надсилає сигнал, що складається із суміші нечутних частот, кожна з яких представляє комбінацію біт даних, а пристрій-одержувач відновлює біти даних, декодуючи сигнал, який він отримує через аудіовхід. Пропонується використання CRC для виявлення помилок під час процедур розпізнавання. Цей метод дозволяє передавати дані на основі звукових сигналів з високою точністю та високою швидкістю передачі.

У цьому методі використовується метод частотної модуляції (FSK) із частотами 18 кГц і 20 кГц як сигнальні біти. Він генерує одну частоту за 26 мс, щоб надіслати одну бітову комбінацію, що означає, що він надсилає 8 бітових комбінацій за 208 мс, і використовує код Хеммінга для зменшення частоти помилок.

Динаміки та мікрофони, обладнані останніми смарт-пристроями, можуть генерувати або розпізнавати звукові частоти до 24 кГц. Таким чином, запропонований метод надсилає дані, використовуючи частину області 18-24 кГц, яку люди не чують. Відправник перетворює дані на нечутний високочастотний сигнал і надсилає його, а приймач отримує сигнал і перетворює його на дані. Відправник і одержувач заздалегідь визначають протокол частоти даних (DFP), який необхідний для зв'язку один з одним. Відправник генерує дані CRC і об'єднує їх у дані для надсилання, кодує цілу послідовність бітів у сигнал змішаної частоти і подає на аудіовхід передавача що має звукову піднесучу.

Приймач отримує на аудіовиході змішаний частотний сигнал, надісланий мовцем, і декодує дані за допомогою наступних процесів:

- визначає, які частоти містяться в сигналі, використовуючи метод швидкого перетворення Фур'є (ШПФ);
- виділяє дійсні значення частоти через процедуру виявлення піку;
- декодує з частотних даних у бітові дані на основі попередньо визначеного DFP;

- перевіряє, чи є помилки в декодованих даних за допомогою CRC;
- відкидає дані, якщо вони пошкоджені, або використовує дані, якщо вони правильні.

Відправник кодує дані в нечутний високочастотний сигнал за допомогою DFP. Кожна комбінація біт у даних зіставляється з певною частотою, частоти відрізняються одна від одної, і мають захисну смугу на кожному кінці своєї зіставленої частоти, щоб уникнути перетинання між бітовими комбінаціями. Тому, як наведено на рисунку 2.5, частота, яка представляє окремий біт, є центральним значенням захисної смуги пропускання.



Рисунок 2.5 – Охоронні частотні смуги бітових комбінацій

Діапазон бітів – це довжина захисної смуги біта. Наприклад, якщо ми встановимо захисну смугу пропускання на 50 Гц, діапазон бітів буде 100 Гц, і якщо цей діапазон бітів є ділянкою від 18 кГц до 18,1 кГц, частота, яка відображається з цією бітовою комбінацією, є центральним значенням, 18,05 кГц.

Кожна бітова комбінація, що складається з одного набору даних, має однаковий діапазон бітів, і біти розташовані послідовно у всій частотній області. Тобто, якщо бітовий діапазон становить 100 Гц, а довжина даних 10 бітових комбінацій, частотна область матиме необхідну довжину 1 кГц і може бути розміщена в будь-якій області в діапазоні 18-24 кГц, наприклад

18-19 кГц. Обрана область називається діапазоном частот. На рисунку 2.6 зображено діапазон частот 18-19 кГц, який розділений тонкими чорними вертикальними лініями на десять ділянок. Сірі лінії зображують центральні значення кожної секції та вказують положення частот, які відображаються у відповідних бітах.

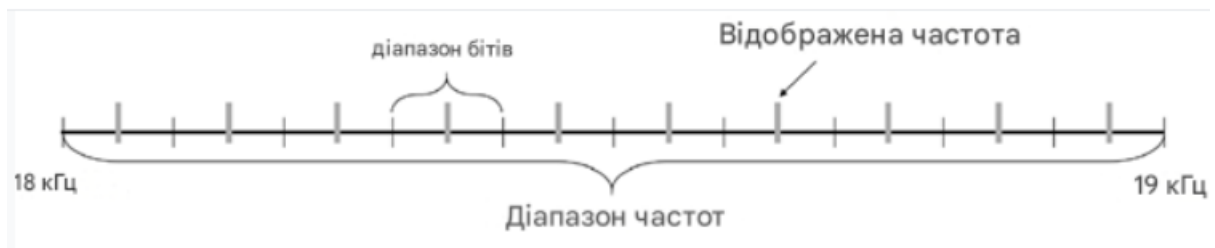


Рисунок 2.6 – Діапазон частот 18-19 кГц з діапазоном бітів 100 Гц, який використовується для надсилання десяти бітових комбінацій даних

Для успішної передачі даних слід визначити як діапазон бітів, так і діапазон частот. Отже, ми визначаємо рівняння DFP, щоб охопити їх обидва, і представляємо його як рівняння (2.1):

$$DFP = (B_r, f_r) \quad (2.1)$$

де  $B_r$  – бітовий діапазон;  
 $f_r$  – частотний діапазон.

Наприклад, якщо діапазон бітів становить 100 Гц, а діапазон частот – 18-19 кГц, DFP представлено як  $DFP = (100 \text{ Гц}, 18-19 \text{ кГц})$ , а довжина даних має становити 10 бітових комбінацій.

Комбінація з 10 бітів не є оптимальною бо не надає змоги розділити потік даних на однакові пакети в двійковій системі тому маючи можливість роботи в більш широкому діапазоні ніж 1кГц було прийнято рішення

кодувати 16 комбінацій однією частотою з кроком 100Гц. В таблиці 2.1 наведено відповідності бітових комбінацій частотам.

Оскільки в одну комбінацію входить одразу 4 біти – дані передаються в 4 рази швидше.

Час, необхідний для одноразового отримання даних, залежить від того, скільки зразків звуку отримує приймач. Розумні пристрої можуть регулювати кількість зразків звуку, які вони отримують за 1 с під час запису; це число називається частотою дискретизації (SR) і пов'язане з максимальною частотою, яку може розпізнати приймач.

Таблиця 2.1 – Відповідність бітових комбінацій частотам передачі

№ комбінації	Комбінація	Частота	№ комбінації	Комбінація	Частота
1	0000	18,05 кГц	9	1000	18,85 кГц
2	0001	18,15 кГц	10	1001	18,95 кГц
3	0010	18,25 кГц	11	1010	19,05 кГц
4	0011	18,35 кГц	12	1011	19,15 кГц
5	0100	18,45 кГц	13	1100	19,25 кГц
6	0101	18,55 кГц	14	1101	19,35 кГц
7	0110	18,65 кГц	15	1110	19,45 кГц
8	0111	18,75 кГц	16	1111	19,55 кГц

Якщо приймач записує 48000 вибірок в секунду, SR дорівнює 48000, і він може розпізнавати звук з частотами до  $48000/2 = 24000$  Гц, згідно з теоремою Найквіста-Шеннона. Крім того, запропонований метод вимагає мінімальної кількості звукових зразків, необхідних для вилучення даних із сигналів; ця необхідна кількість звукових зразків називається розміром вибірки (SS). Отримані звукові зразки є дискретними фігурами звукової

хвилі; отже, ми повинні виділити частоти в цих зразках за допомогою ШПФ для декодування даних. Точність і час обробки ШПФ змінюються залежно від значення  $SS$ . Коли значення  $SS$  збільшується, результат ШПФ стає більш точним. Далі, після завершення ШПФ, приймач витягує бітові дані з результатів ШПФ, використовуючи модифіковану техніку маніпуляції «ввімкнено-вимкнено».

Код Хеммінга, який пропонується використовувати в методиці, може виявити лише до двох бітових помилок, що поступається нашому методу, який може виявити кілька бітових помилок. З цієї причини ми використовуємо техніку циклічної перевірки надмірності (CRC) для пошуку помилок.  $m$  бітів даних, які використовуються для CRC, не надсилаються окремо, а приєднуються до хвоста справжніх даних і надсилаються разом. Якщо  $m = 4$ , наприклад, останні 4 біти даних призначені для виявлення помилок, а решта бітів є реальними даними. Хоча біти CRC не використовуються для телеметрії, цей метод включає їх під час обчислення довжини, яку він надсилає. Одержувач відкидає дані, для яких він розпізнає помилки через CRC, і приймає дані, якщо помилок немає.

### 3 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ТА ПРИНЦИПИ РОБОТИ СИСТЕМИ ПЕРЕДАВАННЯ ТЕЛЕМЕТРІЇ ЧЕРЕЗ АУДІОКАНАЛ АНАЛОГОВОГО ВІДЕОПЕРЕДАВАЧА

#### 3.1 Структура методики передавання телеметрії через аудіоканал

При стандартному методі передавання телеметрії шляхом накладання на відео (рис. 3.1) відбувається накладання тексту та додаткових піксельних зображень з використанням вбудованої в польотний контролер мікросхеми OSD (MAX7456) з подальшою передачею вже виправленої відеокартинки бездротовому аналоговому відеопередавачу. Відповідно сторона прийому просто демодулює сигнал і виводить його на дисплей чи інший пристрій відображення без якихось перетворень.

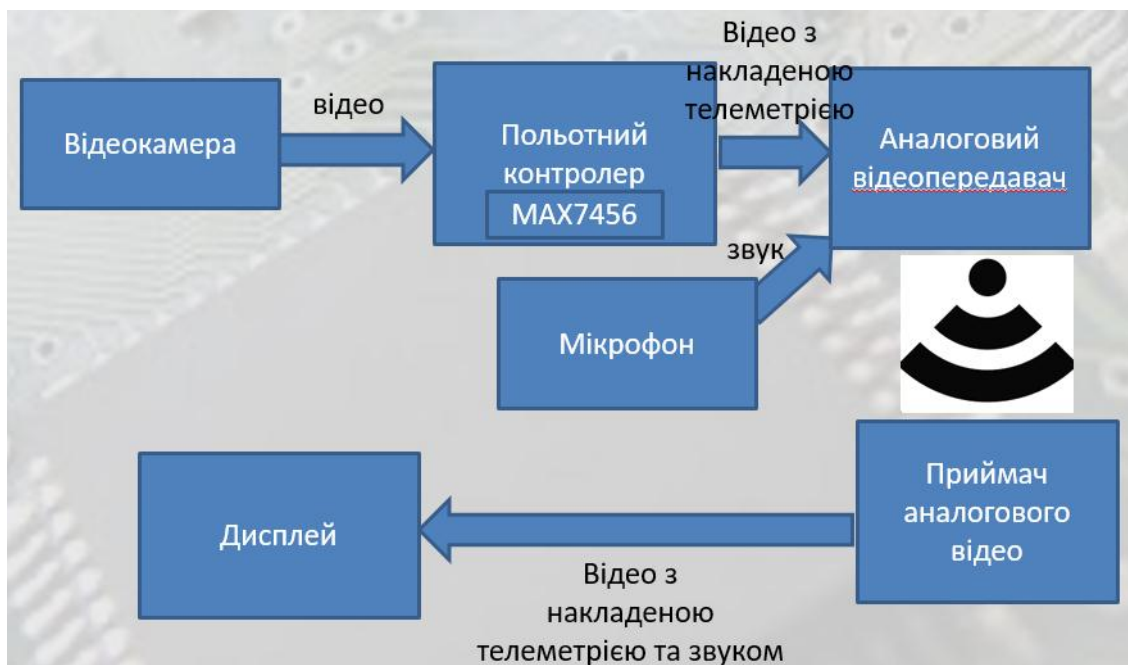


Рисунок 3.1 – Стандартний метод накладання телеметрії на відеоряд при аналоговій передачі відеосигналу

Нами в роботі для маскування даних телеметрії пропонується схема наведена на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Структурна схема схованої передачі телеметрії по аудіоканалу

Дані телеметрії, які налаштовані в програмному забезпеченні для накладання на відео зображення передаються на плату перетворення даних на звук по шині SPI (оскільки саме цей протокол використовується для обміну даними між мікроконтролером польотного контролера та мікросхемою MAX7456). Пристрій перетворення проводить модуляцію даних запропонованою методикою та передає їх на аудіоканал аналогового відеопередавача. Паралельно з камери зображення поступає на відеоканал відеопередавача. Змодульовані сумусні данні відеосигналу з камери та сформоване платою перетворення аудіо передаються бездротовим способом на приймач. Приймач проводить демодуляцію з відокремленням відео та

аудіо каналів. Аудіоданні поступають на плату перетворення аудіо на данні та отримані на виході плати данні телеметрії поступають на вхід мікросхеми MAX7456. Одночасно на мікросхему MAX7456 поступають відеоданні і відповідно мікросхема проводить накладання телеметрії з подальшим відображенням користувачеві (оператору) на дисплеї чи іншому пристрої відображення.

### 3.2 Реалізація передачі даних засобами аудіоканалу

На стороні передачі нам необхідно по протоколу обміну між мікроконтролером та мікросхемою MAX7456 отримати данні телеметрії платою власної розробки та перетворити їх на звукові данні з частотою від 18кГц до 19,6 кГц.

Протокол MAX7456 буде описано в наступному пункті, а в цьому пункті зосередимся на перетворенні цифрових даних на звуковий сигнал.

Для плати перетворення даних на звук нам знадобиться Arduino (було використано Arduino Mini (рис. 3.3) плату на основі мікросхеми AD9833 (рис. 3.4) і кабель із міні-роз'ємом 3,5 мм, під'єднаний до звукового входу відеопередавача.



Рисунок 3.3 – Arduino Mini



Рисунок 3.4 – Плата на основі мікросхеми AD9833

AD9833 – це програмований генератор сигналів із низьким енергоспоживанням. Дозволяє генерувати сигнали з частотою до 12.5МГц синусоїдальної, трикутної та прямокутної форми. Програмування здійснюється з використанням трипровідного інтерфейсу SPI і не складає труднощів. Нижче наведено основні характеристики мікросхеми:

- цифрове програмування частоти та фази;
- потужність 12.65 мВт при напрузі 3 В;
- роздільна здатність 28 біт (0.1 Гц при частоті опорного сигналу 25 МГц);
- синусоїдальні, трикутні та прямокутні вихідні коливання;
- напруга живлення від 2.3 до 5.5 В;
- трипровідний інтерфейс SPI.

У характеристиках також заявлено, що мікросхема не вимагає зовнішніх компонентів, але тут виробник лукавить: обв'язка та джерело опорної частоти все ж таки потрібні. Продаються модулі AD9833 з

необхідною обв'язкою та кварцовим генератором на 25 МГц (саме такий і використовувався під час проектування пристрою перетворення даних на аудіо).

Цей модуль має такі контакти:

– VCC – плюс живлення для цифрових та аналогових ланцюгів генератора;

– DGND – цифрова земля;

– SDATA – вхід даних інтерфейсу SPI (передача здійснюється 16-бітовими словами);

– SCLK – вхід тактового сигналу SPI (використовується другий режим роботи CPOL = 1, CPHA = 0);

– FSYNC – вибір мікросхеми (перед початком передачі даних повинен бути встановлений 0, по завершенні 1);

– AGND – аналогова земля;

– OUT – вихід генератора.

Функціональна схема модуля наведена на рисунку 3.5.

AD9833 складається з наступних основних частин: два регістри вибору частоти, акумулятор фази, два регістри вибору фази та суматор зміщення фази (разом ці компоненти складають генератор з цифровим управлінням – NCO), SIN ROM для перетворення інформації про фазу в амплітуду та 10-розрядний цифро-аналоговий перетворювач.

Зі схеми видно, що дані з інтерфейсу SPI передаються в керуючий регістр, регістри вибору фази і частоти. Саме вони визначають сигнал на виході генератора. І програмування генератора зводиться до зміни вмісту зазначених регістрів.

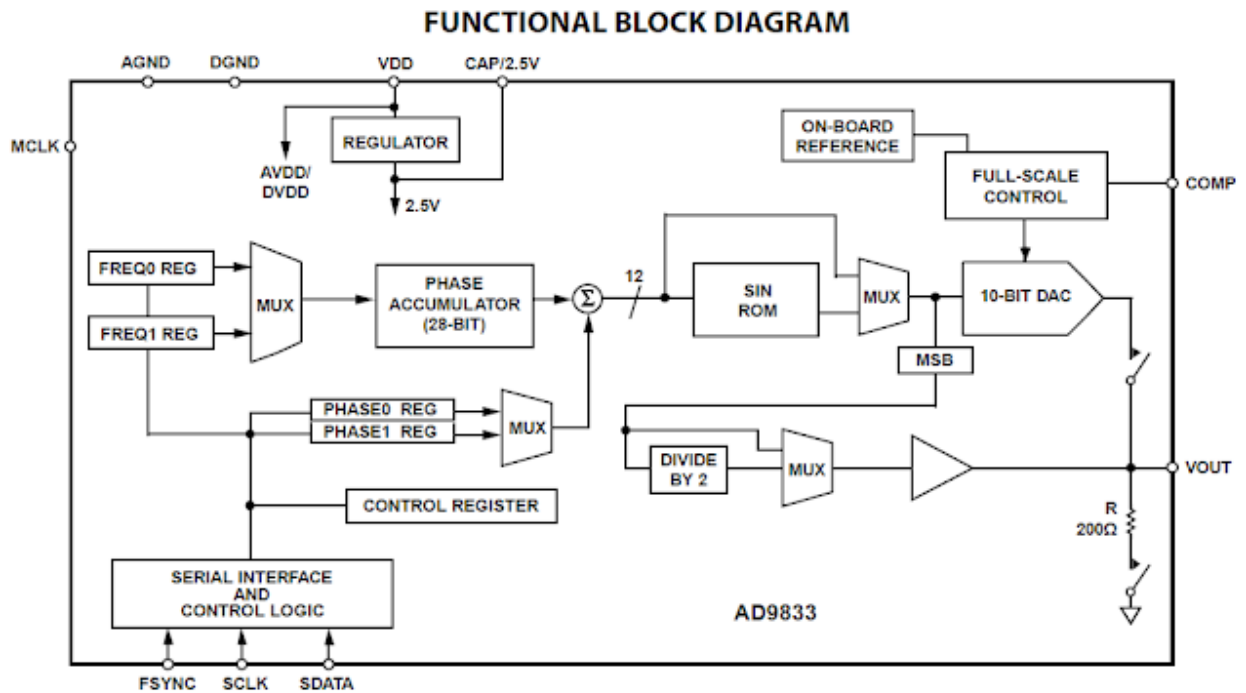


Рисунок 3.5 – Функціональна схема модуля на AD9833

Керуючий регістр – це 16-розрядний регістр, керуючий роботою генератора. Детальний опис його бітів наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Опис бітів керуючого регістру AD9833

Біт	Назва	Призначення
15, 14	DB15, DB14	Щоб AD 9833 зрозумів, що прийняте по SPI 16-бітове слово містить нове значення для керуючого регістру, два старших біти в слові повинні бути встановлені в 0.
13	B28	Регістри частоти AD 9833 мають розрядність 28 біт, тому зміни їх вмісту потрібно передача двох 16-бітних слів. Однак у деяких випадках потрібно змінити лише старшу чи молодшу частину регістру частоти. Тут і використовується

Продовження таблиці 3.1

Біт	Назва	Призначення
		ця ознака: $V_{28} = 1$ говорить про те, що необхідно оновити регістр частоти і його нове значення буде передано двома послідовними записами. Перший запис містить 14 молодших біт, другий 14 старших біт. Перші два біти в обох записах визначають регістр частоти, який буде записано передається значення і повинні бути однаковими. Оновлення регістру частоти відбувається після отримання повного слова, тому запис проміжного значення регістр виключена. $V_{28} = 0$ дозволяє оновити окремо старшу чи молодшу частину регістру. Яка саме частина буде змінено визначається керуючим бітом HLB.
12	HLB	Біт HLB визначає, яка з частин регістра частоти (молодша або старша) буде перезаписана при $V_{28} = 0$ . При $V_{28} = 1$ значення цього біта ігнорується HLB = 1 дозволяє оновити старші 14 біт регістру частоти; молодші 14 біт регістру частоти.
11	FSELECT	Біт FSELECT визначає, який із регістрів використовується в акумуляторі фази – FREQ 0 або FREQ 1.
10	PSELECT	Біт PSELECT визначає, дані якого з регістрів PHASE 0 або PHASE 1 додаються до виходу фази акумулятора.
9	Зарезервований	Даний біт зарезервований і має бути встановлений в 0.
8	RESET	RESET = 1 скидає внутрішні регістри генератора в 0. Скидання не зачіпає регістри управління, частоти та фази.

Продовження таблиці 3.1

Біт	Назва	Призначення
7	SLEEP1	При SLEEP 1 = 1 забороняється внутрішнє тактування, припиняється робота NCO та вихід генератора залишається у своєму поточному стані. При SLEEP1 = 0 тактування дозволено.
6	SLEEP12	При SLEEP 12 = 1 відключається внутрішній ЦАП. Це може бути корисним для генерації прямокутних імпульсів, при якій не потрібно виконання цифро-аналогових перетворень. При SLEEP12 = 0 внутрішній ЦАП активний.
5	OPBITEN	Даний біт разом з бітом MODE управляють виходом генератора.
4	Зарезервований	Даний біт зарезервований і має бути встановлений в 0.
3	DIV2	Використовується в парі зі значенням OPBITEN = 1. При DIV 2 = 1 значення старшого біта даних з входу ЦАП подається безпосередньо на вихід VOUT . DIV 2 = 0 дозволяє задіяти дільник частоти та зменшити частоту вихідного сигналу вдвічі. При OPBITEN = 0 значення даного біта ігнорується.
2	Зарезервований	Даний біт зарезервований і має бути встановлений в 0.
1	MODE	Цей біт разом із бітом OPBITEN управляють виходом генератора. При OPBITEN = 1 біт MODE має бути встановлений 0. Значення MODE = 0 дозволяє отримати на виході генератора синусоїдальний сигнал. У разі MODE = 1 на виході буде трикутний сигнал.

Кінець таблиці 3.1

Біт	Назва	Призначення
0	Зарезервований	Даний біт зарезервований і має бути встановлений в 0.

Схема з даташиту також наочно демонструє їхнє призначення (рис. 3.6).

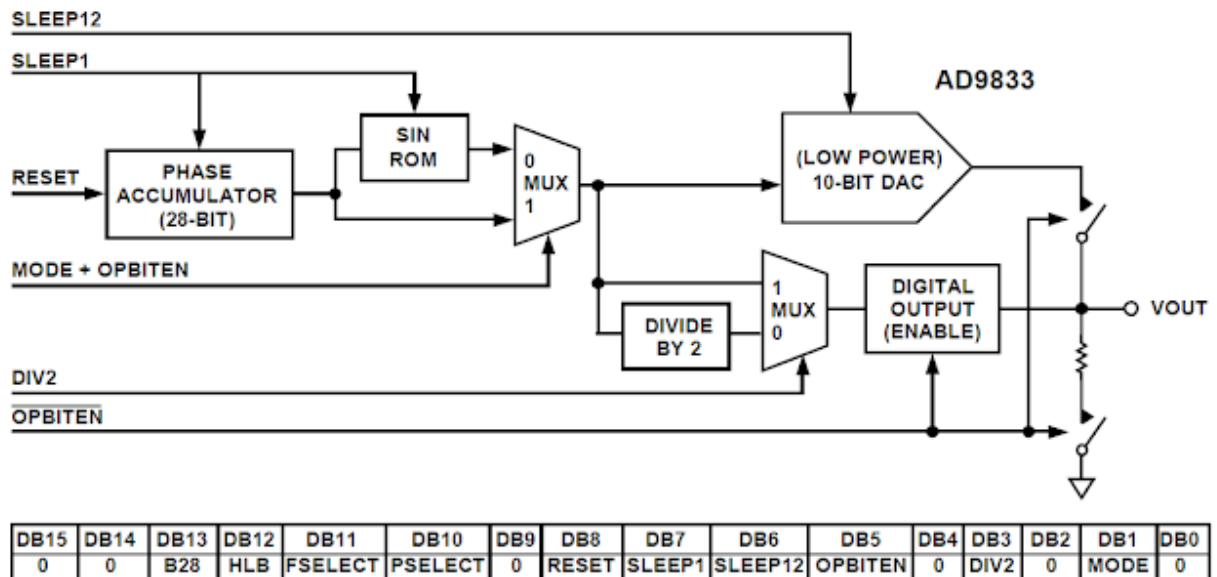


Рисунок 3.6 – Структура AD9833

Для кращого розуміння призначення бітів OPBITEN, MODE та DIV2, що визначають форму сигналу створено таблицю 3.2 з їх допустимими комбінаціями та формою результуючих сигналів на виході.

Таблиця 3.2 – Призначення бітів OPBITEN, MODE та DIV2

OPBITEN	MODE	DIV2	Сигнал на виході VOUT
0	0	X	Синусоїдальний
0	1	X	Трикутний
1	0	0	Прямокутний із частотою F/2
1	0	1	Прямокутний із частотою F
1	1	X	Зарезервовано

Генератор AD 9833 має 2 регістри частоти та 2 регістри фази розрядністю 28 біт і 12 біт відповідно.

Вибір активного регістру частоти здійснюється установкою біта, що управляє FSELECT : при FSELECT = 0 активним є FREQ 0; при FSELECT = 1 активний регістр FREQ 1. Результуюча частота на виході генератора визначається так:

$$(FMCLK / 2^{28}) * FREQREG , \quad (3.1)$$

де FMCLK – це опорна частота;

FREQREG – значення, завантажене активний регістр частоти.

Таким чином, якщо ми хочемо отримати на виході генератора сигнал із частотою 400Гц при опорній частоті 25МГц, активний регістр має бути завантажене значення:

$$FREQREG = FOUT * 2^{28} / FMCLK = 400\text{Гц} * 2^{28} / 25\text{МГц} \approx 4295 \quad (3.2)$$

Для того щоб завантажити значення FREQREG в регістр частоти необхідно старші біти значення SPI встановити в 01 для завантаження в

FREQ 0 або 10 для завантаження в FREQ 1. Спілкування з AD 9833 здійснюється за SPI 16-бітними словами.

Фаза вихідного сигналу визначається так:

$$\text{PHASE} = (2\pi / 2^{12}) * \text{PHASEREG}, \quad (3.3)$$

відповідно, значення для регістра фази обчислюється за формулою:

$$\text{PHASEREG} = \text{PHASE} * 2^{12} / 2\pi \quad (3.4)$$

У наведених формулах PHASEREG – це значення активного регістру фази. Вибір активного регістру здійснюється установкою біта, що управляє PSELECT: при PSELECT = 0 активним є PHASE 0; при PSELECT = 1 активний регістр PHASE 1.

При записі нового значення регістр фази старші біти повинні бути встановлені в 11, а вибір регістра, в який має бути записано значення, здійснюється установкою біта 13: при нульовому його значенні буде оновлений регістр PHASE 0; при встановленні зазначеного біта в 1 буде оновлено регістр PHASE 1. 12й біт не використовується, а біти з 0 по 11 містять значення регістру фази.

Розрядність регістра частоти 28 біт при опорній частоті 25МГц забезпечує крок 0.1Гц для встановлення частоти сигналу на виході. А 12-бітовий регістр фази забезпечує роздільна здатність  $2\pi/4096$ .

Спілкування Arduino з модулем відбувається за інтерфейсом SPI, для якого на Ардуїно відведено такі піни:

– D10-SS (Slave Select – вибір веденого), до нього підключаємо виведення FSYNC модуля;

– D11-MOSI (Master Out Slave In – вихід ведучого, вхід веденого), до нього підключаємо висновок SDATA;

– D13-SCK (Serial Clock – Тактовий сигнал), до нього підключаємо висновок SCLK.

Нижче наведено шматок коду, що проводить генерацію сигналів.

```
#include <SPI.h>
void setup() {
  SPI.begin();
  WriteAD9833(0x2100); //0010 0001 0000 0000 - Reset + DB28
  WriteAD9833(0x50C7); //0101 0000 1100 0111 - Freq0 LSB (4295)
  WriteAD9833(0x4000); //0100 0000 0000 0000 - Freq0 MSB (0)
  WriteAD9833(0xC000); //1100 0000 0000 0000 - Phase0 (0)
  WriteAD9833(0x2000); //0010 0000 0000 0000 - Exit Reset
}
void WriteAD9833(uint16_t Data){
  SPI.beginTransaction(SPISettings(SPI_CLOCK_DIV2,      MSBFIRST,
SPI_MODE2));
  digitalWrite(SS, LOW);
  delayMicroseconds(1);
  SPI.transfer16(Data);
  digitalWrite(SS, HIGH);
  SPI.endTransaction();
}
void loop() {
  WriteAD9833(0x2000); //0010 0000 0000 0000 - Синусоидальный
сигнал
  delay(5000);
  WriteAD9833(0x2002); //0010 0000 0000 0010 - MODE=1 -
Треугольный
  delay(5000);
```

```

WriteAD9833(0x2020); //0010 0000 0010 0000 - OPBITEN=1 -
Прямоугольный (MSB/2)
delay(5000);
WriteAD9833(0x2028); //0010 0000 0010 1000 - OPBITEN=1, DIV2=1 -
Прямоугольный (MSB)
delay(5000);
}

```

При першому виклику функції WriteAD9833 проводиться установка регістра, що управляє: біт RESET встановлюється в 1 для виконання скидання; біт DB28 встановлюється 1 для перезапису всього вмісту регістра частоти; біти FSELECT та PSELECT містять 0, тому для генерації вихідного сигналу будуть використовуватися регістри FREQ0 та PHASE0.

Наступні два виклики передають значення 4295 регістр частоти FREQ0. Це значення міститься в 14 молодших розрядах, тому в старші розряди регістру записуємо нулі.

Зсув по фазі не потрібно – запишемо в регістр PHASE0 значення 0.

Останнім викликом WriteAD9833 у процедурі setup знімаємо біт RESET, дозволяючи цим роботу генератора. Результуючий сигнал надходить на висновок VOUT.

Наступні виклики WriteAD9833 функції loop оновлюють вміст керуючого регістру, перебираючи комбінації бітів MODE, OPBITEN і DIV2 для генерації сигналу синусоїдальної, трикутної і прямокутної форм.

На рисунку 3.7 наведено як виглядає вихідний сигнал генератора у віртуальному осцилографі.

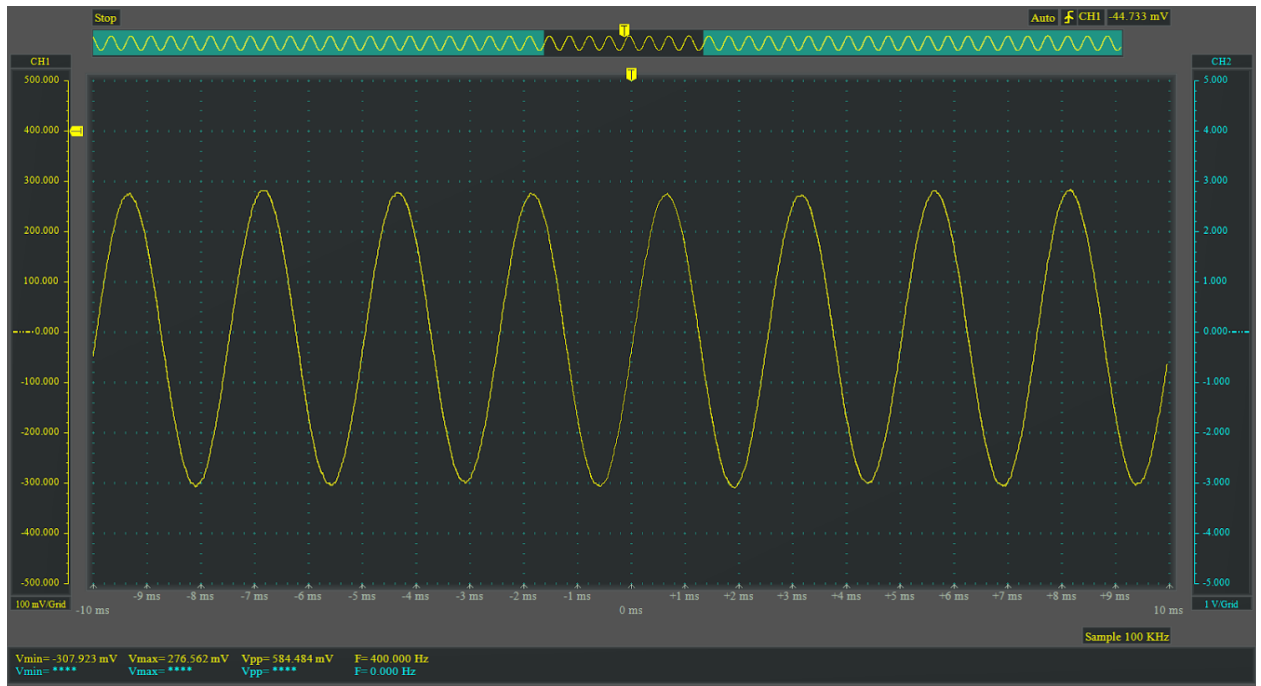


Рисунок 3.7 – Сигнал генератору Arduino+AD9833  
на віртуальному осцилографі

При генерації синусоїдальних та трикутних імпульсів, коли сигнал знімається з виходу ЦАП, його амплітуда змінюється в діапазоні 38мВ...0,65В.

На основі схеми було розроблено плату для пристрою перетворення цифрових даних телеметрії на звук (рис. 3.8-3.9).

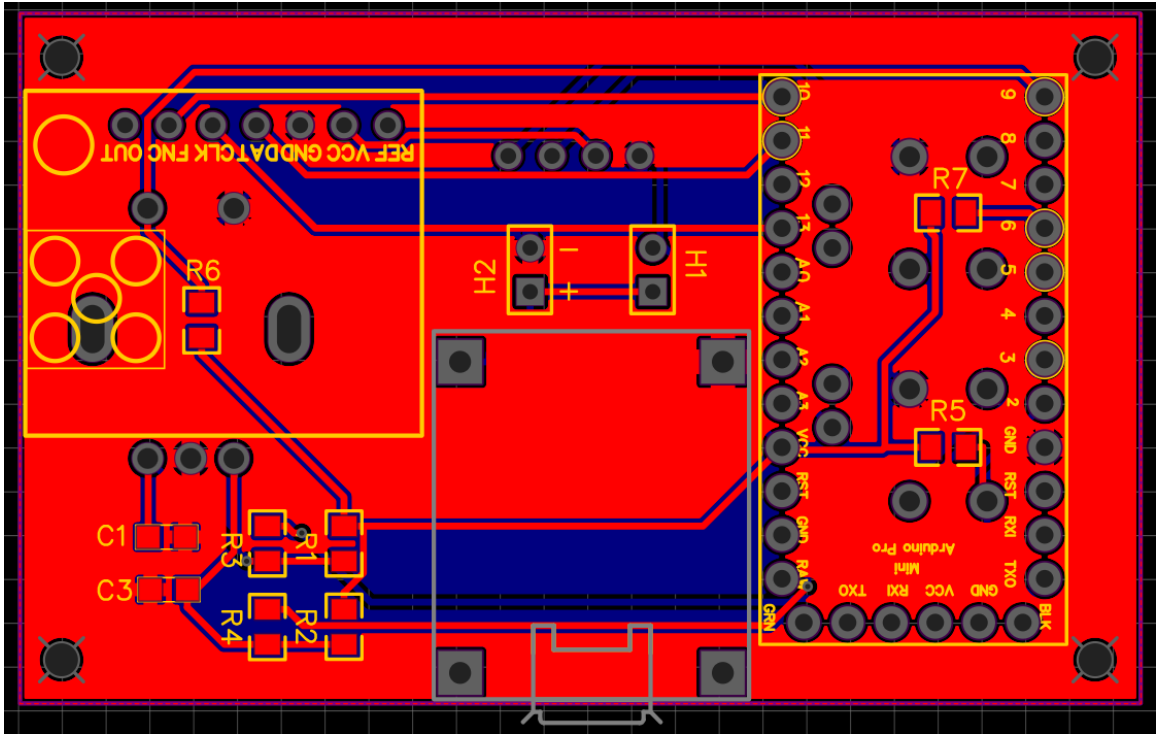


Рисунок 3.8 – Конструкція плати перетворювача даних телеметрії на звук

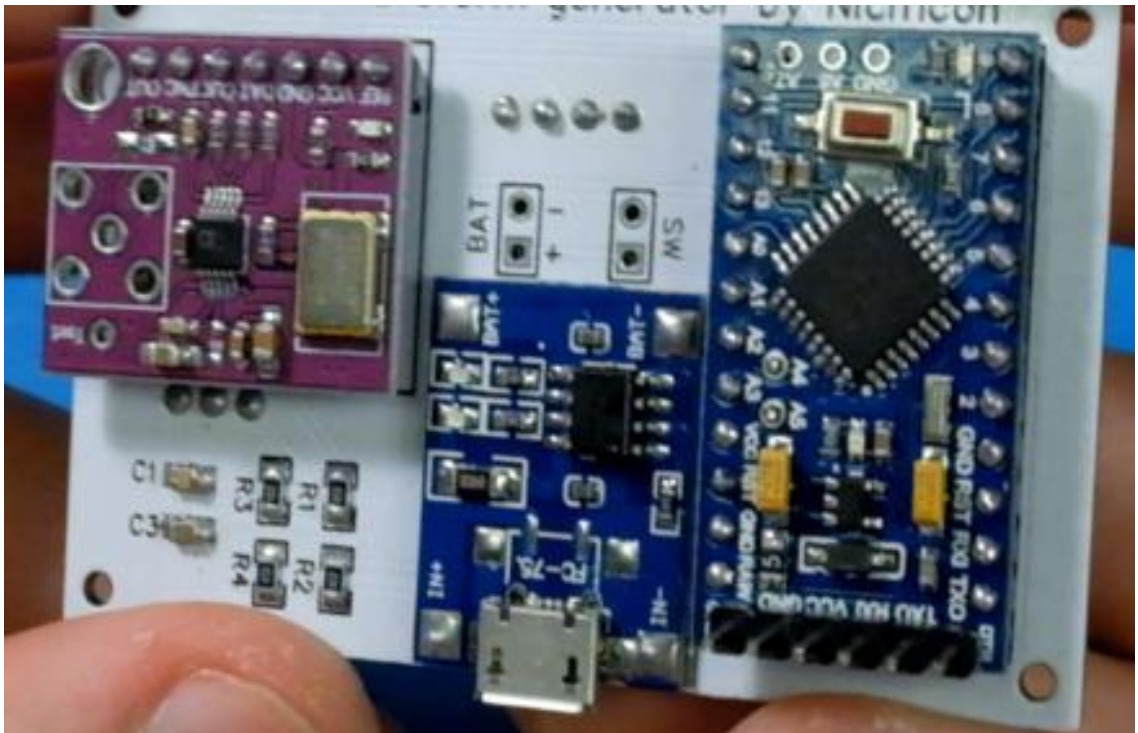


Рисунок 3.9 – Виготовлена плата перетворювача даних телеметрії на звук

### 3.3 Реалізація зворотнього перетворення аудіоданих на дані телеметрії з виведенням на пристрій відображення

Для зворотнього перетворення на приймальній стороні нам треба провести вимірювання частоти звукового сигналу, який ми отримуємо з аудіовиходу приймача і в залежності від її значення перетворити на комбінацію біт, що несуть інформацію про телеметрію. Потім ці данні треба накласти на зображення з використанням мікросхеми MAX7456.

Отже першою задачею була реалізація частотомеру. Найпростіший варіант це використання вбудований у мікроконтролер таймерів які будуть заміряти час між спаданнями або наростаннями сигналу відповідно отримуючи період, що обернено пропорційний частоті. Нас цікавлять частоти від 18кГц до 19,6кГц. Всі інші частоти ми можемо відсикати оскільки вони не несуть користої для нас інформації.

На рисунку 3.10 наведено фото проведено експерименту з використанням аудіовиходу компютера та плати ардуїно у якості простого частотоміру.

Так як тривалість позитивного та негативного напівперіодів у реальному вхідному сигналі можуть відрізнятись, якщо ми хочемо виміряти період вхідних сигналів нам потрібно скласти тривалість позитивного та негативного напівперіодів.

У програмі тривалість позитивного напівперіоду позначена  $H_{time}$ , тривалість негативного напівперіоду –  $L_{time}$ , а тривалість всього періоду –  $T_{time}$ .

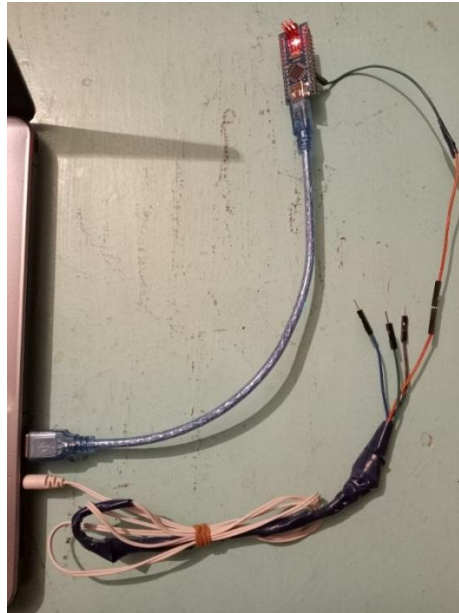


Рисунок 3.10 – Есперимент з вимірювання звукової частоти з використанням таймеру вбудованого в ардуїно

Вимірювання напівперіодів відбувається у рядках:

```
Htime=pulseIn(8,HIGH);
```

```
Ltime = pulseIn (8, LOW);
```

Потім проводиться обчислення повного періоду в рядку:

```
Ttime = Htime + Ltime;
```

Обчислення частоти, враховуючи, що значення періоду виражено у мікросекундах, відбувається тут:

```
frequency=1000000/Ttime;
```

Завершується робочий цикл частотоміра виводом результату в послідовний порт.

Таким чином, наш частотомір, на відміну від типового, не займається підрахунком імпульсів за фіксований інтервал часу, а визначає частоту за попередньо виміряним періодом.

В аудіосистемі кінцева фізична амплітуда та довжина хвилі для кожного числа будуть специфічними. Щоб успішно демодулювати цей сигнал, вам доведеться налаштувати сценарій Arduino.

Після вимірювання частоти та отримання даних телеметрії у вигляді коду необхідно його вивести на дисплей з використанням відео отриманого з відеоканалу приймача.

Для накладання телеметрії на зображення зручно використовувати мікросхему MAX7456.

MAX 7456 це OSD -генератор. Мікросхема дозволяє:

- накласти на стандартний NTSC чи PAL відеосигнал текстову інформацію (з урахуванням того, що знакогенератор мікросхеми оперативно перевантажується, можна говорити про виведення та графічну інформацію);

- сформувати відеосигнал із текстовою та псевдографічною інформацією. (тобто реалізувати функції відеокарти).

Для нас це означає, що MAX 7456 може бути використана з Ардуїно для формування OSD інформації. MAX 7456 формує монохромну інформацію, яка накладається на кольоровий відеосигнал.

Кожен піксель може мати стани, що визначаються при програмуванні знакогенератора:

- чорний;

- білий;

- прозорий за наявності вхідного відеосигналу та сірий за його відсутності.

Кожен символ має власні атрибути, якими може бути заданий:

- інверсний режим відображення;

- миготливий режим;

- чорний або сірий фон.

Для кожного рядка може бути встановлена своя яскравість.

Вхідний відеосигнал та OSD -інформація можуть бути відключені програмно.

Можуть бути задані:

- яскравість фону;
- часові параметри миготіння символів;
- зсув інформації по вертикалі та горизонталі.

Принцип роботи та організація MAX 7456.

Як будь-який відеоконтролер, MAX 7456 містить екранну пам'ять та знакогенератор. Екранна пам'ять зберігає коди символів для кожного знайомого екрана. Її вміст визначає інформацію на екрані. Екранна пам'ять може бути оперативно завантажена за інтерфейсом SPI . Коли нам потрібно вивести якісь символи на екран, ми повинні завантажити їх коди на екранну пам'ять. Адреси, за якими ми записуємо коди, визначають місця відображення символів на екрані.

Для формування відеосигналу з екранної пам'яті під управлінням внутрішньої логіки мікросхеми циклі зчитуються коди символів. Зчитуються вони послідовно, синхронно з синхроімпульсами вхідного відеосигналу та надходять на знакогенератор.

Знакогенератор це теж пам'ять, але вона визначає відповідність коду символу графічному зображенню символу. Тобто. у знакогенератор ми повинні завантажити піксельні карти символів.

Вже з виходу генератора конкретні пікселі надходять у відеосигнал. У звичайних відеокарт вихідний потік пікселів знакогенератора управляє яскравістю та кольором відеосигналу.

На відміну від звичайних відеоконтролерів, вихідний потік пікселів знакогенератора MAX 7456 керує мультиплексором, що комутує вхідний відеосигнал фонового зображення. Тобто. може бути задана як яскравість елемента відеосигналу, а й передано фонове зображення цього пікселя.

Всі процеси відбуваються синхронно із синхроімпульсами фонового відеосигналу. У разі його відсутності виробляються синхроімпульси. У цьому випадку MAX 7456 стає автономним генератором відеосигналу.

Структурна схема мікросхеми MAX 7456 має вигляд, що наведено на рисунку 3.11.

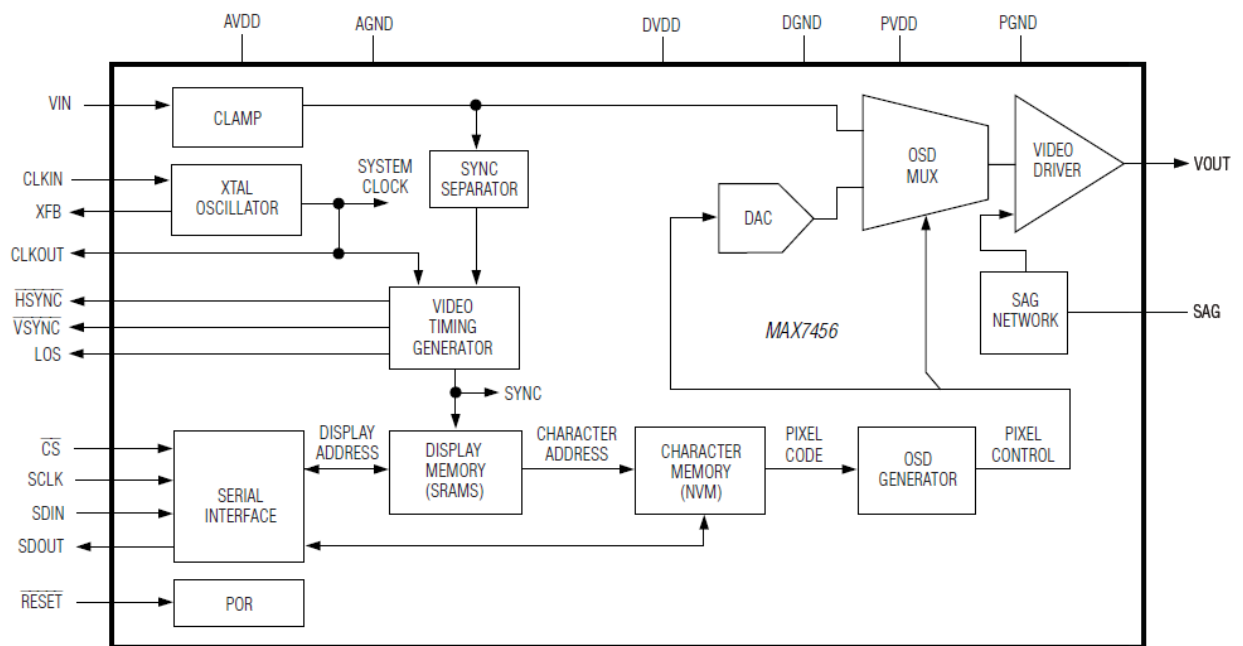


Рисунок 3.11 – Структурна схема мікросхеми MAX 7456

В екранну пам'ять завантажуюємо коди символів, які бажаємо побачити на екрані.

Екранна пам'ять – це ОЗП. При вимкненні живлення вся інформація втрачається.

Роздільна здатність екрана 16 рядків по 30 знаків. Значить, пам'ять має містити інформацію для 480 символів.



Рисунок 3.12 – Екранна пам'ять MAX 7456

У наступних уроках ми розроблятимемо програми для роботи з OSD-дисплеєм. Під адресою символу на екрані розумітимемо адреси від 0 до 479 відповідно до цієї схеми.

Кожна адреса символу містить 2 байти (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Структура блоку адреси символу

Код символу (адреса знакогенератора)								Атрибути символу							
7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0
7	6	5	4	3	2	1	0	LBC	BLK	INV	-	-	-	-	-

В структурі наведені наступні складові:

- код символу визначає, який символ буде виведено на цьому місці екрана;
- атрибути символу можуть змінювати режим відображення для певного місця екрана;

– LBC – ознака визначає виводити для фону символу фонове зображення (зображення вхідного відео) або використовувати заданий фон. (тобто символ буде зі своїм фоном або накладатиметься на зображення вхідного відеосигналу);

– BLK – ознака включає режим миготіння;

– INV – ознака визначає інверсний режим відображення символу.

Чорний піксель знакогенератор стає білим і навпаки.

У першоджерелі формат екранної пам'яті показаний як наведено на рисунку 3.13.

	АДРЕСА СИМВОЛУ	АТРИБУТИ СИМВОЛУ							
0	АДРЕСА (8 біт)	L	B	I	X	X	X	X	X
		B	L	N					
		C	K	V					
⋮		⋮							
29	АДРЕСА (8 біт)	L	B	I	X	X	X	X	X
		B	L	N					
		C	K	V					
⋮		⋮							
	ЕКРАННА ПАМ'ЯТЬ (2 блоки ОЗУ, 256 x 16 біт)								
		⋮							
479	АДРЕСА (8 біт)	L	B	I	X	X	X	X	X
		B	L	N					
		C	K	V					

Рисунок 3.13 – Формат екранної пам'яті згідно документації

Завантаження інформації в екранну пам'ять відбувається за інтерфейсом SPI. У момент запису може бути порушено регенерацію інформації на екрані. Щоб цього не відбувалося, можна вибрати режим завантаження екранної пам'яті в короткі відрізки часу гасіння синхронно з синхроімпульсами вертикальної синхронізації VSYNC.

Пам'ять знакогенератора визначає зображення символів. Це EEPROM, тобто пам'ять, яка зберігає інформацію при вимкненні живлення.

Пам'ять знакогенератора будь-якої миті може бути перепрограмована користувачем. Користувач може сам ставити зображення символів.

Пам'ять генератора містить бітові карти для 256 символів. Її формат 256 осередків по 64 байти.

Символ має розмірність 12 x 18 пікселів.

Кожен піксель визначається 2 бітами як наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Біти, що визначають піксель

Атрибути пікселя	Режим відображення
00	Непрозорий чорний
01	Непрозорий білий
10	Прозорий, за наявності вхідного відеосигналу та сірий за його відсутності
11	Прозорий, за наявності вхідного відеосигналу та сірий за його відсутності

Виходить, що байт містить атрибути для 4 пікселів. Усього для знайоместа використовується 54 байти.

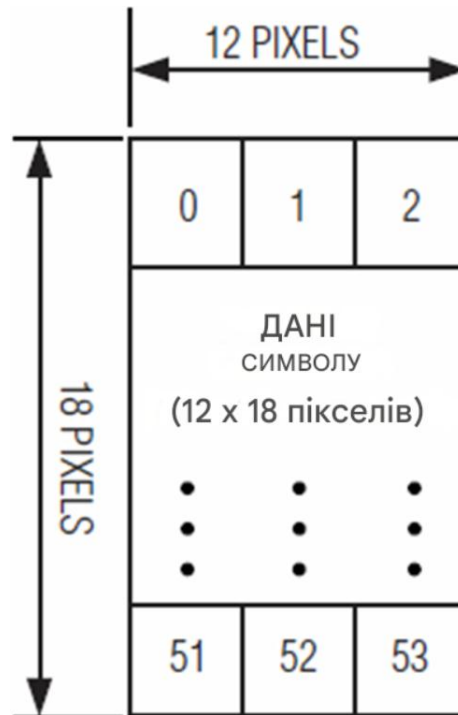


Рисунок 3.14 – Структура даних для знакомісця

У пам'яті знакогенератора для кожного символу відведено 64 байти. Використовуються перші 54.

На рисунку 3.15 наведено докладний формат розподілу атрибутів кожного пікселя знакомісця.

Програмування EEPROM знакогенератора відбувається через інтерфейс SPI.

Розробники мікросхеми гарантують щонайменше 100 000 циклів запису EEPROM знакогенератора та зберігання інформації в цій пам'яті не менше 100 років.

Більш детально всі режими відображення інформації та формати даних розглянемо при описі Ардуїно-бібліотеки MAX7456.h (рис. 3.16).

Мікросхема випускається у 28 вивідному корпусі 28 TSSOP-EP.

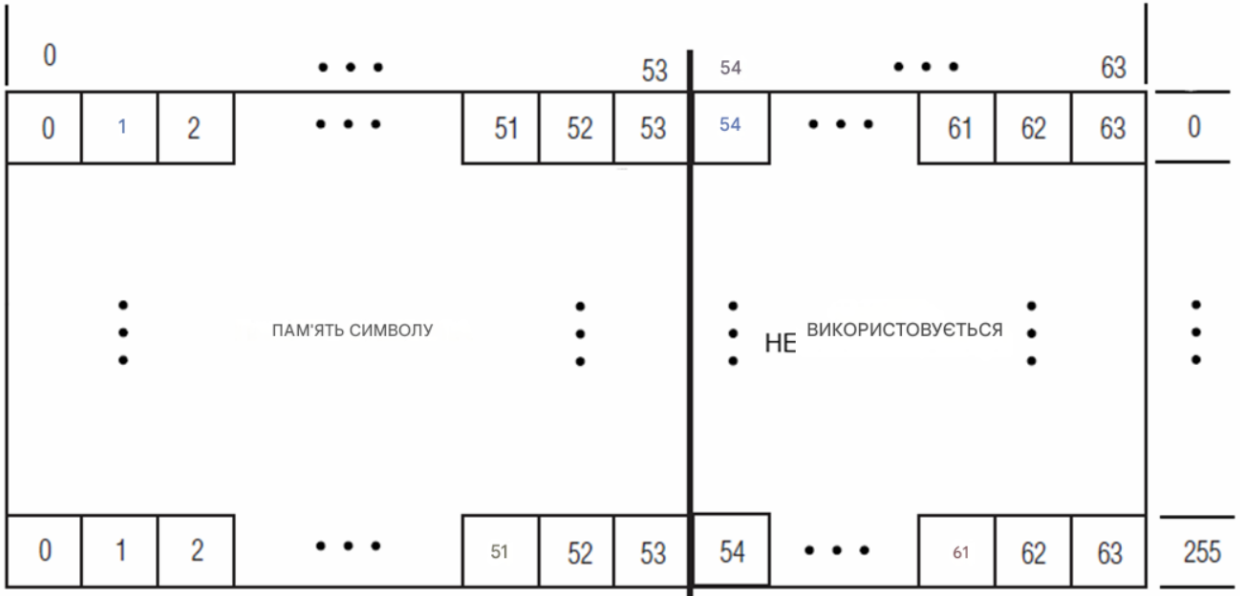


Рисунок 3.15 – Формат розподілу атрибутів кожного пікселя знакомісця

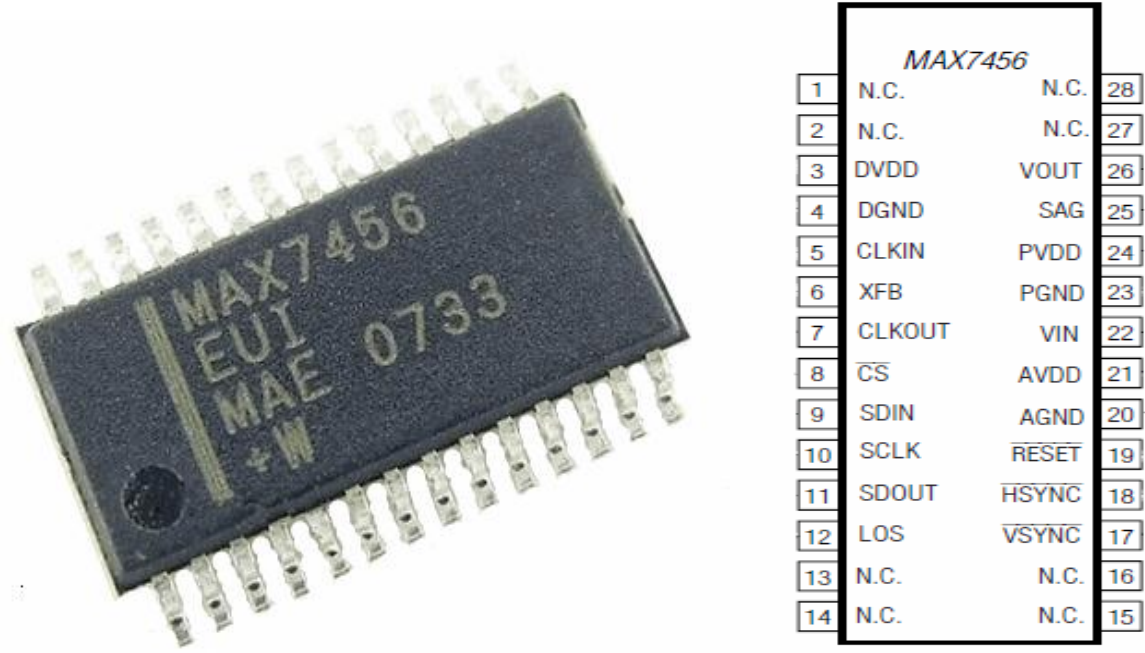


Рисунок 3.16 – Зовнішній вигляд та призначення контактів MAX7456

У таблиці 3.5 наведено конфігурацію контактів мікросхеми MAX7456.

Таблиця 3.5 – Конфігурація контактів мікросхеми MAX7456

Номер виводу	Назва	Функціональне призначення
1, 2, 13-16, 27, 28	NC	Чи не використовуються. Ні до чого не підключено.
3	DVDD	Цифрове харчування. Необхідно встановити блокувальний конденсатор 0,1 мкФ між цим висновком та загальним проводом (DGND).
4	DGND	Цифрова земля.
5	CLKIN	Використовується для безпосереднього підключення резонатора кварцового частотою 27 мГц або для подачі частоти зовнішнього генератора.
6	XFB	Використовується для безпосереднього підключення кварцового резонатора частотою 27 мГц.
7	CLKOUT	Вихід внутрішнього генератора 27 мГц.
8	CS	Вибір кристала, низький активний рівень.
9	SDIN	Сигнал вхідних даних інтерфейсу SPI.
10	SCLK	Сигнал тактування інтерфейс SPI.
11	SDOUT	Сигнал вихідних даних інтерфейсу SPI.
12	LOS	Сигнал втрати синхронізації. Переходить у високий рівень, якщо у вхідному відеосигналі мікросхема не знаходить 32 імпульси синхронізації поспіль. Переходить у низький рівень, якщо отримано 32 синхроімпульси. Вихід типу "відкритий колектор". синхронізації.
17	VSYNC	Імпульси вертикальної синхронізації. Вихід типу "відкритий колектор". Необхідно підключити його через резистор 1 ком до живлення 5 Ст.

Кінець таблиці 3.5

18	HSYNC	Імпульси горизонтальної синхронізації. Вихід типу "відкритий колектор". Необхідно підключити його через резистор 1 ком до живлення 5 Ст.
19	RESET	Скидання мікросхеми. Активний рівень – низький. Тривалість імпульсу не менше 50 мс.
20	AGND	Аналогова земля.
21	AVDD	Аналогове харчування. Необхідно встановити блокувальний конденсатор 0,1 мкФ між цим висновком та аналоговою землею (AGND).
22	VIN	Вхідний відеосигнал.
23	PGND	Земля драйвера вихідного відеосигналу. З аналоговою землею ( AGND ) має бути з'єднаний лише в одній точці.
24	PVDD	Живлення драйвера вихідного відеосигналу. Необхідно встановити блокувальний конденсатор 0,1 мкФ між цим висновком та сигналом PGND.
25	SAG	Сигнал коригування вихідного відеосигналу. Якщо корекція не використовується, необхідно з'єднатися з сигналом VOUT.
26	VOUT	Вихідний відеосигнал.

Цифрові сигнали мають рівні TTL (0 / 5 В).

Розробники мікросхеми радять схему підключення, що зображено на рисунку 3.17.

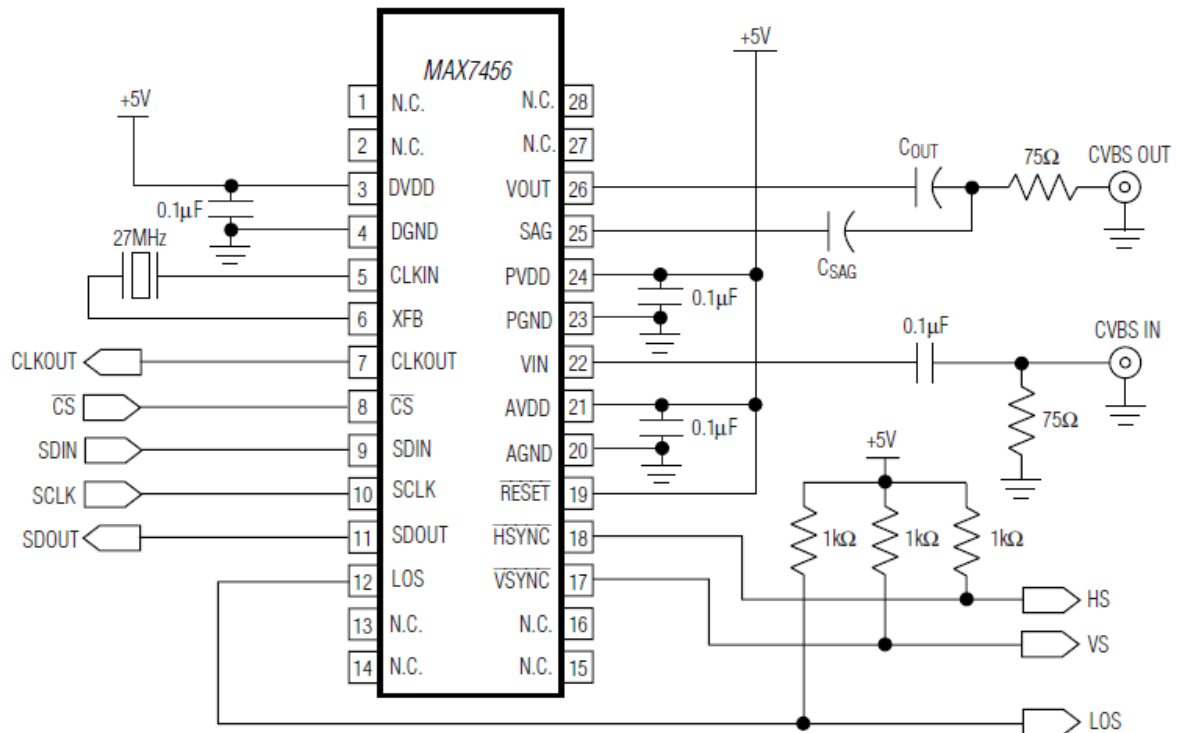


Рисунок 3.17 – Схема підключення MAX7456

Для накладання телеметрії на відеосигнал отриманий на приймальній стороні було розроблено плату що неведено на рисунку 3.18.

До плати Ардуїно підключення плати накладання було зроблено згідно таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – З'єднання ардуїно з платою накладання даних

Плата Arduino Nano	Модуль MAX7456
PIN 10	CS
PIN 11	SDIN
PIN 13	SCLK
PIN 12	SDOUT
+ 5 V	+ 5 V
GND	GND

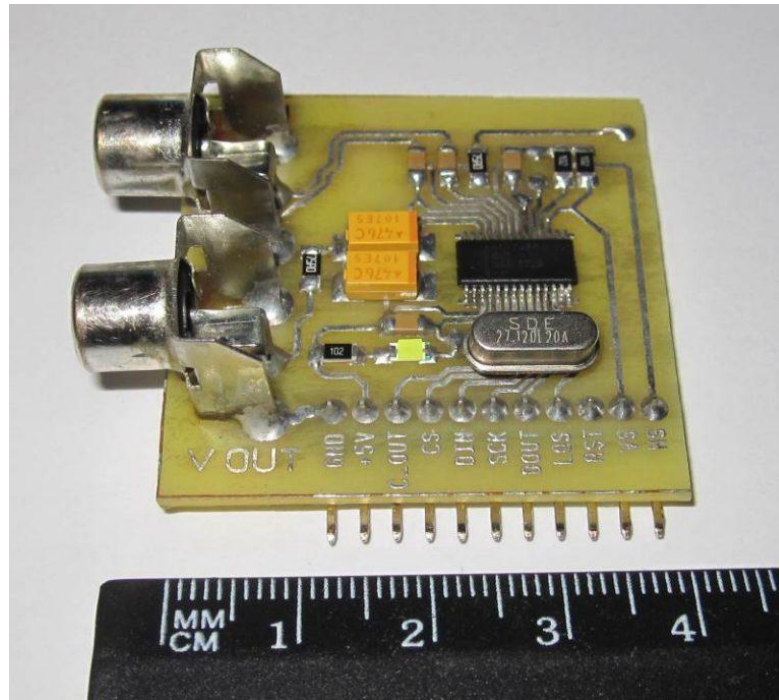


Рисунок 3.18 – Розроблена плата накладання телеметрії на відеосигнал

Зібрана установка наведена на рисунку 3.19.

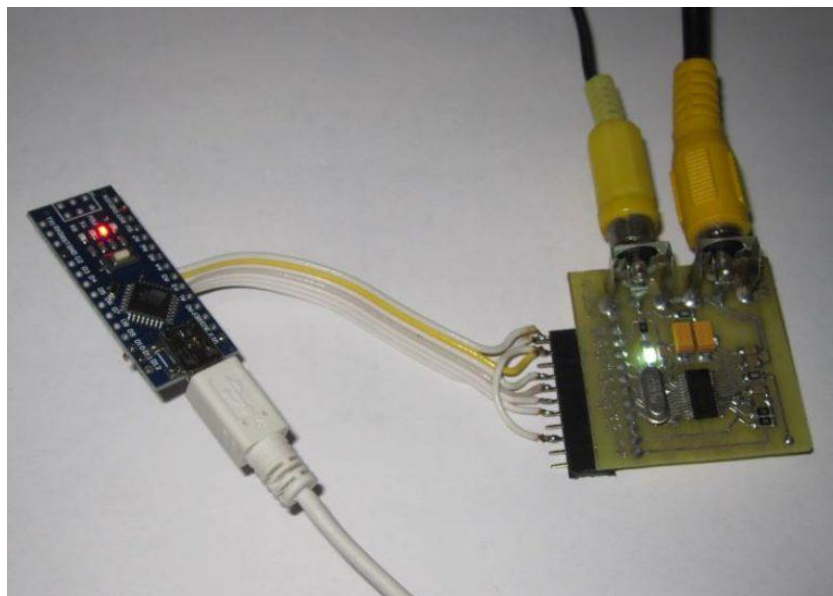


Рисунок 3.19 – Зібрана установка для накладання телеметрії на отримане з приймача відеозображення

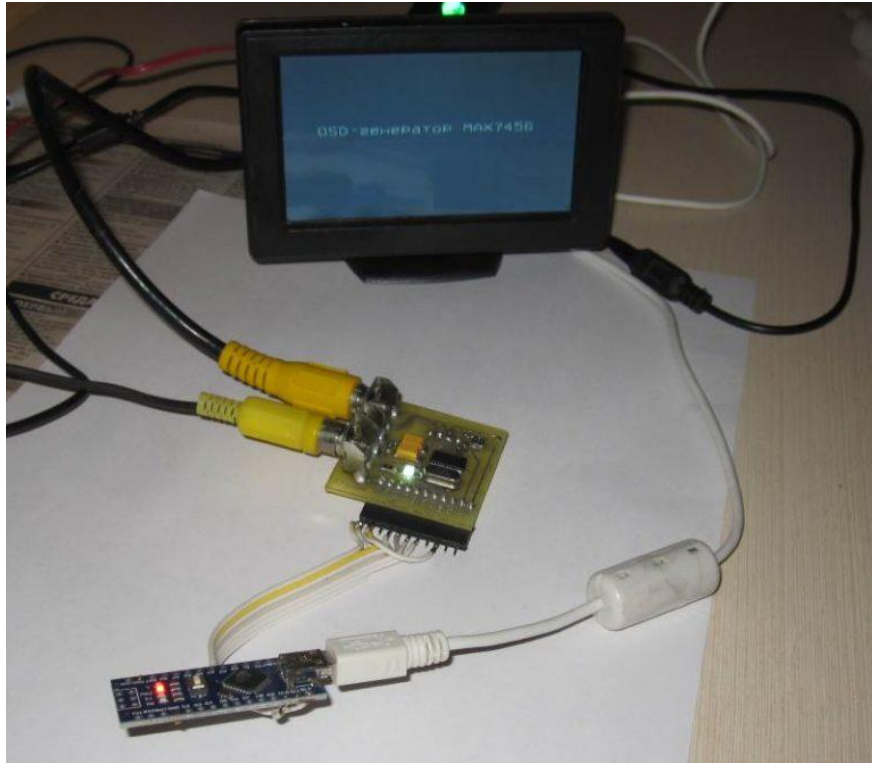


Рисунок 3.20 – Тестування накладання тексту на відеозображення

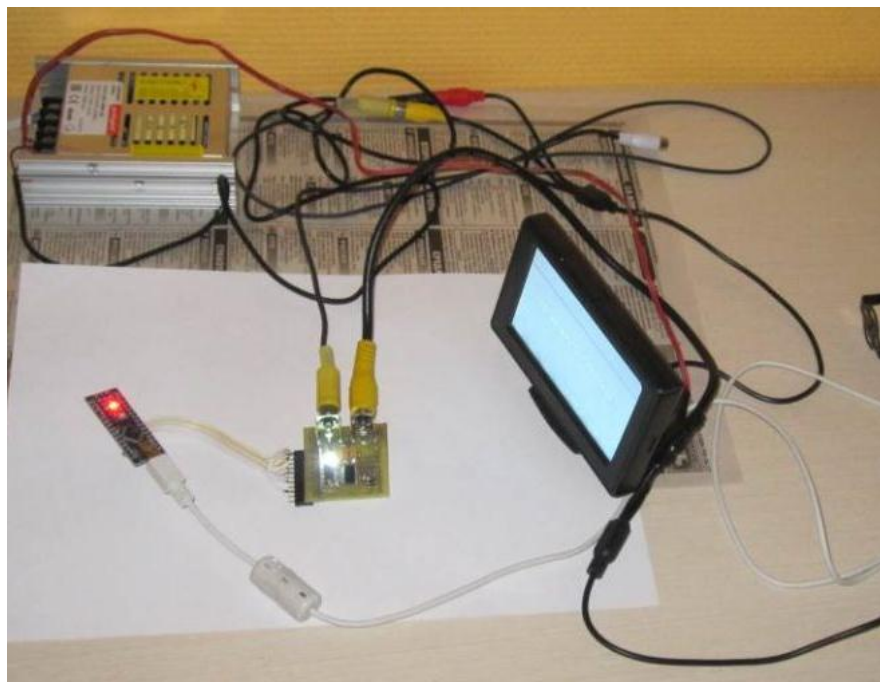


Рисунок 3.21 – Повна установка накладання телеметрії на приймальній стороні

Система складається з плати Arduino Nano, модуля MAX7456, монітора, блока живлення 12 В.

Плата Ардуїно живиться від USB, OSD-модуль живиться від плати. Монітор та камера запитані від блока живлення 12 В.

Для програмного управління OSD-контролером MAX 7456 в системі Ардуїно розроблена бібліотека MAX 7456. Бібліотека підтримує більшість режимів та функцій відеоконтролера, зручна у використанні, працює стабільно.

На основі тестів було розроблено та зібрано комплексну плату де замість ардуїно використаний мікроконтролер, що входить в основу ардуїно (Atmega328P). Це було зроблено для зручності використання щоб не проводити зеднання додатковими дротами і не пошкоджувати під час використання в польових умовах. Розроблена конструкція плати наведена на рисунку 3.22.

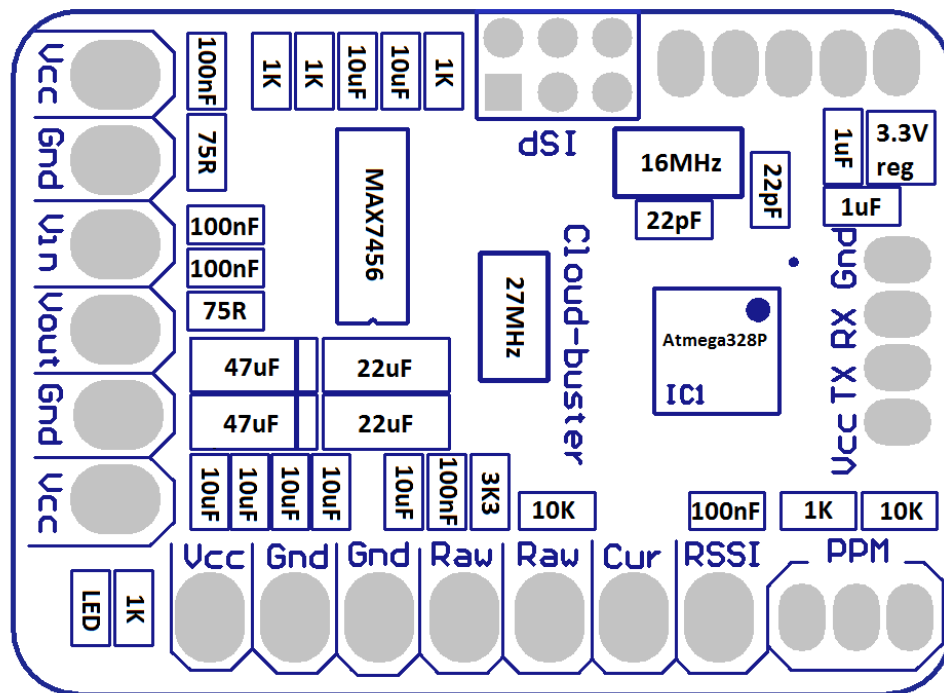


Рисунок 3.22 – Розташування елементів на модифікованій платі



## **4 ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРЕМЕНТІВ ТА АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ**

### **4.1 Перевірка надійності передачі даних засобами аудіоканалу**

Для того щоб впевнитись в роботі розробленої системи передавання даних телеметрії розробленою методикою було проведено ряд експериментів.

#### **4.1.1 Середовище експериментів для вимірювання ефективності запропонованого методу**

Ми реалізували відправника як веб-сторінку, яка одночасно відтворює кілька одночастотних звуків за допомогою JavaScript, і передавала сигнал через аудіорозєм ноутбука. Ми використали бібліотеку ШПФ, реалізовану Baoshe Zhang з Університету Летбриджа. Для цього алгоритму потрібен SS у ступені двох на основі алгоритму ШПФ Кулі-Тьюкі. Ми також використали бібліотеку, яка реалізує «Прості алгоритми для виявлення піків у часових рядах». Програму було написано на андроїд. Програма приймача має одну кнопку, як показано на рисунку 4.1, і відображає результат розпізнавання, витягнуті дані та час обробки, коли ми натискаємо кнопку. Результатом розпізнавання може бути один із трьох:

- прийнято правильні дані;
- прийнято неправильні дані;
- дані відхилено через помилку CRC.

Серед них «прийнято неправильні дані» означає, що приймач приймає дані, тому що вони не мають жодних помилок після виконання виявлення

помилки CRC, але насправді вони мають бітові помилки; отже, отримані дані відрізняються від тих, які насправді надсилає відправник.

У реальній ситуації зв'язку приймач не зможе визначити, чи помилкові дані, якщо немає помилок CRC; однак заздалегідь визначається, які дані збирався надіслати відправник. Таким чином, він розрізняє випадки 2 і 3, перевіряючи, чи отримані дані збігаються з даними, надісланими відправником. На рисунку 4.1 показано результати перевірки того, що отримані дані збігаються з тими, що надіслав відправник, а час обробки становив 410 мс.



Рисунок 4.1 – Скріншот Android-додатку-приймача

Далі ми виміряли продуктивність запропонованого методу за двома факторами, подібними до пропускну здатності та частоти помилок. Ці два фактори – швидкість передачі (TR) і частота виявлення помилок (EDR), і вони обчислюються, як показано в рівняннях:

$$TR = L_d * R_{CD} * \frac{1}{T} \left( \frac{bits}{s} \right) \quad (4.1)$$

$$EDR = \frac{R_{DD}}{R_{WD} + R_{DD}} (\%) \quad (4.2)$$

TR схожий на пропускну здатність і вказує, скільки правильних бітів можна надіслати за одиницю часу.  $L_d$  – довжина даних у бітах,  $R_{CD}$  – швидкість правильних даних,  $R_{WD}$  – частота неправильних даних, а  $R_{DD}$  – швидкість відкинутих даних.  $T$  означає середній час обробки, а одиниця часу для цих експериментів становила 1 с. EDR показує, наскільки добре алгоритм виявлення помилок виявляє помилки, і обчислюється за співвідношенням відкинутих даних ( $R_{DD}$ ) до помилкових даних ( $R_{WD} + R_{DD}$ ). Ми використали п'ять випадково згенерованих наборів із 40 біт даних, як показано в таблиці 1. Кожен 40-бітний набір даних складається з 32 бітів фактичних даних і 8-бітного CRC, який прикріплений до його хвоста. Ми розрахували CRC для кожних 32 біт даних, використовуючи генераторний поліном, який використовується в бездротовому зв'язку WCDMA:  $0x9B (x^8 + x^7 + x^4 + x^3 + x + 1)$ .

Було проведено експерименти на основі яких складено таблицю 4.1

Таблиця 4.1 – Продуктивність передачі даних залежно від кожного значення  $SS$  з  $DFP = (50 \text{ Гц}, 18\text{--}20 \text{ кГц})$

DFP = (50 Гц, 18-20 кГц)	Rкд (%)	Rwd (%)	Rdd (%)	T(мс)	TR (біт/с)	EDR (%)
SS=2048	0,04	0,16	99,80	106.03	0,15	99,84
SS=4096	76,84	0,00	23.16	94,25	326.22	100,00
SS=8192	99,40	0,00	0,60	224.13	177,42	100,00
SS=16384	99,68	0,00	0,32	412,32	96,70	100,00
SS=32768	99,88	0,00	0,12	773,01	51,68	100,00

#### 4.1.2 Перевірка працездатності запропонованого способу

Ефективність запропонованого способу можна вимірювати по-різному в залежності від значення SS і DFP. Тому вимірювали здатність передавати дані в різних налаштуваннях.

– DFP = (25 Гц, 18-19 кГц), (50 Гц, 18-20 кГц), (75 Гц, 18-21 кГц), (100 Гц, 18-22 кГц);

– SS = 2048, 4096, 8192, 16384, 32768.

Було перевірено перехід характеристик залежно від зміни значення DFP зі значенням SS = 32768. Вимірювання проводились 2500 разів при кожному значенні DFP, і результати наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – П'ять випадково згенерованих наборів даних по 40 біт, які використовуються в експериментах

	32 біти даних	8-бітний CRC	Шістнадцятковий
1-й	10011100 10110100 01100111 01100011	00001101	0x9CB467630D
2-й	11000100 00100010 00110100 10101010	11111010	0xC42234AAFA
3-й	10100110 11101101 11010010 10010001	10100010	0xA6EDD291A2
4-й	00010001 00110001 10010110 01011111	11011001	0x1131965FD9
5-й	11001000 11101111 11001101 11101011	01101011	0xC8EF CDEB6B

Швидкість отримання правильних даних була понад 99% для всіх випадків, а значення TR було найвищим, коли DFP = (50 Гц, 18-20 кГц).

Далі було зроблено спостереження за змінами в продуктивності залежно від значення SS з DFP = (50 Гц, 18-20 кГц), який показав найкращі результати. У тому самому середовищі протестували 2500 разів для кожного значення SS, і результати наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Продуктивність передачі даних залежно від кожного значення DFP зі значенням SS = 32768

SS = 32768	R кд (%)	Rwd(%)	Rdd (%)	T (мс)	TR (біт/с) EDR (%)	
DFP = (25 Гц, 18-19 кГц)	99,68	0,00	0,32	772,31	51,63	100,00
DFP = (50 Гц, 18-20 кГц)	99,88	0,00	0,12	773,01	51,68	100,00
DFP = (75 Гц, 18-21 кГц)	99,88	0,00	0,12	773,26	51,67	100,00
DFP = (100 Гц, 18-22 кГц)	99,28	0,00	0,72	773,17	51,36	100,00

Коли SS = 2048, передача даних майже не вдалася, оскільки SS був занадто малим, і приймач не міг декодувати дані з результатів ШПФ. Коли SS = 4096, хоча  $R_{CD}$  становив 76,8%, що набагато менше, ніж 99% у  $SS \geq 8192$ , значення TR було найвищим через зменшений час розпізнавання T. У середовищах, які потребують більш точної передачі, а не високої TR, збільшення значення SS дасть бажані результати. Ми використовуємо результат із SS = 4096, який показав найвище значення TR, щоб порівняти нашу продуктивність із системою Smart Guide, запропонованою Білером.

В таблиці 4.4 наведено випадкові 8-бітні набори даних, які використовуються для вимірювання продуктивності системи.

Таблиця 4.4 – Випадкові 8-бітні набори даних, які використовуються для вимірювання продуктивності системи

	8 біт з кодом Хеммінга	4 біти без коду Хеммінга	Шістнадцятковий
1-й	10110100	1010	0xB4
2-й	10011001	0100	0x99
3-й	00101101	1110	0x2D
4-й	10101010	1101	0xAA
5-й	11010010	0001	0xD2

#### 4.2 Усунення звукових шумів під час передачі даних телеметрії

Передача даних через модульовані аудіосигнали має бути стійкою до фонових шумів у різних середовищах. Було проведено перевірку надійності передачі.

Надійність передачі даних залежить від співвідношення сигнал/шум (SNR) між  $s(t)$  і амплітудою фонового шуму при  $\omega_c$ . Було обчислено коефіцієнт успішної передачі бітів на різних рівнях SNR і результати зі смужками помилок представлені на рисунку 4.2. Середні значення та стандартні відхилення взяті для 10 випробувань. Для кожного випробування передавалась послідовність даних зі швидкістю 200 біт на секунду протягом 4 секунд окремо. Швидкість успішної передачі бітів (BTSR) визначається як відношення між кількістю правильних демодульованих бітів і кількістю переданих бітів. На рисунку 4.2 показано експоненціальне збільшення BTSR щодо SNR.

Іншим фактором, який впливає на продуктивність передачі аудіоданих, є швидкість передачі бітів. Демодуляція сигналу передбачає інтеграцію  $T_b$  секунд. Чим більше  $T_b$ , тим точніший двійковий вихід. При фіксованій частоті дискретизації  $T_b$  обернено пропорційна швидкості передачі бітів.

Рисунок 4.3 ілюструє залежність між частотою успішної передачі даних і швидкістю передачі бітів.

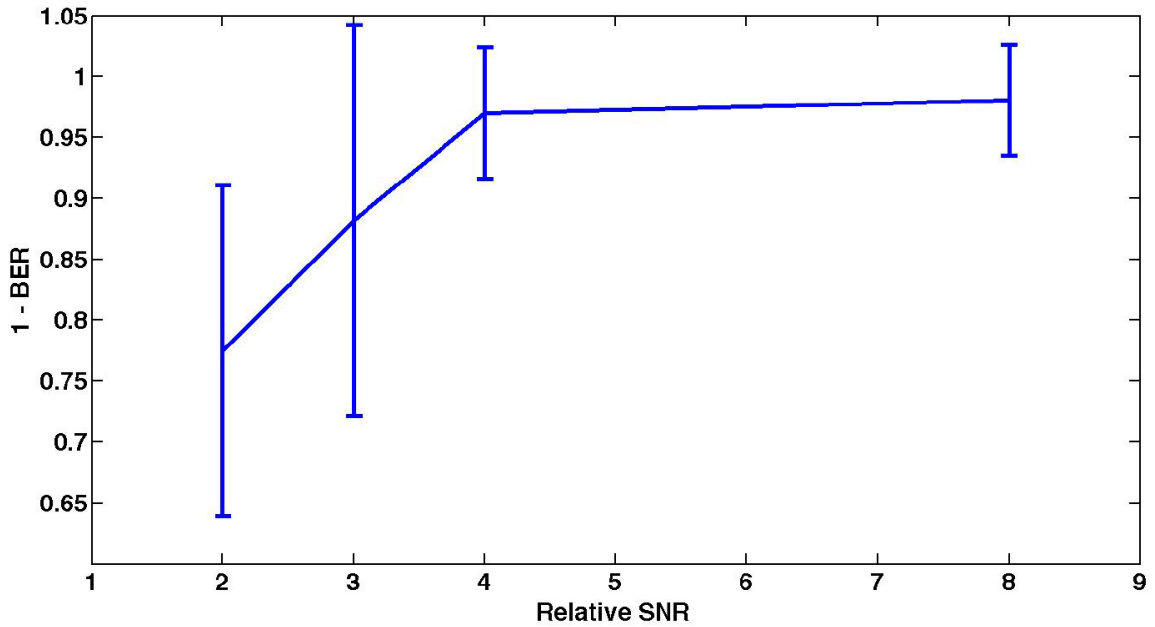


Рисунок 4.2 – Коефіцієнт успішної передачі

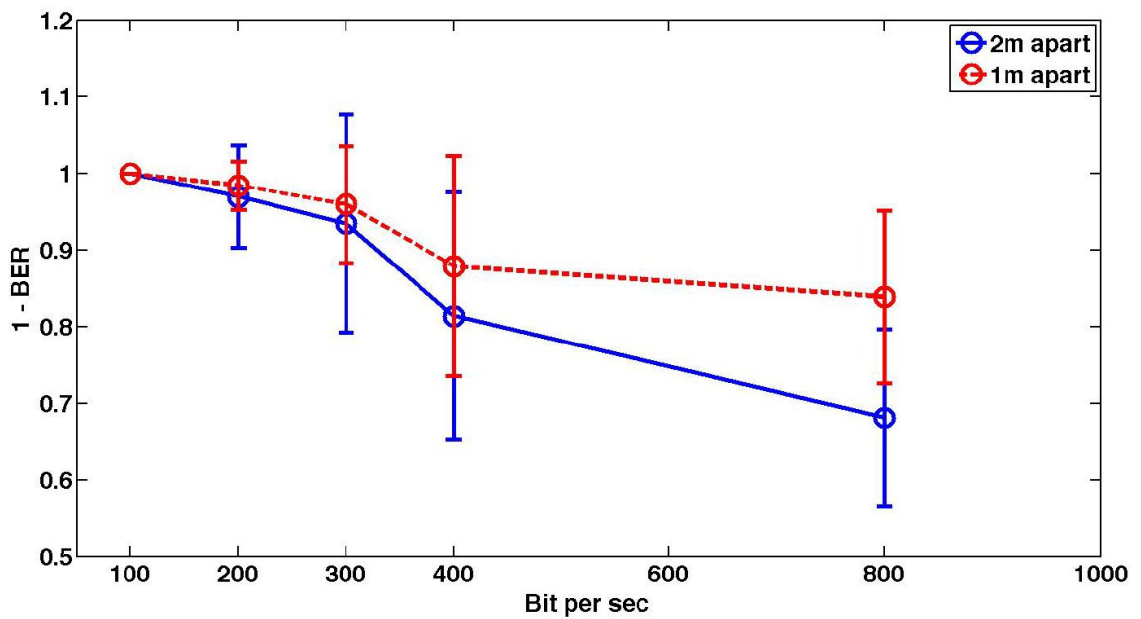


Рисунок 4.3 – Імовірність успішної передачі бітів порівняно зі швидкістю передачі бітів

### 4.3 Отримання телеметрії з польотного контролера та накладання параметрів на зображення на приймальній стороні

Останнім проведеним тестом було саме передавання реальної телеметрії.

Для експерименту було обрано один з найпопулярніших на поточний момент польотних контролерів SpeedyBee F405 (рис. 4.4).

Для отримання телеметрії що має накладатися на відео нас цікавлять контакти 8-11 напаяної мікросхеми MAX7456.

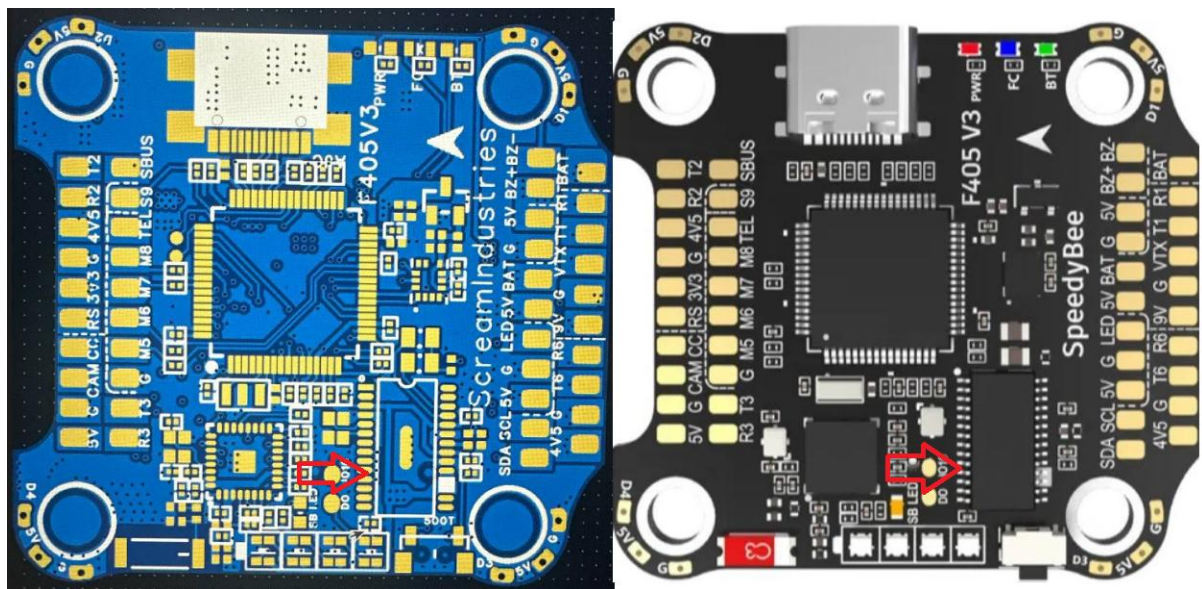


Рисунок 4.4 – Польотний контролер SpeedyBee F405

З цих контактів по шині SPI отримувалась телеметрія і передавалась шляхом пакування на аудіоканал аналогового відеопередавача.

На приймальній стороні проводилось перетворення аудіосигналу і накладання на відеозображення. Протестуванні в лабораторних умовах вдалось отримати результат що наведено на рисунку 4.5. Як видно з рисунка телеметрія вдало передавалась та накладалась на відеозображення.

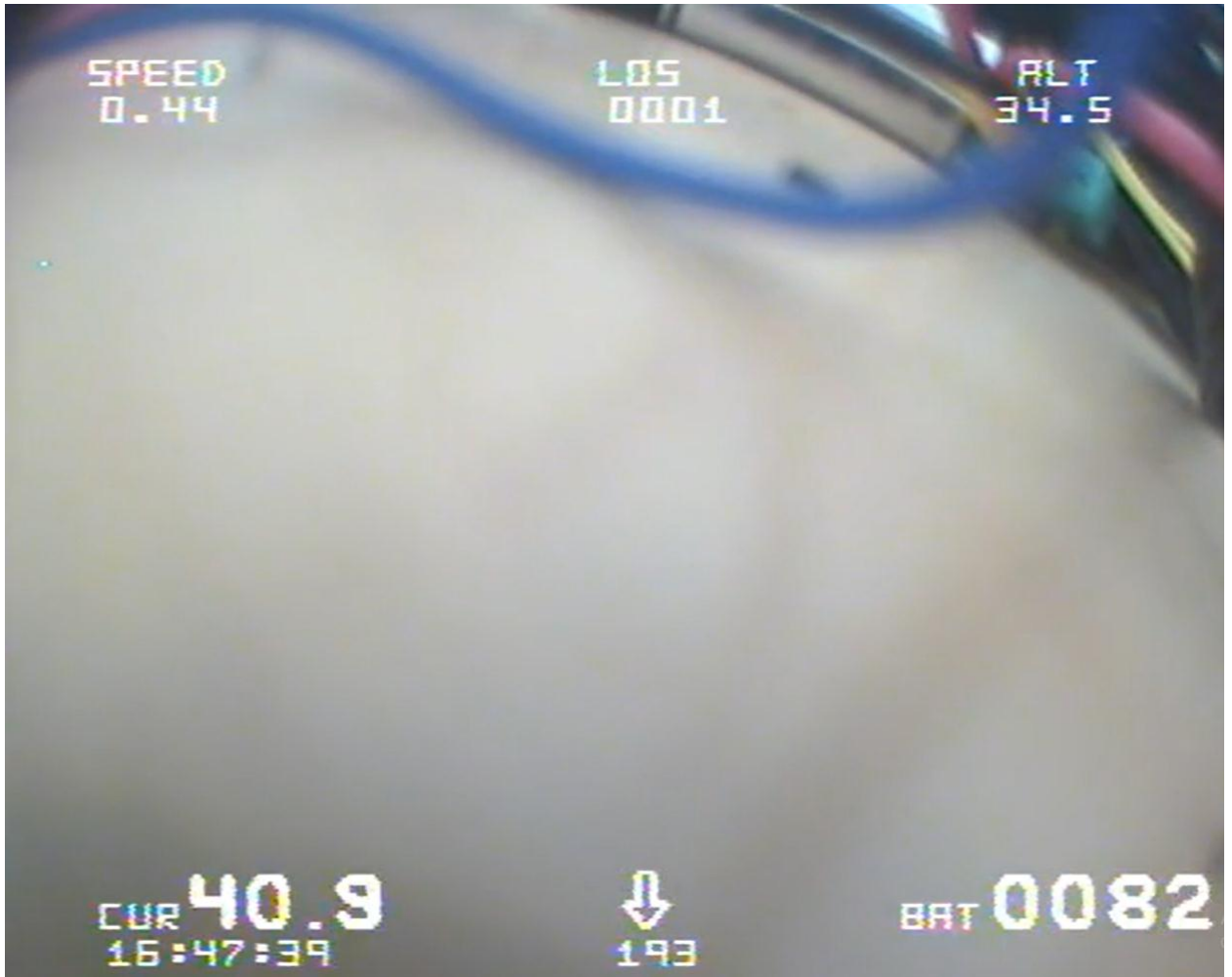


Рисунок 4.5 – Результат тесту з передачею телеметрії по аудіоканалу

## ВИСНОВКИ

В роботі проведено дослідження різних методів модуляції для передачі даних через аудіосигнали. Пропонується нова методика, яка може надсилати більше даних за допомогою нечутних високих частот для передачі даних по аудіоканалу аналогового відеопередавача.

Під час виконання роботи було розроблено та відтестовано роботу:

– плати перетворення цифрових даних телеметрії в звуковий сигнал нечутних частот;

– плати зворотнього перетворення даних запованих у звук у цифрові данні телеметрії з подальшим її накладанням на відеозображення.

При передаванні данні телеметрії упаковуються в пакети по 4 біти і кожна комбінація перелається окремою частотою з кроком 100Гц в діапазоні 18кГц-19,6кГц.

Проведене тестування говорить про можливість використання запропонованої методики для схованого передавання телеметрії засобами аудіоканалу бездротового аналогового відеопередавача.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ**

1. Bihler P., Imhoff P., Cremers A.B. (2011) SmartGuide – A Smartphone museum guide with ultrasound control. *Procedia Computer Science* 5:586-592. doi: 10.1016/j.procs.2011.07.076.
2. Blahut RE (2010) The Cooley-Tukey fast Fourier transform. In: *Proc. Fast Algorithms for Signal*. Cambridge, UK. – P. 68-71.
3. Chitode JS (2008) Digital amplitude modulation or amplitude shift keying. *Analog and Digital Communication India: Technical Publication*.
4. Chung M.B., Choo H.S. (2014) Near wireless-control technology between smart devices using inaudible high-frequencies. *Multimedia Tools and Applications*. – P. 1-17.
5. Kim J.B., Song J.E., Lee M.K. (2012) Authentication of a smart phone user using audio frequency analysis. *The Journal of the Korea Institute of Information Security and Cryptology* 22. – P. 327-336.
6. Singh N., Davar S.C. (2004) Noise pollution-sources, effects and control. *The Journal of Human Ecology*, 16(3). – P. 181-187.
7. Stelmachowicz P.G., Beauchaine K.A., Kalberer A., Jesteadt W. (1989) Normative thresholds in the 8-to 20-kHz range as a function of age. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 86(4). – P. 1384-1391.
8. Xie B. and Zeng W. “Fast bitstream switching algorithms for real-time adaptive video multicasting,” *Multimedia, IEEE Transactions on*, jan. 2007. – Vol. 9. – P. 169-175.
9. Ahmad I., Wei X., Sun Y. and Zhang Y.-Q. “Video transcoding: an overview of various techniques and research issues,” *Multimedia, IEEE Transactions on*, oct. 2005. – vol. 7. – P. 793-804.
10. Nguyen T. and Zakhor A. “Multiple sender distributed video streaming,” *Multimedia, IEEE Transactions on*, april 2004. – vol. 6. – P. 315-326.

11. Zhao S., Xiong Z., and Wang X. “Joint error control and power allocation for video transmission over cdma networks with multiuser detection,” in Communications, 2002. ICC 2002. IEEE International Conference on, 2002. – vol. 5. – P. 3212-3216.

12. Yoo T., Setton E., Zhu X., Goldsmith A. and Girod B. “Cross-layer design for video streaming over wireless ad hoc networks,” in Multimedia Signal Processing, 2004 IEEE 6th Workshop on, sept., 1 oct. 2004. – P. 99-102.

13. Kumwilaisak W., Hou Y., Zhang Q., Zhu W., Kuo C.-C. and Zhang Y.-Q. “A cross-layer quality-of-service mapping architecture for video delivery in wireless networks,” Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, dec. 2003. – vol. 21. – P. 1685-1698.

14. Behrang Barekatin, Mohd Aizaini Maarof, Alfonso Ariza Quintana and Alicia Trivino Cabrera “ GREENIE: a novel hybrid routing protocol for efficient video streaming over wireless mesh networks”, New Technologies and Research Trends for Wireless, Mobile and Ubiquitous Multimedia, 2013.

15. Azzedine Boukerche, “Handbook of Algorithms for Wireless Networking and Mobile Computing”, chapman & Hall / CRC Computer and information Science Series, 2006.