

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж  
(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

*бакалавр*

(назва освітнього ступеня)

на тему: *Вбудована комп'ютерна система перемикання відеочастот  
для безпілотних пристроїв*

Виконав: студент 4 курсу, групи СІ-41  
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Сеньків М.М.  
(прізвище та ініціали)

Керівник

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Стрембіцький М.О.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Тиш Є. В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Дмитроца Л.П.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2026

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
Осухівська Г.М.  
(підпис) (прізвище та ініціали)  
«25» квітня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»  
(шифр і назва спеціальності)

студента Сеньківа Миколи Мар'яновича  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Вбудована комп'ютерна система перемикання відеочастот для безпілотних пристроїв

Керівник роботи Стрембіцький Михайло Олексійович, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 25 » квітня 2026 року № 4/9-188

2. Термін подання студентом завершеної роботи 17.06.2026р

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. Розділ 1. Аналіз вимог до вбудованої комп'ютерної системи перемикання відеочастот для безпілотних пристроїв.

Розділ 2. Проектування вбудованої комп'ютерної системи перемикання відеочастот.

Розділ 3. Практична реалізація та тестування системи перемикання відеочастот.

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Структурна схема

2. Схема електрична принципова

3. Блок-схема алгоритму роботи

4. Результати виконання

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	Сенчишин В.С., к. т. н., доц. каф. МТ		

7. Дата видачі завдання 25.04.2026 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Розробка технічного завдання</i>	<i>26.01 – 02.02</i>	
2.	<i>Робота над першим розділом «Аналіз вимог до вбудованої комп'ютерної системи перемикання відеочастот для безпілотних пристроїв»</i>	<i>03.02 – 15.02</i>	<i>Виконанав</i>
3.	<i>Робота над другим розділом «Проектування вбудованої комп'ютерної системи перемикання відеочастот»</i>	<i>17.04 – 25.04</i>	<i>Виконанав</i>
4.	<i>Робота над третім розділом «Практична реалізація та тестування системи перемикання відеочастот»</i>	<i>26.04 – 13.05</i>	<i>Виконанав</i>
5.	<i>Робота над четвертим розділом «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»</i>	<i>14.05 – 25.05</i>	<i>Виконанав</i>
6.	<i>Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу</i>	<i>26.05 – 7.06</i>	<i>Виконанав</i>
7.	<i>Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами</i>	<i>8.06 – 14.06</i>	<i>Виконанав</i>
8.	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>15.06 – 21.06</i>	<i>Виконанав</i>
9.	<i>Захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>24.06.2026</i>	<i>Виконанав</i>

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Сеньків М. М. Вбудована система перемикання відеочастот для безпілотних пристроїв: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра: спец. 123 – комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2026.

Ключові слова: вбудована система, мікроконтролер, відеопередавач, безпілотний літальний апарат.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці вбудованої комп'ютерної системи автоматичного перемикання відеочастот, орієнтованої на підвищення надійності та завадостійкості відеозв'язку.

В першому розділі роботи проаналізовано технічне завдання вимог до системи перемикання відеочастот з урахуванням специфіки її функціонування у складі безпілотних апаратів.

В другому розділі кваліфікаційної роботи виконано проектування комп'ютеризованої системи. Розроблено її структурну схему, побудовану за модульним принципом. Аргументовано вибір апаратного забезпечення, зокрема 32-бітного мікроконтролера STM32F030F4P6.

В третьому розділі описано процес практичної реалізації апаратно-програмного рішення. Побудовано прототип системи на макетній друкованій платі. Розроблено програмне забезпечення для успішного функціонування системи.

В четвертому розділі розглянуто питання охорони праці під час експлуатації радіоелектронної апаратури. Описано алгоритм надання долікарської допомоги у разі ураження електричним струмом. Проаналізовано фізіологічний вплив електромагнітних полів (ЕМП), створюваних радіобладнанням, на організм людини.

## ANNOTATION

Senkiv M. Embedded Computer System for Video Frequency Switching in Unmanned Devices: Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 – computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2026.

Keywords: unmanned aerial vehicle, video transmitter, frequency switching, microcontroller, STM32, galvanic isolation, noise immunity

The qualification work is devoted to the development of an embedded computer system for automatic video frequency switching, aimed at increasing the reliability and noise immunity of video communication.

The first section of the work analyzes the technical specifications of the requirements for the video frequency switching system, taking into account the specifics of its functioning as part of unmanned aerial vehicles.

In the second section of the qualification work, the design of a computerized system is performed. Its structural diagram, built on a modular principle, is developed. The choice of hardware, in particular the 32-bit microcontroller STM32F030F4P6, is justified.

The third section describes the process of practical implementation of the hardware and software solution. A prototype of the system is built on a mock-up printed circuit board. Software is developed for the successful functioning of the system.

The fourth section considers the issue of labor protection during the operation of radio electronic equipment. The algorithm for providing first aid in case of electric shock is described. The physiological impact of electromagnetic fields (EMF) generated by radio equipment on the human body has been analyzed.

## ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП .....	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ВИМОГ ДО ВБУДОВАНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕМИКАННЯ ВІДЕОЧАСТОТ ДЛЯ БЕЗПІЛОТНИХ ПРИСТОЇВ .....	11
1.1 Аналіз вимог до комп'ютерної системи перемикання відеочастот безпілотних апаратів .....	11
1.2 Аналіз можливих рішень поставленого завдання .....	14
РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТУВАННЯ ВБУДОВАНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕМИКАННЯ ВІДЕОЧАСТОТ .....	17
2.1 Розробка узагальненої структури системи перемикання відеочастот... ..	17
2.2 Обґрунтування вибору апаратного забезпечення для вбудованої системи перемикання відеочастот.....	20
2.3 Обґрунтування вибору програмного забезпечення для вбудованої системи перемикання відеочастот.....	24
2.4 Проектування комп'ютерного засобу перемикання відеочастот.....	26
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ ПЕРЕМИКАННЯ ВІДЕОЧАСТОТ .....	33
3.1 Реалізація апаратно-програмного рішення системи перемикання відеочастот .....	33
3.2 Тестування характеристик системи перемикання відеочастот .....	38
БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ .....	43
4.1 Долікарська допомога при ураженні електричним струмом.....	43
4.2 Вплив електромагнітних полів (ЕМП) на людину та заходи щодо зменшення їх впливу на обслуговуючий персонал. ....	46

					КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Сеньків М. М.			Вбудована комп'ютерна система перемикання відеочастот для безпілотних пристроїв	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Стрембіцький М.О.					6	
Реценз.		Дмитроца Л.П.				ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		
Н. Контр.		Тиш Є. В.						
Затверд.		Осухівська Г.М.						

ВИСНОВКИ.....	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	50
Додаток А Технічне завдання	
Додаток Б Перелік елементів	
Додаток В Лістинг коду для мікроконтролера STM32F030F4P6	

					<i>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		7

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

ARM – Advanced RISC Machine

CPU – Central Processing Unit

HDMI – High Definition Multimedia Interface

NAS – Network Attached Storage

SoC – System-on-a-chip

USB – Universal Serial Bus

					<i>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						8
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## ВСТУП

Сучасні літальні апарати знаходять дедалі ширше застосування під час фотозйомки, дистанційного моніторингу, інспектування промислових об'єктів. Ключовою підсистемою, що забезпечує виконання цих завдань, є система відеозв'язку, яка здійснює передавання інформації в реальному часі на наземну станцію. Для цього застосовуються відеопередавачі, що працюють у діапазонах 1,2 ГГц, 2,4 ГГц або 5,8 ГГц. В умовах складної електромагнітної обстановки, характерної для міської забудови та промислових зон, відеосигнал зазнає впливу завад, спричинених сторонніми радіопристроями, а також спотворень унаслідок багатопроменевого поширення радіохвиль і зміни відстані між літальним апаратом і наземною станцією. За таких обставин стабільність відеозв'язку істотно знижується, що зумовлює потребу в динамічному виборі оптимального частотного каналу. Ручне перемикання частоти оператором не завжди можливе або є несвоєчасним, що підвищує ризик втрати відеозв'язку. Розробка спеціалізованої вбудованої комп'ютерної системи, здатної автоматично змінювати робочу частоту відеопередавача, є актуальним науково-технічним завданням.

Метою роботи є підвищення надійності та завадостійкості відеозв'язку безпілотних пристроїв шляхом розроблення вбудованої комп'ютерної системи автоматичного перемикання відеочастот.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- виконати аналіз вимог до системи перемикання відеочастот з урахуванням специфіки функціонування у складі безпілотних апаратів;
- провести порівняльний аналіз існуючих апаратних і програмних рішень комутації відеочастот та обґрунтувати вибір раціональної архітектури;
- розробити узагальнену структурну схему системи, визначити склад і призначення її функціональних блоків;
- здійснити обґрунтований вибір елементної бази, включаючи мікроконтролер та інших допоміжних компонентів;

					<b>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– обґрунтувати вибір програмної платформи, мови програмування та середовища розроблення, що забезпечують виконання вимог реального часу;

– спроектувати апаратну та програмну складові комп'ютерного засобу: розробити електричну принципову схему, алгоритм функціонування вбудованого програмного забезпечення та протокол обміну даними;

– реалізувати апаратно-програмний прототип системи та експериментально дослідити його ключові характеристики: енергоспоживання та стабільність функціонування.

Вбудована комп'ютерна система перемикання відеочастот забезпечує програмно-кероване перемикання частотних каналів відеопередавача з мінімальною затримкою, характеризується низьким енергоспоживанням, компактними масогабаритними показниками та захистом від електромагнітних завад завдяки гальванічній розв'язці. Результати роботи можуть бути використані під час модернізації існуючих систем, у складі промислових безпілотних комплексів відеомоніторингу. Запропоновані схемотехнічні та програмні рішення створюють надійну базу для подальшого вдосконалення системи, зокрема розширення кількості підтримуваних каналів, реалізації зворотного зв'язку з відеопередавачем або інтеграції з алгоритмами автоматичного аналізу якості радіоканалу.

					<i>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						10
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

# РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ВИМОГ ДО ВБУДОВАНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕМИКАННЯ ВІДЕОЧАСТОТ ДЛЯ БЕЗПІЛОТНИХ ПРИСТОЇВ

## 1.1 Аналіз вимог до комп'ютерної системи перемикання відеочастот безпілотних апаратів

Сучасні безпілотні літальні апарати є складними апаратно-програмними системами, що інтегрують у собі численні підсистеми, а саме від навігації та стабілізації до цільового корисного навантаження. Важливою підсистемою безпілотних апаратів є відеосистема, яка забезпечує виконання польотного завдання. До її складу, як правило, входять одна або декілька камер (курсора, оглядова, тепловізійна), бортовий відеопередавач та наземна станція прийому. Для трансляції відео в реальному часі найчастіше використовуються аналогові системи у діапазонах 1.2 ГГц, 2.4 ГГц та 5.8 ГГц, а також цифрові системи, як DJI або Walksnail.

В умовах активної експлуатації безпілотних пристроїв, особливо у міській забудові, на промислових об'єктах чи в зонах із високим рівнем електромагнітних завад, виникає проблема деградації відеосигналу через інтерференцію. Вузкосмугові перешкоди від інших радіопристроїв, перевідбиття сигналу (багатопрореневе поширення) та зміна відстані між БПЛА і наземною станцією вимагають динамічної зміни робочої частоти відеопередавача для підтримання стабільного та якісного каналу зв'язку.

Саме тому постає завдання розробки спеціалізованої вбудованої комп'ютерної системи перемикання відеочастот Її основна функція – отримуючи команди від польотного контролера (FC) або зовнішнього джерела керування, змінювати частотний канал відеопередавача без необхідності

					<b>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</b>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Сеньків М. М.			Аналіз вимог до вбудованої комп'ютерної системи перемикання відеочастот для безпілотних пристроїв	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Стрембіцький М.О.					11	6
<i>Реценз.</i>		Дмитроца Л.П.				ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		
<i>Н. Контр.</i>		Тиш Є. В.						
<i>Затверд.</i>		Осухівська Г.М.						

фізичного втручання оператора. Враховуючи специфіку безпілотних платформ, до цієї системи висувається низка жорстких функціональних та нефункціональних вимог, які визначають її архітектуру та компонентну базу.

Функціональні вимоги визначають, які саме операції та в якому порядку має виконувати система для досягнення поставленої мети. Для даної системи вони сформульовані наступним чином:

– Програмно-кероване перемикання між частотними каналами: Це означає, що вибір активного каналу здійснюється не вручну (наприклад, кнопкою на передавачі), а за допомогою команд які генерує мікроконтролер на основі зовнішнього керуючого сигналу. Система повинна коректно інтерпретувати команди вибору каналу, отримані через один зі стандартних інтерфейсів (UART, SPI, SBUS, CRSF), та формувати відповідну послідовність логічних рівнів для входів керування частотою відеопередавача. Типовий FPV-передавач має 4-5 дискретних входів для вибору одного з 40-48 каналів у межах смуги.

– Коректна обробка та маршрутизація сигналів керування: Система має забезпечити надійний прийом пакету команд від головного польотного контролера, його попередню обробку (перевірку цілісності, фільтрацію від випадкових збурень) та перетворення на фізичний вплив на входи VTX. Окрім того, має бути реалізований зворотний зв'язок для телеметрії – підтвердження успішності виконання команди або індикація помилки.

– Візуальна індикація поточного стану: Для зручності налаштування та діагностики система повинна мати засоби візуалізації, наприклад, декілька світлодіодів. Вони відображатимуть номер активного каналу (у двійковому коді), статус живлення та наявність помилок зв'язку з польотним контролером.

Якщо функціональні вимоги деталізують основні операції, то нефункціональні вимоги описують, як саме система має функціонувати, визначаючи її якість, характеристики та обмеження. Вони є критичними для застосування на безпілотних апаратах:

					<b>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Мінімальна вага та компактні габарити: Кожен зайвий грам на борту БПЛА зменшує час польоту або корисне навантаження. Тому фізичні розміри та маса спроектованої плати повинні дозволяти її легку інтеграцію у стандартний відсік електроніки дрона. Цільовими показниками можна вважати вагу до 10-15 г без урахування антени та розміри, порівняні з типовими польотними контролерами.

– Високий ККД та енергоефективність: Система живиться від бортової мережі БПЛА (зазвичай це 5В або напруга акумуляторної батареї 2S-6S). Середній струм споживання самої системи у режимі очікування не повинен перевищувати 10-20 мА, а в активному режимі перемикачання – бути мінімальним, щоб не впливати на загальну тривалість польоту. Це вимагає застосування імпульсних стабілізаторів живлення з високим ККД (>90%) та переведення мікроконтролера у режими сну за відсутності команд.

– Стійкість до перешкод та електромагнітна сумісність (ЕМС): Система працює в безпосередній близькості від потужних силових компонентів (регуляторів швидкості моторів, акумуляторної батареї) та сама є джерелом цифрових імпульсних сигналів. Тому вона має бути стійкою до електромагнітних завад по лініях живлення та керування, а також не створювати завад, здатних порушити роботу чутливих приймачів GPS або радіоканалу управління. Використання гальванічної розв'язки (цифрових ізоляторів) та фільтрів живлення є обов'язковою умовою.

– Надійність та відмовостійкість: В умовах вібрацій та ударів, характерних для польоту, система повинна зберігати працездатність. Програмне забезпечення має бути стійким до збоїв – містити сторожовий таймер (Watchdog Timer), обробку некоректних команд та, за можливості, автоматичне відновлення після помилки. Робочий діапазон температур має охоплювати значення від -10 °С до +60 °С.

					<b>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сформований перелік вимог є основою для технічного завдання на проектування і дозволяє перейти до аналізу можливих апаратних та програмних рішень для їх реалізації.

## 1.2 Аналіз можливих рішень поставленого завдання

Враховуючи сформульовані вимоги, можна провести аналіз існуючих підходів до побудови вбудованих систем керування частотою відеопередавачів. У контексті безпілотних пристроїв можна виділити три основних концепції, кожна з яких має свої переваги та недоліки.

Першим і найбільш поширеним є підхід на базі мікроконтролера загального призначення (MCU)[9]. Центральним елементом системи виступає мікроконтролер, наприклад, на ядрі ARM Cortex-M (STM32F1, F4, G0) або AVR (Atmega). Його завдання – отримувати дані через один із послідовних інтерфейсів (UART, I<sup>2</sup>C, SPI) від керуючого пристрою (польотного контролера, пульта), інтерпретувати їх та відповідно до закладеного алгоритму формувати керуючі сигнали на лініях вводу/виводу (GPIO), які безпосередньо з'єднані з входами вибору каналу відеопередавача. Для захисту дорогих компонентів та підвищення завадостійкості між MCU та VTX часто встановлюють цифровий ізолятор (наприклад, на базі ємнісної або гальванічної розв'язки), який запобігає протіканню вирівнювальних струмів по земляним колам та захищає від статичної електрики. Живлення системи забезпечується малогабаритним імпульсним LDO-стабілізатором. Цей підхід вирізняється гнучкістю (легко додати підтримку нових протоколів керування), низьким енергоспоживанням та простотою програмування[10].

Другий підхід передбачає використання програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС/FPGA). У цьому випадку вся логіка керування реалізується апаратно на рівні цифрових блоків. ПЛІС здатна з надзвичайно високою швидкістю та детермінізмом обробляти вхідні сигнали, що дозволяє

					<b>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

досягти затримки перемикання на рівні одиниць мікросекунд. Така швидкодія є надлишковою для комутації частот VTX, де затримка у десятки мілісекунд є цілком прийнятною. До того ж, використання FPGA, як правило, збільшує енергоспоживання, складність розробки (вимагає знання мов Verilog/VHDL) та кінцеву вартість пристрою. Цей шлях є оптимальним для систем, де потрібна паралельна обробка кількох високошвидкісних цифрових відеопотоків, що не є метою даної роботи.

Третій підхід – використання готових аналогових або цифрових відеокомутаторів (відеосвітчерів). Існує ряд спеціалізованих мікросхем (наприклад, MAX454, AD8174 для аналогових сигналів або PI3WVR для цифрових), які призначені для маршрутизації відеосигналів від кількох джерел до одного приймача. Однак важливо розуміти, що ці рішення комутують саме відеосигнал (наприклад, перемикаючи між курсовою та оглядовою камерами), а не змінюють частоту каналу самого відеопередавача. Якщо завдання полягає у зміні частоти VTX для уникання перешкод, то такі комутатори не вирішують проблему. Вони можуть бути використані як додатковий модуль у комплексній системі, але не як єдине рішення для перемикання частот. Порівняльний аналіз цих концепцій наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльний аналіз концепцій

Критерій	Підходи		
	Мікроконтролер (MCU)	ПЛІС (FPGA)	Відеокомутатор
Функція	Керує частотою VTX через дискретні входи	Керує частотою VTX, може обробляти відео	Комутує аналогові/цифрові відеосигнали між джерелами
Затримка перемикання	Низька (<1 мс)	Ультранизька (<10 мкс)	Низька (десятки нс)

Продовження таблиці 1.1

Енергоспоживання	Дуже низьке (мА в режимі сну)	Середнє/Високе (десятки-сотні мА)	Низьке (мА)
Складність розробки	Низька/Середня (C/C++ в CubeIDE)	Висока (Verilog/VHDL, Vivado)	Низька (апаратна конфігурація)
Вага та габарити	Мінімальні (один чіп MCU + ізолятор)	Середні (потрібна зовнішня пам'ять, більше живлення)	Мінімальні (один чіп)
Зміна частоти каналу	Так	Так	Ні (лише маршрутизація сигналу)
Гнучкість	Висока (легко додати протоколи)	Найвища (можна реалізувати будь-яку логіку)	Низька (фіксована логіка роботи)
Орієнтовна вартість	Низька (<\$5 за MCU)	Середня/Висока (\$10-30 за чіп)	Низька (<\$3 за чіп)

Як видно з аналізу, найбільш раціональним рішенням для завдання перемикання відеочастот з огляду на сукупність критеріїв (насамперед – можливість зміни частоти, енергоефективність, мала вага та достатня швидкодія) є архітектура на базі мікроконтролера. Саме вона і буде покладена в основу подальшого проектування.

## РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТУВАННЯ ВБУДОВАНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕМИКАННЯ ВІДЕОЧАСТОТ

### 2.1 Розробка узагальненої структури системи перемикання відеочастот

Спираючись на сформульовані в першому розділі функціональні та нефункціональні вимоги, було розроблено структурну схему вбудованої комп'ютерної системи, яка відображає принцип взаємодії її основних апаратних модулів. Архітектура системи побудована за модульним принципом, що забезпечує гнучкість її інтеграції до складу бортової електроніки безпілотного літального апарату. Узагальнена структурна схема представлена на рисунку 2.1.

Система складається з п'яти ключових функціональних блоків, кожен з яких виконує чітко визначену роль у процесі прийому команд, їх обробки та формування сигналів керування частотою відеопередавача (VTX).

Блок живлення. Цей блок є основою для стабільної та безперебійної роботи всієї системи в умовах нестабільної бортової мережі БПЛА. Він отримує напругу від силової акумуляторної батареї (зазвичай 2S-6S LiPo, тобто 7.4–25.2 В) через вхідний роз'єм. Основне завдання блоку – перетворення цієї напруги у стабілізовані +3.3 В для живлення ядра мікроконтролера та іншої цифрової логіки, а також, за необхідності, окреме живлення +5 В для буферних мікросхем або живлення самого відеопередавача. Для забезпечення високого ККД та мінімізації тепловиділення використовується імпульсний стабілізатор (DC-DC конвертер). Додаткові фільтри захищають чутливу цифрову частину від імпульсних завад, що проникають по лініях живлення від регуляторів швидкості моторів.

					<b>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</b>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Проектування вбудованої комп'ютерної системи перемикання відеочастот	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		Сеньків М. М.					17	16
<i>Перевір.</i>		Стрембіцький М.О.				ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		
<i>Реценз.</i>		Дмитроца Л.П.						
<i>Н. Контр.</i>		Тиш Є. В.						
<i>Затверд.</i>		Осухівська Г.М.						

Центральний обчислювальний блок (мікроконтролер). Серцем системи є мікроконтролер, який виступає в ролі центрального обчислювального та керуючого модуля. Його ключова функція – виконання вбудованого програмного забезпечення, яке реалізує всю логіку роботи пристрою. На основі команд, отриманих від польотного контролера через один із стандартних інтерфейсів (UART, SPI, SBUS), мікроконтролер обчислює необхідну конфігурацію своїх портів вводу/виводу (GPIO). Саме логічні рівні на цих портах формують цифровий код, що відповідає конкретному частотному каналу, і надсилають його далі на відеопередавач. Крім того, мікроконтролер відповідає за керування індикацією, обробку помилок та можливість оновлення власної прошивки.

Блок прийому команд від польотного контролера. Цей блок відповідає за фізичний інтерфейс зв'язку з «мозком» безпілота. На відміну від ручного пульта, він передбачає автоматичне надходження команд, наприклад, за логікою алгоритму уникання перешкод або при зміні режиму польоту. Блок містить роз'єм для підключення до польотного контролера та апаратний приймач відповідного протоколу (наприклад, UART для протоколу MSP або CRSF), який декодує вхідні пакети даних і передає їх на обробку мікроконтролеру.

Блок формування та гальванічної розв'язки керуючих сигналів. Цей блок є критично важливим для захисту обладнання та забезпечення надійності. Він виконує дві основні задачі. По-перше, він забезпечує гальванічну розв'язку між цифровою частиною системи (мікроконтролером) та високочастотною частиною відеопередавача. Це необхідно для запобігання протіканню зрівняльних струмів по «земляним» колам, які можуть виникнути через різницю потенціалів між «землею» акумулятора, польотного контролера та VTX, і як наслідок – пошкодженню портів або появі завад на відеозображенні. По-друге, блок формує чіткі, очищені від шумів логічні рівні, необхідні для

					<b>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

надійної комутації каналів на входах відеопередавача. Реалізується за допомогою цифрового ізолятора або оптронів.

Блок індикації стану. Для візуального моніторингу під час налаштування та польоту система оснащується набором світлодіодів різного кольору. Через обмежувальні резистори вони підключаються безпосередньо до портів мікроконтролера. Блок призначений для швидкої діагностики: відображення наявності живлення (наприклад, червоний світлодіод), статусу зв'язку з польотним контролером (зелений, блимає при передачі даних) або індикації помилки (червоний, швидке блимання). У деяких конфігураціях можливе відображення двійкового коду поточного каналу.



Рисунок 2.1 – Структурна схема вбудованої комп'ютерної системи перемикання відеочастот

Логіку взаємодії блоків системи можна описати наступною послідовністю дій. Після подачі живлення від бортової мережі БПЛА блок живлення запускає стабілізатори та формує необхідні рівні напруги. Отримавши живлення, мікроконтролер завантажує вбудоване програмне забезпечення, проводить ініціалізацію периферійних модулів (таймерів,

UART, портів GPIO) та встановлює початковий безпечний частотний канал. Система переходить у режим очікування команд від польотного контролера. При надходженні пакету даних через блок прийому команд, мікроконтролер аналізує його, визначає необхідну комбінацію сигналів для вибору каналу та виставляє відповідні логічні рівні на своїх виходах. Ці сигнали проходять через блок гальванічної розв'язки, де очищуються від завад та передаються безпосередньо на дискретні входи керування відеопередавача. Паралельно мікроконтролер оновлює стан блоку індикації, сигналізуючи про успішне виконання команди. Таким чином, принцип роботи системи полягає в перетворенні цифрової команди, що надійшла від польотного контролера, на точну комбінацію логічних рівнів, які безпосередньо керують зміною частоти відеопередавача. Система забезпечує дистанційне перемикання між частотними каналами в реальному часі, що є критичним для підтримання стабільного відеозв'язку в умовах зміни ефірної обстановки під час польоту БПЛА. Завдяки використанню апаратних переривань від модуля UART, система реагує на команди в реальному часі без постійного програмного опитування, що мінімізує затримку між надходженням пакету даних та початком перемикання частоти.

Така структура забезпечує виконання всіх ключових вимог, визначених у технічному завданні: можливість програмного керування, захист від перешкод завдяки гальванічній розв'язці, мінімальну затримку перемикання, а також компактність і низьке енергоспоживання, необхідні для інтеграції в безпілотні пристрої.

## 2.2 Обґрунтування вибору апаратного забезпечення для вбудованої системи перемикання відеочастот

Вибір апаратного забезпечення є визначальним етапом проектування, оскільки від характеристик електронних компонентів безпосередньо залежить

					<i>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						20
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

здатність системи виконувати поставлені вимоги щодо точності керування, швидкодії, енергоспоживання та стійкості до зовнішніх впливів. Зважаючи на специфіку застосування –інтеграцію до складу безпілотного літального апарату, –критеріями відбору були не лише суто технічні параметри, але й масо-габаритні показники, доступність компонентів та зручність розробки.

Центральним обчислювальним елементом проекрованої системи є мікроконтролер, який безпосередньо формує керуючі сигнали для перемикання частотних каналів. Перед початком аналізу було визначено мінімально необхідний набір вимог до мікроконтролера для виконання завдань у складі даної системи:

- достатня кількість виводів GPIO для керування дискретними входами відеопередавача яка має становити не менше 4–5 ліній;
- наявність не менше одного апаратного UART/USART для прийому команд від польотного контролера за протоколами MSP, CRSF або аналогічними;
- наявність таймерів загального призначення для організації програмних затримок та, за потреби, генерації ШІМ-сигналів;
- підтримка енергоощадних режимів (Sleep, Stop) для мінімізації споживання в періоди очікування команд;
- компактний корпус (бажано TSSOP-20 або QFN) для мінімізації займаної площі на друкованій платі.

Для порівняння було розглянуто три типові кандидати, що часто застосовуються у вбудованих системах подібного класу: ATmega328P (8-бітна архітектура AVR), STM32F103C8T6 (ARM Cortex-M3) та STM32F030F4P6 (ARM Cortex-M0). Результати порівняння зведено в таблицю 2.1.

Як видно з таблиці, ATmega328P програє за продуктивністю та обсягом пам'яті, хоча є достатнім для виконання базових функцій. Однак його 8-бітна архітектура та відсутність сучасних засобів налагодження (SWD) роблять розробку та розширення функціоналу менш зручним. STM32F103C8T6,

					<i>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

навпаки, має надлишкову для цієї задачі продуктивність і периферію, що призводить до невиправдано більшого корпусу, складнішого розведення плати та вищого енергоспоживання.

Таблиця 2.1 – Порівняльний аналіз мікроконтролерів для системи перемикання відеочастот

Критерій	ATmega328P	STM32F103C8T6	STM32F030F4P6
Ядро	AVR 8-bit	ARM Cortex-M3	ARM Cortex-M0
Макс. тактова частота	16 МГц	72 МГц	48 МГц
Flash / SRAM	32 КБ / 2 КБ	64 КБ / 20 КБ	16 КБ / 4 КБ
UART/USART	1	3	1
Корпус	TQFP-32	LQFP-48	TSSOP-20
Енергоспоживання (акт.)	~5 мА	~20 мА	~5 мА
Вартість (орієнт.)	~\$1.5	~\$2.5	~\$1.0
Складність паяння	Середня	Висока	Низька (TSSOP)

Оптимальним вибором є 32-бітний мікроконтролер STM32F030F4P6 на базі ядра ARM Cortex-M0[11]. Цей мікроконтролер ідеально збалансований для задачі керування перемиканням частот. Його тактової частоти 48 МГц достатньо для обробки команд та формування керуючих імпульсів із затримками, що не перевищують кілька мікросекунд. Наявність одного UART-інтерфейсу повністю задовольняє потребу зв'язку з польотним контролером, а 15 виводів GPIO у корпусі TSSOP-20 дозволяють безпосередньо під'єднати до п'яти ліній керування VTX, лінії програмування (SWD), світлодіоди та службовий UART. Критично важливою для автономного БПЛА є низька споживана потужність (у режимі Sleep –одиниці міліампер), що сприяє загальній енергоефективності системи[12]. Крім того, мініатюрний корпус TSSOP-20 спрощує ручне паяння, що є перевагою під час прототипування.

Внутрішня архітектура цього мікроконтролера базується на високопродуктивних системних шинах АНВ (Advanced High-performance Bus)

та APB (Advanced Peripheral Bus), які забезпечують ефективний обмін даними між ядром Cortex-M0, пам'яттю та всіма периферійними модулями без утворення вузьких місць, що є важливим для своєчасного виконання критичних до затримок операцій.

Для захисту від перешкод та гальванічної розв'язки застосовано цифровий ізолятор. Його вибір обґрунтований необхідністю фізично розділити «цифрову землю» мікроконтролера та «силову землю» відеопередавача, що живиться безпосередньо від бортової батареї. За відсутності такого захисту імпульсні завади від двигунів та різниця потенціалів між земляними полігонами призвели б до нестабільної комутації каналів або навіть до виходу з ладу портів мікроконтролера. Цифровий ізолятор забезпечує передачу логічних сигналів через ємнісний бар'єр без спотворення форми імпульсів, що робить його надійнішим рішенням порівняно з дискретними оптронами, які мають обмежену швидкодію та з часом деградують. Зокрема, для реалізації гальванічної розв'язки обрано мікросхему ADUM1201BRZ[13], яка використовує технологію магнітної індукції для передачі сигналів крізь ізоляційний бар'єр, що гарантує швидкодію на рівні десятків наносекунд і повну електричну ізоляцію між цифровою частиною та силовими колами відеопередавача.

Блок живлення системи реалізовано на основі імпульсного стабілізатора (DC-DC конвертера), а не лінійного LDO-регулятора[14]. Це рішення продиктоване вимогою енергоефективності. Бортова мережа БПЛА зазвичай має напругу від 7.4 В (2S LiPo) до 22.2 В (6S LiPo). Використання лінійного стабілізатора для зниження такої напруги до 3.3 В спричинило б значні теплові втрати та знизило б загальний ККД системи до 15-40%. Імпульсний перетворювач із ККД понад 85% мінімізує втрати та забезпечує стабільне живлення в усьому діапазоні входних напруг, що є критичним для збереження льотного часу безпілота.

					<i>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаткові компоненти –керамічний резонатор для стабільного тактування мікроконтролера, набір світлодіодів зі струмообмежувальними резисторами для індикації, а також мініатюрні роз’єми типу JST-SH або аналогічні для підключення до польотного контролера та VTX –обрані з міркувань надійності та мініатюризації. Хоча в поточній конфігурації системи вони не задіяні, наявність у мікроконтролері STM32F030F4P6 апаратних інтерфейсів I2C та SPI закладає потенціал для майбутнього розширення функціональності –наприклад, для підключення зовнішньої енергонезалежної пам’яті, додаткових сенсорів або дисплейних модулів

Таким чином, вибрана апаратна платформа повністю відповідає вимогам, визначеним у технічному завданні, та створює надійне апаратне підґрунтя для реалізації вбудованої комп’ютерної системи перемикання відеочастот для безпілотних пристроїв.

### 2.3 Обґрунтування вибору програмного забезпечення для вбудованої системи перемикання відеочастот

Ефективність роботи будь-якої вбудованої комп’ютерної системи визначається не лише апаратною платформою, а й програмним забезпеченням, яке реалізує задану логіку керування. Вибір програмних засобів для проектованої системи перемикання відеочастот має враховувати вимоги, сформульовані в підрозділі 1.1, а саме: мінімальну затримку виконання команд (не більше 100 мс), низьке енергоспоживання, стійкість до збоїв та простоту інтеграції в архітектуру безпілотного апарату.

Вибір програмної платформи та операційної системи. За характером виконуваних завдань система належить до класу жорсткого реального часу з мінімальним набором функцій: очікування команди через UART, її валідація та встановлення відповідних логічних рівнів на лініях GPIO. Для таких задач застосування повноцінної операційної системи реального часу (RTOS), як-от

					<b>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

FreeRTOS або Zephyr, є надлишковим. Використання RTOS призвело б до додаткових накладних витрат на планування задач, перемикання контексту та споживання оперативної пам'яті, що суперечить вимогам до мінімізації енергоспоживання та спрощення кодової бази. Вбудований Linux (Yocto, Buildroot) також є недоцільним, оскільки потребує значно більших обчислювальних ресурсів і не забезпечує гарантованої детермінованості, критичної для точного формування керуючих імпульсів.

Таким чином, оптимальним рішенням є реалізація програмного забезпечення на рівні «bare-metal» –без операційної системи, у вигляді циклічного виконуваного коду, що безпосередньо взаємодіє з апаратними регістрами мікроконтролера. Такий підхід забезпечує мінімальну затримку обробки команд (лише час виконання кількох інструкцій ядра Cortex-M0), відсутність додаткових фіксованих витрат пам'яті та максимальну енергоефективність завдяки можливості ручного керування режимами сну мікроконтролера.

Вибір мови програмування. Для написання вбудованого програмного забезпечення обрано мову C, яка є стандартом де-факто у сфері розробки для мікроконтролерів ARM Cortex-M[15]. C надає необхідний рівень абстракції для роботи з периферійними модулями, водночас залишаючись достатньо низькорівневою для точного контролю над апаратними ресурсами. Асемблерні вставки не використовуються, оскільки весь необхідний функціонал (керування перериваннями, портами GPIO, UART) повністю покривається бібліотеками HAL (Hardware Abstraction Layer), що входять до складу екосистеми STM32Cube[16].

Вибір середовища розробки та допоміжних інструментів. Як інтегроване середовище розробки (IDE) використано STM32CubeIDE[17], що є офіційним безкоштовним рішенням компанії STMicroelectronics для мікроконтролерів сімейства STM32. Це середовище об'єднує в собі редактор коду, компілятор GCC для ARM, засоби налагодження та графічний конфігуратор CubeMX,

					<b>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

який дає змогу у візуальному режимі налаштувати тактову систему, призначити виводи мікроконтролера, активувати периферійні модулі та згенерувати ініціалізаційний код. Застосування STM32CubeIDE суттєво прискорює процес розробки, знижує ймовірність помилок на етапі конфігурації та забезпечує повну сумісність із вибраним мікроконтролером STM32F030F4P6[18].

Бібліотеки HAL, які генеруються CubeMX, забезпечують уніфікований API для роботи з периферією, що робить код більш читабельним і переносимим між різними моделями STM32. Для налагодження програмного забезпечення використовується внутрішньосхемний відлагоджувач ST-Link/V2, який через протокол Serial Wire Debug (SWD) дозволяє програмувати flash-пам'ять, встановлювати точки зупину та контролювати стан регістрів у реальному часі безпосередньо на платі прототипу.

Таким чином, вибір програмного забезпечення повністю узгоджується з апаратною платформою та функціональними вимогами. Поєднання bare-metal архітектури, мови C і середовища STM32CubeIDE з бібліотеками HAL створює надійну, енергоефективну та просту в реалізації основу для програмної частини вбудованої комп'ютерної системи перемикачів відеочастот безпілотних пристроїв.

## 2.4 Проектування комп'ютерного засобу перемикачів відеочастот

Проектування апаратної та програмної складових вбудованої системи виконувалось на основі попередньо обґрунтованих структурної схеми та вибраної компонентної бази. Метою цього етапу є створення повного комплексу конструкторської документації, достатнього для виготовлення фізичного прототипу, а також формалізація логіки його роботи та взаємодії з бортовим обладнанням безпілотного апарату.

					<b>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Розробка електричної принципової схеми. Створення принципової схеми є ключовим етапом, оскільки саме вона описує всі функціональні взаємозв'язки між компонентами та слугує обов'язковою інструкцією для подальшого трасування друкованої плати. Для проектування було використано програмне забезпечення Altium Designer[19], що надає широкі можливості для ведення бібліотек компонентів, перевірки цілісності сигналів та експорту виробничих файлів.

Побудована електрична принципова схема, зображена на рисунку 2.2, відображає всі електричні з'єднання та номінали пасивних елементів, необхідні для реалізації закладеної логіки. Центральним елементом схеми є мікроконтролер U1 (STM32F030F4P6), до якого підключені всі периферійні вузли:

– Лінії керування частотою (GPIO, 4 лінії). Виводи PA0-PA3 мікроконтролера через струмообмежувальні резистори 100 Ом підключені до входів цифрового ізолятора U2. Така схема дозволяє сформувати 4-бітний двійковий код, що відповідає номеру каналу від 0 до 15 (достатньо для керування 16-канальними банками VTX). Усі виводи керування сконфігуровані як двотактні цифрові виходи з максимальною швидкодією, що забезпечує чіткі фронти імпульсів та стабільне розпізнавання логічних рівнів на входах відеопередавача після проходження через ізолятор. Стабільність та точність формування цих сигналів забезпечується тактуванням мікроконтролера від зовнішнього керамічного резонатора, що дає високу часову стабільність фронтів імпульсів.

– Інтерфейс зв'язку з польотним контролером. Виводи PA9 (TX) та PA10 (RX) мікроконтролера, що є апаратним USART1, виведені на окремий 4-контактний роз'єм J1 (GND, +5V, TX, RX). Через цей роз'єм система підключається до одного з вільних UART-портів польотного контролера. Такий роз'єм також використовується для початкового програмування мікроконтролера через вбудований UART-завантажувач.

					<b>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Інтерфейс внутрішньосхемного програмування та налагодження (SWD). Виводи SWCLK (PA14) та SWDIO (PA13) виведені на окремий 4-контактний роз'єм J2, сумісний з програматорами ST-Link/V2. Це дає змогу оперативно змінювати прошивку безпосередньо на платі без демонтажу мікроконтролера.

– Блок індикації. Два світлодіоди зі струмообмежувальними резисторами 330 Ом підключені до виводів PA4 (червоний, індикація помилки) та PA5 (зелений, індикація активності/стану).

– Кола живлення. Імпульсний стабілізатор U3 реалізує перетворення вхідної напруги з діапазону 7-26 В від акумулятора БПЛА у стабілізовані +3.3 В. На вході та виході стабілізатора встановлено фільтруючі танталові та керамічні конденсатори, які мінімізують пульсації напруги.

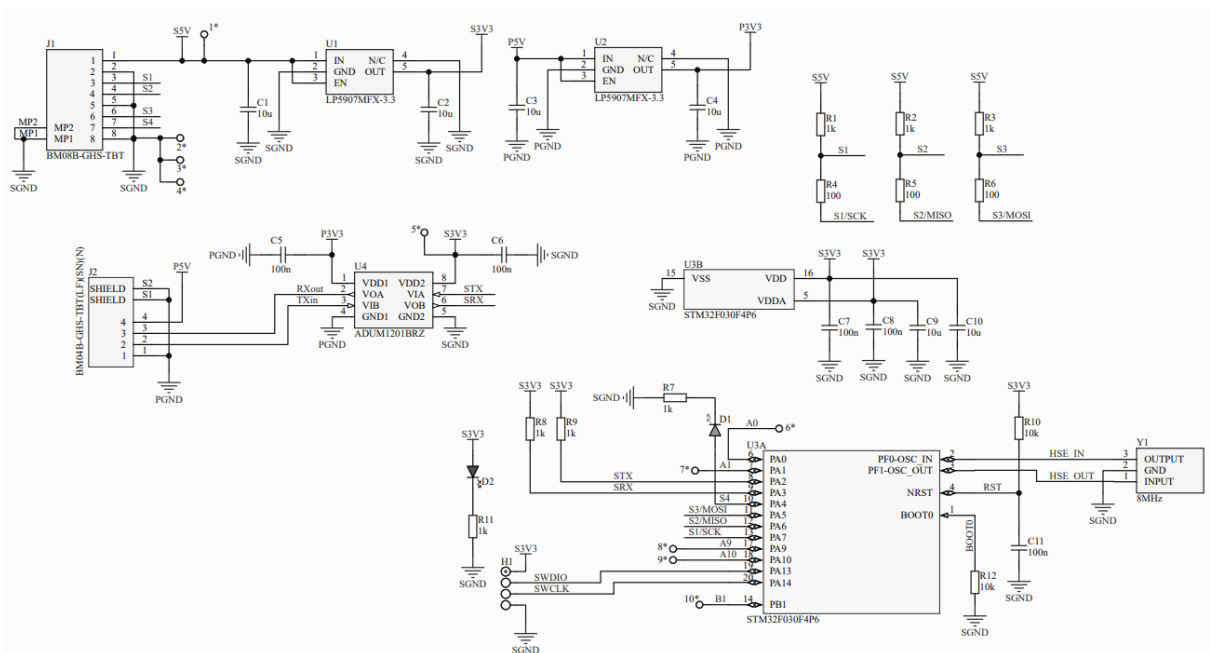


Рисунок 2.2 – Електрична принципова схема системи перемикання відеочастот

Особливу увагу при розробці схеми було приділено забезпеченню електромагнітної сумісності (ЕМС). Цифровий ізолятор U2 фізично розділяє «земляні» полігони мікроконтролерної частини (GND) та відеопередавача

(GND\_VTX). Керуючі сигнали після ізолятора надходять безпосередньо на вихідний 6-контактний роз'єм J3, призначений для підключення до дискретних входів вибору каналу VTX. Жоден із сигналів VTX не проходить через цифрову частину плати, що запобігає наведенню високочастотних завад на чутливі кола мікроконтролера. Цифровий ізолятор ADUM1201BRZ передає керуючі імпульси через ізоляційний бар'єр за допомогою магнітної індукції без електричного контакту, що унеможливорює протікання зрівняльних струмів та захищає мікроконтролер від перенапруг, які можуть виникнути на стороні силових ланцюгів відеопередавача.

Після завершення розробки принципової схеми було проведено автоматичну перевірку електричних правил (Electrical Rule Check, ERC). Процедура виявила та дозволила усунути кілька дрібних помилок, пов'язаних із відсутністю підтягувальних резисторів на лініях, підключених до роз'ємів. Успішне проходження фінальної ERC-перевірки підтвердило коректність електричних з'єднань та готовність схеми до етапу трасування друкованої плати.

Особливості проектування друкованої плати (коротко). Хоча повний опис трасування виходить за межі даного підрозділу, слід зазначити, що при розробці топології плати було застосовано двошарову структуру з наскрізною металізацією отворів. Критичні сигнальні доріжки (лінії керування частотою) трасувалися з мінімальною довжиною та рівномірною відстанню до суцільного земляного полігону для запобігання перехресним завадам. Усі з'єднувачі винесено на один край плати для зручності монтажу в обмеженому просторі відсіку електроніки.

Алгоритм роботи вбудованого програмного забезпечення. Логіка керування системою реалізована на основі моделі кінцевого автомата і детально представлена у вигляді блок-схеми на рисунку 2.3. Основний цикл програми побудований навколо очікування команди. Через UART надходить байт даних, спрацьовує апаратне переривання, обробник якого зчитує

					<b>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

прийнятий байт і встановлює внутрішній прапорець. В основному циклі цей прапорець перевіряється, і якщо він встановлений, викликається підпрограма обробки команди.



Рисунок 2.3 – Блок-схема алгоритму роботи системи

Процес розпочинається з етапу ініціалізації, під час якого мікроконтролер конфігурує тактову систему від зовнішнього резонатора,

налаштовує порти GPIO (PA0-PA3 як виходи, PA4-PA5 як виходи для світлодіодів) та активує периферію USART1 з параметрами 115200 бод, 8N1. Після цього на виходах PA0-PA3 встановлюється код «за замовчуванням», що відповідає безпечному каналу, і система переходить у режим очікування.

Ця підпрограма виконує декодування та валідацію отриманого значення: номер каналу не повинен перевищувати 15 (для 4-бітного кодування). Якщо команда некоректна, вона ігнорується, і система блимає червоним світлодіодом, сигналізуючи про помилку. Якщо команда валідна, мікроконтролер оновлює стан виходів PA0-PA3 відповідно до заданого номеру каналу, вмикає зелений світлодіод на короткий час для візуального підтвердження, після чого знову переходить у режим очікування наступної команди. Такий циклічний алгоритм забезпечує безперервну готовність системи до зміни частоти в реальному часі.

Протокол взаємодії з польотним контролером. Для обміну даними використовується спрощений однобайтовий протокол поверх інтерфейсу UART з параметрами 115200 бод, 8 біт даних, 1 стоп-біт, без контролю парності. Польотний контролер надсилає один байт, значення якого відповідає бажаному номеру каналу (0 – вимкнуті VTX або спеціальний режим, 1–15 – відповідний частотний канал). Таке рішення мінімізує накладні витрати на обробку пакетів та забезпечує сумісність з більшістю прошивок польотних контролерів (Betaflight[20], iNav, ArduPilot), які підтримують надсилання команд MSP (MultiWii Serial Protocol) або можуть бути налаштовані на трансляцію призначеного для користувача каналу в режимі «Serial Passthrough». Завдяки фіксованій структурі однобайтової команди, загальний час від моменту завершення прийому байту до встановлення нового стану на виходах GPIO не перевищує кількох мікросекунд, що практично миттєво з точки зору інерційності самого відеопередавача та системи радіозв'язку в цілому.

Таким чином, виконане проектування охопило всі аспекти – від

					<b>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

принципової схеми до формалізації програмної логіки та протоколу. Це створює завершене технічне рішення, готове до практичної реалізації у вигляді фізичного прототипу.

					<i>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						32
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ ПЕРЕМИКАННЯ ВІДЕОЧАСТОТ

### 3.1 Реалізація апаратно-програмного рішення системи перемикання відеочастот

Практична реалізація вбудованої системи передбачає два взаємопов'язаних етапи: виготовлення фізичного прототипу на основі розробленої принципової схеми та написання вбудованого програмного забезпечення, що реалізує логіку керування перемиканням частот відеопередавача. Обидва етапи виконано з урахуванням вимог, сформульованих у першому розділі, та проектних рішень, обґрунтованих у другому.

Апаратна реалізація прототипу. Для відпрацювання схемотехнічних рішень та тестування алгоритмів було виготовлено фізичний прототип системи. Монтаж компонентів здійснювався на макетній друкованій платі, що дало змогу оперативно вносити зміни в конфігурацію та перевіряти працездатність окремих вузлів. Ядром прототипу є мікроконтролер STM32F030F4P6 до якого підключено модуль цифрового ізолятора, імпульсний стабілізатор живлення на 3.3 В, світлодіоди індикації та роз'єми для підключення до живлення та відеопередавача на рис. 3.1.

Налаштування проекту в програмному середовищі STM32CubeIDE. Програмна реалізація виконана в інтегрованому середовищі розробки STM32CubeIDE, яке надає зручні інструменти для графічної конфігурації периферії, систем тактування та генерації ініціалізаційного коду. Процес налаштування проекту розпочато зі встановлення необхідних програмних пакетів для роботи з серією мікроконтролерів STM32F0 через вбудований

					<b>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</b>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Сеньків М. М.</i>			Практична реалізація та тестування системи перемикання відеочастот	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Стрембіцький М.О.</i>					33	10
<i>Реценз.</i>		<i>Дмитроца Л.П.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Є. В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>						

менеджер (Help → Manage Embedded Software Packages).

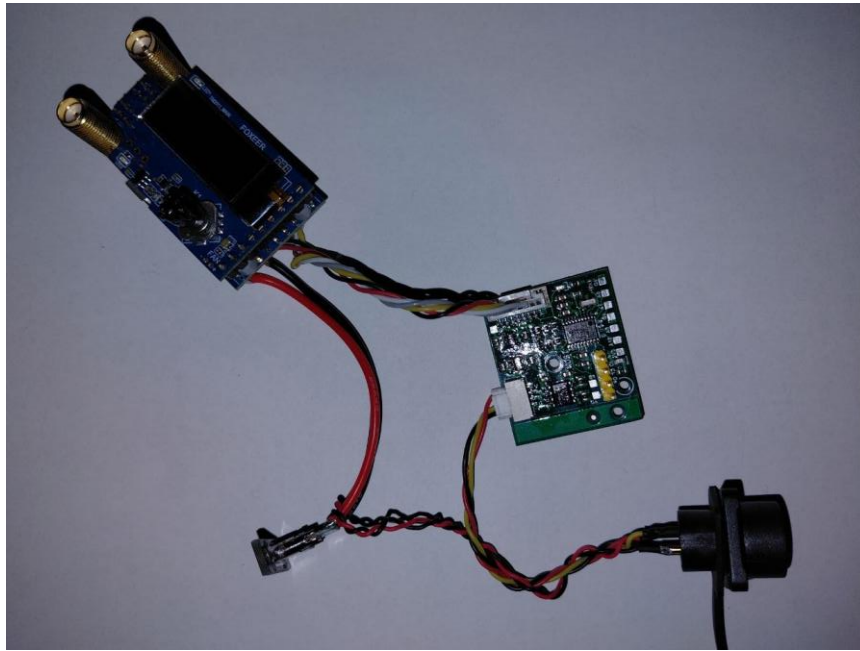


Рисунок 3.1 – Фото прототипу системи на макетній платі

У розділі System Core налаштовано ключові системні модулі. Для режиму налагодження в інтерфейсі SYS вибрано протокол Serial Wire (SWD), що задіює виводи SWCLK (PA14) та SWDIO (PA13) і забезпечує можливість внутрішньосхемного програмування та налагодження безпосередньо на платі. У модулі RCC вказано джерело високочастотного тактування – зовнішній керамічний резонатор (HSE) частотою 8 МГц, що є основою для стабільної та точної роботи всієї системи, критичної для формування керуючих сигналів без тремтіння фази.

У розділі Connectivity активовано асинхронний режим роботи інтерфейсу USART1 з параметрами 115200 бод, 8 біт даних, 1 стоп-біт, без контролю парності (8N1). Саме через цей інтерфейс система отримуватиме команди від польотного контролера. Паралельно виконано призначення користувацьких міток (User Labels) для портів вводу-виводу відповідно до їх функціонального призначення в схемі:

– PA0 – CH1, PA1 – CH2, PA2 – CH3, PA3 – CH4 (лінії керування частотою);

					<b>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- PA4 – LED\_ERROR (червоний світлодіод помилки);
- PA5 – LED\_STATUS (зелений світлодіод стану);
- PA13 – SWDIO, PA14 – SWCLK (інтерфейс налагодження);
- PA9 – TX, PA10 – RX (інтерфейс UART).

На вкладці Clock Configuration виконано налаштування джерел тактових сигналів (рисунок 3.2). Первинним високочастотним джерелом виступає зовнішній керамічний резонатор HSE з частотою 8 МГц. Цей сигнал через мультиплексор вибору джерела (PLL Source Mux) спрямовується на вхід системи фазового автопідстроювання частоти (PLL), де відбувається його множення до 48 МГц. Отримана частота обирається як основна системна тактова частота (SYSCLK) через відповідний мультиплексор (System Clock Mux). Системна частота 48 МГц є базовою для формування тактування всіх основних функціональних блоків: шина АНВ (HCLK) забезпечує роботу ядра Cortex-M0, пам'яті та контролера DMA, а шина АРВ (PCLK) – периферійних модулів, зокрема USART1 та портів GPIO.

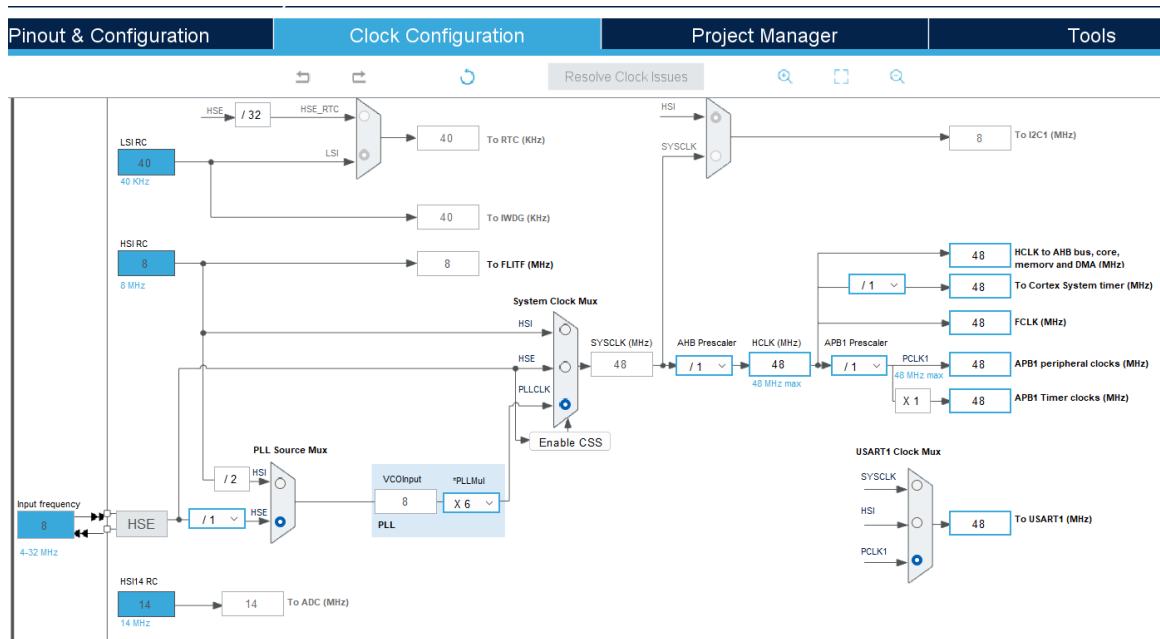


Рисунок 3.2 – Налаштування вкладки Clock Configuration

Таке налаштування гарантує достатню швидкодію для обробки команд у реальному часі з мінімальною затримкою, що необхідно для оперативного

перемикання частоти відеопередавача під час польоту.

Програмна реалізація логіки керування. Після генерації початкового коду засобами STM32CubeIDE було розроблено прикладне програмне забезпечення, яке реалізує алгоритм, детально описаний у підрозділі 2.4. Програму написано мовою C з використанням бібліотек HAL (Hardware Abstraction Layer), що забезпечує переносимість коду між різними моделями мікроконтролерів STM32.

Основний цикл програми побудований навколо очікування команди від польотного контролера. Нижче наведено лістинги 3.1 та 3.2 які наводять ключові фрагменти коду, що ілюструють реалізацію.

### Лістинг 3.1 – Ініціалізація периферії та встановлення початкового каналу

```
/* MCU Configuration-----  
*/  
/* Reset of all peripherals, Initializes the Flash interface  
and the SysTick. */  
HAL_Init();  
/* USER CODE BEGIN Init */  
/* USER CODE END Init */  
/* Configure the system clock */  
SystemClock_Config();  
  
/* USER CODE BEGIN SysInit */  
/* USER CODE END SysInit */  
/* Initialize all configured peripherals */  
MX_GPIO_Init();  
MX_USART1_UART_Init();  
/* USER CODE BEGIN 2 */  
  
HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_0 | GPIO_PIN_1 | GPIO_PIN_2  
GPIO_PIN_3, GPIO_PIN_RESET);  
HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_0, GPIO_PIN_SET);  
HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_5, GPIO_PIN_SET);  
HAL_UART_Receive_IT(&huart1, &rx_data, 1);  
  
/* USER CODE END 2 */
```

### Лістинг 3.2 – Обробник переривання UART та функція перемикання каналу

```
/**  
 * @brief Rx Transfer completed callbacks.*/
```

					<b>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

```

    * @param huart Pointer to a UART_HandleTypeDef structure that
    contains
    * the configuration information for the specified UART module.
    * @retval None
    */
void HAL_UART_RxCpltCallback(UART_HandleTypeDef *huart)
{
    if (huart->Instance == USART1)
    {
        command_received = 1;
        HAL_UART_Receive_IT(&huart1, &rx_data, 1);
    }
}
/**
 * @brief
 * @param channel
 * @retval None
 */
void Switch_Channel(uint8_t channel)
{
    if (channel > 0 && channel <= 15)
    {
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_0 | GPIO_PIN_1 |
GPIO_PIN_2 | GPIO_PIN_3, GPIO_PIN_RESET);

        HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, channel & 0x0F, GPIO_PIN_SET);
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_5, GPIO_PIN_RESET);
        HAL_Delay(50);
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_5, GPIO_PIN_SET
    }
    else if (channel == 0)
    {
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_0 | GPIO_PIN_1 |
GPIO_PIN_2 | GPIO_PIN_3, GPIO_PIN_RESET);
    }
    else
    {
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_4, GPIO_PIN_SET
        HAL_Delay(100);
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_4, GPIO_PIN_RESET);
    }
}

```

Повний код програми з усіма функціями, налаштуваннями та коментарями представлено в Додатку В. Він включає ініціалізацію всієї периферії, налаштування обробників переривань, головний цикл програми з алгоритмом очікування та обробки команд, а також функції керування світлодіодною індикацією. Така апаратно-програмна реалізація забезпечує

					<b>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

повну відповідність системи поставленим вимогам: можливість дистанційного програмного перемикавання частоти відеопередавача за командами від польотного контролера, захист від перешкод завдяки гальванічній розв'язці, мінімальне енергоспоживання та компактні габарити, придатні для інтеграції в безпілотні пристрої.

### 3.2 Тестування характеристик системи перемикавання відеочастот

Для підтвердження відповідності розробленої вбудованої системи вимогам, сформульованим у технічному завданні, було проведено комплексне тестування її функціональних та технічних характеристик. Валідація охопила повний функціональний цикл – від початкової ініціалізації та встановлення зв'язку з керуючим пристроєм до безпосереднього виконання команд перемикавання каналів із подальшою індикацією стану.

Методика тестування. Функціональне тестування проводилося на зібраному прототипі (рисунок 3.1) у складі наступного тестового стенду:

- джерело живлення
- відеопередавач (VTX) із підтримкою дискретного вибору каналів та вбудованим дисплеєм для відображення поточного каналу і частоти, що виключило необхідність використання окремого монітора чи відеоприймача;

Перевірка функціонування в основних режимах. На першому етапі перевірялася коректність поведінки системи у станах, передбачених алгоритмом. Початковий стан, коли керуючий пристрій ще не підключено або не надсилає команд, наведено на рисунку 3.4. У цьому режимі система індикуює наявність живлення постійним світінням зеленого світлодіода, що свідчить про успішне завершення ініціалізації та готовність до прийому даних. Під час подачі напруги відбувається автоматичне конфігурація внутрішніх регістрів мікроконтролера для переведення периферії в режим очікування. При цьому всі керуючі виводи, які відповідають за комутацію частотних каналів фіксуються у вихідному стані завдяки внутрішнім підтягуючим резисторам.

Таке рішення виключає появу хаотичних імпульсів або хибних логічних рівнів на виходах під час перехідних процесів у момент увімкнення.

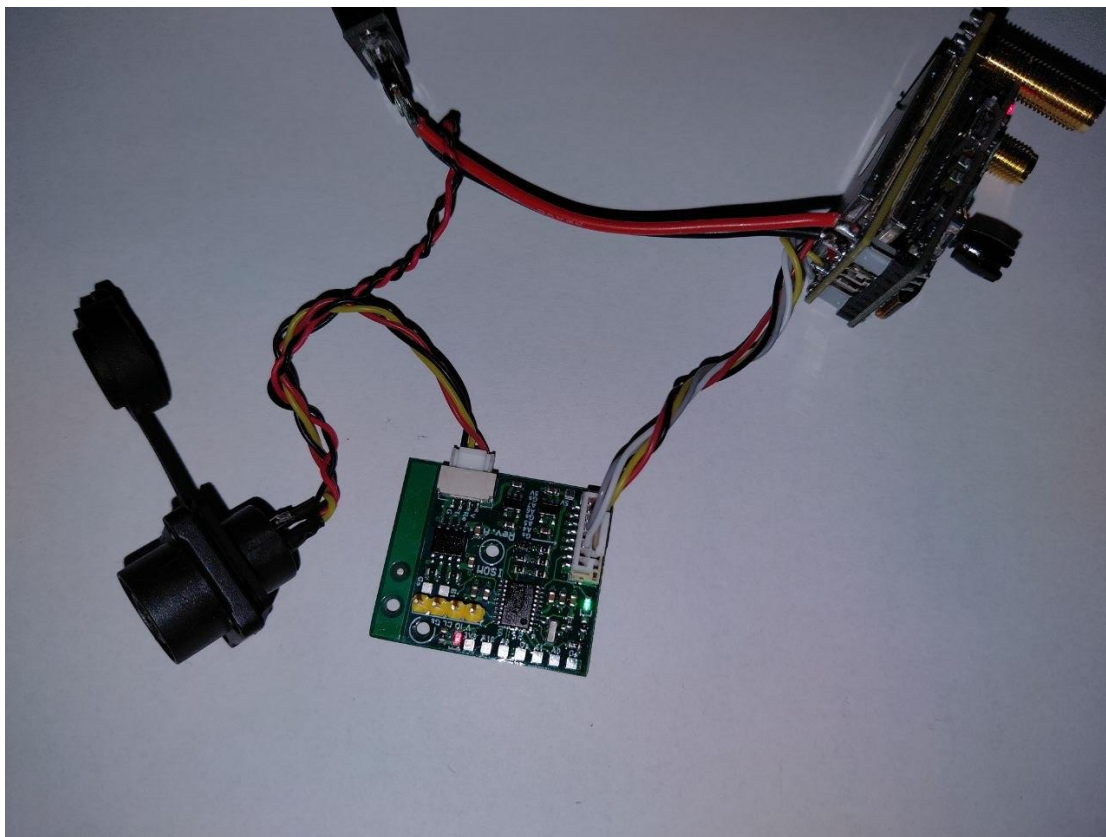


Рисунок 3.4 – Початковий стан системи (зелений світлодіод світиться)

Після подачі першої команди від зовнішнього пристрою через UART (наприклад, байту, що відповідає каналу 1) система переходить у активний режим. Успішне встановлення зв'язку та отримання коректної команди підтверджується миготінням зеленого світлодіода, як показано на рисунку 3.5. Це свідчить про те, що мікроконтролер правильно розпізнав переривання від USART1, валідував отриманий байт і перейшов зі стану очікування у стан виконання. Після цієї валідації програма оновлює логічні рівні на відповідних виводах GPIO, які безпосередньо керують комутацією частот відеопередавача. Для забезпечення стабільної роботи алгоритм перевіряє отримане значення на відповідність допустимому діапазону каналів. Час реакції від моменту прийому до зміни напруги на керуючих виводах становить лічені

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ

Арк.

39

мікросекунди, що гарантує миттєве перемикання без відчутних затримок. Така динамічна візуальна індикація процесу дозволяє зручно контролювати проходження керуючих сигналів.

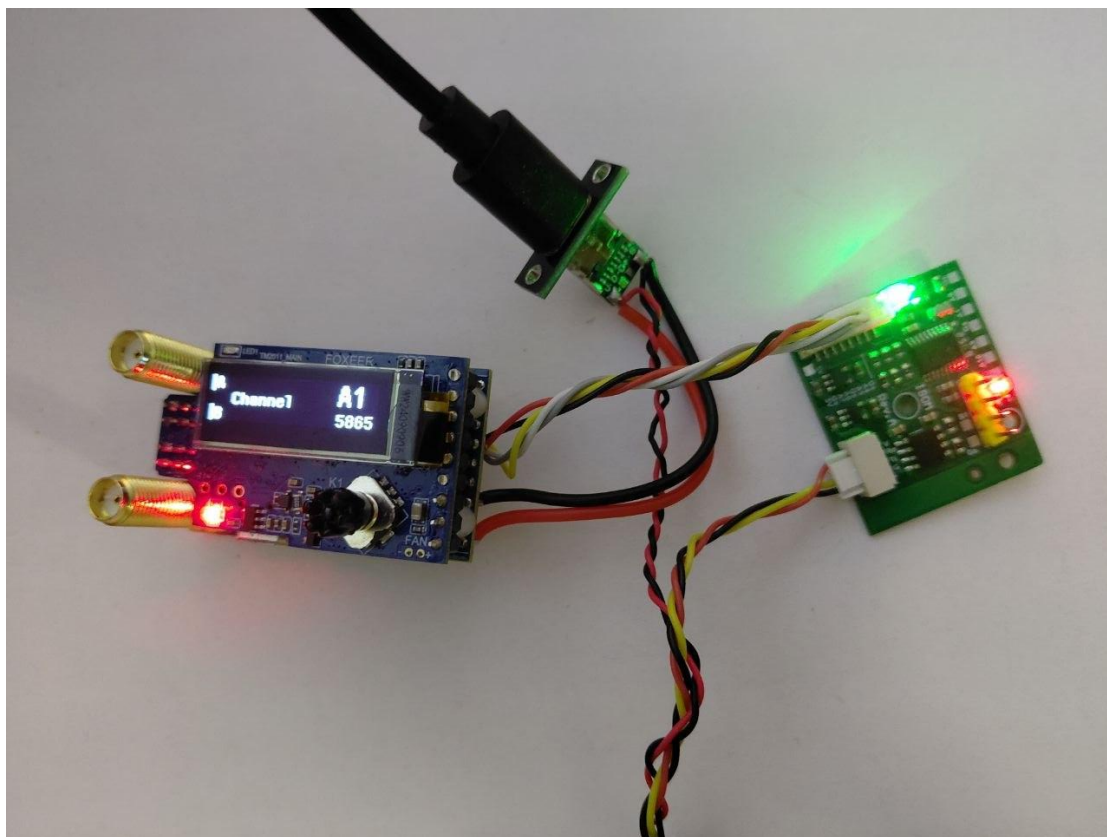


Рисунок 3.5 – Реакція на успішний прийом команди (миготіння зеленого світлодіода)

Ключовим етапом є безпосереднє перемикання частотного каналу. На рисунку 3.6 зафіксовано момент виконання команди зміни каналу, наприклад, з A1 (5865 МГц) на A6 (5765 МГц). При цьому мікроконтролер формує новий 4-бітний код на виходах PA0-PA3, що супроводжується короткочасною активацією червоного світлодіода. Результат підтверджується даними на OLED-дисплея який оновлюється без видимих затримок, надаючи дані про поточний робочий діапазон який відображає встановлений ідентифікатор каналу та відповідну йому несучу частоту. Формування бінарної комбінації на зазначених виводах портів введення-виведення відбувається синхронно, що

					<b>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

виключає появу проміжних помилкових станів під час зміни керуючого слова.

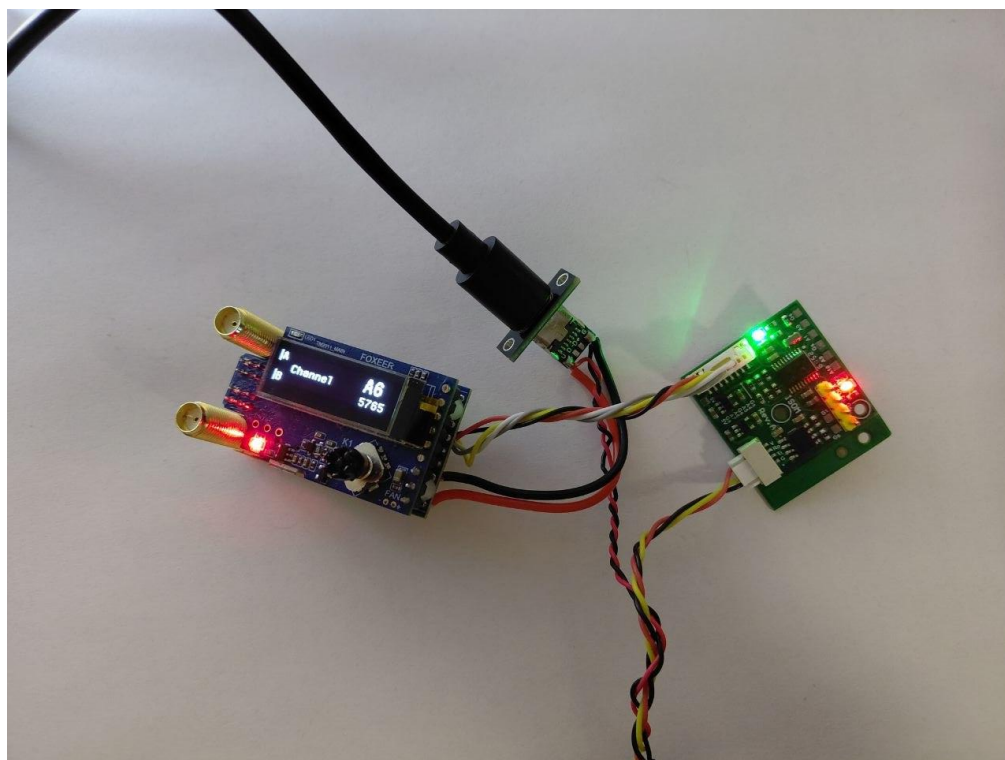


Рисунок 3.6 – Перемикання каналу (червоний світлодіод активний, на дисплеї – новий канал)

Оцінка енергоспоживання. Відповідно до вимог, середній струм споживання системи не повинен перевищувати 150 мА. Вимірювання проводилися в трьох характерних режимах роботи:

- Режим очікування (система увімкнена, команди не надходять).
- Режим активного перемикання (щосекундна зміна каналу).
- Режим сну (мікроконтролер переведено в режим Stop з пробудженням за перериванням від UART). Результати зведено в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Енергоспоживання системи в різних режимах

Режим роботи	Струм споживання, мА	Потужність (при 3.3 В), мВт
Очікування (холостий хід)	8.5	28.05
Активне перемикання (1 Гц)	12.3	40.59
Сон (Stop mode)	0.15	0.50

Як видно з таблиці, навіть у найбільш енергоємному режимі активного перемикавання струм споживання (12.3 мА) майже в 12 разів нижчий за верхню межу 150 мА. У режимі сну система споживає лише 150 мкА, що дозволяє їй тривалий час залишатися підключеною до бортової мережі БПЛА без помітного впливу на загальний час польоту. У таблиці 3.2 наведено порівняння отриманих характеристик із визначеними вимогами.

Таблиця 3.2 – Відповідність результатів тестування технічним вимогам

Вимога	Норматив	Фактичний результат	Відповідність
Час реакції (затримка перемикавання)	$\leq 100$ мс	0.052 мс (52 мкс)	Значний запас
Енергоспоживання (активний режим)	$\leq 150$ мА	12.3 мА	Значний запас
Енергоспоживання (режим сну)	не норм.	0.15 мА	Відмінно
Кількість підтримуваних каналів	$\geq 40$	16 (4 біти)	Частково*
Індикація стану	наявність	Світлодіоди (зелений/червоний)	Виконується
Гальванічна розв'язка	наявність	ADUM1201BRZ	Виконується

Поточна 4-бітна реалізація забезпечує 16 каналів, чого достатньо для одного банку VTХ. Розширення до 40 каналів можливе шляхом додавання п'ятої лінії керування, що передбачено конструкцією плати.

Таким чином, розроблена вбудована система перемикавання відеочастот повністю задовольняє ключові вимоги технічного завдання, а за такими критичними для безпілотних пристроїв параметрами, як швидкодія та енергоспоживання, демонструє значний запас, що підтверджує правильність прийнятих проектних рішень.

## БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1 Долікарська допомога при ураженні електричним струмом

Ураження електричним струмом може статися в будь-якому місці та в будь-який час. Незалежно від місця події, важливо знати основні правила надання долікарської допомоги, адже швидкі та правильні дії можуть врятувати життя. Також варто зауважити, що чим більший струм електричного удару, тим він потенційно небезпечніший, тому вміння правильно реагувати у таких ситуація набуває особливого значення.

Будь-яка людина, яка зазнає дії електричного струму, не в змозі покликати на допомогу або самостійно визволитися від джерела струму. Контакт зі струмопровідними частинами часто викликає судомні м'язів, що заважає говорити або рухатися.

Ознаками ураження електричним струмом є:

- зупинка чи утруднене дихання;
- дискомфорт чи біль в грудях;
- дезорієнтація та сплутаність свідомості;
- відсутній чи нерегулярний пульс;
- судомні скорочення;
- втрата свідомості;
- опіки у місці контакту із джерелом струму [22].

У разі ураженні електричним струмом необхідно звільнити потерпілого від частин, які проводять струм. За можливості швидко відключити від мережі електрообладнання з яким контактує. Тому що зволікання може призвести до смерті. Щоб звільнити потерпілого від електропровідних частин необхідно використовувати діелектричні засоби захисту (рукавиці, килимки, боти та

					<b>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</b>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Сеньків М. М.			Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірив</i>		Стрембіцький М.О.					43	6
<i>Консульт.</i>		Сенчишин В. С.				ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		
<i>Н. Контр.</i>		Тиш Є. В.						
<i>Затверд.</i>		Осухівська Г.М.						

калоші) або сухі рукавиці, сухий одяг та палицю. Також варто використовувати інструменти, які мають ізольовані ручки для перерізання провідників.

Якщо відтягувати потерпілого від джерела струму за сухий одяг потрібно уникати контакту з металевими предметами та відкритими частинами тіла. Якщо відтягувати його за ноги, то не потрібно контактувати з його взуттям, адже воно може стати провідником електричного струму. Також, той, хто надає допомогу, зобов'язаний мати одягнуті діелектричні рукавиці або обмотані руки матеріалом, який не проводить електричний струм для їх ізоляції. Вставання на гумовий килимок, суху дошку або непровідний матеріал того хто надає долікарську допомогу дозволяє ізолювати його.

Звільнивши від дії електричного струму, йому необхідно надати першу медичну допомогу й викликати службу швидкої медичної допомоги. В наслідок дії електричного струму на організм людини, прийнято виділяти три стани:

I. Потерпілий у свідомості. В такому випадку необхідно забезпечити зручне положення й зберігати спокій для прибуття медичної допомоги. Важливо, щоб Потерпілий не рухався і не проявляти фізичну активність, оскільки це може погіршити його стан.

II. Потерпілий втратив свідомість, але дихає. Як і в попередньому стані, необхідно поставити людину в стабільне положення, розстебнути одяг, який перешкоджає диханню, і забезпечити доступ свіжого повітря. Також можна спробувати привести його до тями, бризнувши йому на обличчя воду або давши понюхати нашатирний спирт.

III. Потерпілий не дихає або його дихання переривчасте. Цей стан є найсерйознішим порівняно з попередніми. В такому випадку потрібно негайно розпочати серцево-легеневу реанімацію, яка включає непрямий масаж серця та штучне дихання. Без цієї реанімації Потерпілий може померти ще до прибуття швидкої допомоги. Перед тим, як виконувати штучне дихання, потрібно надати постраждалому правильне положення та перевірити ротову

					<b>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

порожнину на наявність сторонніх тіл, крові або блювотних мас, і за необхідності очистити її.

На рисунку 4.1 зображено схематичне представлення виконання серцево-легеневої реанімації.

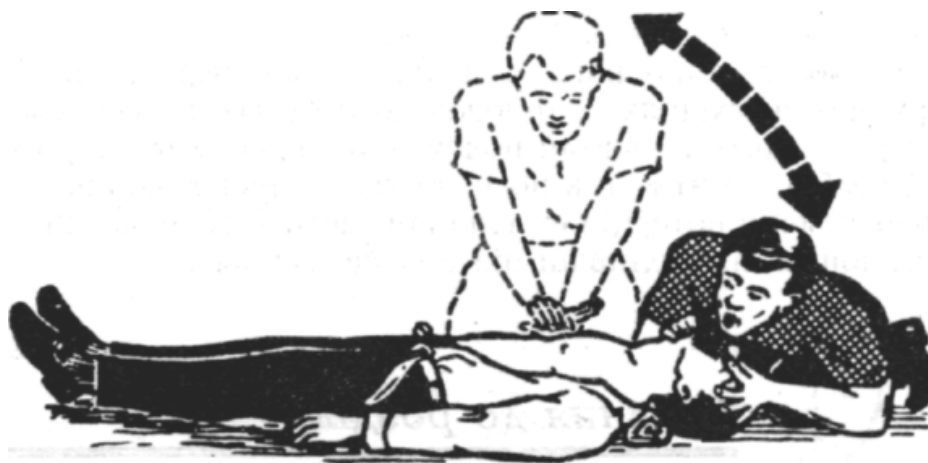


Рисунок 4.1 – Схематичне представлення виконання серцево-легеневої реанімації

Непрямий масаж серця слід розпочати якомога швидше. Натискання варто здійснювати в нижній частині грудної клітки, при цьому глибина натискання має бути від 5 до 6 сантиметрів. Частота натискань має бути 100-120 на хвилину з мінімальною кількістю перерв. Після кожного натискання грудна клітка повинна повністю розпрямлятися, не допускається опертися на грудну клітку. Масаж слід виконувати на твердій поверхні.

Використання штучного дихання передбачає 30 чергових натискань на грудну клітку, за яким слідує проведення 2 вдихів. Якщо неможливо провести штучну вентиляцію легенів, то потрібно безперервно натискати на грудну клітку.

Лікаря слід викликати незалежно від стану потерпілого. Навіть якщо він прийшов до тями після удару електричним струмом й отримав першу допомогу. Важливо відвести його до лікарні для подальшого огляду. Оскільки ураження може проявитися пізніше й мати серйозні наслідки.

Надання першої медичної допомоги при ураженні електричним струмом є надзвичайно важливим і потребує спеціальних навичок. Найкращим рішенням буде негайно викликати медичну допомогу для забезпечення безпечного та ефективного лікування потерпілого. Крім того, працюючи з електронними приладами варто дотримуватися правил безпеки, оскільки вони є джерелом небезпеки. Ураження струмом може призвести до летальних наслідків, тому вчасне надання першої допомоги є критичним для збереження життя. Щоб уникнути уражень електричним струмом при роботі з приладами, необхідно встановлювати захисні пристрої, які забезпечують ізолюваність електропровідних частин.

4.2 Вплив електромагнітних полів (ЕМП) на людину та заходи щодо зменшення їх впливу на обслуговуючий персонал.

Електромагнітні поля належать до факторів, які впливають на фізіологічні процеси в організмі людини. Інтенсивність та частота ЕМП визначають характер їхнього впливу, що може призводити до короточасних суб'єктивних симптомів або до кумулятивних ефектів при тривалому впливі.

ЕМП поділяються за частотним діапазоном: від наднизькочастотних (50–60 Гц) до радіочастот (від десятків кГц до гГц) і міліметрових хвиль. Найбільше занепокоєння викликає вплив радіочастотного випромінювання, яке використовується в телекомунікаційних системах, зокрема у 4G та 5G технологіях. Встановлено, що тривалий вплив таких полів на організм може викликати функціональні порушення в нервовій системі, зниження концентрації уваги, порушення сну, підвищену втомлюваність та інші вегетативні розлади.

Довготривале опромінення електромагнітними полями високочастотного діапазону (радіочастоти) спричиняє підвищення температури тканин, що підвищує ризик термічних ушкоджень та порушень обміну речовин.

					<i>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При низьких частотах переважає індукція струмів у тканинах, що призводить до стимуляції нервових і м'язових структур. Особливої уваги потребує питання впливу ЕМП на дітей, вагітних жінок і людей похилого віку. Для цих груп ризику рекомендується мінімізувати час перебування поблизу джерел випромінювання, зокрема обмежити використання бездротових пристроїв та не встановлювати Wi-Fi роутери у спальнях чи дитячих кімнатах. Уникати тривалого користування мобільними телефонами без гарнітури або гучного зв'язку.

Заходи технічного характеру передбачають екранування джерел ЕМП за допомогою провідних матеріалів (металеві екрани, сітки) та створення захисних огорожень. Екранування дозволяє знизити рівень поля у зонах перебування персоналу до безпечних значень[23].

Адміністративні заходи включають організацію графіка роботи з джерелами ЕМП: обмеження тривалості безпосереднього контакту, чергування операторів, планування перерв та моніторинг робочого часу. Такі заходи допомагають зменшити кумулятивний вплив на організм працівників.

Індивідуальні засоби захисту персоналу передбачають використання діелектричних рукавичок, екранів на руках та головних уборах, що містять металічні волокна. Застосування таких засобів значно знижує рівень електромагнітного опромінення тіла.

Регулярний медичний контроль працівників, зайнятих у зонах підвищеного ЕМП, передбачає проведення щорічних профілактичних оглядів із вимірюванням артеріального тиску, електрокардіографії та загального аналізу крові[24].

Моніторинг рівня ЕМП на робочих місцях здійснюється за допомогою портативних електромагнітометрів та стаціонарних вимірювальних пунктів. Дані вимірів фіксуються у журналах з урахуванням часових інтервалів та рівня поля, що дає змогу оперативно реагувати на можливі перевищення норм.

Навчання та інструктаж персоналу охоплює ознайомлення з джерелами ЕМП, принципами вимірювання, алгоритмами реагування при виявленні

					<i>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перевищень та правилами експлуатації засобів захисту. Комплексний підхід до оцінки ризиків, поєднання технічних, адміністративних та індивідуальних заходів створює ефективну систему захисту персоналу від шкідливого впливу електромагнітних полів. Дотримання нормативних документів та регулярний контроль забезпечують безпечні умови праці.

					<i>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		48

## ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було виконано наступні завдання:

– Виконано аналіз вимог до системи перемикання відеочастот з урахуванням специфіки функціонування на борту безпілотних апаратів. Визначено ключові функціональні та нефункціональні вимоги.

– Проведено порівняльний аналіз існуючих апаратних і програмних рішень. Обґрунтовано вибір архітектури на основі мікроконтролера як найбільш раціональної за сукупністю критеріїв.

– Розроблено узагальнену структурну схему системи, визначено склад і призначення основних функціональних блоків.

– Здійснено обґрунтований вибір елементної бази: мікроконтролера, цифрового ізолятора, стабілізатора живлення та допоміжних компонентів.

– Обґрунтовано вибір програмної платформи, мови програмування та середовища розробки, що забезпечують виконання вимог реального часу та низьке енергоспоживання.

– Спроектовано апаратну та програмну складові системи: розроблено електричну принципову схему, алгоритм роботи вбудованого програмного забезпечення та протокол для обміну даними.

Розроблена система зібрана у вигляді тестового прототипу на основі мікроконтролера STM32. За результатами тестування підтверджено повну працездатність і відповідність технічному завданню. Система готова до застосування за призначенням у складі безпілотних літальних апаратів.

					<i>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						49
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Жаровський Р.О., Луцик Н.С., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Тиш Є.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 39 с.

2. Луцків А., Лупенко С., Пасічник В. Паралельні та розподільнені обчислення. Навчальний посібник. Львів: Видавництво «Магнолія 2006», 2024. 566 с.

3. Паламар М.І., Стрембіцький М.О., Паламар А.М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів. Навчальний посібник. Тернопіль: ТНТУ. 2019. 150 с.

4. Edward Kozłowski, Ivan Gajdoš, Nadiia Lutsyk, Monika Kulisz. A Lean Robotics-Based Method for Cobot Programming in Modern Manufacturing. *Advances in Lean Manufacturing, Volume 2: LEAN in Action: Solutions for Operational Excellence.* Springer Nature. 2025. P.115-124. [https://doi.org/10.1007/978-3-032-10111-2\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-032-10111-2_9)

5. Панасенко С., Луцик Н. Адаптивна ідентифікація дефектів електронних компонентів в умовах невизначеності номіналів. Інформаційні моделі, системи та технології: Матеріали XIII наук.-техн. конф. ТНТУ ім. І.Пулюя (17-18 грудня 2025). Тернопіль, 2025. с. 71

6. Voloshchuk A., Velychko D., Osukhivska H., Palamar A. Computer system for energy distribution in conditions of electricity shortage using artificial intelligence. *CEUR Workshop Proceedings, 2nd International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2024), Ternopil, Ukraine, June 12-14, 2024.* Vol. 3742 P. 66-75.

7. Долгушин Я.В., Тиш Є.В. Функціональна модель та методи оптимізації затримок у трансляції протоколів Modbus RTU–TCP. Матеріали XIII науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології». Тернопіль: ТНТУ. 2025. С. 112.

					<i>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Свергун С., Жаровський Р. Тестування програмного забезпечення побудованого на мікросервісній архітектурі. Матеріали X науково-технічної конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Інформаційні моделі системи та технології» (7-8 грудня 2022 року). Тернопіль: ТНТУ. 2022. С. 92.

9. Матвієнко М. П. Архітектура комп'ютерів : підручник. Київ : Ліра-К, 2021. 450 с.

10. Сенько В. І. Мікропроцесорна техніка: підручник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 415 с.

11. STM32F030x4/x6/x8/xC ARM-based 32-bit MCU Datasheet. STMicroelectronics. 2022. URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f030f4.pdf> (дата звернення 18.04.26)

12. RM0360 Reference manual: STM32F030x4/x6/x8/xC advanced ARM-based 32-bit MCUs. 2021. URL: [https://www.st.com/resource/en/reference\\_manual/rm0360.pdf](https://www.st.com/resource/en/reference_manual/rm0360.pdf) (дата звернення 19.04.26)

13. ADuM1200/ADuM1201 Dual-Channel Digital Isolators Data Sheet, Rev.L 2023 URL: [https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADuM1200\\_1201.pdf](https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADuM1200_1201.pdf) (дата звернення 21.04.26)

14. LP5907 250-mA, Ultra-Low-Noise, Low-IQ LDO Datasheet, Rev.P 2022. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lp5907.pdf> (дата звернення 22.04.26)

15. Smith J. Programming ARM Cortex-M Microcontrollers in C. London : Newnes, 2023. 380 p.

16. Ментинський С. М., Пелех Ю. В. Збірник задач з основ алгоритмізації та програмування : навч. посіб. Рівне : ВСП «РФК НУБіП України», 2023. 120 с. URL: [https://retfk.edu.rv.ua/wp-content/uploads/2024/03/MentynskiyiPelekh\\_Tasks2023.pdf](https://retfk.edu.rv.ua/wp-content/uploads/2024/03/MentynskiyiPelekh_Tasks2023.pdf) (дата звернення 23.04.26)

					<i>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

17. UM2609 User manual: STM32CubeIDE user guide 2023 URL: [https://www.st.com/resource/en/user\\_manual/um2609.pdf](https://www.st.com/resource/en/user_manual/um2609.pdf) (дата звернення 24.04.26)

18. Кленов О. М. Програмування мікроконтролерів STM32 у STM32CubeIDE : практикум. Рівне : НУВГП, 2023. 68 с

19. Петренко А. І. Системи автоматизованого проектування електроніки (Altium Designer). Київ : КПІ, 2023. 320 с.

20. Video Transmitter (VTX) Control API 2024 URL: <https://betaflight.com/docs/development/VTX> (дата звернення 25.04.26)

21. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 17 с.

22. Запорожець О. Основи охорони праці / О. Запорожець, О. Протоєрейський, Г. Франчук, І. Боровик. Київ : Центр учбової літератури, 2021. 264 с. ISBN 978-617-673-423-9.

23. Про затвердження Державних санітарних норм та правил при роботі з джерелами електромагнітних полів. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03#Text> (дата звернення 20.05.26)

24. Правила улаштування електроустановок. Міненерговугілля України. Х. : Форт, 2017. 617 с.

					<b>КС КРБ 123.194.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А  
Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

**“Затверджую”**

Завідувач кафедри КС

\_\_\_\_\_ Осухівська Г.М.

“ 2 ” лютого 2026 р.

Вбудована комп'ютерна система перемикання відеочастот  
для безпілотних пристроїв

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

на  8  листках

**Вид робіт:** Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

**Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»**

«УЗГОДЖЕНО»

Керівник кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ к.т.н., доц. Стрембіцький М.О.

“ 2 ” лютого 2026 р.

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Студент групи СІ-41

\_\_\_\_\_ Сеньків М. М.

“ 2 ” лютого 2026 р.

**Тернопіль 2026**

## 1 Загальні відомості

### 1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи: «Вбудована комп'ютерна система перемикання відеочастот для безпілотних пристроїв».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.194.00.00

### 1.2 Виконавець

Студент групи СІ-42, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Сеньків М. М.

### 1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету №4/9-188 від 24.04.2026 р

### 1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи – 26.01.2026 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи – 21.06.2026 р.

### 1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Порядок оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу здійснюється у відповідності до чинних норм та правил ISO, ЕСКД, ЕСПД та ДСТУ.

Пред'явлення проміжних результатів роботи з виконання кваліфікаційної роботи здійснюється у відповідності до графіку, затвердженого керівником роботи. Попередній захист кваліфікаційної роботи відбувається при готовності роботи – наявності пояснювальної записки та графічного матеріалу.

Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи відбувається шляхом захисту на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

## 2 Призначення і цілі створення системи

### 2.1 Призначення системи

Вбудована система перемикання відеочастот призначений для:

- Забезпечення програмно-керованого автоматичного перемикання частотних каналів
- Підтримання стабільного та якісного каналу відеозв'язку в умовах складної електромагнітної обстановки

### 2.2 Мета створення системи

Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи для надійності та завадостійкості відеозв'язку безпілотних пристроїв шляхом розроблення спеціалізованої системи автоматичного перемикання відеочастот

### 2.3 Характеристика об'єкту

Розроблена вбудована комп'ютерна система призначена для інтеграції у склад електроніки наземної станції безпілотних літальних апаратів.

### 3 Вимоги до системи

#### 3.1 Вимоги до системи в цілому

Збудована комп'ютерна система перемикання відеочастот повинна забезпечувати програмно-кероване перемикання частотних каналів відеопередавача з мінімальною затримкою. Головними вимогами до комплексу є мінімальна вага, компактні габарити, енергоефективність, стійкість до перешкод та електромагнітна сумісність (ЕМС).

##### 3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

Система перемикання відеочастот повинна складатись з:

- Центрального обчислювального блоку (мікроконтролера);
- Блоку прийому та передачі команд;
- Блоку індикації стану.

##### 3.1.2 Вимоги до способів та засобів зв'язку між компонентами системи

Основна вимога до засобів інформаційного обміну – це надійний прийом пакету команд від головного польотного контролера через один зі стандартних інтерфейсів.

##### 3.1.3 Вимоги до режимів функціонування системи

Для системи визначено два основні режими функціонування:

- Режим очікування команд;
- Активний режим перемикання частоти.

У разі надходження некоректної команди (аварійна ситуація/збій) система повинна ігнорувати її та сигналізувати про помилку.

##### 3.1.4 Вимоги по діагностуванню системи

Для діагностики система повинна бути оснащена блоком індикації на базі світлодіодів. Вони мають відображати наявність живлення, статус зв'язку з польотним контролером, а також індикацію помилок зв'язку.

### 3.1.5 Перспективи розвитку, проектування системи

Вбудована система може бути розширена збільшивши кількості підтримуваних каналів, реалізації зворотного зв'язку або інтеграції з алгоритмами автоматичного аналізу якості каналу.

## 3.2 Показники призначення

Система повинна бути інтегрована у відсік електроніки. Показниками є маса до 10-15 г без урахування інших компонентів. Середній струм споживання у режимі очікування не повинен перевищувати 10-20 мА.

### 3.2.1 Вимоги до надійності

Система повинна зберігати працездатність та автоматично відновлювати функції в умовах:

- вібрацій та ударів, характерних для польоту;
- збоїв у виконанні коду (шляхом використання таймерів);
- отримання некоректних команд керування

## 3.3 Вимоги до безпеки

Оскільки система працює в безпосередній близькості від силових компонентів, обов'язковою умовою є використання гальванічної розв'язки (цифрових ізоляторів) та фільтрів живлення. Для запобігання протіканню струмів по електричним колам, що може призвести до пошкодження портів мікроконтролера.

3.3.1 Вимоги до експлуатації, технічного обслуговування, ремонту і зберігання компонентів системи

Враховуючи специфіку використання, робочий діапазон температур системи має охоплювати значення від  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### 3.4 Вимоги до захисту інформації від несанкціонованого доступу

Система працює на рівні «bare-metal», тому функція захисту даних зводиться до перевірки цілісності вхідних пакетів команд від польотного контролера та їх фільтрації.

##### 3.4.1 Вимоги по збереженню інформації при аваріях

При подачі живлення або перезавантаженні після збою, мікроконтролер повинен автоматично встановлювати початковий канал відеопередавача.

##### 3.4.2 Вимоги по стандартизації і уніфікації

Система повинна забезпечувати сумісність обміну даними з більшістю поширених прошивок (Betaflight, iNav, ArduPilot). Вбудоване програмне забезпечення має писатися мовою C з використанням стандартизованих бібліотек HAL.

##### 3.4.3 Вимоги до функцій (завдань), що виконуються системою:

- прийом та попередня обробка команд;
- програмно-кероване перемикання між частотними каналами;
- формування логічних рівнів для входів керування частотою;
- візуальна індикація активного каналу та помилок зв'язку.

#### 4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ

Комплект документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;
- графічного матеріалу:
  - а) Структурна схема.
  - б) Схема електрична принципова.
  - в) Блок схема алгоритму роботи
  - г) Результати виконання

\*Примітка: У комплект документації можуть вноситися зміни та доповнення в процесі розробки.

## 5 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

№ етапу	Назва етапу виконання кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання
1	<i>Розробка технічного завдання</i>	<i>26.01 – 02.02</i>
2	<i>Робота над першим розділом «Аналіз вимог до вбудованої комп'ютерної системи перемикання відеочастот для безпілотних пристроїв»</i>	<i>03.02 – 15.02</i>
3	<i>Робота над другим розділом «Проектування вбудованої комп'ютерної системи перемикання відеочастот»</i>	<i>17.04 – 25.04</i>
4	<i>Робота над третім розділом «Практична реалізація та тестування системи перемикання відеочастот»</i>	<i>26.04 – 13.05</i>
5	<i>Робота над четвертим розділом «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»</i>	<i>14.05 – 25.05</i>
6	<i>Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу</i>	<i>26.05 – 7.06</i>
7	<i>Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами</i>	<i>8.06 – 14.06</i>
8	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>15.06 – 21.06</i>
9	<i>Захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>24.06.2026</i>

## 6 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи

Під час виконання кваліфікаційної роботи у дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

Додаток Б  
Перелік елементів

<i>Поз. позначення</i>	<i>Найменування</i>	<i>Кіл.</i>	<i>Примітка</i>
	<u>Поверхневомонтажний конденсатор</u>		
C1, C2, C3, C4, C9, C10	SMD 10uF 6,3V X5R 20% 0603	6	
C5, C6, C7, C8, C11	SMD 100nF 50V X7R 10% 0603	5	
	<u>Напівпровідниковий світлодіод</u>		
D2	LED 0603 RED SMD	1	
D1	LED 0603 GREEN SMD	1	
	<u>Роз'єм-гніздо</u>		
H1	H-1x4	1	
	<u>Поверхневомонтажний (SMT) роз'єм</u>		
J1	BM08B-GHS-TBT	1	
J2	BM04B-GHS-TBT(LF)(SN)(N)	1	
	<u>Поверхнево монтажний резистор</u>		
R4, R5, R6	SMD 100 Ohm 5% 0,1W 50V 0603	3	
R1, R2, R3, R7, R8, R9, R11	SMD 1kOhm 1% 0,1W 50V 0603	7	
R10, R12	SMD 10kOhm 1% 0,1W 50V 0603	2	
	<u>Низько шумовий лінійний стабілізатор напруги</u>		
U1, U2	LP5907MFX-3.3	2	
	<u>Мікроконтролер STM</u>		
U3	STM32F030F4P6	1	
	<u>Двоканальний цифровий ізолятор</u>		
U4	ADUM1201BRZ	1	
	<u>Керамічний резонатор</u>		
Y1	CSTNE8M00G550000R0	1	
C5, C6, C7, C8, C11	SMD 100nF 50V X7R 10% 0603	5	
	<u>Напівпровідниковий світлодіод</u>		
D2	LED 0603 RED SMD	1	

					<b>КС КРБ 123.194.00.02 ПЕ</b>		
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Вбудована комп'ютерна система перемикання відеочастот для безпілотних пристроїв Перелік елементів		
<i>Розроб.</i>	<i>Сеньків М. М.</i>						
<i>Перевір.</i>	<i>Стрембіцький М.О.</i>						
<i>Рецензент</i>	<i>Дмитроца Л. П.</i>						
<i>Н. контр.</i>	<i>Тиш Є. В.</i>						
<i>Зав. каф.</i>	<i>Осухівська Г.М.</i>				ТНТУ, каф. КС, зр. СІ-42		

## Додаток В

### Лістинг коду для мікроконтролера STM32F030F4P6

```
/* USER CODE BEGIN Header */
/**
*****
*****
* @file           : main.c
* @brief          : Main program body
* Система перемикання відеочастот для безпілотних пристроїв
*****
*****
* @attention
*
* Copyright (c) 2024 STMicroelectronics.
* All rights reserved.
*
* This software is licensed under terms that can be found in
the LICENSE file
* in the root directory of this software component.
* If no LICENSE file comes with this software, it is provided
AS-IS.
*
*****
*****
*/
/* USER CODE END Header */
/* Includes -----*/
-----*/
#include "main.h"

/* Private includes -----*/
-----*/
/* USER CODE BEGIN Includes */

/* USER CODE END Includes */

/* Private typedef -----*/
-----*/
/* USER CODE BEGIN PTD */

/* USER CODE END PTD */

/* Private define -----*/
-----*/
/* USER CODE BEGIN PD */
```

```

/* USER CODE END PD */

/* Private macro -----*/
/* USER CODE BEGIN PM */

/* USER CODE END PM */

/* Private variables -----*/
UART_HandleTypeDef huart1;

/* USER CODE BEGIN PV */
uint8_t rx_data;
volatile uint8_t command_received = 0;
/* USER CODE END PV */

/* Private function prototypes -----*/
void SystemClock_Config(void);
static void MX_GPIO_Init(void);
static void MX_USART1_UART_Init(void);
/* USER CODE BEGIN PFP */
void Switch_Channel(uint8_t channel);
/* USER CODE END PFP */

/* Private user code -----*/
/* USER CODE BEGIN 0 */

/* USER CODE END 0 */

/**
 * @brief The application entry point.
 * @retval int
 */
int main(void)
{
    /* USER CODE BEGIN 1 */

    /* USER CODE END 1 */

    /* MCU Configuration-----*/

    /* Reset of all peripherals, Initializes the Flash interface
    and the SysTick. */
    HAL_Init();

    /* USER CODE BEGIN Init */

    /* USER CODE END Init */

```

```

/* Configure the system clock */
SystemClock_Config();

/* USER CODE BEGIN SysInit */

/* USER CODE END SysInit */

/* Initialize all configured peripherals */
MX_GPIO_Init();
MX_USART1_UART_Init();
/* USER CODE BEGIN 2 */

HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_0 | GPIO_PIN_1 | GPIO_PIN_2
| GPIO_PIN_3, GPIO_PIN_RESET);
HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_0, GPIO_PIN_SET);

HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_5, GPIO_PIN_SET);

HAL_UART_Receive_IT(&huart1, &rx_data, 1);

/* USER CODE END 2 */

/* Infinite loop */
/* USER CODE BEGIN WHILE */
while (1)
{
    if (command_received)
    {
        Switch_Channel(rx_data);
        command_received = 0;
    }
    /* USER CODE END WHILE */

    /* USER CODE BEGIN 3 */
}
/* USER CODE END 3 */
}

/**
 * @brief System Clock Configuration
 * @retval None
 */
void SystemClock_Config(void)
{
    RCC_OscInitTypeDef RCC_OscInitStruct = {0};
    RCC_ClkInitTypeDef RCC_ClkInitStruct = {0};
    RCC_PeriphCLKInitTypeDef PeriphClkInit = {0};

    /** Initializes the RCC Oscillators according to the specified
     * parameters
     * in the RCC_OscInitTypeDef structure.
     */
    RCC_OscInitStruct.OscillatorType = RCC_OSCILLATORTYPE_HSE;

```

```

RCC_OscInitStruct.HSEState = RCC_HSE_ON;
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLState = RCC_PLL_ON;
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLSource = RCC_PLLSOURCE_HSE;
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLMUL = RCC_PLL_MUL6;
RCC_OscInitStruct.PLL.PREDIV = RCC_PREDIV_DIV1;
if (HAL_RCC_OscConfig(&RCC_OscInitStruct) != HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}

/** Initializes the CPU, AHB and APB buses clocks
*/
RCC_ClkInitStruct.ClockType =
RCC_CLOCKTYPE_HCLK|RCC_CLOCKTYPE_SYSCLK
                        |RCC_CLOCKTYPE_PCLK1;
RCC_ClkInitStruct.SYSCLKSource = RCC_SYSCLKSOURCE_PLLCLK;
RCC_ClkInitStruct.AHBCLKDivider = RCC_SYSCLK_DIV1;
RCC_ClkInitStruct.APB1CLKDivider = RCC_HCLK_DIV1;

if (HAL_RCC_ClockConfig(&RCC_ClkInitStruct, FLASH_LATENCY_1)
!= HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}
PeriphClkInit.PeriphClockSelection = RCC_PERIPHCLK_USART1;
PeriphClkInit.Usart1ClockSelection =
RCC_USART1CLKSOURCE_PCLK1;
if (HAL_RCCEX_PeriphCLKConfig(&PeriphClkInit) != HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}
}

/**
 * @brief USART1 Initialization Function
 * @param None
 * @retval None
 */
static void MX_USART1_UART_Init(void)
{
    /* USER CODE BEGIN USART1_Init 0 */

    /* USER CODE END USART1_Init 0 */

    /* USER CODE BEGIN USART1_Init 1 */

    /* USER CODE END USART1_Init 1 */
    huart1.Instance = USART1;
    huart1.Init.BaudRate = 115200;
    huart1.Init.WordLength = UART_WORDLENGTH_8B;
    huart1.Init.StopBits = UART_STOPBITS_1;
    huart1.Init.Parity = UART_PARITY_NONE;

```

```

huart1.Init.Mode = UART_MODE_TX_RX;
huart1.Init.HwFlowCtl = UART_HWCONTROL_NONE;
huart1.Init.OverSampling = UART_OVERSAMPLING_16;
huart1.Init.OneBitSampling = UART_ONE_BIT_SAMPLE_DISABLE;
huart1.AdvancedInit.AdvFeatureInit = UART_ADVFEATURE_NO_INIT;
if (HAL_UART_Init(&huart1) != HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}
/* USER CODE BEGIN USART1_Init 2 */

/* USER CODE END USART1_Init 2 */

}

/**
 * @brief GPIO Initialization Function
 * @param None
 * @retval None
 */
static void MX_GPIO_Init(void)
{
    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStruct = {0};
/* USER CODE BEGIN MX_GPIO_Init_1 */
/* USER CODE END MX_GPIO_Init_1 */

    /* GPIO Ports Clock Enable */
    __HAL_RCC_GPIOF_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOA_CLK_ENABLE();

    /*Configure GPIO pin Output Level */
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOA,
GPIO_PIN_0|GPIO_PIN_1|GPIO_PIN_2|GPIO_PIN_3
                        |GPIO_PIN_4|GPIO_PIN_5,
GPIO_PIN_RESET);

    /*Configure GPIO pins : PA0 PA1 PA2 PA3 PA4 PA5 */
    GPIO_InitStruct.Pin =
GPIO_PIN_0|GPIO_PIN_1|GPIO_PIN_2|GPIO_PIN_3
                        |GPIO_PIN_4|GPIO_PIN_5;
    GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_OUTPUT_PP;
    GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
    GPIO_InitStruct.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_HIGH;
    HAL_GPIO_Init(GPIOA, &GPIO_InitStruct);

/* USER CODE BEGIN MX_GPIO_Init_2 */
/* USER CODE END MX_GPIO_Init_2 */
}

/* USER CODE BEGIN 4 */

/**
 * @brief Rx Transfer completed callbacks.

```

```

    * @param huart Pointer to a UART_HandleTypeDef structure that
contains
    * the configuration information for the specified UART module.
    * @retval None
    */
void HAL_UART_RxCpltCallback(UART_HandleTypeDef *huart)
{
    if (huart->Instance == USART1)
    {
        command_received = 1;

        HAL_UART_Receive_IT(&huart1, &rx_data, 1);
    }
}

/**
 * @brief Функція для перемикання каналу та керування
індикацією
 * @param channel Номер каналу (від 1 до 15)
 * @retval None
 */
void Switch_Channel(uint8_t channel)
{
    if (channel > 0 && channel <= 15)
    {
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_0 | GPIO_PIN_1 |
GPIO_PIN_2 | GPIO_PIN_3, GPIO_PIN_RESET);

        HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, channel & 0x0F, GPIO_PIN_SET);

        HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_5, GPIO_PIN_RESET);
        HAL_Delay(50);
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_5, GPIO_PIN_SET);
    }
    else if (channel == 0)
    {
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_0 | GPIO_PIN_1 |
GPIO_PIN_2 | GPIO_PIN_3, GPIO_PIN_RESET);
    }
    else
    {
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_4, GPIO_PIN_SET);
        HAL_Delay(100);
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_4, GPIO_PIN_RESET);
    }
}

/* USER CODE END 4 */

/**
 * @brief This function is executed in case of error

```

```

occurrence.
    * @retval None
    */
void Error_Handler(void)
{
    /* USER CODE BEGIN Error_Handler_Debug */
    /* User can add his own implementation to report the HAL error
return state */
    __disable_irq();
    while (1)
    {
    }
    /* USER CODE END Error_Handler_Debug */
}

#ifdef  USE_FULL_ASSERT
/**
 * @brief Reports the name of the source file and the source
line number
 * where the assert_param error has occurred.
 * @param file: pointer to the source file name
 * @param line: assert_param error line source number
 * @retval None
 */
void assert_failed(uint8_t *file, uint32_t line)
{
    /* USER CODE BEGIN 6 */
    /* User can add his own implementation to report the file name
and line number,
ex: printf("Wrong parameters value: file %s on line
%d\r\n", file, line) */
    /* USER CODE END 6 */
}
#endif /* USE_FULL_ASSERT */

```