

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інформаційної безпеки та електронних комунікацій

(повне найменування інституту, факультету)

Інформаційних технологій та телекомунікацій

(повне найменування кафедри )

## Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

Магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ЗСУВУ ОСНОВНОЇ ЧАСТОТИ  
ПЕРЕДАВАННЯ АНАЛОГОВОГО ВІДЕОСИГНАЛУ ДЛЯ FPV ДРОНІВ

Виконав: студент(ка) 6 курсу, групи БК-512м

Спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Інтелектуальні технології мікросистемної  
радіоелектронної техніки

Керівник Вадим ОНИЩЕНКО

(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

2023

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

Факультет інформаційної безпеки та електронних комунікацій

Кафедра \_\_ Інформаційних технологій електронних засобів \_\_\_\_\_

Ступінь вищої освіти Магістр \_\_\_\_\_

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка \_\_\_\_\_  
 (код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація): Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки \_\_\_\_\_  
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ІТЕЗ \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)**

Кукін Ярослав Володимирович \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Розробка методики зсуву основної частоти передавання аналогового відеосигналу для FPV дронів \_\_\_\_\_

керівник проєкту (роботи) Онищенко Вадим Федорович, к.ф.-м.н, доцент каф.ІТЕЗ \_\_\_\_\_,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «11» листопада 2023 року № 448

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 22 грудня \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) можливість передавання відеопотоку в аналоговому вигляді \_\_\_\_\_

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Структура аналогового відеосигналу, огляд частотних каналів передавачів що використовуються в БПЛА, аналіз схемотехнічних рішень побудови відеопередавачів, розробка структури та схеми відеопередавача, розробка конструкції відеопередавача, написання програми керування вихідною частотою мікшера, тестування готового розробленого виробу та апаратних засобів \_\_\_\_\_

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

18 слайдів \_\_\_\_\_

## 6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
<b>1</b>	<b>Вадим ОНИЩЕНКО</b>	<b>03.10.23</b>	
<b>2</b>	<b>Вадим ОНИЩЕНКО</b>	<b>17.10.23</b>	
<b>3</b>	<b>Вадим ОНИЩЕНКО</b>	<b>07.11.23</b>	
<b>4</b>	<b>Вадим ОНИЩЕНКО</b>	<b>21.11.23</b>	
<b>нормоконтроль</b>	<b>Ірина ПОСПЕЄВА</b>	<b>01.12.23</b>	

7. Дата видачі завдання «04» \_\_вересня\_\_\_\_2023\_року.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
<b>1</b>	Пошук та вивчення наукових джерел	<b>9.10.23</b>	
<b>2</b>	Аналіз сигналів з камер, каналів існуючих відеопередавачів, схемотехнічних рішень	<b>11.10.23</b>	
<b>3</b>	Розробка схеми відеопередавача	<b>12.10.23</b>	
<b>4</b>	Розробка конструкції відеопередавача	<b>20.10.23</b>	
<b>5</b>	Написання програми керування та тестування розробленого відеопередавача	<b>15.11.23</b>	
<b>6</b>	Оформлення пояснювальної записки	<b>25.11.23</b>	
<b>7</b>	Перевірка ПЗ на добросовісність	<b>02.12.23</b>	
<b>8</b>	Захист	<b>22.12.23</b>	

Студент(ка)

\_\_\_\_\_  
(підпис) **Ярослав КУКІН**  
(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)

\_\_\_\_\_  
(підпис) **Вадим ОНИЩЕНКО**  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

ПЗ: 63 сторінки, 50 рисунків, 7 таблиць, 17 джерел

### ВІДЕОСИГНАЛ, ПЕРЕДАВАЧ, ПРИЙМАЧ, АНАЛІЗАТОР РАДІОЧАСТОТНОГО СПЕКТРУ, МІКШЕР, МІКРОКОНТРОЛЕР, ПРОГРАМА

Мета роботи – дослідження проблеми зміни несучої частоти бездротових передавачів аналогового відеосигналу, розробка методу зсуву частоти та проектування передавача відеосигналу з потужністю 2Вт з можливістю віддаленого керування.

Об'єкт дослідження – методи побудови бездротових передавачів аналогового відеосигналу.

Предмет дослідження – бездротовий передавач аналогового відеосигналу з можливістю зсуву несучої частоти.

Здійснено огляд сучасної літератури з питань побудови бездротових передавачів аналогового відеосигналу, існуючих методів встановлення та зміни несучої частоти бездротових передавачів. Проведено аналіз можливостей використання цивільних компонентів для побудови схеми бездротового передавача аналогового відеосигналу з можливістю керування. Запропоновано схемотехнічний метод зсуву частоти передавання відеосигналу та на його основі розроблено схему та конструкцію аналогового відеопередавача. Проведено тестування роботи розробленого методу зсуву шляхом випробування спроектованого передавача аналогового відеосигналу. Розроблений на основі запропонованого методу зсуву відеопередавач надасть можливість розширити кількість каналів передавання відеосигналу для БПЛА військового застосування.

## ЗМІСТ

Реферат.....	4
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ .....	7
Вступ .....	8
1 Огляд області розробки і постановка задач .....	10
1.1 Характеристики аналогових відеосигналів .....	10
1.2 Типи сигналів, які видають сучасні аналогові відеокамери .....	19
1.3 Частотні канали роботи відеопередавачів БПЛА .....	26
2 Розробка методики зсуву та структури передавача з можливістю зміни несучої частоти .....	30
2.1 Огляд структури та схемотехнічних рішень побудови бездротових передавачів аналогового відео .....	30
2.2 Розробка структури відеопередавача та вибір елементів для реалізації ..	40
2.3 Розробка схеми відеопередавача .....	45
3 Розробка конструкції та програмного забезпечення відеопередавача з можливістю зміни несучої частоти .....	48
3.1 Розробка конструкції відеопередавача.....	48
3.2 Написання програми керування відеопередавачем .....	51
4 Перевірка розробленої методики зсуву шляхом тестування роботи передавача .....	53
4.1 Комутація тестувального стенду .....	53
4.2 Результати тестування роботи розробленого відеопередавача .....	57
ВИСНОВКИ .....	61
Перелік джерел посилання .....	62
Додаток А – Текст керуючої програми мікроконтролера .....	64

Додаток Б – Презентація .....	70
-------------------------------	----

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- БПЛА – Безпілотний літальний апарат
- HD – High Definition (висока роздільна здатність)
- PAL – Phase Alternating Line (строкова зміна фази)
- NTSC – National Television System Committee (Національний комітет з питань телевізійних систем)
- FPV – First Person View (вид від першої особи)
- VCO – voltage-controlled oscillators
- PLL – Phase-locked loop
- ФАПЧ – Фазове автопідстроювання частоти

## ВСТУП

Передача відео через бездротові мережі сьогодні вважається найцікавішим застосуванням у нашому повсякденному житті. Оскільки швидкість мобільного передавання даних продовжує зростати та все більше людей покладаються на бездротову передачу, обсяг відео, що передається принаймні через один бездротовий стрибок, ймовірно, продовжуватиме збільшуватися.

Бездроте передавання відеосигналу є одним з основних функціональних потреб для здійснення керування БПЛА, робототехнічними наземними та неводними системами, пристроями віддаленого візуального контролю виробництва. Для збільшення дальності передавання відеоінформації бездротовими передавачами необхідно застосовувати направлені антени та ретранслятори. Ретрансляція цифрового каналу зв'язку потребує складних пристроїв і до того ж через закриту структуру представлених на ринку цифрових передавачів унеможлиблює самостійну реалізацію, що в свою чергу збільшує залежність від виробників та значно збільшує вартість побудови систем ретрансляції. Для здешевлення систем ретрансляції відеосигналу використовують аналогові прийомо-передавачі які стандартні методи модуляції типового аналогового відеосигналу і не будуть давати затримку в розповсюдженні сигналу.

В поточний момент на ринку представлено велика кількість передавачів аналогового відеосигналу для БПЛА, але всі вони працюють в двох діапазонах (1,3 та 5,8 ГГц) з обмеженою кількістю каналів. Коли БПЛА використовувались не насичено вони не як не впливали один на одного і усім вистачало частотних каналів. Обмеження кількості каналів викликано вперш за все обмеженнями в законодавстві різних країн щодо використання частот загального призначення.

З масовим використанням, особливо в умовах ведення сучасної війни БПЛА почали перекривати канали передавання відео один одного, що іноді призводить до втрати керування через відсутність картинки у оператора, що керує БПЛА. Крім того засоби протидії БПЛА (навіть носимі) також налаштовані на доступні канали як

раз з метою заглушення відеосигналу. В умовах військових дій, при використанні БПЛА у військових цілях, звісно відпадають цивільні обмеження щодо радіоканалів. Це надає можливість розширення частотного діапазону відеопередавачів. Через те, що невідомо який частотний діапазон краще використовувати у тому чи іншому випадку, а також для можливості гнучкого переналаштування згідно навколишніх умов бажано щоб перехід на іншу несучу частоту був гнучким, а ще краще керованим.

В магістрській роботі пропонується розробка мільтичастотного бездротового відеопередавача аналогового сигналу з можливістю переналаштування частоти та на основі доступних на цивільному ринку компонентів. Саме використання доступних на цивільному ринку компонентів дозволить значно збільшити виробництво БПЛА на цивільних підприємствах, що в край можливо під час війни. Розроблений передавач також забезпечує можливість роботи на стандартних цивільних каналах в діапазоні 1,2ГГц з метою можливості його використання в цивільній сфері.

# 1 ОГЛЯД ОБЛАСТІ РОЗРОБКИ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

## 1.1 Характеристики аналогових відеосигналів

Для розробки власної схеми бездротового відеопередавача необхідно розуміння сигналів, які будуть поступати на вхід радіочастотного тракту для передавання на відстань. Отже на першому етапі було проведено аналіз існуючих стандартів аналогового відеосигналу (який відповідає телевізійному сигналу або сигналу телевізійного мовлення)

Аналоговий сигнал - сигнал, область визначення якого є безперервний простір, тобто простір, що не є дискретним.

Головна проблема відеосигналу в тому, що він займає весь широкий спектр частот від 50 Гц до 6 МГц. Щоб передати сигнал, так би мовити, в лоб, і апаратура передачі, і передача середовища повинна дозволити передавати весь спектр. Під не в лоб для аналогового сигналу в даному випадку розуміється передача модульованого сигналу, про що не можна сказати, але трохи нижче.

Таблиця 1.1 – Основні характеристики відеосигналів та сигналів синхронізації В, G/PAL та M/NTSC

Характеристики	В,G/PAL	M/NTSC
Кількість рядків на зображення (кадр)	625	525
Частота поля, номінальне значення (полів/с)	50	59.94
Лінійна частота fH	15625±0.0001%	15734.264±0.0003%
Передбачувана гамма пристрою відображення	2.8	2.2
Номінальна пропускна здатність відео (МГц)	5	4.2

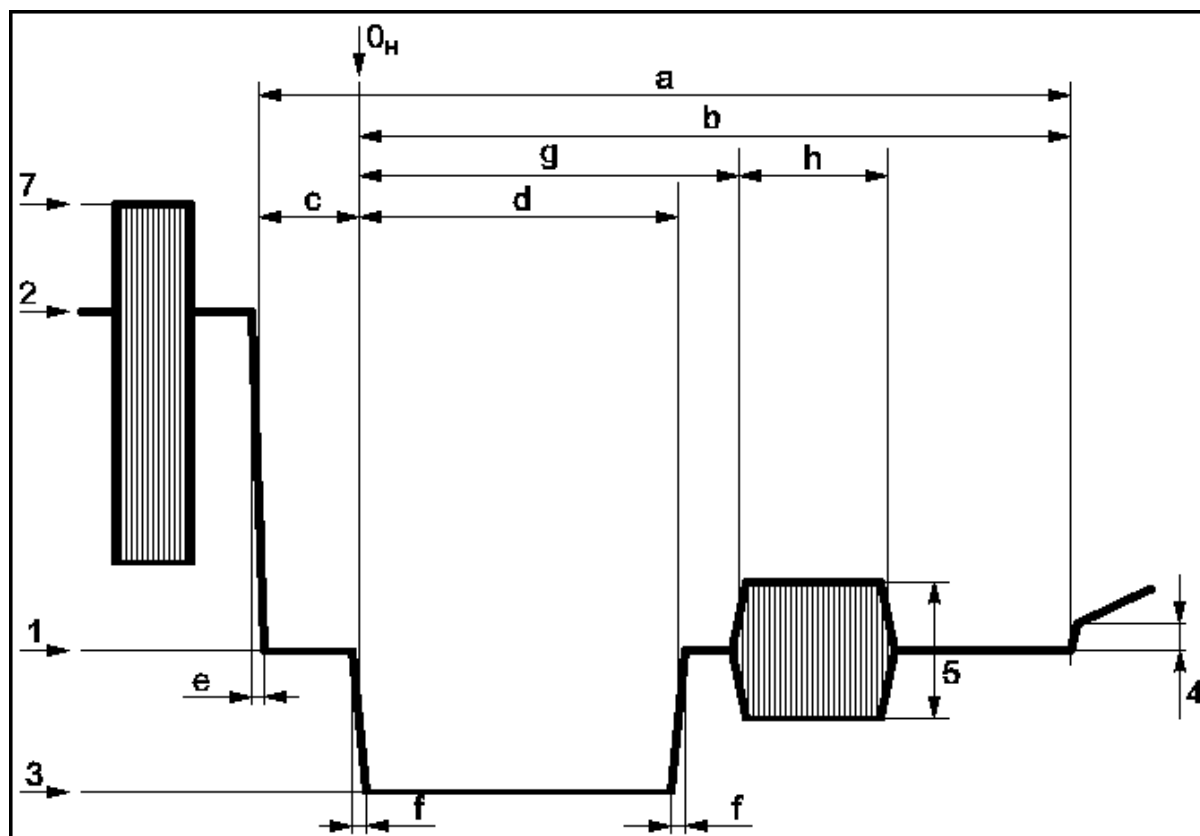


Рисунок 1.1 – Сигнал синхронізації рядка

Таблиця 1.2 – Номінальний і піковий рівні композитного відеосигналу (%)

СИМВОЛ	характеристики	B,G/PAL	M/NTSC
1	Рівень гасіння	0	0
2	Піковий рівень білого	100	100
3	Рівень синхронізації	-43	-40
4	Різниця між рівнями чорного та гасіння	0	7.5±2.5
5	Розмінне значення сплеску	43±5	40±4
7	Піковий рівень, включаючи сигнал кольоровості	133	120

Деталі лінійних сигналів синхронізації, тривалість, виміряна між точками напівамплітуди на відповідних краях, час накопичення вимірюється від 10% до 90% фронтів імпульсу у відповідності рис.1.1-1.3 наведені у табл.1.3

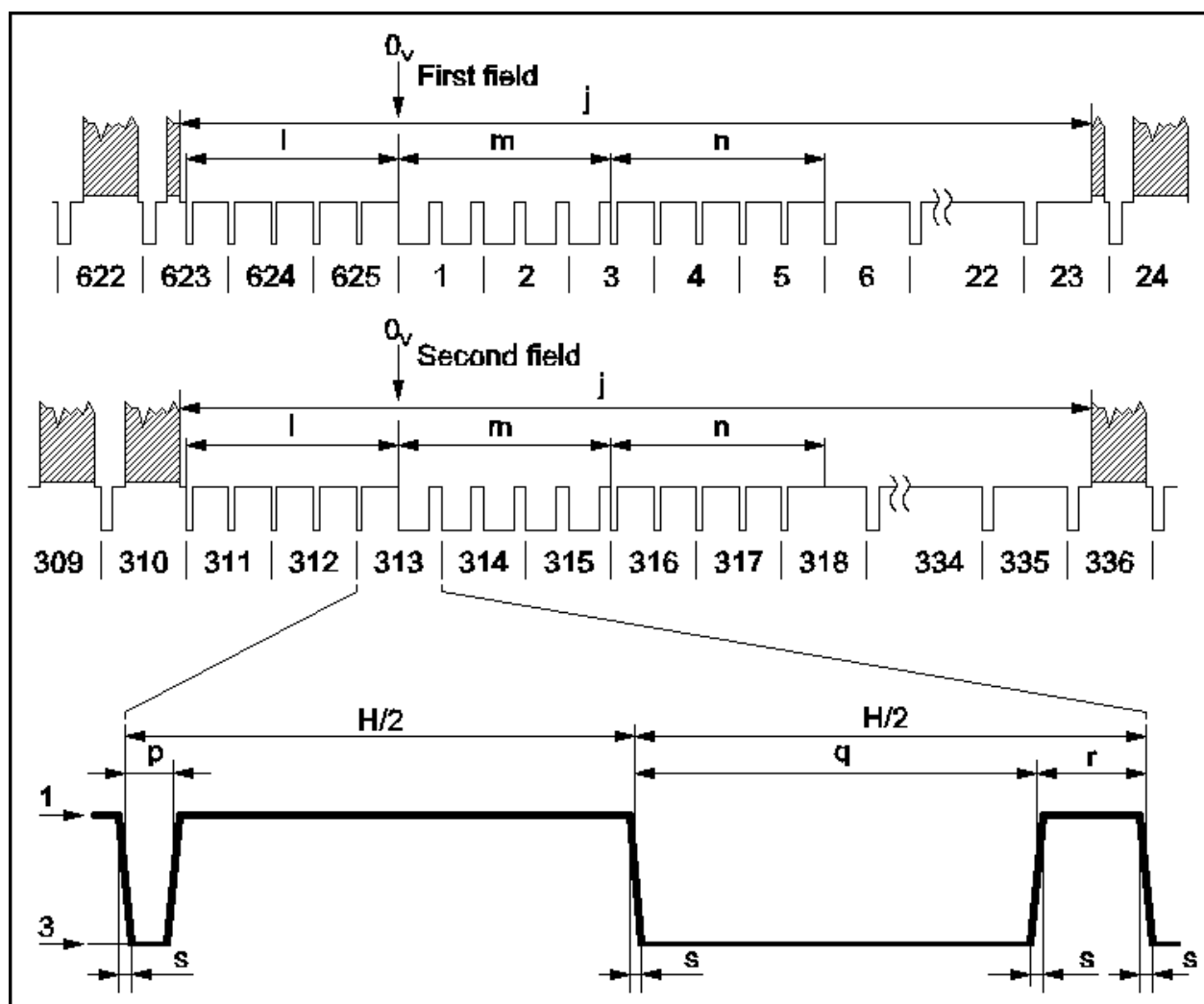


Рисунок 1.2 – Вертикальна синхронізація системи PAL

Таблиця 1.3 – Часові характеристики аналогового відеосигналу стандартів В, G/PAL та M/NTSC

Символ	Характеристики	В, G/PAL	M/NTSC
H	Номінальний період лінії (мкс)	64	63.5555
a	Інтервал гасіння рядків (мкс)	12±0.3	10.9±0.2
b	Інтервал між часовою базою (0H) і заднім краєм імпульсу гасіння лінії (мкс)	10.5	9.2 to 10.3
c	Передній ганок (мкс)	1.5±0.3	1.27 to 2.22
d	Синхронізуючий імпульс (мкс)	4.7±0.2	4.7±0.1
e	Час накопичення імпульсу гасіння лінії (мкс)	0.3±0.1	<0.48

Продовження табл.1.3

Символ	Характеристики	B,G/PAL	M/NTSC
f	Час накопичення імпульсу синхронізації лінії (мкс)	0.2±0.1	<0.25
g	Початок пакету піднесучої (мкс)	5.6±0.1	5.3 (4.71 to 5.71)
h	Тривалість пакету піднесучої (мкс)	2.25±0.23 (10±1 циклів)	2.23 to 3.11(9±1 циклів)

Деталі сигналів синхронізації поля B,G/PAL, тривалість, виміряна між точками напівамплітуди на відповідних краях, час накопичення вимірюється від 10% до 90% фронтів імпульсу наведені у табл 1.4.

Таблиця 1.4 – Додаткові часові параметри аналогових відеосигналів B,G/PAL

СИМВОЛ	характеристики	Значення
v	Період поля (мс)	20
j	Інтервал гасіння полів	25 Н + a
j'	Час накопичення фронтів імпульсу гасіння поля (мкс)	0.3±0.1
k	Інтервал між переднім краєм інтервалу гасіння поля та переднім краєм першого вирівнюючого імпульсу (мкс)	3±2
l	Тривалість першої послідовності вирівнюючих імпульсів	2.5 Н
m	Тривалість послідовності імпульсів синхронізації	2.5 Н
n	Тривалість другої послідовності вирівнюючих імпульсів	2.5 Н
p	Тривалість вирівнювальних імпульсів (мкс)	2.35±0.1
q	Тривалість імпульсів синхронізації поля (мкс)	27.3
r	Інтервал між імпульсами синхронізації поля (мкс)	4.7±0.2
s	Час накопичення імпульсів синхронізації та вирівнювання (мкс)	0.2±0.1

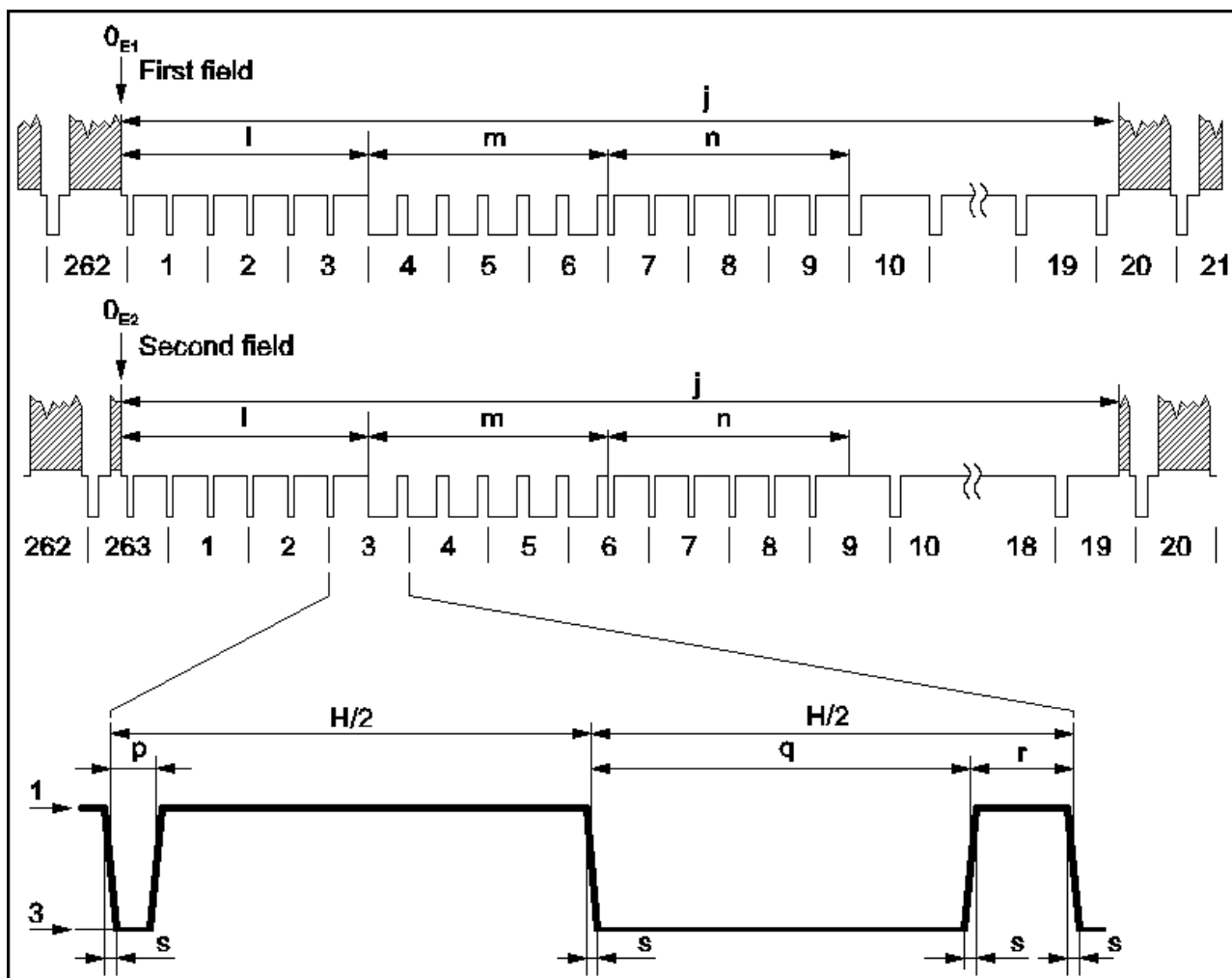


Рисунок 1.3 – Вертикальна синхронізація системи NTSC

Деталі сигналів синхронізації поля NTSC, тривалість, виміряна між точками напівамплітуди на відповідних краях, час накопичення вимірюється від 10% до 90% фронтів імпульсу наведені у табл 1.5.

Таблиця 1.5 – Додаткові часові параметри аналогових відеосигналів NTSC

Символ	Характеристики	Значення
$v$	Період поля (мс)	16.6833
$j$	Інтервал гасіння полів	(19 to 21) H + a
$j'$	Час накопичення фронтів імпульсу гасіння поля (мкс)	<6.35
$k$	Інтервал між переднім краєм інтервалу гасіння поля та переднім краєм першого вирівнюючого імпульсу (мкс)	$1.5 \pm 0.1$

Продовження табл.1.5

Символ	Характеристики	Значення
l	Тривалість першої послідовності вирівнюючих імпульсів	3 Н
m	Тривалість послідовності імпульсів синхронізації	3 Н
n	Тривалість другої послідовності вирівнюючих імпульсів	3 Н
p	Тривалість вирівнювальних імпульсів (мкс)	2.3±0.1
q	Тривалість імпульсів синхронізації поля (мкс)	27.1
r	Інтервал між імпульсами синхронізації поля (мкс)	4.7±0.1
s	Час накопичення імпульсів синхронізації та вирівнювання (мкс)	<0.25

Відповідно до стандарту телевізійного мовлення кадр зображення містить 625 рядків. Номінальна частота кадрів 25 за секунду, найвища частота сигналів зображення  $f = 6$  МГц.

Сигнал зображення передається по радіоканалу шляхом АМ несучого зображення повним ТВ сигналом, причому максимум потужності відповідає синхроімпульсу (СІ), а мінімум – рівню білого (тобто модуляція негативна) (рис. 1.4). Сигнал звукового супроводу передається шляхом ЧС несучого звуку.

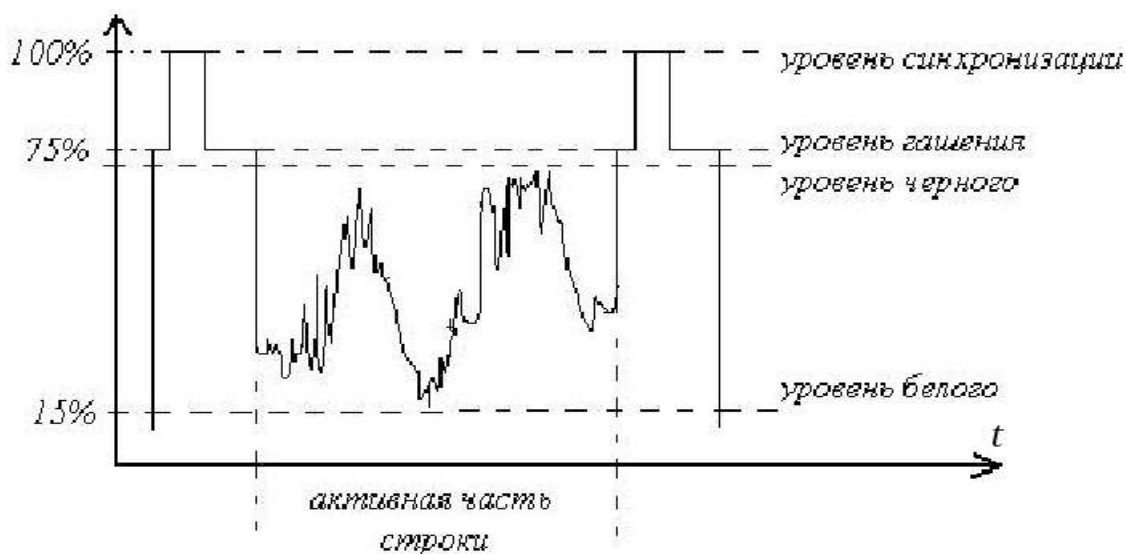


Рисунок 1.4 – Форма повного телевізійного сигналу

Таблиця 1.6 – Частотні характеристики аналогового відеосигналу стандартів В, G/PAL та M/NTSC

Характеристики	В,G/PAL	M/NTSC
Номінальна смуга радіочастотного каналу (МГц)	В:7 G:8	6
Несуча звуку відносно несучої зображення (МГц)	+5.5±0.001	+4.5
Найближчий край каналу відносно несучої видимості (МГц)	-1.25	-1.25
Номінальна ширина основної бічної смуги (МГц)	5	4.2
Номінальна ширина рудиментарної бічної смуги (МГц)	0.75	0.75
Тип і полярність модуляцій зору	C3F neg.	C3F neg.
Рівень синхронізації (%)	100	100
Рівень гасіння (%)	75±2.5	72.5 to 77.5
Різниця між рівнем чорного та рівнем гасіння (%)	0 to 2	2.88 to 6.75
Піковий рівень білого (%)	10 to 15	10 to 15
Тип звукової модуляції	F3E	F3E
Відхилення частоти (кГц)	±50	±25
Попереднє наголошення для модуляції (мкс)	50	75

Повний кольоровий ТВ сигнал (ПЦТС) складається з наступних складових:

- відеосигнал (сигнал про зображення: сигнал яскравості (Y), сигнал кольоровості (Uцв));
- суміш кадрових і малих імпульсів, що гасять;
- суміш кадрових та малих синхронізуючих імпульсів;
- сигнали колірної синхронізації.

Негативна модуляція забезпечує стійкішу синхронізацію і меншу помітність імпульсних перешкод при прийомі.

У спектрі сигналу АМ повинна бути частково пригнічена нижня бічна смуга частот. Це дозволяє суттєво зменшити смугу частот, яку займає ТБ мовлення (до 8 МГц на канал).

Однак несиметрія спектра означає появу поряд з АМ супутньої ЧС. Це підвищує вимоги до АЧХ трактів передавача.

Загальна АЧХ передавача показано на рис. 1.5.

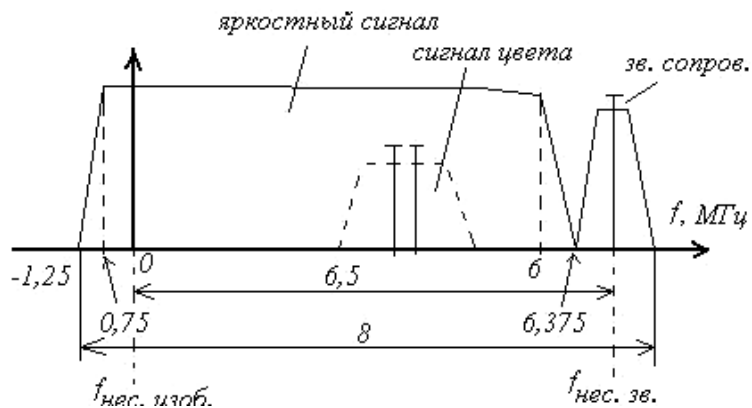


Рисунок 1.5 – Стандартна АЧХ передавального пристрою

Сигнали яскравості повинні мати певні рівні:

$$P_{\max} = P_{\text{синхр}} = P_{\text{изобр}}$$

$$P_{\text{гаш}} = (0,75)^2 P_{\text{синхр}}$$

$$P_{\text{бел}} = (0,15)^2 P_{\text{синхр}} = 0,0225 \cdot P_{\text{синхр}}$$

$$P_{\text{зв}} = 0,1 \cdot P_{\text{изобр}}$$

Амплитудно модульований повний аналоговий (ТВ) сигнал зображено на рис.

1.6.

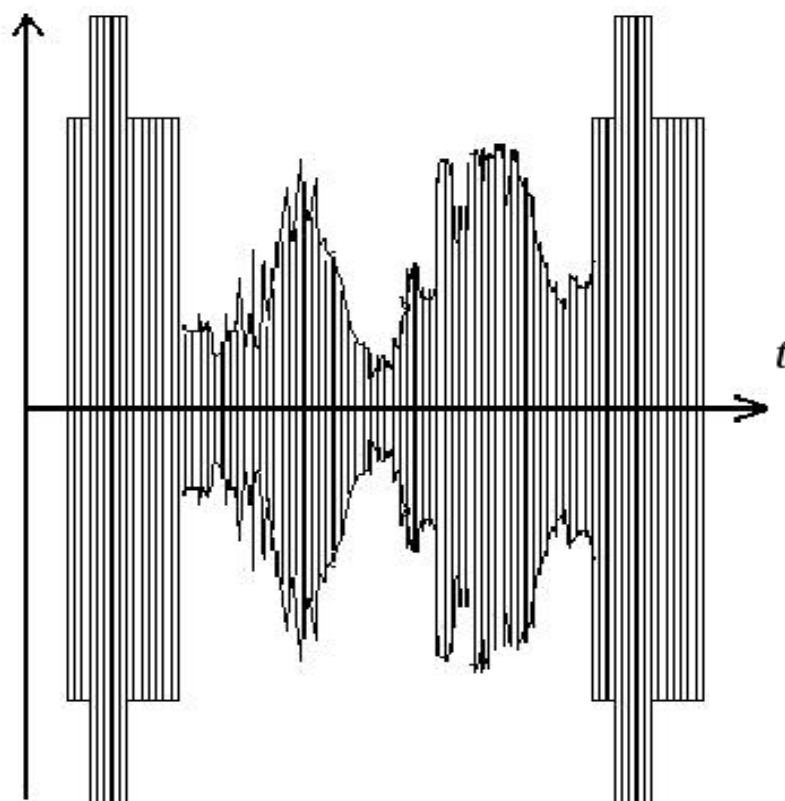


Рисунок 1.6 – Високочастотний відеосигнал із амплітудною модуляцією

Огинаюча ПЦТС заповнена ВЧ сигналом несучого зображення.

Телевізійний сигнал - уніполярний, його миттєві значення розташовані з одного боку від рівня "білого". Синхроімпульси також уніполярні. Цим пояснюється наявність у телевізійному сигналі постійної складової, величина якої визначається середньою освітленістю об'єкта, що передається. При передачі рухомого зображення загальний характер освітленості об'єктів, що передаються, тобто. постійна складова сигналу змінюється. Як приклад на рис.1.7 показані зображення та відеосигнали чорної смуги на білому тлі та білої смуги на чорному тлі. З рисунка видно, що середні значення цих сигналів значно різняться. Зміни постійної складової дуже повільні, вони характеризуються частотами від 0 до 2 ... 5Гц. При прийнятому нині через рядковому розкладанні нижча частота сигналу під час передачі нерухомого зображення практично є частота полів (напівкадрів), тобто. 50Гц. Відносна амплітуда коливань із частотами між 2...5Гц і 50Гц (зокрема і з частотою кадрів 25Гц) у телесигналі малі. Отже, повний спектр відеосигналу становить  $(0...6,5 \times 10^6)$ Гц. Необхідність передачі настільки широкої смуги частот з

мінімальними спотвореннями як по амплітуді, так і по фазі, пов'язана з великими труднощами, цим обумовлені основні відмінності передавачів від радіомовних передавачів.

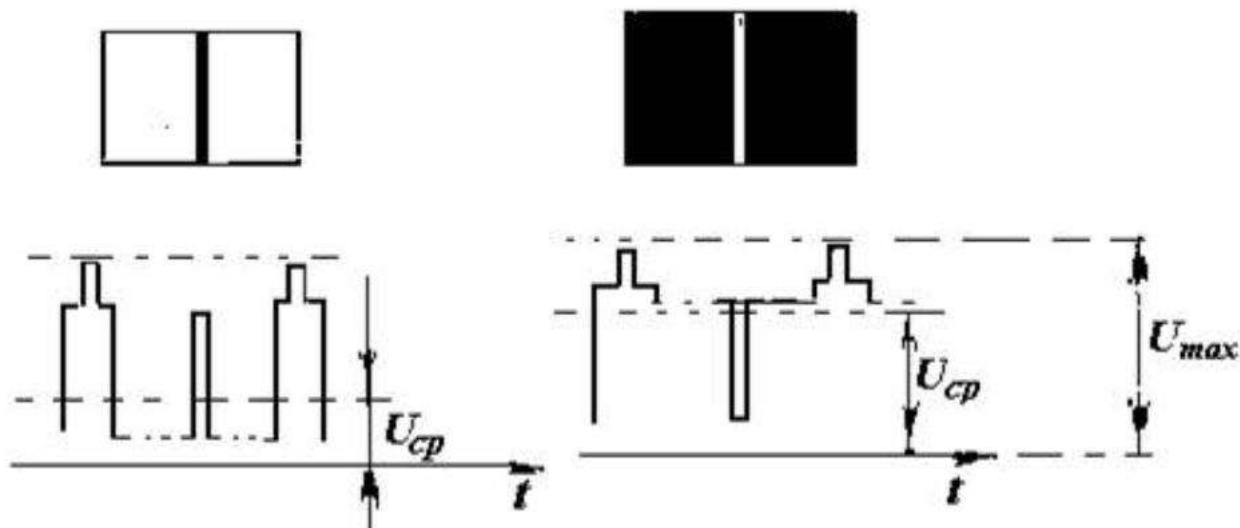


Рисунок 1.7 – Відеосигнали зображення чорної смуги на білому тлі та білої смуги на чорному тлі

## 1.2 Типи сигналів, які видають сучасні аналогові відеокамери

Для розуміння в якій формі передавачу можуть передавати сигнал камери різних виробників було проведено аналіз форматів вихідних сигналів камер провівши огляд літератури та знявши осцилограми сигналів з виходів камер.

Камери можуть видавати відеосигнал у 8 різних форматах. Перший великий поділ - умовно PAL або NTSC. У першому випадку ми прив'язані до частоти 50 Гц - або 50 напівкадрів за секунду (звичайний телевізійний сигнал CVBS), або 25 кадрів за секунду (AHD, TVI і CVI). У другому випадку частота 60 Гц - це 60 напівкадрів за секунду для CVBS і 30 кадрів за секунду для AHD, TVI, CVI. Роботу з NTSC ми поки що не розглядаємо.

Далі, є 4 формати:

- CVBS (Composite Video with Blanking and Sync) - звичайний композитний сигнал, який підключається жовтим тюльпаном;

- AHD (Analog High Definition) - як відкритий стандарт на аналоговий сигнал високої чіткості;

- CVI – пропрієтарний формат від компанії Dahua;

- TVI – пропрієтарний формат від компанії HikVision.

Але на відміну від цифрових інтерфейсів, де без датташитів, що описують усі "рівні OSI", розібратися практично неможливо, тут сигнал аналоговий і, на щастя, досить простий і слабо відрізняється між цими форматами.

На рис.1.8 наведено 720р сигнал формату AHD. У випадку 1080р майже все зміниться.

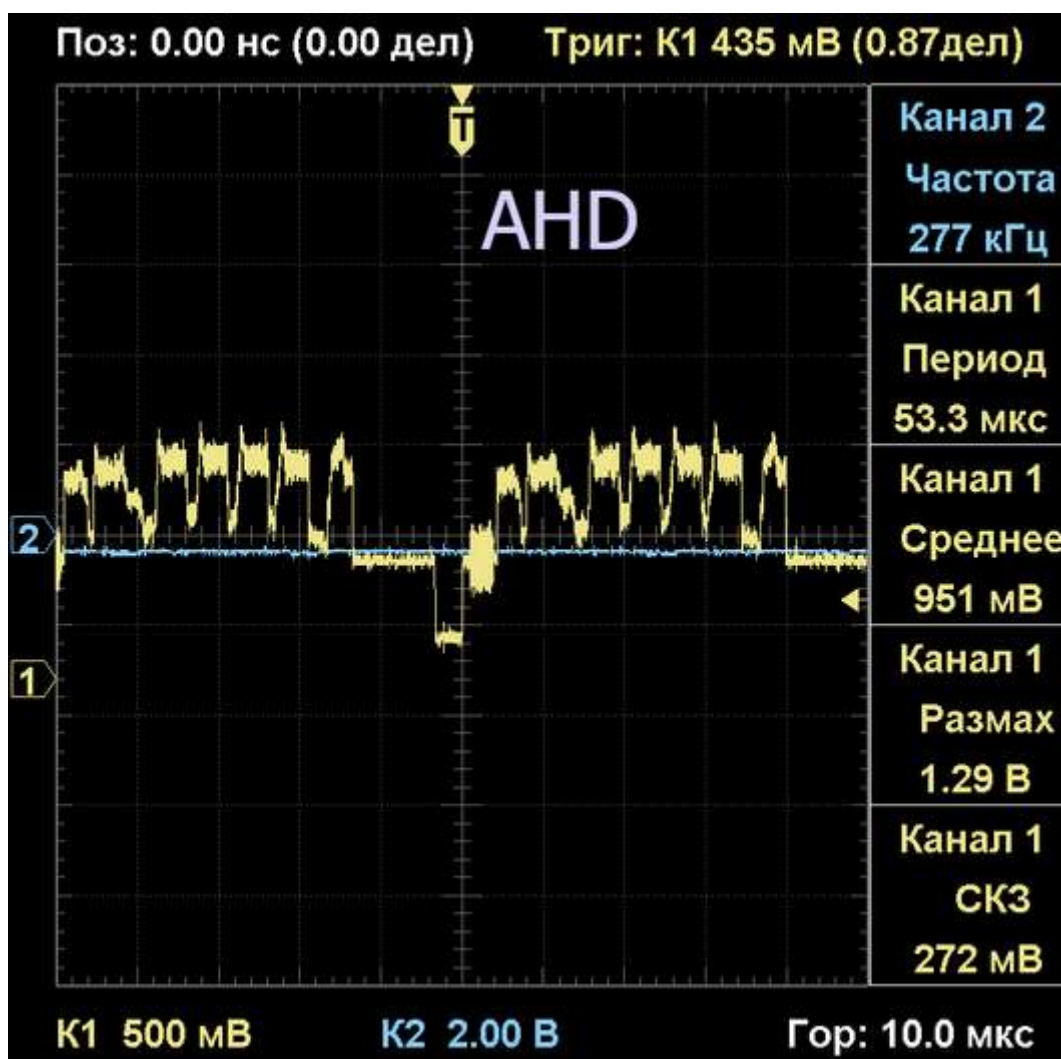


Рисунок 1.8 – Сигнал формату AHD

На осцилограмі ми бачимо один рядок сигналу АНД. Період складає 53,3 мкс –720 видимих рядків наберуть у разі 38,376 мс, і ще залишиться 30 рядків під зворотний хід кадрової розгортки.

У центрі композиції - малий синхроімпульс, за ним йде "спалах PAL" - у сигнал домішується колірна піднесуча, щоб приймач налаштував свою за частотою і фазою.

На рис .1.9 наведено збільшена за масштабом осцилограма АНД в області рядкового імпульсу

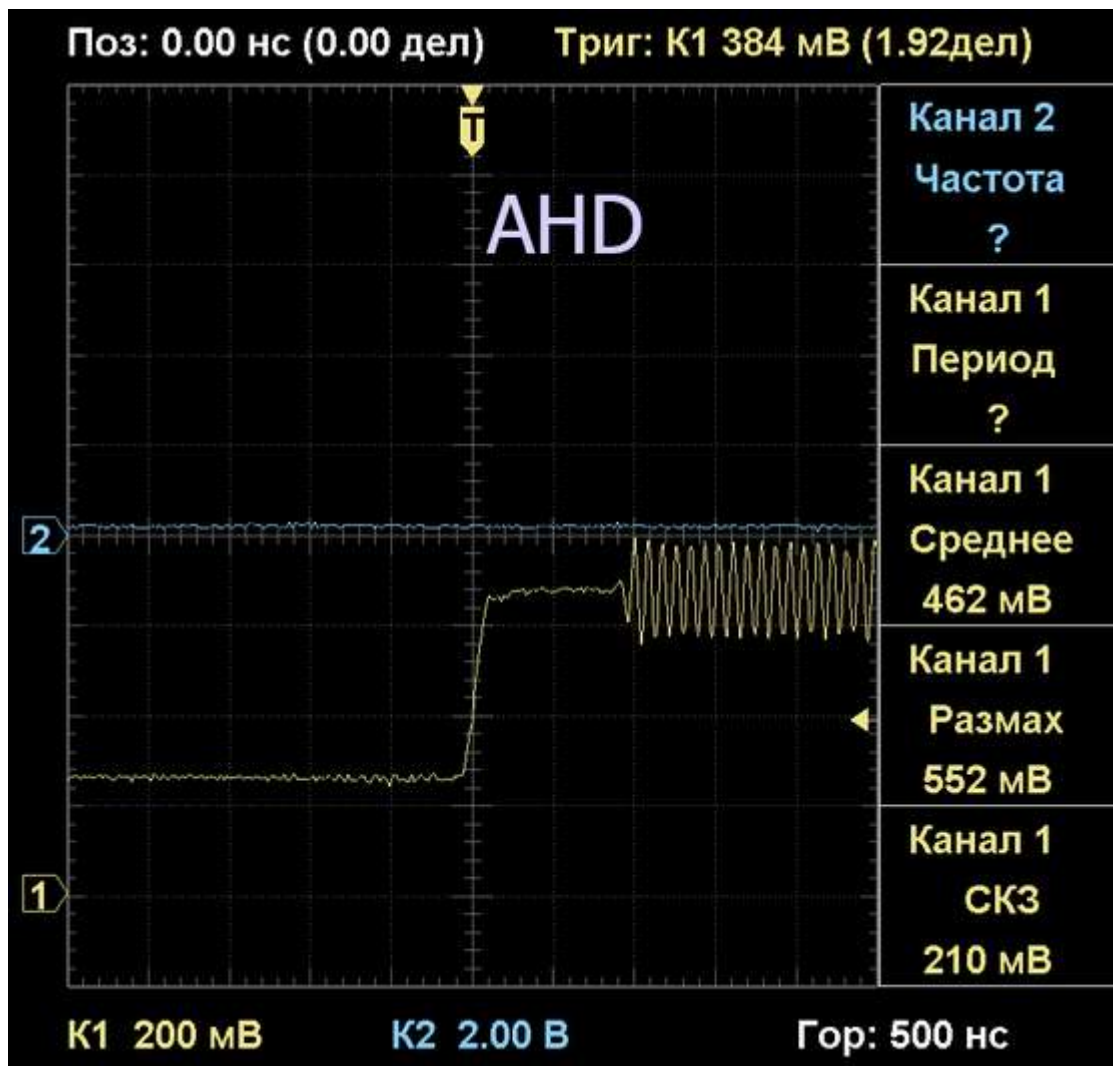


Рисунок 1.9 – Збільшена за масштабом осцилограма АНД в області рядкового синхроімпульсу

Після підрахунку кількості періодів, у мене вийшла частота піднесучої 11..12 МГц. У документації вказано частоту 11,55 МГц для варіанта 720р.

Якщо "поличку" перед спалахом позначити за нуль вольт (це рівень чорного), то на синхроімпульсі напруга падає до  $-0,5$  вольт, тривалість імпульсу близько 4 мкс. Рівень білого:  $0,7$  вольт, тобто повний розмах відеосигналу:  $1,2$  вольт.

Тривалість видимого рядка всього 36 мкс. Це означає, що для отримання наших 1280 пікселів, на кожен піксель має припадати лише 28 нс, і частота вибірки має становити 35 МГц.

По Котельникову ми можемо розраховувати на частоти у відеосигналі аж до 17,5 МГц, але колірна піднесуча: 11,55 МГц, тобто як і в стандартному телевізійному сигналі, вона заповзає на яркісний сигнал і його потрібно відфільтровувати, при цьому втрачаючи чіткість. Інтервал між синхроімпульсом та початком рядка становить 8 мкс.

Кадровий синхроімпульс ми подивимося трохи пізніше, а зараз подивимося на сигнал TVI:

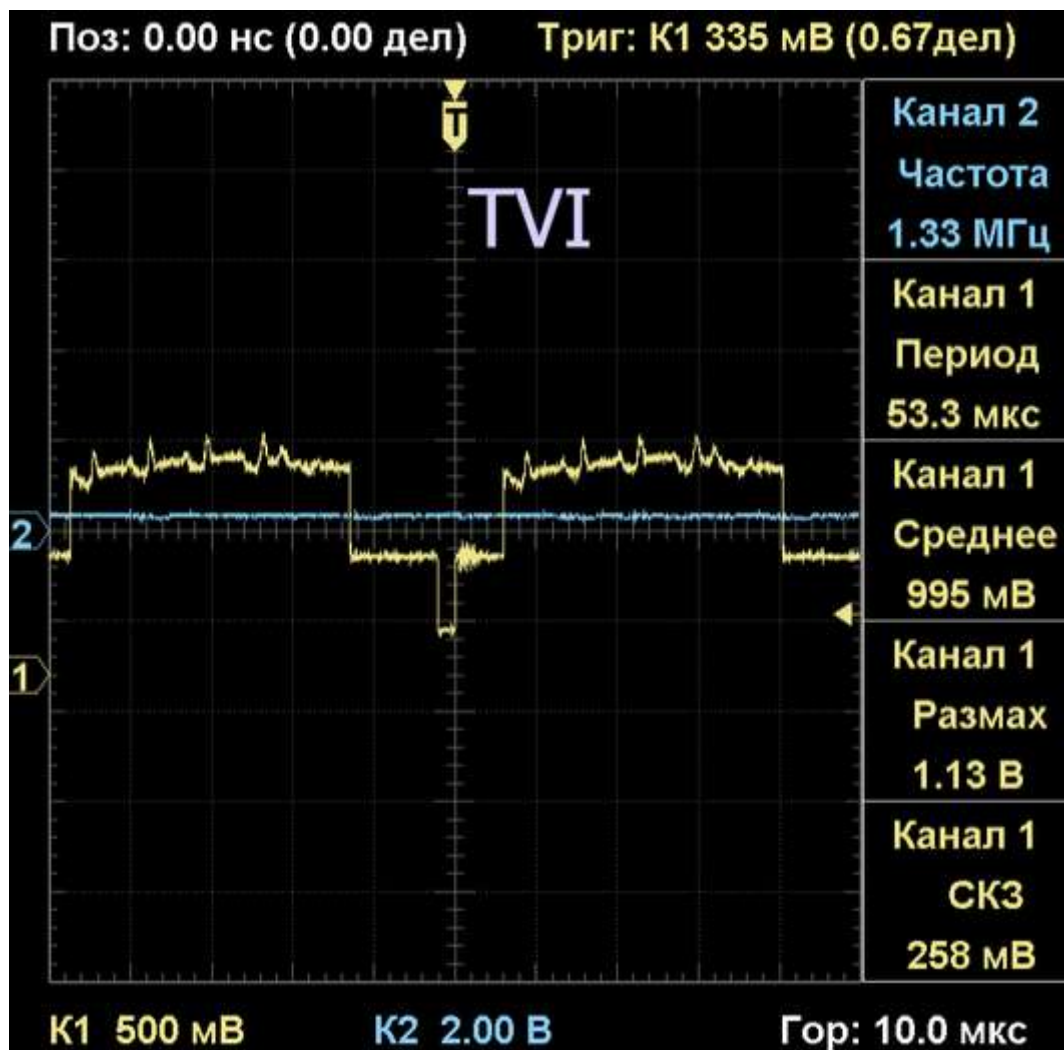


Рисунок 1.10 – Осцилограма сигналу TVI

Період становить ті ж 53 мкс, оскільки потрібно вмістити 720 рядків + зворотний хід 40 мс. Синхроімпульс коротший, всього 2 мкс, менша амплітуда, всього 0,4 вольт. Тривалість видимого рядка майже така сама, як у АHD: 34 мкс, що відповідає частоті вибірки приблизно 38 МГц і максимальній частоті сигналу яскравості 19 МГц.

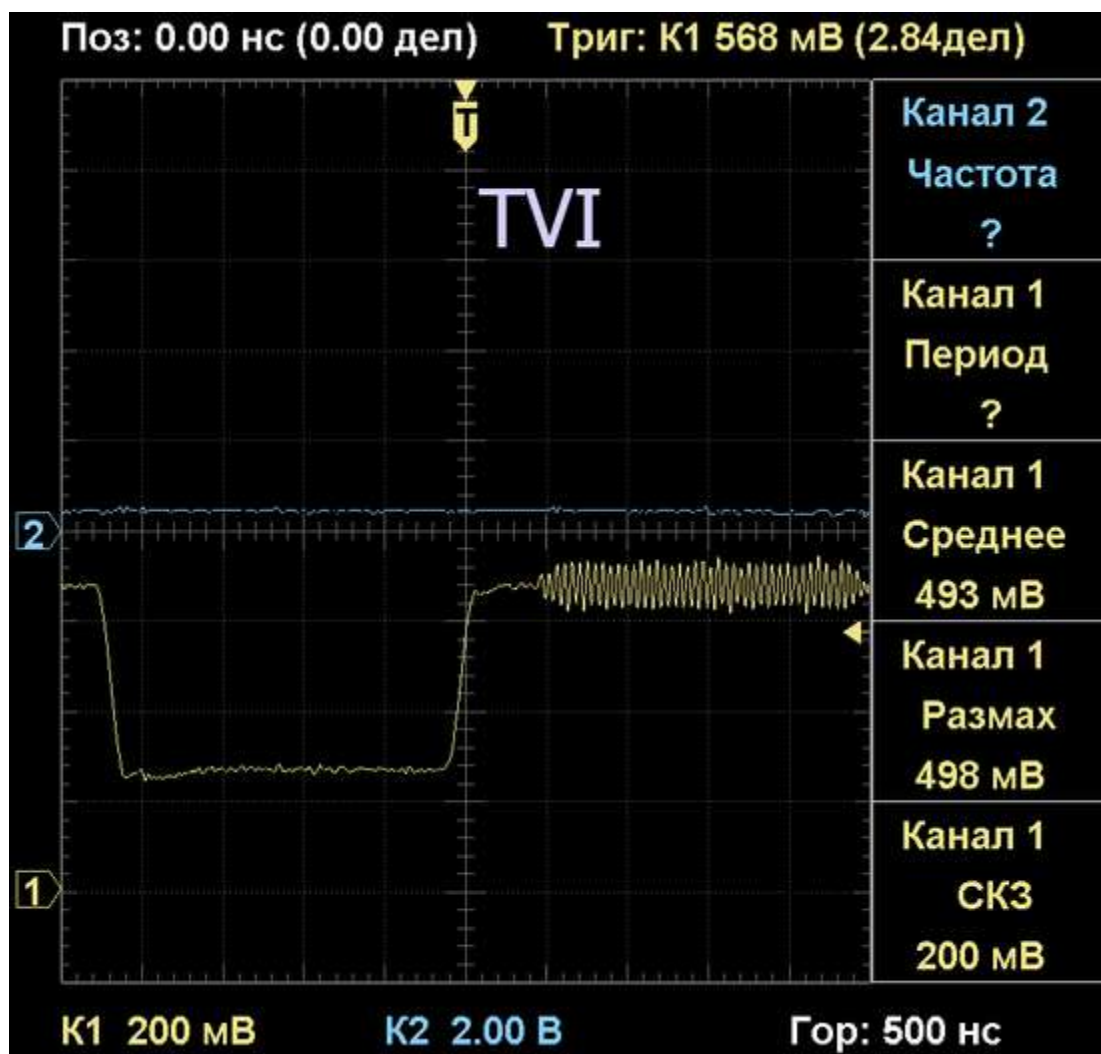


Рисунок 1.11 – Збільшена за масштабом осцилограма TVI в області рядкового синхроімпульсу

Вона має зовсім невеликий розмах, близько 100 мВ. У АHD розмах спалаху теж не дуже великий, близько 200 мВ. Це спростить нам детектування синхроімпульсів - іноді розмах спалаху настільки великий, що випадково сприймається як повторний малий імпульс. Тут таке нам практично не загрожує.

Частота приблизно (згідно осцилограми) становить 20..21 МГц, а в таблиці для 720р чомусь не вказано. Колірна піднесуча розташована вище спектру сигналу яскравості. Інтервал між початком рядкового синхроімпульсу та початком видимого рядка становить 8 мкс.

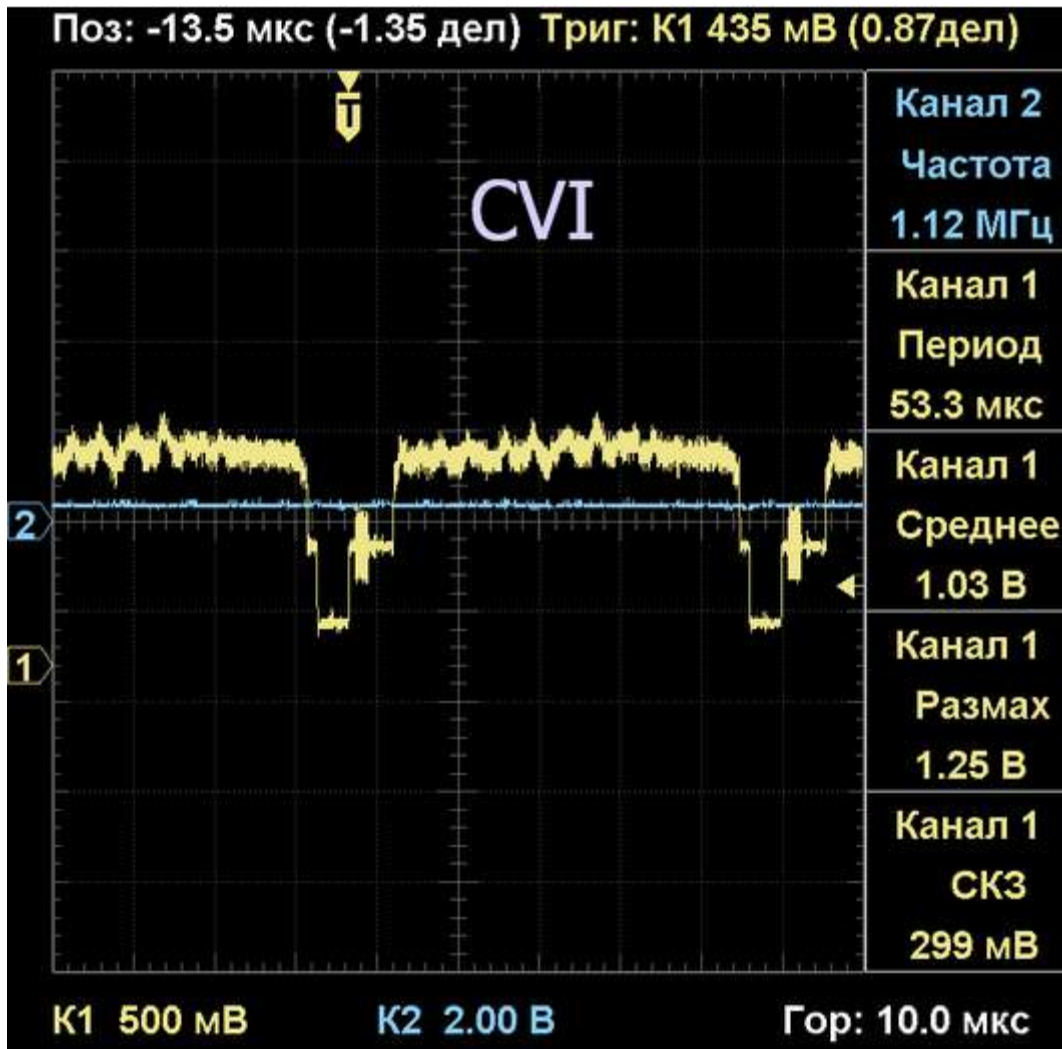


Рисунок 1.12 – Осцилограма сигналу CVI

Тут все має яскраво виражені риси. Якщо синхроімпульс - то потужний (майже 0,5 вольта) і досить тривалий, майже 4 мкс. Спалах на цій осцилограмі виглядає дуже потужним.

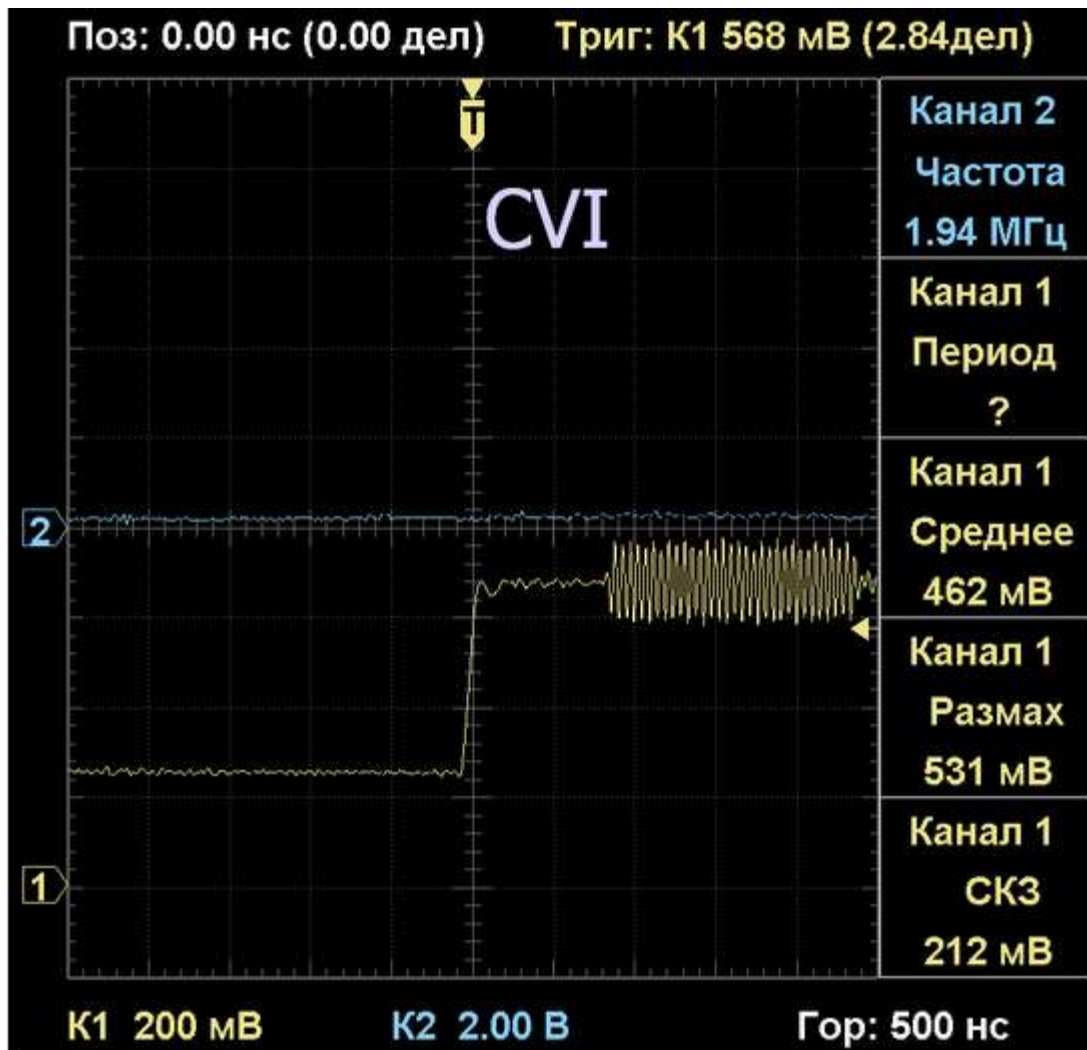


Рисунок 1.13 – Збільшена за масштабом осцилограма CVI в області рядкового синхроімпульсу

Розмах 200 мВ, частота знову 20.21 МГц. Видимий рядок цього разу займає набагато більший інтервал, аж 43 мкс. Завдяки цьому частота вибірки (для забезпечення 1280 пікселів) повинна становити 29,8 МГц, а максимальна частота сигналу яскравості: порядку 15 МГц. Ми маємо поділ між колірною піднесучою і краєм спектру сигналу яскравості в 6 МГц. Тут яскравісний та кольоровий сигнали дійсно один одному заважати не будуть.

Інтервал між початком синхроімпульсу та початком видимого рядка становить навіть трохи більше, ніж в інших форматах, приблизно 9,5 мкс - практично весь зворотний хід.

На рис.1.14 для порівняння наведено спалах PAL у звичайному CVBS з цієї ж камери:

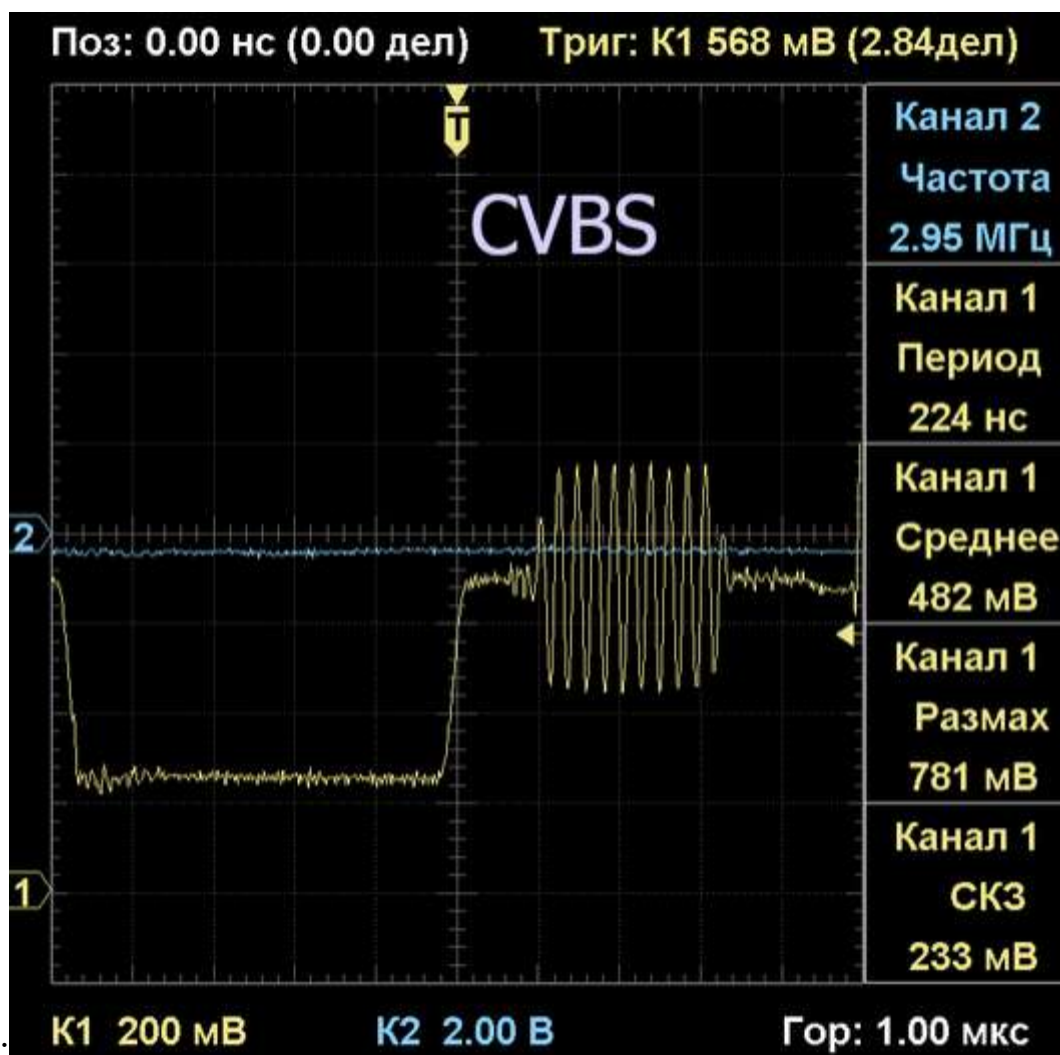


Рисунок 1.15 – Збільшена за масштабом осцилограма CVBS в області рядкового синхроімпульсу

### 1.3 Частотні канали роботи відеопередавачів БПЛА

Як зазначалось у вступі на ринку цивільних БПЛА широко розповсюджені аналогові відеопередавачі з частотними діапазонами 1,3 ГГц и 5,8 ГГц. В роботі було проведено огляд частотних каналів відеопередавачів доступних на ринку з

метою забезпечення частини з них у передавачі, що розробляється для можливості роботи в цивільному діапазоні.

У діапазоні 5,8 ГГц для аналогового відео існує 72 різні канали. У таблиці 1.7 наведено перелік частоти всіх каналів аналогової передачі відео діапазону 5,8ГГц.

У кожній сітці свій набір частот, деякі частоти зустрічаються в кількох сітках, але загалом усі сітки унікальні.

Усі канали у сітці мають однаковий крок: 20, 19, 37, 23, 18 чи 40 МГц.

Таблиця 1.7 – Відповідність частот каналам відеопередавачів діапазону 5,8ГГц

Сітка	CH 1	CH 2	CH 3	CH 4	CH 5	CH 6	CH 7	CH 8
A	5865	5845	5825	5805	5785	5765	5745	5725
B	5733	5752	5771	5790	5809	5828	5847	5866
E	5705	5685	5665	5645	5885	5905	5925	5945
F	5740	5760	5780	5800	5820	5840	5860	5880
C (R)	5658	5695	5732	5769	5806	5843	5880	5917
D	5362	5399	5436	5473	5510	5547	5584	5621
U	5325	5348	5366	5384	5402	5420	5438	5456
O	5474	5492	5510	5528	5546	5564	5582	5600
L	5333	5373	5413	5453	5493	5533	5573	5613
H	5653	5693	5733	5773	5813	5853	5893	5933

Загальні властивості роботи відеопередавачів діапазону 5,8ГГц:

- передавач може передавати сигнал на одному з 72 каналів (На жаль, це не означає, що одночасно зможе літати 72 особи);

- раніше відеопередавачі підтримували лише 8 каналів, а кожен виробника мав свою сітку (зараз більшість відеопередавачів підтримують купу сіток або навіть усі разом).

Сітки частот їх використання різними виробниками відеопередавачів БПЛА:

- Band A: Team BlackSheep (TBS), RangeVideo, SpyHawk, FlyCamOne USA;

- Band B: FlyCamOne Europe;

- Band C(R): Raceband;
- Band E: HobbyKing, Foxtech;
- Band F (Airwave): ImmersionRC, Iftron;
- Band D: Diatone;
- Band L: Low band;
- Band H: High band.

Щоб якість зображення була максимальною, необхідно переконатися, що передавач і приймач працюють на одній і тій же частоті. Деякі канали в різних сітках мають дуже близькі частоти і простої появи картинки в окулярах недостатньо.

З відеопередавачами аналогового відеосигналу діапазону 1,2ГГц все набагато гірше, адже крок між каналами становить 40 МГц і відповідно використовуються лише 8 каналів, що звісно призводить ще до більшої ймовірності перекриття каналів.

Канали та частоти діапазона 1,2ГГц відеопередачі:

- НС1: 1080МГц;
- НС2: 1120 МГц;
- НС3: 1160 МГц;
- НС4: 1200 МГц;
- НС5: 1240 МГц;
- НС6: 1280 МГц;
- НС7: 1320 МГц;
- НС8: 1360 МГц;

З проведеного огляду впливає гостра необхідність розширення каналів передачі, що дозволить:

- одночасно знаходиться у повітрі більшій кількості БПЛА;
- захистити канал передавання відео від дії РЕБ супротивника;
- обмежити можливості несанкціонованого перегляду через унеможливлення використання для цього стандартних приймачів.

Відповідно у роботі проводиться розробка передавача аналогового відеосигналу, який може не лише працювати на нестандартних частотах, а ще переналаштовуватись між цими частотами.

Додатково пропонується зробити потужність передавача до 2Вт з метою значного збільшення відстані передачі, а для забезпечення роботи в цивільній сфері забезпечити можливість регулювання потужності.

## **2 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ЗСУВУ ТА СТРУКТУРИ ПЕРЕДАВАЧА З МОЖЛИВІСТЮ ЗМІНИ НЕСУЧОЇ ЧАСТОТИ**

### **2.1 Огляд структури та схемотехнічних рішень побудови бездротових передавачів аналогового відео**

Для розробки власного відеопередавача було проведено аналіз структури і схемотехнічних рішень побудови існуючих аналогових передавачів відеосигналу.

Передавач аналогового відеосигналу – це електронний пристрій, який видає радіохвилі, які не мають відеосигналу, що представляє рухоме зображення, разом із синхронізованим аудіоканалом, який приймає телевізійні пристрої відображення, що належать широкій аудиторії, яка відображає зображення на екрані.

Аналогові відеопередавачі використовують одну з двох різних технологій: аналогову, в якій зображення і звук передаються аналоговими сигналами, модульованими на несучу хвилю радіо і цифрову, в якій зображення і звук передаються за допомогою цифрових сигналів. Початкова телевізійна технологія, аналогове телебачення, почала змінюватися в ході переходу, починаючи з 2006 року, у багатьох країнах із системами цифрового телебачення (DTV). Вони передають зображення в новому форматі, званому HDTV (телебачення високої чіткості), який має більш високу роздільну здатність і більш широкий екран із співвідношенням сторін, ніж аналоговий. DTV дозволяє більш ефективно використовувати обмежений радіоспектр ширини смуги, оскільки кілька каналів DTV можуть передаватись в ту саму смугу пропускання, що і один аналоговий канал. Як в аналоговому, так і в цифровому телебаченні, в різних країнах використовується кілька несумісних стандартів модуляції для додавання відео- та аудіосигналів до радіо несучей.

Принципи аналогових систем коротко викладені в тому вигляді, в якому вони зазвичай більш складні, ніж цифрові передатчики, через мультиплексування каскадів модуляції VSB і FM.

Вхід відео (VF) є композитним відеосигналом (відеоінформація з синхронізацією як наведено в п.1.1) з максимальною напругою 1 вольт на опорі 75 Ом. (Обмеження в 1 В для сигналу яскравості, деякі передавачі можуть приймати накладені сигнали кольору трохи більше 1 В.) Після буфера і ланцюгів обмеження 1 В сигнал подається до модулятора, де модулюється сигнал проміжної частоти (який відрізняється від того, який використовується для звукового сигналу). Модулятор є амплітудним модулятором, який модулює сигнал ПЧ таким чином, що 1 VF відповідає низькому рівню IF і 0 вольт VF відповідає високому рівню IF. Модулятор АМ створює дві симетричні бічні смуги у модульованих сигналах. Таким чином, ширина смуги ПЧ вдвічі більша за ширину смуги відеосигналу. (тобто, якщо смуга частот VF становить 4,2 МГц, ширина смуги IF становить 8,4 МГц.) За модулятором слідує спеціальний фільтр, відомий як фільтр бічної смуги Vestigal (VSB). Цей фільтр використовується для придушення частини однієї бічної лінії, тому ширина лінії зменшується. Оскільки обидві бічні смуги містять ідентичну інформацію, це придушення не викликає втрати інформації. Хоча придушення викликає проблеми з фазовою затримкою, каскад VSB також включає схеми корекції для вирівнювання фази.

Модульований сигнал подається на змішувач (також відомий як перетворювач частоти). Інший вхід у змішувачі, який зазвичай створюється в кварцовому генераторі, відомий як піднесуча. Два виходи мікшера є сумою і різницею двох сигналів. Небажаний сигнал (зазвичай сума) відфільтровується, а сигнал, що залишився, є радіочастотним (RF) сигналом. Потім сигнал подається на каскади підсилювача. Кількість послідовних підсилювачів залежить від необхідної вихідної потужності. Останній каскад зазвичай підсилювач, що складається з безлічі паралельних потужних транзисторів. Але в більш старих передавачах тетроди або клістри також використовувались.

У сучасних твердотільних відеопередавачах power транзистори є кращим пристроєм для вихідного каскаду, а в останніх продуктах використовуються 50V LDMOS-пристрої для більшого ККД і питомої потужності. Ще більша

енергоефективність можлива при використанні Envelope Tracking, яке в індустрії мовлення часто називають «модуляцією стоку».

Існує два методи об'єднання звукових та візуальних сигналів.

Роздільна звукова система: насправді є два паралельні передавачі: один для звукового і один для візуального сигналу. Два сигнали об'єднуються на виході за допомогою потужного суматора. На додаток до суматора ця система вимагає окремого мікшера та підсилювачів для звукових та візуальних сигналів. Ця система використовується в більшості програм з високою потужністю.

Блок-схема ТВ-передавача (метод із проміжними несучими).

Система з міжнесучими: є два вхідні каскади, один для АF і один для VF. Але два сигнали поєднуються в схемах ІF малої потужності (тобто після модуляторів). Змішувач та підсилювачі є спільними для обох сигналів, і система не потребує суматорів високої потужності. Таким чином, і ціна передавача, і споживана потужність значно нижча, ніж спліт-системи того ж рівня потужності. Але два сигнали, що проходять через підсилювачі, створюють деякі продукти інтермодуляції. Таким чином, система з міжнесучими не підходить для додатків з високою потужністю, і навіть у передавачах з меншою потужністю на виході має використовуватися режекторний фільтр для придушення продуктів крос-модуляції.

Вихідна потужність передавача визначається як потужність під час синхроімпульсу. Реальна вихідна потужність змінюється в залежності від вмісту. Але вихідна потужність передавального обладнання та вихідна потужність антени – це дві різні величини. Вихідна потужність антени відома як ERP, яка фактично дорівнює потужності передавача, помноженої посилення антени.

Основні вимоги до телевізійних передавачів

Абсолютна нестабільність частоти несучого зображення:

$$\Delta f_{\text{нес.изобр.}} \leq \pm 100 \text{ Гц}$$

Нерівномірність АЧХ < 4дБ на частотах –0,75МГц та 6МГц від несучої.

Нерівномірність характеристики групового часу запізнення (ГВЗ) тракту передавач – приймач < 50нс.

Спотворення, викликані нелінійністю ФЧХ  $\varphi(\omega)$ , прийнято оцінювати за ГВЗ.:

$\tau_{gp}(\omega) = \frac{\partial \varphi(\omega)}{\partial \omega}$ . Якщо  $\varphi(\omega)$  лінійна, то  $\tau_{gp} = \text{const}$  та абсолютна величина затримки сигналу в тракті не відіграє ролі. При відмінності  $\varphi(\omega)$  від лінійної залежності  $\tau_{gp}$  змінюється в діапазоні частот.

Розбіжність у часі сигналів яскравості та кольоровості.  $\leq \pm 50 \text{ нс}$

Коефіцієнт нелінійності  $< 12\%$ .

Паразитна фазова модуляція  $< 50$ .

Структурні схеми передавачів аналогових відеосигналів

Роздільне посилення сигналів зображення та зв. супроводу.

Вихідні сигнали каналів зображення та звуку поєднуються за допомогою розділювального фільтра (РФ).

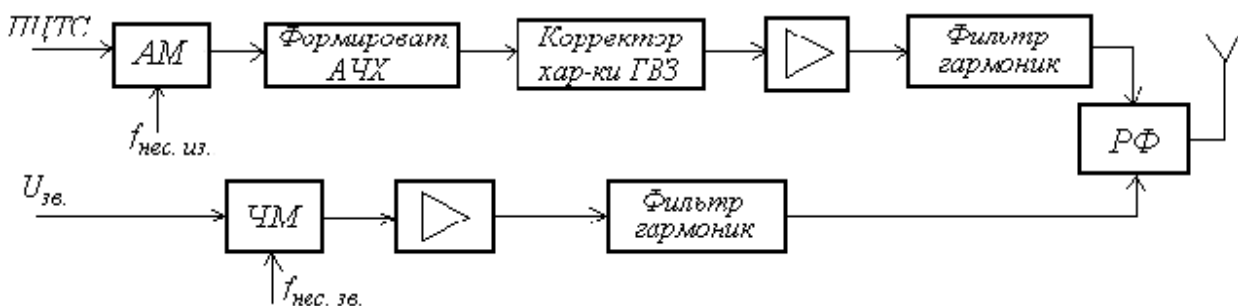


Рисунок 2.1 – Структура ТВ – передавача з роздільним посиленням складових

Модуляція на частоті, що несе, використовується рідко, т.к. на різних каналах формувач АЧХ буде різним. Тому модуляцію здійснюють на проміжній частоті і потім переносять спектр АМ коливань на робочу частоту (ставлять перетворювач частоти). Аналогічно для сигналів звукового супроводу.

Фільтр гармоник – фільтр, який здійснює придушення позасмугових гармонік (вищій).

Спільне посилення потужності сигналів та звуковий супровід.

Модуляція проводиться на малому рівні потужності та на проміжній частоті.

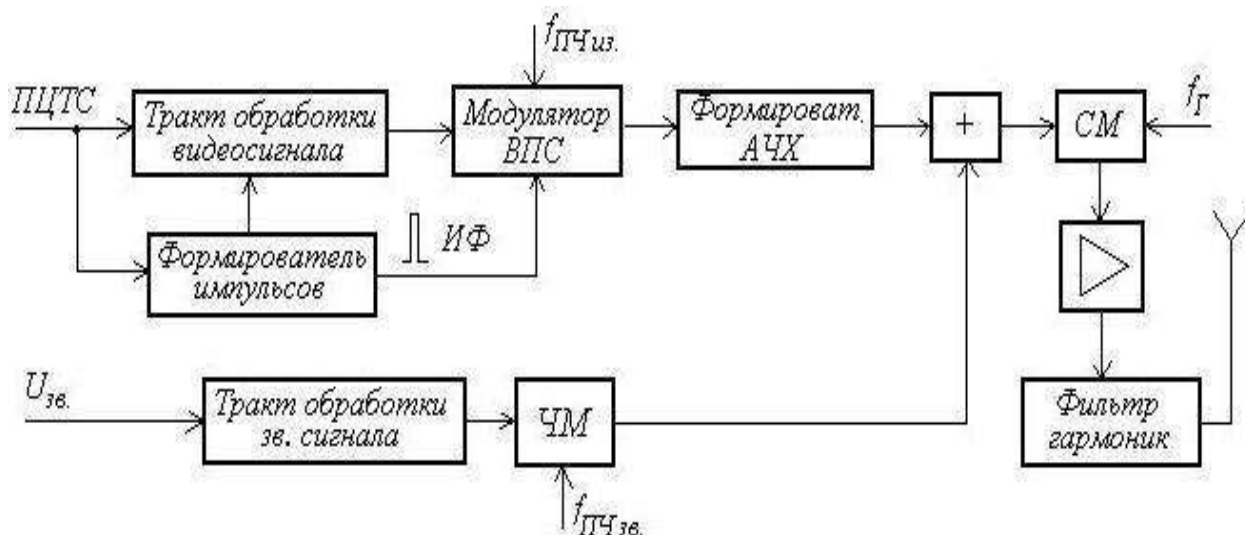


Рисунок 2.2 – Структурна схема ТБ – передавача під час модуляції на проміжній частоті

$f_{Г} = f_{ПЧ.изобр.} + f_{нес.}$  - частота гетеродину.

Модулятор ВВС – відновлення постійної складової у ТБ сигналі. Обов'язковий пристрій у модуляторі. Тут фіксується рівень гасіння, при цьому формується фіксуючий імпульс.

Основні переваги модуляції на  $f_{ПЧ}$ :

- виходить уніфікована апаратура формувача АМ коливань;
- формування АЧХ складає НЧ і малому рівні потужності, що набагато простіше реалізувати практично необхідні характеристики передавача;
- при модуляції на НЧ можна забезпечити більш високу лінійність модуляційних показників.

Аналоговий відеосигнал однополярний і його середнє значення може змінюватись у межах рівнів «біле-чорне», тому необхідно відновлювати рівень постійної складової.

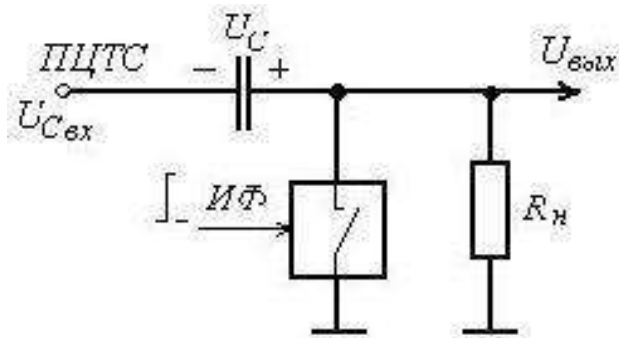


Рисунок 2.3 – Еквівалентна схема відновлювача постійної складової (ІФ – імпульс фіксації)

Ключ замикається на час фіксуючого імпульсу (рис. 2.4). При замиканні конденсатор швидко заряджається до величини  $\Delta U$ , а потім, коли ключ розімкнеться, сигнал на виході:

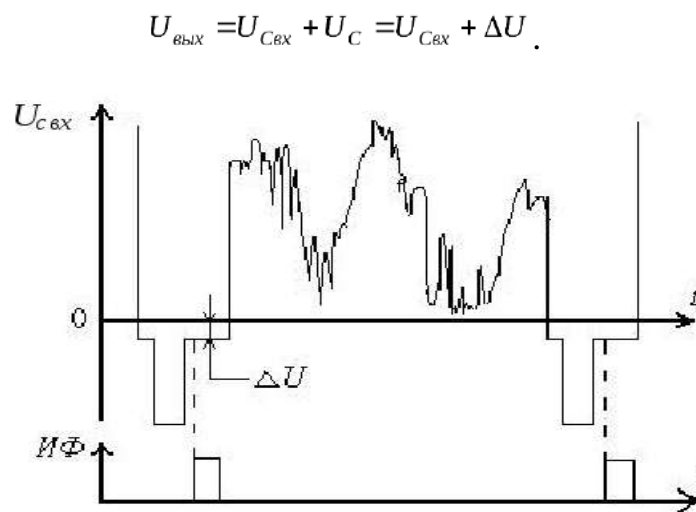


Рисунок 2.4 – До роботи схеми відновлювача постійної складової

Якщо необхідно здійснити фіксацію не на нульовий рівень, необхідно поставити джерело зміщення під ключем і можна регулювати необхідний рівень.

Епюри напруги роботи схеми ВПС показані на рис. 2.5.

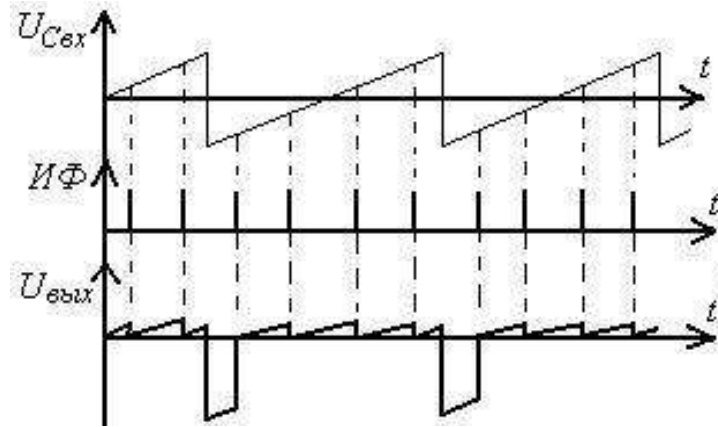


Рисунок 2.5 – Часові діаграми роботи ВПС

У ТБ передавачі ВПС зазвичай здійснюється у вихідному каскаді модуляційного пристрою або навіть у двох останніх його каскадах, т.к. бажано повністю використовувати їх амплітудні характеристики.

Приклад схеми модулятора з ВПС наведено на рис. 2.6.

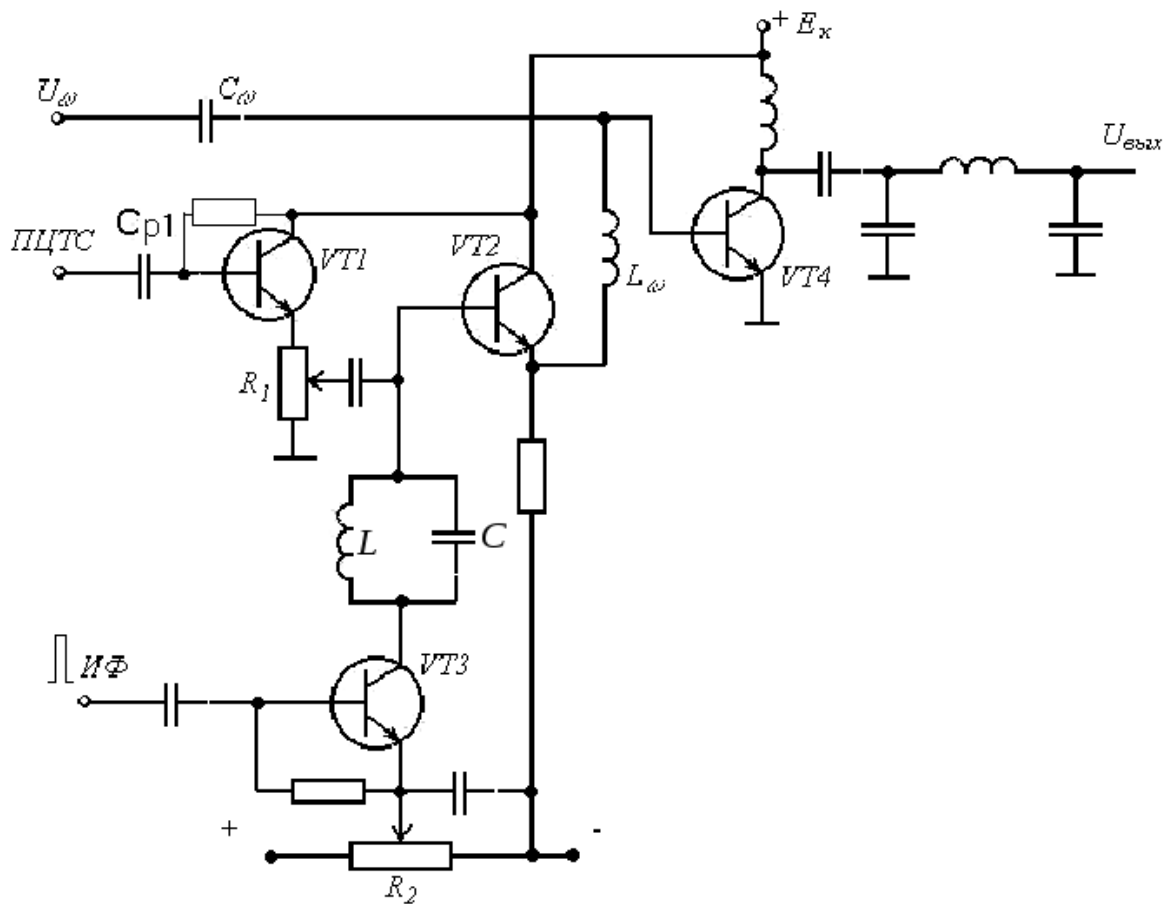


Рисунок 2.6 – Схема каскаду з базовою модуляцією повним ТБ – сигналом та пристроєм ВПС

Каскади VT1 та VT2 – емітерні повторювачі, VT3 – транзистор у ключовому режимі. Навантаження VT1 забезпечує мале опір виходу джерела сигналу управління фіксуючої схеми. Емітерний повторювач на VT2 забезпечує великий вхідний опір для керованої фіксуючої схеми. Необхідний рівень фіксації задається R2.

Контур LC для того, щоб сигнал колірної синхронізації (піднесе) зберігався. Напряга фіксації може бути позитивною і негативною щодо Е-Б VT2, зсув відповідає рівню гасіння.

За допомогою R1 підбирається розмах сигналу ПЦТС, щоб він укладався в лінійну область СМЗ.

Вихідний П-контур може бути низкодобротним, т.к. смуга частот у вихідного сигналу повинна бути не меншою за подвійну смугу ПЦТС (~12МГц).

Кольорові сигнали подаються на балансний модулятор, на якому вони модулюються по амплітуді з придушенням піднесучої. Модульовані кольорові сигнали червоного ER-Y та синього EB-Y зсунуті відносно один одного по фазі на 90°. Під час підсумування вони утворюють новий сигнал - сигнал кольоровості. Таким чином:

$$U = \sqrt{E_{R-Y}^2 + E_{B-Y}^2} \quad (2.1)$$

$$\varphi = \arctg \frac{E_{R-Y}}{E_{B-Y}} \quad (2.2)$$

Таким чином, зміна фази свідчить про зміну тону, модуль вектора визначає насиченість. При цьому на незабарвлених або слабо офарблених ділянках зображення перешкоди немає, оскільки пригнічена піднесуचा.

Застосування амплітудної модуляції з пригніченою піднесучою породжує труднощі в прийомі. При детектуванні важливо щоб збігалися фази та частоти гетеродину та піднесучої. Для цього після шкірного рядкового синхроімпульсу на майданчику рядкового імпульсу, що гасити, передається особливий імпульс-спалах - анг. Colorburst – він містить 8-10 періодів коливань опорного генератора.

Частота піднесучої обрана таким чином, щоб якнайменше впливати на приймачі чорно-білого телебачення.

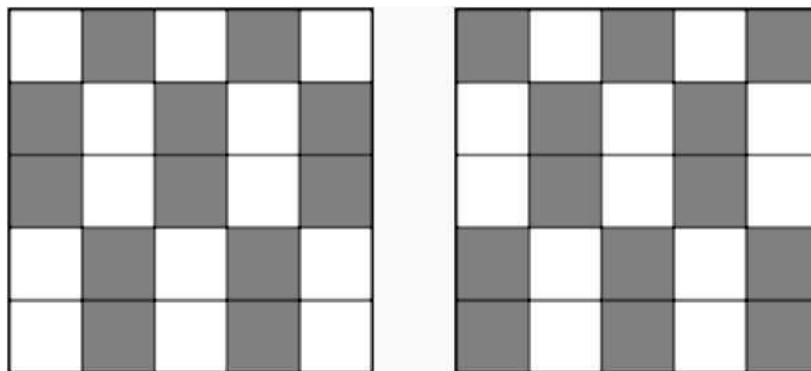


Рисунок 2.7 Перешкода від піднесучої (1-й кадр) та перешкода від піднесучої (інший кадр)

При цьому в інтервалі рядка розміщується непарне число напівперіодів піднесе (точно - 455), тому малюнок від перешкоди має вигляд шахового поля. Така структура менш помітна, ніж вертикальні смуги.

Полярність піднесе у суміжних кадрах змінюється на протилежну, таким чином, темні ділянки чергуються зі світлими. За рахунок тимчасової взаємної компенсації перешкода стає ще менш помітною.

Особливістю системи NTSC є те, що інформація про кольоровості передається над системою координат  $E_{R-Y}$  та  $E_{B-Y}$ , а системі  $E_I$  та  $E_Q$ , розгорнутої щодо  $E_{R-Y}$  та  $E_{B-Y}$  на  $33^\circ$ . Одночасно з цим застосовується компресія з амплітуди підвищення сумісності з чорно-білим телебаченням. Зменшуючи розмах амплітуди, компресія забезпечує відсутність піднесе на незабарвлених ділянках.

Крім того, полоси пропускання для сигналів  $E_I$  і  $E_Q$  обрані різними - таким чином розробниками враховується той факт, що людське око розрізняє дрібні синьо-зелені деталі краще за червоні. Для сигналу  $E_I$  ширина смуги пропускання - 1,3 МГц, для  $E_Q$  - 0,5 МГц.

Значення частот рядків і полів, у чорно-білому стандарті 525/60, що становили 15750 і 60 Гц, були змінені, щоб звук, що підніс, стала точною 286-ю гармонікою частоти рядків. Це довелося зробити тому, що інакше биття між піднесучими

звуками (4,5 МГц) і кольорами (3,58 МГц) створювали великоструктурну добре видиму перешкоду у вигляді темних і світлих «хвиль», що переміщалися по екрану. Після корекції рядкова становить приблизно 15734 Гц, а кадрова - 59,94 Гц, не вимагаючи переробки генераторів розгортки чорно-білих телевізорів. "Хвилі" від цього не пропали, але стали нерухомими та практично непомітні.

В сучасних системах передавання аналогового відео усі описані блоки зібрані в одній мікросхемі для якої необхідно лише забезпечити обв'язку для нормальної роботи. Один з варіантів реалізації сучасного передавача аналогового відеосигналу наведено на рис. 2.8.

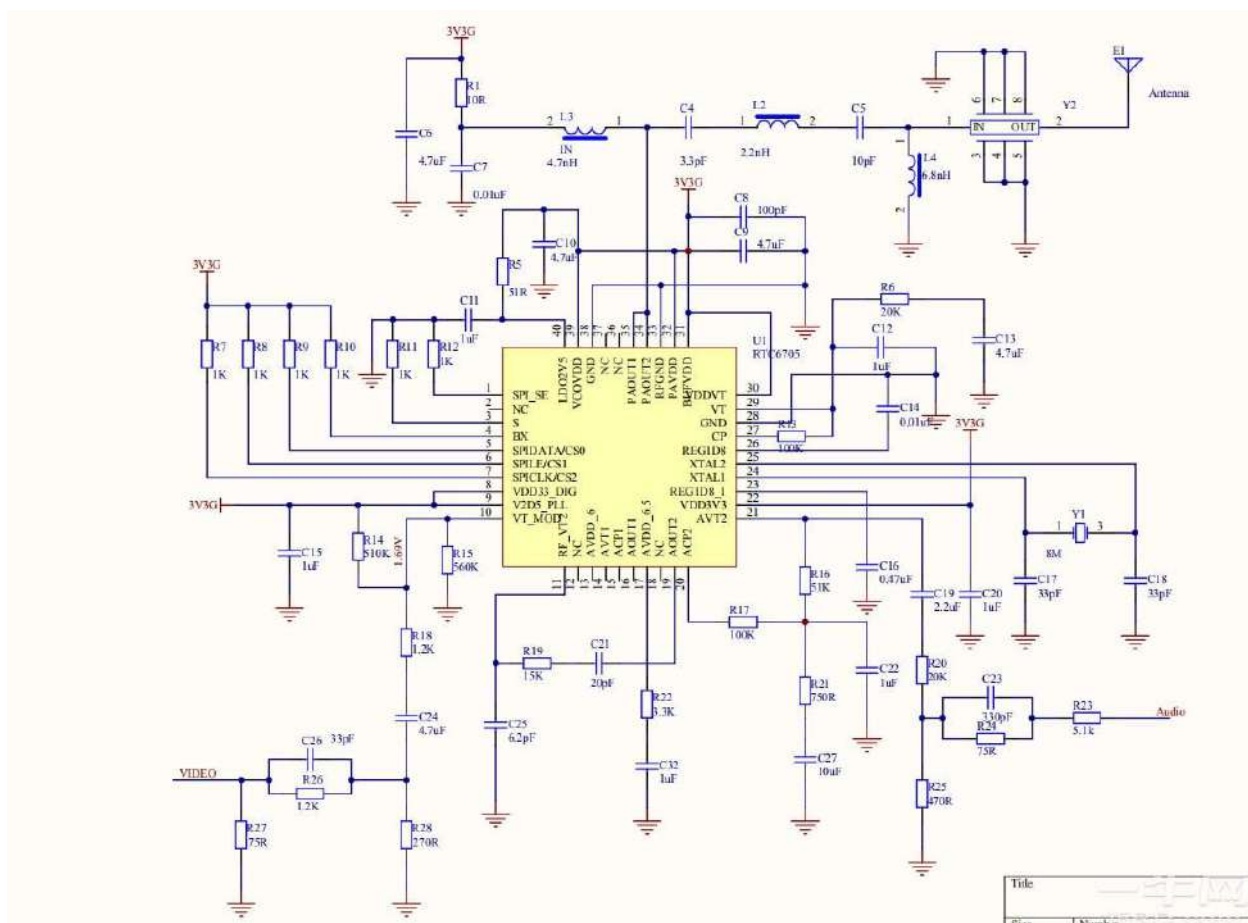


Рисунок 2.8 – Передавач аналогового відеосигналу з діапазоном 5,8ГГц на базі RTC6705

RTC6705 — широкопasmовий FM-передавач для FM-передачі в діапазоні частот 5,8 ГГц. Мікросхема включає радіочастотний модулятор діапазону 5,8 ГГц, двосторонній аудіо модулятор і внутрішній підсилювач OWER з вихідною потужністю 13 дБм, яка відноситься до зовнішньої узгоджувальної мережі. Блок

радіочастотного модулятора діапазону 5,8 ГГц — це синтезатор частот на основі інтегрованого VCO, який генерує сигнали 5,8 ГГц і FM, модульовані відеосигналами та двома модульованими аудіопіднесучими на 6 МГц і 6,5 МГц відповідно. На чіпі доступні як стерео, так і моно програми.

RTC6659E — це підсилювач потужності (PA) із проектним діапазоном частот 4,9–5,9 ГГц і сумісний із системами бездротової локальної мережі 802.11a/802.11ac. Пристрій виготовлено на основі вдосконаленого процесу GaP/Ga як HBT (He Special Junction Bipolar Transistor). Підсилювач складається з 3 каскадів підсилення з міжкаскадним узгодженням, вбудованої вхідної узгоджувальної мережі та детектора потужності для роботи з замкнутим контуром керування потужністю. Забезпечує низький EVM на 3% (модуляція вектора помилки VM802.11ac256QA M. Пристрій знаходиться в мініатюрному промисловому стандартному пакеті Q для поверхневого монтажу на 16 проводів FN3mmX3mm.

## 2.2 Розробка структури відеопередавача та вибір елементів для реалізації

На першому етапі розробки було розроблено структурну схему відеопередавача, яка наведена на рис.2.9.

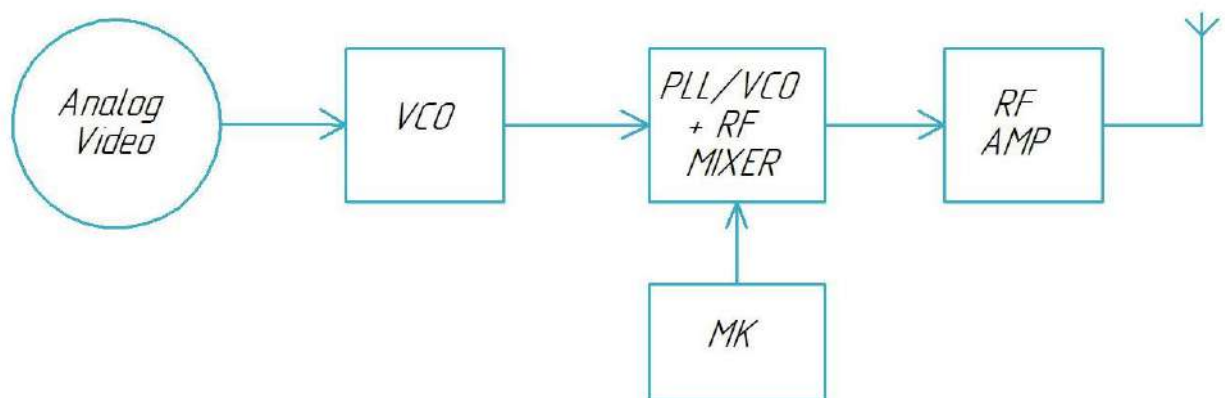


Рисунок 2.9 – Структурна схема відеопередавача

Аналоговий відеосигнал потрапляє на генератор, керований напругою де отримає несучу частоту порядку сотен МГц (встановлюється при схемотехнічному налаштуванні), цей сигнал подається на мікшер, множник частоти з власним генератором керованим напругою.

Генератор, керований напругою (ГУН; англ. VCO) - електронний генератор, частота коливань якого залежить від керуючої напруги яка подається на нього.

Мікшер та вбудований генератор керуються мікроконтролером, що дозволяє змінювати режими роботи і частоту сигналу з яким буде складатися частота на вході і відповідно змінювати несучу частоту кінцевої радіопередачі. Після частотних маніпуляцій сигнал передається на підсилювач потужності та випромінюється.

Не дивлячись на те що звісно у цій структурній схемі всіма налаштуваннями керує мікроконтролер – він не є основним елементом адже навіть при його відсутності якщо сигнал після вхідного генератора, що керується напругою потрапить на підсилювач, він вже буде мати несучу, що відповідає налаштованій частоті генератору. Частина схеми, що містить в собі мікшер та мікроконтролер необхідна для зміни частоти відеопередавача, а також може керувати потужністю випромінювання змінюючи поточну вихідну потужність підсилювача.

З цього випливає, що основним елементом передавача є модулятор та генератор, керований напругою. Модулятор застосовується стандартний, а ось генератор, керований напругою було обраних з числа тих, що не зустрічались у відомих передавачах аналогового відеосигналу.

У якості вхідного генератора, керованого напругою було обрано мікросхему MAX2608

MAX2605–MAX2609 — це компактні високоефективні генератори проміжної частоти (ПЧ), керовані напругою (VCO), розроблені спеціально для вимогливих портативних систем бездротового зв'язку. Вони поєднують монолітну конструкцію з низьким рівнем шуму та низьким енергоспоживанням у крихтному 6-контактному корпусі SOT23.

Ці малOSHумні ГУН оснащені вбудованим варактором і конденсаторами зворотного зв'язку, які усувають потребу у зовнішніх елементах налаштування, що

робить МАХ2605–МАХ2609 ідеальним для портативних систем. Для встановлення частоти коливань необхідний лише зовнішній індуктор. Крім того, вбудований диференціальний вихідний буфер передбачений для керування змішувачем або попереднім дільником. Вихід буфера здатний подавати до -8 дБм (диференціал) з простим узгодженням потужності. Він також забезпечує ізоляцію від змін імпедансу навантаження.

МАХ2605–МАХ2609 працюють від одного джерела живлення +2,7 В до +5,5 В і забезпечують низьке споживання струму. Ці осцилятори ПЧ можуть охоплювати діапазон частот від 45 МГц до 650 МГц.

МАХ2608 має діапазон частот 300 – 500 МГц. У якості базової було обрано частоту 345 МГц і відповідно надалі у схемі налаштовано напругу на цю частоту.

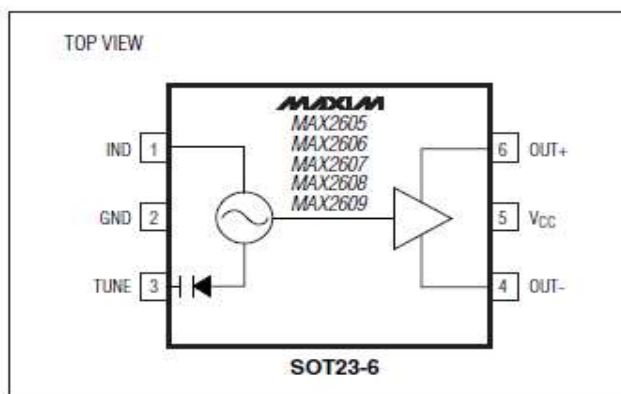


Рисунок 2.10 – Корпус мікросхеми МАХ2608

Залежність частоти МАХ2608 від керуючої напруги наведено на рис.2.11.

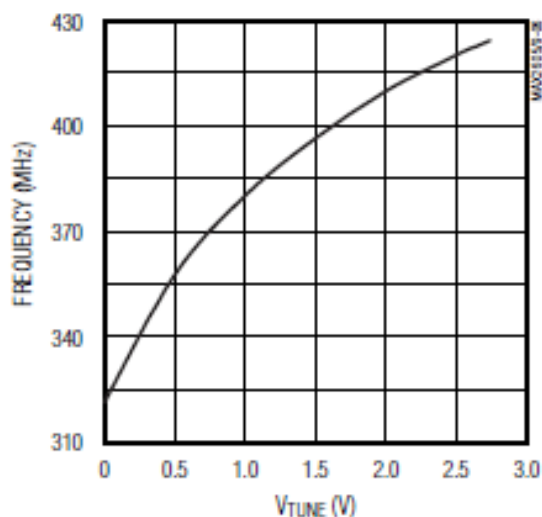


Рисунок 2.11 – Залежність частоти генератора МАХ2608 від керуючої напруги

Згідно графіку на рис.2.10 для отримання частоти 345МГц у якості керуючої напруги подається 0,5В.

Типова робоча схема генератора наведена на рис.2.12

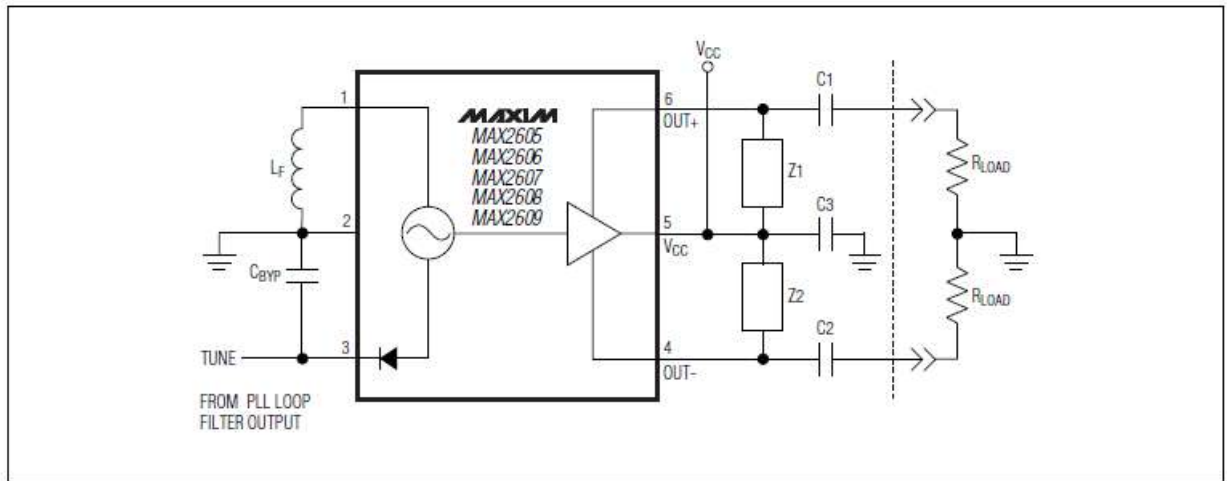


Рисунок 2.12 – Типова робоча схема генератора MAX2608

MAX2605–MAX2609 — це малошумні ГКН, розроблені для фіксованих/одночастотних ПЧ-додатків. Основний контур осцилятора заснований на добре відомій топології Колпітса. Варактор і конденсатори зворотного зв'язку інтегровані в мікросхему, тому для встановлення частоти коливань і створення правильного ГКН потрібна лише зовнішня котушка індуктивності. Діапазон налаштування, зміщення, запуск тощо керуються в мікросхемі. Ця високоінтегрована конструкція значно спрощує застосування деталей.

Діапазон налаштування досить широкий, тому при використанні котушок індуктивності з допуском  $\pm 2\%$  не потрібно коригувати частоту коливань на рівні плати. Після вибору правильного значення індуктивності гарантується, що VCO завжди буде налаштовуватися на потрібну робочу частоту. Крім того, за допомогою котушок індуктивності з помірною добротністю (від 35 до 40) VCO досягає відмінних характеристик фазового шуму.

У якості мікшера було обрано мікросхему RF2052. Використання цього мікшера дозволить регулювати частоту відеопередавача в діапазоні 30-2500 МГц.

RF2052 — це малопотужна, високопродуктивна, широкопasmовна мікросхема перетворення радіочастоти з інтегрованою генерацією гетеродина (LO) і

радіочастотним змішувачем. РЧ-синтезатор містить інтегровану схему фазової автопідстройки частоти дробового  $N$  з генераторами, керованими напругою (VCO) і дільниками для отримання низькофазового шумового сигналу гетеродина з дуже високою роздільною здатністю по частоті. Буферизований вихід гетеродина керує вбудованим радіочастотним змішувачем, який перетворює сигнал у необхідну смугу частот. Струм зміщення змішувача можна запрограмувати в залежності від необхідної продуктивності та доступного струму живлення. Блоки генерації гетеродина були розроблені для безперервного покриття частотного діапазону від 300 МГц до 2400 МГц. Радіочастотний мікшер має дуже широку смугу частот і працює від 30 МГц до 2500 МГц на вході та виході, забезпечуючи як підвищення, так і пониження перетворення. Зовнішній кристал від 10 МГц до 52 МГц або зовнішнє опорне джерело від 10 МГц до 104 МГц можна використовувати з RF2052 для адаптації різноманітних варіантів опорної частоти.

Усі вбудовані регістри контролюються через простий трипровідний послідовний інтерфейс. RF2052 розроблений для роботи від 2,7 В до 3,6 В для сумісності з портативними пристроями, що живляться від батареї.

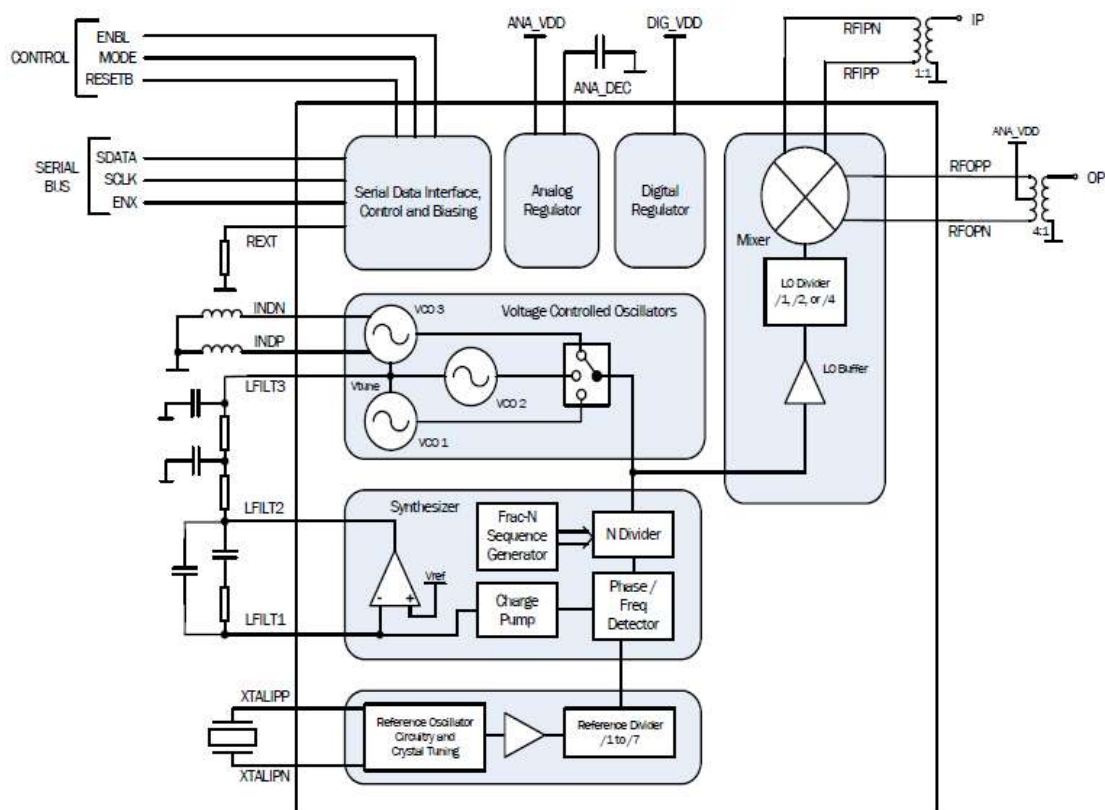


Рисунок 2.13 – Функціональна схема RF2052

У якості мікроконтролера, який буде керувати зміною частоти було обрано ATmega328 оскільки він є достатньо розповсюдженим та дозволяє проводити розробку програм у безкоштовному середовищі Arduino IDE.

### 2.3 Розробка схеми відеопередавача

Була розроблена схема мультичастотного відеопередавача аналогового відеосигнала яка складається з трьох блоків:

- блоку живлення (рис.2.14);
- блоку радіотракта (рис.2.15), що включає блок зсуву частоти на базі RF2052 (рис.2.16);
- блок керуючого мікроконтролера (рис.2.17).

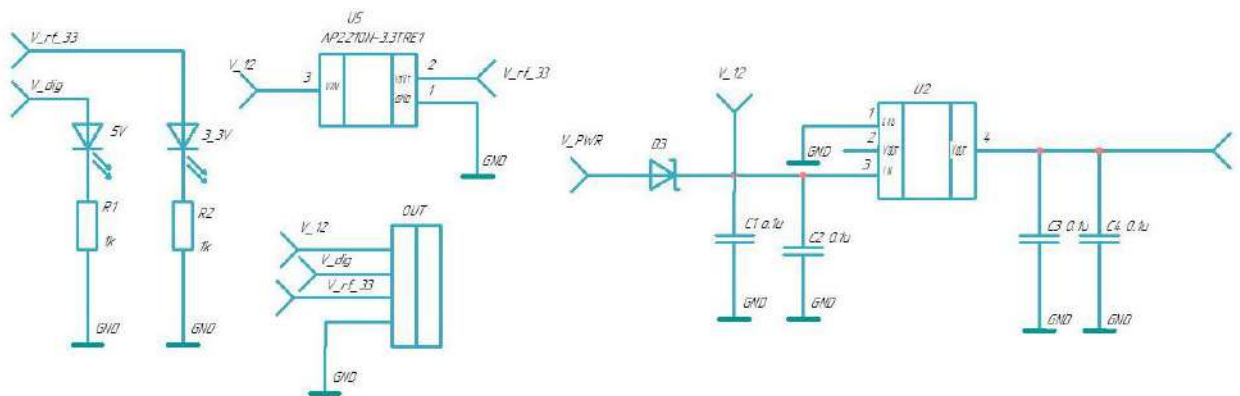


Рисунок 2.14 – Схема блоку живлення

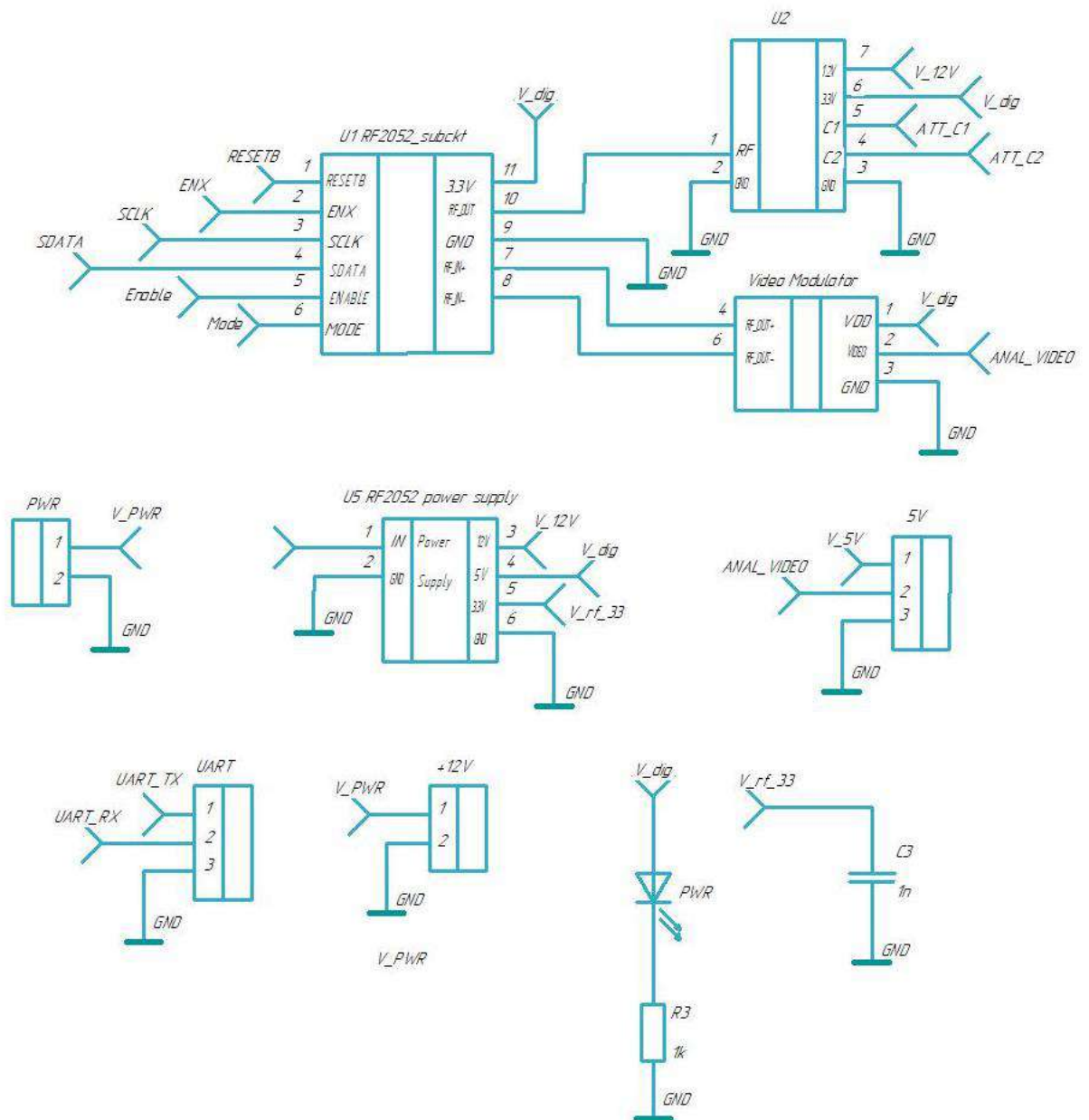


Рисунок 2.15 – Схема радіотракту

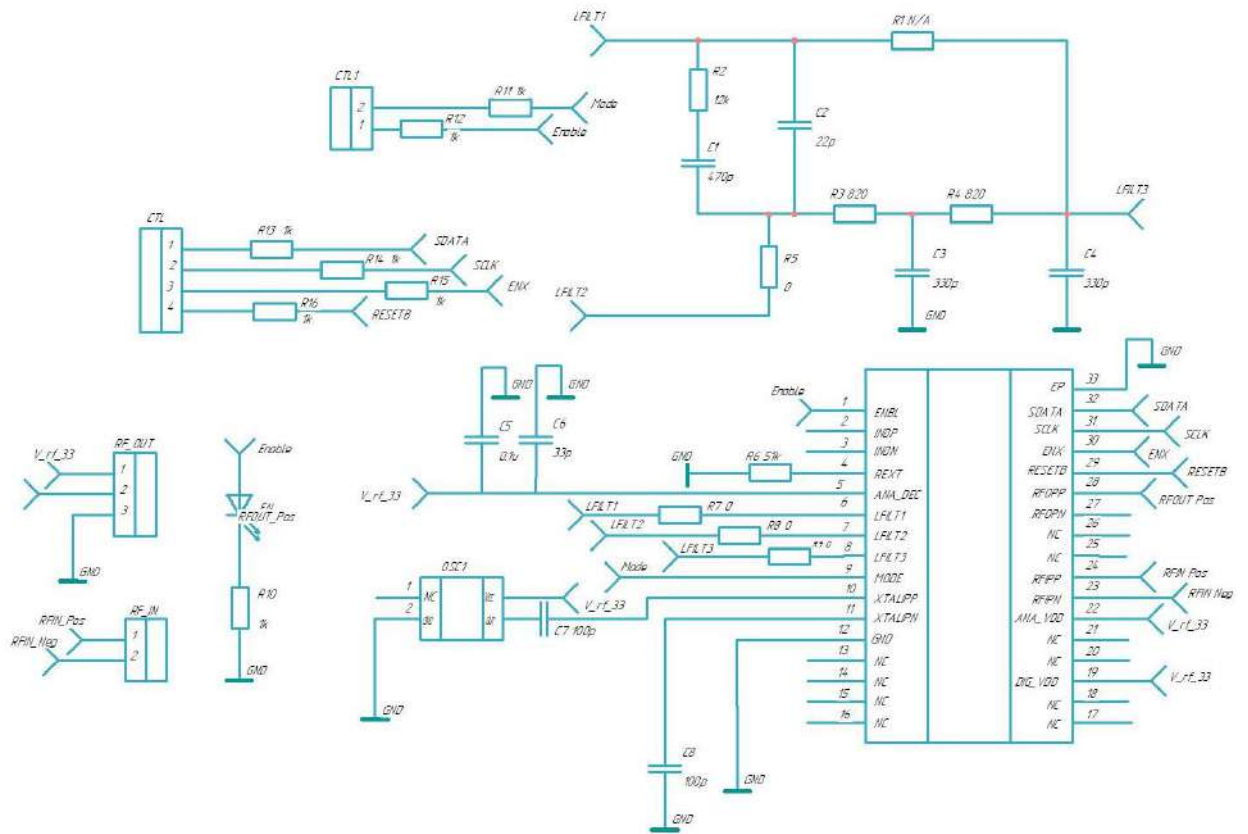


Рисунок 2.16– Схема блоку звуку частоти на базі RF2052

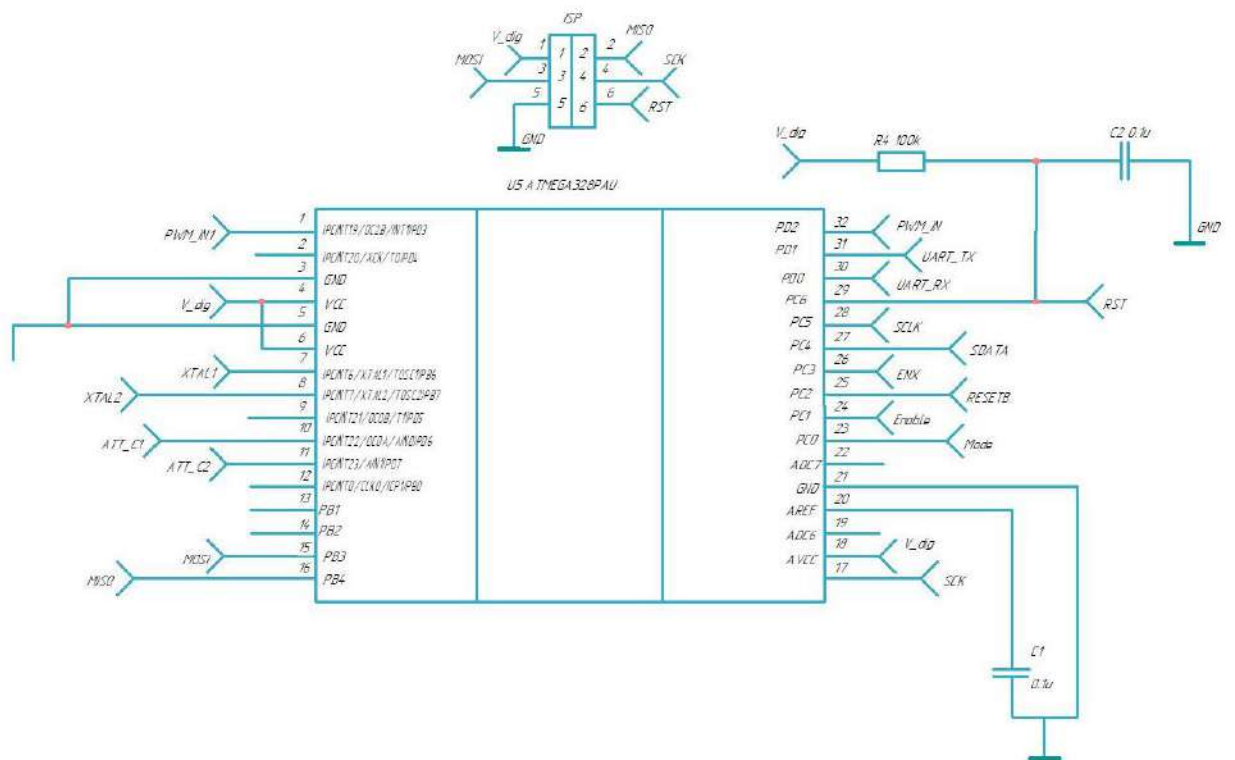


Рисунок 2.17– Схема мікроконтролера керування



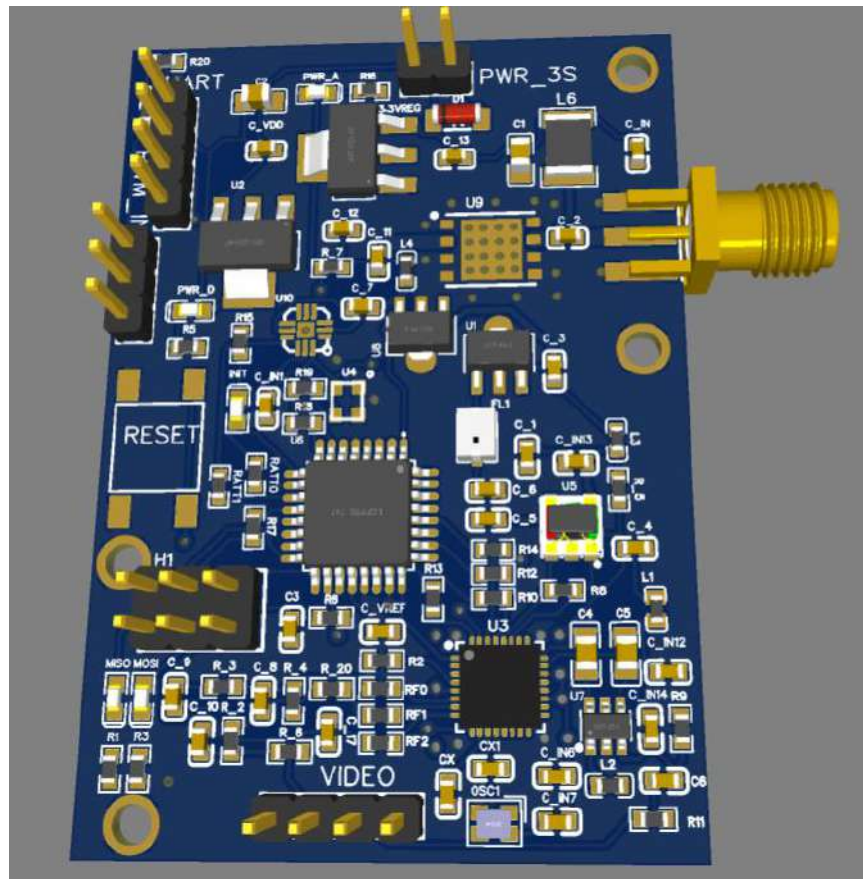


Рисунок 3.2 – 3Д модель розробленої друкованої плати з встановленими на неї елементами (вид на елементи)

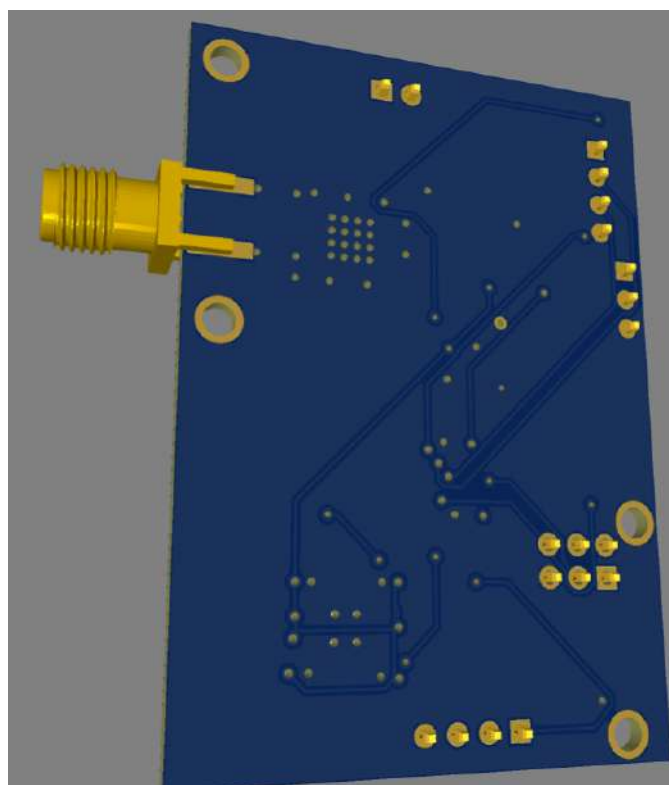


Рисунок 3.3 – 3Д модель розробленої друкованої плати з встановленими на неї елементами (вид на елементи)

Після розробки друкована плата була замовлена на заводі і виготовлена.

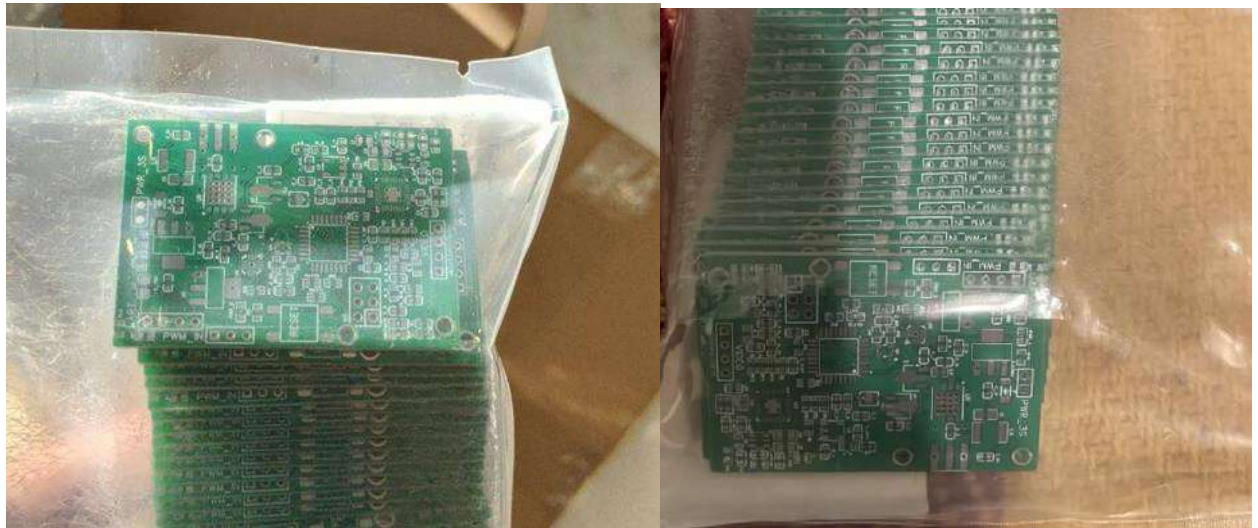


Рисунок 3.4 – Виготовлені порожні друковані плати

Далі згідно розробленої документації на відеопередавач було проведено на замовлення встановлення електрорадіоелементів на автоматичному встановлювачі (рис.3.5).

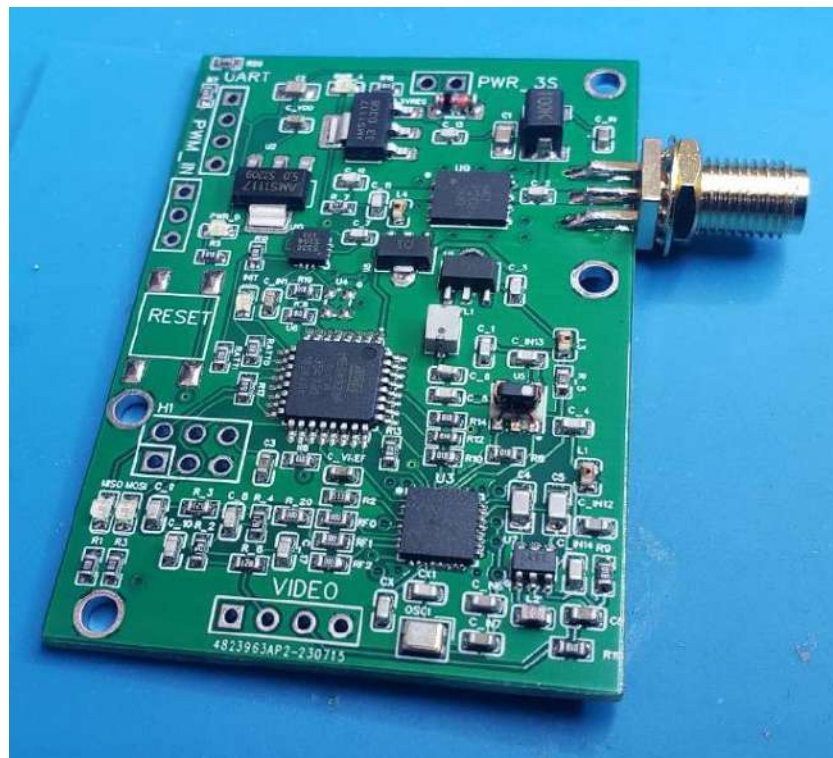


Рисунок 3.5 – Виготовлена друкована плата з встановленими елементами

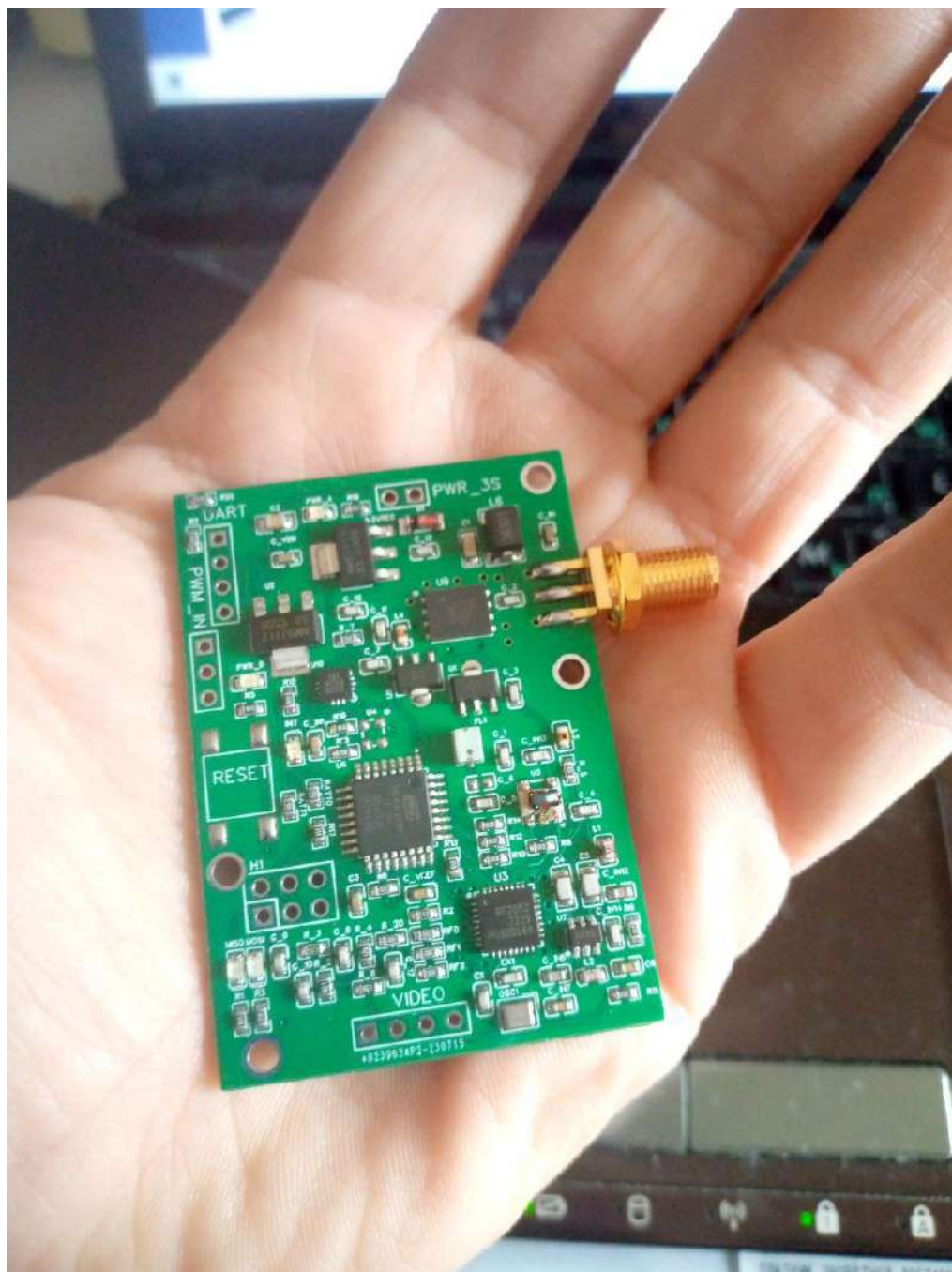


Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд кінцевої конструкції мультичастотного відеопередавача

### 3.2 Написання програми керування відеопередавачем

На останньому етапі було проведено розробку програмного забезпечення для керування мікшером RF2052 основною задачею якої було забезпечити можливість

зміни режимів роботи мікшера та частоту вбудованого генератора, що керується напругою щоб на виході відеопередавача можна було змінювати частоту.

Розробка програмного забезпечення проводилась в середовищі Arduino IDE на мові програмування C.

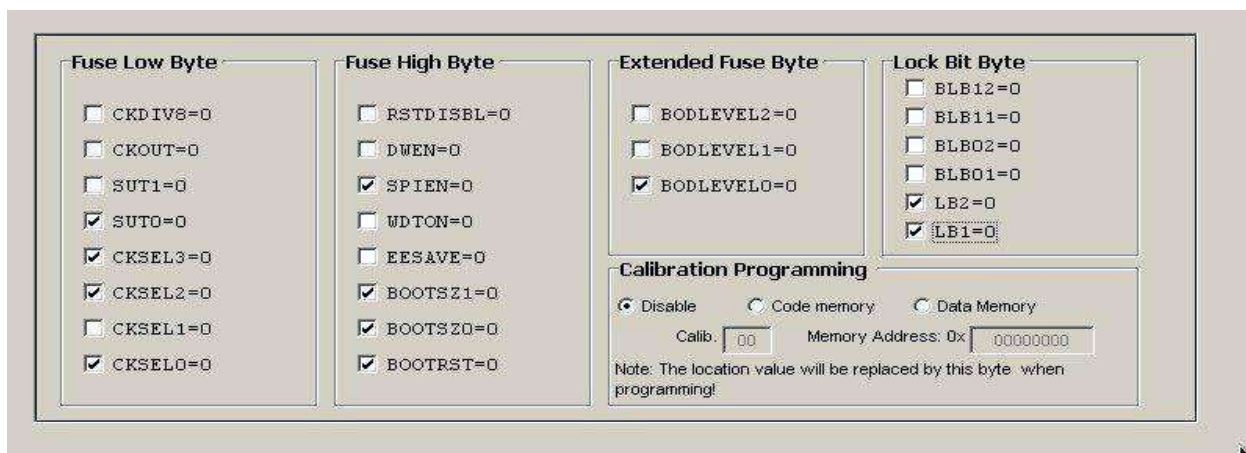


Рисунок 3.7 – Біти конфігурації мікроконтролера, що встановлюються в програмі перед прошивкою

```

166 //while (!Serial);
167 Serial.begin(9600);
168 #endif
169 delay(500);
170 chip.InitGPIO();
171
172 chip.WriteData(0x0, 0xB1F1);
173 chip.WriteData(0x1, 0x0458); // Current and voltage bias
174 chip.WriteData(0x2, 0x405); // Refstby for XTAL working
175 chip.WriteData(0x3, 0x12EF); // Capacitors fow xtal
176 chip.WriteData(0x4, 0xFF04);
177 chip.WriteData(0x5, 0x0F00);
178
179 chip.WriteData(0x8, 0x1002);
180 chip.WriteData(0x13, 0x1002);
181
182 chip.WriteData(0x10, 0x701F);
183 chip.WriteData(0x11, 0);
184 // chip.writeData(0x08, 0x701F);
185 // chip.WriteData(0x09, 0);
186
187
188 for (int i = 0; i < 32; i++)
189 {
190   chip.ReadData(i, &data);
191 }
192
193 pinMode(PD7, OUTPUT);
194 digitalWrite(PD6, HIGH);
195 digitalWrite(PD6, LOW);
196 digitalWrite(PD7, HIGH);
197 digitalWrite(PD6, HIGH);
198
199

```

Рисунок 3.8 – Написання програмного забезпечення зміни частоти шляхом керування мікшером





Рисунок 4.2 – З'єднувальна плата приєднана до контактів плати розробленого відеопередавача



Рисунок 4.3 – Відлагодження програми керування мікшером за допомогою з'єднувальної плати

Для комутації з програматором використовувалось з'єднання як показано на рис.4.4

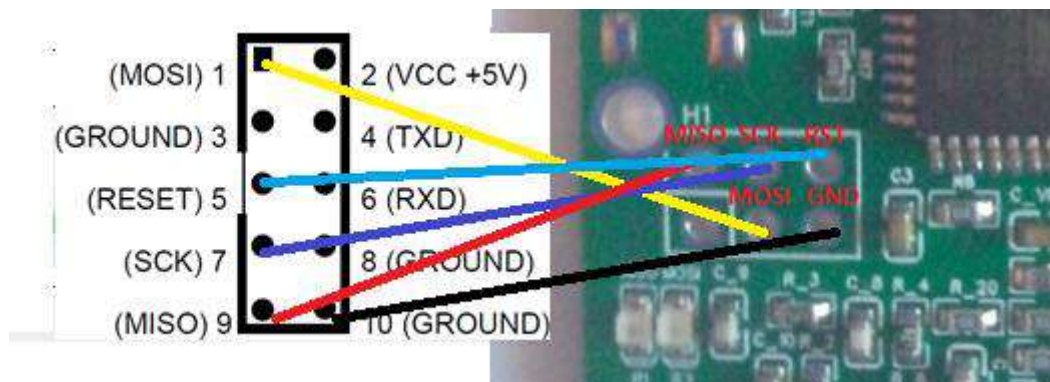


Рисунок 4.4 – Схема комутації програматора USB-ASP з платою відеопередавача

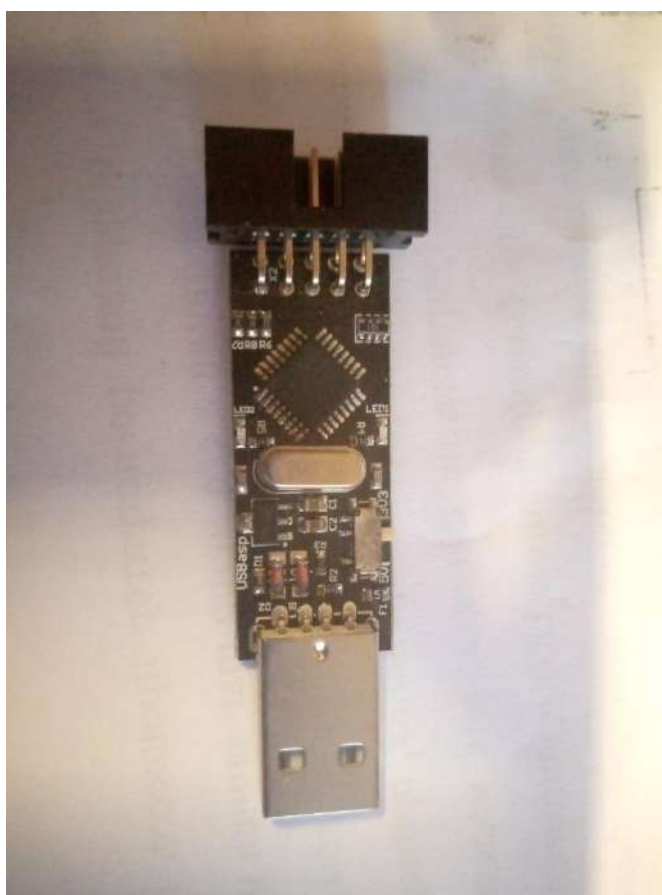


Рисунок 4.5 – Зовнішній вигляд програматора USB-ASP

Для запису програми в мікроконтролер з використанням програматора застосовувалась програма BASCOM-AVR.

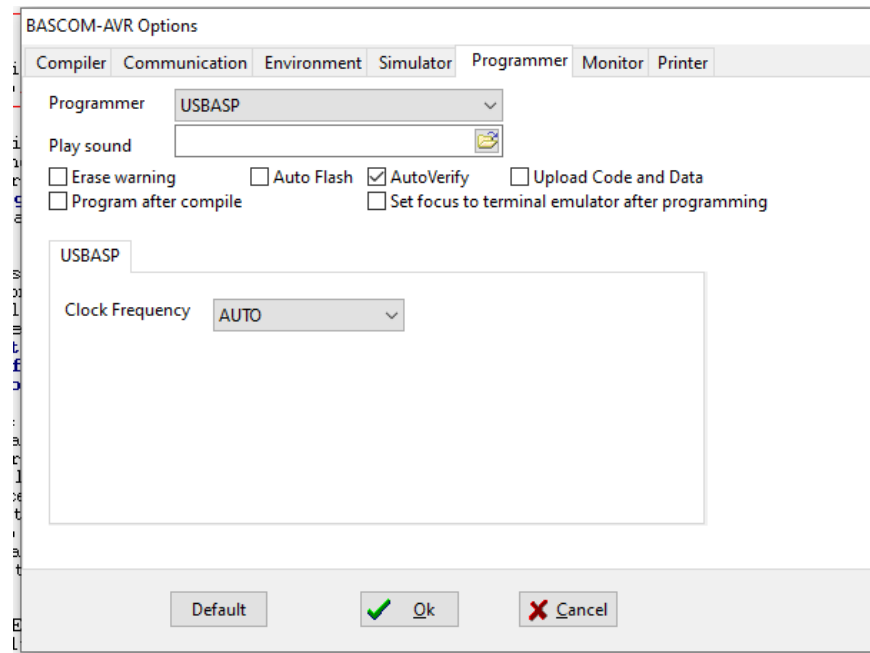


Рисунок 4.6 – Програма BASCOM-AVR для «прошивки» керуючого мікроконтролера розробленого відеопередавача



Рисунок 4.7 – Позначення контактів на відеопередавачі, що використовувались для відлагодження його роботи

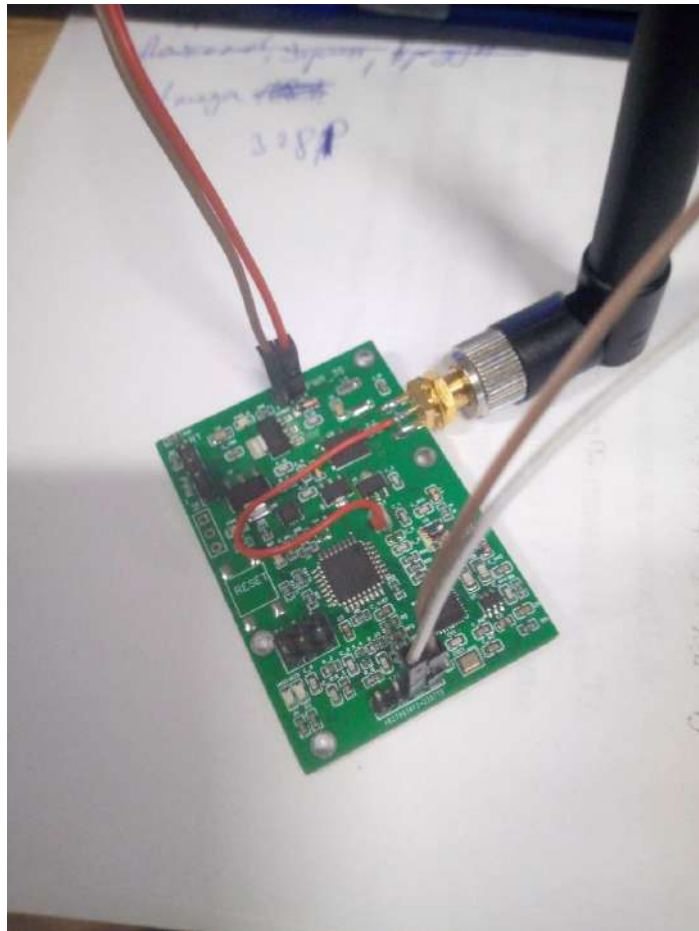


Рисунок 4.8 – Дроти для з'єднання відеопередавача з живленням та відеокамерою

#### 4.2 Результати тестування роботи розробленого відеопередавача

Після проведення всіх робіт з розробки було проведено тестування роботи відеопередавача. Тестування погіршував той факт, що перевірку передачі відеосигналу можна було провести лише на стандартних каналах в діапазоні 1,2ГГц через відсутність приймачів на частоти, які може використовувати розроблений відеопередавач. Однак для того щоб впевнитися в тому, що передавач передає у нестандартних діапазонах було використано аналізатор радіочастотного спектра SA6 який показував піки потужності на частотах, які були встановлені на передавачі, а отже з високою долею достовірності можна стверджувати, що розроблений відеопередавач може працювати на цих частотах.

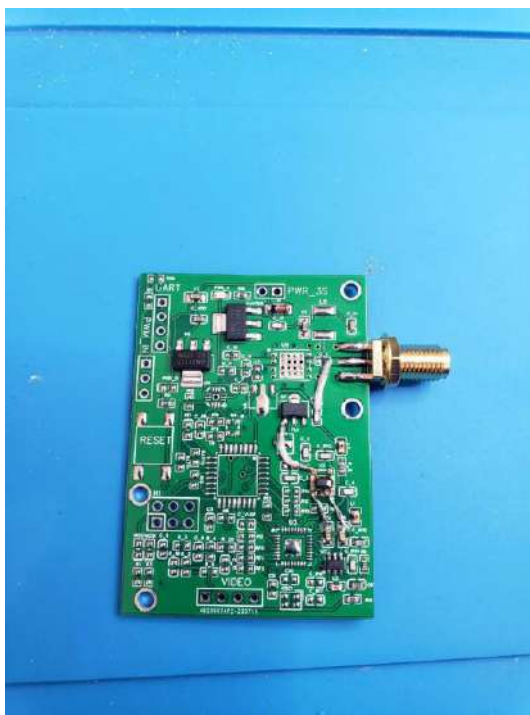


Рисунок 4.9 – Розпайка елементів для первинного тестування з'єднань шляхом пропуску сигналу відео через плату на пристрій відображення



Рисунок 4.10 – Перший тест. Пропуск сигналу відео через плату на пристрій відображення



Рисунок 4.11 – Результати першого тесту

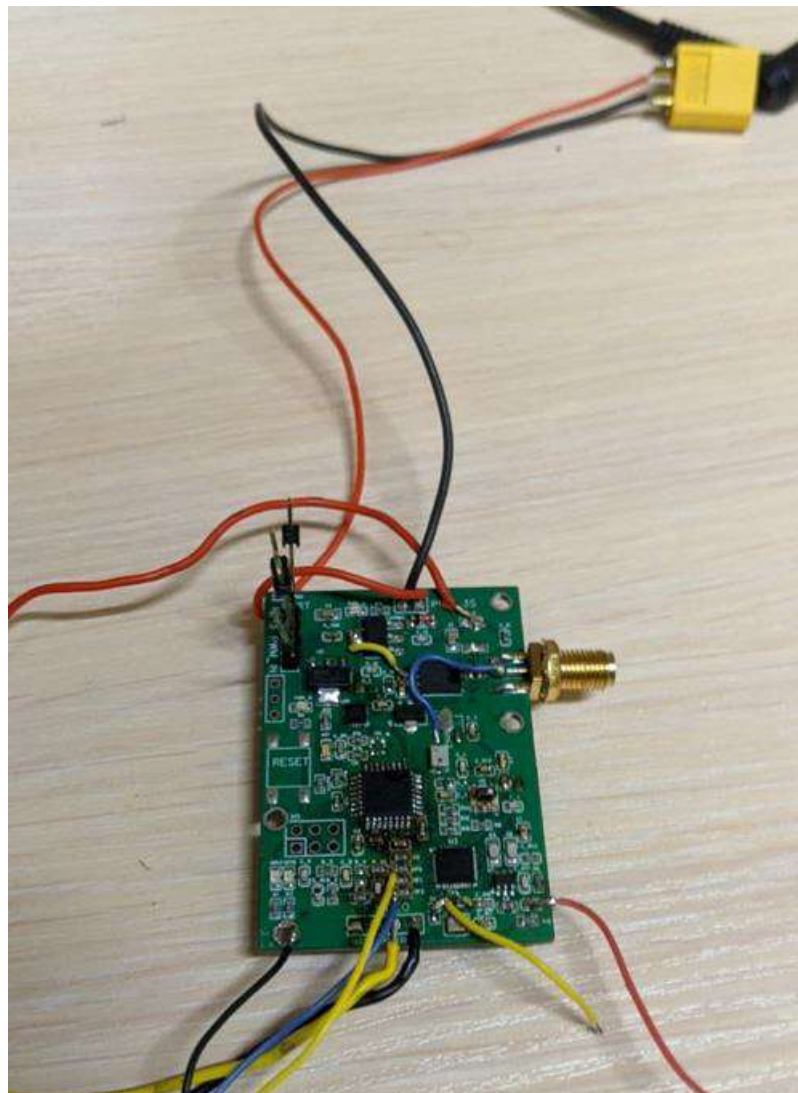


Рисунок 4.12 – Розпайка елементів та дротів для остаточного тестування

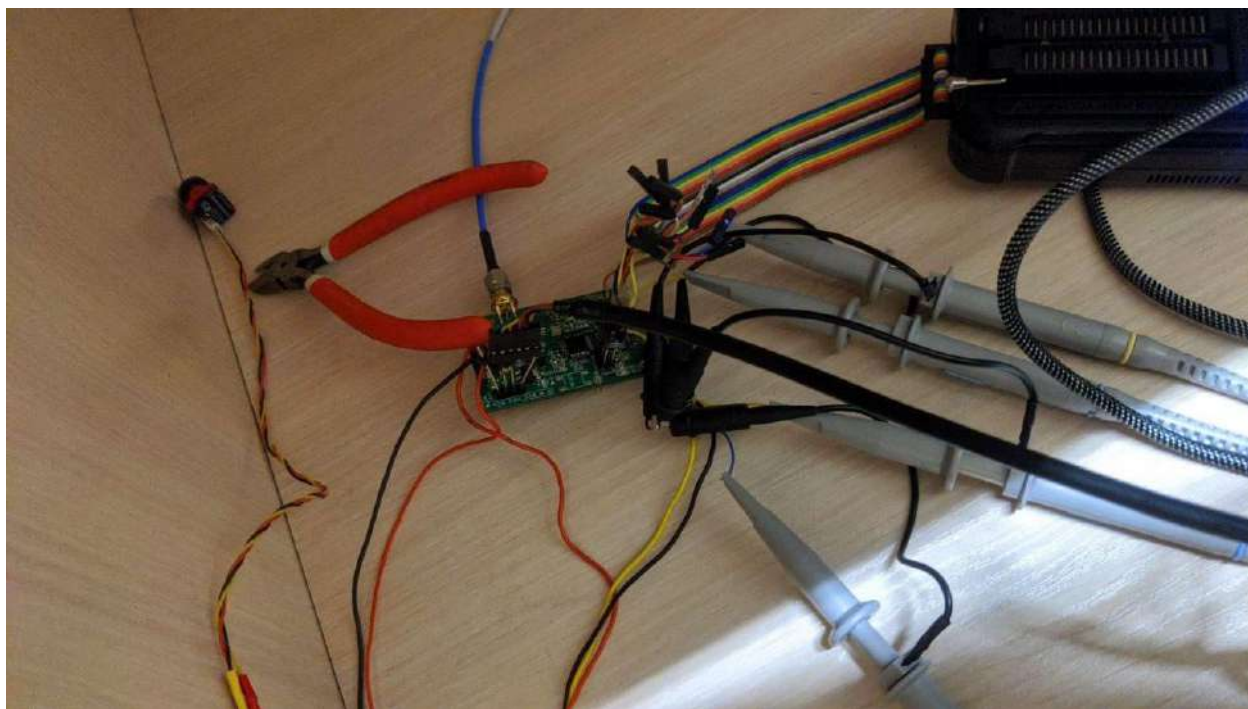


Рисунок 4.13 – Приєднання осцилографа для аналізу сигналів в різних точках плати

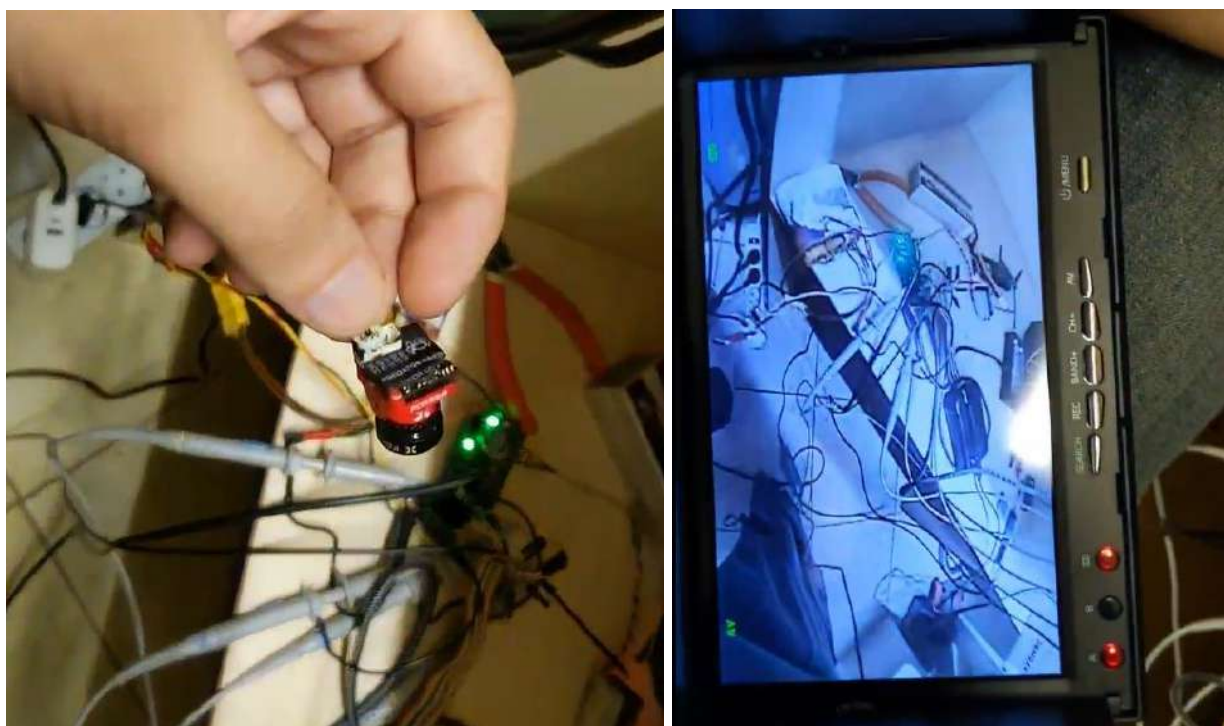


Рисунок 4.14 – Результати остаточного тесту з отриманням зображення на стандартному приймачі діапазону 1,2ГГц (на фото 1280 МГц)

## ВИСНОВКИ

В магістерській роботі:

- проведено аналіз сигналів, що поступають з камер на передавачі аналогового відео;
- проаналізовано частотні канали стандартних цивільних відеопередавачів аналогового відеосигнала, що використовуються в БПЛА;
- проведено аналіз структури та схемотехнічних рішень побудови відеопередавачів аналогового відеосигналу;
- розроблено методику зсуву несучої частоти передавання аналогового
- розроблено структуру та схему мультичастотного відеопередавача з можливістю зміни частоти передавання за рахунок використання мікшера з вбудованим генератором, що керується напругою;
- розроблено та виготовлено конструкцію друкованої плати з розміщенням елементів;
- написано програму керування мікшером для забезпечення можливості зміни частоти передачі;
- проведено тестування роботи кінцевого розробленого пристрою і отримано відеосигнал приймачем в діапазоні 1,2ГГц.

Подальша розробка приймача, що зможе працювати на частотах 300-2500МГц зможе забезпечити можливість передавання відеосигналу за рамками стандартних частот, що дозволить використовувати розробку в складі БПЛА під час виконання бойових завдань.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- 1 A. Subramanian and A. Sayed, “Joint rate and power control algorithms for wireless networks,” *Signal Processing, IEEE Transactions on*, vol. 53, pp. 4204 – 4214, nov. 2005.
2. R. V. Nee and R. Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*. Norwood, MA, USA: Artech House, Inc., 1st ed., 2000.
3. M. Etoh and T. Yoshimura, “Advances in wireless video delivery,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 93, pp. 111 –122, jan. 2005.
4. L. Hanzo, P. Cherrimana, and J. Streit, *Wireless Video Communications: Second to Third Generation and Beyond*. John Wiley, 2001.
5. L. Haratcherev, J. Taal, K. Langendoen, R. Legendijk, and H. Sips, “Optimized video streaming over 802.11 by cross-layer signaling,” *Communications Magazine, IEEE*, vol. 44, pp. 115 – 121, jan. 2006.
6. T. Ozcelebi, M. Civanlar, and A. Tekalp, “Minimum delay content adaptive video streaming over variable bitrate channels with a novel stream switching solution,” in *Image Processing, 2005. ICIP 2005. IEEE International Conference on*, vol. 1, pp. I – 209–12, sept. 2005.
7. T. Stockhammer, M. Walter, and G. Liebl, “Optimized h. 264-based bitstream switching for wireless video streaming,” in *Multimedia and Expo, 2005. ICME 2005. IEEE International Conference on*, pp. 1396 –1399, july 2005.
8. B. Xie and W. Zeng, “Fast bitstream switching algorithms for real-time adaptive video multicasting,” *Multimedia, IEEE Transactions on*, vol. 9, pp. 169 –175, jan. 2007.
9. I. Ahmad, X. Wei, Y. Sun, and Y.-Q. Zhang, “Video transcoding: an overview of various techniques and research issues,” *Multimedia, IEEE Transactions on*, vol. 7, pp. 793 – 804, oct. 2005.
10. T. Nguyen and A. Zakhor, “Multiple sender distributed video streaming,” *Multimedia, IEEE Transactions on*, vol. 6, pp. 315 – 326, april 2004

11. S. Zhao, Z. Xiong, and X. Wang, "Joint error control and power allocation for video transmission over cdma networks with multiuser detection," in *Communications, 2002. ICC 2002. IEEE International Conference on*, vol. 5, pp. 3212 – 3216 vol.5, 2002.
12. T. Yoo, E. Setton, X. Zhu, A. Goldsmith, and B. Girod, "Cross-layer design for video streaming over wireless ad hoc networks," in *Multimedia Signal Processing, 2004 IEEE 6th Workshop on*, pp. 99 – 102, sept.-1 oct. 2004.
13. W. Kumwilaisak, Y. Hou, Q. Zhang, W. Zhu, C.-C. Kuo, and Y.-Q. Zhang, "A cross-layer quality-of-service mapping architecture for video delivery in wireless networks," *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, vol. 21, pp. 1685 – 1698, dec. 2003.
14. Behrang Barekatin, Mohd Aizaini Maarof, Alfonso Ariza Quintana and Alicia Trivino Cabrera "GREENIE: a novel hybrid routing protocol for efficient video streaming over wireless mesh networks" , *New Technologies and Research Trends for Wireless, Mobile and Ubiquitous Multimedia* ,2013.
15. Azzedine Boukerche , " Handbook of Algorithms for Wireless Networking and Mobile Computing " ,chapman & Hall/CRC Computer and information Science Series ,2006.
16. G. Ding, X. Wu, and B. Bhargava. "Cross-Layer Algorithm for Video Transmission over Wireless Network." in *Handbook of Algorithms for Mobile and Wireless Networking and Computing* (A. Bourkerche, ed.), CRC Press, 2005.
17. Srivastana, V., Motani, M.: Cross-layer design: a survey and the road ahead. *IEEE Commun.Mag.* 43(12), 112-119 (2005)

**ДОДАТОК А – ТЕКСТ КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ МІКРОКОНТРОЛЕРА**

```
#include "RF2052.h"
#include <Arduino.h>

uint16_t kv_gain_VCO2[][2] = {
    {1520, 15},
    {1650, 17},
    {1800, 24},
    {1900, 28},
    {2000, 34}
};

uint16_t ct_def_VCO2[][2] = {
    {1420, 0},
    {1530, 32},
    {1700, 67},
    {1900, 96},
    {2200, 128}
};

RF2052 chip(A2, A3, A5, A4, A1);

uint16_t data, kv, ct_def = 0;
float freqFinal;
float freqDesired;
byte startRead = 0;

void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    #if (DEBUG == 1)
        //while (!Serial);
        Serial.begin(9600);
    #endif
    delay(50);
    chip.InitGPIO();
    pinMode(PD5, OUTPUT);
    pinMode(PD6, OUTPUT);
    pinMode(PD7, OUTPUT);
    pinMode(A0, OUTPUT);
    pinMode(A1, OUTPUT);
}
```

```

digitalWrite(A1, HIGH);
digitalWrite(A1, LOW);
digitalWrite(A0, HIGH);

digitalWrite(A2, HIGH);
digitalWrite(A2, LOW);
delay(50);
digitalWrite(A2, HIGH);

for (int i = 0; i < 32; i++)
{
  chip.ReadData(i, &data);
}

digitalWrite(A2, HIGH);
digitalWrite(A2, LOW);
delay(50);
digitalWrite(A2, HIGH);

freqFinal = 900.0;
freqDesired = chip.GetDesiredVCOFreq(0, freqFinal);
/* Setup device operation */
chip.SetMixerCurrent(3);
chip.REF_div(1);
chip.SetXOCap(0);
chip.SetXOCapFine(0);
chip.SetXOCurrent(0);
chip.SetXO_TCT(0);

chip.Assert_RefStby(1);

// Set calibration mode

chip.Set_CT_EN(0);
chip.Set_Nmb_KV_AVG(7);
chip.Set_TKV(0xFF);
kv = chip.get_kv((uint16_t)trunc(freqDesired * 4), kv_gain_VCO2);
chip.setP2_DN(75 * kv / 16); // for 16 MHz
chip.P2_KV_en(3);

ct_def = chip.get_kv((uint16_t)trunc(freqDesired * 2), ct_def_VCO2);
Serial.print("ct_def:\t");

```

```

Serial.println(ct_def);
Serial.print("kv:\t");
Serial.println(kv);

/* Set operating frequencies */
chip.Select_VCO(1);
chip.Set_LO_div(1);

chip.CalcDividerNumbers(freqDesired * 2, 16.0);

chip.SetIntegerNumber();
chip.Set_FLL_Fact();
chip.SetFractionalNumberMSB();
chip.SetFractionalNumberLSB();
chip.Set_P2_CT_DEF(ct_def);
chip.Set_TVCO(15);
chip.Set_SU_WAIT(0);

#if (DEBUG == 1)
    Serial.print("integer number:\t");
    Serial.println(chip.GetIntegerNumber());
    Serial.print("Fractional number:\t");
    Serial.println(chip.GetFractionalNumber());
#endif
// Set-up device operation

chip.setChargePumpCurrent(63);

chip.SetMixerVoltage(0);
chip.SetLOCcurrent(0xF);
chip.SetVcoCurrent(7);

chip.Set_P2_N_PHS_ADJ(1);
//chip.P2_KV_en(0);
//chip.Set_TKV(0xFF);
//chip.Set_Nmb_KV_AVG(0);
//chip.Set_P2_CT_DEF(56);

for (int i = 0; i < 32; i++)
{
    chip.ReadData(i, &data);
}

```

```
digitalWrite(A3, HIGH);
digitalWrite(A1, HIGH);
digitalWrite(PD6, LOW);
digitalWrite(PD7, HIGH);
}

void loop() {

  byte firstByte;
  byte packet_sz = 0;
  int commandValue = -1;
  float floatValue = 0.0;

  // Wait for the first byte to be 0x80
  packet_sz = Serial.available();
  while (packet_sz > 0) {
    delay(100);
    firstByte = Serial.read();
    packet_sz = Serial.available();
    if (firstByte == 0x80) {
      startRead = 1;
      break; // Exit the loop when 0x80 is received
    }
  }

  // Once 0x80 is received, read the rest of the packet
  if (firstByte == 0x80) {
    byte packet[11];
    packet[0] = 0x80; // Set the first byte to 0x80
    packet_sz = Serial.available();

    if (packet_sz >= 10) {
      startRead = 0;
      Serial.readBytes(&packet[1], 10); // Read the remaining 10 bytes into the array
      packet_sz = Serial.available();
      // Extract the values from the packet

      uint8_t fourthByte = packet[9];
      uint8_t fifthByte = packet[10];
    }
  }
}
```

```

memcpy(&commandValue, &packet[1], 2); // Extract the integer (4 bytes)
memcpy(&floatValue, &packet[5], sizeof(float)); // Extract the float (4 bytes)

// Print the extracted values to the serial monitor
Serial.print("Command number: ");
Serial.print(commandValue);
Serial.print("Command value: ");
Serial.print(floatValue);
// Your code to process the received values can go here
while (Serial.available() > 0) {
    byte temp = Serial.read();
    Serial.println(temp, HEX);
}
}

switch (commandValue)
{
case 0:
    freqFinal = floatValue;
    freqDesired = chip.GetDesiredVCOFreq(0, freqFinal);
    chip.CalcDividerNumbers(freqDesired * 2, 16.0);
    ct_def = chip.get_kv((uint16_t)trunc(freqDesired * 2), ct_def_VCO2);
    kv = chip.get_kv((uint16_t)trunc(freqDesired * 2), kv_gain_VCO2);
    //kv = 20;
    chip.setP2_DN(75*kv/16);
    chip.SetIntegerNumber();
    chip.SetFractionalNumberMSB();
    chip.SetFractionalNumberLSB();
    chip.Set_P2_CT_DEF((uint16_t)ct_def);

    Serial.print("ct_def:\t");
    Serial.println(ct_def);
    Serial.print("kv:\t");
    Serial.println(kv);

    commandValue = -1;
    digitalWrite(A1, HIGH);
    delay(5);
    for (int i = 0; i < 32; i++)
    {
        chip.ReadData(i, &data);
    }
}

```

```
        break;
    case 1:

        chip.Set_P2_CT_GAIN((uint16_t)floatValue);
        digitalWrite(A1, HIGH);
        commandValue = -1;
        break;

    case 2:

        chip.Set_P2_KV_GAIN((uint16_t)floatValue);
        digitalWrite(A1, HIGH);
        commandValue = -1;
        break;

    case 3:

        chip.setChargePumpCurrent((uint16_t)floatValue);
        digitalWrite(A1, HIGH);
        commandValue = -1;
        break;

    case 4:
        if (floatValue > 0.0)
        {
            digitalWrite(A1, HIGH);
        }
        commandValue = -1;
        break;
    default:
        break;
}

}

}
```

Національний університет “Запорізька Політехніка”  
Кафедра інформаційних технологій електронних засобів

Магістерська робота на тему:

# **Розробка методики зсуву основної частоти передавання аналогового відеосигналу для FPV дронів**



Студент групи БК-512м

Кукін Я.В.

Науковий керівник к.ф.-м.н.

Онищенко В.Ф.

**1**