

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

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

Кафедра радіотехніки та телекомунікацій
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

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

на тему МЕТОДИ РОЗШИРЕННЯ ЧАСТОТНОГО ДІАПАЗОНУ
ПРИЙМАЧІВ АНАЛОГОВОГО ВІДЕОСИГНАЛУ

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

Спеціальності _____

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

Освітня програма (спеціалізація) _____

«Інформаційні мережі зв'язку»

БЕЛИМЕНКО Ю.Ю.
(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник СМЕТАНІН Ігор Миколайович
(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент _____
(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

2024 рік

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

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



ЗАВДАННЯ
 НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

БЕЛИМЕНКУ Юрію Юрійовичу

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Методи розширення частотного діапазону приймачів аналогового відеосигналу

керівник проєкту (роботи) ст.викладач СМЕТАНІН Ігор Миколайович

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

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

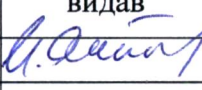
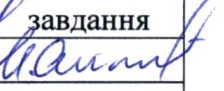
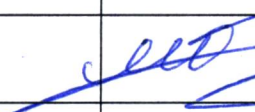
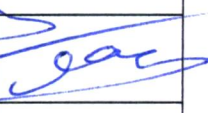
2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 10 грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Структура приймача аналогового відеосигналу.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Огляд аналогових приймачів відео, Принципи роботи аналогової передачі відео та структура бездротових приймачів, Методи розширення стандартних діапазонів аналогових приймачів відеосигналу, Розробка скануючого приймального пристрою з розширеними діапазонами для примання та відображення бездротового аналогового відео.

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

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

| Розділ | ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|----------------|---|---|---|
| | | завдання видав | прийняв виконане завдання |
| 1-4 | СМЕТАНІН І.М., ст. викладач |  |  |
| | | | |
| Нормо-контроль | МОРОЗ Г.В., ст. викладач |  |  |
| | | | |

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

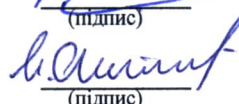
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проєкту (роботи) | Строк виконання етапів проєкту (роботи) | Примітка |
|-------|---|---|----------|
| 1 | Пошук та вивчення наукових джерел | 02.9-01.10 | Виконано |
| 2 | Огляд аналогових приймачів відео | 02.10-14.10 | Виконано |
| 3 | Принципи роботи аналогової передачі відео та структура бездротових приймачів | 14.10-24.10 | Виконано |
| 4 | Методи розширення стандартних діапазонів аналогових приймачів відеосигналу | 24.10-02.11 | Виконано |
| 5 | Розробка скануючого приймального пристрою з розширеними діапазонами для примання та відображення бездротового аналогового відео | 24.10-02.11 | Виконано |
| 6 | Оформлення пояснювальної записки | 02.11-02.12 | Виконано |
| 7 | Перевірка ПЗ на доброчесність | 08.12 | Виконано |
| 8 | Створення презентації у Power Point | 10.12 | |
| 9 | Захист | | |
| | | | |

Студент(ка)


(підпис)Юрій БЕЛИМЕНКО
(ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)


(підпис)Ігор СМЕТАНІН
(ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи: 92 с., 15 табл., 53 рис., 14 джерел.

ВІДЕОПРИЙМАЧ, ЧАСТОТА, ДЕМОДУЛЯТОР, ВІДЕОСИГНАЛ, ГЕНЕРАТОР, АНТЕНА, МІКРОКОНТРОЛЕР, ПІДСИЛЮВАЧ.

Мета роботи – дослідження проблеми побудови бездротових приймачів аналогового відео на сучасних електронних компонентах, розробка методів збільшення частотного діапазону приймачів та реалізація апаратного забезпечення для можливості приймання аналогового відеосигнала на більш широкій смузі частот.

Об'єкт дослідження – принцип та алгоритм побудови бездротових приймачів аналогового відеосигналу.

Предмет дослідження – пристрій для приймання бездротових аналогових відеосигналів на розширених діапазонах частот 820-1820 та 4850-6050 МГц.

У магістерській роботі досліджуються технічні та алгоритмічні методи збільшення смуги частот роботи бездротових аналогових відеоприймачів. На базі розроблених методів пропонується технічне рішення щодо збільшення частотних діапазонів роботи приймачів у двох смугах (умовна 1,2ГГц зі стандартних 1060-1360 МГц до 820-1820 МГц та умовна 5,8ГГц з 5325-5925 МГц до 4850-6050 МГц). Також в роботі проводиться розробка скануючого приймаа аналогового відеоприймача на розширені діапазони частот.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| | С. |
| Скорочення та умовні позначки | 7 |
| Вступ..... | 8 |
| 1 Огляд області дослідження | 10 |
| 1.1 Використання аналогового відеосигналу | 10 |
| 1.2 Переваги використання аналогового відео | 14 |
| 1.3 Бездротова передача аналогового відеосигналу | 19 |
| 2 Принципи роботи аналогової передачі відео та структура бездротових приймачів | 27 |
| 2.1 Основи роботи бездротової передачі аналогового відео | 27 |
| 2.2 Математичні та фізичні засади бездротової передачі аналогового відеосигналу..... | 29 |
| 2.3 Структура приймачів бездротового аналогового відео | 34 |
| 3 Методи розширення стандартних діапазонів аналогових приймачів відеосигналу..... | 51 |
| 3.1 Збільшення ширини полоси приймача на частотному діапазоні 1,2 ГГц | 51 |
| 3.2 Збільшення ширини полоси приймача на частотному діапазоні 5,8 ГГц | 65 |
| 4 Розробка скануючого приймального пристрою з розширеними діапазонами для примання та відображення бездротового аналогового відео | 74 |
| 4.1 Розробка схеми скануючого приймального пристрою | 74 |
| 4.2 Розробка конструкції друкованої плати | 81 |
| 4.3 Розробка конструкції корпусу..... | 84 |
| 4.4 Складання та тестування пристрою сканування з розширеними діапазонами роботи приймачів | 86 |

| | |
|-------------------------------|----|
| Висновки | 90 |
| Перелік джерел посилань | 91 |

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

- FPV – (First Person View) вид від першої особи
- FM – (Frequency Modulation) частотна модуляція
- NTSC – (National Television System Committee) Національний комітет з питань телевізійних систем
- PAL – (Phase Alternating Line) строкова зміна фази
- PLL – Phase-Locked Loop
- VCO – Voltage-Controlled Oscillators
- AM – амплітудна модуляція
- БПЛА – безпілотний літальний апарат
- ПЧ – проміжна частота
- ФАПЧ – фазове автопідстроювання частоти

ВСТУП

Безпроводна передача відеосигналу є однією з ключових потреб для управління безпілотними літальними апаратами (БПЛА), роботизованими наземними та водними системами, а також пристроями для віддаленого візуального контролю виробництв. Для збільшення дальності передачі відеоінформації бездротовими системами доцільно використовувати спрямовані антени та ретранслятори. Однак, ретрансляція цифрового каналу зв'язку вимагає складних пристроїв, і через закриту природу ринку цифрових передавачів, самостійна реалізація стає складною, що збільшує залежність від виробників і суттєво підвищує вартість систем ретрансляції.

З метою зниження витрат на системи ретрансляції відеосигналу часто використовують аналогові приймально-передавальні пристрої, які застосовують стандартні методи модуляції аналогового відеосигналу, так як вони не викликають затримок у передачі сигналу.

Крім того робота цифрових систем передачі відео легко переривається дією радіочастотних завад через втрату частини пакету інформації що призводить до невідповідності контрольної суми, що в свою чергу не дає змоги приймальній стороні відобразити відеорядок. Аналогові системи бездротової передачі відео під дією завад продовжують працювати просто погіршуючи відображення пропорційно потужності завади, але мозок людини може сприймати та обробляти навіть зашумлене зображення, що дає змогу вивести дистанційно керовану систему з області дії завади чи продовжити виконання завдання, орієнтуючись навіть при збереженні лише 10-20% зображення.

Наразі на ринку представлено багато аналогових передавачів і приймачів для БПЛА, проте всі вони працюють в обмежених діапазонах (1,2 та 5,8 ГГц) з небагатьма каналами. Коли БПЛА використовувалися

нерегулярно, вони не заважали один одному, і частотних каналів вистачало для всіх. Проте обмеження у кількості каналів зумовлені, насамперед, законодавчими вимогами різних країн щодо використання загальнодоступних частот.

З масовим використанням БПЛА, особливо у військових умовах, почали виникати проблеми з перекриттям каналів передачі відео, що може призводити до втрати управління через відсутність зображення для оператора. Окрім того, засоби протидії БПЛА (навіть портативні) також налаштовуються на доступні канали для глушіння відеосигналу. У військових умовах цивільні обмеження радіоканалів не застосовуються, що відкриває можливість для розширення частотного діапазону систем бездротової аналогової передачі відео.

У магістерській роботі планується розробити методи збільшення ширини стандартних діапазонів приймачів для забезпечення більш широкого каналу передачі відео засобами аналогового бездротового сигналу. На основі запропонованих методів збільшення ширини стандартних діапазонів в роботі пропонується розробка скануючого пристрою, що дозволить проводити аналіз радіоефіру з пошуком сигналів бездротового аналогового відеосигналу з подальшим виводом зображення на дисплей.

1 ОГЛЯД ОБЛАСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Використання аналогового відеосигналу

Аналогове відео – це метод захоплення та передачі рухомих зображень за допомогою безперервних електронних сигналів. На відміну від цифрового відео, яке використовує двійковий код (одиниці та нулі), аналогове відео представляє зорову та звукову інформацію як аналогові сигнали.

Ці сигнали змінюються за амплітудою та частотою відповідно до світла, кольору та звуку відеовмісту.

Зображення в аналоговому відео фіксуються відеокамерою та перетворюються на електричні сигнали. Яскравість (яскравість) і кольоровість (колір) зображення представлені через зміни амплітуди (висоти) і частоти (швидкості зміни) сигналу.

Цей аналоговий сигнал потім передається, часто через радіохвилі у випадку телевізійного мовлення, або записується на фізичний носій, наприклад магнітну стрічку у випадку відеомагнітофонів.

Звукові хвилі також перетворюються на відповідні аналогові сигнали та поєднуються з відеосигналами для синхронізованого відтворення.

Історично аналогове відео використовувалося для телевізійного мовлення та домашніх відеосистем. Після демонстрації Джона Логі Бейрда в 1926 році аналогове відео стало стандартним засобом мовлення і залишалося таким до винайдення цифрового відео десятиліттями пізніше.

Аналогове відео також використовувалося в домашніх розважальних системах. Винахід відеомагнітофона дозволив споживачам записувати телевізійні трансляції та відтворювати попередньо записані відео у своїх будинках через касети VHS.

З моменту винаходу цифрового відео, яке може похвалитися вищою якістю, більш ефективним зберіганням і легкістю редагування, використання та застосування аналогового відео з роками зменшилися.

Однак аналогове відео все ще використовується в деяких системах у поточну епоху. Системи відеоспостереження все ще використовують аналогове відео через його надійність і простоту. Аналогове відео також поширене серед ентузіастів і колекціонерів, які цінують вінтажну естетику.

Аналогове відео було першим винайденим типом відео, яке включало передачу та обробку рухомих зображень як електронних сигналів. Візуальні елементи та аудіо в аналогових відео представлені як аналогові сигнали.

Аналогові відеосигнали змінюються за частотами та амплітудами відповідно до різниці в аудіо, кольорі та яскравості відеовмісту.

Аналогове відео було винайдено в 1925 році Джоном Логі Бейрдом, який створив першу механічну телевізійну систему та продемонстрував першу діючу телевізійну систему членам Королівського інституту в 1926 р. Філо Тейлор Фарнсворт передав перше електронне телевізійне зображення, вдосконалення механічної телевізійної системи Бейрда. системи в Сан-Франциско в 1927 році.

У 1928 році Джон Логі Бейрд вперше продемонстрував кольорове аналогове відео. Проте кольорове телевізійне мовлення почалося 25 червня 1951 року, коли в Сполучених Штатах вийшла перша кольорова трансляція.

Касетний відеомагнітофон (VCR) – це пристрій для запису та відтворення телевізійних програм і відео. Перший відеомагнітофон був винайдений у 1972 році і називався Phillips N1500. Наступний випуск Betamax від Sony та VHS від JVC у 1975 та 1976 роках популяризував революційний пристрій.

До трьох основних стандартів аналогового телебачення входять:

– NTSC (Національний комітет телевізійних стандартів) був першим телевізійним стандартом, розробленим для Сполучених Штатів, який пізніше

був прийнятий Канадою, країнами Центральної, Північної та Південної Америки. Американський стандарт аналогового телебачення був розроблений у 1941 році;

– PAL (Phase Alternating Line) – це система кодування кольорів для аналогового телебачення. Відео в стандарті PAL складається з 625 чергуваних рядків, які відображаються зі швидкістю 25 кадрів на секунду. Стандарт PAL широко використовувався в Європі та деяких частинах Африки та Азії;

– SECAM (Séquentiel de couleur à mémoire) перекладається як послідовний колір і пам'ять. SECAM, як і PAL, містить 625 переплетених рядків, що відображаються зі швидкістю 25 кадрів на секунду. Однак через відмінності в обробці інформації про колір SECAM несумісний із німецьким стандартом PAL. SECAM найчастіше використовувався у Франції, Росії та інших частинах Європи та Африки.

Основні формати передачі аналогового відео включали наземне мовлення, кабельне телебачення та супутникове телебачення. Наземне мовлення було традиційним методом ефірної передачі за допомогою радіохвиль, тоді як кабельне та супутникове телебачення забезпечувало альтернативні способи доставки контенту, часто з покращеною якістю та вибором.

Формат передачі в аналоговому відео означає метод і технічні характеристики, які використовуються для трансляції або передачі відеосигналів від джерела до приймача. Ці формати визначають спосіб модуляції відео- та аудіосигналів, смугу пропускання, яку вони використовують, та інші технічні параметри, які забезпечують точну передачу та прийом сигналу.

Основні формати передачі аналогового відео включають:

– трансляція телебачення: найпоширеніша форма передачі аналогового відео. Він передбачає передачу відеосигналів по повітрю за допомогою

радіохвиль. Формат містить специфікації частотної модуляції, пропускної здатності каналу та методу кодування кольору та звуку;

- замкнуте телебачення (ССТV): використовується для спостереження та безпеки. Включає передачу відеосигналів із камер на певні монітори чи пристрої запису, а не для публічного мовлення. Відеоспостереження зазвичай мають нижчу роздільну здатність і якість порівняно з телевізійним або кабельним телебаченням. Призначений для приватного моніторингу та безпеки;

- композитне відео: загальний стандарт з'єднання, де вся відеоінформація (яскравість, кольоровість і синхронізація) передається через один кабель. Часто використовується в побутовій відеотехніці. Усі сигнали в композитному відео об'єднуються в один канал, що призводить до потенційної інтерференції між яскравістю та кольоровістю;

- CVBS: CVBS означає «Колір, відео, гасіння та синхронізація». Його зазвичай називають «композитним відео», оскільки воно об'єднує (або «композує») відеосигнал в один канал;

- S-Video означає «Окреме відео», також відоме як Y/C відео. Назва відображає метод поділу сигналів кольору (кольоровість або C) і яскравості (яскравість або Y) під час передачі відео.

Компонентне відео (RGB) означає червоний, зелений і синій. Позначення RGB вказує на те, що відеосигнал розділений на три окремі компоненти, кожен з яких представляє один із основних кольорів, що використовуються у відеодисплеях.

SCART розшифровується як «Syndicat des Constructeurs d'Appareils Radiorécepteurs et Téléviseurs», що з французької означає «Синдикат конструкторів радіо- та телевізійних апаратів». Він відноситься до стандартного роз'єму, який використовується переважно в Європі для підключення аудіовізуального (AV) обладнання. Роз'єми SCART можуть

передавати сигнали для композитного відео, RGB-відео, S-Video, стереоаудіо та контрольних сигналів.

VGA означає Video Graphics Array. Це стандарт відображення відео, розроблений IBM у 1987 році, який переважно використовується для комп'ютерних моніторів. VGA передає аналогові відеосигнали та використовує додаткові контакти, RGB, а також сигнали горизонтальної та вертикальної синхронізації.

TRRS означає «Tip, Ring, Ring, Sleeve». Це позначення типу роз'єму, який зазвичай використовується в аудіо- та відеопрограмах. Назва відноситься до конфігурації роз'єму, який включає чотири сегменти: наконечник, два кільця та гільзу.

D-Terminal – це унікальний відеороз'єм, який використовується переважно в Японії та призначений для передачі компонентних відеосигналів.

1.2 Переваги використання аналогового відео

Фундаментальні відмінності між трансляційним аналоговим відео та графічним аналоговим відео полягають у їх призначенні, технічних характеристиках і впливі на розвиток відеостандартів, сигналів і технологій.

Фундаментальні відмінності між цими двома типами аналогового відео привели до різних шляхів розвитку відеотехнологій. Стандарти широкомовного відео зосереджені на сумісності, надійності сигналу та відповідності нормативним вимогам, тоді як стандарти графічного відео віддають перевагу роздільній здатності, чіткості та частоті оновлення, придатній для інтерактивних і обчислювальних програм. Ці відмінні фокуси сприяли спеціалізованій еволюції відеотехнологій у відповідних сферах, що зрештою призвело до розробки цифрових технологій, адаптованих до кожної з них (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Порівняння трансляції та локального аналогового відео

| | Трансляція аналогового відео | Графічне аналогове відео |
|-----------------------------|--|---|
| Призначення та використання | Призначений для передачі відеоконтенту широкій аудиторії через телевізійне мовлення. | В основному використовується для комп'ютерної графіки, відеоігор та інших додатків, не пов'язаних із трансляцією. |
| Технічні характеристики | Дотримується таких телевізійних стандартів, як NTSC, PAL або SECAM, із певною частотою кадрів, роздільною здатністю, співвідношенням сторін і кодуванням кольорів. | Прийосований до потреб комп'ютера та графічного дисплея з різною роздільною здатністю, частотою оновлення та співвідношенням сторін. Стандарти включають VGA, SVGA та XGA. |
| Передача сигналу та якість | Потрібна надійна передача сигналу, здатна підтримувати якість у різних середовищах (наземному, кабельному, супутниковому). Включає методи модуляції для передачі. | Зазвичай передається через прямі дротові з'єднання (як-от кабелі VGA) на дисплеї з наголосом на високій роздільній здатності та чіткості для перегляду зблизька. |
| Вплив на розвиток | Потреба в універсальних стандартах і сумісності з різними телевізорами призвела до розробки спеціальних технологій і правил мовлення. | Керуючись вимогами обчислювальної техніки та інтерактивних медіа, це призвело до прогресу в технології відображення з вищою роздільною здатністю та вищою частотою оновлення. |

Конвергенція цих шляхів спостерігається в сучасних цифрових стандартах, які задовольняють як потреби телемовлення, так і графічного відображення з розширеними можливостями (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Різниця між аналоговим і цифровим відео

| | Аналогове відео | Цифрове відео |
|--------------|---|---|
| Сигнал | Безперервні сигнали, що представляють відео та аудіо. | Двійкові дані (0 і 1), що представляють відео та аудіо. |
| Додатки | Традиційне телебачення, касети VHS, ранні відеокамери. | Сучасне мовлення, потокове передавання, DVD, Blu-ray, цифрові камери та відеокамери. |
| Носій запису | Магнітні стрічки (наприклад, VHS, Betamax), аналогові кабелі. | Цифрове сховище (жорсткі диски, SSD, SD-карти), цифрові інтерфейси (HDMI). |
| Редагування | Лінійний монтаж з фізичним обрізанням стрічки; якість погіршується з копіями. | Нелінійний монтаж за допомогою програмного забезпечення; відсутність втрати якості з покоління в покоління, більше гнучкості. |

Переваги аналогового відео:

- естетична якість: деякі віддають перевагу естетиці аналогового відео, яке часто описують як більш тепле або більш органічне;
- толерантність до надмірної та недотриманої експозиції: аналогове відео може бути більш поблажливим до помилок експозиції, зберігаючи деталі в тінях і світлі;

– плавність: безперервний характер аналогових сигналів може призвести до природного та гладкого візуального вигляду.

Недоліки аналогового відео:

– нижча роздільна здатність: зазвичай пропонує нижчу роздільну здатність і якість порівняно з цифровим;

– погіршення якості з часом: аналогові стрічки чутливі до зносу та погіршення якості з часом;

– громіздкі носії інформації: магнітні стрічки більші та громіздкіші порівняно з цифровими носіями інформації;

– складне редагування та розповсюдження: редагування є більш трудомістким і менш гнучким; розповсюдження є більш складним у порівнянні з цифровими форматами.

Переваги цифрового відео:

– вища роздільна здатність і якість: забезпечує чудову роздільну здатність і якість зображення;

– простота редагування: забезпечує більш доступне та гнучке редагування за допомогою програмного забезпечення для нелінійного редагування;

– ефективне зберігання та розповсюдження: цифрові файли легше зберігати та розповсюджувати, для цього потрібно менше фізичного простору;

– довговічність: менш сприйнятливий до погіршення сигналу з часом і з копіями.

Недоліки цифрового відео:

– збільшені вимоги до пам'яті: потрібно більше місця для зберігання через більші розміри файлів;

– менш поблажливий до експозиції: може бути менш поблажливим до помилок експозиції, з більшою схильністю до втрати деталей у тінях або світлі;

– візуальна якість сприйняття: іноді критикують за менш «органічний» вигляд порівняно з аналоговим відео.

В таблиці 1.3 наведена різниця між аналоговими та цифровими відеосигналами.

Таблиця 1.3 – Різниця між аналоговими та цифровими відеосигналами

| | Аналогові відеосигнали | Цифрові відеосигнали |
|------------------------------|--|---|
| Представлення сигналу | Безперервні сигнали для зображення та звуку. | Дискретні двійкові дані (0 і 1) для зображення та звуку. |
| Якість і роздільна здатність | Менша роздільна здатність; якість погіршується з відстанню та копіюванням. | Вища роздільна здатність; зберігає стабільну якість незалежно від відстані чи копій. |
| Сприйнятливість до перешкод | Більш сприйнятливий до шуму та перешкод. | Менш сприйнятливий; можна використовувати виправлення помилок для покращення точності. |
| Зберігання | Зберігаються на фізичних носіях, таких як стрічки; більший і об'ємніший. | Зберігаються на цифрових носіях (жорсткі диски, SSD, хмара); більш компактний і ефективний. |
| Редагування | Лінійний і часто фізично громіздкий. | Нелінійний і гнучкий, виконується за допомогою програмного забезпечення. |

Подібності.

Призначення: обидва використовуються для захоплення, зберігання та передачі відео та аудіовмісту.

Можливості перетворення: аналогові сигнали можна перетворити на цифрові шляхом оцифрування, а цифрові сигнали можна перетворити на аналогові для відображення на аналогових пристроях.

Аналогові відеосигнали.

Переваги: пропонує унікальну естетику, якій віддають перевагу деякі глядачі та творці; більше прощає певні типи помилок запису.

Недоліки: Низька роздільна здатність; чутливі до погіршення якості та перешкод; більш громіздкі носії інформації; більш складний процес редагування.

Цифрові відеосигнали.

Переваги: Вища роздільна здатність і якість; незмінна якість незалежно від відстані чи тиражування; ефективне та гнучке редагування; компактні та універсальні варіанти зберігання.

Недоліки: потрібно більше місця для зберігання даних; може бути менш поблажливим щодо викриття та фокусу; деякі стверджують, що вигляд менш «органічний» порівняно з аналоговим.

1.3 Бездротова передача аналогового відеосигналу

Радіочастотна (РЧ) передача – це метод, при якому аналогові відеосигнали надсилаються по повітрю за допомогою радіохвиль. Цей режим широко використовується в телевізійному мовленні. Процес передбачає модуляцію аналогового відеосигналу на радіочастотну несучу хвилю. Ця модуляція може бути або амплітудною (АМ), або частотною (FM), залежно від системи мовлення та типу вмісту. На додаток до відео, аудіокомпонент трансляції також модулюється, як правило, на окремій несучій частоті в тому самому каналі. Цей метод дозволяє передавати як звук, так і зображення на телевізори, обладнані антенами.

Відмінності між радіочастотною та дротовою передачею.

Зона покриття порівняно з прямим підключенням: радіочастотна передача здатна охоплювати широкі території та досягати кількох приймачів одночасно, що робить її ідеальною для трансляції на велику аудиторію. Навпаки, дротова передача обмежується довжиною кабелю та використовується для прямих з'єднань «точка-точка».

Якість сигналу та перешкоди: передача радіочастот може бути більш чутливою до перешкод від різних джерел, таких як фізичні перешкоди, атмосферні умови та інші електронні пристрої. Це може призвести до погіршення якості сигналу та погіршення якості. Дротова передача, з іншого боку, зазвичай забезпечує чіткіший і стабільніший сигнал, оскільки він менш схильний до зовнішніх перешкод, оскільки міститься в кабелях.

Методи модуляції: у радіочастотній передачі необхідність модуляції відеосигналу на радіохвилю додає складності та може вплинути на якість сигналу. Дротова передача дозволяє передавати відеосигнали в їх оригінальній формі, зменшуючи можливість втрати якості через модуляцію.

Бездротовий передавач і приймач відео – це пристрої бездротової передачі відео, які в основному використовуються в таких сферах, як дрони, аерофотозйомка та спостереження. Їх функція полягає в передачі відеосигналів, знятих камерою, через бездротові хвилі на віддалені пристрої, такі як монітори або мобільні телефони, що дозволяє користувачам переглядати відео в реальному часі та контролювати напрямок і кут дрона або камери.

Кілька методів бездротової передачі відео.

Бездротова передача відео стає все більш популярною завдяки зручності, яку вона пропонує, усуваючи потребу у фізичних кабелях. Для бездротової передачі відео використовується кілька методів, кожен з яких має свої сильні та слабкі сторони. Ось кілька поширених методів.

Wi-Fi.

Застосування: Wi-Fi широко використовується для бездротової передачі відео в домашніх мережах, камерах безпеки та смарт-телевізорах.

Плюси: повсюдний, підтримує високі швидкості передачі даних, підходить для додатків малого та середнього діапазону.

Мінуси: чутливість до перешкод, обмеження радіусу дії.

Bluetooth.

Застосування: Bluetooth зазвичай використовується для бездротової передачі відео на короткій відстані в таких пристроях, як смартфони, планшети та ноутбуки.

Переваги: низьке енергоспоживання, широка підтримка в побутовій електроніці.

Мінуси: обмежений діапазон, нижча швидкість передачі даних порівняно з Wi-Fi.

Бездротовий HDMI.

Застосування: бездротовий HDMI передає відео та аудіосигнали високої чіткості між пристроями, наприклад від програвача Blu-ray до телевізора.

Переваги: висока якість відео та аудіо, легке налаштування, відсутність необхідності в окремих кабелях.

Мінуси: обмежений радіус дії, можливість перешкод.

Miracast.

Застосування: Miracast – це стандарт бездротового віддзеркалення дисплея, що дозволяє користувачам передавати відео з одного пристрою на інший, наприклад зі смартфона на телевізор.

Плюси: потокове передавання з пристрою на пристрій, підтримує HD-відео.

Мінуси: обмежений діапазон, проблеми з сумісністю пристрою.

AirPlay.

Застосування: розроблений Apple, AirPlay дозволяє бездротову передачу аудіо та відео між пристроями Apple і сумісними колонками або дисплеями.

Плюси: бездоганна інтеграція з екосистемою Apple, високоякісна трансляція.

Мінуси: обмежено для пристроїв Apple, у деяких сценаріях може мати затримку.

Бездротовий USB.

Застосування: бездротова технологія USB забезпечує бездротову передачу даних USB, включаючи відеосигнали, між пристроями.

Переваги: Подібна функціональність до дротового USB-з'єднання, підходить для різних периферійних пристроїв.

Мінуси: обмежений радіус дії, можливість перешкод.

Радіочастотні (РЧ) передавачі.

Застосування: радіочастотні передавачі можна використовувати для бездротової передачі відео в програмах, таких як FPV (Перегляд від першої особи) для дронів.

Плюси: може забезпечити більші діапазони, підходить для конкретних програм, таких як FPV.

Мінуси: може знадобитися спеціальне обладнання, потенційні перешкоди.

Мережі 5G.

Застосування: з появою технології 5G вона все частіше використовується для високошвидкісної бездротової передачі відео, особливо в мобільних додатках.

Плюси: висока швидкість передачі даних, низька затримка, підтримка різноманітних мультимедійних програм.

Мінуси: обмежене покриття в деяких областях, проблеми з розгортанням інфраструктури.

Вибір методу бездротової передачі відео залежить від таких факторів, як необхідний діапазон, швидкість передачі даних, сумісність пристрою та конкретне застосування чи сценарій використання.

Принцип роботи передавача та приймача бездротової передачі відео полягає в наступному.

Бездротовий відеопередавач перетворює відеосигнал, знятий камерою, у цифровий сигнал за допомогою аналого-цифрового перетворення (АЦП), а потім стискає його в менші пакети даних за допомогою кодування та стиснення (КОДЕК). Потім пакети даних перетворюються на радіохвильові сигнали за допомогою модуляції (MOD) і, нарешті, передаються через лінію горизонту (ANT).

Приймач бездротової передачі відео демодулює отриманий радіосигнал у пакет даних, потім декодує та розпаковує його в цифровий сигнал, а потім перетворює на сигнал зображення за допомогою цифрово-аналогового перетворення (DAC). Зрештою, він буде відображатися на таких пристроях, як монітори чи мобільні телефони.

Продуктивність бездротових передавачів і приймачів відеосигналу в основному залежить від таких факторів:

- частота;
- потужність;
- канал;
- антена.

Частота означає кількість коливань радіохвильового сигналу, виміряну в Герцах (Гц). Чим вища частота, тим вище швидкість передачі та чіткіше зображення, але тим слабкіше проникнення та чутливість до перешкод. Чим нижча частота, тим нижча швидкість передачі та більш розмите відео. Однак чим сильніше проникнення, тим краща здатність проти перешкод. Загальні

частоти бездротової передачі відео включають 2,4 ГГц, 5,8 ГГц, 1,4 ГГц тощо.

Потужність означає силу радіосигналу, виміряну у ватах (Вт). Чим вища потужність, тим більша відстань передачі, і тим стабільніше відео, але чим вище споживання енергії, тим вище тепловиділення. Чим нижча потужність, тим ближча відстань передачі, і тим млявіше зображення, але чим менше споживання електроенергії, тим менше виділення тепла. Загальна потужність бездротової передачі зображення включає 25 мВт, 200 мВт, 600 мВт тощо.

Канал відноситься до частотного діапазону радіохвильового сигналу, виміряного в мегагерцах (МГц). Чим більше каналів, тим більший вибір і вища ймовірність уникнути перешкод. Чим менше каналів, тим менший вибір і менша ймовірність уникнути перешкод. Загальні канали бездротової передачі відео включають 8, 32, 40 тощо.

Антени відносяться до пристроїв, які передають і приймають радіосигнали. Форма та напрямок антени можуть впливати на покриття та силу сигналу. Звичайні антени включають вертикальні антени (OMNI), спрямовані антени (DIRECTIONAL), антени з круговою поляризацією (CIRCULAR POLARIZED) тощо.

Передавачі та приймачі бездротової передачі відео – це практичні пристрої бездротової передачі відео, які дозволяють користувачам переглядати віддалене відео в режимі реального часу, покращуючи досвід роботи та ефективність дронів або камер.

1.4 Постановка задачі розширення частотного діапазону приймачів аналогового відео

Як було зазначено у вступі, на ринку цивільних безпілотних літальних апаратів (БПЛА) широко використовуються аналогові відеопередавачі, що

працюють на частотах 1,2 ГГц і 5,8 ГГц. У цій роботі проведено огляд частотних каналів пристроїв прийому та передачі аналогового відео, доступних на ринку, з метою інтеграції частини з них у розроблюваний приймач, що забезпечить можливість роботи в цивільному діапазоні.

У діапазоні 5,8 ГГц представлено 72 різні канали для аналогового відео. У таблиці 1.4 наведено перелік частот усіх каналів аналогової передачі відео в цьому діапазоні. Кожна сітка має свій набір частот, і хоча деякі частоти можуть повторюватись у різних сітках, в цілому всі сітки є унікальними.

Таблиця 1.4 – 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 |

З аналоговою передачею відео на діапазоні 1,2ГГц все значно гірше, бо крок між каналами становить 40 МГц і відповідно наявні лише 8 каналів, що викликає ще більшу ймовірність перекриття каналів.

Канали та частоти діапазона 1,2ГГц відеопередачі:

– 1080МГц;

- 1120 МГц;
- 1160 МГц;
- 1200 МГц;
- 1240 МГц;
- 1280 МГц;
- 1320 МГц;
- 1360 МГц.

З наведеного аналізу випливає гостра необхідність збільшення ширини смуги роботи прийомо-передавальних пристроїв передачі аналогового відеосигналу, що надасть можливості:

- 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.

2 ПРИНЦИПИ РОБОТИ АНАЛОГОВОЇ ПЕРЕДАЧІ ВІДЕО ТА СТРУКТУРА БЕЗДРОТОВИХ ПРИЙМАЧІВ

2.1 Основи роботи бездротової передачі аналогового відео

Аналогові відеосигнали функціонують, передаючи візуальну інформацію як безперервні електронні сигнали. Ці сигнали складаються з трьох основних компонентів даних: кольоровості, яскравості та синхронізації (синхронізації).

Кольоровість представляє інформацію про колір у відео. Сигнали кольоровості передають відтінок і насиченість кольорів зображення. Вони відповідають за колірний аспект відео, але не несуть інформації про яскравість.

Сигнали яскравості несуть інформацію про яскравість або інтенсивність світла зображення. Він визначає чорно-білу частину відео або зображення в градаціях сірого, до якого додається колір.

Сигнали синхронізації забезпечують належне вирівнювання переданого зображення та відображення на приймаючому телевізорі чи моніторі. Вони регулюють час зміни ліній і рамок, забезпечуючи стабільність і узгодженість відображеного зображення.

Аналогові сигнали можна представити двома основними способами: амплітудою та частотою.

Амплітуда – це висота хвилі, і в аналоговому відео вона може представляти яскравість зображення. Більша амплітуда відповідає яскравішим частинам зображення.

Частота (або швидкість зміни хвилі) представляє різні кольори або відтінки у відео. Різним кольорам відповідають різні частоти.

Компоненти даних аналогових відеосигналів також можуть бути представлені у формі сигналу. Яскравість представлена у формі хвилі амплітудою сигналу. Зміни амплітуди відповідають змінам яскравості зображення. Більша амплітуда вказує на світлішу частину зображення, тоді як менша амплітуда вказує на темніші ділянки.

Кольоровість у формі сигналу зазвичай кодується як хвиля піднесучої в основному відеосигналі. Частота і фаза цієї хвилі піднесе відповідають відтінку і насиченості кольорів.

Сигнали синхронізації вбудовані у відеосигнал як специфічні шаблони, які відрізняються від інформації зображення. Ці візерунки розпізнаються дисплеєм, який потім відповідно вирівнює зображення. Наприклад, вертикальний синхроімпульс вказує на початок нового кадру, тоді як горизонтальні синхроімпульси вказують на початок нових рядків у кадрі.

Об'єднання цих елементів в аналоговий відеосигнал дозволяє передавати та відображати повні, кольорові та синхронізовані відеозображення на пристрої відображення. Здатність аналогової відеотехнології передавати багату візуальну інформацію за допомогою варіацій хвиль є свідченням винахідливості раннього телебачення та відеотехніки.

Форма хвилі – це візуальне представлення відеосигналу, коли він змінюється з часом. Він показує, як амплітуда (висота) і частота (швидкість зміни) сигналу коливаються для кодування відеоінформації. По суті, форма хвилі – це графік, який відображає силу або напругу сигналу в залежності від часу.

Трьома основними ознаками форми сигналу є амплітуда, частота та фаза.

Амплітуда: це висота хвилі, яка представляє силу або інтенсивність сигналу в будь-який момент часу. В аналоговому відео варіації амплітуди використовуються для передачі інформації про яскравість або яскравість.

Частота: частота хвилі означає, наскільки швидко хвиля повторюється протягом певного періоду часу. У відео різні частоти можуть представляти різні кольори.

Фаза – це відношення до положення моменту часу на циклі сигналу. У системах кодування кольорів, таких як NTSC і PAL, фазові варіації використовуються для передачі інформації про колір.

Ці функції окремо або разом використовуються для передачі аналогових відеоданих.

Дані про яскравість представлені амплітудою хвилі. Вищі амплітуди відповідають яскравішим частинам зображення, тоді як менші амплітуди вказують на темніші ділянки. Ця амплітудна модуляція дозволяє передавати детальні зображення в різних відтінках світла і темряви.

Кольоровість в аналоговому відео зазвичай кодується як окрема хвиля піднесучої в основному відеосигналі. Частота та фаза цієї піднесучої модулюються для представлення різних кольорів. Наприклад, у системі NTSC інформація про колір кодується з використанням варіацій фази піднесучої відносно основного сигналу.

Імпульси синхронізації представлені як стрибки або провали в сигналі аналогового відео, щоб позначити початок і кінець кожного рядка та кожного кадру відео.

2.2 Математичні та фізичні засади бездротової передачі аналогового відеосигналу

Бездротова передача аналогового відеосигналу в БПЛА відбувається за допомогою його частотної модуляції з використанням генераторів, що керуються напругою (VCO – Voltage Controlled Oscillator).

Частотна модуляція (FM) широко використовується в системах радіотелекомунікацій. Цей тип модуляції кодує інформацію в несучій,

змінюючи її миттєву частоту пропорційно модуляційному сигналу. На рисунку 2.1 показано концепцію ЧМ з трикутним модулюючим сигналом у часовій області.

У часовій області FM-сигнал $v(t)$ можна виразити як у (2.1) [2], де A – амплітуда, а $\theta(t)$ – фазова функція. Фазова функція в (2.2) [2] визначається кутовою частотою несучої ω_c та інтегралом її модулюючого сигналу $m(\tau)$.

$$v(t) = A\cos\theta(t) \quad (2.1)$$

$$\theta(t) = \omega_c t + k \int_{\tau=0}^t m(\tau) d\tau [\text{rad}] \quad (2.2)$$

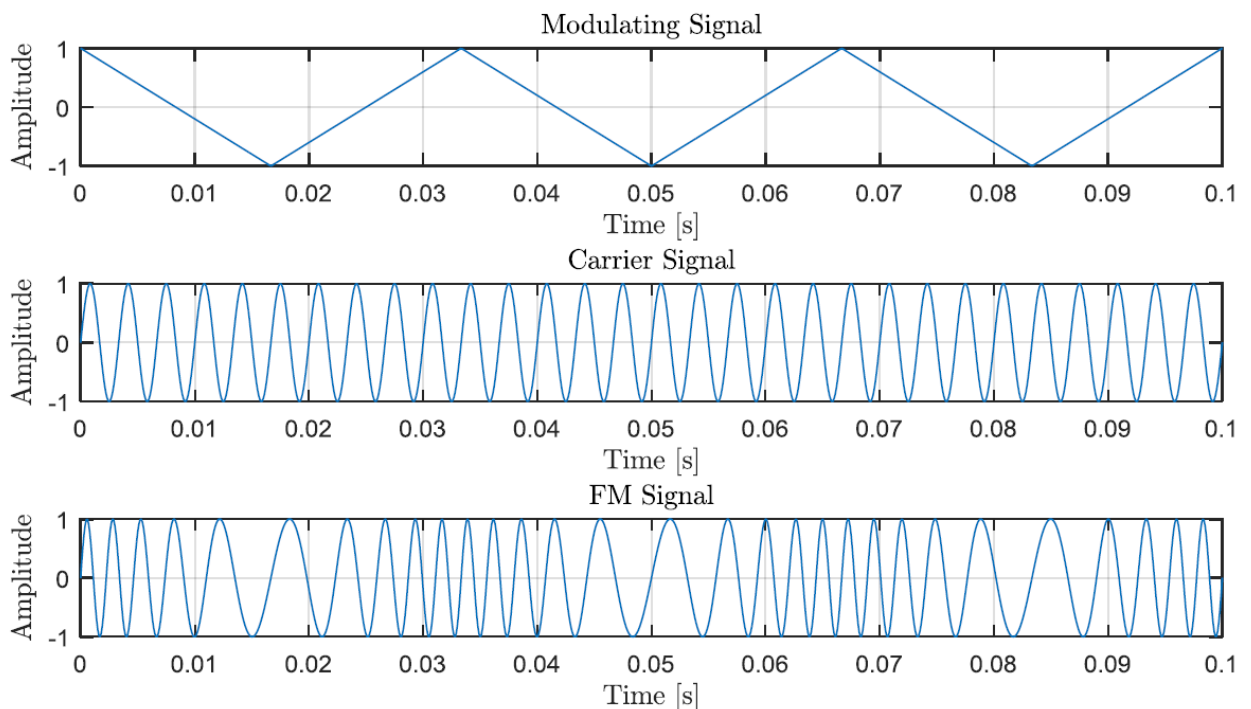


Рисунок 2.1 – Частотна модуляція трикутним модулюючим сигналом

Практична смуга пропускання FM-сигналу обмежена продуктами бічної смуги. У FM бічні смуги генеруються миттєвою частотою несучої, яка регулюється індексом модуляції FM-сигналу. Індекс модуляції, виражений як β у (2.3), є відношенням між піковим відхиленням Δf несучої та найвищою частотною складовою модулюючого сигналу f_m .

$$\beta = \frac{\Delta f}{f_m} \quad . \quad (2.3)$$

Пропускнуну здатність FM-сигналу можна оцінити за допомогою правила Карсона в (2.4). Це правило визначає пропускнуну здатність, яка включає 98% загальної потужності в продуктах із бічним діапазоном.

$$BW_{FM} \approx 2(\Delta f + f_m) = 2f_m(1 + \beta)[Hz] \quad . \quad (2.4)$$

Модулюючий сигнал $m(\tau)$ FM-сигналу викликає відхилення несучої на миттєвій частоті ω , яка визначається швидкістю зміни фазової функції в (2.5) [2].

$$\omega = \frac{d}{dt} \theta(t) = \omega_c + km(t)[rad/sec] \quad (2.5)$$

Для окремого випадку синусоїдального модулюючого сигналу $m(t) = a \cos \omega_m t$ фаза виражається як у (2.6) [2], де $\Delta\omega = ka$.

$$\theta(t) = \omega_c t + \frac{\Delta\omega}{\omega_m} \sin \omega_m t = \omega_c t + \beta \sin \omega_m t [rad] \quad (2.6)$$

Щоб проаналізувати вплив різних індексів модуляції β , FM-сигнал можна виразити у формі вектора, де несуча радіальна частота ω_c розділена модулюючим сигналом в експоненціальній формі:

$$v(t) = A \cos \theta(t) = A \cos(\omega_c t + \beta \sin \omega_m t) = A \operatorname{Re}\{e^{j\omega_c t} e^{j\beta \sin \omega_m t}\} \quad (2.7)$$

Тоді для експоненти модулюючого сигналу в (2.7) використовується комплексний ряд Фур'є, який підтверджує гармоніки ω_m :

$$e^{j\beta \sin \omega_m t} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{jn\omega_m t} \quad (2.8)$$

Коефіцієнти Фур'є C_n в (2.8) визначені в (2.9) і обмежені періодом $T = \frac{2\pi}{\omega_m}$:

$$C_n = \frac{1}{T} \int_{t=-T/2}^{T/2} e^{j(\beta \sin \omega_m t - n\omega_m t)} dt \quad (2.9)$$

Заміною $x = \omega_m t$ у (2.9) ідентифікуються коефіцієнти Фур'є у функції Бесселя першого роду $J_n(\beta)$, наведеній у (2.10). Ця функція Бесселя забезпечує величини бічної смуги для FM-сигналу в (2.7), де кожна бічна смуга рознесена на $n \times \omega_m$.

$$J_n(\beta) = \frac{1}{2\pi} \int_{x=-\pi}^{\pi} e^{j(\beta \sin x - nx)} dx \quad (2.10)$$

Ця функція Бесселя дозволяє виразити хвилю FM у (2.7), як показано в (2.11).

$$v(x) = A \operatorname{Re}\{e^{j\omega_c t} \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\beta) e^{jn\omega_m t}\} = A \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\beta) \cos(\omega_c + n\omega_m)t$$

(2.11)

Графік із величинами бічної смуги для перших п'яти членів функції Бесселя показаний на рисунку 2.2. Де кожна величина бічної смуги задовольняє умову (2.12). Індекси модуляції з негативною величиною бічної смуги призведуть до зміни фази (згортання) цього продукту бічної смуги [3].

$$|J_n(\beta)| \geq 0.25 \quad (2.12)$$

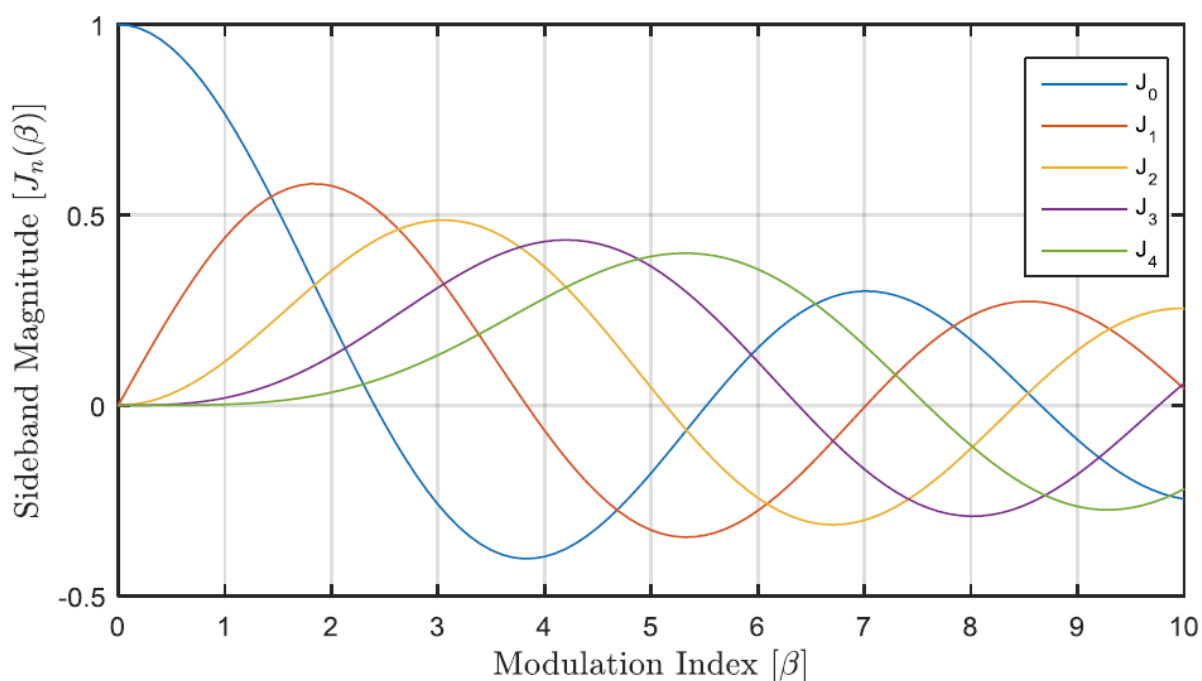


Рисунок 2.2 – Амплітуда бічної смуги VS індекс модуляції

Вплив різних індексів модуляції на синусоїдальний модулюючий сигнал проілюстровано на рисунку 2.3. Де $f_c = \frac{\omega_c}{2\pi}$ і $f_m = \frac{\omega_m}{2\pi}$.

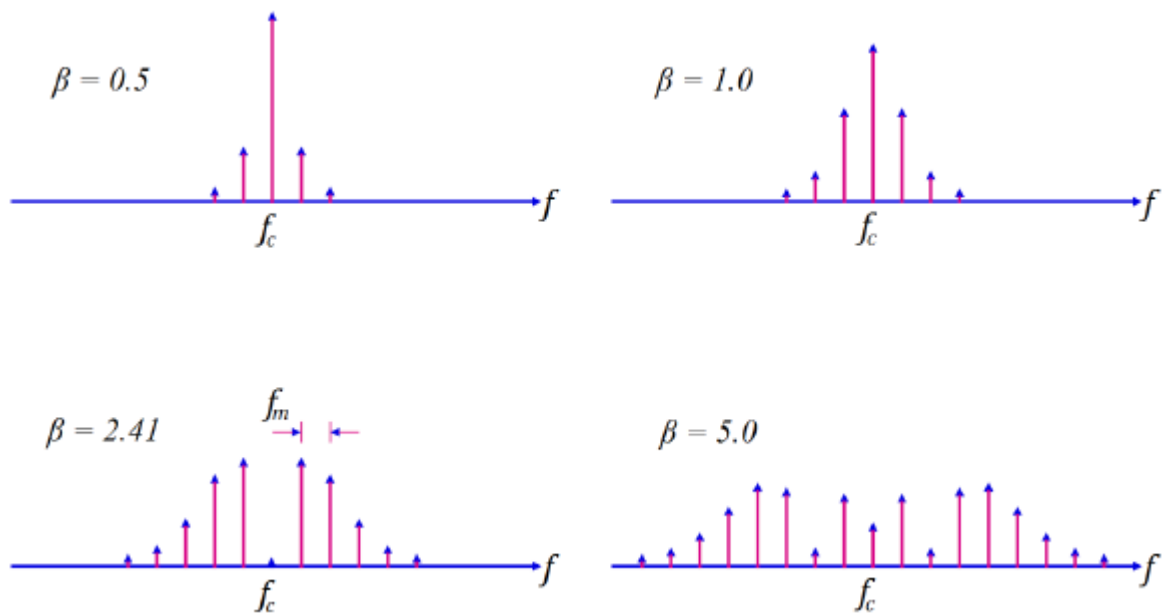


Рисунок 2.3 – ЧМ сигнали з різними індексами модуляції

2.3 Структура приймачів бездротового аналогового відео

Передача даних від антени до дисплея за допомогою аналогового відеоприймача з високою частотою відбувається по схемі наведеній на рисунку 2.4. Передавач проводить частотну модуляцію вхідного аналогового відеосигналу який подається на VCO (генератор що керується напругою), який пов'язаний з PLL (phase lock loop – петля фазового підстроювання частоти), та має підсилювачі та цифрову схему керування.

Приймач також є комбінацією деяких із тих самих структурних елементів, що й передавач, наприклад VCO (генератор із керуванням напругою), PLL (петля фазового автопідстроювання частоти), підсилювачів і цифрової схеми керування. Але різниця між передавачем і приймачем полягає в тому, що приймач також має серію LNA (low-noise amplifier – малошумний підсилювач) як підсилювач отриманого сигналу, потім є фільтр низьких частот (LPF low-pass filter) і фільтри SAW для фільтрації отриманого

сигналу від шуму і схеми змішувача для розділення сигналу даних і несучого сигналу.

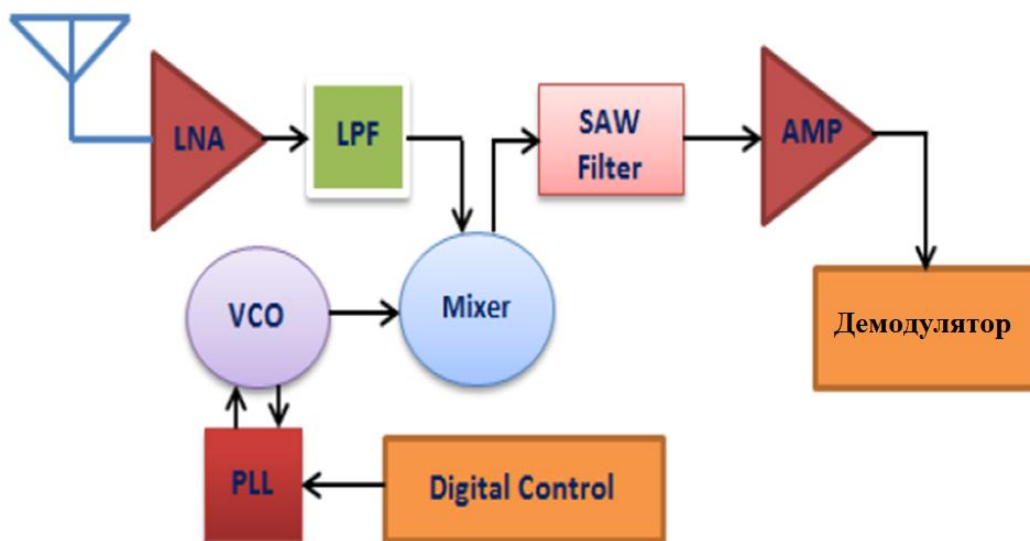


Рисунок 2.4 – Структурна схема бездротового відеоприймача

Модульований відеосигнал виглядає на аналізаторі спектру як наведено на рисунку 2.5 де показано приклад передавання аналогового відео на частоті 1,080 ГГц.

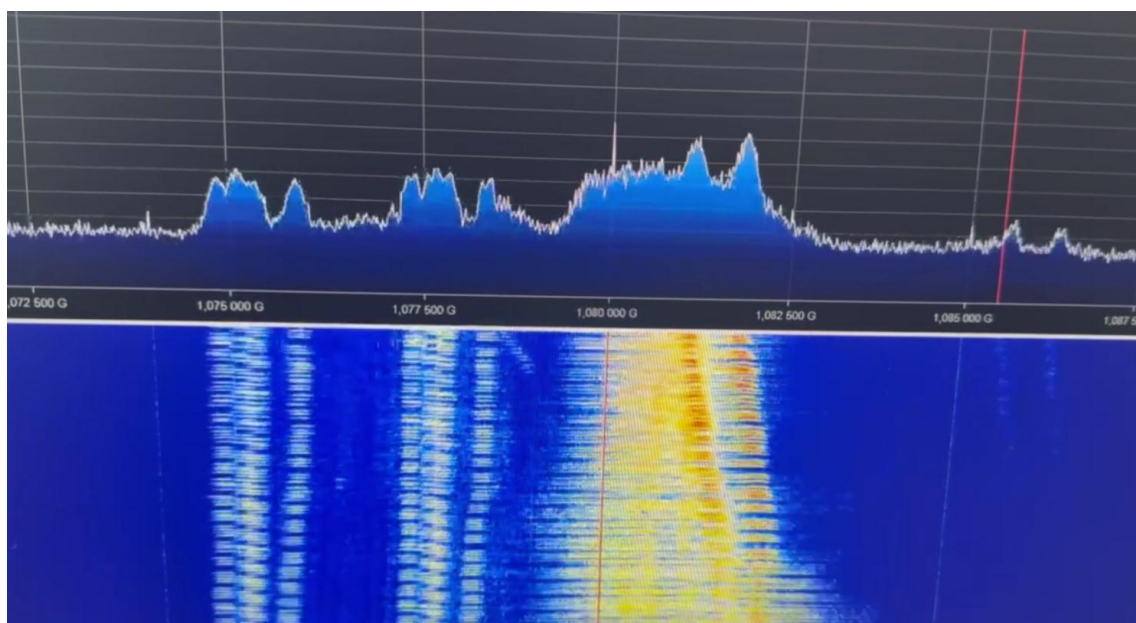


Рисунок 2.5 – Сигнал з бездротового аналогового відеопередавача

Якщо повернути рисунок 2.5 то можна побачити, що, через використання частотної модуляції в чистому вигляді, проглядаються основні структурні елементи аналогового відео у вигляді ліній зміни частот на аналізаторі (рис. 2.6).

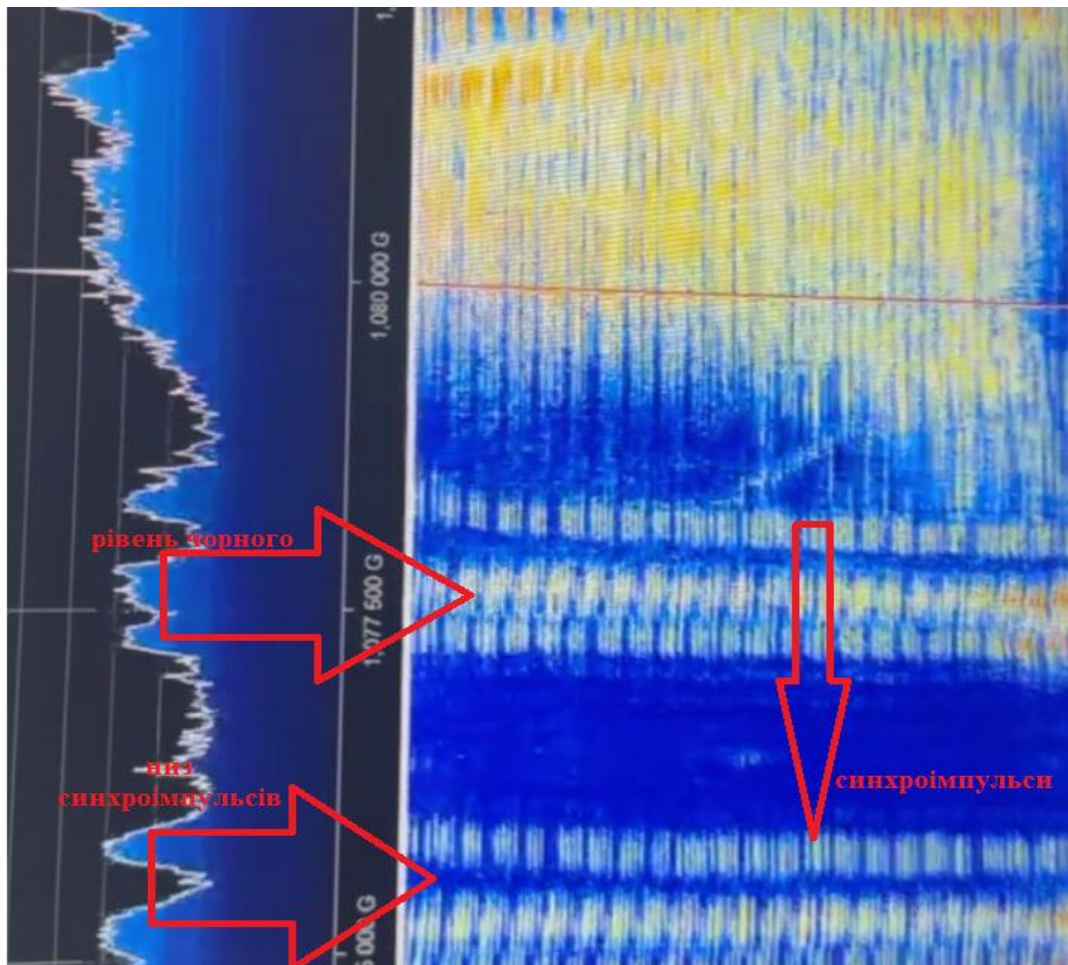


Рисунок 2.6 – Характерні елементи аналогового відеосигналу при аналізі його бездротового спектру на аналізаторі

Блок-схема на рисунку 2.7 показує схему гетеродинного FM-приймача з одним перетворенням.

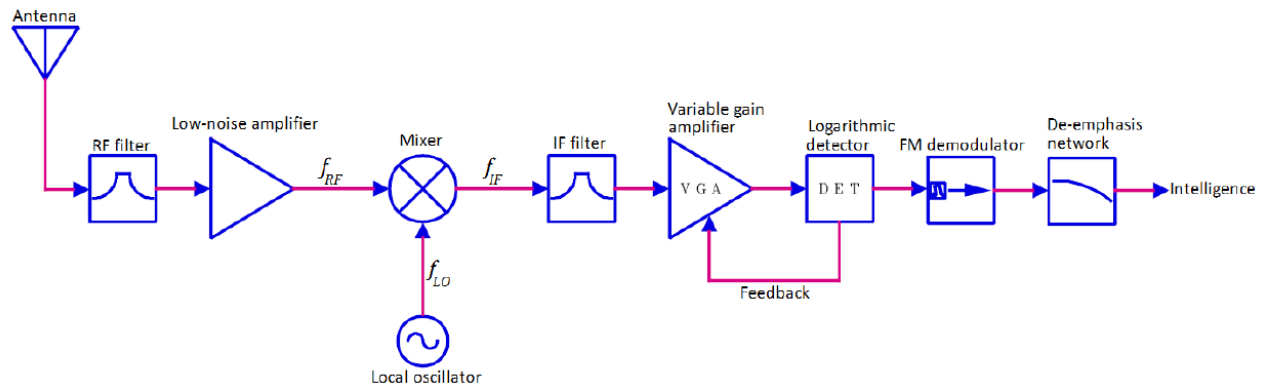


Рисунок 2.7 – Схема супергетеродинного FM-приймача з одинарним перетворенням

Першими компонентами супергетеродинного приймача є антена та фільтр попереднього вибору. Антена сконструйована так, щоб резонувати на несучій частоті, таким чином поглинаючи частину енергії, яку транслює передавач. Незважаючи на те, що антена налаштована на певний діапазон частот, вона все одно може бути сприйнятливою до небажаних позадіапазонних частот. Цю проблему можна пом'якшити, застосувавши смуговий фільтр попереднього вибору (BPF) у поєднанні з антеною. Крім того, цей фільтр обмежує смугу пропускання антени і відповідно це знижує загальний рівень шуму приймача.

Підсилювач з низьким рівнем шуму (LNA) – це особливий тип підсилювача, оптимізований для забезпечення посилення без додавання додаткового шуму до вхідного сигналу. LNA покращує продуктивність приймача з точки зору NF шляхом збільшення рівня потужності та SNR падаючого сигналу. Цей пристрій розміщується як перший активний пристрій у передній частині приймача, отже, його коефіцієнт посилення та переваги NF мають найбільший вплив на загальні шумові характеристики системи приймача.

Схема основного змішувача є трьома портами, як показано на рисунку 2.8. Метою змішувача в додатку супергетеродинного приймача є поєднання

частот сигналу на f_{RF} і f_{LO} для сприяння різницевого продуктів на $f_{IF} = f_{RF} - f_{LO}$ або $f_{IF} = f_{LO} - f_{RF}$. Це є відомий як частотне перетворення.

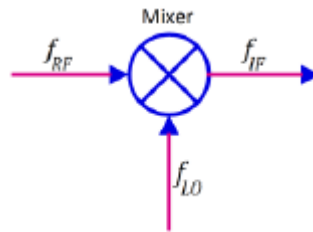
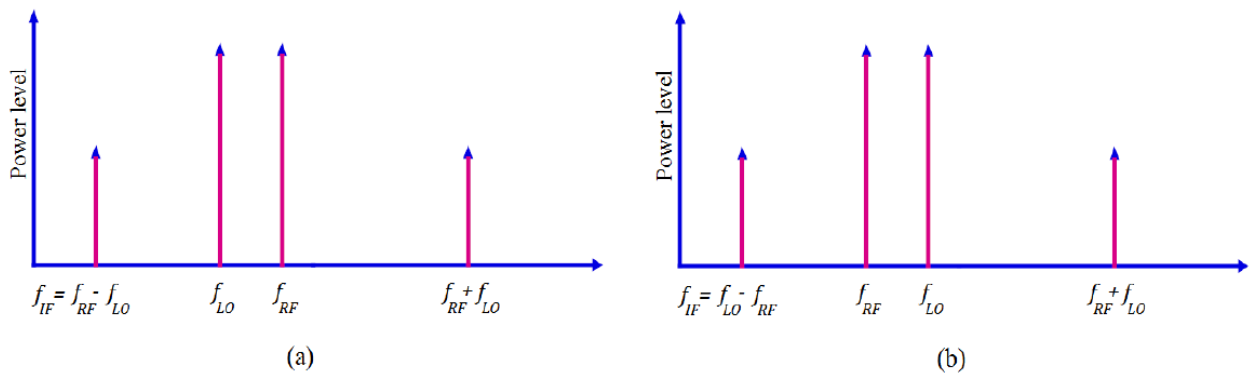


Рисунок 2.8 – Пристрій змішувача

У супергетеродинному приймачі змішувач понижуючого перетворення може працювати з використанням верхньої бічної смуги (USB) або нижньої бічної смуги (LSB) сигналу f_{RF} , тобто $f_{LO} > f_{RF}$ або $f_{LO} < f_{RF}$. Рисунок 2.9 (a) і (b) ілюструє роботу ідеального мікшера з низхідним перетворенням LSB і USB.



a) LSB змішування; b) USB-мікшування.

Рисунок 2.9 – Змішувач понижуючого перетворення

Супергетеродинний приймач налаштовується шляхом регулювання частоти f_{LO} по відношенню до несучої на f_{RF} . Сигнал f_{LO} генерується

регульованим гетеродином (LO), який є частиною приймача. Нижча частота базової смуги або сигнал проміжної частоти (IF) виробляється на f_{IF} . Цей сигнал містить інформацію, модульовану на несучій частоті f_{RF} , і зазвичай має набагато нижчу частоту, ніж f_{RF} і f_{LO} .

У змішувачах із пониженням перетворення частоти зображення – це сигнали, відмінні від f_{RF} , які виробляють ідентичну частоту на f_{IF} , що й сигнал на f_{RF} . Можливі частоти зображення при f_{IF} розраховані в (2.13) [7].

$$f_{IM} = \begin{cases} f_{RF} + 2f_{IF}, & \text{if } f_{LO} > f_{RF} \\ f_{RF} - 2f_{IF}, & \text{if } f_{LO} < f_{RF} \end{cases} \quad (2.13)$$

Частоти зображення є потенційною проблемою в реалізації супергетеродинного приймача. Це пояснюється тим, що може бути неможливо відокремити сигнали на f_{IM} від сигналів на f_{RF} після того, як ці сигнали були перетворені з пониженням на f_{IF} . Щоб проілюструвати проблему, розглянемо частоти змішування, наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Частоти змішування

| f_{IF} (Проміжна частота) | f_{LO} (Частота гетеродина) | f_{RF} (перевізнак) | f_{IM} (Частота зображення) |
|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| $f_{RF} - f_{LO} = 10 \text{ МГц}$ | $f_{LO < RF} = 90 \text{ МГц}$ | $f_{RF} = 100 \text{ МГц}$ | |
| $f_{LO} - f_{IM} = 10 \text{ МГц}$ | $f_{LO < RF} = 90 \text{ МГц}$ | | $f_{RF} - 2 f_{IF} = 80 \text{ МГц}$ |
| $f_{LO} - f_{RF} = 10 \text{ МГц}$ | $f_{LO > RF} = 110 \text{ МГц}$ | $f_{RF} = 100 \text{ МГц}$ | |
| $f_{IM} - f_{LO} = 10 \text{ МГц}$ | $f_{LO > RF} = 110 \text{ МГц}$ | | $f_{RF} + 2 f_{IF} = 120 \text{ МГц}$ |

Частоти зображення на f_{IM} можна послабити за допомогою фільтра відхилення зображення, розміщеного перед першим змішувачем приймача. Однак, як показано на прикладі в таблиці 2.1, у деяких випадках може бути важко реалізувати фільтри відхилення зображення з достатньо чіткою

відповіддю фільтра. Особливо, якщо відстань між f_{IF} і f_{RF} відносно мала. Деякі супергетеродинні приймачі реалізовані з використанням декількох ступенів змішувача. Це дозволяє відсунути частоти зображення далі від бажаної несучої частоти.

Незважаючи на те, що реалістичні мікшерні пристрої розроблені для отримання виключно сумарних і різницевих добутоків другого порядку, вони також створюють небажані сигнали вищого порядку, які споживають енергію. Крім того, завжди будуть деякі внутрішні втрати, що розсіюють енергію від пристрою. Ефективність перетворення пасивного змішувача зазвичай виражається через втрати перетворення, як показано в (2.14).

$$CL = 10 \log \left(\frac{P_{RF}}{P_{IF}} \right) [dB] \quad (2.14)$$

Втрати при перетворенні змінюються в різних комбінаціях частот f_{RF} і f_{LO} і визначаються як зменшення потужності від порту RF до порту IF змішувача. Рисунок 2.10 ілюструє втрати перетворення пасивного змішувача на фіксованих частотах f_{RF} і f_{LO} .

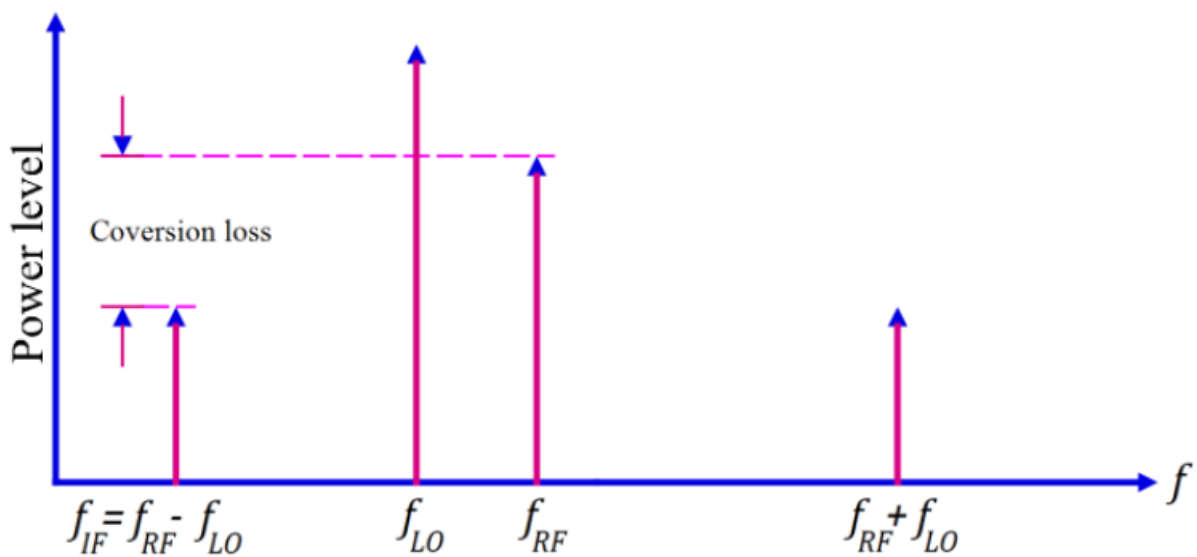


Рисунок 2.10 – Втрати перетворення пасивного змішувача

Гетеродин (LO) – це електронний генератор, підключений до гетеродинного порту змішувача в системі супергетеродинного приймача. Пристрій LO, підключений до змішувача, показано на рисунку 2.11.

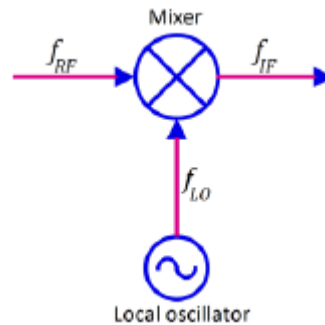


Рисунок 2.11 – Гетеродин, підключений до змішувача

Кристалічні осцилятори, виготовлені з точно вирізаних кристалів п'єзоелектричного кварцу, можуть забезпечити джерело осцилятора на фіксованій частоті. Однак більшість реалізацій приймачів вимагають кількох різних частот гетеродина, щоб налаштуватися між різними несучими частотами.

Ще однією проблемою є виробництво кварцевих генераторів, здатних працювати на надвисоких частотах. Це тому, що огранювання кристала кварцу визначає власну резонансну частоту кристала. Кристалічні осцилятори, здатні працювати на надвисоких частотах, з цієї причини важко виготовити, оскільки п'єзоелектричний кристал всередині осцилятора повинен бути дуже маленьким. Зрештою, якщо його зробити досить маленьким, кристал стає сприйнятливим до пошкоджень від використання та вібрації. Проте деякі виробники постачають кварцові генератори, здатні працювати до кількох сотень МГц.

Системи супергетеродинних приймачів, що працюють на надвисоких частотах, потребують іншого методу синтезу частоти LO. Для реалізації

такого пристрою синтезу частоти можна використовувати інтегральні схеми, що містять контури фазового автопідстроювання частоти (PLL) із внутрішніми (або зовнішніми) ядрами генератора, керованого напругою (VCO). Цей тип методу синтезу частот популярний у сучасних системах приймачів і здатний виводити велику кількість сигналів f_{LO} на точних надвисоких частотах.

Характеристика фазового шуму гетеродина критично важлива в системі супергетеродинного приймача. Крім додавання до загального рівня шуму приймача, будь-який шум, що надходить до гетеродинного порту змішувача, може спричинити перетворення з пониженням суміжних сигналів несучої, таким чином обмежуючи вибірковість приймача та те, наскільки близько можуть бути розташовані інші несучі.

Фазовий шум спричинений короткочасними випадковими флуктуаціями частоти через шум у генераторі, і зазвичай вимірюється в децибелах відносно несучої потужності на одиницю Герц смуги пропускання (дБн/Гц). Ілюстрація вимірювання фазового шуму показана на рисунку 2.12.

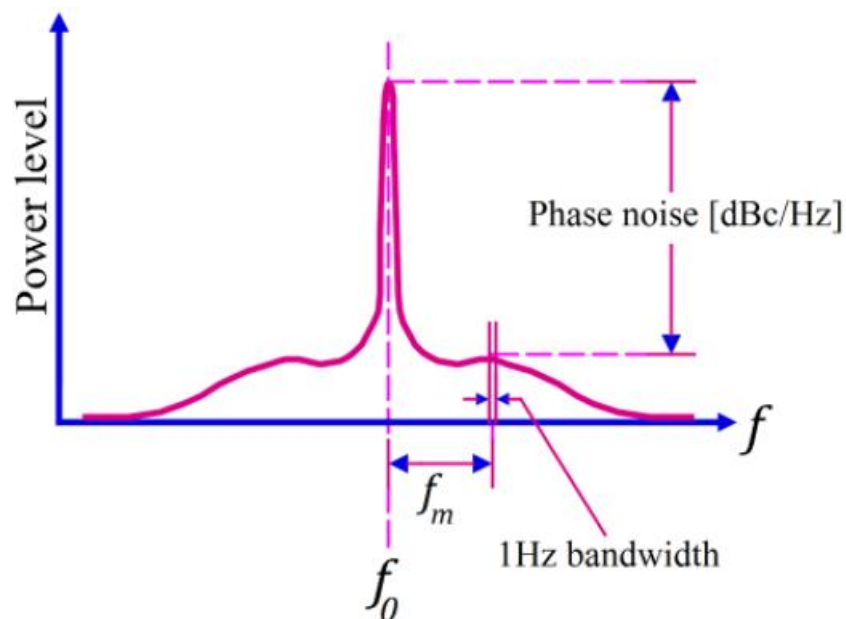


Рисунок 2.12 – Вимірювання фазового шуму

Оскільки фазовий шум вимірюється відносно потужності несучої, він визначається на визначеній частоті зсуву f_m . Наприклад, типова специфікація фазового шуму осцилятора для FM стільникового радіо може становити -110 дБн/Гц на частоті зсуву $f_m = 25$ кГц.

Будь-яке вимірювальне обладнання, як правило, аналізатор спектру (SA) або аналізатор джерела сигналу (SSA), що використовується для проведення вимірювань фазового шуму, демонструватиме певний ступінь внутрішнього фазового шуму. З цієї причини необхідно, щоб вимірювальне обладнання мало кращі характеристики фазового шуму, ніж вимірюваний генератор.

Супергетеродинний приймач використовує фільтр ПЧ для забезпечення селективності та відсіювання небажаних продуктів змішування на ПЧ із пониженим перетворенням. Ці вироби включають суміжні частотні канали, а також небажані гармонічні сигнали та сигнали хвилі через нелінійність у змішувачі та його попередніх каскадах. Частоти зображення також можуть бути джерелом перешкод на ПЧ. Такі частоти можуть бути відхилені, якщо перед змішувачем буде встановлено фільтр попереднього вибору. Рисунок 2.13 ілюструє функцію ПЧ і фільтра попереднього вибору в системі приймача з одним перетворенням.

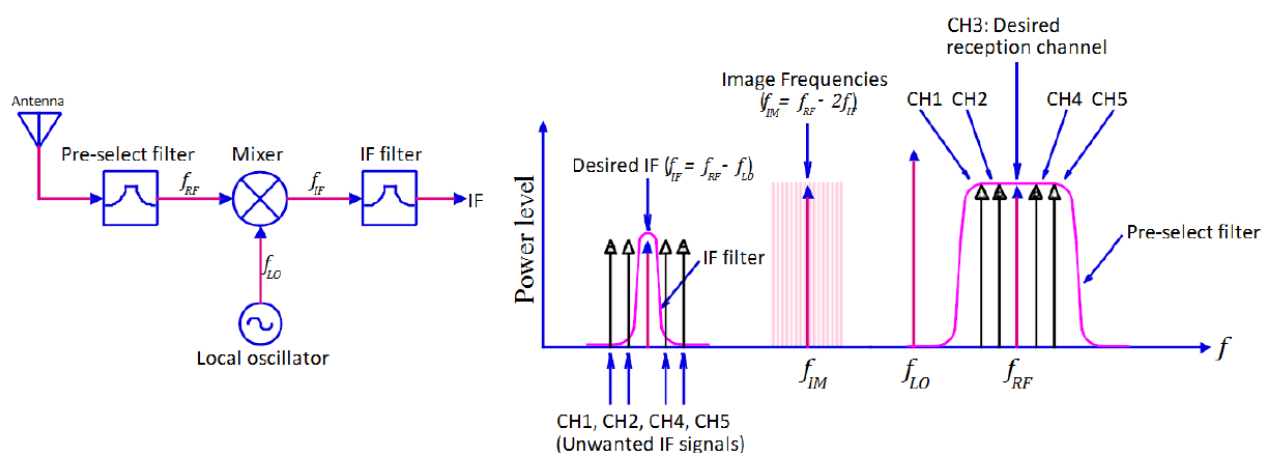


Рисунок 2.13 – Фільтрація в системі супергетеродинного приймача з пониженим перетворенням

Фільтр ПЧ необхідно ретельно спроектувати, щоб забезпечити достатню смугу пропускання для модулюючого сигналу на ПЧ. Якщо використовується занадто вузька смуга пропускання проміжної частоти (IFBW), це призведе до спотворення модульованого сигналу, як показано на рисунку 2.14 (a).

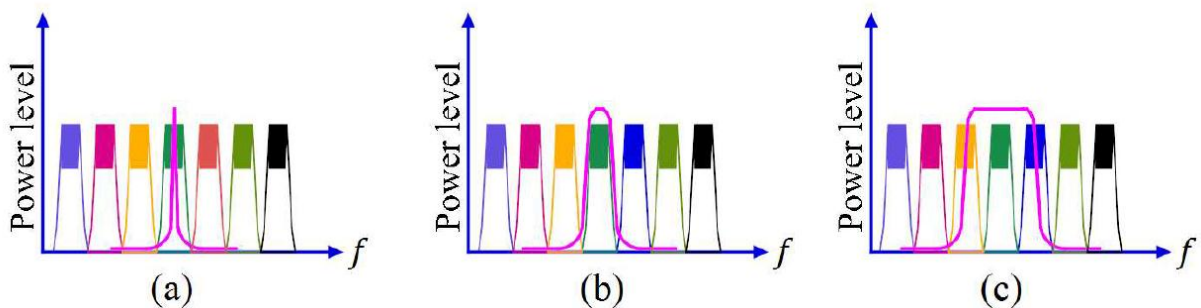


Рисунок 2.14 – Смуга частот проміжної частоти

Навпаки, якщо IFBW більше, ніж модульований сигнал, це може дозволити сусіднім радіочастотним каналам створювати перешкоди бажаному сигналу, як показано на рисунку 2.14 (c). Крім того, шумова потужність теплового шуму пропорційна смузі пропускання, як показано наближенням Релея-Джинса. Отже, якщо пропускну здатність ПЧ зменшити в 10 разів, то рівень шуму приймача буде фактично зменшений у 10 разів.

Ідеальна IFBW – це смуга пропускання модульованого сигналу, як показано на рисунку 2.14 (b). Пропускуну здатність FM-сигналу можна оцінити за допомогою правила Карсона.

Коефіцієнт якості або добротність є важливою характеристикою, яку слід враховувати під час впровадження фільтра ПЧ. Коефіцієнт добротності визначається як відношення збереженої енергії до втраченої енергії за цикл у компоненті чи мережі.

Конденсатори та котушки індуктивності зберігають енергію в електричному або магнітному полі і часто використовуються для реалізації фільтрів ПЧ та інших резонансних схем. Однак через втрати, спричинені в першу чергу витокком між пластинами у випадку конденсатора та опором в обмотках у випадку котушки індуктивності, деяка кількість енергії буде розсіюватися, коли енергія зберігається або витягується з компонента.

Якщо резонансний контур реалізовано з використанням ємнісних та індуктивних елементів, він буде резонувати, коли індуктивний та ємнісний реактивний опір збалансовано ($X_C = X_L$). Однак через втрати резонансний контур продовжуватиме резонувати лише за умови постійного додавання енергії.

Резонансний контур із високим коефіцієнтом добротності вказує на нижчу швидкість втрати енергії порівняно з енергією, що зберігається, отже, він продовжуватиме резонувати протягом тривалого часу після того, як на нього подано напругу. Резонансний контур із низьким коефіцієнтом добротності містить більше втрат і з цієї причини припиняє резонувати швидше та в ширшому діапазоні частот. Оскільки будь-який тип фільтра по суті є резонансним контуром, добротність також може бути використана для характеристики його вибіркості. Коефіцієнт добротності для фільтра, де f_r — резонансна частота фільтра, а BW_{3dB} — смуга пропускання 3 дБ фільтра, визначена в (2.15).

$$Q = \frac{f_r}{BW_{3dB}} \quad (2.15)$$

Рівні потужності на порту антени приймача можуть змінюватися на кілька порядків, коли змінюється відстань між приймачем і передавачем. Схема супергетеродинного приймача, показана на рисунку 2.7, складається з пристроїв із фіксованим посиленням від порту антени до фільтра ПЧ. Ця

конструкція призведе до того, що рівень сигналу ПЧ буде пропорційним рівню радіочастотного сигналу на порту антени.

Якщо сигнали на ПЧ надто потужні, тобто якщо приймач знаходиться в безпосередній близькості від передавача, це може спричинити роботу пристроїв на нелінійному рівні потужності, викликаючи небажані гармоніки. Це може навіть пошкодити пристрої, розташовані нижче за шляхом сигналу ПЧ. Навпаки, надто слабкі рівні сигналу на ПЧ зменшать продуктивність SNR на демодуляторі. Згодом модулятору буде неможливо відрізнити шум від бажаного сигналу ПЧ. Крім того, будь-який практичний пристрій у приймачі вироблятиме нелінійні частотні компоненти на слабких рівнях потужності.

Співвідношення між рівнями переданої та прийнятої потужності двох антен для заданої відстані можна наближено визначити за допомогою рівняння передачі Фрісса в (2.16).

$$P_r = P_t + G_t + G_r 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right) \quad (2.16)$$

Де довжина хвилі та відстань між антенами дорівнюють λ і R . Децибелізотропне (дБі) посилення антен передавача та приймача дорівнює G_r і G_t . Доступна потужність в децибелах на кожному порту антени виражається як P_r і P_t .

Рівняння передачі Фрісса справедливе, коли:

- передача відбувається у вільному просторі, тобто у вакуумі без будь-яких перешкод і відображень;
- поляризація антен ідеально вирівняна;
- максимальна спрямованість антен вирівняна для максимального підсилення;
- відстань між антенами набагато більше довжини хвилі ($R \gg \lambda$).

Через вимоги до динамічного діапазону системи приймача, як правило, необхідне посилення та обмеження рівня потужності ПЧ. Цього можна досягти за допомогою схеми автоматичного регулювання посилення (AGC). На рисунку 2.15 показана проста схема АРП, яка може бути реалізована для підтримки постійного рівня потужності ПЧ. Цей контур АРП складається з пристрою підсилювача зі змінним посиленням (VGA), логарифмічного детектора та схеми зміщення напруги.

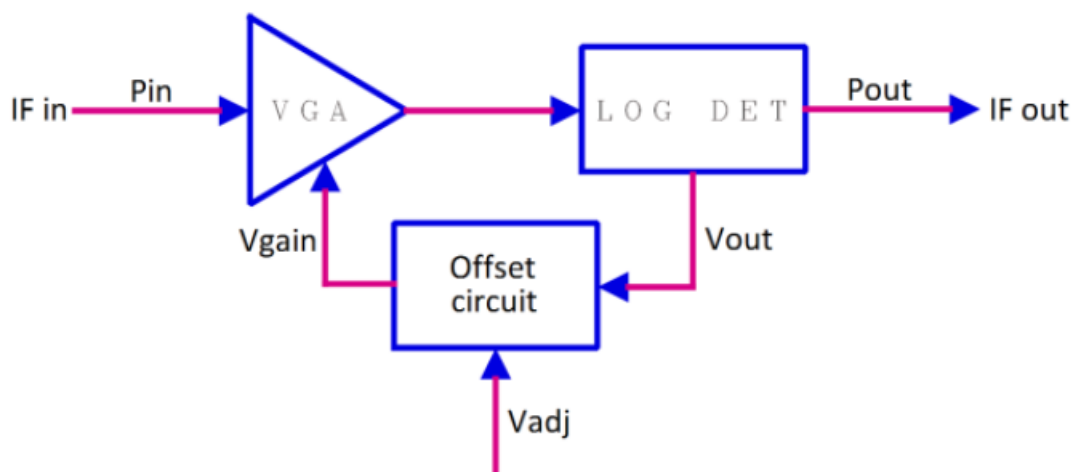


Рисунок 2.15 – Контур автоматичного регулювання посилення

Коефіцієнт посилення пристрою VGA регулюється за допомогою входу напруги. Логарифмічний детектор – це прохідний пристрій, підключений до виходу VGA. Цей пристрій перетворює вихід АСГ на напругу, пропорційну в децибелах до рівня вхідної потужності. Регульована схема зсуву формує петлю негативного зворотного зв'язку від логарифмічного детектора до VGA. Зміщення напруги, створене цією схемою, контролює бажану вихідну потужність сигналу ПЧ.

Блок-схема супергетеродинного FM-приймача, показана на рисунку 2.3, використовує FM-демодулятор PLL (Phase Locked-Loop) для виділення модульованого сигналу з перетвореного з пониженням ПЧ сигналу.

Фундаментальна схема демодулятора ФАПЧ складається з фазового детектора, контурного фільтра та генератора, керованого напругою (VCO), з'єднаних у циклі негативного зворотного зв'язку. Блок-схема такої схеми показана на рисунку 2.16.

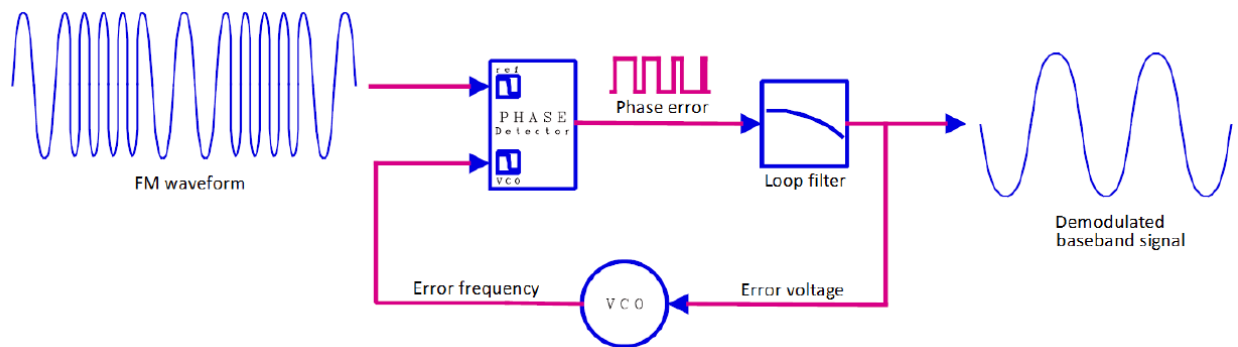


Рисунок 2.16 – Блок-схема демодулятора PLL FM

Першим компонентом ФАПЧ демодулятора є фазовий детектор. Фазовий детектор порівнює фазу вхідного ЧМ-сигналу з фазою сигналу, створеного VCO, і видає прямокутну хвилю з робочим циклом, пропорційним різниці фаз. Потім прямокутна хвиля фільтрується в контурному фільтрі. Петлевий фільтр, фільтр низьких частот, інтегрує робочий цикл прямокутної хвилі в напругу помилки, яка подається назад у VCO. Контур зворотного зв'язку замикається, коли напруга помилки повертається на VCO, а вихідний сигнал VCO повертається на фазовий детектор. Дія зворотного зв'язку відстежує фазу вхідного FM-сигналу з фазою сигналу VCO. Це означає, що напруга помилки, яка керує VCO, пропорційна девіації несучої, тобто модулюючого сигналу.

Останнім компонентом блок-схеми супергетеродинного FM-приймача, показаного на рисунку 2.7, є мережа деємфазису. Мережі акценту широко використовуються в FM-радіосистемах для зменшення ефекту шуму та спотворень.

У FM амплітуда модулюючого сигналу визначає девіацію частоти несучої. Амплітуда високочастотного модулюючого сигналу має тенденцію бути значно меншою, ніж амплітуда низькочастотного модулюючого сигналу. По суті, половина амплітуди модуляції означає половину девіації частоти. З цієї причини здатність FM-систем пригнічувати шум зменшується з більш високими частотами модуляції. Це ефективно знижує SNR високочастотних сигналів у FM модуляторі.

Щоб підвищити SNR високочастотних модулюючих сигналів, перед каскадом FM-модулятора на передавальному кінці бездротової FM-системи можна вставити мережу попереднього фокусування. Мережа попереднього акцентування – це фільтр високих частот, призначений для вирівнювання амплітуди модулюючого сигналу за девіацією.

Однак мережа попереднього акцентування спотворює вихідний модулюючий сигнал. Щоб відновити модулюючий сигнал на приймачі FM-системи, необхідна взаємна мережа зняття акцентів. Мережа деємфазису є фільтром низьких частот із тією ж постійною часом і частотою зрізу, що й мережа попереднього дефазування, і розміщується після демодулятора на кінці FM-приймача. Деякі довільні частотні характеристики мережі наголосу показані на рисунку 2.17.

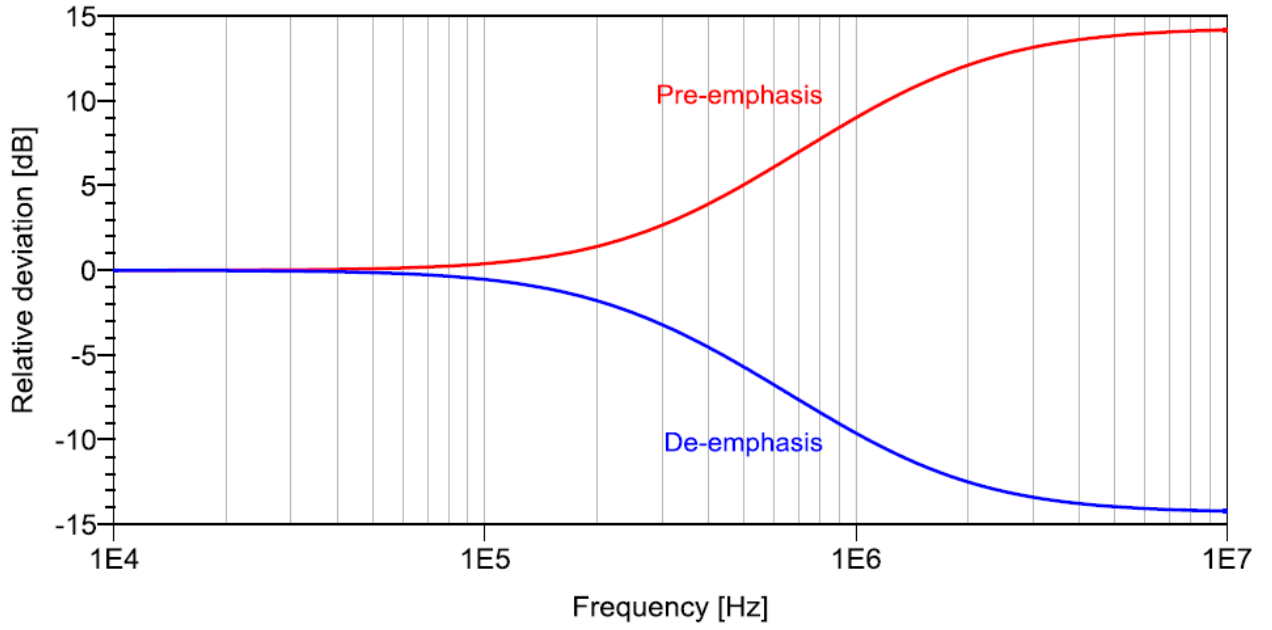


Рисунок 2.17 – Частотні характеристики довільних мереж попереднього та деємфазису

3 МЕТОДИ РОЗШИРЕННЯ СТАНДАРТНИХ ДІАПАЗОНІВ АНАЛОГОВИХ ПРИЙМАЧІВ ВІДЕОСИГНАЛУ

3.1 Збільшення ширини полоси приймача на частотному діапазоні 1,2 ГГц

Як зрозуміло зі структурної схеми приймача аналогового відеосигналу – для зміни діапазона приймання необхідно змінити дапазон підстроювання ФАПЧ.

Для проведення досліджень щодо зміни частоти приймання в діапазоні 1,2ГГц було прийнято рішення розібратися та внести корективи у тюнер на основі TA8804F та TA1322FN (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд тюнера на основі
TA8804F та TA1322FN

Цей тюнер має змогу приймати бездротові аналогові відеосигнали в діапазоні 1,2ГГц за замовчуванням і, як і будь який інший приймач, має в

своїй основі частотний демодулятор TA8804F та понижуючий перетворювач з PLL TA1322FN (рис. 3.2-3.3).

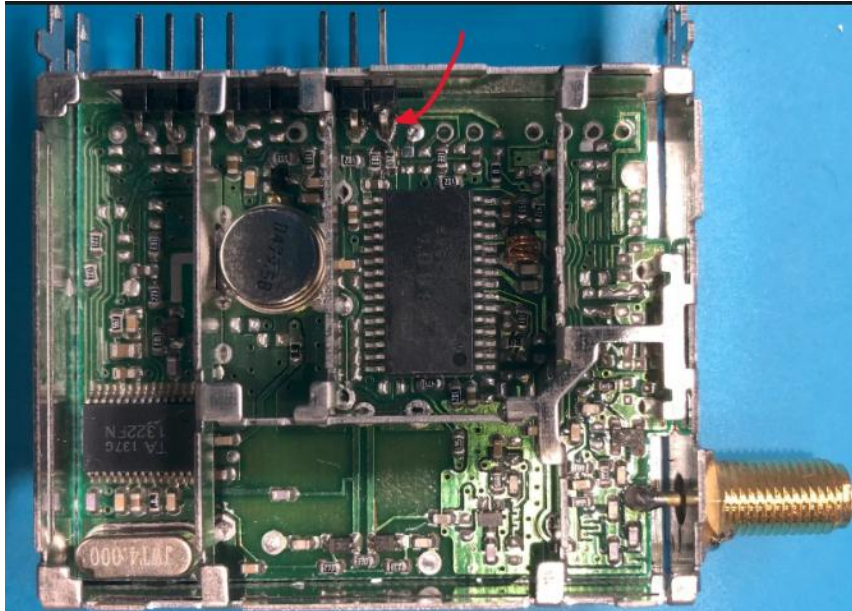


Рисунок 3.2 – Тюнер зі знятою кришкою

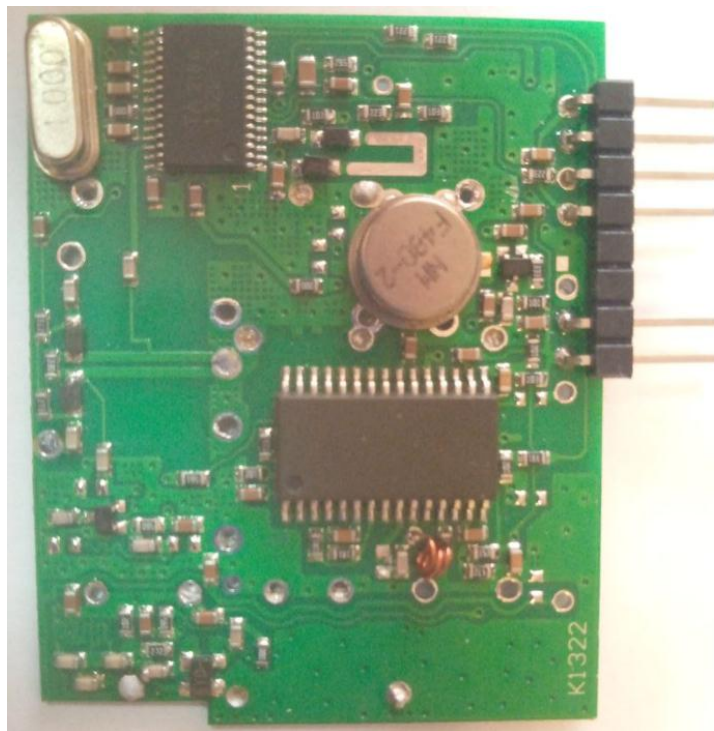


Рисунок 3.3 – Плата тюнеру після демонтажу металевого корпусу

Для практичного застосування методики розширення частоти прийому відеоприймача шляхом налаштування понижуючого перетворювача з PLL було проведено реверсінжиніринг цього тюнера (рис. 3.4-3.5).

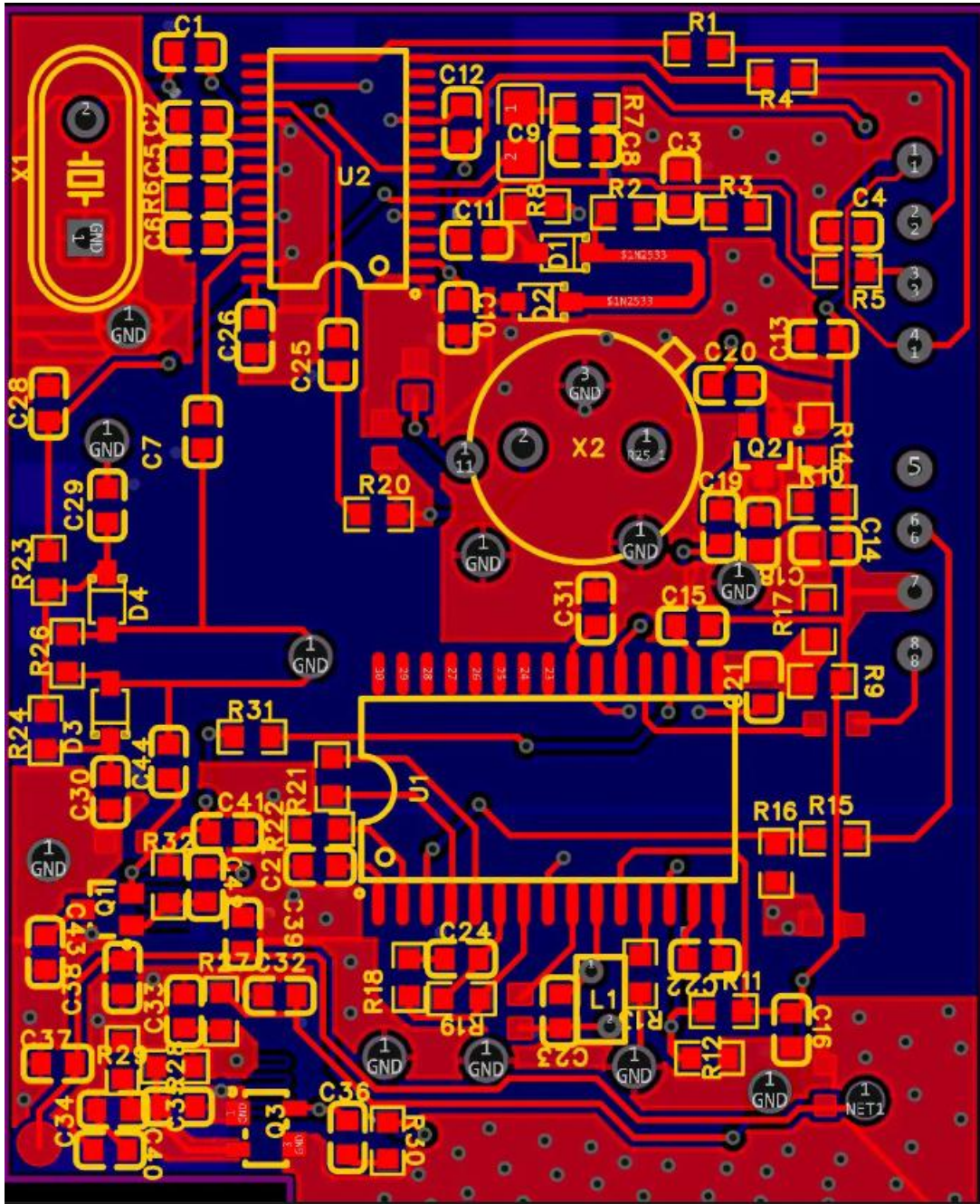


Рисунок 3.4 – Конструкція друкованої плати тюнера отримана після проведення реверс інжинірингу

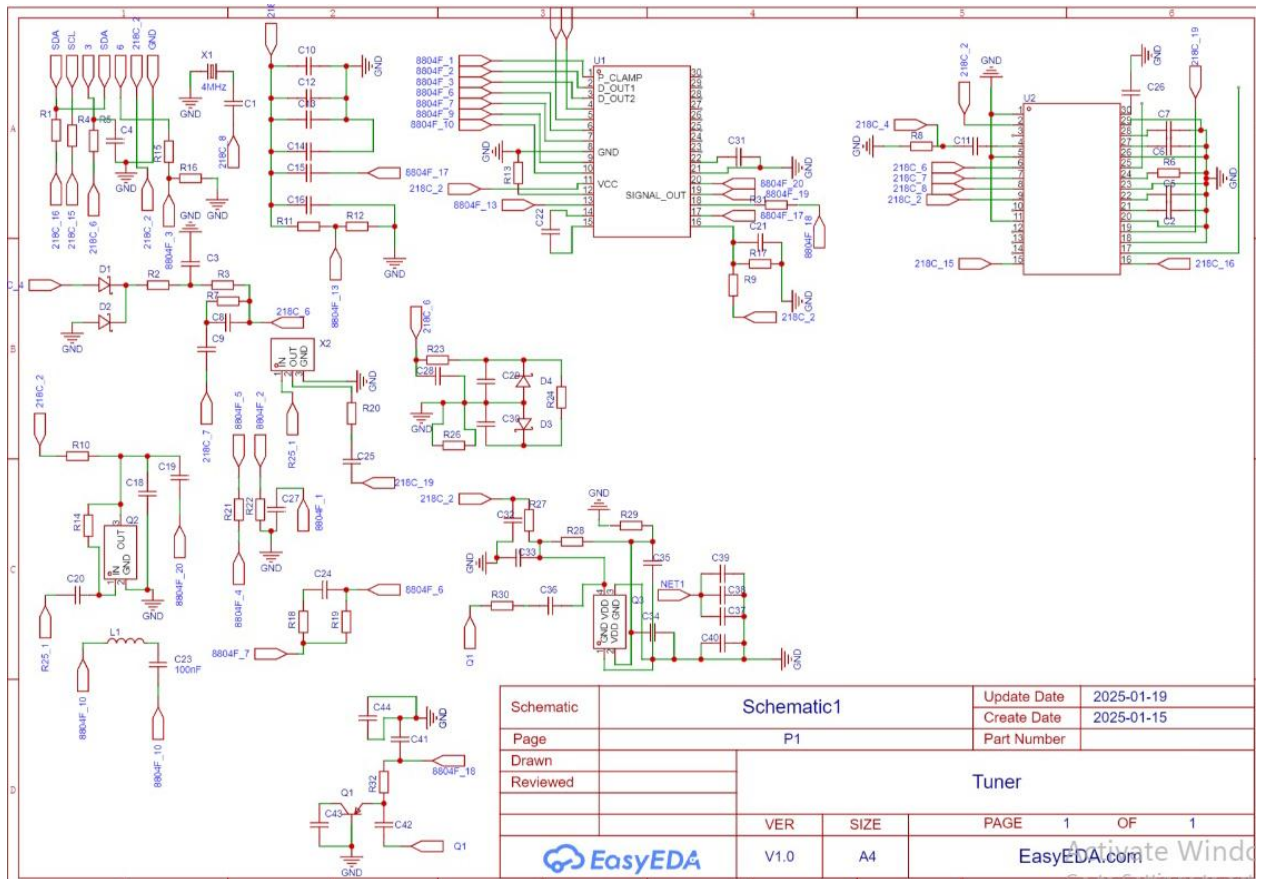


Рисунок 3.5 – Схема тюнера отримана після проведення реверс інжинірінгу

Як виявили попередній аналіз конструкції та проведений реверс інжинірінг основними елементами є саме дві мікросхеми TA8804F та TA1322FN.

TA8804F це мікросхема частотного демодулятора який працює на частоті 402,78 МГц для нас він не представляє цікавості адже не може вплинути на діапазон частот приймання відеосигналу.

Отже особливу увагу треба звернути на понижуючий перетворювач з PLL TA1322FN.

Після фільтрів на вхід TA1322FN поступає сигнал як наведено на рисунку 3.7.

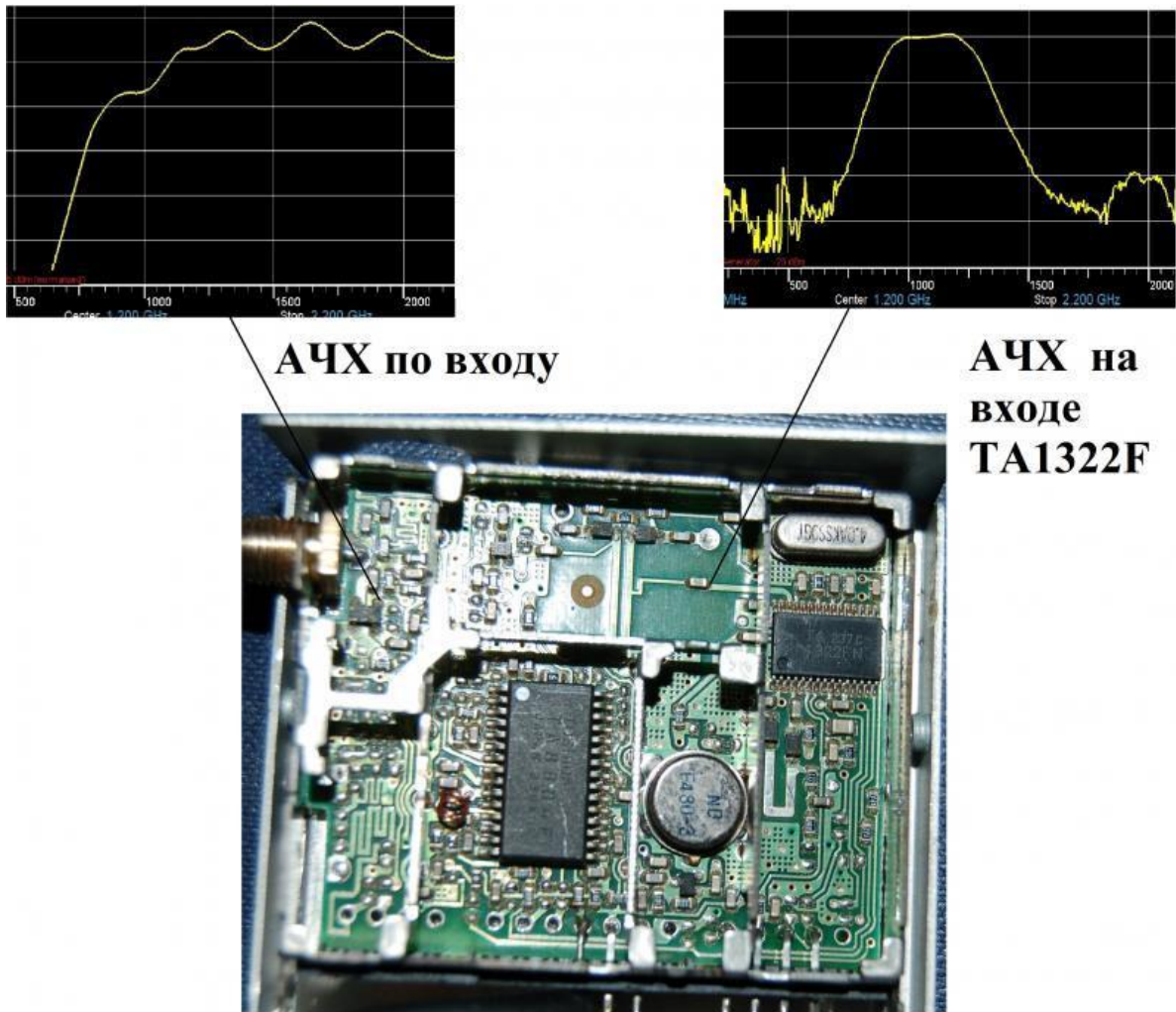


Рисунок 3.7 – АЧХ сигналів на вході тюнера та на вході TA1322FN

TA1322FN – широкосмуговий понижуючий перетворювач, який може працювати на входній частоті в діапазоні від 820 МГц до 2200 МГц. Ця мікросхема, призначена головним чином для використання в супутникових тюнерах, включає генератор, мікшер, підсилювач ПЧ і ФАПЧ (рис. 3.8).

I^2C використовується як формат керування даними.

Напруга живлення 5,0 В допомагає мінімізувати розсіювану потужність тюнера.

Характеристики TA1322FN:

- напруга живлення: 5,0 В;
- широкий діапазон входних частот;

- генератор з низьким фазовим шумом;
- стандартне керування форматом шини I²C;
- вихід буфера 4 МГц (X'tal);
- перемикач по входу опорного генератора (X'tal або зовнішній вхід);
- вбудований підсилювач високої напруги 33 В;
- вбудований компаратор (P4, P5, P7);
- транзистор керування смугою пропускання (P0 IBD = 40 мА);
- вибраний вихідний порт ПЧ;
- крок частоти: 62,5 кГц або 125 кГц (для X'tal 4 МГц);
- 4-адресне налаштування за допомогою селектора адреси;
- схема скидання живлення;
- x1/2 попередній дільник;
- плоский компактний корпус: SS0P30-P-300-0,65 (крок 0,65 мм).

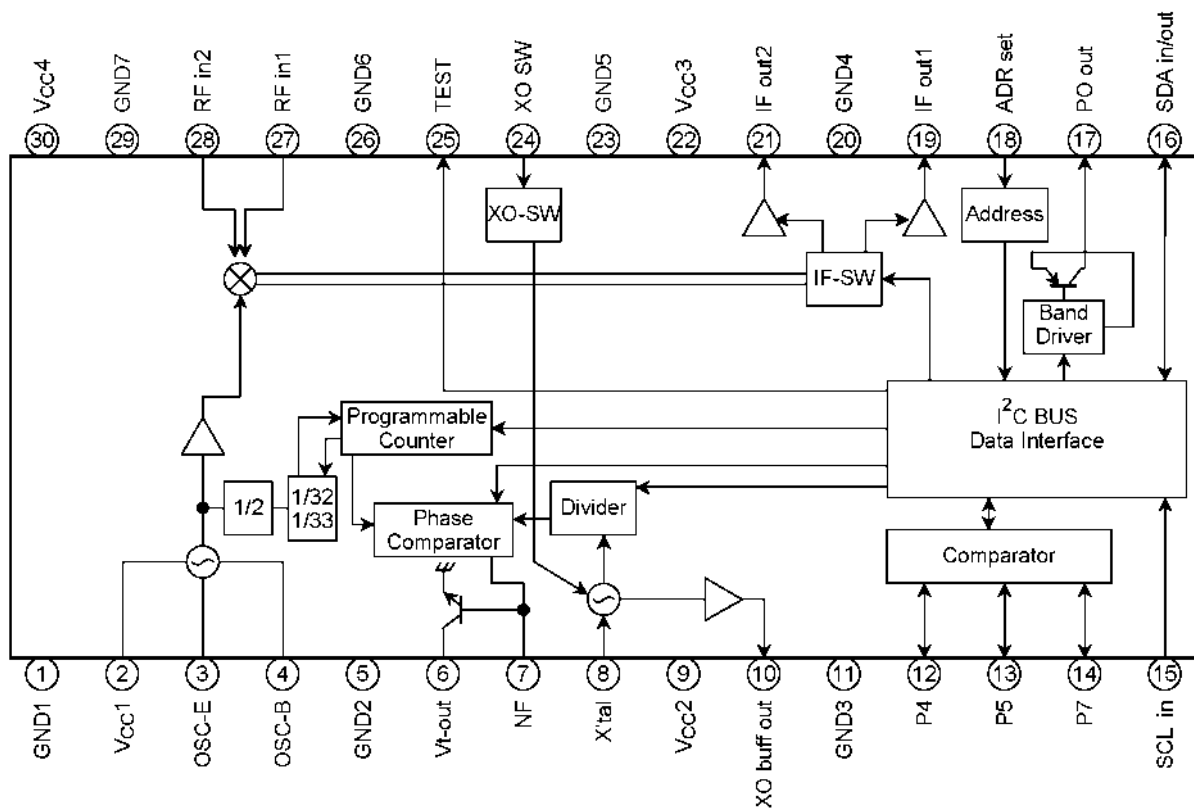


Рисунок 3.8 – Розташування та призначення контактів TA1322FN

Для керування роботою TA1322FN використовується шина I2C.

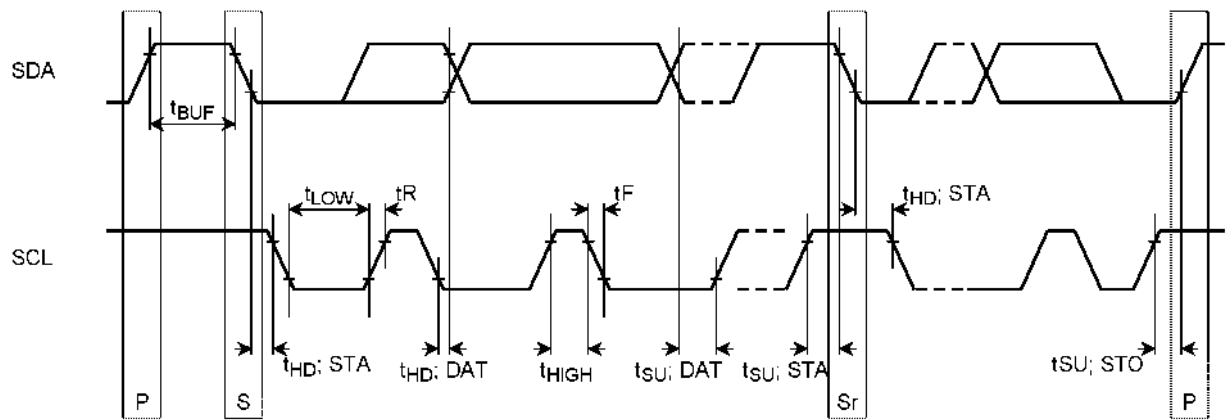


Рисунок 3.9 – Часова діаграма даних шини I2C
(синхронізація по висхідному фронту)

Тестові умови роботи TA1322FN згідно документації:

- пристрій конверсії: вхідний рівень РЧ = -40 дБмВт;
- коефіцієнт шуму: пряме значення вимірювача NF (вимірювання DSB);
- рівень вихідної потужності ПЧ: виміряний максимальний вихідний рівень ПЧ;
- 3-я інтермодуляція: f_d (вхідний рівень $f_d = -40$ дБмВт), $f_{ud} = f_d + 5$ МГц (вхідний рівень $f_{ud} = -40$ дБмВт).

Обчислення вихідної точки перетину ПЧ проводиться наступним чином:

$$IP3 = S / (N - 1) + P \text{ [дБмВт]}, \quad (3.1)$$

де S – рівень придушення;

$N=3$;

P – вихідний рівень ПЧ.

Зсув підсилення перетворення визначається як зміна підсилення перетворення, коли напруга живлення перевищує діапазони $V_{CC} = 5 \text{ В}$ до $4,5 \text{ В}$ або $V_{CC} = 5 \text{ В}$ до $5,5 \text{ В}$.

Зсув частоти визначається як зміна частоти генератора, коли напруга живлення перевищує діапазони $V_{CC1} = 5 \text{ В}$ до $4,5 \text{ В}$ або $V_{CC1} = 5 \text{ В}$ до $5,5 \text{ В}$.

I²S дозволяє двосторонній зв'язок по шині за допомогою режиму запису (для отримання даних) і режиму читання (для обробки даних про стан).

Режим запису або режим читання можна вибрати шляхом встановлення молодшого значущого біта (біт R/W) байта адреси. Якщо молодший біт адреси встановлений на 0, вибрано режим запису; якщо встановлено значення 1, вибрано режим читання.

Адреса може бути встановлена за допомогою апаратних бітів. Можна запрограмувати 4 програмовані адреси. Використовуючи цей параметр, можна використовувати декілька синтезаторів частоти на одній лінії шини I²S. Адресу для налаштування біта апаратного забезпечення можна вибрати шляхом подачі напруги на контакт налаштування адреси (вивід 18 ADR). Адреса вибирається відповідно до налаштування цих бітів.

Під час підтвердження отримання дійсного байта адреси рядок послідовних даних (SDA) має низький рівень.

Якщо наразі вибрано режим запису, коли байт даних запрограмовано, рядок послідовних даних (SDA) матиме низький рівень під час наступного підтвердження.

Коли вибрано режим запису, байт 1 містить дані адреси, байт 2 і байт 3 містять дані частоти, байт 4 містить налаштування коефіцієнта подільника та дані налаштування функції, а байт 5 містить дані вихідного порту.

Дані фіксуються та передаються в кінці байтів 3, байтів 4 і байтів 5.

Байт 2 і байт 3 фіксуються і передаються як пара байтів.

Після отримання та підтвердження правильної адреси можна визначити тип даних, прочитавши перший біт наступного байта. Тобто, якщо перший біт дорівнює 0, дані є частотними; якщо він дорівнює 1, це дані налаштування функції або вихідні дані діапазону.

Додаткові дані можуть бути введені без необхідності повторно передавати дані адреси, доки не буде виявлено стан СТОП шини I²C (наприклад, можлива розгортка частоти з використанням додаткових даних частоти).

Якщо передачу даних перервано, дані, запрограмовані до переривання, залишаються дійсними.

Дані адреси для байта 1 можна встановити за допомогою апаратного біту.

Апаратний біт можна встановити шляхом подачі напруги на контакт для встановлення адреси (ADR: контакт 18).

Байт 2, байт 3 керують коефіцієнтом 15-бітного програмованого лічильника та зберігаються в 15-бітному регістрі зсуву разом із даними лічильника налаштування частоти.

Частоту програми можна розрахувати за такою формулою:

$$f_{osc} = 2 \times f_r \times N, \quad (3.2)$$

де f_{osc} – частота прийому;

f_r – опорна частота фазового компаратора;

N – Коефіцієнт загального дільника лічильника.

Опорна частота фазового компаратора f_r обчислюється на основі частоти кристалічного генератора та коефіцієнта дільника опорної частоти, встановленого в байті 4 (контрольний байт):

$$f_r = X'tal \text{ частота осцилятора/відношення опорного дільника} \quad (3.3)$$

Коефіцієнт подільника опорної частоти можна встановити на $1/64$ або $1/128$.

Коли використовується кристалічний генератор 4 МГц , $f_r = 62,5 \text{ кГц}$ або $31,25 \text{ кГц}$. Відповідні крокові частоти становлять 125 кГц і $62,5 \text{ кГц}$.

Байт 4 є керуючим байтом, який використовується для встановлення функції. Біт 2 (CP) керує вихідним струмом схеми заряджання.

Коли біт 2 встановлено в 0, вихідний струм встановлено на $\pm 50 \text{ мА}$; коли встановлено значення 1 – вихідний струм встановлено на $\pm 240 \text{ мА}$.

Біт 3 (T1) використовується для встановлення тестового режиму. Коли біт 3 встановлено в 0, звичайний режим, а коли встановлено 1, тестовий режим.

Біт 4 (T0) використовується для налаштування насоса заряду. Коли біт 4 встановлено в 0, зарядний насос увімкнено (нормально використовується); Якщо встановлено значення 1, зарядний насос вимкнено.

Біт 5 (TS2) і біт 6 (TS1) використовуються для встановлення тестового режиму. Вони використовуються для встановлення тесту накачування заряду, вихідного опорного сигналу фазового компаратора та коефіцієнтів дільника лічильника $1/2$.

Біт 7 (TS0) використовується для встановлення $X'tal$ опорного коефіцієнта дільника частоти. Коли біт 7 встановлено в 0, $1/128$ (крок частоти $62,5 \text{ кГц}$), а коли встановлено значення 1, $1/64$ (крок частоти становить 125 кГц).

Біт 8 (OS) використовується для налаштування вихідного параметра підсилювача приводу насоса заряду. Коли біт 8 встановлено в 0, вихід увімкнено (нормальний режим), якщо встановлено значення 1, вихід вимкнено.

Байт 5 може бути використаний для налаштування керування вихідним портом.

Біт 1 (P7), біт 3 (P5) і біт 4 (P4) використовуються для керування вихідним портом P7, P5 і P4.

Біт 2 (P6) використовується для керування вихідним портом зміни ПЧ. Коли біт 2 встановлено в 0, увімкнено вихід ПЧ 1 на контакт 19, коли встановлено значення 1, увімкнено вихід ПЧ 1 на контакт 21.

Біт 8 (P0) використовується для керування вихідним портом діапазону (P0). Коли біт 8 встановлено в 0, P0 вимкнено; коли встановлено значення 1, P0 увімкнено. (P0) вихідний порт може працювати на менш ніж 40 мА.

Коли встановлено режим READ, стан операції скидання під час увімкнення живлення, стан виходу детектора блокування фазового компаратора, стан вхідної напруги компаратора виводяться на головний пристрій (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Формат даних. Режим запису

| | | MSB | | | | | | | LSB | |
|---|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------|------------|
| 1 | Байт адреси | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | MA1 | MA0 | R/W = 0 | ACK |
| 2 | Байт дільника 1 | 0 | N14 | N13 | N12 | N11 | N10 | N9 | N8 | ACK |
| 3 | Байт дільника 2 | N7 | N6 | N5 | N4 | N3 | N2 | N1 | N0 | ACK (L) |
| 4 | Контрольний байт | 1 | CP | T1 | T0 | TS2 | TS1 | TS0 | OC | ACK (L) |
| 5 | Band SW Байт | P7 | P6 | P5 | P4 | × | × | × | P0 | ACK (L) |

Біт 1 (POR) вказує на стан операції скидання під час увімкнення живлення. Коли живлення V_{CC2} припиняється, біт встановлюється на [1]. Умова для скидання до 0, напруга, що подається на V_{CC2} , становить 3 В або

вище, передача запитується в режимі READ, і статус виводиться. (коли V_{CC2} увімкнено, біт 1 також встановлюється в 1).

Біт 2 (FL) вказує на стан блокування фазового компаратора. Коли заблоковано, виводиться 1, коли розблоковано, виводиться 0.

Біт 3 (IP7), біт 4 (IP5) і біт 5 (IP4) вказують стан вхідного компаратора. Статус високого рівня виводиться 1, статус низького рівня виводиться 0. Коли напруга прикладена від 0 В до 1,5 В, вихід 0. Коли від 2,7 В до 6 В, вихід 1 (табл. 3.2-3.3).

Таблиця 3.2 – Формат даних. Режим читання

| | | MSB | | | | | | | LSB | |
|---|-------------|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|------------|-----|
| 1 | Байт адреси | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | MA1 | MA0 | R/W = 1 | ACK |
| 2 | Байт стану | POR | FL | IP7 | IP5 | IP4 | 1 | 1 | 1 | — |

Таблиця 3.3 – Специфікації даних. MA1 і MA0 – біти програмованої апаратної адреси

| MA1 | MA0 | Напруга, що подається на контакт адреси |
|-----|-----|---|
| 0 | 0 | Від 0 до 0,1 V_{CC2} |
| 0 | 1 | OPEN або від 0 до V_{CC2} |
| 1 | 0 | Від 0,4 V_{CC2} до 0,6 V_{CC2} |
| 1 | 1 | Від 0,9 V_{CC2} до V_{CC2} |

N14-N0: програмовані дані лічильника.

CP: налаштування вихідного струму зарядного насоса (0: ± 50 мкА, 1: ± 240 мкА).

T1: налаштування тестового режиму (0: нормальний режим, 1: тестовий режим).

T0: налаштування зарядного насоса (0: зарядний насос увімкнено, 1: зарядний насос вимкнено) (табл.3.4-3.5).

Таблиця 3.4 – TS0: Біти вибору коефіцієнта дільника опорної частоти X'tal

| TS0 | Коефіцієнт дільника | Частота кроку | fr |
|-----|---------------------|---------------|-----------|
| 0 | 1/128 | 62,5 кГц | 31,25 кГц |
| 1 | 1/64 | 125 кГц | 62,5 кГц |

Таблиця 3.5 – T1, TS2, TS1, TS0: тестовий режим

| Хар-ки | | T1 | TS2 | TS1 | TS0 | Коеф. діл-ка | Примітки |
|---------------------------------|----------|----|-----|-----|-----|--------------|--|
| Нормальна робота | | 0 | X | X | 0 | 1/128 | — |
| Нормальна робота | | 0 | X | X | 1 | 1/64 | — |
| Зарядний насос | Раковина | 1 | 1 | 0 | 0 | 1/128 | — |
| | Джерело | 1 | 1 | 0 | 1 | 1/64 | — |
| Вихідний порт ВИМКНЕНО | | 1 | 1 | 1 | 0 | 1/128 | P7, P5, P4 ВИМК |
| Перевірка фазового компаратора | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1/64 | SDA: Вхід порівняльного сигналу SCL: Вхід опорного сигналу |
| Вихід лічильника дільника X'tal | | 1 | 0 | 0 | 0 | 1/128 | Вихід на контакт 25 (ТЕСТ) |
| | | 1 | 0 | 0 | 1 | 1/64 | |
| Вихід дільника лічильника 1/2 | | 1 | 0 | 1 | 0 | 1/128 | Вихід на контакт 25 (ТЕСТ) |
| | | 1 | 0 | 1 | 1 | 1/64 | |

У тестовому режимі необхідна OS = 0 (налаштування ON). Під час перевірки виходу дільника лічильника необхідний програмований вхід даних лічильника.

OS: налаштування керування підсилювачем налаштування (0: підсилювач настройки ввімкнено, 1: настроювальний підсилювач вимкнено).

P4, P5, P7: вихідний порт (0: вимкнено, 1: увімкнено) (табл. 3.6).

Таблиця 3.6 – P6: перемикання вихідного порту IF (ПЧ)

| P6 | Вихідний порт |
|----|-----------------------------------|
| 0 | IF вихід 1 (контакт 19) увімкнено |
| 1 | IF вихід 2 (контакт 21) увімкнено |

P0: смуговий вихід (0 :вимкнено, 1 :увімкнено). Це може бути керовано менше ніж 40 мА.

POR: позначка скидання під час увімкнення (0 : нормальна робота, 1: операція скидання).

FL: прапор виявлення блокування (0: розблоковано, 1: заблоковано).

IP4, IP5, IP7: вихід компаратора (0: напруга живлення від 0 В до 1,5 В, 1: напруга живлення від 2,7 В до 6 В).

Формат керування шиною TA1322FN відповідає формату керування Philips I²C-bus.

На рисунку 3.10 зображено формат передачі даних Philips I²C-bus.

Для керування зміною частоти TA1322FN було написано бібліотеку, що дозволяє проводити керувати частотою прийому тюнера.

Перевірка роботи була здійснена шляхом переналаштування передавача аналогового відеосигналу від 1080 МГц до 1650 МГц.

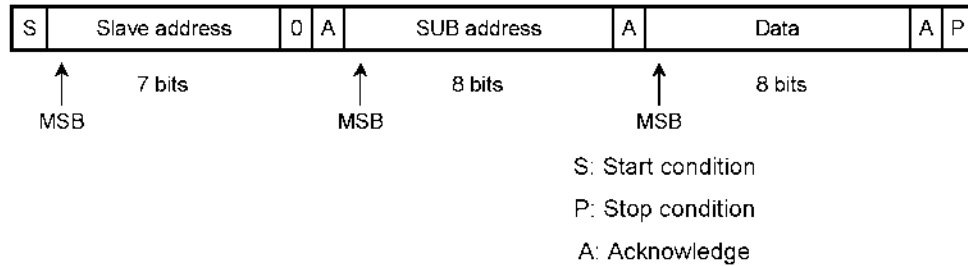


Рисунок 3.10 – Формат передачі даних Philips I²C-bus

3.2 Збільшення ширини полоси приймача на частотному діапазоні 5,8 ГГц

З частотною полосою діапазона 5,8 ГГц ситуація була складнішою, бо рішень на розподілених елементах знайти на ринку не вийшло. Однак аналіз документації мікросхеми RTC6715, що використовується в більшості стандартних приймачів аналогового відео показав, що апаратно цей чіп може покривати діапазон 4850 МГц-6050МГц, а в стандартних приймачах він обмежений фіксованою кількістю каналів.

В якості базового приймача для модернізації шляхом збільшення полоси приймання було обрано найпопулярніший модуль RX5808 (рис. 3.11).

Було зроблено аналіз схемотехніки цього модуля і виявлено, що стандартні приймачі блокують можливість переналаштування частоти по шині SPI шляхом встановлення 1 на контакт SPI_SE (рис. 3.12).



Рисунок 3.11 – Зовнішній вигляд модулю RX5808



Рисунок 3.12 – Схемотехніка модуля RX5808

Просто випаювання резистору біля відповідного контакту SPI_SE мікросхеми RTC6715 дає змогу керувати не лише фіксованими каналами приймання, а й переналаштовувати частоту задаючи її шляхом запису у службові регістри синтезатору (рис. 3.13).

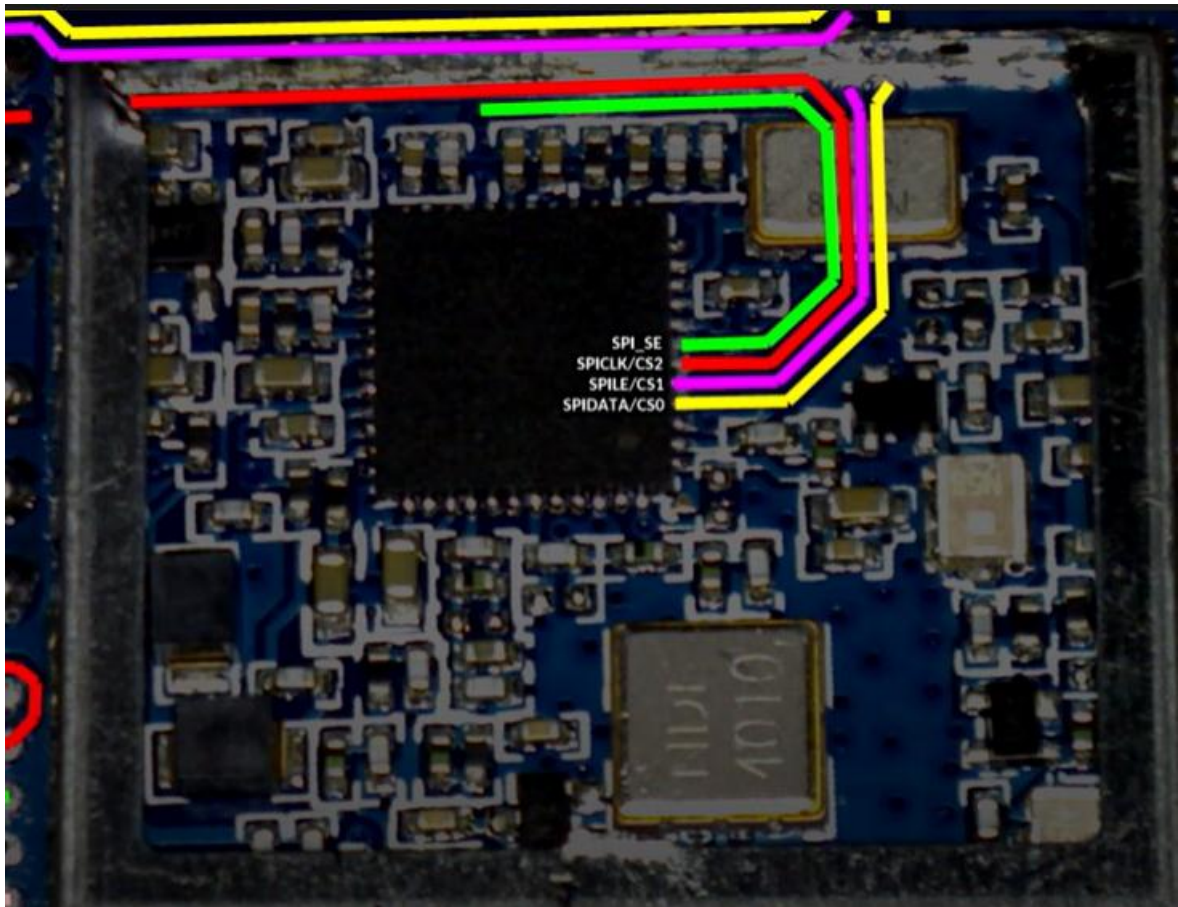


Рисунок 3.13 – Контакти шини SPI модуля RX5808

Отже основним нашим завданням для збільшення діапазону приймання в області частот 5,8ГГц було вивчення особливостей програмування мікросхеми RTC6715 та написання бібліотеки для зміни частот.

RTC6715 – це високоінтегрований FM-приймач, призначений для застосування в FM-демодуляції діапазону 5,8 ГГц. Ця мікросхема містить підсилювач із низьким рівнем шуму, мікшер, підсилювач ПЧ, FM-демодулятор, АРП, аудіодемодулятори, аудіопідсилювачі та шумозаглушник. За допомогою вихідної напруги RSSI можна контролювати миттєву силу радіосигналу. RTC6715 може демодулювати FM-модульоване відео та стереоаудіосигнали, отримані з RTC6705, і відокремлювати потрібний сигнал на виділених вихідних контактах. На чіпі доступні програми як стерео, так і моно.

Робочу частоту RTC6715 можна встановити за допомогою програмування SPI або шляхом вибору шести виділених контактів. Норми CE і FCC легко виконати, використовуючи RTC6715 зі схемою застосування та корпусом для екранування.

Особливості:

- одне джерело живлення 3,3 В;
- FM-демодулятор діапазону 5,8 ГГц з двома демодуляторами аудіопіднесучої на 6 МГц/6,5 МГц;
- висока чутливість -85дБм;
- прості шість цифрових контактів, які встановлюють 24 фіксовані канали для усунення використання зовнішнього мікроконтролера;
- індикатор потужності радіозв'язку (RSSI);
- жорстке вимкнення звуку шумозаглушенням;
- технологія CMOS однокристальна з вбудованим VCO та PLL;
- 48-контактний корпус Leadless QFN відповідає RoHS.

У режимі SPI (SPI_SE = 1) 3-провідний інтерфейс SPI використовується для налаштування частоти, а також внутрішніх регістрів. Послідовність даних 3-провідного SPI показана на наступному малюнку. Цей 25-бітний потік даних складається з 4 бітів адреси, 1 біта керування читанням/записом і 20 бітів даних. Передача даних – LSB спочатку.

Під час циклу запису (R/W = 1) чіп буде дискретизувати SPIDATA по наростаючому фронту SPICLK. Вибрані дані будуть тимчасово зберігатися у внутрішньому регістрі зсуву. На передньому фронті SPILE дані в регістрі зсуву будуть зафіксовані в певному регістрі відповідно до адреси (рис. 3.14).

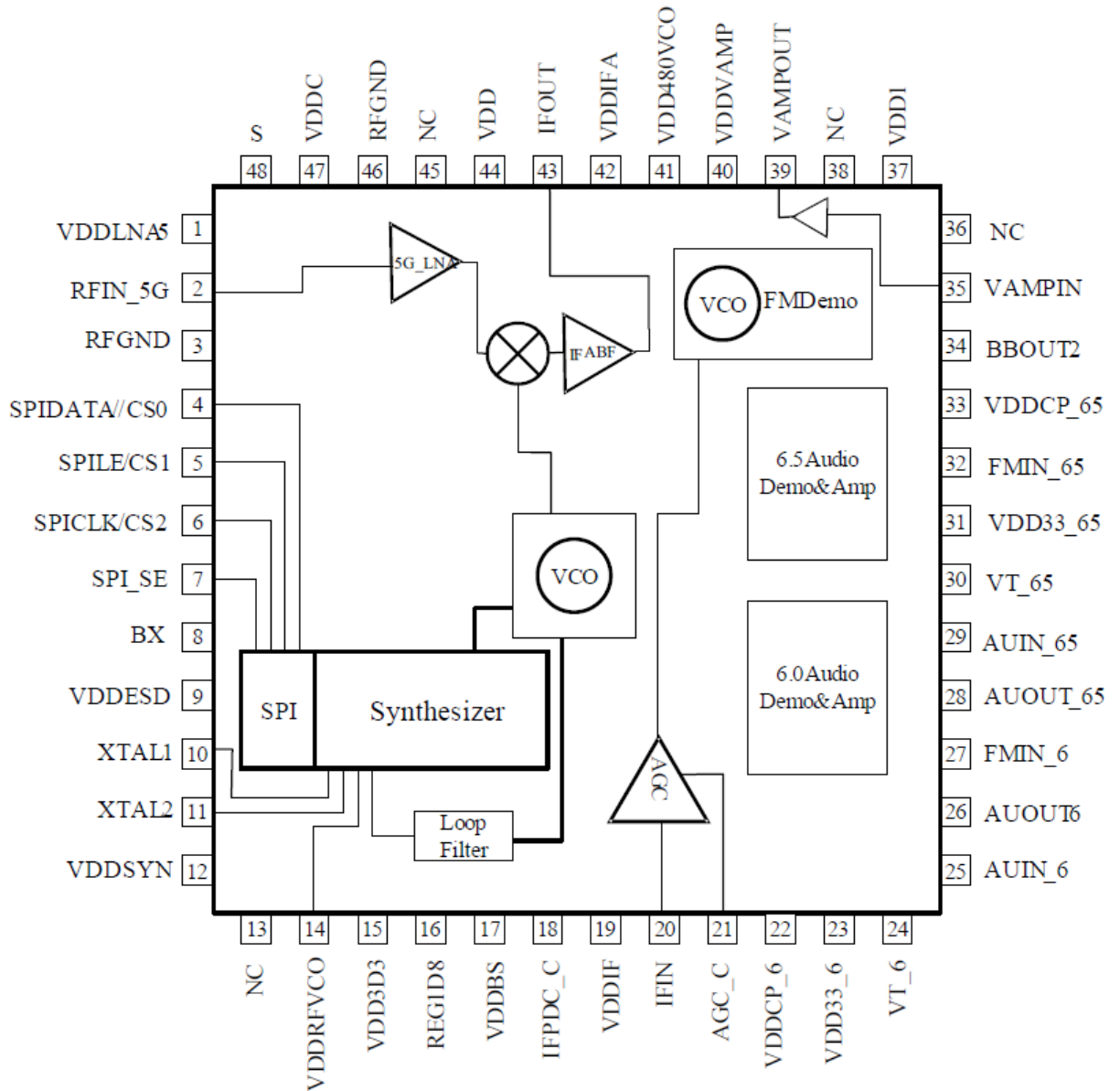


Рисунок 3.14 – Блоксхема мікросхеми RTC6715

Під час циклу читання ($R/W = 0$) адреса та біт керування читанням/записом дискретизуються за наростаючим фронтом SPICLK, але біти даних надсилаються за спадним фронтом SPICLK (рис. 3.15).

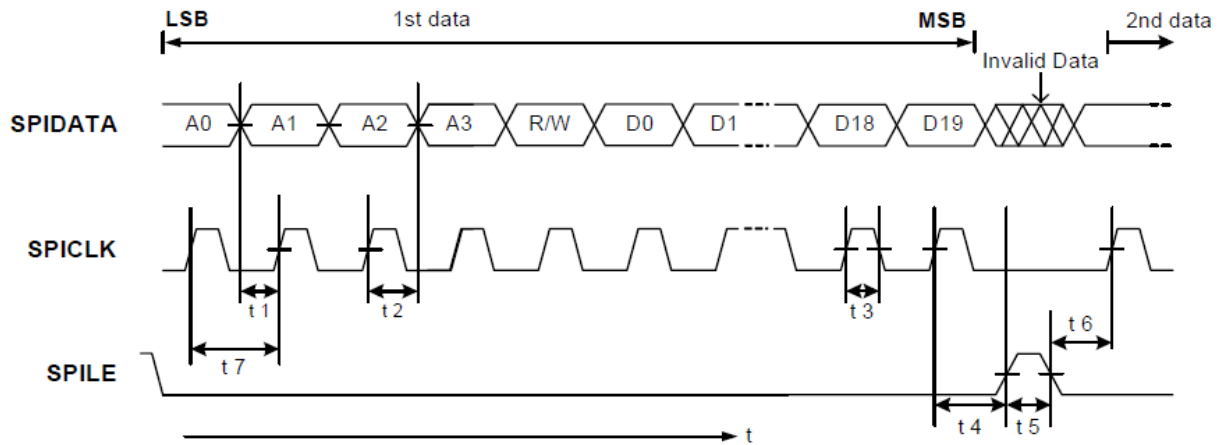


Рисунок 3.15 – Послідовність даних серії на інтерфейсі SPI RTC6715

Коли на виводі 7 (SPI_SE) встановлено низьку напругу, мікросхема працює як у режимі легкого вибору каналу, а на виводах 4 (SPIDATA/CS0), 5 (SPILE/CS1), 6 (SPICLK/CS2) – 48 (S) і 8(BX) використовуються для вибору каналу. Частоти каналів наведено у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Частоти фіксованих каналів RTC6715

| Група | BX | C | CS[2:0] | | | | | | | |
|-------|----|---|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | | 000 | 001 | 010 | 011 | 100 | 101 | 110 | 111 |
| A | 0 | 0 | 5865 | 5845 | 5825 | 5805 | 5785 | 5765 | 5745 | 5725 |
| B | 0 | 1 | 5733 | 5752 | 5771 | 5790 | 5809 | 5828 | 5847 | 5866 |
| E | 1 | X | 5705 | 5685 | 5665 | 5645 | 5885 | 5905 | 5925 | 5945 |
| SPI | X | X | три провідні контакти управління SPI | | | | | | | |

Коли контакт 7 (SPI_SE) встановлено на високий рівень (3,3 В), мікросхема працює як у режимі SPI, а контакти 4 (SPIDATA/CS0), 5 (SPILE/CS1) і 6 (SPICLK/CS2) використовуються для для 3-провідного програмування по шині SPI (табл. 3.8).

Таблиця 3.8 – Адреса 0x00: Регістр синтезатора А

| Біти | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
|-----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ім'я | - | | | | | | | | | | SYN_RF_R_REG [14:0] | | | | | | | | | |
| 5ГГц за замовчуванням | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |

SYN_RF_R_REG [14:0]: За замовчуванням 5,8 ГГц: 0010.

Контроль співвідношення дільника R-лічильника для ВЧ-синтезатора.

Для 5,8 ГГц за замовчуванням: 00008H.

Кристалічний годинник (Fosc)=: 8 МГц.

Еталонний годинник=кристалічний годинник/R-лічильник = 8 МГц/8=1 МГц (табл. 3.9).

Таблиця 3.9 – Адреса 0x01: Регістр В синтезатора

| Біти | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
|-----------------------|---------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|--------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| Ім'я | SYN_RF_N_REG [12:0] | | | | | | | | | | | | SYN_RF_A_REG [6:0] | | | | | | | |
| 5ГГц за замовчуванням | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |

За замовчуванням 5,8 ГГц: 02A05H.

Налаштування лічильника синтезатора за замовчуванням (діапазон 5,8 ГГц: 5865 МГц).

Для діапазону 5,8 ГГц $F_{LO} = 2*(N*32+A)*(F_{osc}/R)$.

Приклад: за замовчуванням $F_{RF} = 5865$ МГц, $F_{LO} = 5865 - 479 = 5386$ МГц,
 $F_{osc} = 8$ МГц, $R = 8$

$$5386/2 = (N*32+A)*8 \text{ МГц}/8$$

$$N = 84 (=1010100), A = 5 (=0101)$$

Для 5,8 ГГц за замовчуванням: 02A05H

При значенні [0x00]= 00008H [0x01]=02A05H:

$$R = 8$$

$$N = 0054H \text{ або } 84$$

$$A = 05H \text{ або } 5$$

$$F_{LO} = 2*(N*32+A)*(F_{osc}/R) = 2*(84*32+5)*(8/8) = 5386 \text{ МГц}$$

$$IF_Freq = 479 \text{ МГц (проміжна частота згідно табл.3.10)}$$

$$F = F_{LO} + IF_Freq = 5386 + 479 = 5865 \text{ МГц.}$$

Таблиця 3.10 – Опис змінних регістра В синтезатора

| | |
|-------------------------|--|
| SYN_RF_N_REG [12:0]: | Контроль співвідношення дільника лічильника N для радіочастотного синтезатора (змінна N в формулі) |
| SYN_RF_A_REG [6:0]: | Контроль співвідношення дільника лічильника для радіочастотного синтезатора (змінна A в формулі) |

На базі аналізу документації було створено бібліотеку для керування частотами приймача та перевірено шляхом приймання сигналів від передавача X діапазону (4960 МГц) та стандартного передавача на 5,8ГГц (5865 МГц).

```
uint32_t data = (((f - 479) / 2) / 32) << 7 | (((f - 479) / 2) % 32);
```

```
uint32_t newRegisterData = SYNTHESIZER_REG_B |  
(RX5808_WRITE_CTRL_BIT << 4) | (data << 5);
```

```
uint32_t    currentRegisterData    =    SYNTHESIZER_REG_B    |  
(RX5808_WRITE_CTRL_BIT            <<            4)            |  
rtc6705readRegister(SYNTHESIZER_REG_B);
```

4 РОЗРОБКА СКАНУЮЧОГО ПРИЙМАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ З РОЗШИРЕНИМИ ДІАПАЗОНАМИ ДЛЯ ПРИМАННЯ ТА ВІДОБРАЖЕННЯ БЕЗДРОТОВОГО АНАЛОГОВОГО ВІДЕО

4.1 Розробка схеми скануючого приймального пристрою

Для повноцінної перевірки та подальшого практичного використання запропонованих методів розширення діапазонів роботи аналогових приймачів було проведено розробку скануючого пристрою, що дозволить проводити аналіз радіочастотного діапазону для виявлення в ньому аналогового відео з подальшим виведенням цього відео на дисплей.

Оскільки ми маємо можливість переналаштування приймальних модулів для організації сканування нам необхідно використати мікроконтролер який буде подавати відповідні команди мікросхемам TA1322FN та RTC6715 по шинам I2C та SPI відповідно перебираючи частоти які вони можуть покривати апаратно.

У якості мікроконтролеру було обрано модуль ESP32-WROOM оскільки він має вбудований WiFi протокол для можливості віддаленого оновлення програмного забезпечення та керування, має достатню кількість пам'яті та можливості програмування на мовах високого рівня.

На етапі проектування скануючого пристрою було прийнято рішення використовувати не окремі мікросхеми, а цілком приймальні модулі (тюнер та RX5808 відповідно на розширені діапазони 1,2ГГц та 5,8ГГц) (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Модуль ESP32-WROOM

Для відображення рівнів сигналів та іншої службової інформації використовується маленький графічний індикатор (рис. 4.2).



Рисунок 4.2 – Маленький екран для виведення службової інформації

Для відображення прийнятого або перехопленого відео використовується великий графічний індикатор з діагоналлю 4,3 дюймів (рис. 4.3) та драйвер до нього (рис. 4.4).



Рисунок 4.3 – Дисплей для виведення відео

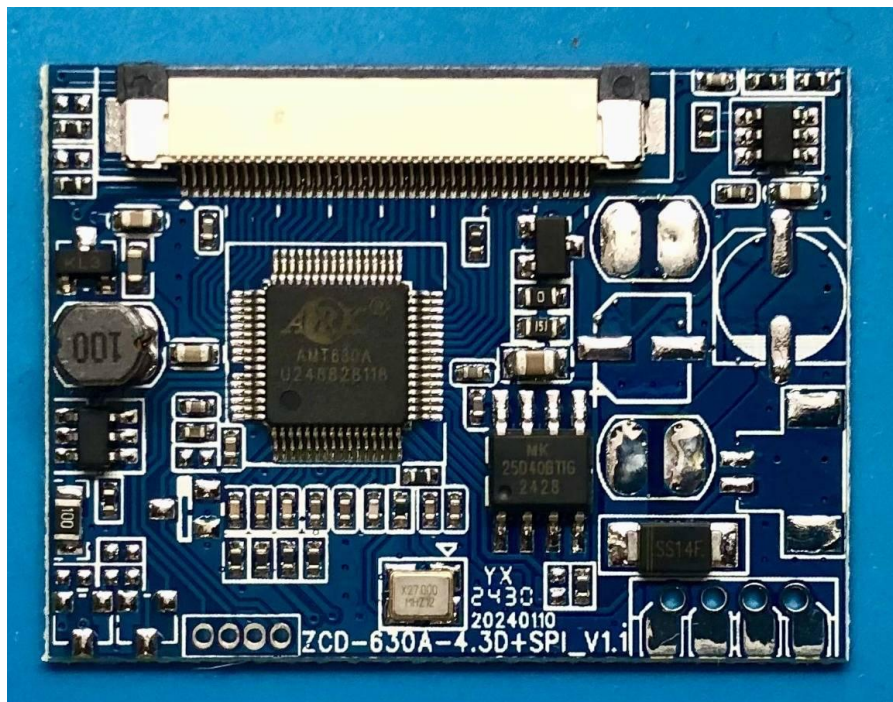


Рисунок 4.4 – Драйвер дисплею для виведення відео

Під час проектування була розроблена схема, що наведена на рисунках 4.5-4.11.

Модуль ESP32-WROOM відправляє сигнали переналаштування частоти на приймальні модулі. Також мікропроцесорний модуль аналізує рівень сигналів на контактах RSSI і у разі виявлення сильних сигналів виводить значення на службовий маленький дисплей і декодоване зображення на великий дисплей.

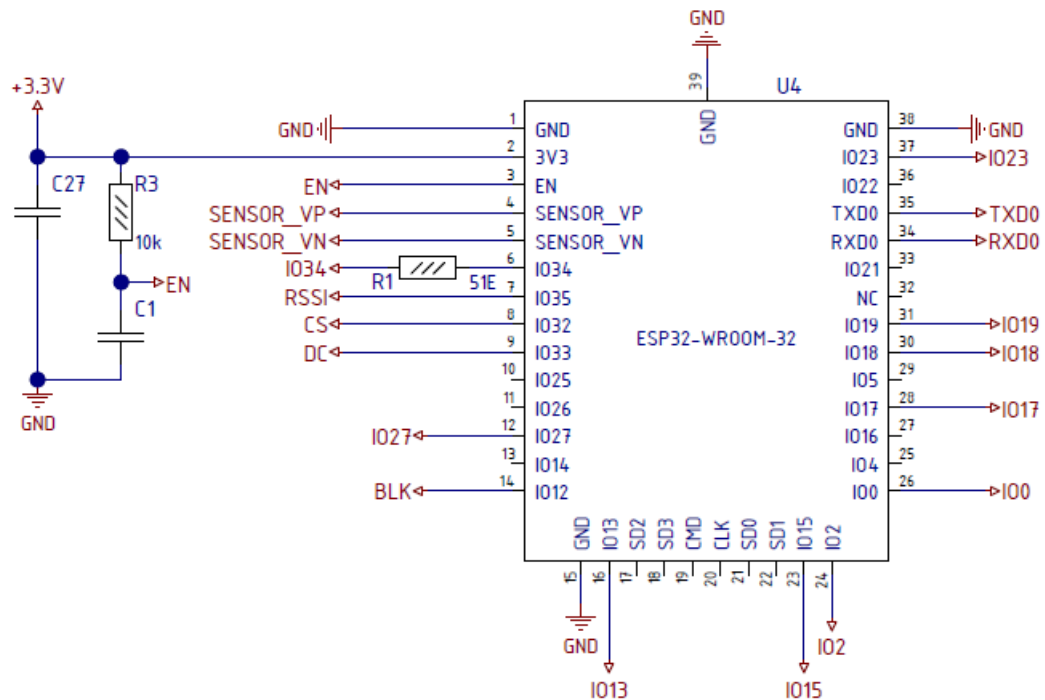


Рисунок 4.5 – Модуль ESP32-WROOM з контактами для керування на схемі скануючого пристрою

Для керування передбачені 3 кнопки – 2 на перелистування знайдених частот виведених на службовому екрані і 1 для виведення або ховання зображення на великому дисплеї. Також передбачена звукова індикація знаходження відеосигналу під час сканування – для цього на схемі передбачено буюер (рис. 4.6).

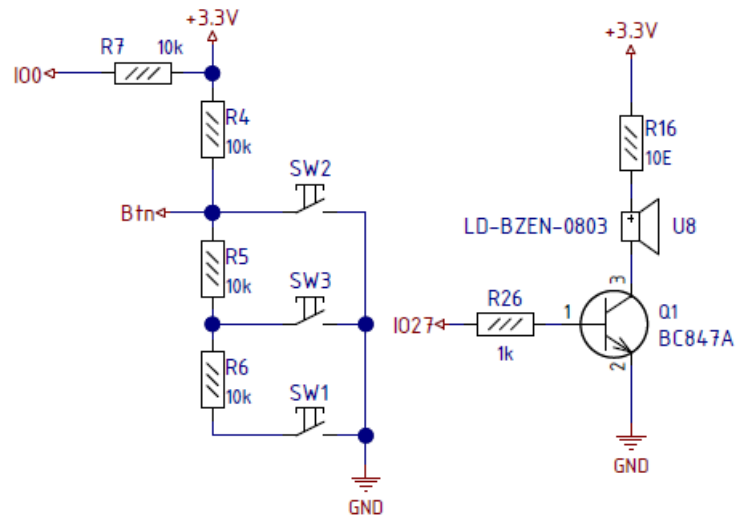


Рисунок 4.6 – Схема кнопок керування та звукового сповіщувача

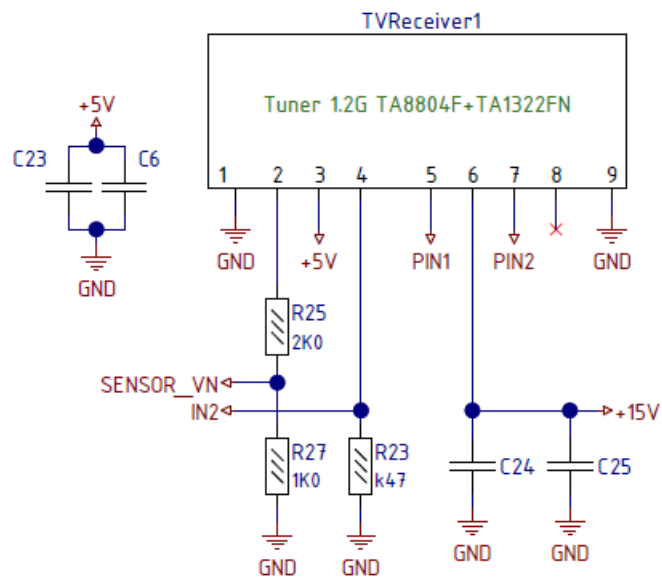


Рисунок 4.7 – Схема приєднання тюнера 1,2 ГГц

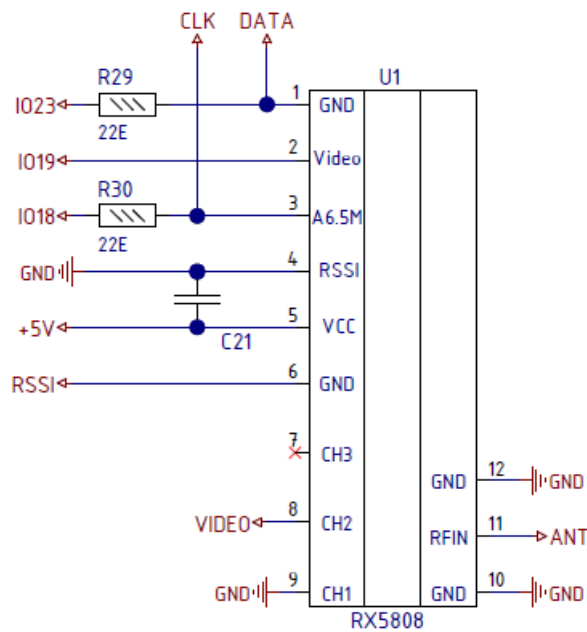


Рисунок 4.8 – Схема приєднання модуля RX5808

Оскільки використовується відразу 2 приймальних модуля було реалізовано схему комутації між ними. Схема виконана на підсилювачі відеосигналу THS7374 та комутаторі 74LVC4066 (рис. 4.9).

Мікроконтролер при виявленні сильного сигналу для виводу зображення на дисплей проводить комутацію відеовихода відповідного приймального модуля на вхід дисплею подачею керуючих сигналів на 74LVC4066.

Для приймання на частотах більше 1300 МГц мікросхемою TA1322FN на контакт Vcc2 необхідно подавати напругу, що більша за 5В згідно з документацією. Тому для того щоб реалізувати ці значення напруги необхідно було реалізувати підвищуючий перетворювач постійної напруги з 5 до 15В на мікросхемі TPS61085 (рис. 4.10).

Оскільки прилад передбачається як портативний було прийнято рішення заживлювати його від акумулятора з напругою 3,7В. Для обслуговування акумулятору було розроблено схему наведену на рисунку 4.11.

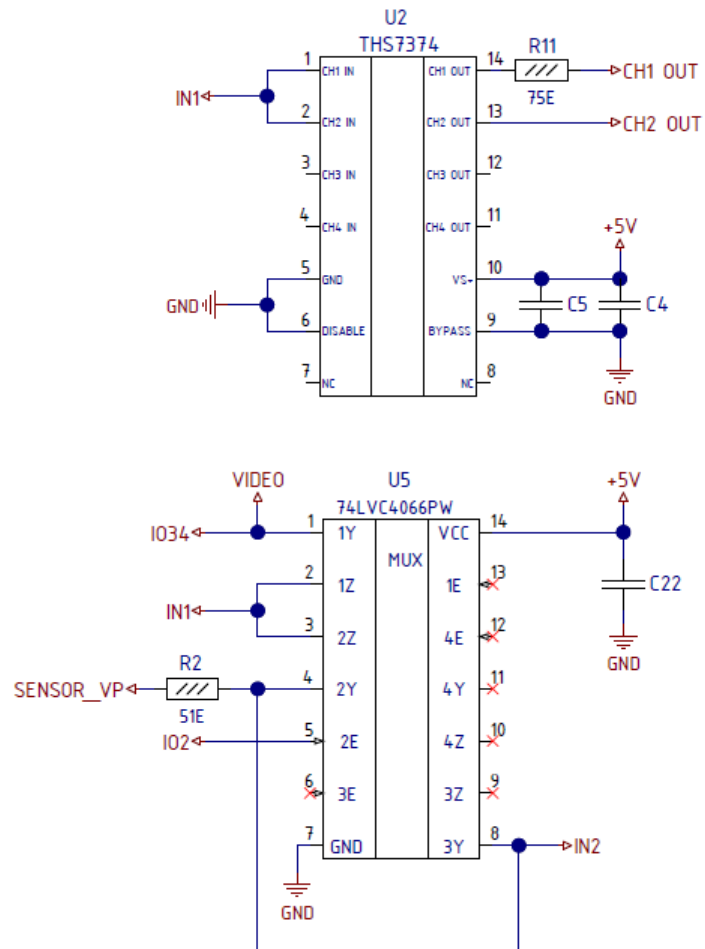


Рисунок 4.9 – Схема комутації приймачів

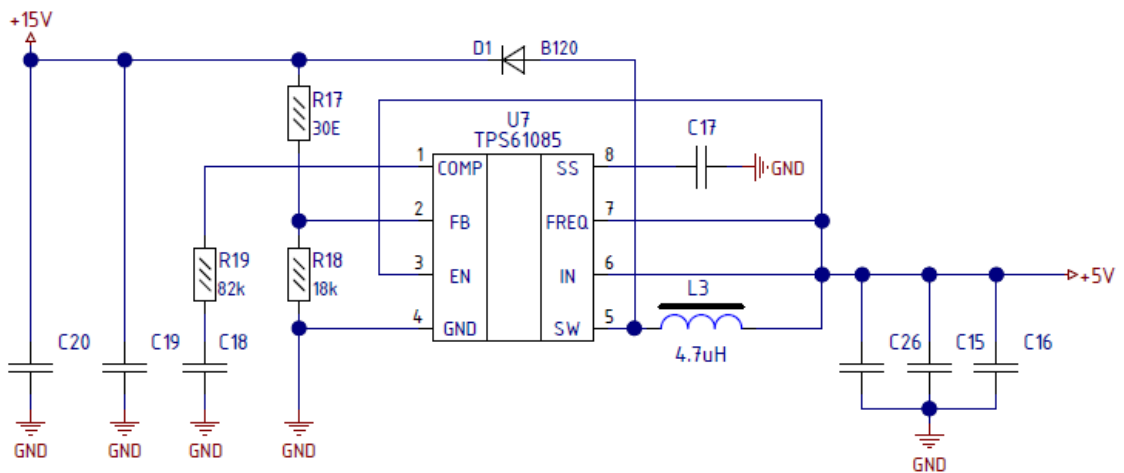


Рисунок 4.10 – Схема підвищуючого перетворювача постійної напруги

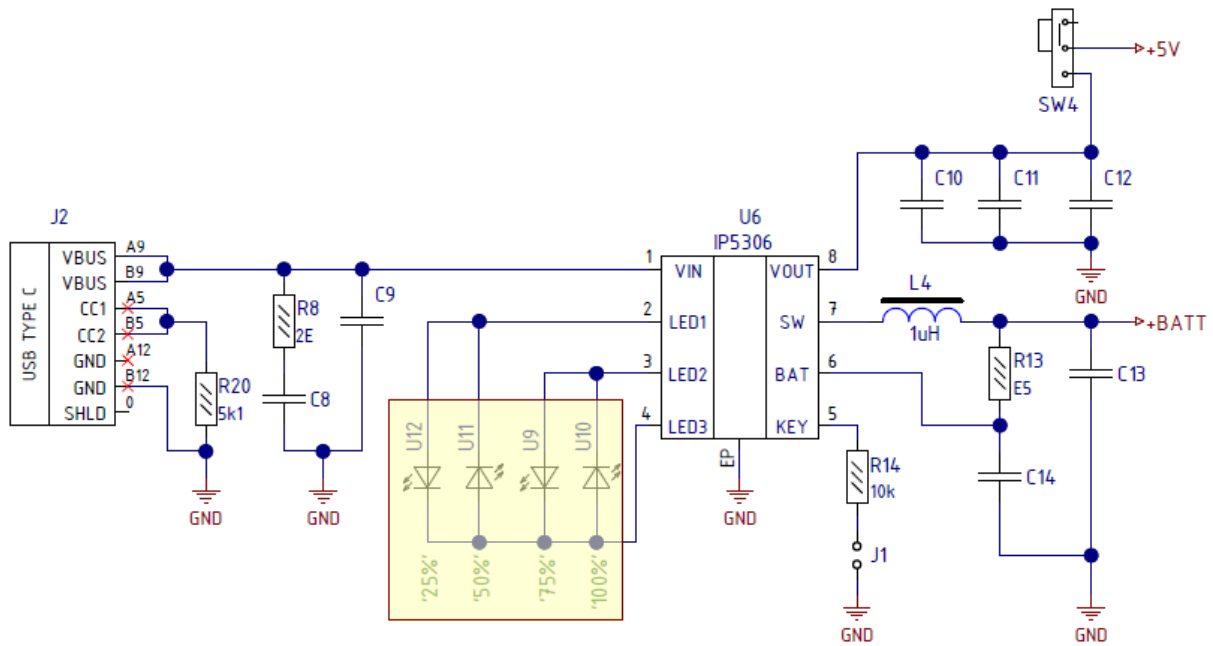


Рисунок 4.11 – Схема обслуговування акумулятору

4.2 Розробка конструкції друкованої плати

Після розробки схеми було розроблено друковану плату пристрою сканування.

Виробництво тестового зразку плати розділили на два етапи. На першому етапі було виготовлено прототип плати на фрезерному верстаті, за допомогою якого було перевірено працездатність усіх з'єднань та перевірено правильність роботи апаратного обладнання. На другому етапі були виправлені та доповнені в конструкції всі недоліки прототипу плати, а разом з тим додані інші додаткові вдосконалення. Друга модифікована плата вважається остаточною і виготовлена на заводі «Етал».

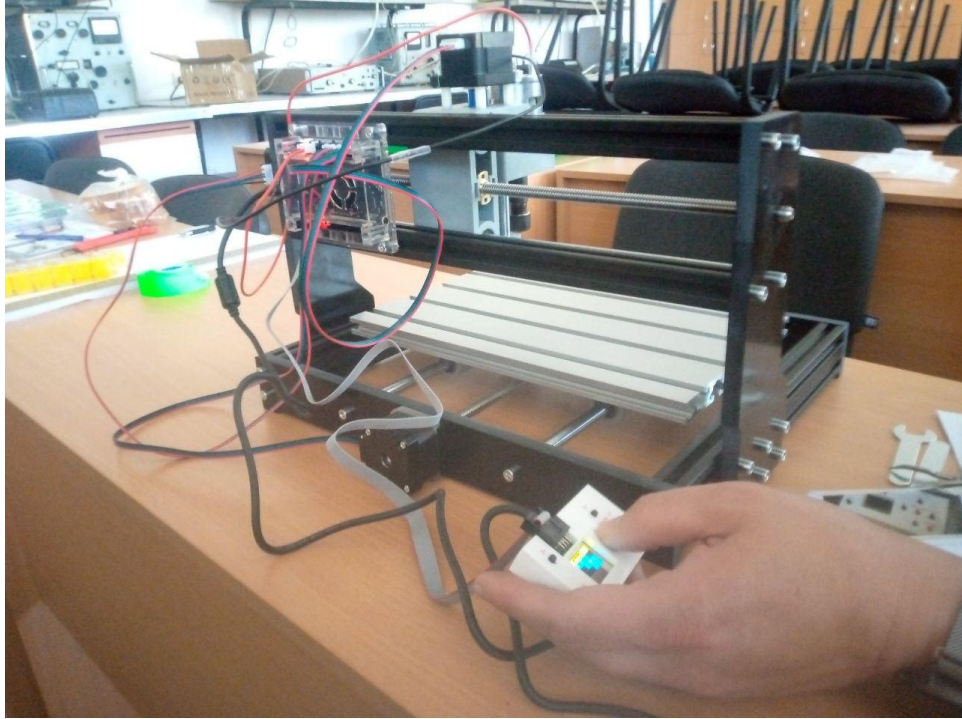


Рисунок 4.12 – Фрезерний станок для виготовлення тестової плати

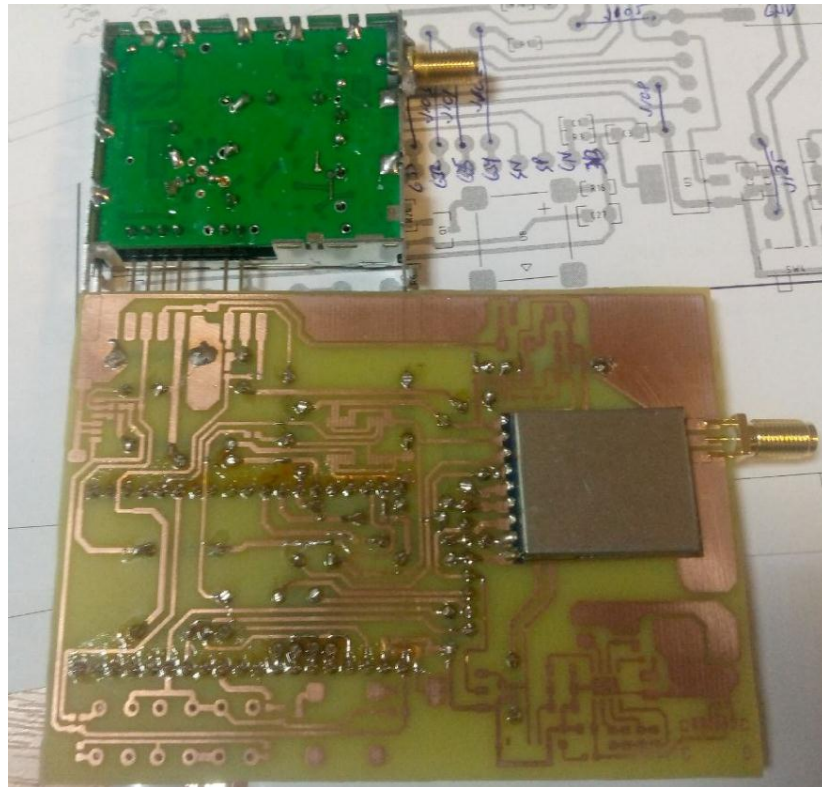


Рисунок 4.13 – Тестовий зразок плати, виготовлений на фрезерному станку

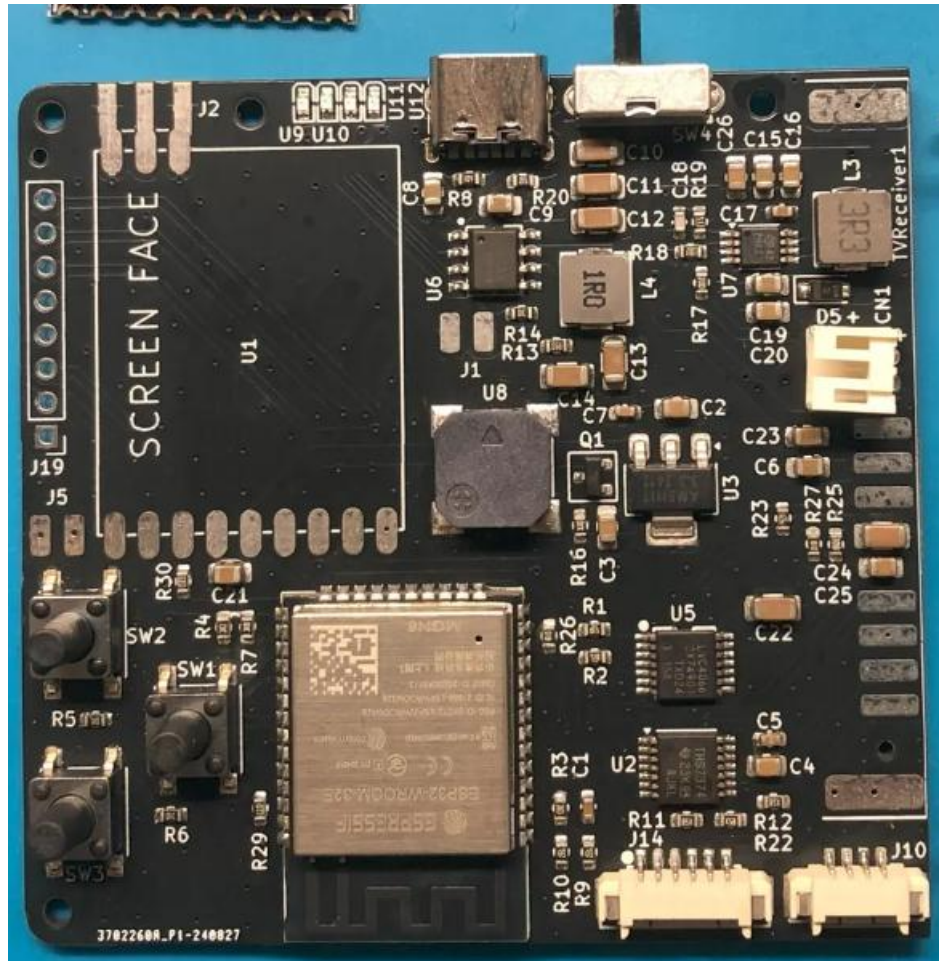


Рисунок 4.14 – Плата виготовлена на виробництві

На другому етапі плату в основному позбавили погано з'єднаних доріжок і контактів, і чимало компонентів було перерозподілено, особливо компонент інтерфейсу користувача. При цьому були додані три сигнальні світлодіоди, яких взагалі не було в оригінальній конструкції прототипу.

Остаточна форма плати була виготовлена професійною компанією з усіма стандартними шарами (сигнальні шари, безпаяна маска та шари друку). Плата виготовлена зі стандартного діелектрика FR-4 товщиною 1,6 мм. Мідний шар було обрано товщиною 18 мкм із покриттям HASL (пайка гарячим повітрям), яке ідеально підходить для ручного паяння. Безпаяну маску вибрали чоною з білим написом.

4.3 Розробка конструкції корпусу

Корпус пристрою було розроблено в Fusion360 для виготовлення на 3Д принтері. Основні деталі розробленої конструкції наведені на рисунках 4.15-4.17.

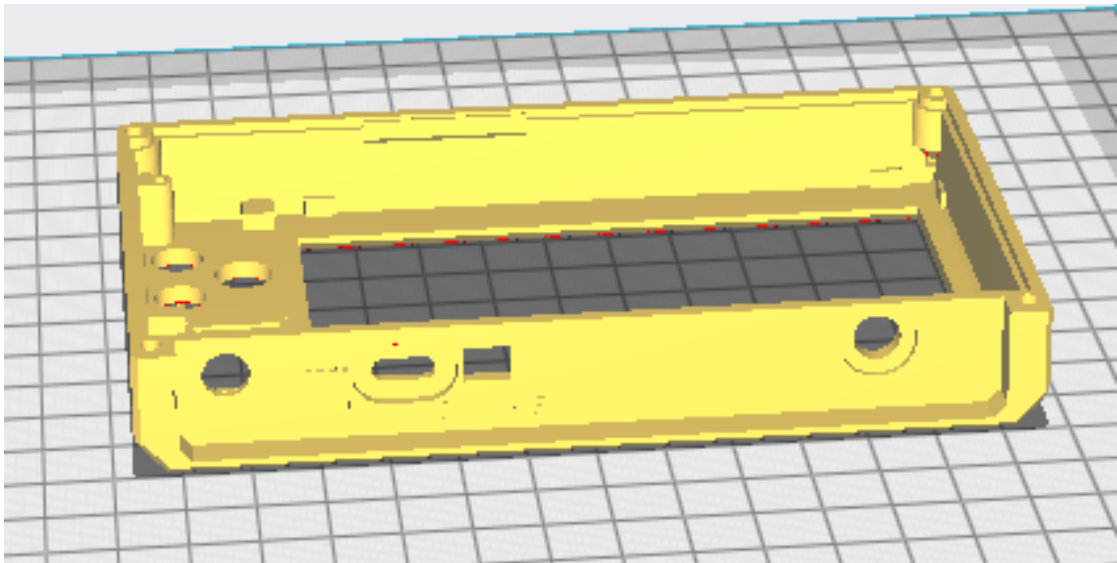


Рисунок 4.15 – Передня панель скануючого пристрою

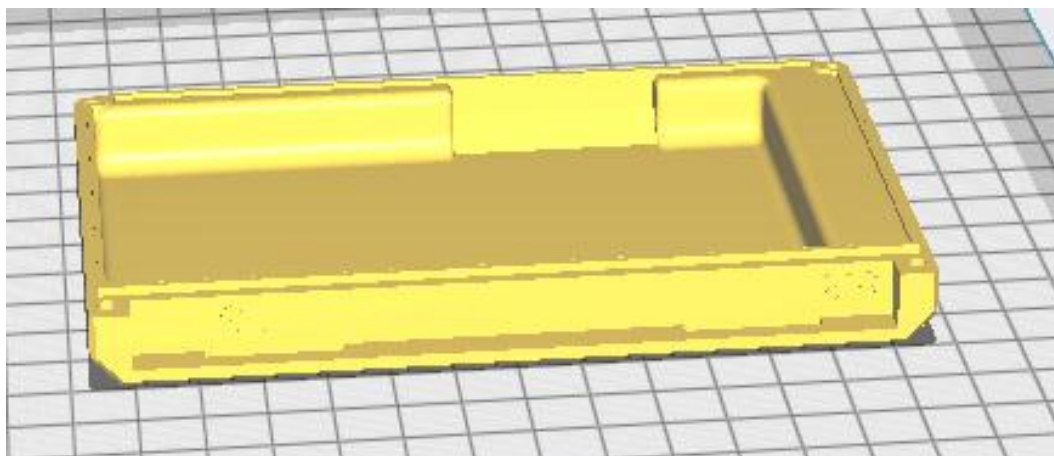


Рисунок 4.16 – Задня кришка скануючого пристрою

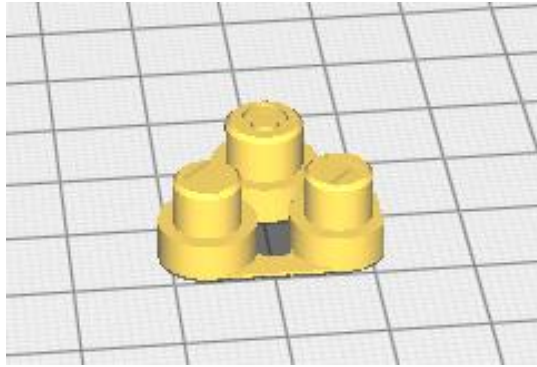


Рисунок 4.17 – Кнопки перування

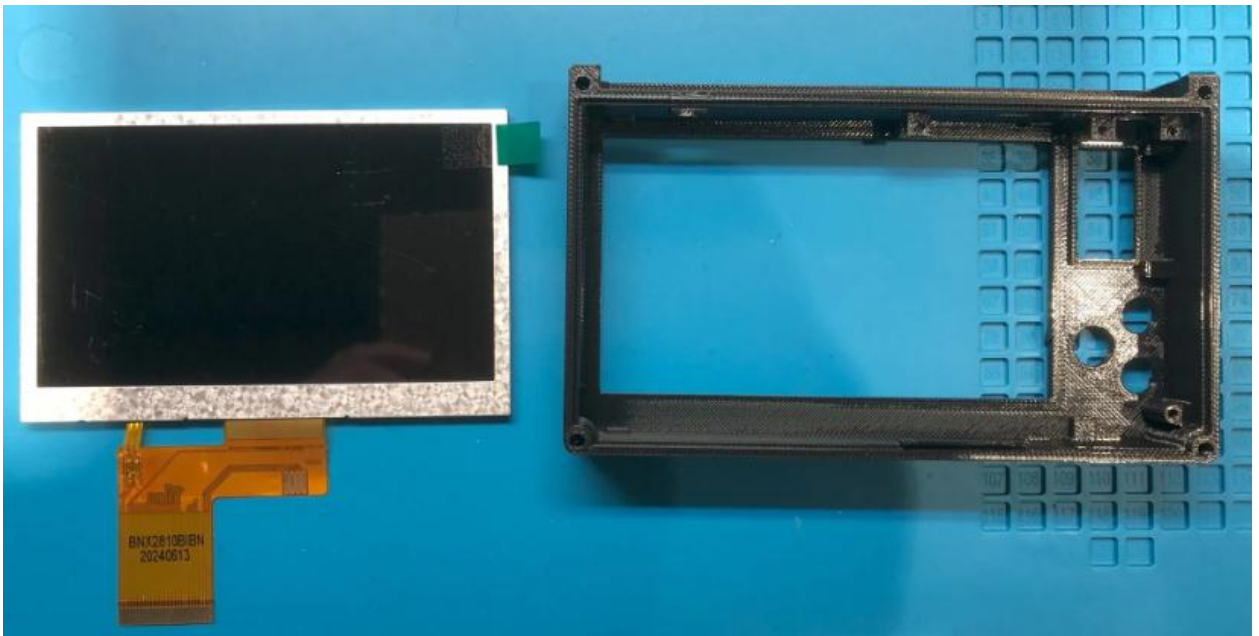


Рисунок 4.18 – Надрукована передня кришка та дисплей

Деталі корпусу друкуються із пластика PETG

Рекомендований філамент для 3D-друку – PETG від CREALITY.

Найкращу якість дає принтер від Bambu Lab з параметрами друку наведеними на рисунку 4.19.

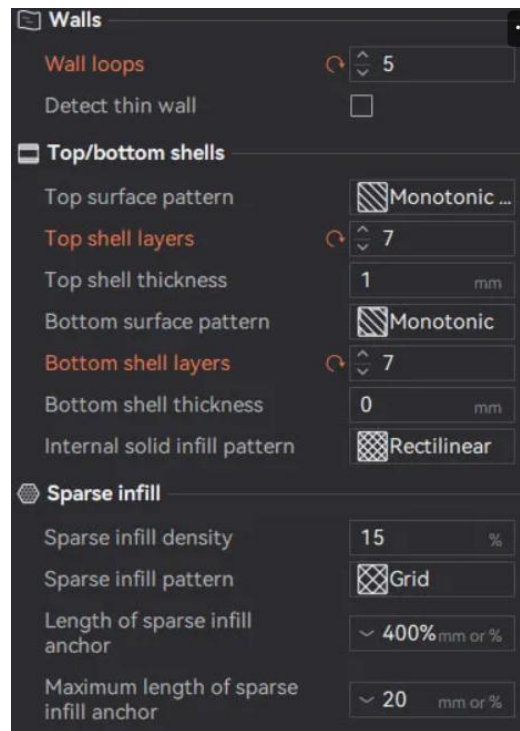


Рисунок 4.19 – Рекомендовані параметри друку

4.4 Складання та тестування пристрою сканування з розширеними діапазонами роботи приймачів

На останньому етапі потрібно зібрати до купи всі компоненти, що монтуються на головній платі (рис. 4.20).

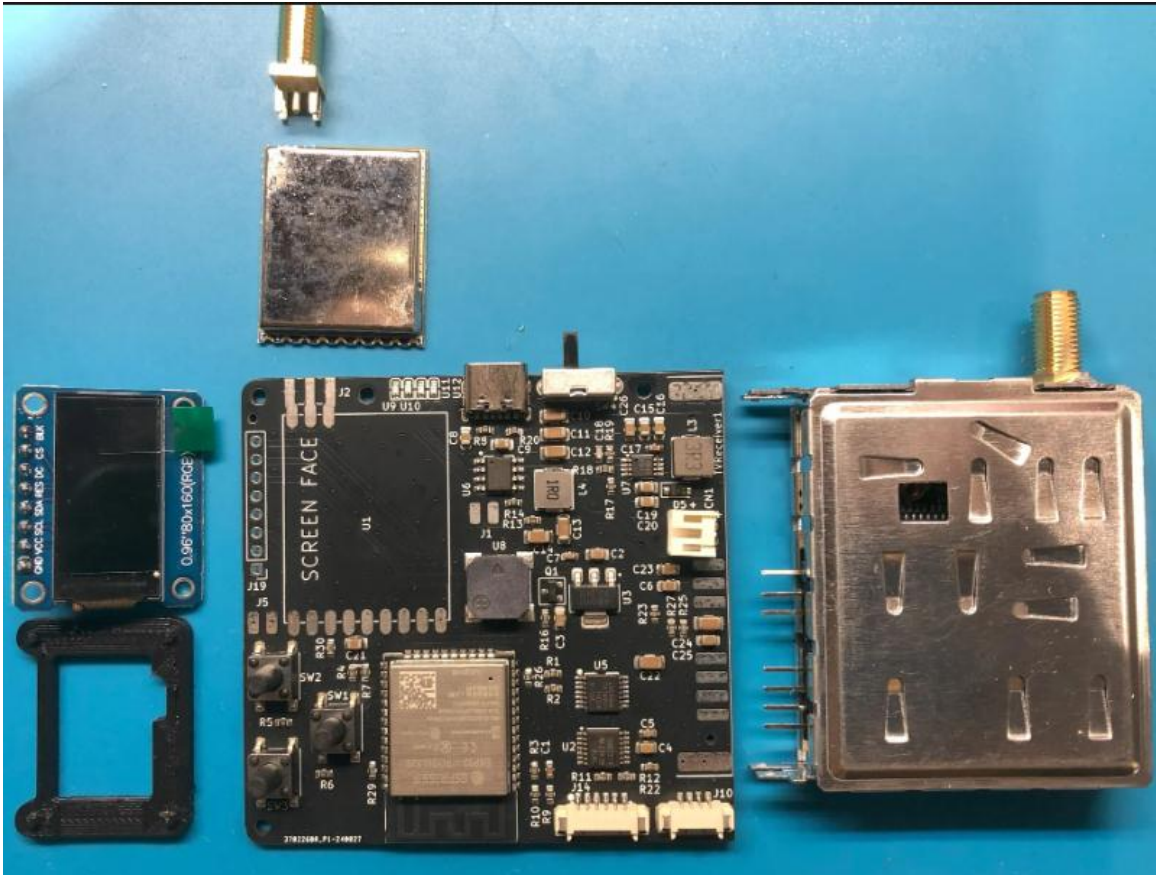


Рисунок 4.20 – Компоненти головної плати розтошовані напроти місць встановлення

Результатом має бути збірка що показана на рисунку 4.21.

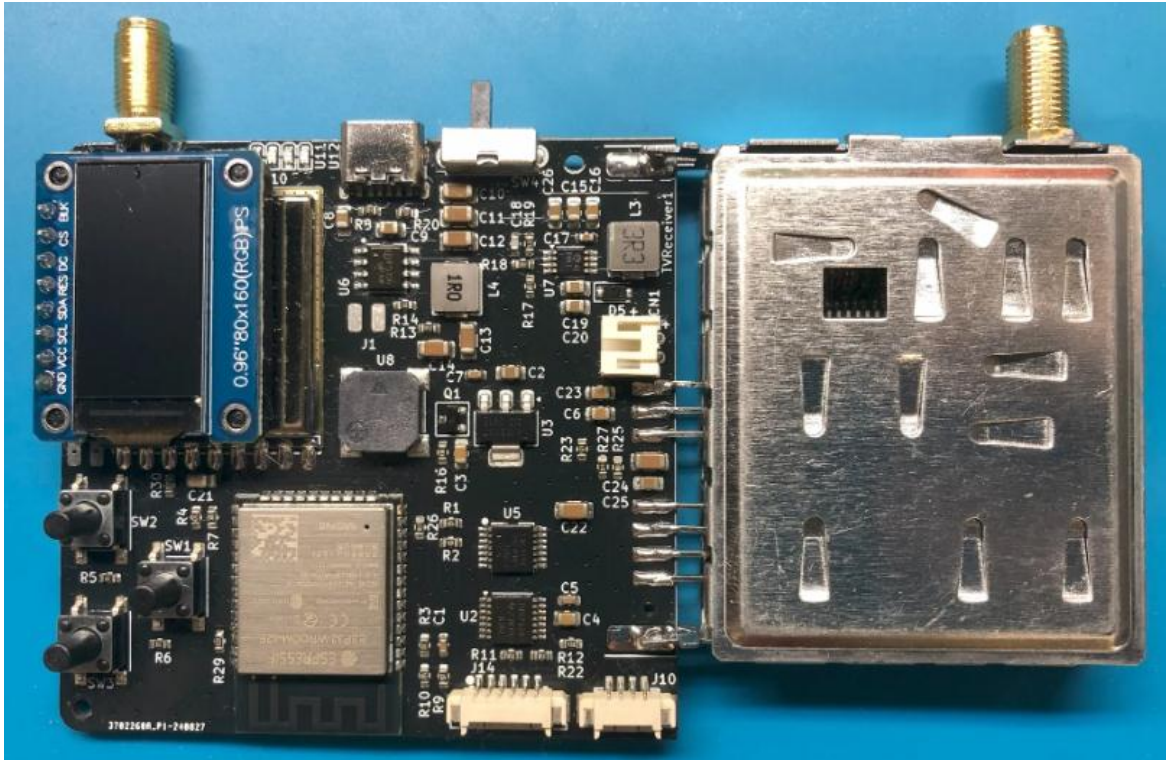


Рисунок 4.21 – Напаяні компоненти головної плати

SMA-конектор монтується на плату відповідно до кількості майданчиків на кожній стороні плати: на лицьовій стороні – 3 майданчика, відповідно так і припаюємо, притиснувши до торця плати, щоб не було зазорів та викривлень конектора.

Крайні ніжки дуже важливо добре припаяти по всій площі майданчика. Малий екран потрібно з'єднати із пластиковою проставкою для малого екрана, вона стає тільки в одному певному положенні.

Після збирання прилад буде мати вигляд як показано на рисунку 4.22.



Рисунок 4.22 – Зовнішній вигляд приладу сканування відеосигналів з розширеним діапазоном приймачів

ВИСНОВКИ

В роботі було досліджено проблеми побудови бездротових приймачів аналогового відео на сучасних електронних компонентах, розроблено методи збільшення частотного діапазону приймачів за рахунок керування ФАПЧ по шині I2C перед входом демодулятора та розширення можливостей шляхом реалізації керування мікросхемою RTC6715 по шині SPI. Це дозволило збільшити смугу частот приймання для діапазону 1,2ГГц зі стандартних 1060-1360 МГц до 820-1820 МГц та для діапазону 5,8ГГц з 5325-5925 МГц до 4850-6050 МГц.

Додатково було реалізовано пристрій автосканування розширених діапазонів, що має наступні особливості:

- сканування по каналам і по частотам в діапазоні 1.2 ГГц (820-1820 МГц);
- сканування по каналам і по частотам в діапазоні 5.8 ГГц (4830-6030 МГц);
- швидке автоматичне сканування одразу двох діапазонів і миттєве виявлення відеосигналу;
- відфільтровує хибні сигнали без відео;
- звукова індикація про появу нового сигналу (можна відключати);
- автовключення перехопленого відео (можна відключати для економії батареї);
- вбудований акумулятор на 10000 мАг дозволяє працювати пристрою більше 8 годин поспіль;
- заряджання через USB-C.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Wikipedia article, “Friis’ transmission equation”. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Friis_transmission_equation (дата звернення 02.10.2024) – Назва з екрану.
2. Wikipedia article, “List of WLAN channels”. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_WLAN_channels (дата звернення 02.10.2024) – Назва з екрану.
3. Wikipedia article, “Phase-alternating Line” [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://en.wikipedia.org/wiki/PAL> (дата звернення 02.10.2024) – Назва з екрану.
4. “Pre-emphasis characteristics for frequency modulation radio-relay systems for television”. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.itu.int/dmspubrec/itu-%20r/rec/f/R-REC-F.405-1-197007-W!!PDF-E.pdf> (дата звернення 20.10.2024) – Назва з екрану.
5. Hanzo L. Wireless Video Communications: Second to Third Generation and Beyond / L. Hanzo, P. Cherrimana, and J. Streit. – John Wiley, 2001.
6. Ozcelebi T., M. Civanlar, and A. Tekalp, “Minimum delay content adaptive video streaming over variable bitrate channels with a novel stream switching solution,” in Image Processing / T. Ozcelebi, M. Civanlar, A. Tekalp, 2005. ICIP 2005. IEEE International Conference on, vol. 1, pp. I – 209-12, sept. 2005.
7. Nguyen T. “Multiple sender distributed video streaming,” / T. Nguyen, A. Zakhor Multimedia, IEEE Transactions on, april 2004. – vol. 6. – pp. 315-326.
8. Kumwilaisak W. “A cross-layer quality-of-service mapping architecture for video delivery in wireless networks,” Selected Areas in Communications, / W. Kumwilaisak, Y. Hou, Q. Zhang, W. Zhu, C.-C. Kuo, and Y.-Q. Zhang, IEEE Journal on, dec. 2003. – vol. 21. – pp. 1685-1698.

9. Azzedine Boukerche “Handbook of Algorithms for Wireless Networking and Mobile Computing”, Chapman & Hall/CRC Computer and Information Science Series, 2006.

10. 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.

11. Analog Video: Signals, Formats, History [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.vodpod.com/video/analog/> (дата звернення 20.11.2024) – Назва з екрану.

12. Malyi O. Splitting a Video Stream into a Specified Number of Substreams for Distributed Transmission Over Radio Channels (2024) / O. Malyi, N. Furmanova, S. Harachuk and O. Shchukin. // IEEE 17th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). – Lviv, Ukraine, 2024. – pp. 129-132.

13. Малий О.Ю., Онуфрієв М.С. Використання зсуву частоти для збільшення кількості каналів бездротових аналогових відеопередавачів // Тиждень науки-2024. Факультет інформаційної безпеки та електронних комунікацій. Тези доповідей науково-практичної конференції, Запоріжжя, 15-19 квітня 2024 р. [Електронний ресурс] / Редкол.: Вадим ШАЛОМЄЄВ (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2024. – с.39-41

14. Гарачук С.А., Піроженко О.О., Скидан Д.О. Реалізація супергетеродинного ЧМ-відеоприймача 5,8 ГГц на розподілених компонентах // Матеріали XII Міжнародної конференції «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій» 10-12 грудня 2024. – Запоріжжя. – с. 64-67.