

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут телекомунікаційних систем

Кафедра Телекомунікацій

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Сергій КРАВЧУК

« ____ » _____ 2021 р.

**Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавра**

Спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

**на тему: «Апаратно-програмний комплекс на базі модуляторів Dektec для
формування та дослідження сигналів цифрового телевізійного мовлення»**

Виконав: студент _____ 4 _____ курсу, групи _____ ТЗ-72
(шифр групи)

Сливка Андрій Русланович
(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Керівник професор кафедри ТК, к.т.н., Наритник. Т. М.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант _____ старший викладач, каф. ТК Авдєєнко. Г. Л.
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент. професор кафедри ІКІ ХНУРЕ, д.т.н., Лошаков. В. А.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2021 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут телекомунікаційних систем
Кафедра Телекомунікацій

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність (спеціалізація) 172«Телекомунікації та радіотехніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Сергій КРАВЧУК

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Сливці Андрію Руслановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Апаратно-програмний комплекс на базі модуляторів Dektec для формування та дослідження сигналів цифрового телевізійного мовлення.

керівник роботи Наритник Т. М. к.т.н. професор кафедри ТК,

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

затверджені наказом по університету від «14» квітня 2021 р. №1007-с

2. Строк подання студентом роботи 07.06.2021

3. Вихідні дані до роботи: Модулятор Dektec DTA-107S2, Dektec DTA-115, НВЧ приймач, НВЧ передавач, два персональних комп'ютера з операційною системою Windows, програмне забезпечення StreamXpress, CrazyScan, CrazyScan2, TS Reader, приймальна та передавальна антени ДМХ діапазону, аналізатор спектру Rohde&Schwarz FSG13, цифровий аналізатор ROVER ST2, 2 диплексора, 3 сплітера, коаксіальний кабель Finmark RG-58, прямокутний хвилевід, модульована відбивальна антенна решітка.

4. Зміст (дипломної роботи) пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити)

1. Аналіз сучасних стандартів цифрового телевізійного мовлення;
2. Розробка та опис апаратно-програмного комплексу для формування та дослідження сигналів цифрового телевізійного мовлення;
3. Експериментальне випробування макету апаратно-програмного комплексу для формування та дослідження сигналів цифрового телевізійного мовлення

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)

Плакат № 1: Формулювання мети та завдань роботи.

Плакат №2: Огляд сучасних стандартів цифрового телевізійного мовлення.

Плакат №3: Розробка варіантів структурних схем апаратно-програмного комплексу з формування та дослідження сигналів цифрового телевізійного мовлення.

Плакат №4: Структурні схеми та технічні характеристики модуляторів Dektec.

Плакат №5: Методика експериментального дослідження трансляцій та вимірювань параметрів сигналу телевізійного мовлення за допомогою запропонованого апаратно-програмного комплексу.

Плакат №6, №7: Результати експериментальних досліджень.

Плакат №8: Висновки та рекомендації по роботі.

6. Консультанти розділів роботи*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Авдєєнко Гліб Леонідович, старший викладач каф. ТК	14.10.2020	14.12.2020
2		15.12.2020	15.03.2021
3		16.03.2021	01.06.2021

7. Дата видачі завдання 14.10.2020

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Обґрунтування обраної теми роботи. Пошук та аналіз інформаційних матеріалів. Підготовка розділу №1.	14.10.2020 – 14.12.2020	

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломної роботи

2	Розробка структурних схем апаратно-програмного комплексу.	15.12.2020 – 01.02.2021	
3	Підбір вузлів, блоків, вимірювальної апаратури для складання макету апаратно-програмного комплексу.	02.02.2021 – 01.03.2021	
4	Складання макету апаратно-програмного комплексу та налагодження його роботи. Опис макету. Підготовка розділу №2.	02.03.2021 – 15.03.2021	
5	Розробка методики експериментальних досліджень	16.03.2021 – 14.04.2021	
6	Проведення експериментальних досліджень	15.04.2021 – 15.05.2021	
7	Аналіз отриманих результатів. Підготовка розділу №3.	16.05.2021 – 01.06.2021	
8	Підготовка пояснювальної записки та плакатів	01.06.2021 – 07.06.2021	

Студент

(підпис)А. Р. Сливка
(ініціали, прізвище)

Керівник роботи

(підпис)Т. М. Наритник
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Текстова частина бакалаврської дипломної роботи містить: 107 сторінок, 102 рисунків, 10 таблиць та 15 джерел.

Метою роботи є створення апаратно-програмного пристрою на базі модуляторів Dektec для більш детального і глибокого вивчення методів обробки та формування сигналу цифрового ефірного, кабельного та супутникового телевізійного мовлення.

В даній роботі розглядаються плати модуляторів компанії Dektec, за допомогою яких можливо генерувати модульовані радіосигнали ряд європейських стандартів цифрового телевізійного мовлення DVB-T, DVB-C, DVB-S та DVB-S2. Також в роботі було проведено генерацію, передачу та дослідження сигналів цифрового телевізійного мовлення.

Ключові слова: Апаратно-програмний комплекс, модулятор, Dektec, сигнал, цифрове телевізійне мовлення.

ABSTRACT

The text parts of the bachelor's consist of: 107 pages, 102 pictures, 10 tables and 15 sources.

The aim of the work is to create a hardware-software device based on Dektec modulators for a more detailed and in-depth study of methods of processing and signal generation of digital terrestrial, cable and satellite television broadcasting.

In this research we consider Dektec modulator boards which are possible to generate a modulated radiosignal of number of European standards of digital television broadcasting DVB-T, DVB-C, DVB-S and DVB-S2. Also in the work we have performed generation, transmission and investigation of broadcasting TV signals.

Keywords: Hardware and software complex, modulator, Dektec, Digital television broadcasting, signal

ЗМІСТ

1. Основні відомості про сучасні системи цифрового телерадіомовлення.....	13
1.1 Узагальнена структурна схема системи (або мережі) цифрового телерадіомовлення	13
1.1.1 Принципи побудови системи цифрового телемовлення	14
1.1.2 Методи компресії аудіо- та відеоданих	17
1.1.3 Формування мультиплексів (цифрових пакетів)	21
1.1.4 Методи модуляції та завадостійкого кодування в системах телерадіомовлення	24
1.2 Сучасні стандарти цифрового телерадіомовлення	29
1.2.1 Стандарти наземного цифрового телевізійного мовлення DVB-T, DVB-H та DVB-T2	29
1.2.2 Стандарти супутникового цифрового телевізійного мовлення DVB-S та DVB-S2.....	35
1.2.3 Стандарт кабельного телевізійного мовлення DVB-C	39
Висновки до розділу	40
2. Апаратно-програмний комплекс для формування та дослідження сигналів цифрового телевізійного мовлення	41
2.1 Розробка узагальненої структурної схеми апаратно-програмного комплексу	41
2.1.1 Структурна схема апаратно-програмного комплексу на основі використання ефірних радіоканалів ДМХ та СМХ діапазонів	41
2.1.2 Структурна схема апаратно-програмного комплексу на основі використання коаксіальної лінії передачі.....	43
2.2. Основні елементи передавальної частини апаратно-програмного комплексу	44
2.2.1 Персональний комп'ютер передавальної частини	44
2.2.2 Модулятор Dektec DTA-107S2.....	45
2.2.3 Модулятор Dektec DTA-115.....	46
2.2.4 Антена передавальна ДМХ діапазону	49
2.2.5 Макет передавального тракту СМХ діапазону	49
2.2.6 Частотно-об'єднувальний та частотно-роз'єднувальний пристрій (диплексер)	53
2.2.7 Коаксіальна лінія передачі	54
2.2.8 Адаптери живлення	55
2.3 Основні елементи приймальної частини апаратно-програмного комплексу	56
2.3.1 Персональний комп'ютер приймальної частини	56
2.3.2 Приймальні антени ДМХ та СМХ діапазону	57
2.3.3 Макет приймального тракту СМХ діапазону.....	58
2.3.4 Вимірювальні ресивери TBS5880 та Omicom S2	60
2.3.5 Побутовий ресивер стандарту DVB-S/S2 Uclan B6	62
2.3.6 Побутовий ресивер стандарту DVB-T/T2.....	64

2.4 Програмний комплекс StreamXpress для керування модуляторами Dektec.....	65
2.5 Програмний комплекс на базі CrazyScan та TSReader для дослідження параметрів сигналів цифрового телебачення	68
Висновки до розділу	70
3. Експериментальне випробування макету апаратно-програмного комплексу для формування та дослідження сигналів цифрового телевізійного мовлення..	72
3.1 Методика проведення експериментальних досліджень	72
3.2 Формування багатопрограмного потоку телевізійного мовлення.....	73
3.2.1 Формування потоку телевізійного мовлення шляхом його запису в реальному масштабі часу при прийомі сигналів ефірного телерадіомовлення	73
3.2.2 Формування потоку телевізійного мовлення шляхом мультиплексування елементарних потоків відео- та аудіо.....	76
3.2.2.1 Формування потоку телевізійного мовлення шляхом мультиплексування елементарних потоків відео- та аудіо за допомогою ПЗ Ecard XМixer.....	76
3.2.2.2 Формування потоку телевізійного мовлення шляхом мультиплексування елементарних потоків відео- та аудіо за допомогою FFmpeg.....	79
3.3 Формування та дослідження параметрів сигналу стандарту DVB-S	82
3.4 Формування та дослідження параметрів сигналу стандарту DVB-S2	89
3.5 Формування та дослідження параметрів сигналу стандарту DVB-C	95
3.6 Формування та дослідження параметрів сигналу стандарту DVB-T	99
3.7 Рекомендації щодо застосування макету розробленого апаратно-програмного комплексу в навчальному процесі ІТС	103
Висновки до розділу	104
ВИСНОВОК	105
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	106

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

DVB-S – перше покоління цифрового супутникового мовлення

DVB-S2 – друге покоління цифрового супутникового мовлення

DVB-T – перше покоління цифрового телевізійного мовлення

DVB-T2 – друге покоління цифрового телевізійного мовлення

DVB-H – перше покоління мобільного телевізійного мовлення

DVB-C – друге покоління цифрового кабельного мовлення

ПЗ – програмне забезпечення

PS – програмний потік

TS – транспортний потік

MPEG (Moving Picture Experts Group) - група експертів з кіномистецтва

LDPC – код з малою щільністю перевірок на парність

BCH – Коди Боуза - Чоудхурі - Хоквінгема

ВСТУП

Актуальність роботи.

Сучасні системи кабельного, ефірного та супутникового телевізійного мовлення є різновидом інфокомунікацій, які грають важливу роль в житті людини та розвитку суспільства. На даний момент інформація має статус одного з найважливіших стратегічних ресурсів, що має бути своєчасно доставлена до широкого кола користувачів. Таким чином, забезпечення кінцевого користувача якісними послугами, зокрема телевізійним контентом, є головною метою провайдера цих послуг.

На даний момент часу в країнах Європи для вирішення цієї задачі використовуються цифрові сигнали різних стандартів такі, як DVB-T, DVB-T2, DVB-S, DVB-S2, DVB-C, DVB-C2. Станом на 2016 рік 166 країн світу прийняли стандарти DVB-T або DVB-T2 основними для цифрового ефірного наземного телемовлення. А такі стандарти супутникового телевізійного мовлення як DVB-S та DVB-S2 взагалі використовуються по всьому світу. Отже, актуальною стає задача теоретичної та, зокрема, практичної підготовки у вищих навчальних закладах фахівців, які матимуть ґрунтовні знання з сучасних систем цифрового телевізійного мовлення. Враховуючи, що вартість сучасних модулаторів цифрового телевізійного мовлення сягає тисяч та десятків тисяч доларів США, необхідно шукати шляхи створення для навчального процесу в університеті недорогих макетів, які дозволять розкрити всі особливості сучасних систем цифрового телевізійного мовлення.

Саме тому апаратно-програмний пристрій, який буде розроблений в даній роботі на базі модулаторів компанії Dektec зможе надати студентам старших курсів ІТС можливість більш детально вивчити особливості формування сигналів цифрового ефірного та супутникового телевізійного мовлення.

Об'єктом дослідження Системи цифрового ефірного та супутникового телевізійного мовлення

Предметом дослідження є процес формування сигналів цифрового ефірного та супутникового телевізійного мовлення стандартів DVB-T, DVB-S та DVB-S2 на базі модуляторів Dektec DTA-107 та Dektec DTA-115.

Метою роботи є створення апаратно-програмного пристрою на базі модуляторів Dektec для більш детального і глибокого вивчення методів обробки та формування сигналу цифрового ефірного та супутникового телевізійного мовлення студентами в рамках дисципліни «Технології радіо- та телевізійного мовлення».

Для досягнення даної мети дослідження були поставлені **такі завдання**:

- 1) Аналіз стандарту цифрового ефірного телевізійного мовлення DVB-T.
- 2) Аналіз стандарту супутникового телевізійного мовлення DVB-S та DVB-S2.
- 3) Експериментальне дослідження процесу модуляції сигналів DVB-T на основі плати DTA-115.
- 4) Експериментальне дослідження процесу модуляції сигналів DVB-S та DVB-S2 на основі плати DTA-107.

Використана методика дослідження: використання методів формування сигналів цифрового ефірного та супутникового телебачення, методів вимірювання параметрів сигналів, імітаційне моделювання.

Практична цінність роботи полягає у створенні апаратно-програмного пристрою для генерації цифрових сигналів стандартів DVB-T, DVB-S, DVB-S2 та подальше його впровадження в курс «Технології радіо- та телевізійного мовлення» для дослідження цифрових сигналів студентами кафедри телекомунікації, тобто отримання додаткових, практичних, знань про сигнали DVB-T, DVB-S, DVB-S2.

Також, завдяки платі модулятора DTA-115, є додаткова можливість дослідження сигналів цифрового радіомовлення DAB та ряду інших не європейських стандартів телевізійного мовлення, наприклад ATSC 8VSB.

Результати виконаної роботи планується впровадити в навчальний процес студентів кафедри ТК ІТС при вивченні кредитного модулю «Технології радіо- та телевізійного мовлення».

За результатами виконання даної роботи було проведено виступ на Міжнародній науково-технічній конференції «ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ 2021» . Дана конференція проходить на базі ІТС та НДІ телекомунікацій КПІ ім. Ігоря Сікорського.

1. Основні відомості про сучасні системи цифрового телерадіомовлення

1.1 Узагальнена структурна схема системи (або мережі) цифрового телерадіомовлення

Цифровим називають телебачення, яке забезпечує передавання та зберігання зображень у цифровій формі. Отже, мова йде про сигнал, який несе інформацію про зображення. Цифровий сигнал формують у вигляді послідовностей електричних імпульсів, які відповідають закодованим відлікам аналогового сигналу. Відліки повинні братися з достатньою частотою, значення якої визначається теоремою Котельнікова через найвищу частотну складову f_s у спектрі сигналу як $f_d \geq 2 f_s$, де f_d - частота дискретизації.

Необхідність переходу від аналогових до цифрових телевізійних систем пов'язана з потребою підвищення якості і надійності телевізійних систем. В сою чергу, це пов'язано з тим що перш ніж сигнал буде доставлений на кінцевий пристрій (наприклад, на кінескоп телевізійного приймача), телевізійний сигнал зазнає багатьох перетворень: підсилюється, коректується, змішується з іншими відеосигналами, фільтрується, передається від вузла до вузла за допомогою ліній зв'язку, записується і перезаписується у пристроях консервації тощо. Всі ці операції супроводжуються шумовим впливом та впливами завад різного походження на корисний сигнал. При чому, якщо інформація передається за допомогою аналогового сигналу, то шуми і завади накопичуються, відношення сигнал/шум падає, відповідно, якість зображення різко погіршується.

При цифровому поданні сигналу вплив шумів і завад є набагато меншим, оскільки інформація в цьому випадку передається певною кодовою комбінацією імпульсів, напруга яких набуває обмеженої кількості значень незалежно від напруги відеосигналу. При найпростішій двійковій системі формування коду імпульси набувають тільки двох значень напруги, які умовно позначають нулем (відсутність імпульсу) та одиницею (наявність імпульсу).

достатньо великої амплітуди). Для відтворення інформації при цьому достатньо фіксувати наявність або відсутність імпульсів, а не їх амплітуду, а, отже, навіть при достатньо великому впливі шумів та завад можна одержати якісне відтворення сигналу практично незалежно від кількості операцій його формування.

На рис. 1.1 зображено узагальнену структурну схему цифрової телевізійної системи.

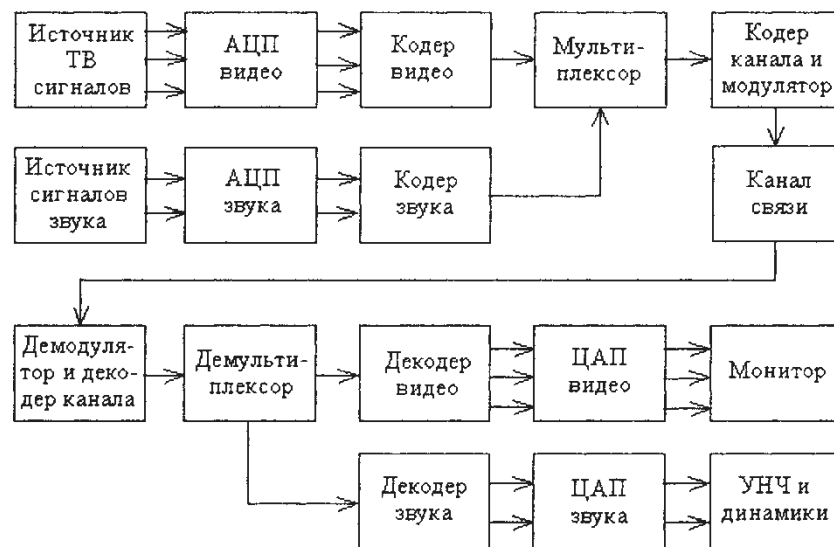


Рис. 1.1 Узагальнена структурна схема цифрової телевізійної системи.

1.1.1 Принципи побудови системи цифрового телемовлення

Джерело аналогових телевізійних сигналів формує сигнал яскравості E'_Y і кольорорізницеві сигнали, E'_{R-Y} , E'_{B-Y} які надходять на АЦП, де перетворюються в цифрову форму. Наступним кроком здійснюється ефективне кодування відеоінформації з метою зменшення швидкості передачі двійкових символів в каналі зв'язку.

Сигнали звукового супроводу також перетворюються в цифрову форму. Звукова інформація стискається в кодері звуку. Кодовані дані зображення і звуку, а також різна додаткова інформація об'єднуються в мультиплексорі в єдиний потік даних. У кодері каналу виконується ще одне кодування переданих

даних, що має на меті підвищення завадостійкості. Отриманими в результаті цифровим сигналом модулюють несучу використовуваного каналу зв'язку.

На приймальній стороні здійснюється демодуляція прийнятого високочастотного сигналу і декодування канального кодування. Потім в демультіплексорі потік даних розділяється на дані зображення, звуку і додаткову інформацію. Після цього виконується декодування даних. В результаті на виході декодера буду знаходитись сигнали яскравості E'_Y і кольорорізницеві сигнали, E'_{R-Y} , E'_{B-Y} , які перетворюються в аналогову форму в ЦАП і подаються на монітор, на екрані якого відтворюється зображення. На виході декодера звуку виходять сигнали звукового супроводу, також перетворюються в аналогову форму. Ці сигнали надходять на підсилювачі звукової частоти і далі на динаміки.

Більш детально зупинимось на понятті дискретизації та квантування в цифровому телемовленні, які описанні в рекомендації ITU-R BT 601. В даній рекомендації встановлено одне значення частоти дискретизації сигналу яскравості, рівне 13,5 МГц, для обох стандартів розгортки - 25 Гц, 625 рядків і 30 Гц, 525 рядків. Кожен кольорорізницевий сигнал дискретизується з двічі меншою частотою 6,75 МГц, причому в кожному рядку присутні обидва кольорорізницеві сигнали. Даний стандарт цифрового кодування телевізійних сигналів позначається 4:2:2, що відображає співвідношення частот дискретизації (щодо 3,375 МГц) сигналу яскравості і двох кольорорізницевих сигналів, а також одночасність їх передачі. Взаємне розташування відліків сигналів яскравості і кольорорізницевих сигналів показано на рис. 1.2, б.

Повне число відліків яскравості в рядку PAL одно 864 (858 для NTSC), а число відліків кожного кольорорізницевого сигналу - 432 (429). За час активної ділянки рядки формується 720 відліків сигналу яскравості і 360 відліків кожного кольорорізницевого сигналу в обох стандартах. Ці кількості відліків є проміжними між значеннями, необхідними для отримання квадратних пікселів в зазначених стандартах розгортки. Таким чином, при розробці Рекомендації 601 було досягнуто компроміс.

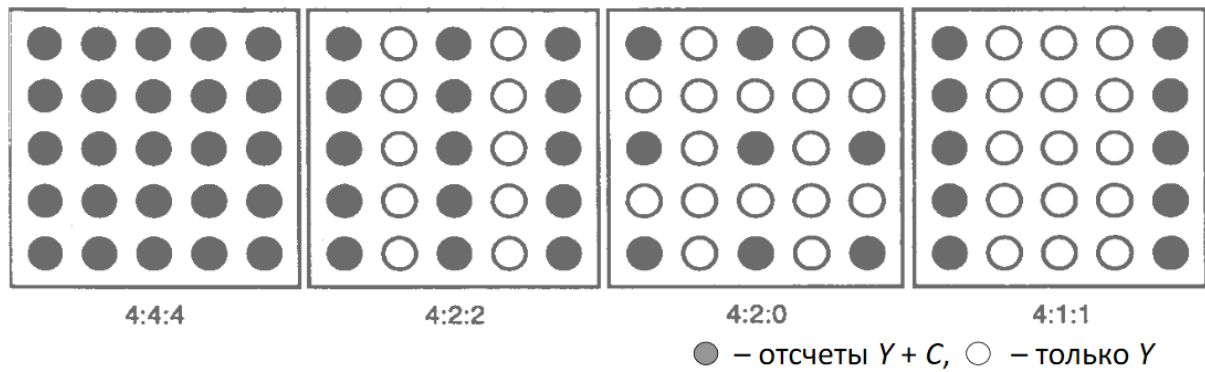


Рис 1.2. Структура відліків ТВ сигналу

Число активних рядків в кадрі для стандарту 625 рядків дорівнює 576 (480 рядків в NTSC). Число переданих в секунду рядків однаково - $576 \times 25 = 480 \times 30 = 14400$. Повний число елементів зображення в секунду також однаково: $864625 \times 25 + 2 \times (432 \times 625 \times 25) = 27000000 = 858 \times 525 \times 29,97 + 2 \times (429 \times 525 \times 29,97)$. Отже, тактова частота відліків - 27 МГц, період $T = 37\text{нс}$. [1]

Передбачено й інші формати перетворення телевізійних сигналів в цифрову форму. Наприклад, при використанні формату 4:2:0 кожен кольорорізнцевий сигнал має частоту дискретизації в 2 рази нижче частоти дискретизації сигналу яскравості і передається в кожній другій рядку. Розташування відліків сигналу яскравості і кольорорізнцевих сигналів в площині зображення для цього варіанту показано на рис. 1.2, в. Відлік цваторазностних сигналів показані між рядками відліків яскравості сигналів і для кожного з цих сигналів утворюють матрицю 360×288 (360×240) елементів.

При форматі 4:1:1 обидва кольорорізнцевих сигнали передаються в кожному рядку, але їх частоти дискретизації рівні 3,375 МГц. Число елементів кожного кольорорізнцевого сигналу в кадрі в цьому випадку таке ж, як для формату 4:2:0, і швидкості передачі рівні (202,5 Мбіт/с при $n = 10$). Але формат 4:1:1 застосовують в стандарті 525/30, тому що втрата вертикальної чіткості більш помітна в системі з меншим числом рядків, а втрата горизонтальної чіткості більш помітна в системі 625/25.

Нарешті, при форматі 4:4:4 обидва кольорорізнiceвих сигнала передаються в кожному рядку і дискретизуються з тією ж частотою, що і сигнал яскравості.

В Рекомендації 601 для всіх сигналів передбачено число розрядів квантування $n = 8$, що дає 256 рівнів квантування. При цьому рівню чорного сигналу яскравості відповідає 16-й рівень квантування, а номінальному рівню білого – 235-й рівень квантування. 16 рівнів квантування знизу і 20 рівнів квантування зверху утворюють резервні зони на випадок виходу значень аналогового сигналу яскравості за межі номінального діапазону. Особливі призначення мають 0-й і 255-й рівні квантування. За допомогою відповідних їм кодів передаються сигнали синхронізації – опорні тимчасові сигнали (Timing Reference Signal - TRS).

1.1.2 Методи компресії аудіо- та відеоданих

Проаналізувавши вище сказане можливо зроби висновок що основною проблемою у цифровому телебаченні є надто великий цифровий потік. Вирішити цю проблему можливо використовуючи різноманітні методи компресії аудіо- та відеоданих. Умовно всі методи стиснення можна розділити на дві великі групи: стиснення з втратами та стиснення без втрат. Стиснення без втрат застосовується в тих випадках, коли інформацію потрібно відновити з точністю до біта або пікселя. Такий підхід є єдиним можливим при стисненні, наприклад, текстових даних. У деяких випадках, однак, не потрібно точного відновлення інформації та допускається використовувати алгоритми, що реалізують стиснення з втратами, яке, на відміну від стиснення без втрат, зазвичай простіше реалізується і забезпечує більш високу ступінь архівації [1].

Стиснення без втрат ґрунтується на трьох теоретичних алгоритмах:

- RLE (Run-Length Encoding) - для графічних даних;
- KWE (Keyword Encoding) - для текстових даних;
- алгоритм Хаффмана - для будь-яких даних.

Теоретична основа цих алгоритмів була закладена американським вченим Клодом Шенноном з його теоремою кодування для дискретного каналу без перешкод.

В цифровому мовленні використовуються методи компресії даних з втратами. Компресія даних з втратами – метод стиснення даних, при використанні якого розпакований файл може дуже сильно відрізнятись від оригіналу на рівні порівняння «біт в біт», але практично не відрізняється для людського вуха або очі в більшості практичних застосувань. Перевага методів стиснення з втратами над методами стиснення без втрат полягає у великій мірі стиснення. При використанні стиснення з втратами необхідно враховувати, що повторне стиснення зазвичай призводить до деградації якості. Однак якщо повторне стиснення виконується без будь-яких змін, що стискаються даних, якість не змінюється. Ідея, що лежить в основі всіх алгоритмів стиснення з втратами, досить проста: на першому етапі видалити незначну інформацію, а на другому етапі до решти даними застосувати найбільш підходящий алгоритм стиснення без втрат. Підходи тут можуть бути різними в залежності від типу стисливих даних.

Отже методи компресії аудіо даних використовують два види надлишковості:

- Статистична надлишковість – заснована на властивостях звукових сигналів.
- Психофізіологічна надлишковість – базується на властивостях слухового апарату людини: тут використовуються такі властивості як маскування, предмаскування, після маскування.

Стандарт MPEG-1 ISO/IEC 11172-3 рекомендується для кодування високоякісних моно- і двоканальних стереофонічних сигналів. Він передбачає використання трьох значень частот дискретизації звукових сигналів рівних 32, 44,1 і 48 кГц.

Стандарт MPEG-2 ISO/IEC 13818-3 – це назад сумісна з MPEG-1 версія методу кодування звукових сигналів різних форматів: 1/0, 2/0, 3/1, 3/2, 5.1,

сигналів систем Dolby (Dolby Stereo, Dolby Surround і Dolby Pro Logic і т.п.). Вона використовує (додатково до вже наявних значень в MPEG-1) частоти дискретизації, рівні 16, 22,05 і 24 кГц.

Стандарт MPEG-2 ISO/IEC 13818-7 AAC призначений для високоякісного кодування звукових сигналів в повній смузі частот (до 20 кГц) при швидкостях передачі близько 64 Кбіт/с.

Стандарт MPEG-4 ISO/IEC 14496-3 орієнтований на мультимедійні додатки. Він спроектований так, щоб розширити можливості між мультимедійними терміналами мобільного доступу низької складності до високоякісних звукових систем. Він використовує базові ідеї та алгоритми кодування, вже визначені в стандарті MPEG-2 ISO/IEC 13818-7 AAC, а також нові ідеї, засновані на параметричному поданні звукових сигналів.

В свою чергу для відео даних використовуються наступні алгоритми компресії.

Алгоритм MPEG-1. Характеристики MPEG-1: Швидкість потоку становить 1,5 Мбіт/с; також дуже простий в апаратній реалізації; практично вся апаратура підтримує цей формат. Також характеризується невисоким ступенем стиснення. Під час стиснення відео, відеокадри стискаються з використанням різних алгоритмів, які називаються типами зображень або типами кадрів.



Рис 1.3. Класифікація кадрів

Основний принцип MPEG стиснення полягає в порівнянні двох послідовних образів і передача по мережі тільки невеликої кількості кадрів, що

містять повну інформацію про зображення. решта кадри (проміжні кадри) містять тільки відмінності цього кадру від попереднього. На рисунку 1.13 наведено класифікацію кадрів. Іноді застосовують двонаправлені кадри, інформація в яких кодується на підставі попередніх і наступних кадрів, що дозволяє додатково підвищити ступінь стиснення відео. Основа кодування у групи алгоритмів MPEG загальна. На сьогоднішній день нам відомо три стандарти MPEG: MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4.

Переваги MPEG-2 у порівнянні зі стандартом MPEG-1:

1. масштабованість рівнів якості зображення в одному відеопотоці;
2. точність векторів руху збільшена до 1/2 пікселя;
3. можливість вибору точності дискретного косинусного перетворення;
4. додаткові режими прогнозування.

Необхідність в кращому стисненні породило розробку подальших стандартів стиснення MPEG-4 і H.264. Обидва стандарти мають спільне походження і характеристики; були розроблені на основі попередніх стандартів стиснення. Втім, використовуються в абсолютно різних напрямках. MPEG-4 відрізняється тим, що кодек працює з об'єктами в довільній формі, в той час як попередні формати поділяють зображення на прямокутники. Наприклад, птах, що летить в небі, буде відслідковуватися як окремий предмет, що переміщається щодо нерухомого об'єкта – неба. Також серед інших стандартів MPEG-4 виділяється широким діапазоном швидкостей передачі (від 5 кбіт/с до 10 Мбіт/с). Більш того, вдосконалений алгоритм стиснення, висока якість і ефективність роблять алгоритм найпоширенішим, незважаючи на складність реалізації.

Стандарт H.264 також виконує ті ж дії, що і попередні стандарти, але з більш високою ефективністю і стабільністю, забезпечуючи сумісність з усіма широко поширеними типами додатків, такими як широке телемовлення, зберігання візуальної інформації передача потокового відео.

1.1.3 Формування мультиплексів (цифрових пакетів)

Груповий сигнал в системі цифрового телебачення формується мультиплексуванням потоків бітів різних компонентів: відео- і звукових даних і даних управління (сервісної інформації). Процес мультиплексування в системі може бути представлений як комбінація мультиплексування на двох різних рівнях - програмному і системному.

Аналогові сигнали спочатку кодуються із стисненням даних в безперервні, так звані елементарні потоки бітів (Elementary Stream, ES), які можуть мати фіксовану або змінну швидкість передачі даних. Перед мультиплексуванням елементарні потоки ES, що представляють кодовані сигнали, а також потік бітів управління перетворюються в проміжні пакетовані елементарні потоки (Packetized Elementary Stream, PES), або PES-пакети, тобто потоки даних у вигляді великих пакетів змінної довжини (до 64 КБайт), вони містять заголовок і корисне навантаження. У заголовку розміщуються дані сервісної інформації SI. У корисного навантаження PES-пакету байти даних елементарного потоку ES містяться в їх природному порядку. Формування PES-потoku з елементарного потоку ES проілюстровано на рис. 1.4 .

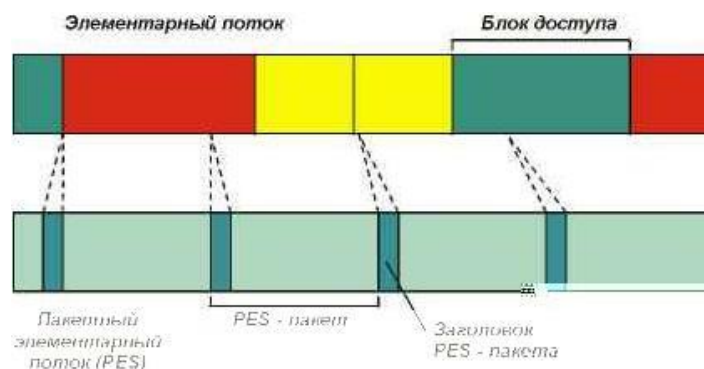


Рис 1.4 Формування PES-потoku з елементарного потоку

Кожен з індивідуальних потоків бітів ідентифікується своїм унікальним ідентифікатором пакета (Packet Identifier, PID). Потік бітів управління мультиплексуванням містить таблицю структури програми (Program Map Table, PMT), в ній знаходиться інформація про ідентифікатори пакетів PID

транспортних потоків, що утворюють програму, про додатки, що передаються за допомогою цих потоків, і про співвідношення між потоками PES-пакетів.

При формуванні єдиного потоку даних стандарт MPEG-2 передбачає дві форми такого потоку: програмний (Program Stream, PS) і транспортний (Transport Stream, TS).

Програмний потік ПП (PS). Структура PS включає пакки (pack), що містять один або кілька PES-пакетів і заголовок з посиланням на системний годинник (SCR - System Clock Reference) (рис.1.5). У потоці може бути до 16 відео і до 32 звукових потоків, але всі вони вважаються компонентами однієї програми, так як мають загальну часову базу (єдиний генератор тактової частоти).



Рис. 1.5 Структура програмного потоку

Транспортний потік ТП (TS) являє собою більш високий рівень організації даних. Транспортний потік може об'єднувати пакетні елементарні потоки, що переносять дані декількох програм з незалежними часовими базами. Він складається з коротких пакетів фіксованої довжини (188 байтів). Елементарні потоки відео, звуку і додатковий даних (наприклад, телетекст) розбиваються на фрагменти, рівні по довжині корисному навантаженню транспортного пакету (184 байта) і мультиплекуються в єдиний потік (рис. 1.6). Але цей процес підпорядковується ряду обмежень:

- перший байт кожного PES-пакету елементарного потоку повинен бути першим байтом корисного навантаження транспортного пакету;
- кожен транспортний пакет може містити дані лише одного PES-пакету.

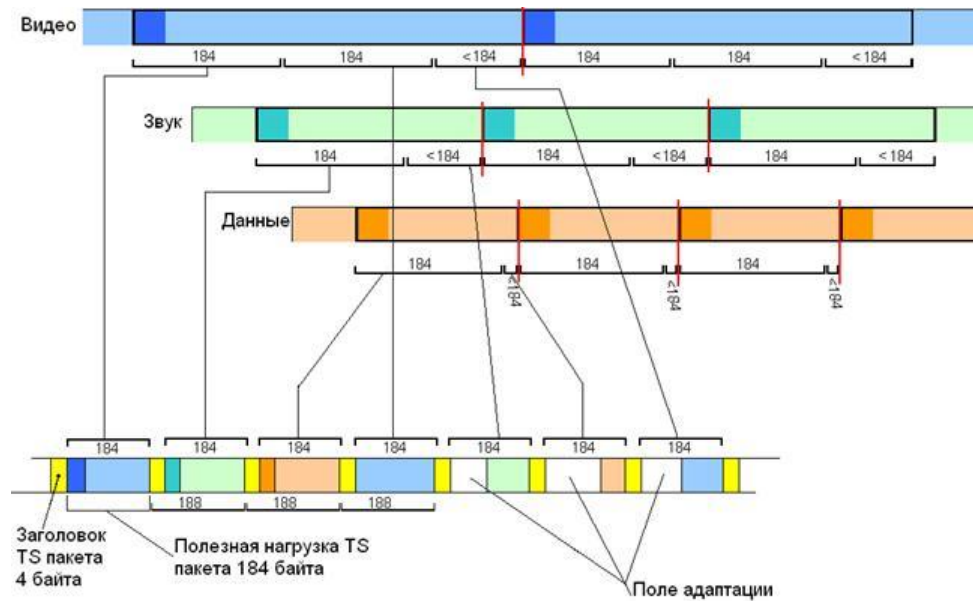


Рис. 1.6. Структура транспортного потока

Структура транспортного потока оптимізована для умов передачі даних в каналах зв'язку з шумами. Це проявляється, перш за все, в невеликій довжині пакетів. Типові приклади захисту від помилок даних транспортного потоку дають системи цифрового телевізійного мовлення. У системах DVB до 188 байтів кожного транспортного пакета додаються 16 перевірочних байтів коду Ріда-Соломона, що дозволяє виправляти в кожному пакеті до 8 уражених шумами байтів.

На другому, системному рівні мультиплексування з декількох транспортних потоків окремих програм формується єдиний **системний потік** транспортних пакетів багатопрограмної системи цифрового мовлення. Повна структурна схема формування системного потоку транспортних пакетів, включаючи введення додаткових даних, а також даних управління системою обмеження доступу (СОД), зображено на рис. 1.7.

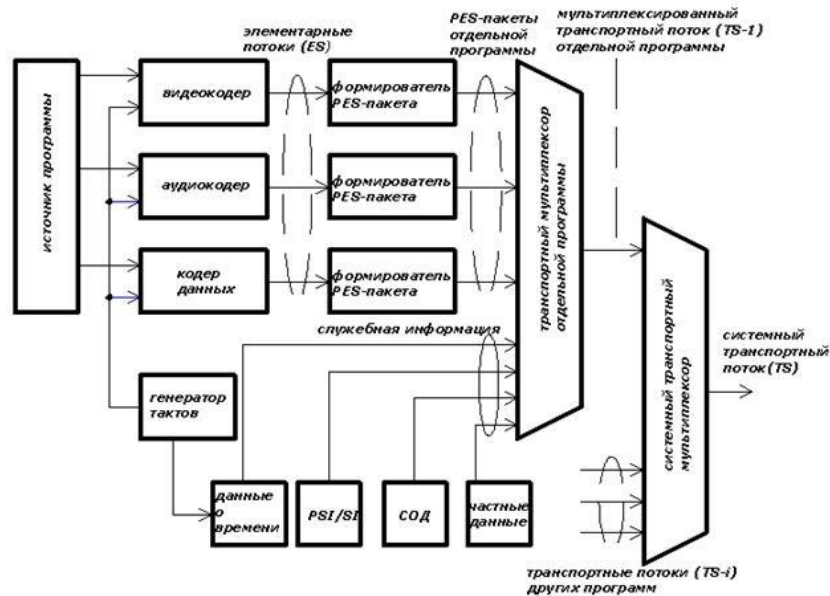


Рис. 1.7. Транспортне мультиплексування з формуванням системного потоку

Такий потік, який передається по одному фізичному каналу мережі мовлення, називається **мультиплексом**.

1.1.4 Методи модуляції та завадостійкого кодування в системах телерадіомовлення

В цифровому телебаченні вибір методу модуляції відіграє важливу роль. Крім своєї основної функції перетворення низькочастотного сигналу у високочастотний сигнал зі змінною частотою, фазою або амплітудою (відповідно до параметрів інформаційного коливання) процес модуляції є складовою частиною загального процесу узгодження сигналу з характеристиками каналу передачі.

Вибір того чи іншого виду модуляції для систем цифрового телерадіомовлення може бути обумовлений такими параметрами: частотним діапазоном, характеристиками каналу зв'язку, методом та швидкістю передачі даних. Також є ряд особливостей пов'язаних з умовами поширення радіохвиль (багатопроменеве поширення, селективні затухання, вплив гідрометеорів), а також вплив завад від індустриальних об'єктів та інших джерел радіохвиль.

В сучасних цифрових системах передачі, як правило, використовуються модулятори, які працюють по квадратурній схемі. В такому модуляторі вихідний сигнал буде представлений як сума двох різних модульованих сигналів, причому опорні коливання цих сигналів будуть мати між собою фазовий зсув на 90° .

Входи інформаційних сигналів квадратурного модулятора позначаються як I та Q . Синфазний вхід I відноситься до каналу, в якому початковий фазовий зсув несучого коливання дорівнює 0° , а вхід Q – до каналу, в якому несуча зсунута на 90° .

Структурна схема квадратурного модулятора зображена на рис. 1.8. До основних компонентів модулятора відносять два балансних модулятори та суматор високочастотних сигналів, на виході якого утворюється квадратно модульований сигнал $S(t)$. Несучі коливання, які поступають на входи балансних модуляторів мають взаємний фазовий зсув 90° . Вхідні інформаційні сигнали $x_I(t)$ та $y_Q(t)$ є квантованими за рівнем та дискретними у часі.

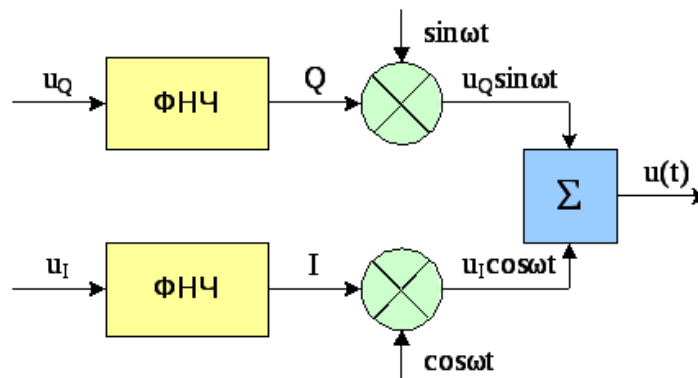


Рис 1.8. Структурна схема квадратурного модулятора

Отже, в цифровому телебаченні для передачі сигналів по супутниковим трактам використовується 4-ьох позиційна квадратурна фазова модуляція (QPSK). Це значить що високочастотне коливання може приймати 4 значення з кроком, кратним $\pi/2$.

Модуляція QPSK є компромісом між швидкістю передачі та завадо захищеністю. Діаграма станів для модуляцій QPSK зображена на рис. 1.9.

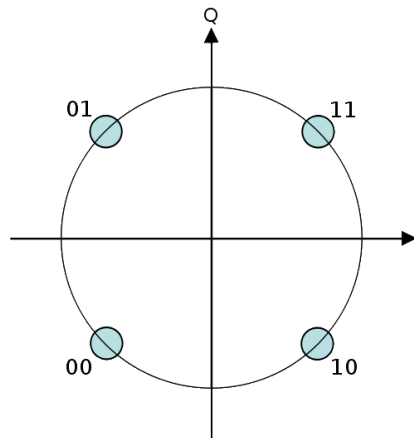


Рис 1.9. Сигнальне сузір'я QPSK модульованого сигналу

Із діаграми станів можливо зробити висновок, що співвідношення між значенням символу та фазою сигналу в сусідніх точках сигнального сузір'я відрізняються лише на 1 біт.

Також в системах цифрового супутникового мовлення використовується восьмипозиційна фазова модуляція (8-PSK). Кожним символом одночасно передається відразу 3 біта. Це означає, що бітова швидкість при цьому виді модуляції в три рази вище символної швидкості передачі даних. Діаграма станів сигналу при восьмипозиційній фазовій модуляції наведена на рисунку 1.10.

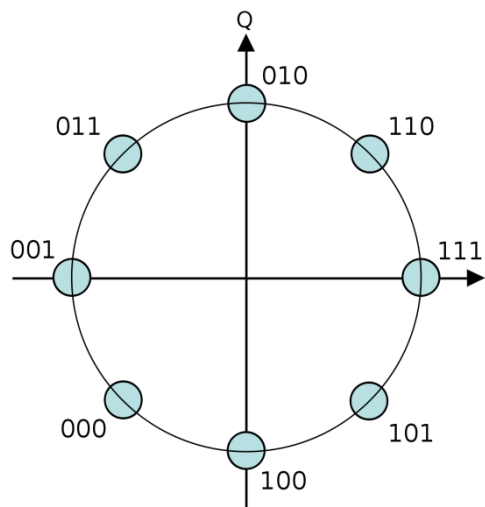


Рис 1.10. Діаграма станів сигналу при восьмипозиційній фазовій модуляції

Як і у випадку з QPSK значенням символу та фазою сигналу в сусідніх точках сигнального сузір'я відрізняються лише на 1 біт. Спектр радіосигналу восьмипозиційної фазової модуляції не відрізняється від спектра квадратурної фазової модуляції. Це означає, що перед передачею даного сигналу в радіоканал слід сформувати траєкторії переходів квадратур I і Q за допомогою фільтра Найквіста, і, тим самим, обмежити спектр результуючого сигналу в смузі радіочастот.

В свою чергу, для передачі сигналу по кабельним лініям, в системах цифрового наземного телевізійного мовлення широко використовується 16-ти позиційна квадратурна амплітудна модуляція (QAM-16). Сигнальне сузір'я QAM-16 зображено на рис. 1.11.

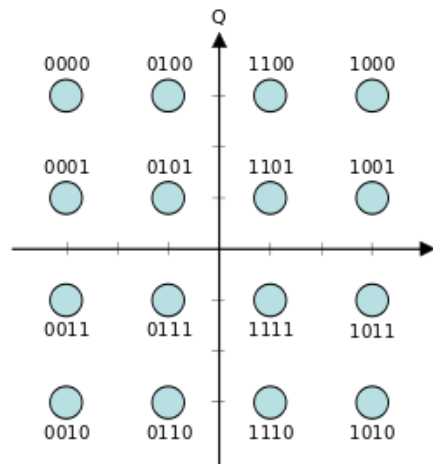


Рис 1.11. Сигнальне сузір'я QAM-16 модульованого сигналу

Сузір'я утворюється ансамблем з 16 сигналів, що розрізняються між собою по фазі і амплітуді. У кабельних системах розподілу ТВ сигналів поряд з 16QAM регламентується застосування форматів 64-QAM і навіть 256-QAM, сузір'я якої утворені 256 позиціями фази і амплітуди.

Використання 64-рівневої QAM-модуляцію, що дозволяє в каналі з пропускною здатністю 7,92 МГц забезпечити швидкість передачі даних 41,34 Мбіт/с і корисну швидкість, з урахуванням завадостійкого кодування - 38.1 Мбіт/с. Сигнали цього рівня не накладають особливих вимог до якості розподільного тракту і, як правило, можуть бути додані в уже існуючі мережі.

Також в системах цифрового наземного мовлення дуже поширеним є метод передачі, який отримав назву ортогональне частотне розділення мультимплекса (OFDM). Сутність даного методу полягає у тому, що в смузі каналу мовлення 8 МГц розміщується від 2 до 8 тисяч несучих коливань. Кожна з несучих модулюється потоком даних, який є частиною повного цифрового потоку. При цьому потік даних попередньо може бути промодульований QPSK, M-QAM, де $M = 16, 64$.

Отже, OFDM сигнал формується за допомогою N гармонійних піднесних, які рознесені один від одного на інтервали Δf . При чому смугу частот OFDM сигналу можливо поділити на N підканалів, ширина яких дорівнює $\Delta f = 1/T_B$. В такому випадку загальну смугу частот OFDM сигналу можна записати у вигляді $\Delta F = N \cdot \Delta f = N \cdot 1/T_B$.

Швидкість передачі даних в кожному елементарному потоці дорівнює системній швидкості, поділеній на кількість несучих. Властивість ортогональності піднесучих дозволяє на приймальній стороні відновити кожен з них навіть у випадку часткового перекриття їх спектрів. Так як піднесні коливання знаходяться один від одного на дуже малих відстанях і, як вже було зазначено раніше, можуть накладатись один на одний, спектральна ефективність OFDM сигналу є доволі високою. Приклад розміщення піднесних коливань в спектрі OFDM сигналу зображено на рисунку 1.12.

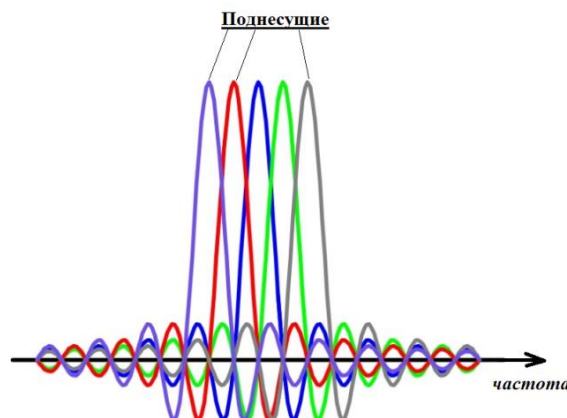


Рис 1.12. Приклад розміщення піднесних коливань в спектрі OFDM сигналу

З рисунку який наведений нижче можливо зробити висновок, що частотний розподіл піднесних коливань виконується за правилом яке допускає перекриття скатів сусідніх спектрів, але при цьому повинна виконуватись умова, що на центральній частоті кожної з піднесних спектральна складова всіх інших сигналів дорівнює нулю [3].

1.2 Сучасні стандарти цифрового телерадіомовлення

1.2.1 Стандарти наземного цифрового телевізійного мовлення DVB-T, DVB-H та DVB-T2

Система DVB-T була розроблена із властивістю істотної гнучкості, що забезпечується за рахунок опцій вибору широкого набору параметрів, з метою адаптації до всіх каналів в режимах роботи, включаючи фіксований, мобільний і переносний прийоми, а також побудова одночастотних мереж. Серед всіх існуючих систем цифрового наземного телевізійного мовлення, система DVB-T розвивалась найбільш динамічно. Свого часу система DVB-T завоювала все більше прихильників, оскільки забезпечує високу якість серед усіх можливих застосувань. Успіхам сімейства систем DVB-T, -S, -C сприяє широка стандартизація всіх субсистем і технологій, які можуть знайти застосування не тільки сьогодні, але і у віддаленій перспективі з урахуванням прогресу інших телекомунікаційних систем і зміни структури і кон'юктури ринку.

Система DVB-T визначається як функціональний блок обладнання, що забезпечує адаптацію цифрового ТБ сигналу, представленого в основній смузі частот на виході транспортного мультиплексора MPEG-2, з характеристиками стандартного наземного радіоканалу мовлення, що має ширину смуги частот 8 МГц. При цьому використовується передача сигналів за багаточастотною схемою модуляції з частотним розподілом ортогональних несучих (OFDM). В одному символі OFDM може міститися 1705 або 6817 ортогональних несучих з умовним найменуванням режимів відповідно "2k" або "8k". Як вже було

сказано раніше, кожна з несучих модулюється низькошвидкісним цифровим потоком, що є частиною загального транспортного потоку системи, а в якості первинних видів модуляції для різних умов застосування використовуються формати QPSK, 16 QAM і 64 QAM. У ТВ радіоканалі спектр системи DVB-T за рахунок використання схеми модуляції OFDM має дуже хорошу прямокутність. Повна спектральна щільність потужності модульованих несучих OFDM є сумою спектральних густин потужності безлічі несучих. Теоретичний спектр сигналу OFDM для каналу зі смугою 8 МГц показаний на рис.1.13, а узагальнена структурна схема системи DVB – Т зображена на рис.1.14 [4].

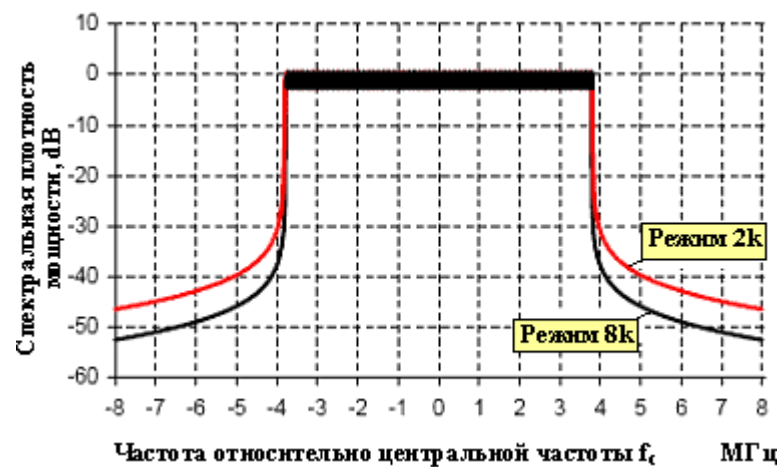


Рис. 1.13. Теоретичний спектр сигналу OFDM

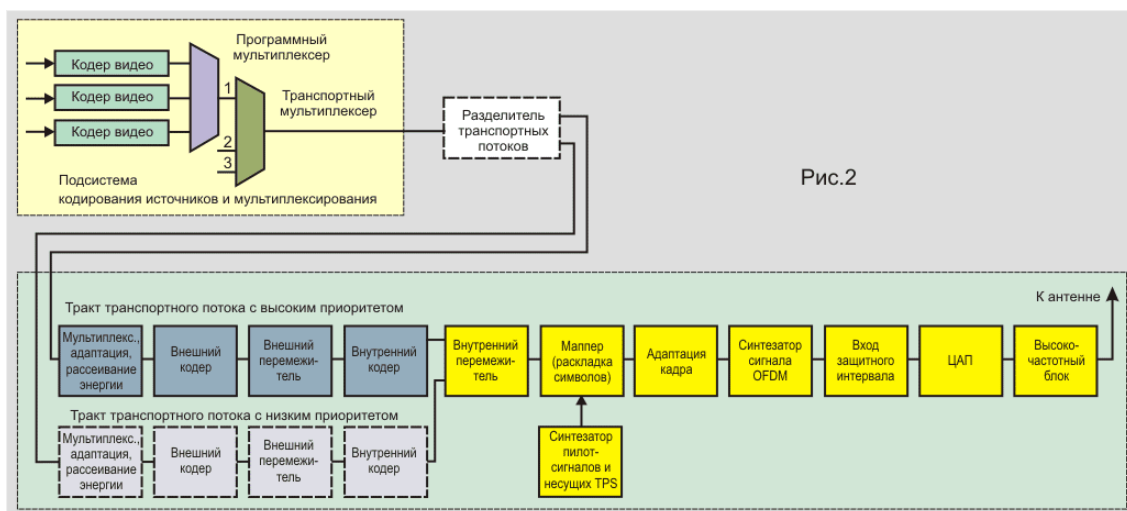


Рис. 1.14. Структурна схема системи DVB – Т

В системі DVB-T на виході тракту зовнішнього кодування і перемешення утворюється потік кодованих пакетів довжиною по 204 байта: 1 байт

синхронізації, 187 байтів даних транспортних пакетів і 16 байтів зовнішньої кодозахисності. Після внутрішнього кодування довжина пакета зростає пропорційно обраної кодової швидкості згорткового коду. Отриманий результуючий потік бітів в процесі модуляції перетворюється в символи сигналу OFDM, які організовуються в кадри. Чотири кадру утворюють один суперкадр.

Символ OFDM складається з двох частин: корисної частини і захисного інтервалу. Захисний інтервал передує корисної частини і є циклічним префіксом рівної за тривалістю останньої частини символу.

Стандарт DVB-H (мобільне мовлення) базується на стандарті DVB-T (цифрове ефірне мовлення) в частині розширення деяких встановлюваних параметрів, орієнтованих на умови прийому цифрових сигналів в мобільних умовах.

Які ж завдання покликана вирішувати система DVB-H? Основними з них є:

- Економія струму споживання акумуляторної батареї мобільного терміналу. Це завдання з'явилася визначальною при формуванні концепції мобільного мовлення.
- Стійкий мобільний прийом в русі, в тому числі на великих швидкостях.
- Можливість прийому при багатопроменевому поширенні сигналу, особливо в кімнатних умовах.
- Повна сумісність з вже існуючими мережами DVB – T.

Концептуальна структура DVB – H прийому представлена на рис. 1.15, а структурна схема приклад використання системи DVB – H для передачі IP – послуг представлена на рис. 1.16 [5].

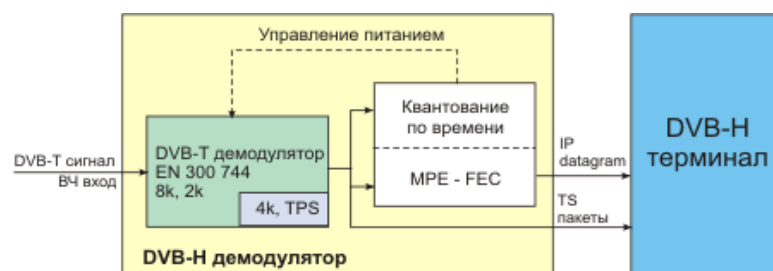


Рис. 1.15. Структурна схема прийому сигналу стандарту DVB-H

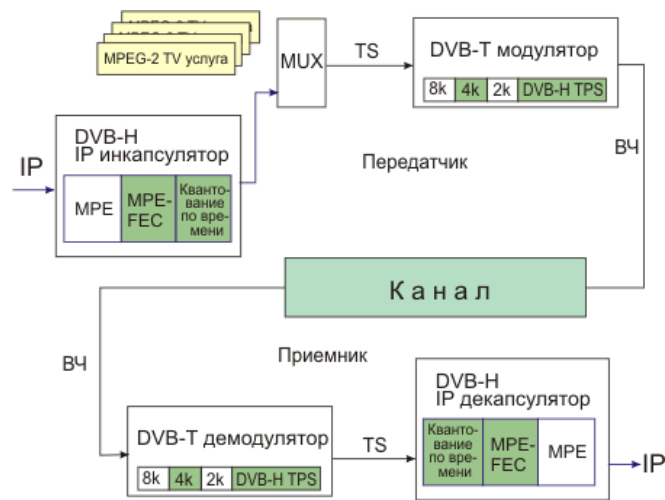


Рис. 1.16. Приклад використання системи DVB-H для передачі IP – послуг

Головні відмінності від DVB-T закладені в каналному рівні. Перш за все – це квантування за часом (Time Slicing) і введення упереджуючої корекції помилок (MPE – FEC), що дозволило різко збільшити ймовірність прийому в порівнянні з DVB-T.

В свою чергу стандарт DVB-T2 є вдосконаленим і функціонально розширеним послідовником стандарту DVB-T. У ньому збережені основні ідеї обробки сигналу:

- скремблювання
- перемеження даних
- кодування

Але кожен із етапів удосконалений та доповнений.

У загальному випадку пропускна здатність системи стандарту DVB-T2 залежить від наступних параметрів:

- розмірності FFT,
- типу модуляції,
- параметрів кодів LDPC і BCH,
- тривалості захисного інтервалу,
- обраної схеми пілот-сигналів,
- використання режиму PLP або multiPLP.

Правильний підбір комбінації всіх описаних параметрів дозволить мінімізувати втрати в заданій зоні покриття, оптимізувати значення потужностей передавачів, пропускну здатність і стійкість системи. При цьому в стандарті DVB-T2 різних комбінацій параметрів значно більше, ніж в стандарті DVB-T, що робить його більш гнучким для проектування мереж цифрового телевізійного мовлення.

Використання крім транспортного потоку MPEG TS транспортного потоку загального призначення (generic transport stream), що дозволяє адаптивно змінювати розмір пакета що забезпечує зниження обсягу переданих даних і робить мережу більш гнучкою;

Розподіл несучих між логічними потоками інформації PLP - (physical layer pipes). Це дозволяє одночасно передавати кілька транспортних потоків, кожен з яких поміщається в свій PLP.



Рис. 1.17. Принцип PLP у стандарті DVB - T2

Таким чином, забезпечується співіснування в одному радіочастотний каналі послуг, що передаються з різним ступенем завадостійкості: режим модуляції і режим завадостійкого кодування може вибиратися для кожного PLP індивідуально.

Для SFN-мереж введений режим MISO. Досвід експлуатації SFN мереж показав, що навіть при додаванні синхронізованих сигналів, результуючий спектр COFDM схильний спотворень. В результаті, для компенсації спотворень, тобто збереження необхідного відносини S/N (сигнал-шум), необхідна більш висока потужність передавачів. Режим MISO дозволяє уникнути цих недоліків.

Також у порівнянні із сигналом DVB-T була змінена система розподілу пілот-сигналів: введено 8-м різних схем розміщення пілот-сигналів: PP1 ... PP8.

Змінено схему завадостійкого кодування і перемеження:

- Код Ріда-Соломона (RS) → код BCH;
- Згорткове кодування (CC) → код LDPC.

На рис. 1.17 зображено порівняння кодувань в стандартах DVB-T і DVB-T2. Проаналізувавши графіки, можливо зробити висновок, що коди LDPC і BCH забезпечують більш високу стійкість перед перешкодами, ніж коди Ріда-Соломона і згорткове кодування.

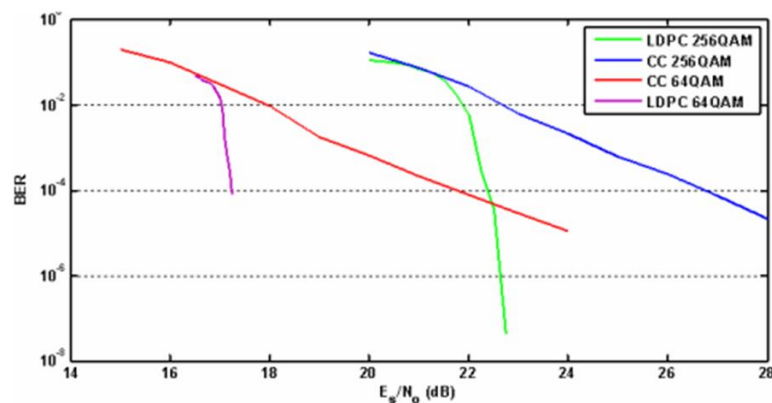


Рис. 1.17 Порівняння кодувань в стандартах DVB-T і DVB-T2

Також, у новому стандарті введена підтримка модуляції 256QAM (з поворотом сигнального сузір'я). Введено додаткові режими, включаючи 16К і 32К. Додаткові значення захисних інтервалів: 1/128, 19/128, 19/256.

В системі DVB-T2 ускладнена система перемеження, в неї вводиться перемеження за часом, що дозволяє збільшити захищеність сигналу від імпульсних перешкод, які характерні для міської місцевості.

Далі наведено порівняння наявних режимів передачі в DVB-T і в DVB-T2:

Табл. 1.1. Порівняння наявних режимів передачі в DVB-T і в DVB-T2

	DVB-T	DVB-T2
Кодування з виправленням помилок	Згорткове кодування + кодування Ріда Соломона 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	LDPC + BCH 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6

Вид модуляції	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
Захисний інтервал	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 19/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/28
Розмір FFT	2k, 8k	1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k
Розсіяні пілот-сигнали	8% від загального числа	1%, 2%, 4%, 8% від загального числа
Постійні пілот-сигнали	2,6% від загального числа	0,35% від загального числа
Пропускна здатність	31,66 Мбіт/с	50,34 Мбіт/с

1.2.2 Стандарти супутникового цифрового телевізійного мовлення DVB-S та DVB-S2

Супутникове (SAT) TV мовлення було і залишається найшвидшим, надійним і економічним способом подачі TV сигналу високої якості в будь-яку точку простору. Всі мовні штучні супутники Землі (ШСЗ) розміщуються на так званій геостаціонарній орбіті (ГО) - круговій орбіті на висоті ~ 36000 км в площині екватора. Перебуваючи на ГО, супутник нерухомий відносно поверхні Землі, тому що обертається з тією ж кутовою швидкістю, що і Земля. Зона видимості геостаціонарній ШСЗ - близько однієї третини земної поверхні. Для SAT мовлення виділені спеціальні ділянки радіочастотного спектру в сантиметровому діапазоні хвиль, де допускається підвищена щільність потоку потужності з ШСЗ. Найбільш освоєна ділянка К U-діапазону з частотами 11,7...12,5 ГГц. Однією з особливостей застосування ШСЗ є обмеженість енергетичного потенціалу супутникового ретранслятора, в силу чого в SAT мовленні традиційно використовують методи обробки, що вимагають мінімального відношення несуча/шум на вході демодулятора в обмін, на смугу частот сигналу. Додатковою особливістю цифрового SAT мовлення є той факт, що багатопрограмне мовлення здійснюється за рахунок мультиплексування в цифровому потоці, а робота передавача ШСЗ здійснюється тільки на одній несучій в нелінійному режимі, що дозволяє підвищити його вихідну потужність на 2,5...4 dB. Таке підвищення енергетики еквівалентне зменшенню діаметру

рефлектора приймальної антени в 2 рази в порівнянні з прийомом сигналів аналогового мовлення. Число програм TV мовлення, яке можна передавати за допомогою одного супутникового транспондера, залежить від необхідної швидкості передачі інформації, компонентного або композитного формату кодування для джерела сигналу, якості і роздільної здатності вихідного зображення, критичності алгоритму стиснення до деяких видів зображень і необхідної якості відновленого зображення. Досягнення в області стиснення даних дозволяє організувати велику кількість цифрових високоякісних ТВ каналів з відносно низькими швидкостями (менше 1 Мбіт/с, що еквівалентно 20-25 TV каналів в стандартній смузі SAT каналу величиною 27 МГц). У багатьох випадках допустима і швидкість в 400 кбіт/с, що еквівалентно не менше 60 TV каналів з одного транспондера.

Структурна схема передавальної частини стандарту DVB-S показана на рис.1.18. На передавальній стороні виконуються наступні перетворення потоку даних для його адаптації до каналу:

- транспортне мультиплексування і рандомізація для дисперсії енергії
- зовнішнє кодування за допомогою коду Ріда-Соломона (RS)
- згорткове переміщення і внутрішнє кодування з використанням виколотого згорткового коду
- формування сигналу в основній смузі частот і його модуляція.

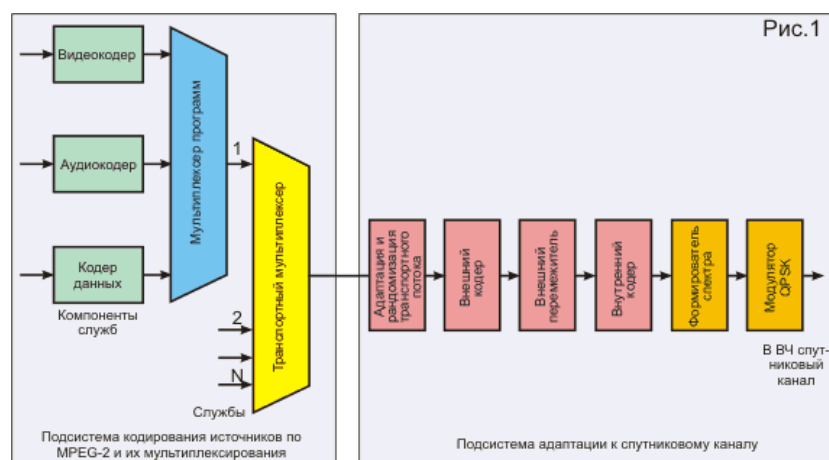


Рис. 1.18. Структурна схема передавальної частини стандарту DVB-S

Для SAT систем TV мовлення характерні обмежена потужність сигналу, що передається і, отже, підвищена чутливість до впливу шумів і інтерференційних перешкод. Спільне використання енергетично ефективної квадратурної фазової модуляції QPSK і каскадного кодування для каналу на базі укороченого коду RS і згорткового коду в поєднанні з алгоритмом декодування Вітербі з м'яким рішенням забезпечує високу стійкість системи в умовах впливу шумових і інтерференційних перешкод, а також нелінійності бортового ретранслятора (можливості роботи при підвищеній потужності). Завдяки злагодженій фільтрації і прямому виправленні помилок, висока якість прийому досягається навіть в екстремальних умовах, коли рівень мінімального сигналу близький до значень, відповідним граничним значенням відносин несуча/шум і несуча/інтерференційна перешкода. При цьому гарантується не більше однієї помилки на годину, що еквівалентно ймовірності помилок близько 10^{-10} ... 10^{-11} на вході демультиплексора MPEG-2 на приймальній стороні. [6]

Стандарт системи другого покоління (DVB-S2) для відеомовлення, інтерактивних послуг, збору новин та інших широкосмугових супутникових (SAT) додатків є доповненням до широко використовуваного стандарту SAT-мовлення DVB-S. DVB-S2 використовує останні досягнення як в модуляції, так і в кодуванні каналу, що дозволяє збільшити пропускну здатність близько 30% і більше в порівнянні з DVB-S. В межах переданого потоку даних може використовуватися широкий набір адаптивного кодування, модуляції і рівнів захисту від помилок (тобто швидкості кодування). За допомогою реверсного каналу (а це може бути будь-який фізичний канал, включаючи і телефонні лінії), що інформує передавач про фактичні умови прийому, можуть бути оптимізовані параметри передачі для кожного індивідуального користувача в режимі мовлення "точка-точка".

Система DVB-S2 може використовуватися в конфігураціях "одна несуча в транспондері" або "багато несучих в транспондері" (використовується FDM - частотне мультиплексування). Очевидно, що при одній несучій символна

швидкість передачі буде відповідати смузі пропускання транспондера. При наявності ж декількох несучих, символна швидкість буде відповідати виділеному частотному діапазону даної послуги. Максимальна ж кількість послуг, що надаються, буде обмежена як смугою транспондера і необхідною швидкістю кожної з послуг, що надаються, так і допустимим рівнем взаємних перешкод між суміжними несучими. При одній несучій, в залежності від обраної швидкості кодування і модуляційної констеляції, система може працювати при C/N від -2,4 dB (використовуючи QPSK 1/4) до 16 dB (використовуючи 32APSK 9/10). Результати розрахунків змодельовані на комп'ютері (рис. 1.19) для ймовірності помилки пакета 10^{-7} як для DVB-S2 так і для DVB-S, і відповідають приблизно одному помилкового пакету TS інформації за годину передачі TV послуги на швидкості 5 Мбіт/с. При традиційному каналі з гаусовим шумом збільшення пропускної здатності становить 20-35% в порівнянні з DVB-S і DVB-DSNG при тих же умовах передачі або поліпшення на 2 ... 2,5 dB умови прийому при тій же ефективності спектра [7].

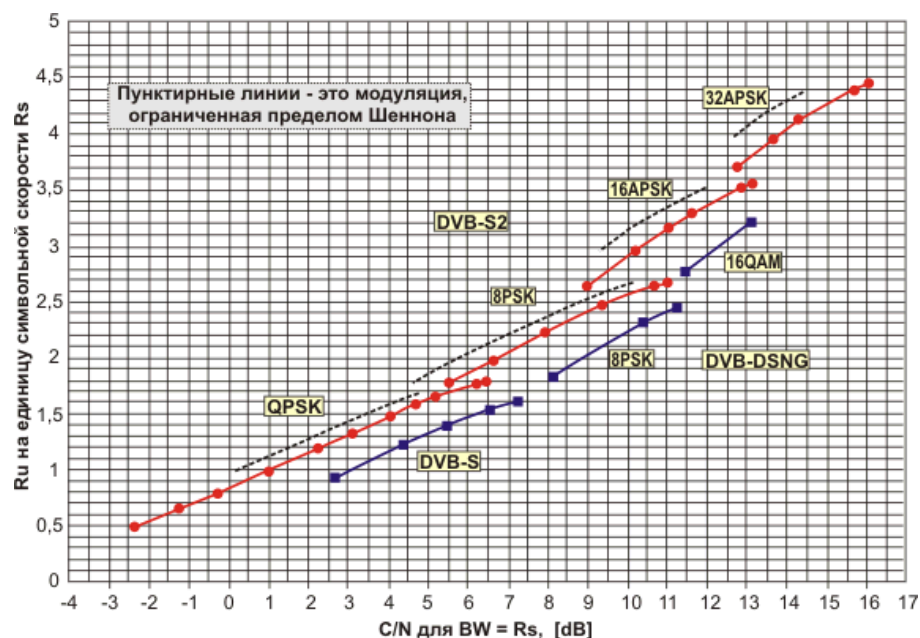


Рис. 1.19. Результати розрахунків, що змодельовані на комп'ютері для стандарту DVB-S2 та DVB-S

1.2.3 Стандарт кабельного телевізійного мовлення DVB-C

Структура системи DVB-C (Стандарт DVB-C) максимально гармонізована зі структурою супутникової системи DVB-S, але в якості типу модуляції в ній використовується не QPSK, а M-QAM з числом позицій M від 16 до 256. На рис.1.20 показана структура як обладнання головної станції кабельної лінії, так і абонентського приймача-декодера для такої лінії.

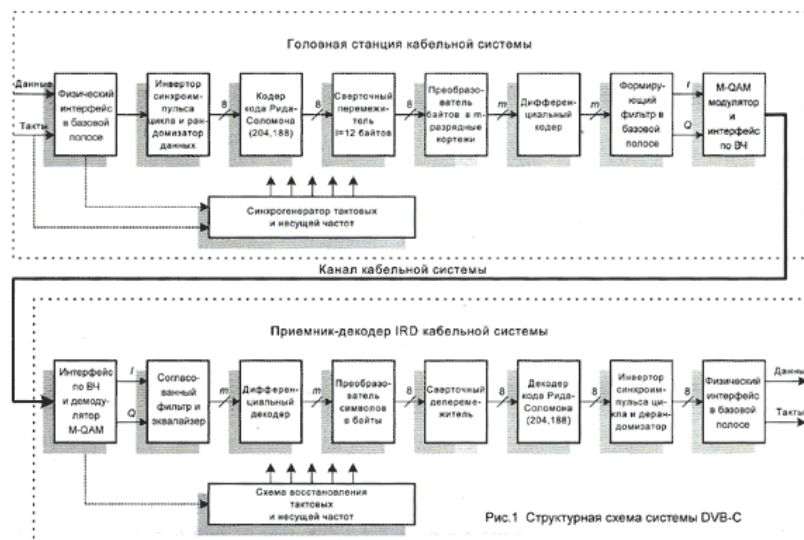


Рис.1.20. Структурна схема системи DVB-C

Вхідними сигналами на головній станції є транспортні пакети MPEG-2 і такти, одержувані через інтерфейс в основній смузі від: супутникової лінії, технологічних ліній, локальних програмних джерел і т. п. методи інверсії кожного восьмого байта для циклової синхронізації, рандомізації, перемежовування і кодування RS-кодом не мають відмінностей від аналогічних методів і пристроїв в системах DVB-S і DVB-T. Перетворювач байтів і кортежі (короткі послідовності бітів, рівні значності моделюючого коду) здійснює формування бітових структур, що задовольняють умові подальшого отримання символів QAM.

З метою отримання сузір'я, що не залежить від обертання несучої, до двох старших розрядів кожного символу QAM застосовується диференціальне кодування. На цьому формування кортежів закінчується і здійснюється узгоджена фільтрація для формування спектра в квадратурних каналах I і Q.

Потім сигналами I і Q моделюються квадратурні несучі, і сигнал QAM переноситься по спектру в смугу робочого кабельного каналу, для сполучення з яким служить фізичний інтерфейс. На прийомі у відповідному порядку виконуються Зворотні операції з демодуляції і декодування сигналу в цифровій приставці Set-Top-Box (STB).

Характерною особливістю розглянутого тракту адаптації є відсутність внутрішнього згорткового кодека і наявність формування спектра в основній смузі. Захист від пакетованих помилок проводиться виключно за рахунок перемеження на виході кодера Ріда-Соломона.

Після згорткового перемежування безперервну послідовність байтів необхідно розділити на короткі послідовності бітів, кожна з яких відповідає символу QAM, тобто певній точці на квадратурній діаграмі модульованого сигналу. Такі послідовності двійкових символів називаються кортежами. Довжина кортежу $m = \log_2(M)$, де M – число позицій сигналу M -QAM (тобто $2^m \times \text{QAM}$). [8]

Висновки до розділу

У першому розділі були наведені основні теоретичні відомості про стандарти цифрового телевізійного мовлення. Було розглянуто та описано один із методів формування багатопозиційних видів модуляцій, а саме за допомогою I/Q модулятора. Зважаючи на те що кожен із різновидів цифрового мовлення використовує різні види модуляцій, то додатково було приведена коротка характеристика основних видів, які використовуються стандартами цифрового мовлення, а саме M-QAM, QPSK, 8-PSK та OFDM. Також була описано історія створення, сфери використання та принципи на яких базуються основні методи стиснення аудіо- та відеоданих.

Знання та розуміння принципів, які наведені у першому розділі, є необхідними для подальшої роботи з апаратно-програмним комплексом.

2. Апаратно-програмний комплекс для формування та дослідження сигналів цифрового телевізійного мовлення

У даному розділі представлені основні компоненти передавальної та приймальної частини апаратно-програмного комплексу на базі модуляторів Dektec. Також більш детально розглянуто самі характеристики модуляторів та розроблено узагальнені структурні схеми для подальших досліджень.

2.1 Розробка узагальненої структурної схеми апаратно-програмного комплексу

Для проведення експериментальних досліджень було запропоновано дві узагальнені структурні схеми. Перша – на основі використання ефірних радіоканалів дециметрового (ДМХ) та сантиметрового (СМХ) діапазонів. Друга – на основі використання коаксіальної лінії передачі. Кожна з цих схем може бути використана для передачі та дослідження сигналів цифрового телевізійного, супутникового та кабельного мовлення.

2.1.1 Структурна схема апаратно-програмного комплексу на основі використання ефірних радіоканалів ДМХ та СМХ діапазонів

Структурна схема апаратно-програмного комплексу на основі ефірних радіоканалів ДМХ та СМХ діапазонів складається з персонального комп'ютеру, до якого за допомогою шини PCI-Express під'єднані модулятори ефірного супутникового та наземного телевізійного мовлення Dektec DTA-107 та Dektec DTA-115, що знаходяться в середині системного блока.

З виходу модулятора Dektec DTA-107 сигнал за допомогою коаксіальної лінії подається на НВЧ передавач при цьому в дану схему додатково включений адаптер живлення +12 В, для живлення ланцюгів НВЧ передавача.

Після чого сигнал за допомогою рупорної антени передається на деякій частоті СМХ. На приймальній стороні схема дзеркальна по відношенню до передавальної, а саме за допомогою рупорної антени сигнал приймається, після чого прийнятий сигнал поступає на НВЧ приймач, в схему також включений адаптер живлення +12 В для живлення цього передавача. Після чого сигнал на подається SAT сплітер, з виходу якого сигнал подається на плату OMICOM, яка підключена до ПК за допомогою шини PCI-Express, та побутовий SAT ресивер, який підключений до одного із входів телевізора.

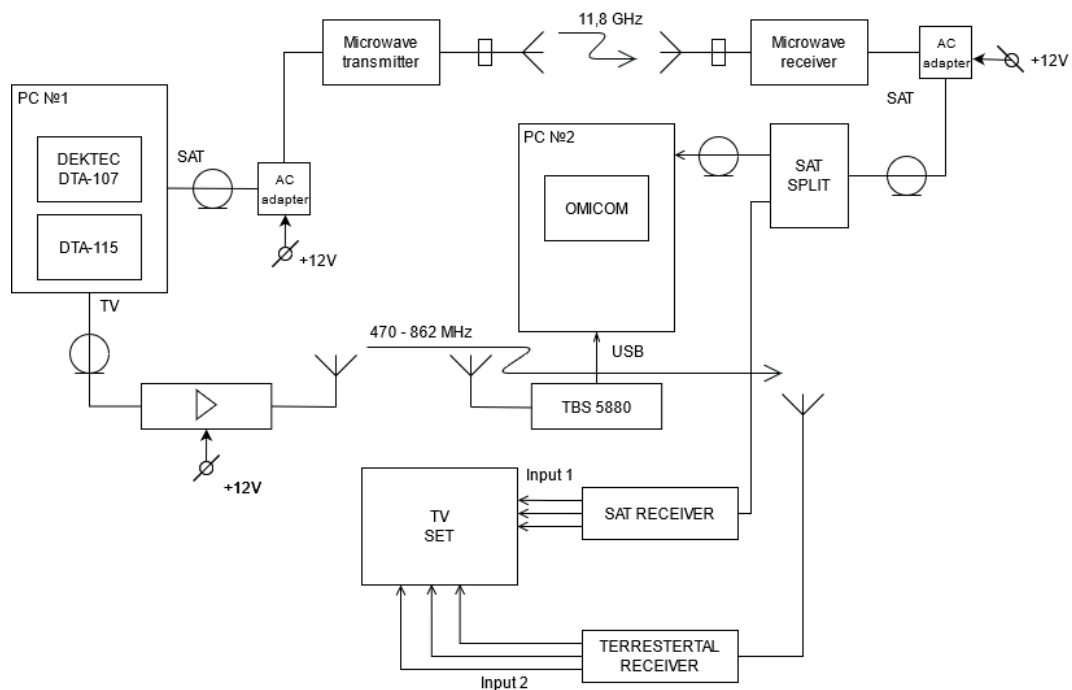


Рис. 2.1. Структурна схема апаратно-програмного комплексу на основі ефірних радіоканалів ДМХ та СМХ діапазонів

З виходу модулятора Dektec DTA-115 сигнал поступає на підсилювач до якого прикладена напруги +12В, та з його виходу сигнал поступає на антену, де передається на частоті 470 – 862 МГц. На приймальній стороні сигнал одночасно приймається двома антенами з виходу однієї з них сигнал відповідно поступає на приймач TBS 5880, який підключений до ПК за допомогою інтерфейсу USB, та з виходу другої антени сигнал подається на вхід ресиверу

для прийому сигналів наземного цифрового мовлення, який підключений на інший вхід телевізора.

2.1.2 Структурна схема апаратно-програмного комплексу на основі використання коаксіальної лінії передачі

Структурна схема апаратно-програмного комплексу на основі використання коаксіальної лінії передачі зображено на рис. 2.2.

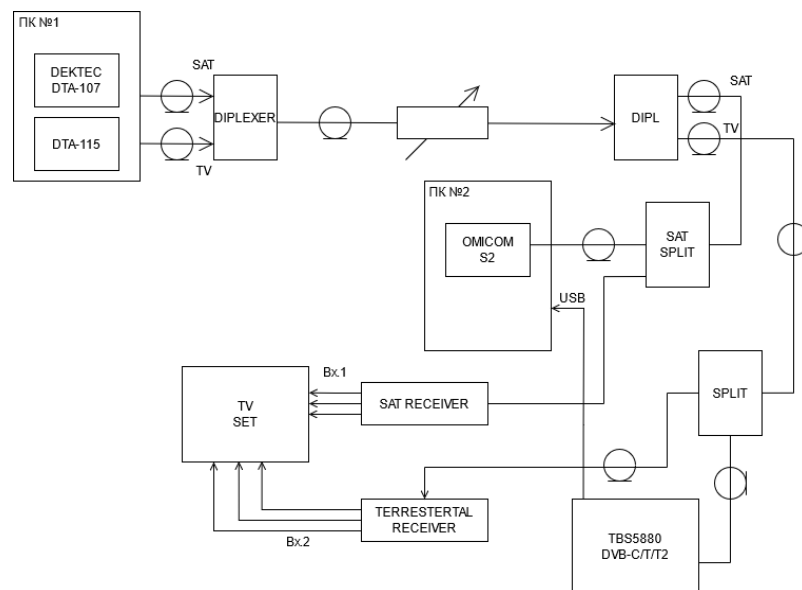


Рис. 2.2. Структурна схема апаратно-програмного комплексу на основі використання коаксіальної лінії передачі

Як бачимо, запропонована схема складається з персонального комп'ютеру, до якого за допомогою шини PCI-Express під'єднані модулятори Dektec DTA-107 та Dektec DTA-115. З виходів модулятора сигнал поступає на диплексер. Диплексер використовується для об'єднання сигналів наземного та супутникового мовлення та передачі його далі по одній коаксіальній лінії. Отже, далі в схему доданий атенюатор зі змінним коефіцієнтом послаблення потужності сигналу. Після чого сигнал знову подається на диплексер, але в цьому випадку замість об'єднання він виконує зворотну функцію – частотне розділення та передачу сигналів цифрового ефірного та супутникового

мовлення на відповідні пристрої прийому сигналів. Далі сигнал стандарту DVB-T/T2 подається на вхід TV сплітеру, а сигнал стандарту DVB-S/S2 – на вхід SAT сплітеру. Це необхідно для того, щоб передати сигнал на велику кількість кінцевих пристроїв за допомогою яких можливо буде відтворити переданий сигнал та виконати його аналіз. В нашому випадку в якості кінцевих пристроїв виступає персональний комп'ютер, до якого за допомогою шини PCI-Express під'єднана карта OMICOM S2 та за допомогою інтерфейсу USB під'єднано гібридний пристрій TBS5880 для прийому сигналів DVB-T/T2/C, також сигнал було прийнято за допомогою відповідних ресиверів та відтворено на телевізорі.

На мою думку дана схема підходить безпосереднього для дослідження параметрів сигналів цифрового мовлення, так як використовуючи коаксіальну лінію як середовище поширення сигналу ми можемо мінімізувати негативний вплив зовнішнього випромінювання на інформаційний сигнал.

2.2. Основні елементи передавальної частини апаратно-програмного комплексу

2.2.1 Персональний комп'ютер передавальної частини

У якості персонального комп'ютера для передавальної частини рекомендовано використовувати комп'ютер, який знаходиться під управлінням операційних систем Windows 7, 8, 10 або Linux $\geq 2.6.18$, 3.x, 4.x, 5.x, або Windows Server 12, 16, 19. При чому також мінімально допустимим процесором для роботи є процесор Intel Core i5, рекомендованим – Intel Core i7, або еквівалентні процесори компанії AMD.

2.2.2 Модулятор Dektec DTA-107S2

Плата модулятора DTA-107S2 (рис.2.3) була першою платою від компанії Dektec. Спочатку модулятор підтримував лише стандарт DVB-S, але пізніше було додано підтримку DVB-S2.

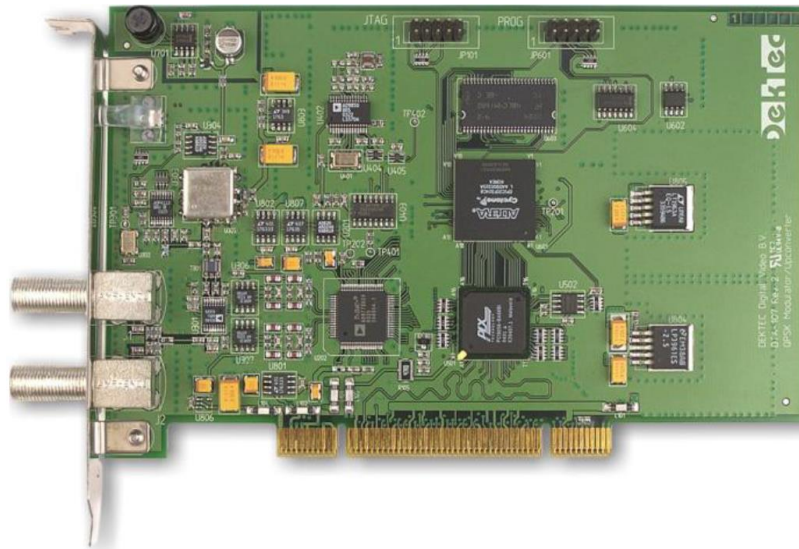


Рис. 2.3. Зовнішній вигляд плати модулятора Dektec DTA-107S2

Призначення: багатоцільовий генератор цифрового супутникового мовлення для використання у лабораторії, для розробки та перевірки супутникового обладнання або для експериментів із схемами RF-модуляції. Технічні характеристики модулятора DTA-107S2 приведено в табл.2.1.

Таблиця 2.1 Технічні характеристики модулятора DTA-107

Модуляція		DVB-S/S2
Корисний діапазон швидкості передачі даних		0 – 72,5 Мбіт/с
Символьна швидкість	Діапазон	0,088 – 45 МБод
	Точність	$\leq \pm 25$ ppm
Радіочастотний вихід	Роз'єм (2х)	Тип F, 75 Ом
	Діапазон частот	950 – 2150 МГц
	Стабільність частоти	$\leq \pm 1$ ppm
	Розмір кроку	200кГц
	Вихідний рівень	- 27 дБм $\pm$ 3 дБ
	Побічні коливання	>40 дБ
	Зворотні втрати	≥ 15 дБ

Блок схема модулятора Dektec DTA-107 наведено на рис.2.4. [9]

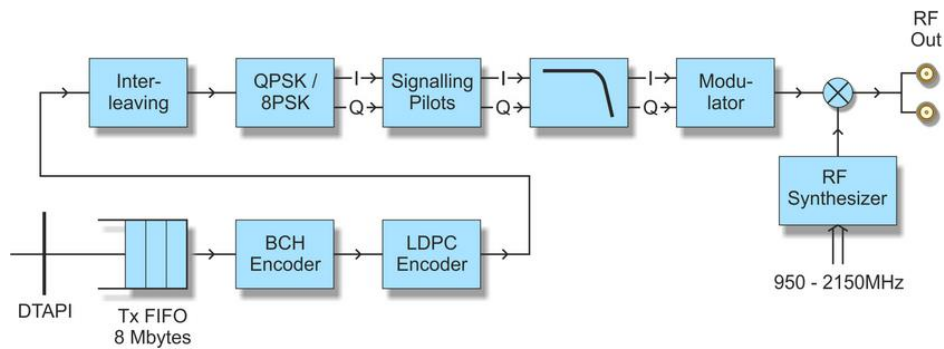


Рис. 2.4. Блок схема модулятора Dektec DTA-107

Модулятор взаємодіє з ПК за допомогою DTAPI. Спочатку сигнал потрапляє у 8 Мб FIFO буфер, після чого сигнал проходить 2 ступені кодування, кодом BCH та LDPC. Після чого сигнал потрапляє на блок перемеження. Це робиться для боротьби з пачковими помилками. Наступним кроком сигнал поступає на вхід блоку в якому залежності від виду модуляції формуються сигнали I та Q. Після чого до сигналів I та Q додається пілот-сигнал і вони подаються на фільтр нижніх частот. Після чого сигнали подаються на вхід модулятора, де на виході формується сигнал з відповідним стандартом модуляції. Після чого сигнал подається на суматор, де він сумується з сигналом з виходу кварцового генератора, та подається на радіочастотний виходи.

2.2.3 Модулятор Dektec DTA-115

Плата модулятора Dektec DTA-115 (рис.2.5) використовується для стандартів наземного ефірного мовлення на основі таких видів модуляцій як QAM, OFDM та VSB. Вона підтримує всі сигнальні сузір'я та режими модуляції для кожного підтримуваного стандарту мовлення, в УКВ та УВЧ, з перетворювачем частоти від 47 до 862 МГц. Підтримує пряме 12-бітове відтворення сигналів I/Q. Також плата має вихідний підсилювач з

програмованим аттенюатором від 0 до 31,5 дБ з кроком 0,5 дБ, та незалежний двонаправлений порт DVB-ASI.

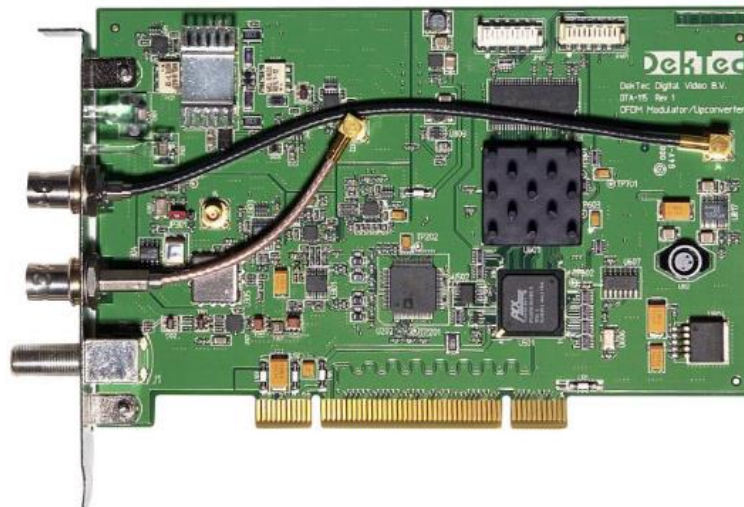


Рис. 2.5. Зовнішній вигляд плати модулятора Dektec DTA-115

Призначення: багатостандартний тестовий модулятор загального призначення для розробки та перевірки обладнання цифрового телевізійного мовлення або для експериментів з новими схемами RF-модуляції. Також, може використовуватись як автоматичне випробувальне обладнання для тюнерів, демодуляторних мікросхем, приймачів, телевізорів тощо. Технічні характеристики модулятора DTA-115 приведено в табл.2.2.

Таблиця 2.2 Технічні характеристики модулятора DTA-115

Діапазон частот		47 – 862 МГц
Ширина смуги		5,0 – 8,0 МГц
MER (OFDM)		≅ 40 дБ
Основний вихід	Роз'єм	50 Ом BNC
	Зворотні втрати	≥ 15 дБ (47 – 862 МГц)
	Фазовий шум	< -90 дБ @ 10 кГц
	Спектральна чистота	>50 дБ (47 – 862 МГц)
	Рівень (QAM)	-31,5 – 0 дБ м ± 2 дБ
	Рівень (OFDM)	-34,5 – -3 дБ м ± 2 дБ
Вихід для моніторингу	Роз'єм	50 Ом F
	Зворотні втрати	≥ 15 дБ (47 – 862 МГц)
	Рівень (QAM)	-27,5 дБм ± 3 дБм
	Рівень (OFDM)	-30,5 дБм ± 3 дБ

ASI	Роз'єм	50 Ом BNC
	Зворотні втрати	≥ 15 дБ (5 – 270 МГц)
PCI compliancy		r2.2, 32-біт, 33/66 МГц
Стандарти мовлення, які підтримує модулятор за замовчуванням	DVB-C	EN 300 429
	DVB-T / DVB-H	EN 300 744
	QAM	J.83 Annex A/B/C
	ATSC VSB	ATSC A/53E

Блок схема модулятора Dektec DTA-115 наведено на рис. 2.6. [10]

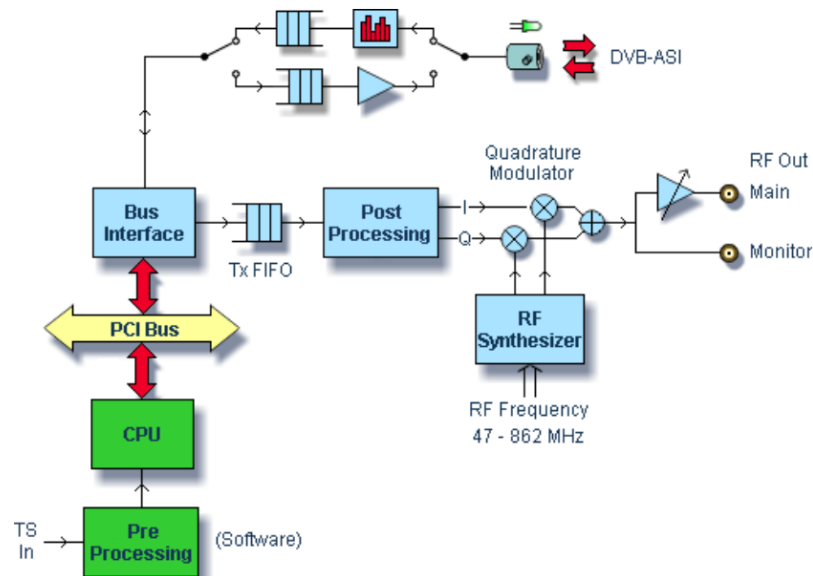


Рис. 2.6. Блок схема модулятора Dektec DTA-115

Транспортний потік який надходить на вхід модулятора Dektec DTA-115 спочатку проходить через блок попередньої обробки. Після чого за допомогою шини PCI (PCI Bus), яка вбудована в материнську плату комп'ютера транспортний потік передається на інтерфейс зовнішньої шини модулятора. Після чого сигнал потрапляє у FIFO буфер, та вже з виходу буфера сигнал поступає на блок пост обробки. На виході блоку постобробки вже сформовані сигнали I та Q, за допомогою яких можливо сформувавши будь-який вид багатопозиційної модуляції. В свою чергу кожен з цих сигналів потрапляє на окремий суматор. На один із входів суматора подається сигнал I або Q, а на інший подається частота з виходу кварцового генератора. Після чого сигнал з виходу цих суматорів сумуються в один спільний сигнал, та подається на пряму

на вихід для моніторингу, та через підсилювач з регульованим коефіцієнтом посилення сигнал подається на радіочастотний вихід.

2.2.4 Антена передавальна ДМХ діапазону

У якості передавальної антени було використано рамочну антену. Найбільше поширення отримали двоелементні рамочні антени (інша їх назва – Подвійний квадрат (рис. 2.7)) та триелементні рамочні антени (Потрійний квадрат).

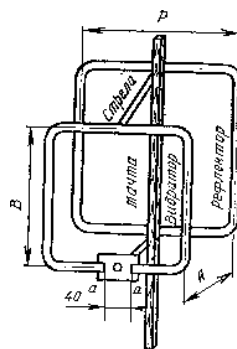


Рис. 2.7. Схема двоелементної рамочної антени

За даними С. К. Сотнікова [11], коефіцієнт підсилення двоелементної рамочної антени, складає 8 ... 9 дБ, а вхідний опір знаходиться в межах 70 ... 80 Ом.

Великий коефіцієнт підсилення рамочних антен вказує на достатньо вузьку ширину пелюстки діаграми направленості. Тому такі антени необхідно орієнтувати у напрямку на приймальну антену більш ретельно.

Двоелементна рамкова антена може використовуватися в зоні прямої видимості, а трьохелементна рамкова антена – в зоні півтіні, прилеглої до зони прямої видимості.

2.2.5 Макет передавального тракту СМХ діапазону

Спрощена структурна схема НВЧ передавача наведена на рис. 2.8.

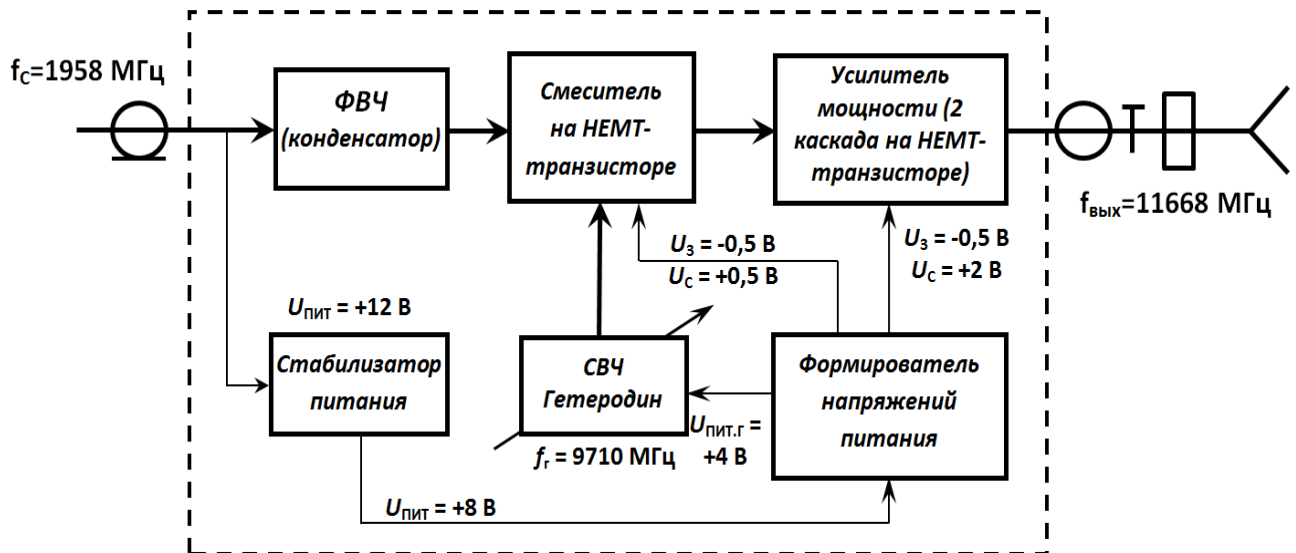


Рис. 2.8. Спрощена структурна схема НВЧ передавача

Фотографія друкованої плати НВЧ передавача зображено на рис. 2.9.

Умовні позначення на рис. 2.9:

1. Радіочастотний вхід, на який надходить ТВ радіосигнал та напруга живлення +12 В;
2. Змішувач на польовому транзисторі НЕМТ;
3. 1-й каскад підсилювача потужності на НЕМТ транзисторі (коэф. підсилення приблизно 10-12 дБ);
4. 2-й каскад підсилювача потужності на НЕМТ (коэф. підсилення приблизно 10-12 дБ) транзисторі;
5. Польовий транзистор НЕМТ, що включений за схемою із загальним витоком;
6. Зонд, що сполучений із круглим хвилеводом;
7. 2-й каскад підсилювача потужності на НЕМТ (в даній роботі не задіяний);
8. Інтегральна мікросхема комутатора. Призначена для формування набору напруг живлення транзисторів підсилювача потужності, змішувача, гетеродинів.
9. Біполярний НВЧ транзистор гетеродину;

10. Діелектричний резонатор на частоту 9750 МГц;
11. НВЧ фільтр високих частот;
12. Гетеродин на частоту генерації 9750 МГц;
13. Гетеродин на частоту генерації 10600 МГц (В даній роботі не задіяний).
14. Фільтр високих частот (роздільний конденсатор).

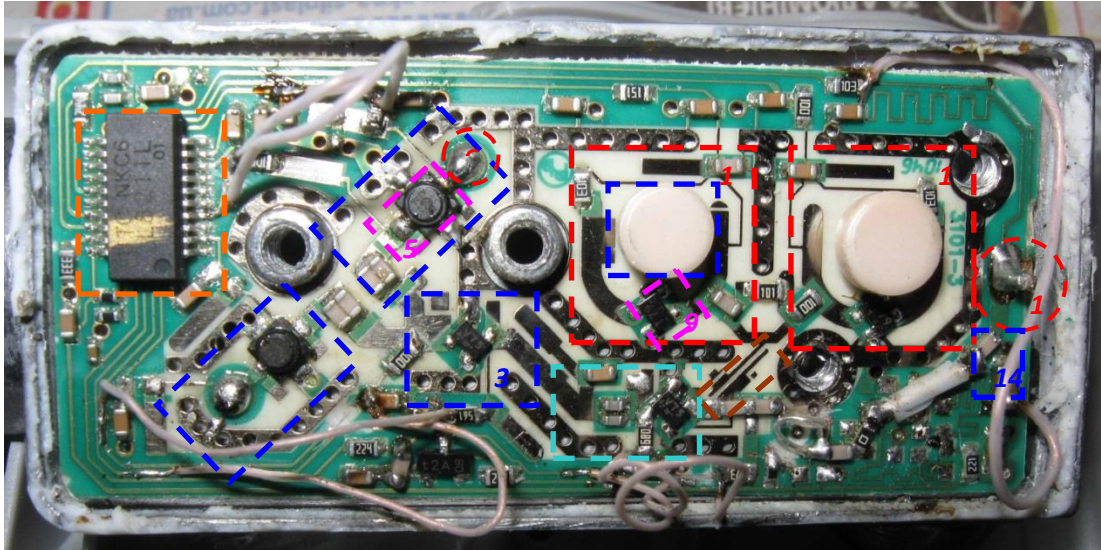


Рис. 2.9. Фотографія НВЧ передавача

Перед тим як хвиля потрапить в зовнішнє середовище, вона проходить ділянку круглого хвильоводу в конверторі. Головною хвилею в круглому хвильоводі є хвиля H_{11} . В діапазоні $2,61a \leq \lambda \leq 3,41a$ реалізується одно хвильовий режим передачі енергії, що відповідає частотам $12,771 \text{ ГГц} \geq \lambda \geq 9,775 \text{ ГГц}$. Перехід від прямокутного хвильоводу з хвилею H_{10} до круглого хвильоводу з хвилею H_{11} здійснюється шляхом поступової деформації поперечного перерізу хвильоводу від прямокутного до круглого (рис. 2.10).

В прямокутному хвильоводі для всіх типів хвиль критична довжина хвилі визначається по формулі:

$$\lambda_{\text{кр}} = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}} \quad (2.1)$$

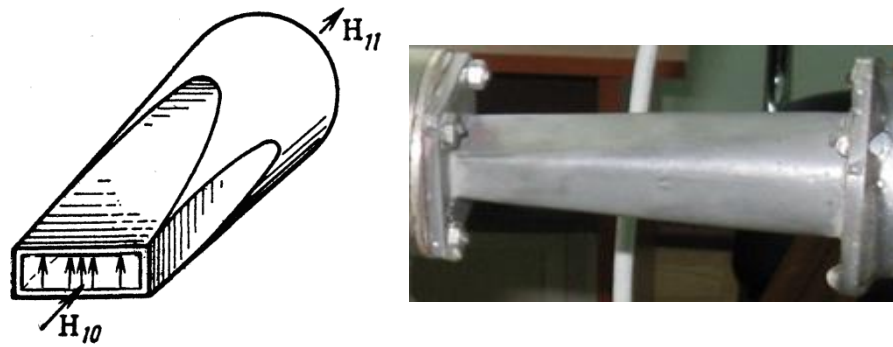


Рис. 2.10. Перехід з круглого хвильоводу в прямокутний

Отже, для одно хвильового режиму в прямокутному хвильоводі, необхідно щоб довжина хвилі лежала в межах від a до $2a$. В установці використовується прямокутний хвильовід WR-90 (23x10 мм). Отже, Одно хвильовому режиму відповідають частоти $13,043 \text{ ГГц} \geq \lambda \geq 6,522 \text{ ГГц}$, але на практиці обмежуються діапазоном 8 – 12 ГГц.

Для формування спрямованого випромінювання електромагнітної енергії НВЧ діапазону в навколишній простір в даній роботі використовується пірамідальна рупорна антена. Конструктивно являє собою відкритий кінець прямокутного хвильоводу, який поступово розширюється в горизонтальній та вертикальній площинах з метою узгодження характеристичного опору навколишнього середовища з хвильовим опором прямокутного хвильоводу. В роботі застосовані рупорні антени з розмірами розкриттів 13,5x9 см.

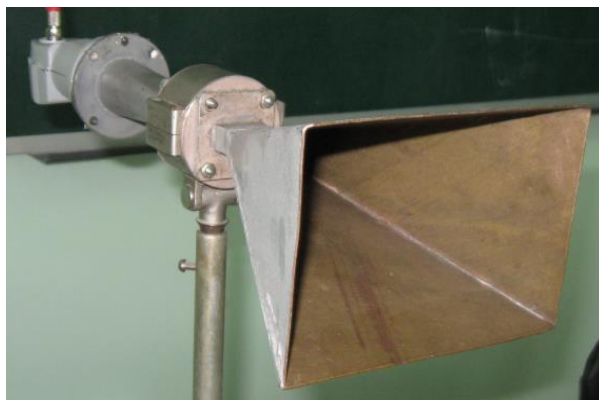


Рис. 2.11. Зовнішній вигляд рупорної антени яка використана в роботі

Розрахований коефіцієнт підсилення антени знаходиться в межах 20,3 – 22,3 дБ. Формула для розрахунку:

$$G_a = \frac{4 \cdot \pi \cdot S_a \cdot q}{\lambda^2} \quad (2.2)$$

де q – КВП – коефіцієнт використовуваної площі, S_a – площа розкриву рупорної антени, λ – довжина електромагнітної хвилі.

$q = 0,52$ – коефіцієнт використання поверхні;

$a = 0,135$ м – довжина верхнього ребра рупорної антени;

$b = 0,09$ м – довжина нижнього ребра рупорної антени;

$S_a = a \cdot b$ – геометрична площа розкриву рупорної антени.

2.2.6 Частотно-об'єднувальний та частотно-роз'єднувальний пристрій (диплексер)

Диплексер – це пасивний пристрій, що виконує мультиплексування (об'єднання) і демультиплексування (поділ) ВЧ-сигналу по частоті. За рахунок високочутливих фільтрів диплексер «розводить» вихідний сигнал з різних трактах, як би «виокремлюючи» окремі частоти із загального потоку. При цьому диплексери працюють в обох напрямках: розділяючи в одному, вони об'єднують в іншому.

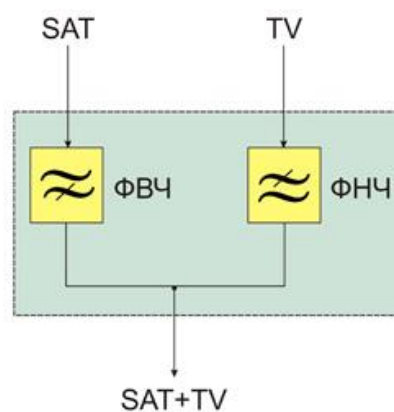


Рис. 2.12. Блок-схема TV SAT диплексер

Відповідно до блок-схеми-схема TV SAT диплексера, частота зрізу для ФНЧ приблизно дорівнює 870 МГц, а для ФВЧ частота зрізу дорівнює не менше 900 МГц.

Принцип роботи диплексора, два порти (наприклад, L і Н) мультиплексуються в третій порт (наприклад, S). Сигнали на портах L і Н займають розрізнені частотні діапазони. Таким чином, сигнали L і Н можуть співіснувати на порту S, не заважаючи при цьому один одному.

Диплексер дозволяє двом різним пристроям використовувати загальний канал зв'язку. Зазвичай канал представляє собою довгий коаксіальний кабель, а диплексер часто використовується на обох кінцях коаксіального кабелю. Така схема може бути, якщо обидва пристрої працюють на різних частотах. Схема є економічною, якщо диплексери коштують дешевше, ніж прокладка другого кабелю. Диплексери поділяють два діапазони всередині будівель. Диплексери також широко використовуються там, де багато діапазонна антена використовується на вищій із загальним фідером. Типовий приклад використання диплексера зображено на рис. 2.13.

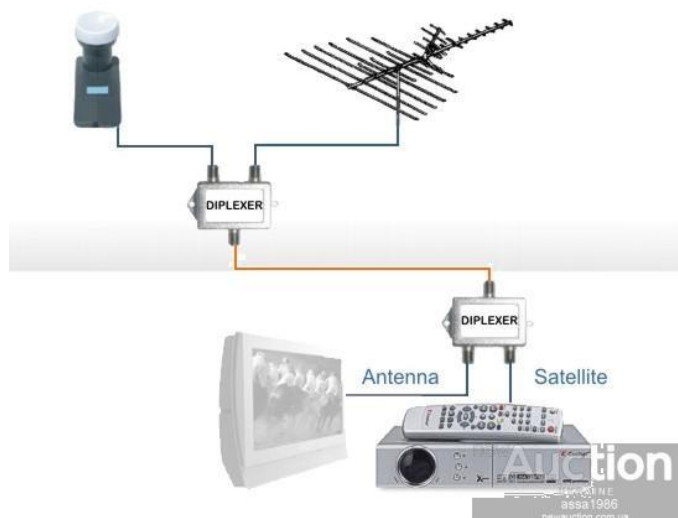


Рис. 2.13. Типовий приклад використання диплексера у побуті

2.2.7 Коаксіальна лінія передачі

Коаксіальним кабелем називають кабель зв'язку з однієї або декількох (до 20 і більше) коаксіальних пар, в яких обидва провідника - внутрішній і зовнішній, являють собою співвісні циліндри, розділені шаром ізоляції (поліетиленової, фторопластової або іншої).

Відеосигнал проходить через центральну жилу, у той час як екран використовується для зрівнювання нульового потенціалу кінцевих пристроїв. Екран також захищає центральну жилу від зовнішніх електромагнітних перешкод. Коаксіальний кабель - найпоширеніший засіб передачі відеосигналу.

Коаксіальний кабель замикає контур між джерелом і приймачем, де центральна жила кабелю є сигнальним проводом, а екран – заземленням. Тому передачу по коаксіальному кабелю і називають несиметричною передачею.

В радіоелектронній апаратурі найчастіше застосовують простий коаксіальний кабель, який містить одну центральну жилу, оточену екраном (рис. 2.14).

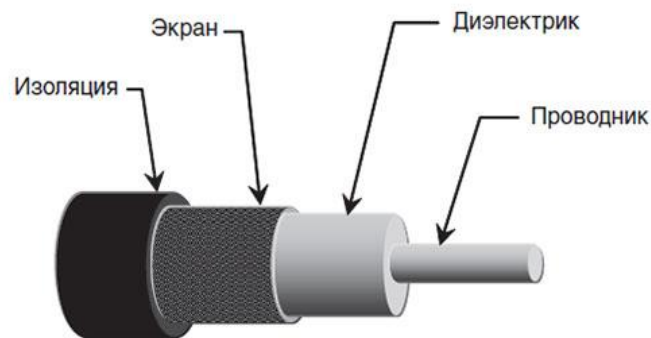


Рис. 2.14. Будова коаксіального кабелю з однією центральною жилою

В роботі використовується коаксіальний кабель FinMark RG-58. Номінальна хвильовий опір 50 Ом. Центральна жила – з мідних луджених дротів, багатодротяна. Діелектрик – суцільний поліетиленовий. Екран двошаровий, з алюмінієвої фольги на полімерній основі і обплетення з 112 мідних луджених дротів діаметром 0.12 мм, більше 90% щільності заповнення. Зовнішня оболонка – ПВХ.

2.2.8 Адаптери живлення

Адаптери живлення призначені для подачі по радіочастотному коаксіальному кабелю (в якому передається телевізійний радіосигнал), що з'єднує вихід лінійного ТВ підсилювача зі входом НВЧ передавача напруги

живлення +12 В та струму живлення 100...200 мкА для живлення ланцюгів НВЧ передавача на передавальній стороні чи для живлення ланцюгів живлення НВЧ приймача на приймальній стороні.

Адаптер живлення (рис. 2.15) – призначений для вводу живлення в коаксіальний кабель. Виконується в екранованому корпусі з листової сталі.

Технічні характеристики:

- Втрати в полосі 950-2150 МГц – ≤ 1 дБ;
- Максимальний струм – 0.5 А;
- Вхідна змінна напруга – ≤ 20 В;
- Вхідна постійна напруга – 30 В.

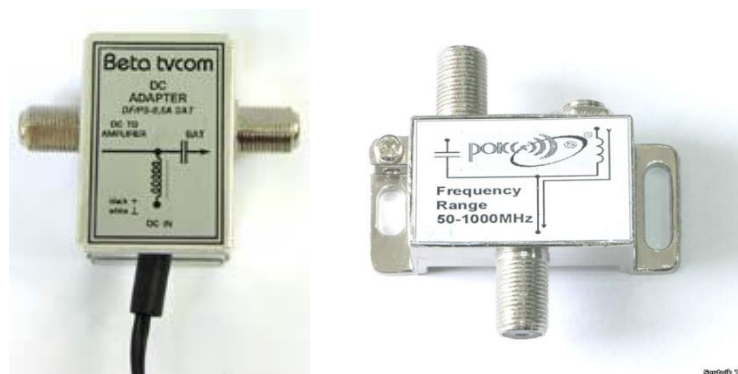


Рис. 2.15. Зовнішній вигляд адаптерів живлення

2.3 Основні елементи приймальної частини апаратно-програмного комплексу

2.3.1 Персональний комп'ютер приймальної частини

У якості персонального комп'ютера для передавальної частини рекомендовано використовувати комп'ютер який знаходиться під управлінням операційних систем Windows 7, 8, 10, XP. Рекомендованим процесором для роботи є процесор з тактовою частотою 2 ГГц, 512 Мбайт ОЗУ, звукова карта та одна із відео карт ATI з підтримкою технології ATI AVIVO HD або NVIDIA з підтримкою технології Purevideo HD.

2.3.2 Приймальні антени ДМХ та СМХ діапазону

У якості приймальної антени використовується кімнатна антена Т2 Хвиля-2. Дана антена проста у використанні і недорога при цьому вона дозволяє приймати сигнал як в аналоговому ДМХ, так і в сучасному цифровому діапазоні (DVB-T/T2). Антена має хвильову конструкцію і забезпечена 4 вібраторами. Підключається або безпосередньо до телевізора, або до цифрового Т2 ресивера коаксіальним кабелем (1.5 м) з F-роз'ємом, які йдуть в комплекті поставки. Як оптимальний економ-варіант, підійде всім, хто має прямий (без перешкод) напрямок і невелику (до 20 км) відстань до передавальної станції, і хто хоче користуватися всіма перевагами цифрового ефірного телебачення. На рис. 2.16 зображено зовнішній вигляд антени Т2 Хвиля-2. Так як антена пасивна, то і коефіцієнт підсилення мінімальний, а саме 5 дБ.



Рис. 2.16. Зовнішній вигляд антени Т2 Хвиля-2

У якості приймальної антени СМХ діапазону використовується модульована відбивальна антенна решітка. Модульована відбивальна антенна решітка (АР) належить до класу плоских фазованих АР для формування високонапрямленого випромінювання електромагнітного поля за нормаллю до її апертури.

Елементами такої АР є короткозамкнуті відрізки прямокутних хвилеводів, довжину яких вибирають за умови забезпечення синфазного розподілу електромагнітного поля на поверхні її апертури в режимі опромінювання її точковим джерелом, розташованим у фокусі АР.

Основні переваги:

- малогабаритність, зручність у транспортуванні;
- комбінація з двох АР утворює конструкцію з новою якістю - забезпечує підвищення вдвічі швидкості сканування простору в радіолокаційних системах.

Так як діаметр даної антени дорівнює 42 см, а коефіцієнт використання поверхні антени, то коефіцієнт підсилення антени, розрахований за формулою (2.2), дорівнює 32 дБ.



Рис. 2.17. Зовнішній вигляд приймальної антени СМХ діапазону

2.3.3 Макет приймального тракту СМХ діапазону

На приймальній стороні використовується супутниковий конвертор Cambridge AE-54 (або EuroSky 3101A). Він призначений для попереднього підсилення НВЧ ТВ сигналу, що надходить з навколишнього простору,

перетворення його частоти «вниз» з діапазону 10...12 ГГц в діапазон проміжної частоти 700...2000 МГц, подальшого підсилення ТВ сигналу в тракті ПЧ.

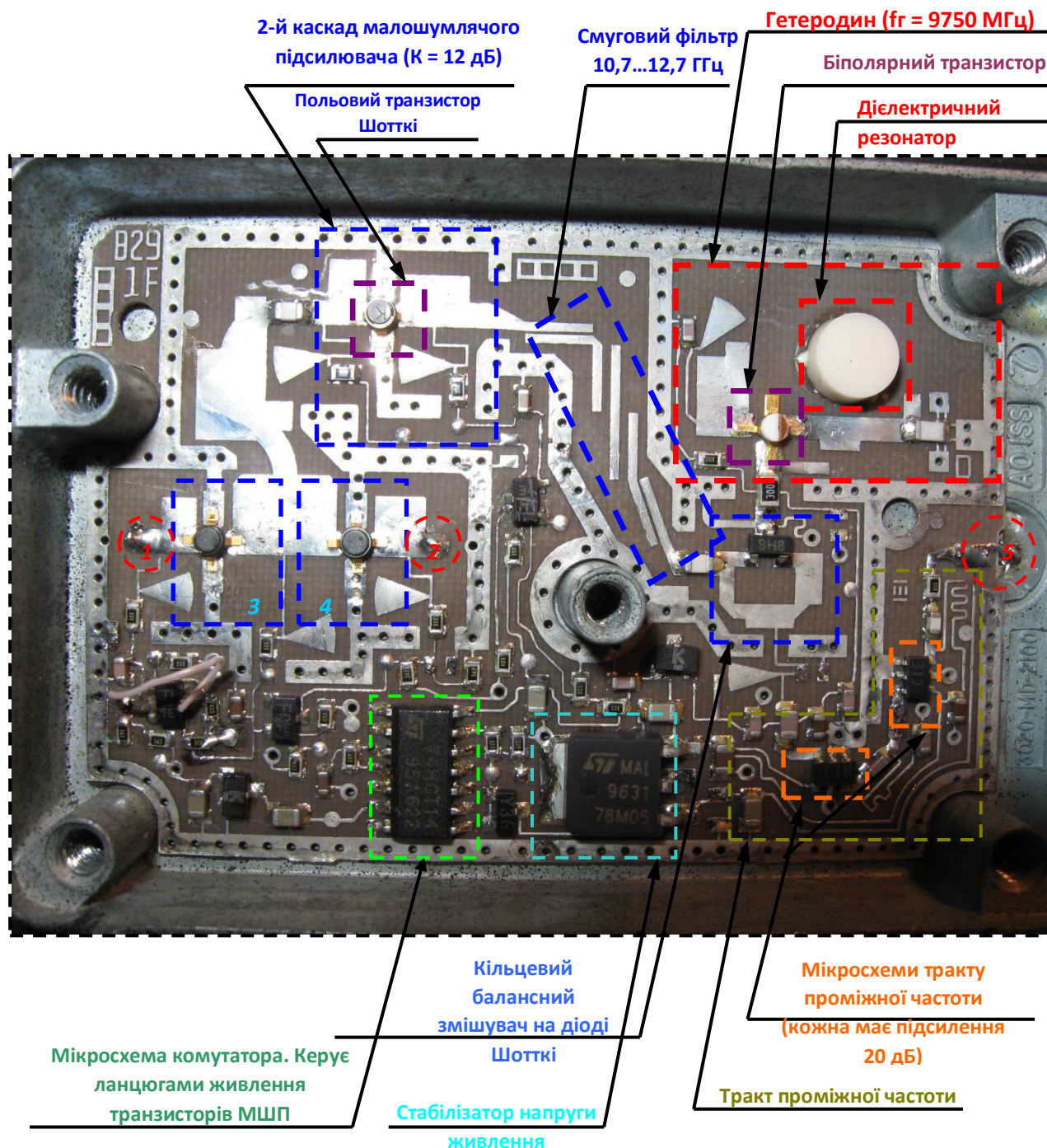


Рис. 2.18. Зовнішній вигляд печатної плати НВЧ приймача

Умовні позначення (відповідно до рис. 2.18):

1. Зонд (Штир) що з'єднаний з круглим хвилеводом для приймання сигналів з горизонтальною поляризацією;

2. Зонд (Штир) що з'єднаний з круглим хвилеводом для приймання сигналів з вертикальною поляризацією;
3. Малошумлячий підсилювач на польовому транзисторі Шоттки (ПТШ) для сигналів з горизонтальною поляризацією;
4. Малошумлячий підсилювач на польовому транзисторі Шоттки (ПТШ) для сигналів з вертикальною поляризацією;
5. Радіочастотний вихід, на який з тракту ПЧ йде підсилений НВЧ сигнал, а зі сторони зовнішньої коаксіальної лінії – напруга живлення +12 В від інжектору живлення.

Коефіцієнт підсилення НВЧ приймача складає приблизно 55-60 дБ, коефіцієнт шуму 0,5...0,7 дБ. Динамічний діапазон приблизно дорівнює 40-45 дБ. Зовнішній вигляд НВЧ приймача зображено на рис. 2.19.



Рис. 2.19. Зовнішній вигляд НВЧ приймача

2.3.4 Вимірювальні ресивери TBS5880 та Omicom S2

TBS5880 – є гібридним пристроєм для прийому сигналів стандарту DVB-T2/T та DVB-C. Його можливо використовувати для перегляду або запису цифрового ефірного або кабельного телебачення на ПК. Інтегрована підтримка CI дає можливість дивитися платне телебачення (якщо вставити CAM та передплатну смарт-карту в слот CI, будуть доступні преміум-канали). Виробник надає драйвер Linux до останнього ядра.



Рис. 2.20. Зовнішній вигляд ресивера TBS5880

Omicom S2 PCI rev.3 (рис. 2.21) - комп'ютерна PCI DVB-S/S2 карта для прийому сигналу супутникового телебачення та інтернету в стандарті DVB-S/S2. Апаратна частина карти виконана на якісних комплектуючих. Можливе застосування карти в роботі під операційним системами як Windows, так і Linux. Програмна оболонка підтримує протоколи DiSEqC/USALS, всі режими телебачення високої чіткості (HDTV). Драйвера приймача OMICOM S2 PCI побудовані на BDA архітектурі і підтримують сумісність з «альтернативним» ПО сторонніх виробників. Унікальна можливість плати - прийом ТВ пакетів, які працюють в режимі Multistream. За допомогою ПО від CrazyCat на платі відмінно реалізуються функції аналізатора спектра, "сліпого пошуку" і перегляду сузір'я сигналу.



Рис. 2.21. Зовнішній вигляд печатної плати ресивера Omicom S2

Основними особливостями карти є: висока чутливість тюнера, Впевнена робота на "критичних" символічних швидкостях, один із кращих наборів чіпів «активні компоненти» на ринку і т.д.

2.3.5 Побутовий ресивер стандарту DVB-S/S2 Uclan B6

Для прийому сигналів було використано ресивер Uclan B6. Супутниковий ресивер Uclan B6 – вдало поєднує в собі функціонал приймача супутникового HD телебачення з можливостями сучасного мультимедіа-програвача. На сьогодні - ця тенденція, відповідає сучасним потребам і технологіям в цій галузі. Даний ресивер призначений для перегляду каналів супутникового телебачення в SD і HD розширенні стандартів DVB-S, DVB-S2 в форматах MPEG2, MPEG4. Ресивер працює на надійному процесорі GX6605S з частотою 600 МГц, оснащений 64 Мб оперативної пам'яті і 8 Мб внутрішньої пам'яті.

Uclan B6 має підтримку 3G і WI-FI USB-адаптерів на чіпсетах RT5370, MT7601, що забезпечує його високошвидкісний зв'язком з інтернетом для перегляду онлайн медіа-контенту. У ресивері вбудована підтримка такого безкоштовного сервісу як YouTube, присутні плагіни погоди, IPTV і Web-TV (IPTV-плейлисти можна завантажувати як по мережі так і з USB). Технічні параметри ресиверу Uclan B6 наведено у табл.2.3. Зовнішній вигляд приймача на рис.

Таблиця 2.3 Технічні характеристики ресиверу Uclan B6

Процесор:	GX6605S (600МГц)	RCA composite:	Є
ОЗП, МБ:	64	YPbPr component:	Немає
Флеш пам'ять, МБ:	8	SCART:	Немає
Операційна система:	Пропрієтарна	RF-Out:	Немає
Карткоприймач	Немає	S/PDIF:	Немає
Common Interface:	Немає	RS-232:	Є

Кількість тюнерів:	1	DiSeqC:	1.0/1.1/1.2/USALS
ТВ розширення:	SD , HD	Установка плагінів/аддонів:	Немає
Стандарт DVB:	DVB-S , DVB-S2	YouTube:	Є
Змінні DVB тюнера:	Немає	InternetTV:	Є
Стандарт стиснення:	MPEG2 , MPEG4	Охолодження ресивера:	Пасивне
Loop вихід:	Є	Блок живлення:	Вбудований
Дисплей:	4 розрядний	Пульт Д/К:	Стандартний
Кнопки управління:	Є	Тип ресивера:	Супутниковий
Wi-Fi підтримка:	USB Wi-Fi адаптер	Чіпсет USB Wi-Fi адаптера:	RT5370 , MT760
3G:	Є	Розмір корпусу:	Стандарт
Ethernet:	Немає		
Жорсткий диск:	Немає		
USB:	2		
USB-Hub підтримка:	Немає		
eSATA:	Немає		
Timeshift:	Є		
Запис (PVR):	USB		
Медіаплеєр:	Середній		
Відтворення:	USB		
Підтримка мультістріма, t2-mi, PLP0:	Немає		
Підтримка звуку AC3:	Є		
HDMI:	Є		



Рис. 2.22. Зовнішній вигляд приймача Uclan B6

2.3.6 Побутовий ресивер стандарту DVB-T/T2

У роботі було використано побутовий ресивер DEX DVB-T44. Цифровий ефірний ресивер DEX DVB-T44 для прийому наземного електронного цифрового телебачення (DVB-T) у форматах: MPEG-4 AVC (H.264) та MPEG-2. Перевага телебачення DVB-T полягає в тому, що якість прийнятого зображення у важких умовах прийому залишається високим. Параметри сигналу DVB-T добре адаптовані до щільної міської забудови, картинка на екрані телевізора буде з «DVD-якістю». Цифровий ефірний тюнер DEX DVB-T44 дозволить Вам приймати та переглядати цифрові телеканали на звичайному телевізорі. Прийом сигналу можливий на звичайній кімнатній або наружній телевізійній антені. Зовнішній вигляд приймача на рис. 2.23. Технічні характеристики ресивера DEX DVB-T44 наведено в табл.2.4

Таблиця 2.4 Технічні характеристики DEX DVB-T44

Стандарт кодування	MPEG-2, MPEG-4 (H.264)
Діапазон частот VHF:	174-230, UHF: 474-858 МГц
Аудіовиходи	S / PDIF (Coaxial), RS-232
Відеовиходи	S-Video, Y, Pb, Pr
Вхідний опір	75 Ом
Чутливість по входу (RF)	-81 дБ до -20 дБ
Вхід антени	+
Антенний наскрізний вихід	+
Розширення	576x720
Формат кадру	4: 3, 16: 9
Напруга живлення	100-240V
Споживана потужність	12W
Розміри корпусу	260x190x45мм

Вага	1,2 кг
------	--------



Рис. 2.23. Зовнішній вигляд приймача DEX DVB-T44

2.4 Програмний комплекс StreamXpress для керування модуляторами Dektec

DTC-300-SP StreamXpress – це простий у використанні пакет програмного забезпечення для комп'ютерів під управлінням операційної системи Windows, призначений для забезпечення відтворення в режимі реального часу транспортних потоків, сумісних з MPEG-2, і записаних файлів SDI. StreamXpress призначений для завантаження кінцевим користувачем на будь-який ПК або ноутбук, який відповідає системним вимогам, і роботи в поєднанні з більшістю пристроїв виведення DekTec. StreamXpress призначений для читання правильно відформатованого транспортного потоку або файлу SDI з локального жорсткого диска ПК і підключення його до пристрою виведення DekTec для потокової передачі в реальному часі. StreamXpress підтримує широкий спектр поточкових інтерфейсів, включаючи ASI, ToSIP, радіочастотні виходи і SDI. StreamXpress надає основну інформацію про транспортний потік, включаючи: вміст транспортного потоку, PID та інформацію про файл. Він

забезпечує запуск, зупинку, паузу, плавне зациклення і багато іншого. Ці функції в поєднанні з різноманітністю доступних пристроїв виведення DekTec дають користувачеві потужне і портативне рішення для відтворення.

StreamXpress сумісний з Microsoft Windows XP/2K3/Vista/2K8/7/8. Для роботи StreamXpress необхідно знайти відповідний ліцензований пристрій DekTec. Пристрій DekTec може бути підключеним за допомогою USB інтерфейсу, наприклад як DTU-215, або картою за допомогою шини PCI/PCIe, наприклад як DTA-2144.

Основні вимоги до ПК для роботи з StreamXpress:

Залежно від програми та обладнання DekTec вимоги до запуску StreamXpress різняться.

- Операційна система:
 - Microsoft Windows XP/2K3/Vista/2K8/7/8
- Процесор і оперативна пам'ять:
 - Core 2 з 2 ГБ оперативної пам'яті для відтворення DVB-T2, або еквівалентним процесором AMD
- Дисковий привід:
 - Комбіновані швидкості > 50 Мб/с, при чому потрібно використовувати диск окремо від операційної системи.
 - Комбіновані швидкості ≤ 100 Мб/с використовують один 7200 ОБ/хв SATA
 - Комбіновані швидкості > 100 Мб/с використовують 10000 ОБ/хв SATA
 - Комбіновані швидкості > 200 Мб/с використовуйте SSD-накопичувач (твердотільний диск)

Далі також розглянемо основні налаштування програмного забезпечення StreamXpress. Так як саме вони є суміжними для всіх продуктів компанії Dektec. На рис. 2.24 зображено головне меню з основними налаштуваннями. У таблиці наведено тип та опис основних елементів головного меню ПЗ StreamXpress.[12]

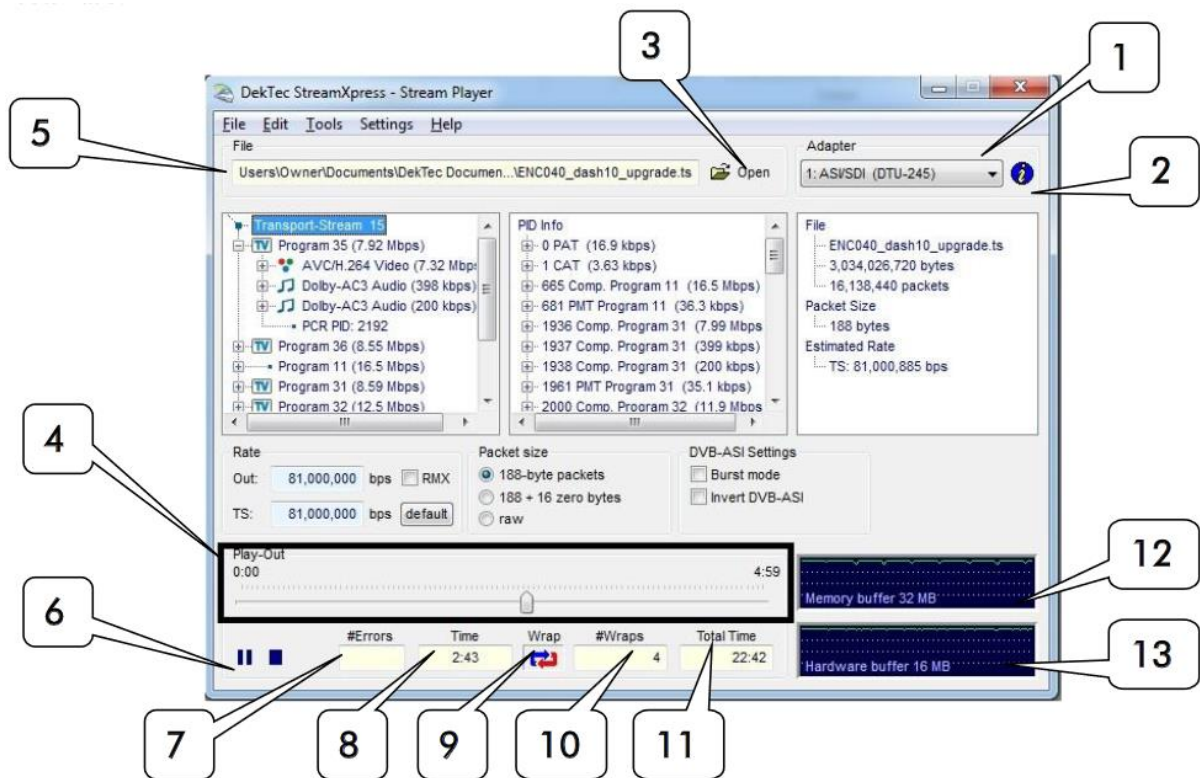
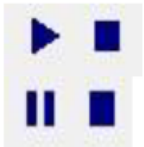


Рис. 2.24. Головне меню ПЗ StreamXpress

Табл. 2.5 Умовні позначення головного меню ПЗ StreamXpress

Змінна	Тип	Опис	Номер
Перехідник	Випадаюче меню	Виберіть адаптер та порт для відтворення	1
Інформація 	Кнопка	Інтерфейс пошуку та інформація про номер порту. Також надається серійний номер обраного адаптера	2
Відкрити	Кнопка	Виберіть файл, який потрібно відкрити для відтворення.	3
Статус відтворення	Дисплей	У цій області вказується довжина файлу, розрахована на основі PCR і бітрейта *при використанні транспортного потоку. Він також показує курсор, який вказує, де у файлі знаходиться процес відтворення.	4
Файл	Дисплей	Відображає ім'я файлу і повний шлях до відкритого файлу	5
	Кнопка	Кнопка управління, щоб розпочати відтворення та зупинити відтворення або призупинити відтворення, коли вже грає. **	6
#Помилки	Дисплей	Це внутрішній лічильник помилок, який збільшується, коли пристрій скидає пакети.	7

		Це може статися, якщо буфер переповнюється або через обмеження ресурсів ПК.	
Час	Дисплей	Цей час представляє час відтворення з початку файлу	8
Повторення	Кнопка	При натисканні файл буде повторюватися знову і знову. Якщо цей параметр не вибрано, файл буде відтворюватися лише один раз, і програвач зупиниться	9
#Повторення	Дисплей	Лічильник, який зберігає кількість циклів з моменту початку відтворення	10
Загальний час	Дисплей	Цей час являє собою повний час відтворення з моменту останнього натискання кнопки зупинки	11
Буфер пам'яті	Дисплей	Тут відображається розмір буфера пам'яті програмного забезпечення, що використовується для відтворення, і графік, що показує заповненість буфера. Якщо рядок буфера опуститься до нуля, буфер спорожніє, і відтворення зупиниться.	12
Апаратний буфер	Дисплей	Тут відображається розмір буфера пам'яті апаратного пристрою, що використовується для відтворення, і графік, що показує заповненість буфера. Якщо рядок буфера опуститься до нуля, буфер буде порожній, і відтворення зупиниться	13

2.5 Програмний комплекс на базі CrazyScan та TSReader для дослідження параметрів сигналів цифрового телебачення

TSReader – популярне ПЗ для аналізу транспортних потоків MPEG-2/H.264. Використовується тисячами людей по всьому світу, він дозволяє перевіряти та записувати дані, що передаються в транспортних потоках, що використовуються для супутникової, кабельної, ефірної та IPTV-трансляції, таких як UDP, RTP, HLS і MPEG-DASH.

Він підтримує розширення ATSC, Digicipher II, DVB, ISDB і SCTE для базової специфікації MPEG-2. TSReader дає користувачеві "загальну картину"

того, що переноситься всередині транспортних потоків MPEG-2, і може бути дуже корисним для пошуку помилок або неефективності.

TSReader доступний у трьох різних виданнях. TSReader Lite є безкоштовним для домашніх домашнього використання та користувачів, які хочуть вивчити, як працює цифрове телебачення. TSReader Standard додає ще багато функцій і може використовуватися в комерційних середовищах. Tsreader Professional містить всі функції і ідеально підходить для тих, хто щодня має справу з транспортними потоками MPEG-2.

TSReader працює на всіх сучасних версіях 32-і 64-розрядних Windows, включаючи Windows 10, і має дуже невелике навантаження на процесор. Обробка потоку 40 Мбіт/с, отриманого по Ethernet, зазвичай завантажує двоядерний процесор CoreDuo 2 2,4 ГГц приблизно на 3-5%. Також TSReader можна використовувати для моніторингу декількох потоків для цього потрібно використовувати TSReader Professional.

В свою чергу CrazyScan – це програма з власним графічним інтерфейсом, яка має дві основні функції:

- Графіки аналізатору спектра за допомогою яких можливо визначити діапазон смуги пропускання і поляризацію з заданим кроком. Головне меню програми та результати сканування спектру за допомогою аналізатору наведено на рис. 2.25.

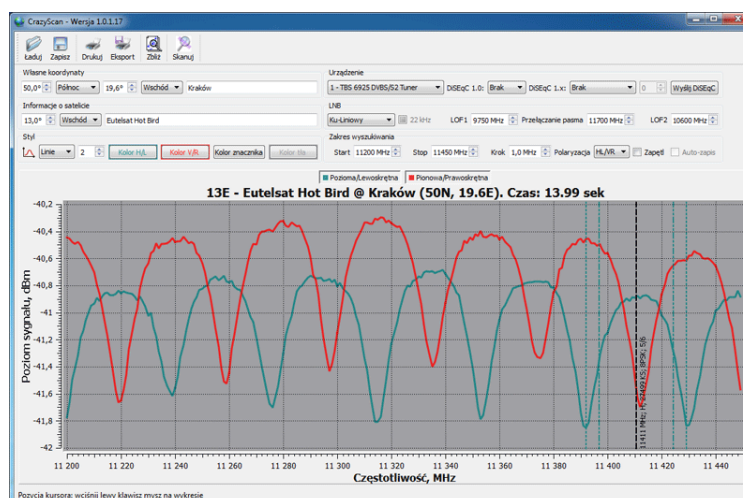


Рис. 2.25. Головне меню програми CrazyScan та результати аналізу смуги частот 11200 – 11440 МГц

- Проаналізувавши сигнал на деякій частоті можливо отримати сигнальне сузір'я і докладну інформацію про переданий сигнал (звідси ви також можете зберегти весь прийнятий транспортний потік в файл для подальшого аналізу або відправити його в зовнішнє додаток. У ролі такого додатку може виступати TSReader). Результат аналізу наведено на рис. 2.26.

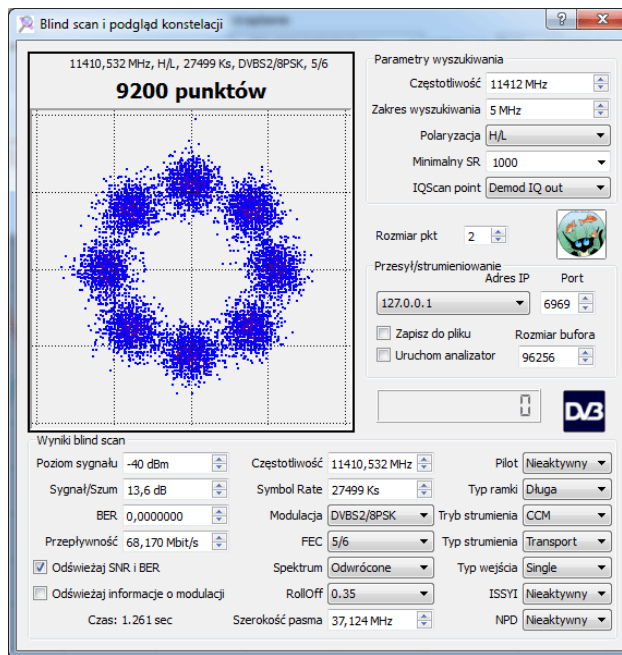


Рис. 2.26. Результати аналізу сигналу на частоті 11412 МГц

Висновки до розділу

У другому розділі були детально розглянуто кожну із плат модуляторів компанії Dektes. Зважаючи на специфіку лабораторного обладнання, яке є в наявності, було розроблено дві основні схеми для проведення подальших лабораторних досліджень з використанням апаратно-програмного комплексу.

Також були наведені технічні характеристики основних елементів, з яких складається апаратно-програмний комплекс, а саме: приймальні та передавальні антени ДМВ та СМВ тракту, адаптери живлення, побутові ресивери, які підтримують такі стандарти цифрового мовлення як DVB-T/C та DVB-S/S2, коаксіальна лінія та інші. Були описані основні відомості про

програмний комплекс на базі CrazyScan та TSReader, який в подальшому буде використовуватися для дослідження сигналів на приймальній стороні та відтворення транспортних потоків які передаються. Також була надана основна інформація для роботи з ПЗ StreamXpress, для генерації сигналів цифрового телевізійного мовлення.

3. Експериментальне випробування макету апаратно-програмного комплексу для формування та дослідження сигналів цифрового телевізійного мовлення

У даному розділі наведені основні відомості про проведення експериментальних випробувань апаратно-програмного комплексу. Також описаний детально описаний процес формування однопрограмних та багатопрограмних транспортних потоків різними шляхами. І надані основні рекомендації щодо застосування макету в навчальному процесі ІТС.

3.1 Методика проведення експериментальних досліджень

Дослідження було проведено у декілька етапів. Спочатку в якості транспортного потоку для передачі було обрано однопрограмний транспортний потік. Відповідно до структурної схеми апаратно-програмного комплексу (рис. 2.1. та рис. 2.2.) на приймальній стороні сигнал подається на два кінцевих пристрої. Один з них – це ресивер для прийому відповідного стандарту мовлення та на приймальну карту Omicom S2 PCI rev.3 для сигналу у стандарті DVB-S/S2, або на приймач TBS5880 для сигналів у стандарті DVB-T2/T/C. Використовуючи останні два пристрої з'являється можливість прийняти, відтворити та дослідити сигнал на персональному комп'ютері. Після чого даний експеримент було повторено для багатопрограмного транспортного потоку.

Додатково до всіх раніше розроблених схем для досліджень, було додано аналізатор спектру. За його допомогою можливо в реальному часі спостерігати за змінами сигналу на приймальній стороні. Також при дослідженні сигналу цифрового супутникового мовлення, до схеми було включено Rover ST2.

3.2 Формування багатопрограмного потоку телевізійного мовлення

Як вже було відзначено раніше для проведення експериментальних досліджень, необхідно мати як мінімум два різних транспортних потоки. Одних із них однопрограмний, інший багатопрограмний. При чому було виділено два основних метода для формування транспортних потоків для наших цілей. Один із них це формування потоку телевізійного мовлення шляхом його запису в реальному масштабі часу при прийомі сигналів ефірного телерадіомовлення, а інший – формування потоку телевізійного мовлення шляхом мультиплексування елементарних потоків відео- та аудіо. Кожен із цих способів має свої плюси та свої мінуси, тож далі буде детально описаний даний процес.

3.2.1 Формування потоку телевізійного мовлення шляхом його запису в реальному масштабі часу при прийомі сигналів ефірного телерадіомовлення

Для формування потоку телевізійного мовлення шляхом його запису в реальному масштабі часу при прийомі сигналів ефірного телерадіомовлення може бути використана одна із програм ProgDVB, AltDVB, SmartDVB. Кожна з цих програм може бути використана для запису як однопрограмного так и багатопрограмного транспортного потоку.

Зважаючи на те що функціонал програм який нас цікавить може надати кожна з цих то детально зупинимось на процесі запису транспортного потоку за допомогою програмного забезпечення ProgDVB.

Для того щоб розпочати запис однопрограмного транспортного потоку потрібно обрати канал транспортний потік якого ми хочемо записати, після чого обираємо вкладку «Сервіс» та з випадаючого списку обираємо «Запис».

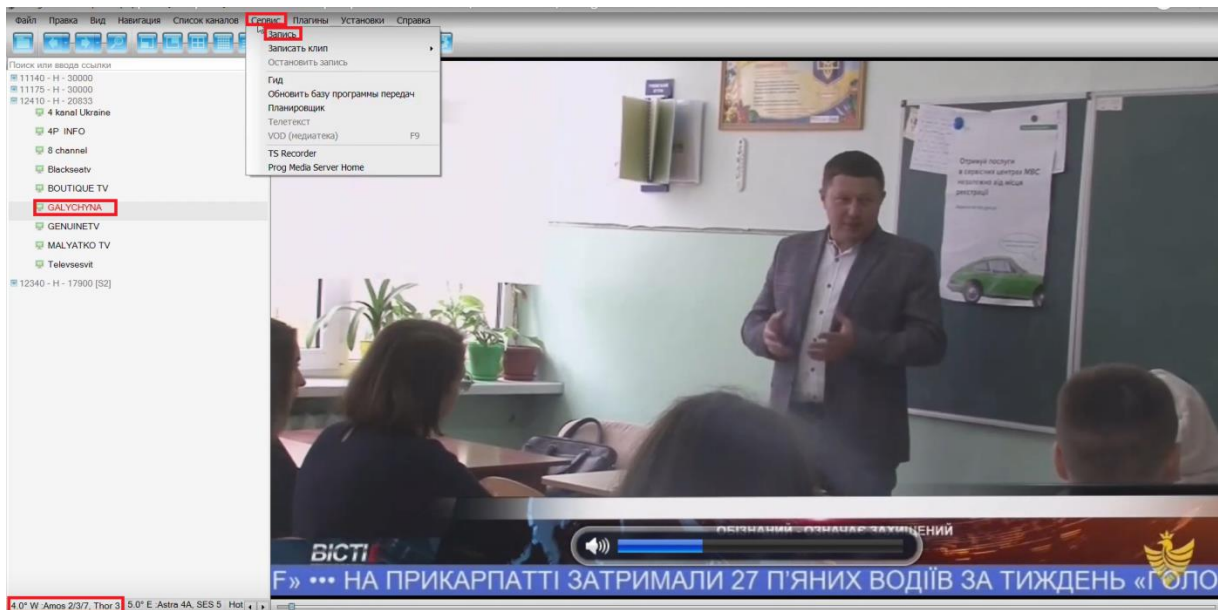


Рис. 3.1. Приклад початку запису однопрограмного транспортного потоку каналу GALYCHYNA

Після натискання на кнопку «Запис», з'явиться інформація яка сповіщає користувача про тривалість запису, місце знаходження кінцевого файлу, та його розмір. Також на екрані додатково з'являється напис REC який візуально сповіщає користувача про процес запису. Для того щоб зупинити запис обираємо вкладку «Сервіс» та з випадаючого списку обираємо «Зупинити запис». Після того як запис було зупинено транспортний потік можливо буде знайти в Record, яка в свою чергу знаходиться у папці в яку встановлено саму програму ProgDVB.



Рис. 3.2. Результат запису однопрограмного транспортного потоку каналу GALYCHYNA

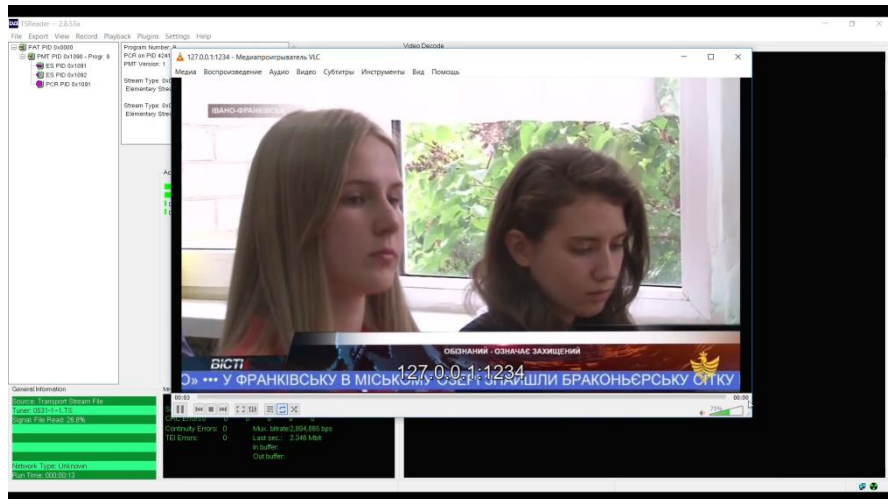


Рис. 3.3. Результат відтворення однопрограмного транспортного потоку

Після чого перейдемо до процесу запису багатопрограмного транспортного потоку. Для цього потрібно перейти у вкладку «Сервіс» та обрати із випадаючого списку «TS Recorder». Після чого у відкритшомуся вікні обираємо «All transport stream» та натискаємо «Start».

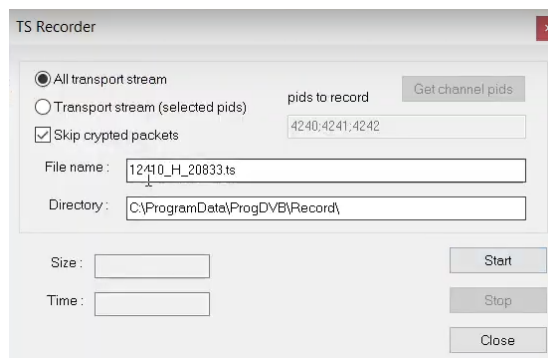


Рис. 3.4. Приклад початку запису багатопрограмного транспортного потоку

Після чого починається запис усього транспортного потоку у ту саму папку, в якій було записано однопрограмний транспортний потік. На рис. 3.5. зображено результат запису багатопрограмного транспортного потоку.



Рис. 3.3. Результат відтворення однопрограмного транспортного потоку

3.2.2 Формування потоку телевізійного мовлення шляхом мультиплексування елементарних потоків відео- та аудіо.

У даному пункті буде представлено ще два методи формування транспортних потоків за допомогою ПЗ Elecard XMuxer та набору бібліотек з відкритим вихідним кодом FFmpeg.

3.2.2.1 Формування потоку телевізійного мовлення шляхом мультиплексування елементарних потоків відео- та аудіо за допомогою ПЗ Elecard XMuxer.

ПЗ Elecard XMuxer – це додаток для редагування відео / аудіо контенту, що підтримує такі поширені формати, як MPEG-1 System Stream, MPEG-2 Program Stream (включаючи SVCD і DVD), MPEG-2 Transport Stream, MP4 (включаючи Sony PSP, ISMA і iPod), AVI (DV, XviD, DivX, 3ivX і т.д.) (рис. 3.4) [13].

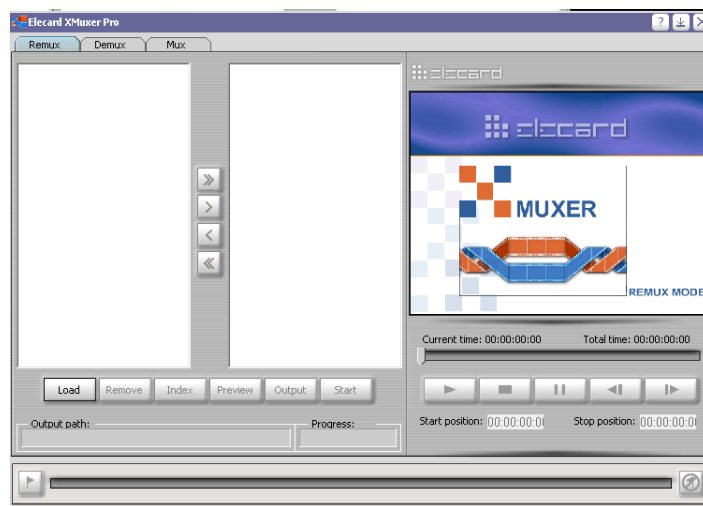


Рис. 3.4. Головне вікно програми Elecard XMuxer

Для проведення експерименту завантажимо п'ять відеороликів з відеохостингу YouTube зі стандартом стиснення H.264. Зважаючи на те, що дане програмне забезпечення не підтримує такий формат стиснення, тож попередньо потрібно виконати конвертацію відео у стандарт MPEG-2. Для

цього скористаємось програмним забезпеченням AnyMP4 Video Converter Ultimate. Відкривши дану програму нам спочатку потрібно додати наші відео файли у програму. Для цього можемо натиснути на клавішу «+ додати файли»

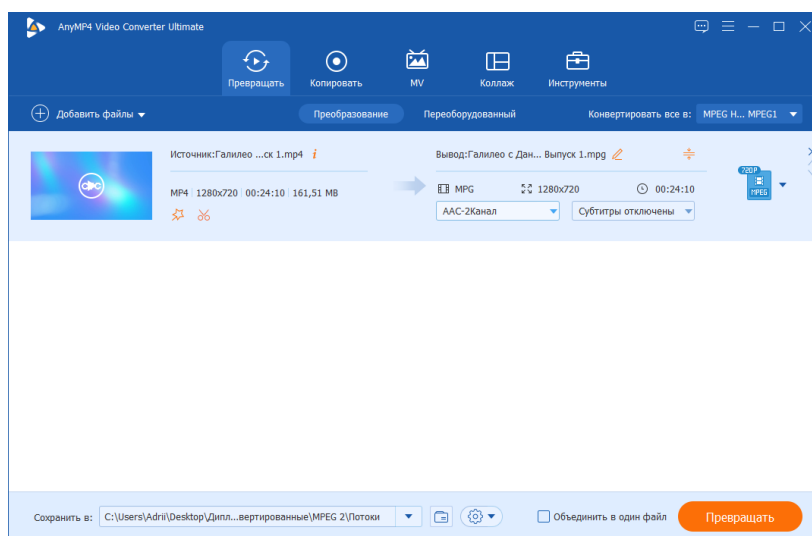


Рис. 3.5. Головне меню програми AnyMP4 Video Converter

Після завантаження відео матеріалів натискаємо на випадаючий список з форматами стиснення відео, та у відкритшомуся вікні в полі пошуку вводимо MPEG2. Після чого можемо обрати один із запропонованих варіантів стиснення який встановлений в програмі за замовчуванням, або відредагувати один із цих профілів і встановити такі налаштування які будуть відповідати вашим вимогам. Для початку процесу конвертації натискаємо на клавішу «Перетворити».

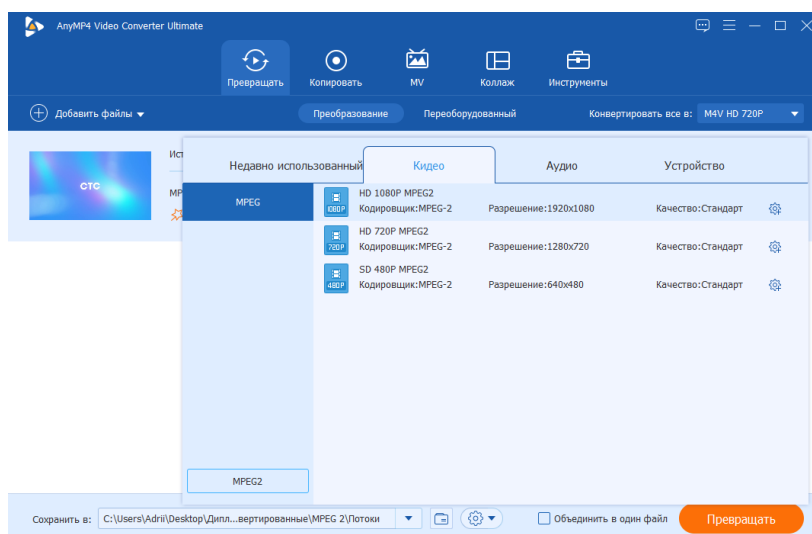


Рис. 3.6. Пошук налаштувань для стандарту стиснення MPEG-2

Після чого потрібно перейти у вкладку Demux, а потім завантажити перший фрагмент відеофайлу, використовуючи кнопку Load. Далі обрати елементарні потоки, які будуть піддані демультимплексуванню шляхом встановлення галочки і перенести їх в праве вікно програми, використовуючи кнопку >>, як показано на рис.1. Для збереження елементарних потоків натискаємо кнопку Output і зберігаємо в окрему папку з назвою «Елементарні потоки» спочатку відеопотік, а потім аудіопотік. При збереженні аудіопотоку виберіть тип файлу AAC, так як цей тип при високому стисканні дозволяє отримати найбільш якісний звук. Потім натискаємо кнопку Start. Данну процедуру потрібно повторити для всіх відеоматеріалів.

Наступним кроком буде мультимплексування транспортного потоку (TS) з елементарних потоків відео і аудіо. Для цього відкриваємо вкладку мультимплексування Mux. З папки «Елементарні потоки», де знаходяться елементарні потоки відео та аудіо даних (Stream-1, Stream-2 і т.д.) додаємо файли по порядку в ліве вікно вкладки мультимплексування (MUX). Після чого перенесемо елементарні потоки з одноковими назвами (наприклад 1.mp3 і 1.avc) у програму № 1.

Для створення програми № 2 - № 5 в правому вікні потрібно викликати контекстне меню натиснувши правою кнопкою миші на написі Transport stream і вибираємо Create program. Аналогічно переносимо елементарні потоки Stream-2 в Програму 2, як показано на рис. 3.7.

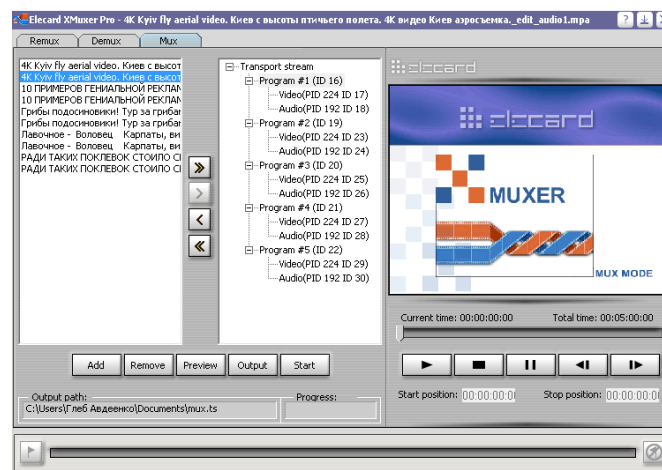


Рис. 3.7. Формування транспортного потоку в програмі Elecard XMUXer

За допомогою кнопки Output вибираємо директорію («Робочий стіл» комп'ютера) куди необхідно зберегти створений транспортний потік (зберігаємо з ім'ям «MPEG-2» з розширенням «.ts»). Натискаємо кнопку Start для мультиплексування створеного потоку. Таким чином, було створено MPEG-2 потоковий файл, який містить одночасно 5 відео програм.

Зважаючи на те що ПЗ Elecard XMuxer має достатньо велику кількість недоліків, таких як некоректна робота з відео матеріалами, які закодовані кодеками MPEG-4, H.264 і повна відсутність підтримки відео, які закодовані сучасним стандарт стиснення відео H.265 для подальшої роботи було використано FFmpeg.

3.2.2.2 Формування потоку телевізійного мовлення шляхом мультиплексування елементарних потоків відео- та аудіо за допомогою FFmpeg.

Отже, як було сказано раніше FFmpeg — це комплекс вільних комп'ютерних програм та програмних бібліотек для маніпуляцій з цифровими відео- та аудіо- матеріалами — запис, конвертація та пакування у різні формати контейнерів [14]. Основна особливість даного комплексу полягає в тому, що він підтримує велику кількість різних аудіо та відео кодеків. Інтерфейс командного рядка має інтуїтивний вигляд. FFmpeg було розроблено під Linux, але він успішно працює на ПК під управлінням Apple Mac OS X та Microsoft Windows. Також однією із переваг для використання FFmpeg є підтримка бібліотеки libavcodec. це бібліотека аудіо/відео кодеків, що використовується багатьма комерційними та безкоштовними програмними продуктами для конвертацій аудіо- та відео- матеріалів. Детальна інструкція по встановленню FFmpeg знаходиться за посиланням [15].

Для початку розглянемо процес формування двопрограмного транспортного потоку на основі відеоматеріалів, які стиснені відповідно до стандарту H.265. Відео для проведення даних досліджень було завантажено з

відеохостингу YouTube зі стандартом стиснення VP9. За допомогою програмного забезпечення AnyMP4 Video Converter було виконано конвертація відеоматеріалів відповідно до стандарту H.265. Після чого за допомогою команди `ffmpeg -i "video.mp4" -vcodec copy -bsf:v hevc_mp4toannexb -f mpegts "output_file.ts"` було виконано пакування нашого відео файлу у контейнер транспортного потоку. Відповідно до синтаксису:

- `-i video.mp4` – назва вхідного файлу;
- `-vcodec copy` – за допомогою даного ключа ми залишаємо відеокодек незмінним;
- `-bsf:v hevc_mp4toannexb` – фільтр бітового потоку для стандарту стиснення H.265 (HEVC) ;
- `-f mpegts` – примусово задаємо формат вихідного файлу `mpegts`;
- `utput_file.ts` – назва вихідного файлу.

Результат виконання команди, що зазначено вище наведено на рис. 3.8.

```
Stream #0:0(und): Video: hevc (Main) (hev1 / 0x31766568), yuv420p(tv), 3840x2160 [SAR 1:1 DAR 16:9], q=2-31, 17221 kb/s, 30 fps, 30 tbr, 90k tbn, 15360 tbc (default)
Metadata:
  handler_name      : VideoHandler
  vendor_id         : [0][0][0][0]
Stream #0:1: Audio: mp2, 44100 Hz, stereo, s16, 384 kb/s (default)
Metadata:
  handler_name      : SoundHandler
  vendor_id         : [0][0][0][0]
  encoder          : Lavc58.136.101 mp2
frame= 4097 fps=2837 q=-1.0 lsize= 301170kB time=00:02:17.68 bitrate=17919.7kbits/s speed=95.3x
video:287113kB audio:6454kB subtitle:0kB other streams:0kB global headers:0kB muxing overhead: 2.589999%
```

Рис. 3.8. Результат пакування відео файлу у контейнер транспортного потоку

Процедуру, що описана вище, треба зробити для двох відео файлів, які були завантажені. Після чого за допомогою команди `ffmpeg -i 1.ts -i 2.ts -map 0:0 -map 0:1 -map 1:0 -map 1:1 -program title=Channel1:st=0:st=1 -program title=Channel2:st=2:st=3 -c copy H265.ts` два транспортних потоки, сформовані раніше, були об'єднані в двопрограмний транспортний потік. Відповідно до синтаксису:

- `-i 1.ts -i 2.ts` – назва вхідних файлів;
- `-map 0:0 -map 0:1 -map 1:0 -map 1:1` – ручне управління вибором потоку в кожному вихідному файлі;

- -program title=Channel1:st=0:st=1 -program title=Channel2:st=2:st=3 – назви програми та потоки, які відповідають цій програмі;
- -c copy – всі потоки залишаються з незмінним форматом кодування.

Результат виконання команди, що зазначено вище наведено на рис. 3.9.

```
Input #0, mpegts, from '1.ts':
Duration: 00:07:31.74, start: 1.422422, bitrate: 11937 kb/s
Program 1
Metadata:
  service_name      :
  service_provider  : FFmpeg
Stream #0:0[0x100]: Video: hevc (Main) (HEVC / 0x43564548), yuv420p(tv), 3840x2160 [SAR 1:1 DAR 16:9], 30 fps, 30 tbr, 90k tbn, 30 tbc
Stream #0:1[0x101]: Audio: mp2 ([3][0][0][0] / 0x0003), 44100 Hz, stereo, fltp, 384 kb/s
Input #1, mpegts, from '2.ts':
Duration: 00:02:17.69, start: 1.422422, bitrate: 17918 kb/s
Program 1
Metadata:
  service_name      :
  service_provider  : FFmpeg
Stream #1:0[0x100]: Video: hevc (Main) (HEVC / 0x43564548), yuv420p(tv), 3840x2160 [SAR 1:1 DAR 16:9], 30 fps, 30 tbr, 90k tbn, 30 tbc
Stream #1:1[0x101]: Audio: mp2 ([3][0][0][0] / 0x0003), 44100 Hz, stereo, fltp, 384 kb/s
Output #0, mpegts, to 'H265.ts':
Metadata:
  encoder           : Lavf58.78.100
Program 1
Metadata:
  title             : Channel1
Stream #0:0: Video: hevc (Main) (HEVC / 0x43564548), yuv420p(tv), 3840x2160 [SAR 1:1 DAR 16:9], q=2-31, 30 fps, 30 tbr, 90k tbn, 90k tbc
Stream #0:1: Audio: mp2 ([3][0][0][0] / 0x0003), 44100 Hz, stereo, fltp, 384 kb/s
Program 2
Metadata:
  title             : Channel2
Stream #0:2: Video: hevc (Main) (HEVC / 0x43564548), yuv420p(tv), 3840x2160 [SAR 1:1 DAR 16:9], q=2-31, 30 fps, 30 tbr, 90k tbn, 90k tbc
Stream #0:3: Audio: mp2 ([3][0][0][0] / 0x0003), 44100 Hz, stereo, fltp, 384 kb/s
Stream mapping:
  Stream #0:0 -> #0:0 (copy)
  Stream #0:1 -> #0:1 (copy)
  Stream #1:0 -> #0:2 (copy)
  Stream #1:1 -> #0:3 (copy)
Press [q] to stop, [?] for help
frame=13532 fps=906 q=-1.0 Lq=-1.0 size= 959804kB time=00:07:31.73 bitrate=17405.6kbits/s speed=30.3x
video:906394kB audio:27629kB subtitle:0kB other streams:0kB global headers:0kB muxing overhead: 2.760131%
```

Рис. 3.9. Результат формування двопрограмного транспортного потоку.

Також, звернувши свою увагу на процес виконання, можемо переконатися в тому що стандарти стиснення аудіо- та відео- матеріалів залишись не змінними.

Відповідно якщо ми хочемо збільшити кількість програм, які будуть використовуватись під час формування багатопрограмного транспортного потоку потрібно збільшувати кількість вхідних транспортних потоків. Приклад команди для формування п'ятипрограмного транспортного потоку зі стандартом стиснення MPEG4 ffmpeg -i 1.ts -i 2.ts -i 3.ts -i 4.ts -i 5.ts -map 0:0 -map 0:1 -map 1:0 -map 1:1 -map 2:0 -map 2:1 -map 3:0 -map 3:1 -map 4:0 -map 4:1 -program title=Channel1:st=0:st=1 -program title=Channel2:st=2:st=3 -program title=Channel3:st=4:st=5 -program title=Channel4:st=6:st=7 -program title=Channel5:st=8:st=9 -c copy MPEG4.ts.

Збільшивши кількість однопрограмних транспортних потоків відповідно збільшилась кількість елементарних потоків аудіо та відео і збільшилась кількість програм, які відповідають даним потокам.

3.3 Формування та дослідження параметрів сигналу стандарту DVB-S

Для дослідження передачі сигналу у стандарті DVB-S та DVB-S2 було обрано структурну схему апаратно-програмного комплексу на основі ефірних радіоканалів ДМХ та СМХ діапазонів. Спочатку експеримент було проведено для однопрограмного транспортного потоку, сформованого власноруч. В якості вихідного файлу для транспортного потоку було обрано відео файл, стиснений у форматі MPEG-2. Для формування цифрового сигналу у ПЗ StreamXpress обрано модулятор Dektec DTA-107S2 та файл транспортного потоку. В якості модуляції встановлено стандарт QPSK, центральна частота сигналу 1250 МГц. Всі інші були залишенні зі значеннями за замовчуванням.

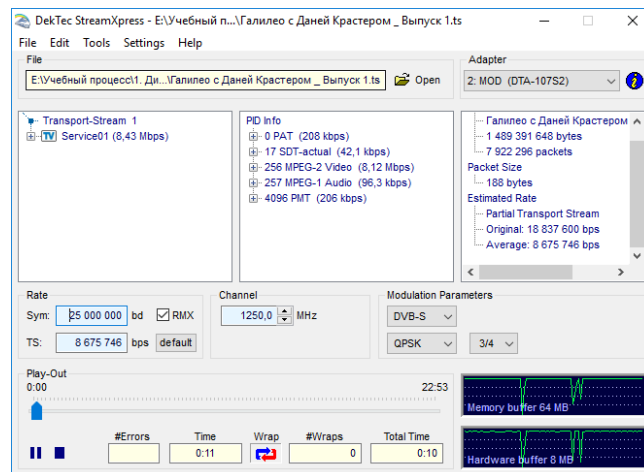


Рис. 3.10. Налаштування ПЗ StreamXpress для передачі однопрограмного транспортного потоку у стандарті DVB-S

Отже, для початку проведення експерименту було розраховано частоту на виході НВЧ передавача, яка дорівнює 11005 МГц. Вона була розрахована за формулою 3.1.

$$f_{\text{вих}} = f_{\text{гет}} + f_c \quad (3.1)$$

де, $f_{\text{гет}}$ – це частота гетеродину, дане значення є постійним та дорівнює 9755 МГц. для нижнього гетеродину, та 10600 МГц для верхнього – в даній роботі не використовується.

f_c – це частота сигналу на виході модулятора Dektec DTA-107S2, яка дорівнює 1250 МГц.

Після чого було проведено налаштування побутового ресиверу для прийому сигналів у стандарті DVB-S/S2. Для цього було обрано один із транспондерів, який вже був записаний в пам'яті ресиверу та після чого його параметри були змінені відповідно до параметрів сигналу який досліджується, а саме символна швидкість 25 Мсимв/с та частота сигналу на виході НВЧ передавача, а саме 11005 МГц (рис. 3.11). Після чого було здійснено пошук каналів цифрового супутникового мовлення та їх перегляд для того, щоб переконатись, що транспортний потік, який ми передавали, відтворюється на приймальній стороні (рис. 3.12).

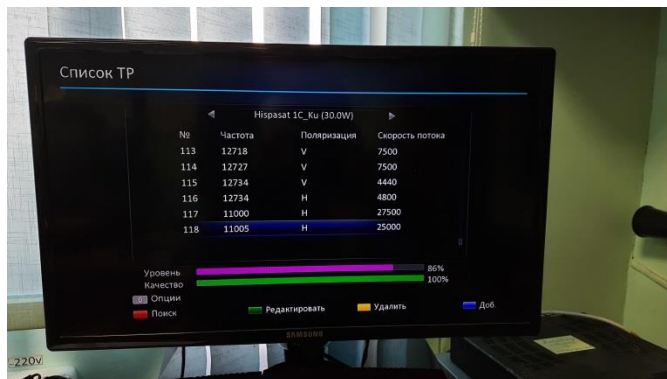


Рис. 3.11. Налаштування ресиверу для прийому сигналу у стандарті DVB-S



Рис. 3.12. Відтворення транспортного потоку на приймальній стороні

Також до одного із виходів сплітеру було під'єднано аналізатор спектру Rohde&Schwarz FSG13 для більш детального дослідження параметрів сигналу цифрового супутникового мовлення.

Спочатку було досліджено залежність полоси частот сигналу від його енергії. Результати цього дослідження наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Залежність полоси частот сигналу від його енергії

Відсоток	Смуга частот	Відсоток	Смуга частот	Відсоток	Смуга частот
99,0%	31,41 МГц	99,4%	32,69 МГц	99,8%	56,73 МГц
99,1%	31,73 МГц	99,5%	33,65 МГц	99,9%	101,2 МГц
99,2%	32,05 МГц	99,6%	34,61 МГц		
99,3%	32,69 МГц	99,7%	37,17 МГц		

Після чого, знаючи ширину спектру в якій зосереджено 99,0% відсотків енергії сигналу, була виміряна потужність сигналу на виході конвертеру (рис. 3.13). Це значення дорівнює -12,97 дБм. Наступним кроком було виміряно відношення несуча/шум (C/N) у полосі вимірювального каналу 10 кГц (рис. 3.14). Це значення дорівнює 30,05 дБ.

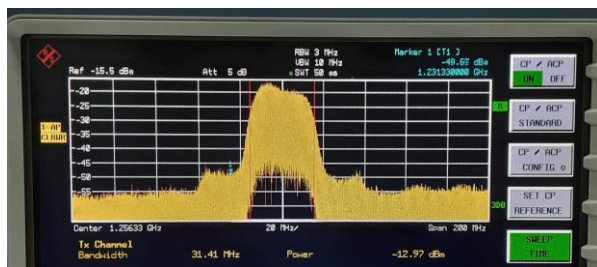


Рис. 3.13. Потужність сигналу на виході конвертеру

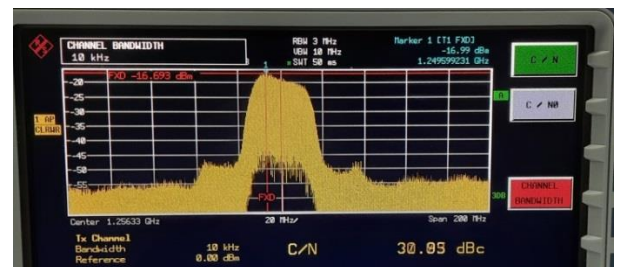


Рис. 3.14. Відношення несуча/шум у полосі 10 кГц

Після чого було виміряно відношення потужності сигналу до спектральної густини потужності шуму (C/N₀). Це значення дорівнює 70,40 дБГц. Та додатково було виміряна відношення сигнал/шум (SNR) на виході демодулятора. Це значення знаходиться в межах 14,9 - 15,3 дБ.

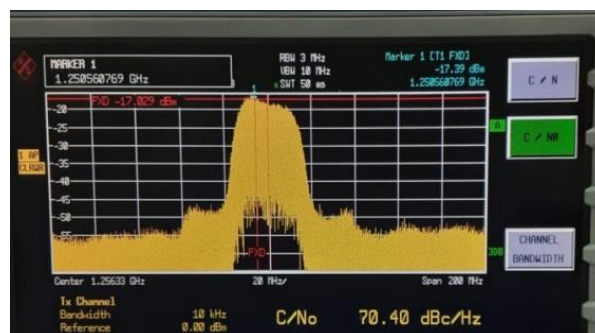


Рис. 3.15. Відношення потужності сигналу до спектральної густини потужності шуму

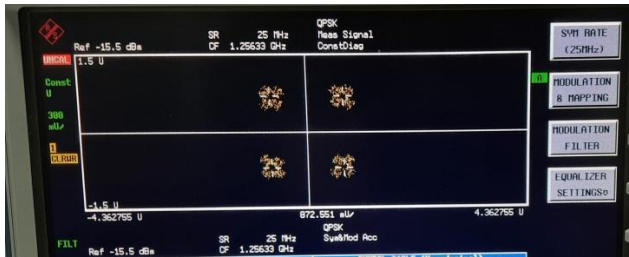


Рис. 3.16. Сигнальне сузір'я стандарту DVB-S

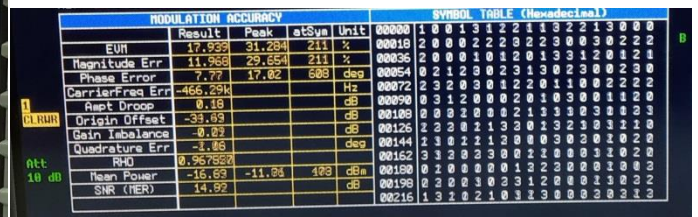


Рис. 3.17. Параметри сигнального сузір'я

Відповідно до структурної схеми апаратно-програмного комплексу (рис. 2.1) сигнал також подається на плату OMICOM DVB-S2, яка підключається до ПК за допомогою шини PCI Express. За допомогою ПЗ CrazyScan було проаналізовано спектр в діапазоні частот 950 – 1500 МГц з кроком в 1 МГц. Виконавши пошук сигналу на частоті 11000 МГц та стандартом мовлення DVB-S, було отримано сигнальне сузір'я та основні параметри сигналу, який досліджується. За допомогою ПЗ TSReader було відтворено транспортний потік, що передався (рис. 3.18).

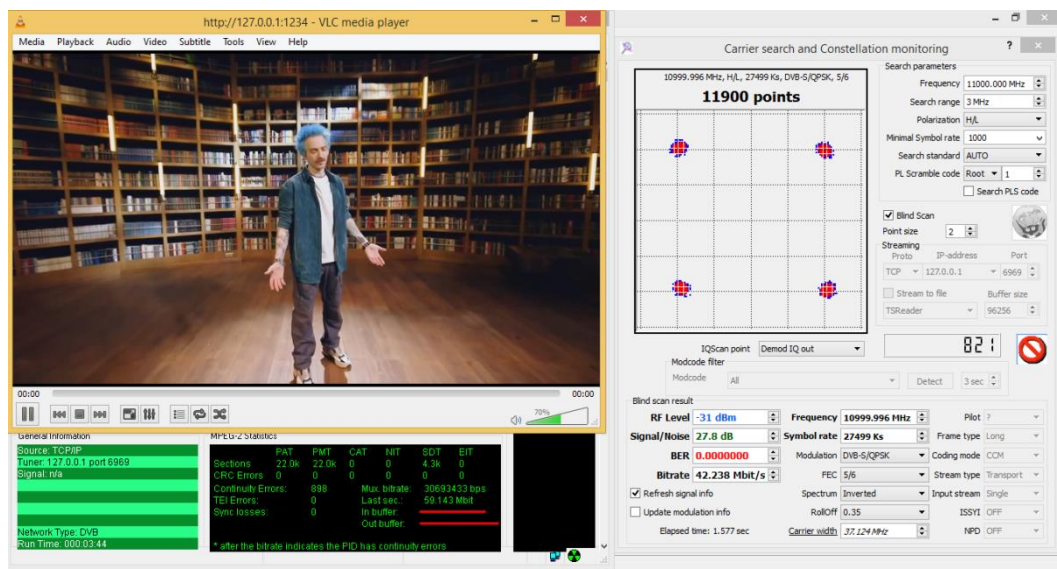


Рис. 3.18. Прийом та відтворення сигналу стандарту DVB-S за допомогою програмного комплексу на базі CrazyScan та TSReader

Після чого даний експеримент було повторено для багатопрограмного транспортного потоку. В якості вихідних файлів для транспортного потоку

було обрано відео файли, що стиснені у форматі H.264. Власноруч було змінено символну швидкість 24 Мсимв/с, всі інші параметри сигналу залишились такими самими як і у попередньому експерименті.

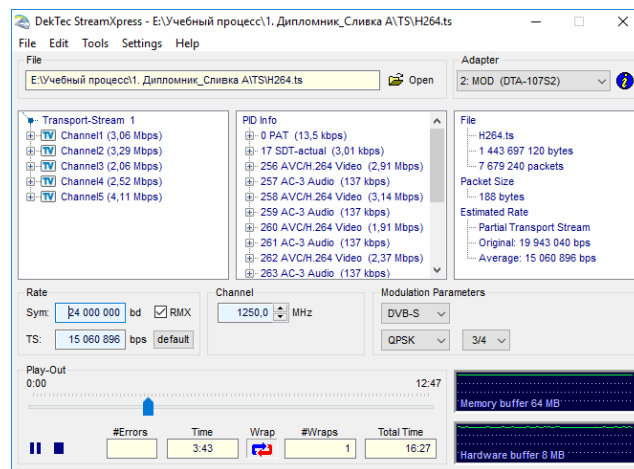


Рис. 3.19. Налаштування ПЗ StreamXpress для передачі багатопрограмного транспортного потоку у стандарті DVB-S

Отже, зважаючи на те що символна швидкість була змінена, потрібно також змінити налаштування транспондери, а саме змінити символну швидкість з 25 Мсимв/с до 24 Мсимв/с для того щоб прийняти та відтворити сигнал який досліджувався (рис.). Після чого було здійснено пошук каналів цифрового супутникового мовлення та їх перегляд для того, щоб переконатись, що транспортний потік, який ми передавали, відтворюється на приймальній стороні (рис.).

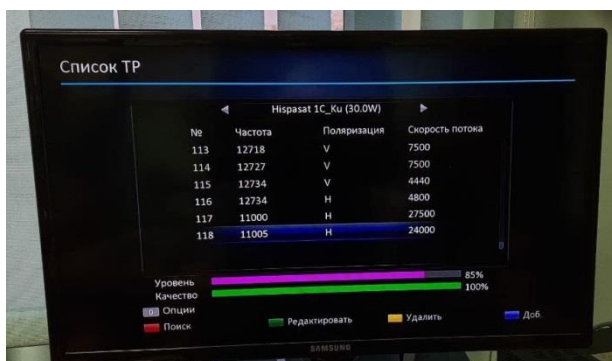


Рис. 3.20. Налаштування ресиверу для прийому сигналу у стандарті DVB-S

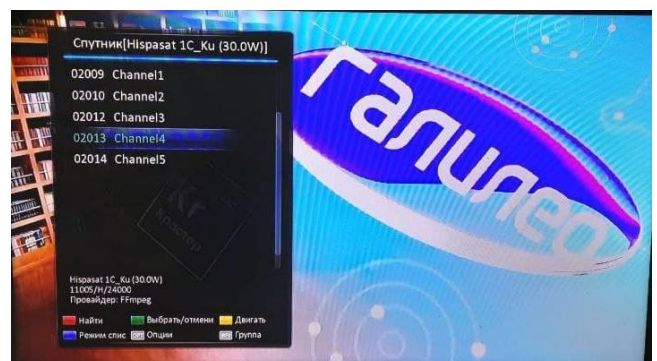


Рис. 3.21. Відтворення транспортного потоку на приймальній стороні

Також було проведено повторне дослідження всіх параметрів сигналу за допомогою аналізатору спектру.

Таблиця 3.2. Залежність полоси частот сигналу від його енергії

Відсоток	Смуга частот	Відсоток	Смуга частот	Відсоток	Смуга частот
99,0%	30,12 МГц	99,4%	31,41 МГц	99,8%	44,23 МГц
99,1%	30,44 МГц	99,5%	32,05 МГц	99,9%	85,19 МГц
99,2%	30,08 МГц	99,6%	32,69 МГц		
99,3%	30,76 МГц	99,7%	33,97 МГц		

Після чого знаючи ширину спектру в якій зосереджено 99,0% відсотків енергії сигналу було виміряна потужність сигналу на виході конвертеру (рис. 3.22). Це значення дорівнює -13,52 дБм. Наступним кроком було виміряно відношення несуча/шум у полосі вимірювального каналу 10 кГц (рис. 3.23). Це значення дорівнює 32,41 дБ.

Після чого було виміряно відношення потужності сигналу до спектральної густини потужності шуму. Це значення дорівнює 72,21 дБГц. Та додатково було виміряна потужність на виході демодулятора. Це значення дорівнює 15,56 дБ.

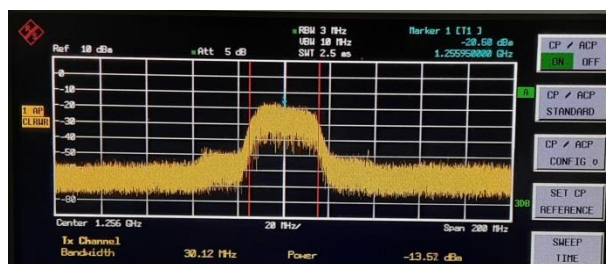


Рис. 3.22. Потужність сигналу на виході конвертеру

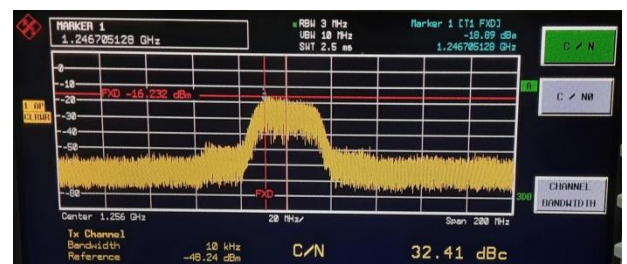


Рис. 3.23. Відношення несуча/шум у полосі 10 кГц

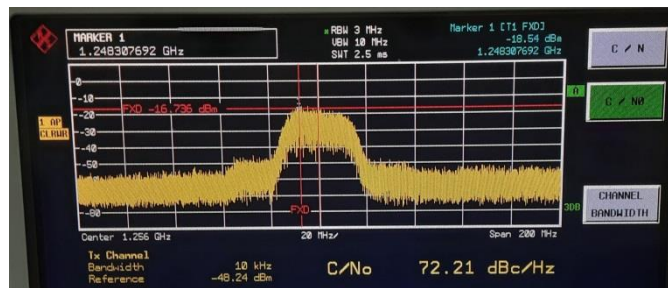


Рис. 3.24. Відношення потужності сигналу до спектральної густини потужності шуму



Рис. 3.24. Сигнальне сузір'я стандарту DVB-S



Рис. 3.25. Параметри сигнального сузір'я

Після чого за допомогою ПЗ CrazyScan було проаналізовано спектр в діапазоні частот 950 – 1500 МГц з кроком в 1 МГц. Виконавши пошук сигналу на частоті 11000 МГц та стандартом мовлення DVB-S, було отримано сигнальне сузір'я та основні параметри сигналу, який досліджується. За допомогою ПЗ TSreader було відтворено транспортний потік, що передався (рис. 3.26).

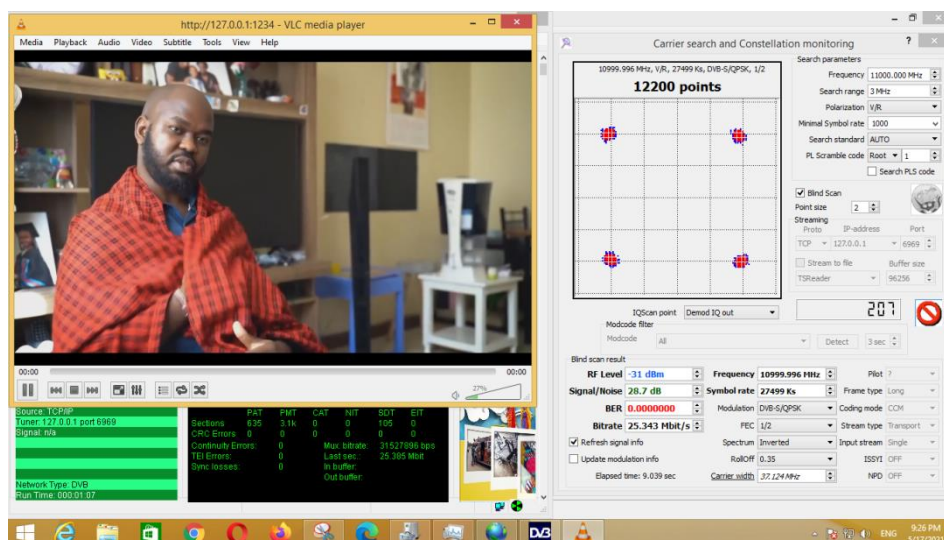


Рис. 3.26. Прийом та відтворення сигналу стандарту DVB-S за допомогою програмного комплекс на базі CrazyScan та TSReader

Також було проведено виміри за допомогою ROVER ST2. Результати цих вимірів наведені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Результати виміру параметрів сигналу за допомогою ROVER ST2.

N.MAR	7 дБ	Noise margin
MER	14,3 дБ	Modulation Error Rate
EVM	20,0%	Error Vector Magnitude
bBER	10^{-6}	Bit-Error-Rate before Viterbi correction
aBER	10^{-8}	Bit-Error-Rate after Viterbi Bit-Error-Rate
FEC	3/4	Forward Error Correctio
LNB	HL 18	Polarity and supply voltage
L.O	9750	Local oscillator frequency
DiSEqC	OFF	
SR	24.000	Symbol rate
PWR	-14.4 дБ	

3.4 Формування та дослідження параметрів сигналу стандарту DVB-S2

Як вже було зазначено раніше, для дослідження сигналів DVB-S2 було обрано структурну схему апаратно-програмного комплексу на основі ефірних радіоканалів ДМХ та СМХ діапазонів. Отже на початку експеримент було проведено для однопрограмного транспортного потоку, сформованого власноруч. В якості вихідного файлу для транспортного потоку було обрано відеофайл, стиснений у форматі MPEG-2. Для формування цифрового сигналу у ПЗ StreamXpress обрано модулятор Dektec DTA-107S2 та файл транспортного потоку. В якості модуляції встановлено стандарт QPSK, центральна частота сигналу 1250 МГц. Всі інші були залишені зі значеннями за замовчуванням.

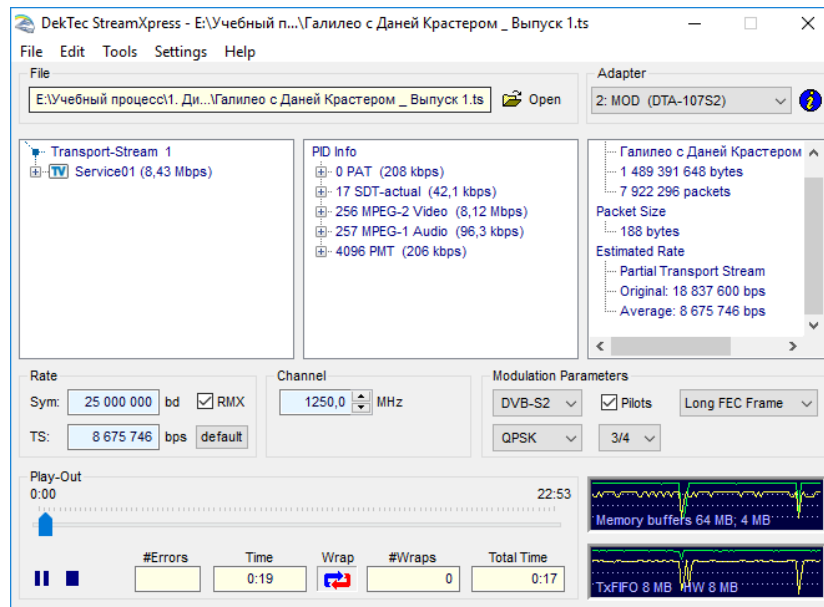


Рис. 3.27. Налаштування ПЗ StreamXpress для передачі однопрограмного транспортного потоку у стандарті DVB-S2

Зважаючи на те що центральна частота сигналу не була змінена то і частота на виході НВЧ передавача не змінилась і дорівнює 11005 МГц. Також беручи до уваги той момент, що такі параметри сигналу DVB-S2 як вид модуляції та символна швидкість сигналу співпали із параметрами сигналу DVB-S, який досліджувався раніше, то додаткові дослідження сигналу за допомогою аналізатору спектра Rohde&Schwarz FSG13 не проводились.

Отже після цього було проведено налаштування побутового ресиверу для прийому сигналів у стандарті DVB-S/S2. Для цього було обрано один із транспондерів, який вже був записаний в пам'яті ресиверу та після чого його параметри були змінені відповідно до параметрів сигналу який досліджується, а саме символна швидкість 25 Мсимв/с та частота сигналу на виході НВЧ передавача, а саме 11005 МГц (рис. 3.28). Після чого було здійснено пошук каналів цифрового супутникового мовлення та їх перегляд для того, щоб переконатись, що транспортний потік, який ми передавали, відтворюється на приймальній стороні (рис. 3.29).

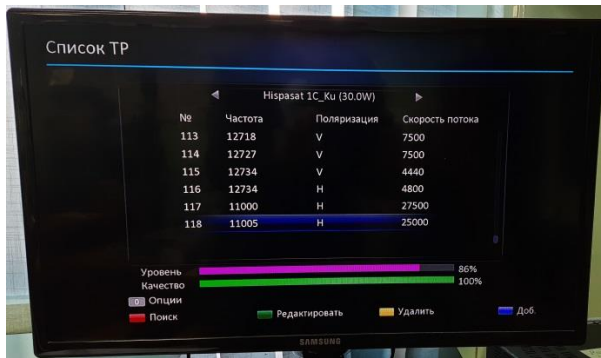


Рис. 3.28. Налаштування ресиверу для прийому сигналу у стандарті DVB-S2

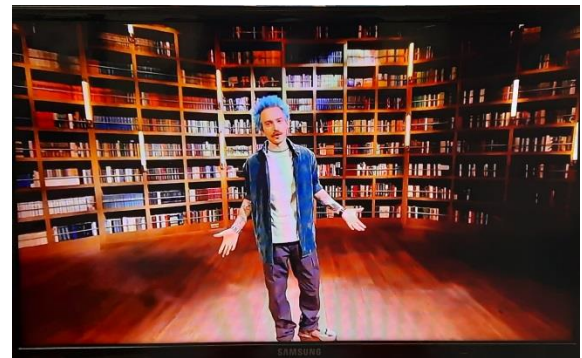


Рис. 3.29. Відтворення транспортного потоку на приймальній стороні

Відповідно до структурної схеми апаратно-програмного комплексу (рис. 2.1) сигнал також подається на плату OMICOM DVB-S2, яка підключається до ПК за допомогою шини PCI Express. За допомогою ПЗ CrazyScan було проаналізовано спектр в діапазоні частот 950 – 1500 МГц з кроком в 1 МГц. Виконавши пошук сигналу на частоті 11000 МГц та стандартом мовлення DVB-S, було отримано сигнальне сузір'я та основні параметри сигналу, який досліджується. За допомогою ПЗ TSreader було відтворено транспортний потік, що передався (рис. 3.30).

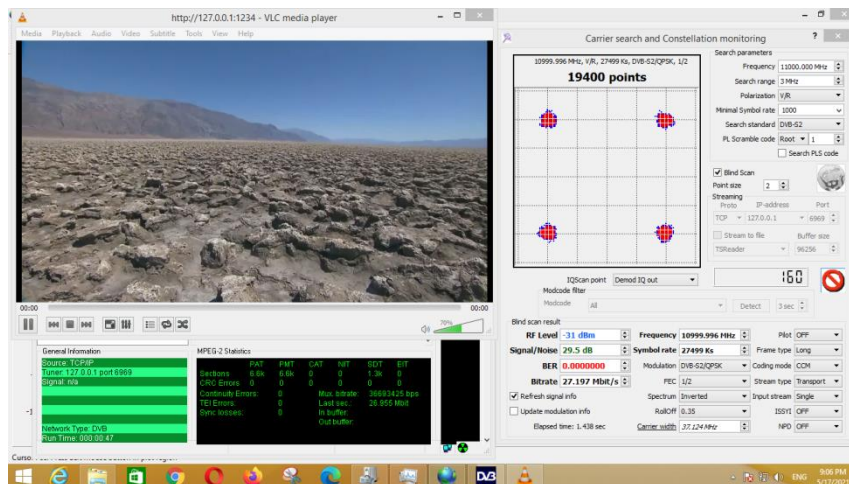


Рис. 3.30. Прийом та відтворення сигналу стандарту DVB-S2 за допомогою програмного комплексу на базі CrazyScan та TSReader

Після чого було проведено всі ті самі експерименти для багатопрограмного транспортного потоку. В якості вихідних файлів для

транспортного потоку було обрано відео файли, стиснені у форматі. В якості модуляції встановлено стандарт 8-PSK. Всі інші показники були залишенні зі значеннями як і у попередньому експерименті.

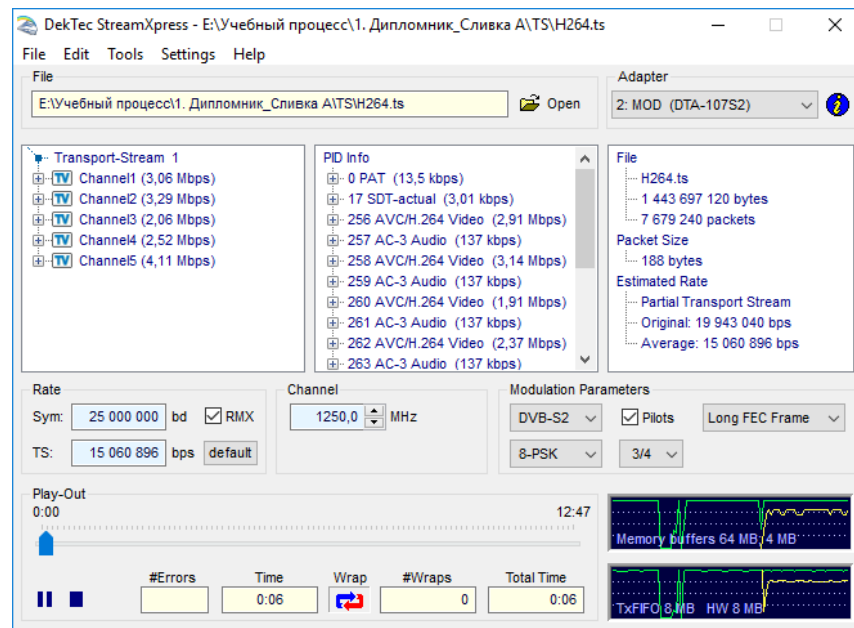


Рис. 3.31. Налаштування ПЗ StreamXpress для передачі багатопрограмного транспортного потоку у стандарті DVB-S2

Зважаючи на те що вид модуляції був змінений на стандарт 8-PSK, то було повторно проведено детальне дослідження сигналу цифрового супутникового мовлення за допомогою аналізатору спектра Rohde&Schwarz FSG13.

Як і у випадку попередніх досліджень перший параметр який було досліджено – залежність полоси частот сигналу від його енергії. Результати цього дослідження наведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4. Залежність полоси частот сигналу від його енергії

Відсоток	Смуга частот	Відсоток	Смуга частот	Відсоток	Смуга частот
99,0%	31,08 МГц	99,4%	32,69 МГц	99,8%	42,30 МГц
99,1%	37,73 МГц	99,5%	33,01 МГц	99,9%	85,57 МГц
99,2%	32,05 МГц	99,6%	33,65 МГц		
99,3%	32,05 МГц	99,7%	35,25 МГц		

Після чого, знаючи ширину спектру, в якій зосереджено 99,0% відсотків енергії сигналу, була виміряна потужність сигналу на виході конвертеру (рис. 3.32). Це значення дорівнює -14,70 дБм. Наступним кроком було виміряно відношення несуча/шум (C/N) у полосі вимірювального каналу 10 кГц (рис. 3.33). Це значення дорівнює 29,77 дБ.

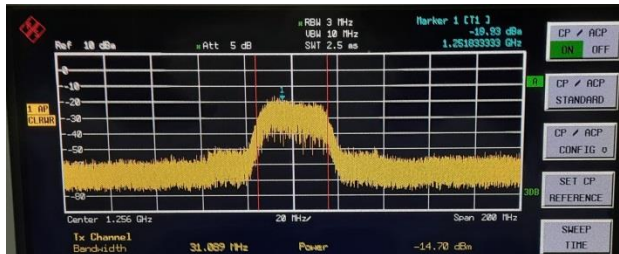


Рис. 3.32. Потужність сигналу на виході конвертеру

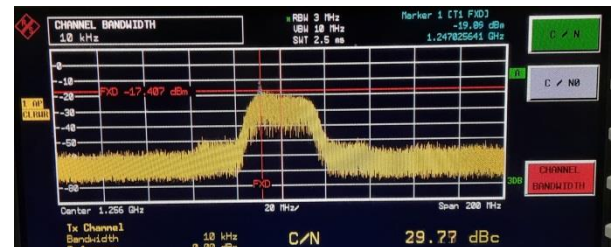


Рис. 3.33. Відношення несуча/шум у полосі 10 кГц

Після чого було виміряно відношення потужності сигналу до спектральної густини потужності шуму (C/N₀). Це значення дорівнює 71,17 дБГц. Та додатково було виміряне відношення сигнал/шум (SNR) на виході демодулятора. Це значення дорівнює 14,60 дБ.

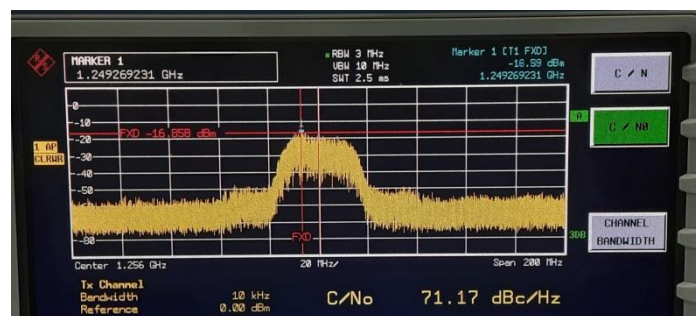


Рис. 3.34. Відношення потужності сигналу до спектральної густини потужності шуму



Рис. 3.35. Сигнальне сузір'я стандарту DVB-S2

MODULATION ACCURACY				SYMBOL TABLE (Hexadecimal)			
Result	Peak	atSym	Unit	00000	5 6 4 4 1 5 8 2 3 4 1 1 5 2 1 8 4 8		
EVM	19.818	39.251	189 %	00018	9 4 7 9 8 0 5 2 6 1 6 2 4 2 3 6 9 5		
Magnitude Err	12.497	38.123	584 %	00036	2 7 8 1 2 0 4 3 6 5 1 6 0 4 5 4 5 3		
Phase Error	8.05	-18.28	524 deg	00054	0 6 4 0 0 3 4 6 3 3 3 6 0 2 4 4 4		
CarrierFreq Err	-24.41k		Hz	00072	4 5 3 1 5 6 7 2 2 2 2 5 1 3 3 4 6 7		
Rept Droop	0.03			00090	1 0 2 4 0 8 5 5 0 3 9 3 7 4 6 2 5 5		
Origin Offset	-36.62		dB	00108	0 8 2 0 5 4 6 0 4 9 2 6 1 4 2 0 0		
Gain Imbalance	-0.15		dB	00126	0 0 4 1 5 0 1 0 1 1 2 4 5 1 5 1 5 4		
Quadrature Err	0.15		deg	00144	0 5 4 1 5 0 5 5 5 3 3 6 1 3 2 5 0		
RSD	0.965336			00162	9 0 5 1 3 7 4 7 2 0 3 5 2 2 7 1 4 0		
Mean Power	-17.44	-12.93	213 dBm	00180	6 2 6 2 0 5 2 0 6 1 4 3 3 4 4 2 2		
SNR (MER)	14.60		dB	00198	2 5 7 0 2 4 3 0 4 4 5 3 4 7 0 1 3 2		
				00216	1 5 0 7 1 0 7 2 3 0 6 2 2 0 2 2 3		

Рис. 3.36. Параметри сигнального сузір'я

Наступним кроком було виконано налаштування побутового ресиверу відповідно до параметрів сигналу цифрового супутникового мовлення та перегляд відео матеріалу транспортного потоку, який було передано.

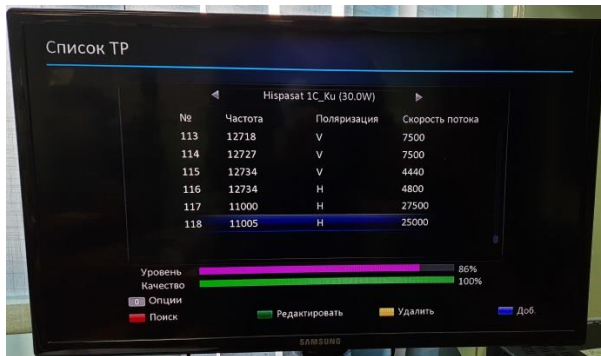


Рис. 3.36. Налаштування ресиверу для прийому сигналу у стандарті DVB-S2



Рис. 3.37. Відтворення транспортного потоку на приймальній стороні

Після чого за допомогою плати OMICOM DVB-S2 сигнал було прийнято та відтворено на персональному комп'ютері з встановленим програмним забезпеченням CrazyScan та TSreader. За допомогою ПЗ CrazyScan було проаналізовано спектр в діапазоні частот 950 – 1500 МГц з кроком в 1 МГц. Виконавши пошук сигналу на частоті 11000 МГц та стандартом мовлення DVB-S, було отримано сигнальне сузір'я та основні параметри сигналу, який досліджується. За допомогою ПЗ TSreader було відтворено транспортний потік, що передався (рис. 3.38).

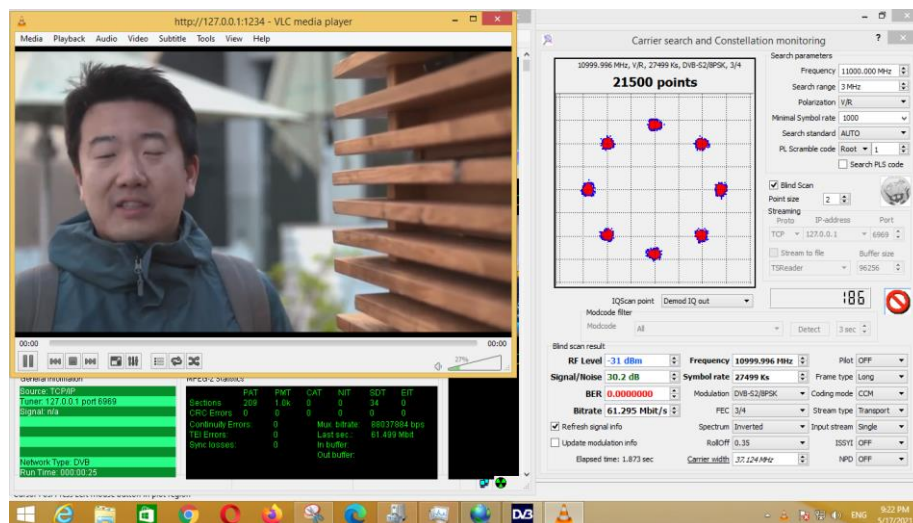


Рис. 3.38. Прийом та відтворення сигналу стандарту DVB-S2 за допомогою програмного комплекс на базі CrazyScan та TSReader

3.5 Формування та дослідження параметрів сигналу стандарту DVB-C

Перш за все було проведено дослідження передачі однопрограмного транспортного потоку, сформованого власноруч. В якості вихідного файлу для транспортного потоку було обрано відео файл, стиснений у форматі MPEG-2. Для формування цифрового сигналу у ПЗ StreamXpress обрано модулятор Dektec DTA-115 та файл транспортного потоку. В якості модуляції встановлено стандарт QAM-64, центральна частота сигналу 576 МГц. Всі інші показники були залишені зі значеннями за замовчуванням.

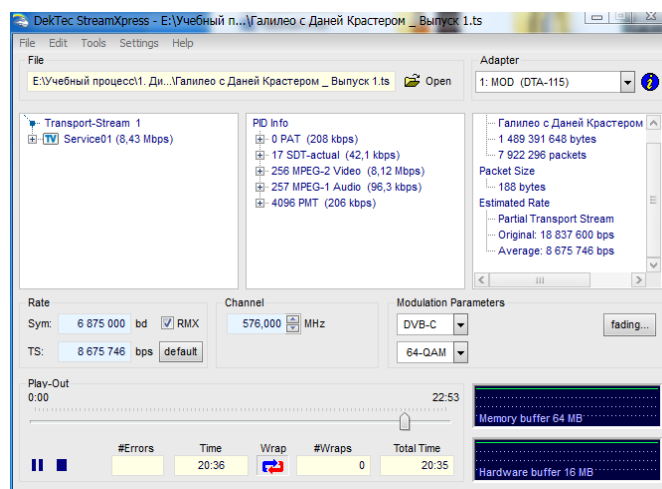


Рис. 3.39. Налаштування ПЗ StreamXpress для передачі однопрограмного транспортного потоку у стандарті DVB-C

На рис. зображено радіоспектр сигналу стандарту DVB-T на виході модулятора Dektec DTA-115. Отже, відповідно до тих параметрів сигналу, які були задані на передавальній стороні встановлено налаштування побутового ресиверу для відтворення прийнятого сигналу на приймальній стороні. Для цього необхідно перейти у налаштування ресиверу та відредагувати один із каналів, встановивши частоту сигналу 576 МГц.



Рис. 3.40. Радіоспектр сигналу стандарту DVB-T



Рис. 3.41. Налаштування побутового ресиверу

Після чого було здійснено пошук каналів цифрового кабельного мовлення та їх перегляд для того, щоб переконатись, що транспортний потік, який ми передавали, відтворюється на приймальній стороні.

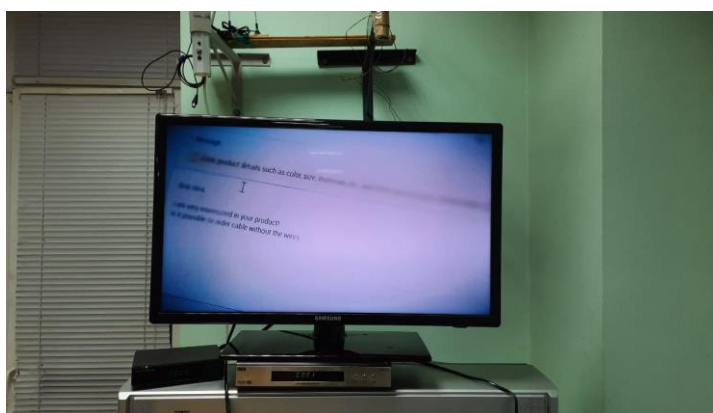


Рис. 3.42. Результат відтворення

Відповідно до структурної схеми апаратно-програмного комплексу сигнал також подається на TBS5880, який є гібридним пристроєм для прийому сигналів стандарту DVB-T2/T та DVB-C і підключається до ПК за допомогою USB інтерфейсу. За допомогою ПЗ CrazyScan2 було проаналізовано спектр в діапазоні частот 560 – 596 МГц з кроком в 1 МГц. Виконавши пошук сигналу на частоті 576 МГц та стандартом мовлення DVB-C, було отримано сигнальне

супер'я та основні параметри сигналу, який досліджується. За допомогою ПЗ TSreader було відтворено транспортний потік, що передався (рис. 3.43).

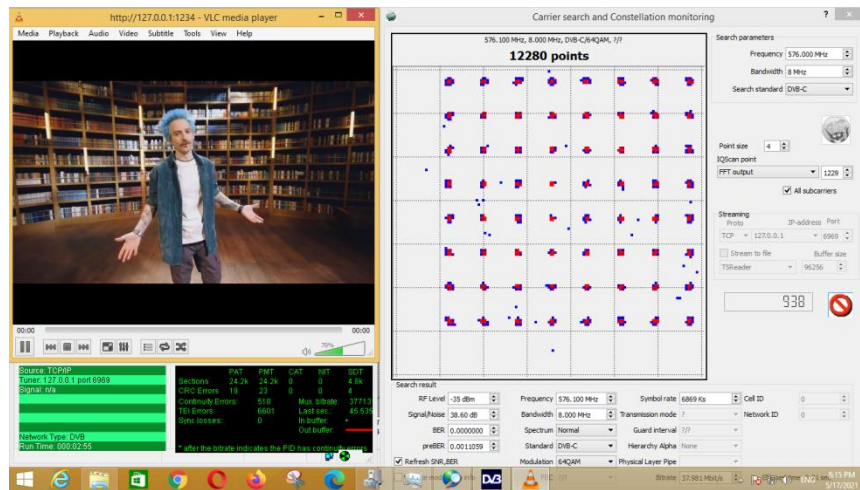


Рис. 3.43. Прийом та відтворення сигналу стандарту DVB-C за допомогою програмного комплекс на базі CrazyScan2 та TSReader

Після чого даний експеримент було повторено для багатопрограмного транспортного потоку. В якості вихідних файлів для транспортного потоку було обрано відео файли, що стиснені у форматі H.264. Вид модуляції QAM-256.

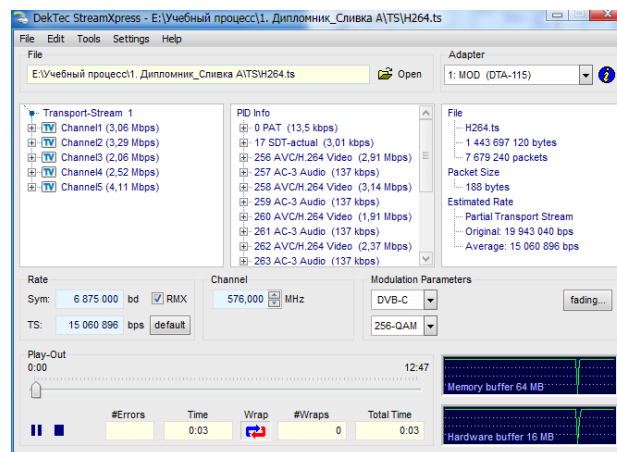


Рис. 3.44. Налаштування ПЗ StreamXpress для передачі багатопрограмного транспортного потоку у стандарті DVB-C

Зважаючи на те що центральну частоту сигналу не було змінено, то налаштування ресиверу не потрібно повторно виконувати. Було лише здійснено повторний пошук каналів. Після чого повернувшись до перегляду каналів

переконаємось у відтворенні каналів транспортного потоку. Також на рис. 3.46 зображено радіочастотний спектр сигналу стандарту DVB-C.



Рис. 3.45. Результат відтворення

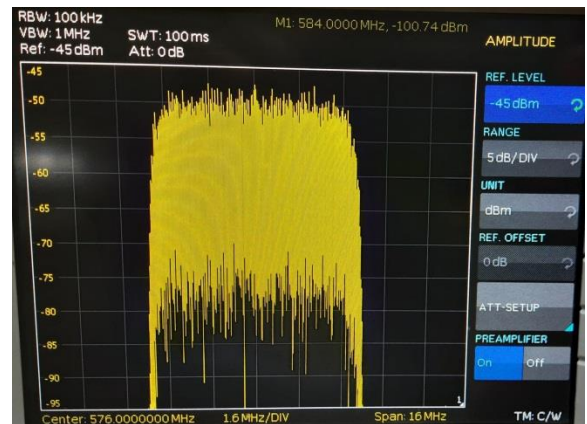


Рис. 3.46. Радіоспектр сигналу стандарту DVB-C

Повторно проскандувавши спектр частот в діапазоні 560 – 596 МГц з кроком в 1 МГц за допомогою ПЗ CrazyScan2 та виконавши пошук сигналу на частоті 576 МГц та стандартом мовлення DVB-C, було отримано сигнальне сузір'я та основні параметри сигналу, який досліджується. За допомогою ПЗ TSreader було відтворено транспортний потік, що передався.

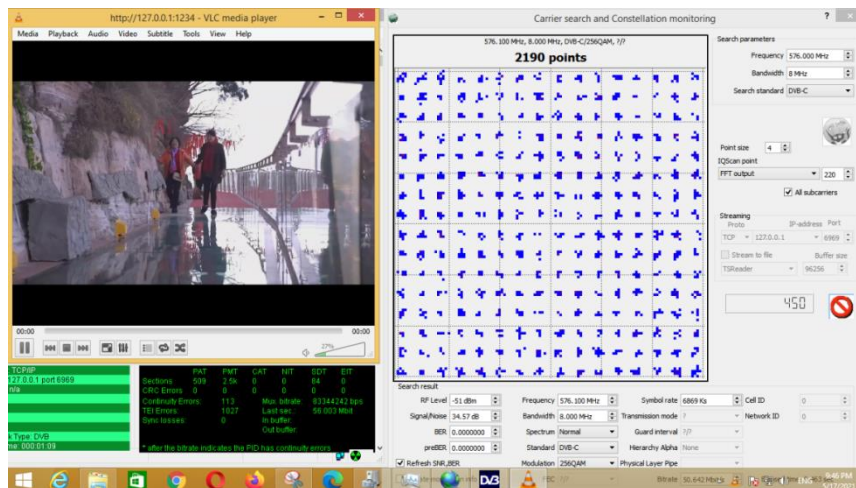


Рис. 3.47. Прийом та відтворення сигналу стандарту DVB-C за допомогою програмного комплекс на базі CrazyScan та TSReader

На даному етапі можливо помітити, що символівна швидкість для стандарту цифрового кабельного мовлення є сталим значенням і не залежить від величини транспортного потоку. Будь то однопрограмний транспортний

потік, або ж багатопрограмний транспортний потік символічна швидкість завжди дорівнює 6875 Ксимв/с.

3.6 Формування та дослідження параметрів сигналу стандарту DVB-T

На початку було проведено дослідження передачі однопрограмного транспортного потоку сформованого власноруч. В якості вихідного файлу для транспортного потоку було обрано відео файл, стиснений у форматі MPEG-2. Для формування цифрового сигналу у ПЗ StreamXpress обрано модулятор Dektec DTA 115 та файл транспортного потоку. В якості модуляції встановлено стандарт QAM-64, центральна частота сигналу 576 МГц, ширина сигналу 8 МГц. Всі інші показники були залишені зі значеннями за замовчуванням (рис. 3.48).

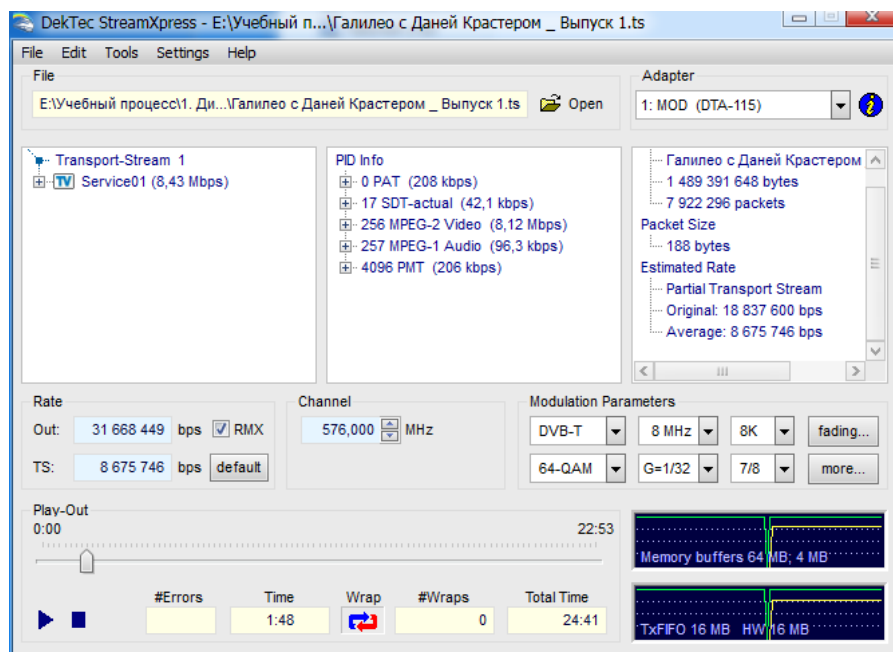


Рис. 3.48. Налаштування ПЗ StreamXpress для передачі однопрограмного транспортного потоку у стандарті DVB-T

Як було зазначено раніше, до одного із виходів сплітера під'єднано аналізатор спектру. На рис. зображено радіоспектр сигналу стандарту DVB-T на виході модулятора Dektec DTA-115. Отже, відповідно до тих параметрів сигналу, які були задані на передавальній стороні встановлено налаштування

побутового ресиверу для відтворення прийнятого сигналу на приймальній стороні. Для цього необхідно перейти у налаштування ресиверу, та відредагувати один із каналів, встановивши частоту сигналу 576 МГц та ширину 8 МГц (рис. 3.50).

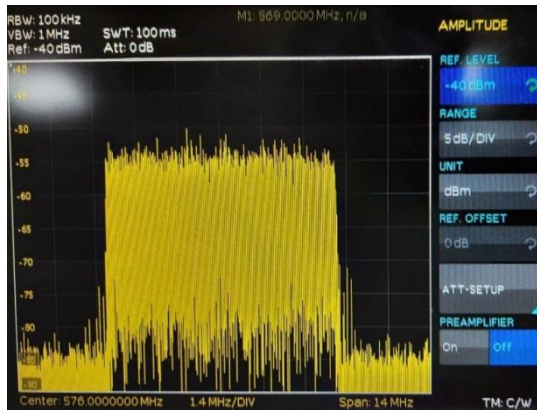


Рис. 3.49. Радіоспектр сигналу стандарту DVB-T

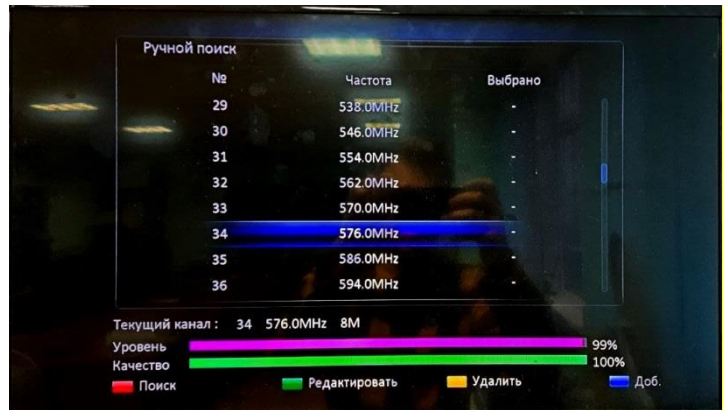


Рис. 3.50. Налаштування побутового ресиверу

Після чого було здійснено пошук каналів на даній частоті, та їх перегляд для того, щоб переконатись, що транспортний потік відтворюється.



Рис. 3.51. Результат відтворення

Також, відповідно до схеми сигнал подається на вхід TBS5880, який є гібридним пристроєм для прийому сигналів стандарту DVB-T2/T та DVB-C і підключається до ПК за допомогою USB інтерфейсу. За допомогою ПЗ CrazyScan2 було проаналізовано спектр в діапазоні частот 560 – 596 МГц з кроком в 1 МГц. Виконавши пошук сигналу на частоті 576 МГц з шириною 8 МГц та стандартом сигналу DVB-T, було отримано сигнальне сузір'я та основні

параметри сигналу, який досліджується. За допомогою ПЗ TSreader було відтворено транспортний потік, що передався (рис. 3.52).

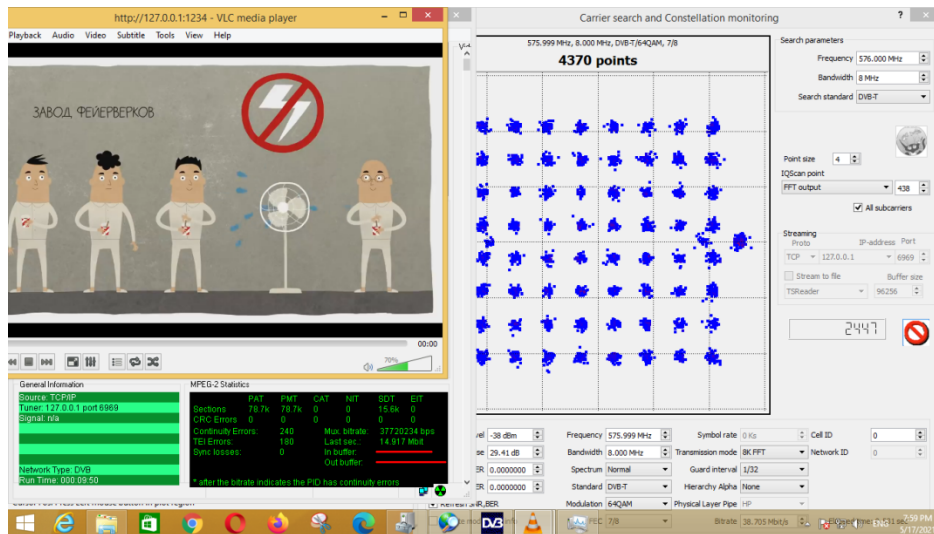


Рис. 3.52. Прийом та відтворення сигналу стандарту DVB-T за допомогою програмного комплекс на базі CrazyScan та TSReader

Після чого даний експеримент було повторено для багатопрограмного транспортного потоку. В якості вихідних файлів для транспортного потоку було обрано відео файли, стиснені у форматі H.264. Вид модуляції – QAM-16.

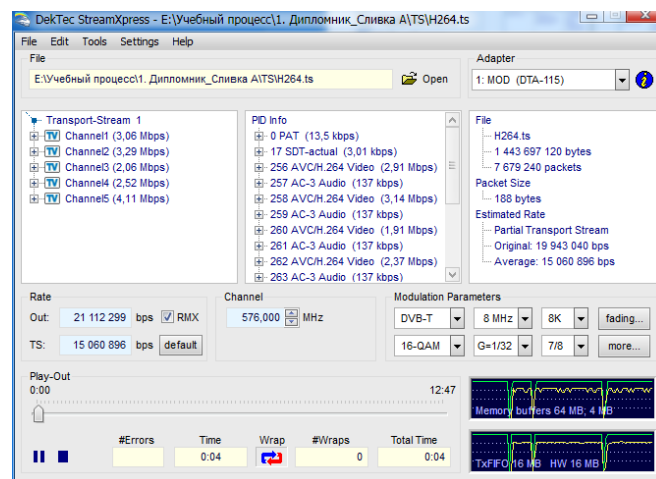


Рис. 3.53. Налаштування ПЗ StreamXpress для передачі багатопрограмного транспортного потоку у стандарті DVB-T

Зважаючи на те, що центральну частоту сигналу не було змінено, то налаштування ресиверу не потрібно повторно виконувати. Було лише здійснено повторний пошук каналів. Після чого повернувшись до перегляду каналів

переконаємось у відтворенні каналів транспортного потоку. Також на рис. 3.55 зображено радіочастотний спектр сигналу стандарту DVB-T.



Рис. 3.54 Результат відтворення



Рис. 3.55 Радіоспектр сигналу стандарту DVB-T.

Повторно просканувавши спектр частот в діапазоні 560 – 596 МГц з кроком в 1 МГц за допомогою ПЗ CrazyScan2 та виконавши пошук сигналу на частоті 576 МГц та стандартом мовлення DVB-T, було отримано сигнальне сузір'я та основні параметри сигналу, який досліджується. За допомогою ПЗ TSreader було відтворено транспортний потік, що передався.

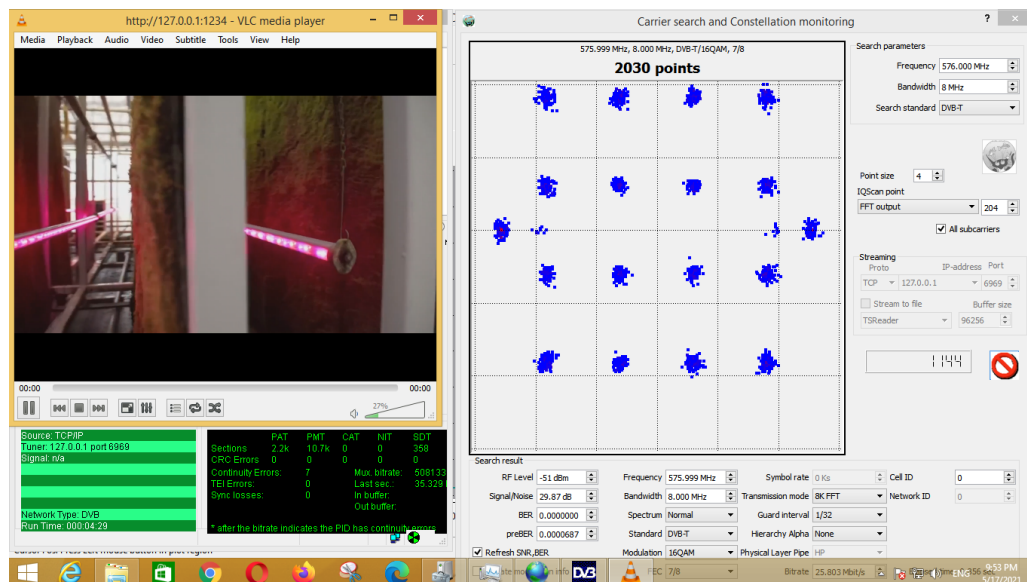


Рис. 3.56 Прийом та відтворення сигналу стандарту DVB-S за допомогою програмного комплексу на базі CrazyScan та TSReader

3.7 Рекомендації щодо застосування макету розробленого апаратно-програмного комплексу в навчальному процесі ІТС

Після проведення експериментальних досліджень по формуванню та передачі сигналів цифрового телевізійного мовлення за допомогою модуляторів Dektec DTA-115 та Dektec DTA-107S2 були підготовленні рекомендації щодо роботи з апаратно-програмним комплексом.

Даний апаратно-програмний комплекс може використовуватись студентами для практичного закріплення знань з багатьох теоретичних дисциплін з якими вони стикаються протягом навчання у ІТС. Цей комплекс дає можливість змінюючи параметри сигналу на вихідній стороні спостерігати за якістю прийому сигналу на приймальній стороні, досліджувати залежність радіочастотного спектру від параметрів модуляції, символної швидкості. Провівши виміри параметрів сигналів, можливо зробити порівняльну характеристику поколінь та стандартів цифрового телевізійного мовлення. Також студенти можуть практично дослідити вплив юстування антен на якість сигналу на приймальній стороні.

Основний недолік, який був виявлений в процесі проведення лабораторних досліджень є некоректна робота з будь-якими транспортними потоками, які сформовані шляхом мультиплексування елементарних потоків відео- та аудіо. Отже для коректного відтворення транспортних потоків на приймальній стороні потрібно використовувати тільки транспортні потоки, які були отримані шляхом запису в реальному масштабі часу при прийомі сигналів ефірного телерадіомовлення.

Також програмне забезпечення StreamXpress надає можливість ремультиплексування обраного транспортного потоку додаючи в режимі реального часу нульові пакети. Дану функцію бажано використовувати при роботі з модуляторами, які вимагають фіксованого вхідного бітрейту. StreamXpress може додавати лише нульові пакети і не може належним чином

працювати зі швидкістю, нижчою за “рідну” символічну швидкість (навіть якщо вихідний потік містить нульові пакети).

Висновки до розділу

У третьому розділі була описана методика проведення досліджень використовуючи апаратно-програмний комплекс. Також було описана методика формування однопрограмних та багатопрограмних транспортних потоків, за допомогою двох принципово різних методів. В подальшому сформовані власноруч транспортні потоки були використані при проведенні досліджень. Використання принципово різних підходів до формування штучних транспортних потоків дало змогу провести більш детальне тестування можливостей модуляторів і як результатам даного тестування на жаль було виявлено відсутність підтримки роботи з транспортними потоками які сформовані у процесі мультиплексування елементарних потоків відео- та аудіо.

Також у даному розділі було описано процес та результат дослідження сигналів цифрового мовлення з використанням модуляторів Dektec. Після чого були сформовані рекомендації щодо застосування макету розробленого апаратно-програмного комплексу в навчальному процесі ІТС.

ВИСНОВОК

В результаті експериментальних досліджень була досягнута основна мета роботи, а саме розроблено апаратно-програмний комплекс для формування та дослідження сигналів цифрового телевізійного мовлення на базі модуляторів Dektec.

Для досягнення цієї мети було проведено ряд задач:

1. Проаналізовано основні тенденції сучасного цифрового телевізійного мовлення. На основі цієї інформації було прийнято рішення, що в ході роботи потрібно описати процес створення власних транспортних потоків на основі відеоматеріалів які стиснені сучасними стандартами H.264 та H.265.
2. Під час роботи також було проведено аналіз та опис лабораторного устаткування, яке знаходиться в наявності у 501 аудиторії 30 корпусу КПІ. На базі цієї інформації було розроблено дві різні схеми апаратно-програмного комплексу.

Отже за допомогою апаратно-програмного комплексу та транспортних потоків які були створені власноруч було практично доведено цінність цього апаратно-програмного комплексу для студентів спеціальності телекомунікації та радіотехніка. Цінність цього комплексу заключається у тому що студент власноруч може згенерувати сигнал одного із стандартів цифрового мовлення та змінюючи його параметри такі як модуляція, символна швидкість, захисний інтервал дослідити не тільки зміни у радіоспектрі сигналу, а й зміни на приймальній стороні, та зробити висновок, до чого саме призводять такі зміни у процесі формування сигналів цифрового мовлення. Також проводячи дослідження по передачі сигналів де в якості середовища поширення використовувати ефірні радіоканали, можливо досліджувати вплив налаштування антени на якість прийому сигналу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Смирнов А. В. Основы цифрового телевидения: Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 280 с.
2. Карякин В.Л. Цифровое телевидение: Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Солон-Пресс, 2013. – 451 с.
3. Серов А.В. Эфирное цифровое телевидение DVB-T/H. СПб.: БХВ-Петербург, 2010. - 464 с.
4. Стандарт DVB-T [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.konturm.com/tech.php?id=sdvbt>.
5. Стандарт DVB-H. Система мобильного ТВ вещания [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.konturm.ru/tech.php?id=dvvh>.
6. Стандарт DVB-S. Система цифрового ТВ вещания. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.konturm.ru/tech.php?id=dvbs>.
7. Стандарт DVB-S2. Система цифрового ТВ вещания. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.konturm.ru/tech.php?id=dvbs2>.
8. Стандарт DVB-C. Система цифрового ТВ вещания. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.konturm.ru/tech.php?id=dvbc>.
9. DTA-107 Satellite modulator for PCI [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.dektec.com/products/PCI/DTA-107/>.
10. DTA-115 Multi-standard cable/terrestrial modulator for PCI [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.dektec.com/products/PCI/DTA-115/>
11. Рамочная антенна. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.irls.narod.ru/ant/ant06.htm>.
12. DTC-300-SP - StreamXpress USER MANUAL [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.dektec.com/products/applications/StreamXpress/downloads/DTC-300-SP%20StreamXpress%20Manual.pdf>.

13. Elecard XMuxer Pro User Guide Version 2.6. URL: <https://manualzz.com/doc/21261410/elecard-xmuxer-pro-user-guide-version-2.6>.
14. FFmpeg. URL: <https://www.ffmpeg.org/>
15. Як встановити FFmpeg на Windows. URL: <https://uk.845audio.org/Memasang-FFmpeg-pada-Windows-4781>.