

УДК 654.197

АПАРАТНО-ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИГНАЛІВ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВІЗІЙНОГО МОВЛЕННЯ

DOI 10.36994/2788-5518-2021-02-02-10

Наритник Т.М., к.т.н., проф. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна. director@mitris.com

Авдєєнко Г.Л., к.т.н. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна. django2006@ukr.net

Сливка А.Р. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна. slyvka.andrii@iit.kpi.ua

Анотація. У наш час в світі спостерігається бурхливий розвиток технологій цифрового телерадіомовлення, що робить актуальною задачу удосконалення рівня підготовки студентів вищих навчальних закладів, що навчаються за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка». В статті сформульовано актуальність та необхідність 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, який може бути використаний в навчальному процесі вищих навчальних закладів при підготовці фахівців телекомунікаційної галузі. У даній статті розглядаються плати модуляторів компанії Dektec, за допомогою яких можливо генерувати модульовані радіосигнали ряду європейських стандартів цифрового телевізійного мовлення DVB-T, DVB-C, DVB-S та DVB-S2. В даній статті описані основні відомості про програмний комплекс на базі CrazyScan та TSReader, який використовується для дослідження сигналів на приймальній стороні та відтворення транспортних потоків які передаються. Також надана основна інформація для роботи з програмним забезпеченням StreamXpress, для генерації сигналів цифрового телевізійного мовлення. Відображено основні варіанти побудови запропонованого апаратно-програмного комплексу на базі ефірних радіоканалів дециметрового та сантиметрового діапазону для формування та дослідження сигналів цифрового телевізійного мовлення на базі модуляторів Dektec DTA-107S2 та DTA-115.

Ключові слова: модулятор Dektec, апаратно-програмний комплекс, телевізійне мовлення, транспортний потік

HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR THE DIGITAL TELEVISION SIGNALS GENERATION AND RESEARCH

Teodor Narytnyk, Ph.D., Prof. National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine. director@mitris.com

Hlib Avdieienko, Ph.D. National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine. django2006@ukr.net

Andrii Slyvka. National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine. slyvka.andrii@iit.kpi.ua

Abstract. Nowadays, there is a rapid development of digital television (TV) and radio broadcasting technologies in the world. It makes the task of improving the training level of students of higher educational institutions studying in specialty 172 "Telecommunications and Radio Engineering" of current interest. The paper formulates the relevance and necessity of creating a hardware and software device based on Dektec TV modulators for a more detailed and in-depth study of the signal processing methods and its generation for the digital terrestrial and satellite television broadcasting systems. The proposed hardware and software device can be used in the educational process of higher educational institutions for training specialists for the telecommunications industry. This paper discusses the Dektec TV modulator PC-based boards DTA-107S2 and DTA-115 and its implementation for generation of the modulated TV signals from a number of European standards for digital TV broadcasting such as DVB-T, DVB-C, DVB-S and DVB-S2. Also, this paper describes the basic information about the software package based on CrazyScan and TSReader applications, which are used to study and watch TV signal parameters on the receiving side and reproduce TV programs from multichannel TV transport streams that are being transmitted. It also provides basic information for working with StreamXpress software for generating digital TV broadcast signals with Dektec TV modulators. The main options for constructing the proposed hardware and software complex based on terrestrial radio channels of the decimeter (UHF) and centimeter (SHF) range for the generation and study of digital television broadcasting signals based on the Dektec DTA-107S2 and DTA-115 modulators are presented. The results of the successful testing of the proposed hardware and software complex are shown.

Keywords: Dektec TV modulator, hardware and software complex, television broadcasting, transport stream

Вступ

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 і більшість країн світу прийняли стандарти

DVB-T або DVB-T2 основними для цифрового ефірного наземного телемовлення, при цьому кількість встановлених DVB-ресиверів досягла 1 млрд [1].

У 2017 році 12 країн Європи використовували гібридні телемережі DVB-T/DVB-T2, причому два стандарти використовуються на різних мультиплексах. Компанія Dataxis прогнозує, що до 2022 року кількість таких країн зменшиться до 8, за умови, що національні влада не припинять перехід, як сталося в деяких країнах (наприклад, в Бельгії і Швеції). Крім того, відповідно до прогнозів компанії Dataxis до 2022 року 72% домогосподарств Європи (у 2017 році ця цифра становила 30%) будуть користуватися телевізійним стандартом DVB-T2 [2]. Стандарти супутникового телевізійного мовлення як DVB-S та DVB-S2 взагалі використовуються по всьому світу. Зокрема вони є основою вітчизняних технологій MITPIC та UMDS, що використовується для побудови і розгортання наземних мереж телерадіомовлення і мультисервісного радіодоступу в надвисокочастотному та терагерцовому діапазонах, і які розроблені Інститутом електроніки та зв'язку у співробітництві з КПІ ім. Ігоря Сікорського, АОЗТ "РОКС", НПП «Геліос-РРЛ» та рядом підприємств та відомств Мінмашпрому, Національної академії наук України при підтримці Національної ради України по телебаченню і радіомовленню та Держтелерадіо України [3-10].

Отже, актуальною стає задача підвищення рівня теоретичної та, зокрема, практичної підготовки фахівців у вищих навчальних закладах, які матимуть ґрунтовні знання з сучасних систем цифрового телевізійного мовлення [11-15]. Враховуючи, що вартість сучасних модуляторів 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.

Метою статті є відображення основних варіантів побудови запропонованого апаратно-програмного комплексу для формування та дослідження сигналів цифрового телевізійного мовлення на базі PCI-плат модуляторів Dektec DTA-107S2 та DTA-115.

Виконання досліджень

Апаратно-програмний комплекс – це набір технічних і програмних засобів, що працюють спільно для виконання однієї або кількох подібних завдань. 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.

Структурна схема апаратно-програмного комплексу на основі ефірних радіоканалів ДМХ та СМХ діапазонів зображена на рис.1.

Схема апаратно-програмного комплексу на основі коаксіальної лінії передачі наведено на рис.2.

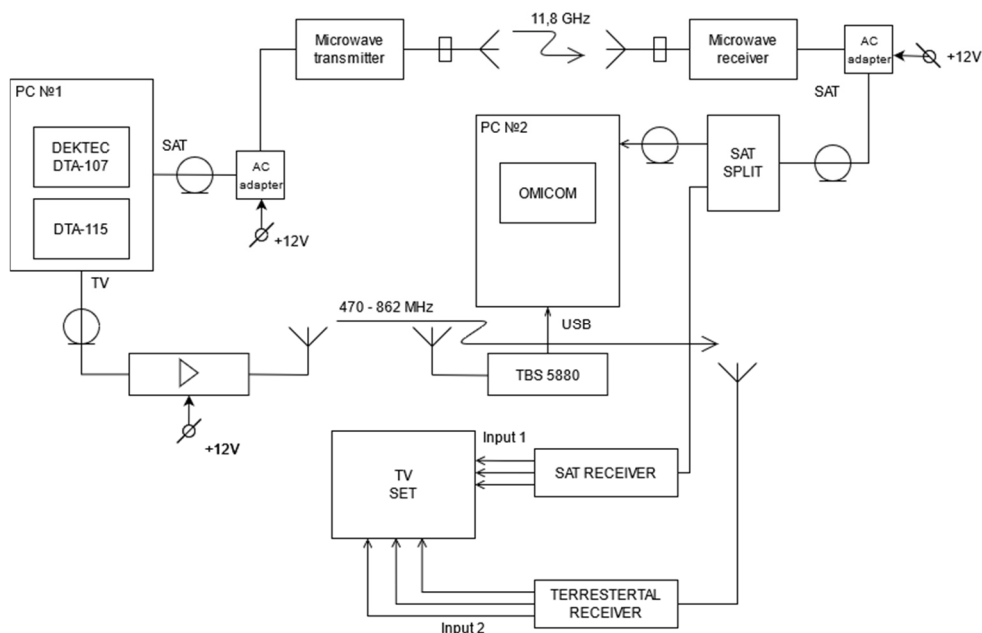


Рис. 1. Структурна схема апаратно-програмного комплексу на основі ефірних радіоканалів ДМХ та СМХ діапазонів

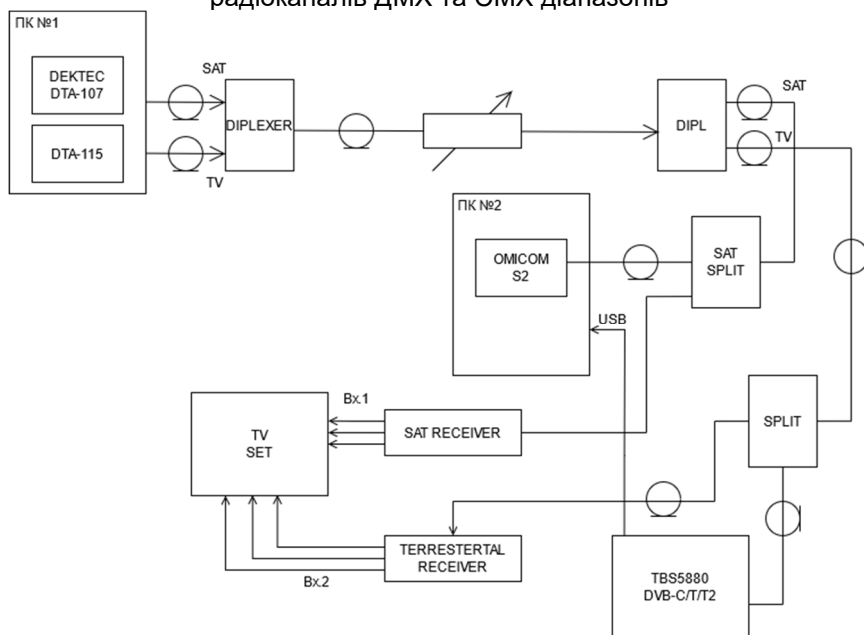


Рис. 2. Структурна схема апаратно-програмного комплексу на основі використання коаксіальної лінії передачі

Основними елементами передавальної частини апаратно-програмного комплексу є: персональний комп'ютер передавальної частини, модулятор Dektec DTA-107S2, модулятор Dektec DTA-115, антена передавальна ДМХ діапазону, макет передавального тракту СМХ діапазону, частотно-об'єднувальний та частотно-роз'єднуювальний пристрій (диплексер), коаксіальна лінія передачі, адаптери живлення, ПЗ StreamXpress.

Більш детально розглянемо модулятори Dektec DTA-115 та Dektec DTA-107S2 та ПЗ StreamXpress.

Плата модулятора DTA-107S2 (рис.3) була першою платою від компанії Dektec. Спочатку модулятор підтримував лише стандарт DVB-S, але пізніше було додано підтримку DVB-S2.

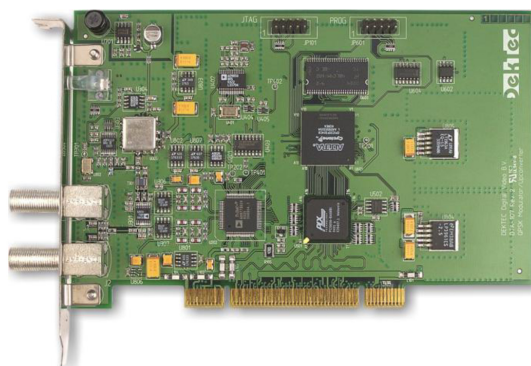


Рис. 3. Зовнішній вигляд плати модулятора Dektec DTA-107S2

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.1.

Таблиця 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	200 кГц
	Вихідний рівень	- 27 дБм $\pm$ 3 дБ
	Побічні коливання	>40 дБ
	Зворотні втрати	≥ 15 дБ

Модулятор взаємодіє з ПК за допомогою програмного інтерфейсу DTAPl, що реалізований на мові програмування C++. 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 складається з сигналом з виходу кварцового генератора, та подається на радіочастотний вихід.

Блок схему модулятора Dektec DTA-107S2 наведено на рис.4.

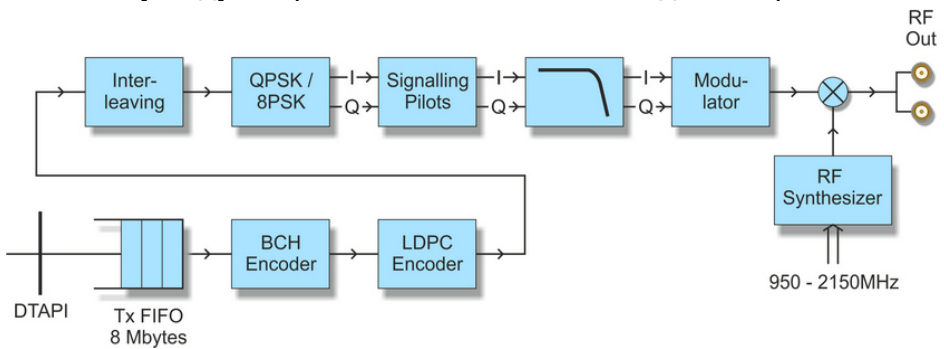


Рис. 4. Блок схема модулятора Dektec DTA-107S2

Плата модулятора Dektec DTA-115 (рис.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 атенуатором від 0 до 31,5 дБ з кроком 0,5 дБ, та незалежний двонаправлений порт DVB-ASI.

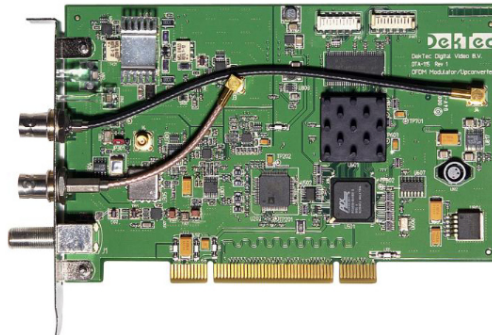


Рис. 5. Зовнішній вигляд плати модулятора Dektec DTA-115

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.

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 пост обробки вже сформовані сигнали I та Q, за допомогою яких можливо сформувати 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 складаються в один спільний сигнал, та подається напряму на вихід для моніторингу, та через підсилювач з регульованим коефіцієнтом посилення сигнал подається на радіочастотний вихід.

Таблиця 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

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

Блок схема модулятора Dektec DTA-115 наведено на рис.6.

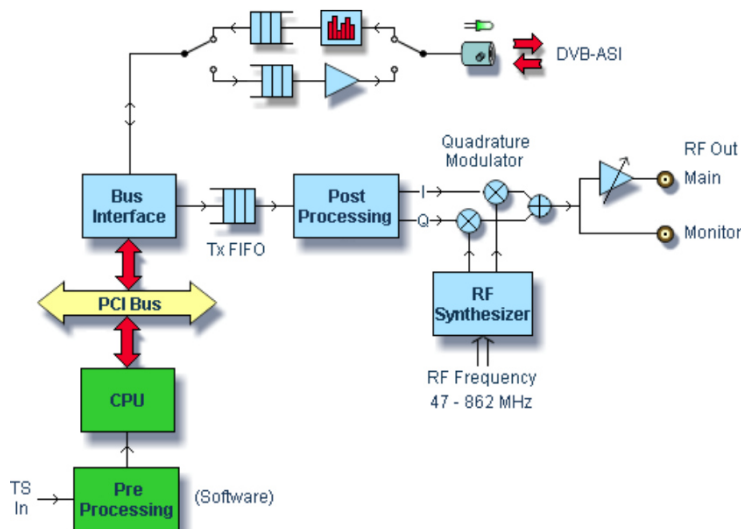


Рис. 6. Блок схема модулятора Dektec DTA-115

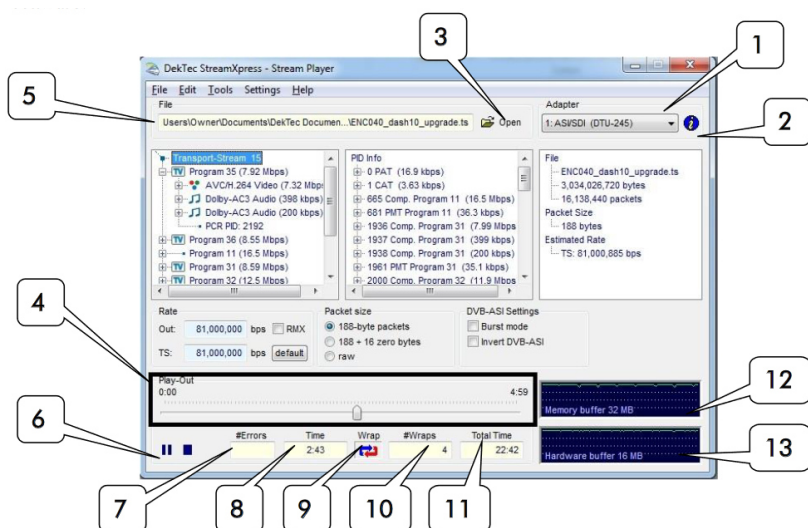


Рис. 7. Головне меню ПЗ StreamXpress

StreamXpress сумісний з Microsoft Windows XP/2K3/Vista/2K8/7/8/10. 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.

Розглянемо основні налаштування програмного забезпечення StreamXpress. Так як саме вони є суміжними для всіх продуктів компанії Dektec. На рис.7 зображено головне меню з основними налаштуваннями. У таблиці наведено тип та опис основних елементів головного меню ПЗ StreamXpress.

Основні елементи приймальної частини апаратно-програмного комплексу

Основними елементами приймальної частини апаратно-програмного комплексу є: персональний комп'ютер приймальної частини, приймальні антени ДМХ та СМХ діапазону, макет приймального тракту СМХ діапазону, вимірювальні ресивери TBS5880 та Omicom S2, побутовий ресивер стандарту DVB-S/S2 Uclan B6, побутовий ресивер стандарту DVB-T/T2, програмний комплекс на базі CrazyScan та TSReader для дослідження параметрів сигналів цифрового телебачення.

Побутовий ресивер стандарту DVB-S/S2 Uclan B6 використано для прийому сигналів (Рис.8). 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.



Рис. 8. Зовнішній вигляд приймача Uclan B6

Цифровий ефірний ресивер DEX DVB-T44 використано 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 DEX DVB-T44 зображений на рис.9.

Таблиця 3.
Умовні позначення головного меню ПЗ StreamXpress

Змінна	Тип	Опис	Но ме р
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
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

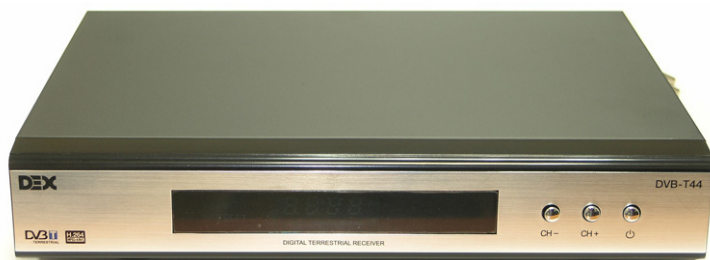


Рис. 9. Зовнішній вигляд приймача DEX DVB-T44

Також в якості приймальних пристроїв було використано TBS5880 та Omicom S2. Кожен з них дає можливість прийому, відтворення та дослідження сигналів цифрового телевізійного мовлення на персональному комп'ютері з встановленим програмний комплексом на базі TSReader та CrazyScan .

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) (рис.10).

Omicom S2 PCI rev.3 (рис.11) – 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.

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.

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.



Рис. 10. Зовнішній вигляд ресивера TBS5880

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.

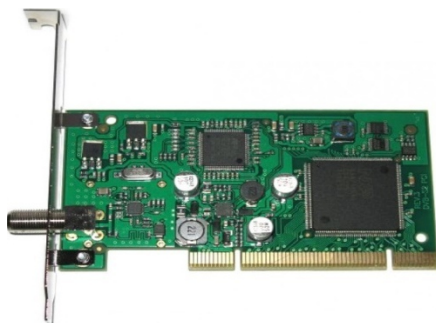


Рис. 11. Зовнішній вигляд печатної плати ресивера Omicom S2

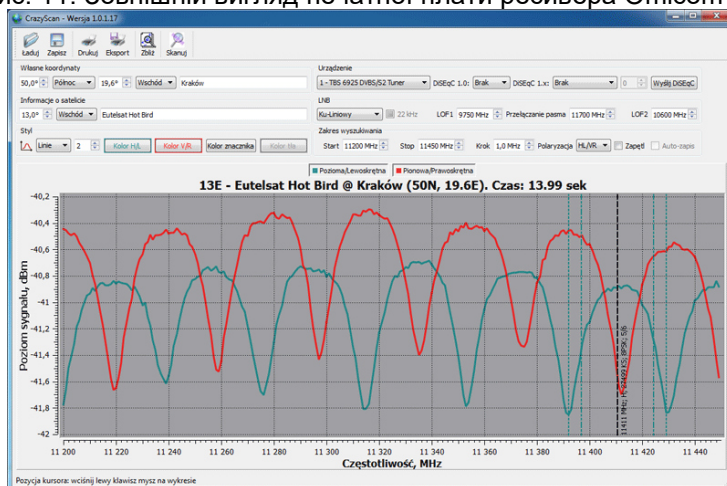


Рис. 12. Головне меню програми CrazyScan та результати аналізу смуги частот 11200 – 11440 МГц

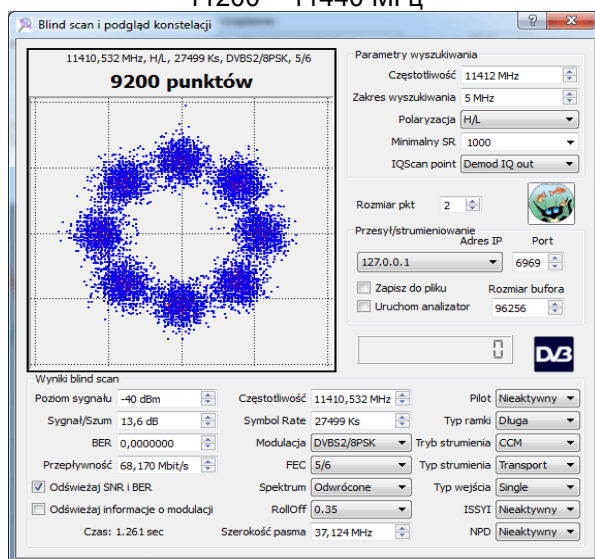


Рис. 13. Результати аналізу сигналу на частоті 11412 МГц

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.12.

- Проаналізувавши сигнал на деякій частоті можливо отримати сигнальне сузір'я і докладну інформацію про переданий сигнал (звідси ви також можете зберегти весь прийнятний 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.13.

Практичне використання апаратно-програмного комплексу

В якості прикладу практичного використання апаратно-програмного комплексу розглянемо передачу сигналів цифрового супутникового мовлення у стандарті DVB-T та DVB-T2.

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 залишені зі значеннями за замовчуванням.

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

$$f_{\text{вих}} = f_{\text{гет}} + f_c \quad (1)$$

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 1250МГц.

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. 15). 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. 16).

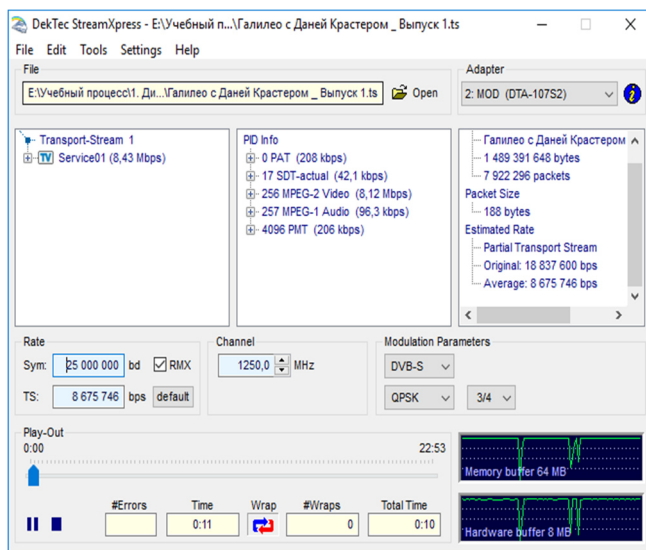


Рис. 14. Налаштування ПЗ StreamXpress для передачі однопрограмного транспортного потоку у стандарті DVB-S

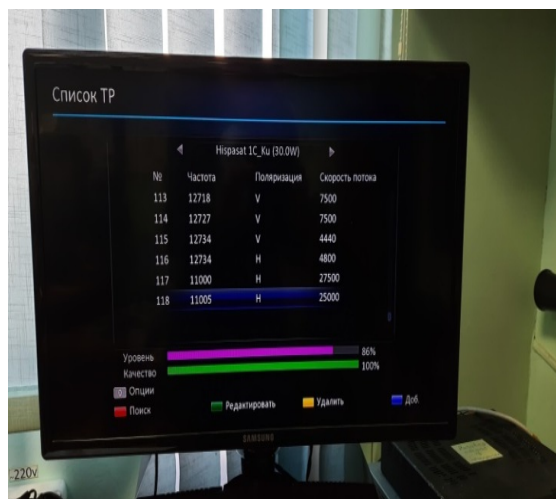


Рис. 15. Налаштування ресиверу для прийому сигналу у стандарті DVB-S



Рис. 16. 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 4.

Після чого, знаючи ширину спектру в якій зосереджено 99,0% відсотків енергії сигналу, була виміряна потужність сигналу на виході конвертеру (рис.17). Це значення дорівнює -12,97 дБм. Наступним кроком було виміряно відношення несуча/шум (C/N) у полосі вимірювального каналу 10 кГц (рис. 18). Це значення дорівнює 30,05 дБ.

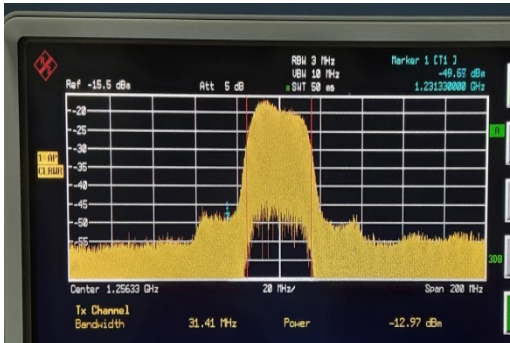


Рис. 17. Спектр сигналу для визначення потужності сигналу на виході конвертеру

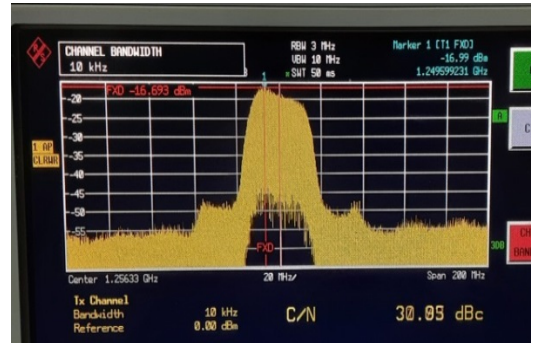


Рис. 18. Спектр сигналу для визначення відношення несуча/шум у полосі 10 кГц



Рис. 19. Спектр сигнала для визначення відношення потужності сигналу до спектральної густини потужності шуму

Потім 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. 20. Сигнальне сузір'я стандарту DVB-S



Рис. 21. Параметри сигнального сузір'я

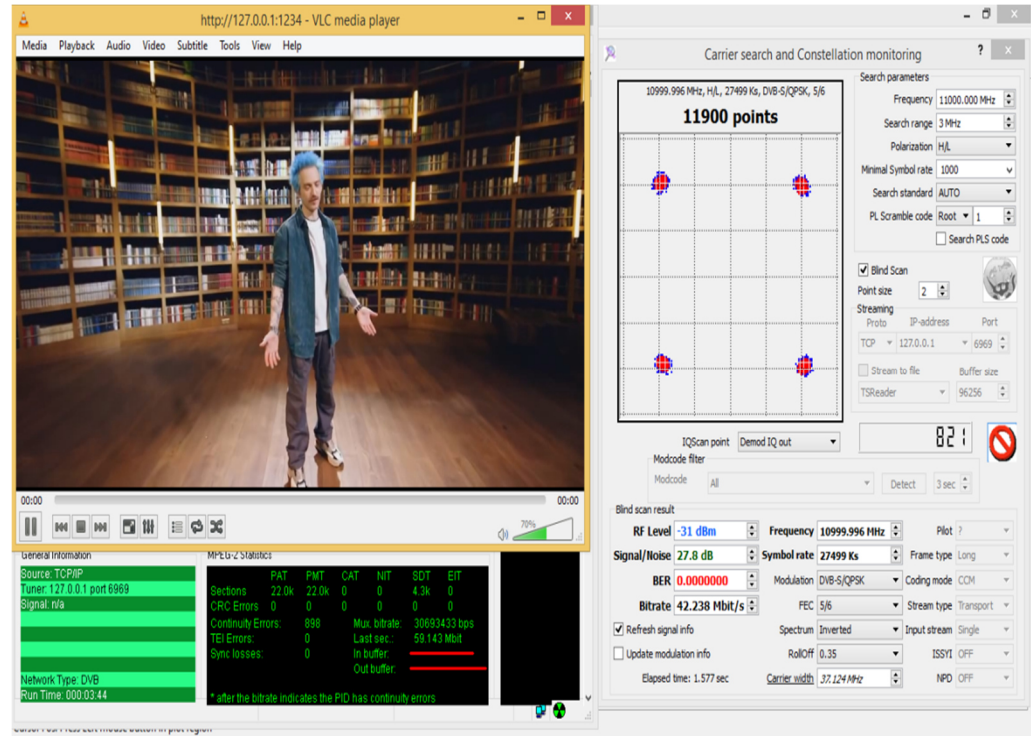


Рис. 22. Прийом та відтворення сигналу стандарту DVB-S за допомогою програмного комплекс на базі CrazyScan та TSReader

Відповідно до структурної схеми апаратно-програмного комплексу (рис. 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. 22).

*Таблиця 4.
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 даний експеримент було повторено для багатопрограмного транспортного потоку сигналу стандарту DVB-S та однопрограмного і багатопрограмного транспортного потоку сигналу стандарту DVB-S2. У таблиці 5 наведено порівняльну характеристику залежності полоси частот сигналу від його енергії для всіх сигналів які були згенеровані.

*Таблиця 5.
Залежність полоси частот сигналу від його енергії*

DVB-S (QPSK 25 Мсимв/с)		DVB-S (QPSK 24 Мсимв/с)		DVB-S2 (QPSK 24 Мсимв/с)		DVB-S2 (8-PSK 25 Мсимв/с)	
99,0%	31,41 МГц	99,0%	30,12 МГц	99,0%	31,41 МГц	99,0%	31,08 МГц
99,1%	31,73 МГц	99,1%	30,44 МГц	99,1%	31,73 МГц	99,1%	31,73 МГц
99,2%	32,05 МГц	99,2%	30,08 МГц	99,2%	32,05 МГц	99,2%	32,05 МГц
99,3%	32,69 МГц	99,3%	30,76 МГц	99,3%	32,69 МГц	99,3%	32,05 МГц
99,4%	32,69 МГц	99,4%	31,41 МГц	99,4%	32,69 МГц	99,4%	32,69 МГц
99,5%	33,65 МГц	99,5%	32,05 МГц	99,5%	32,65 МГц	99,5%	33,01 МГц
99,6%	34,61 МГц	99,6%	32,69 МГц	99,6%	34,61 МГц	99,6%	33,65 МГц
99,7%	37,17 МГц	99,7%	33,97 МГц	99,7%	37,17 МГц	99,7%	35,25 МГц
99,8%	56,73 МГц	99,8%	44,23 МГц	99,8%	56,73 МГц	99,8%	42,30 МГц
99,9%	101,2 МГц	99,9%	85,19 МГц	99,9%	101,2 МГц	99,9%	85,57 МГц

Також у табл.6 наведено порівняльну характеристику параметрів сигналів стандартів DVB-S та DVB-S2 на виході приймального конвертора.

Таблиця 6.
Порівняльна характеристика параметрів
сигналів стандартів DVB-S та DVB-S2
супутникового мовлення на виході приймального конвертора

	DVB-S (QPSK 25 Мсимв/с)	DVB-S (QPSK 24 Мсимв/с)	DVB-S2 (QPSK 24 Мсимв/с)	DVB-S2 (8-PSK 25 Мсимв/с)
Потужність сигналу на виході конвертеру, дБм	-12,97	-13,52	-12,97	-14,70
Відношення несуча/шум (C/N) (в смузі частот 10 кГц), дБ	30,05	32,41	30,05	29,77
Відношення потужності несучої до (C/N ₀), дБГц	70,40	72,21	70,40	71,17
Відношення сигнал/шум на виході демодулятора, дБ	14,9 – 15,3	15,56	14,9 – 15,3	14,60

Висновки

Створено апаратно-програмний комплекс на базі модуляторів Dektec для формування та дослідження сигналів цифрового телевізійного мовлення, що дозволяє вирішити актуальну задачу удосконалення рівня підготовки студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка». За допомогою створеного апаратно-програмного комплексу та транспортних потоків студент самостійно може згенерувати сигнал одного із стандартів цифрового мовлення та змінюючи його параметри такі як модуляція, символна швидкість, захисний інтервал, дослідити в лабораторних умовах 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 юстування антени на якість прийому сигналу.

Отримані і досліджені в статті технічні характеристики створеного апаратно-програмного комплексу підтверджують його цінність для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» дають підстави для впровадження його в навчальний процес вищих навчальних закладів, що

дозволити якісно підвищити рівень підготовки спеціалістів в телекомунікаційній галузі.

Література

1. В 166 странах мира цифровое вещание внедряется в стандарте DVB-T или DVB-T2: [Електронний ресурс] – Режим доступу : <https://mediasat.info/2016/10/25/166-countries-dvb-t-or-dvb-t2/> – Назва з екрану
2. К 2022 году 72% домохозяйств Европы будут пользоваться телевизионным стандартом DVB-T2: [Електронний ресурс] – Режим доступу : <https://satcomrus.ru/media/blog/files/88249866431c6ae5603cd4ec3950527e-469.html> – Назва з екрану
3. Ilchenko, M. Terahertz range telecommunication systems /M. Ilchenko, T. Narytnik, A. Fisun, O. Belous// Telecommunications and Radio Engineering (English translation of Elektrosvyaz and Radiotekhnika). – 2011. – Vol.70(16). – pp.1477-1487.
4. Наритник Т. М. Мікрохвильові технології в телекомунікаційних системах/Т. М. Наритник, В. П. Бабак, М. Ю. Ільченко, С. О. Кравчук. – К.: Техніка, 2000. – 304 с. – ISBN 966-575-043-7
5. Ilchenko, M. Directions of design of ultrahighspeed radio telecommunication systems with use of terahertz waves /M. Ilchenko, T. Narytnik// 2011 21st International Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology". – 2011. – pp.387-389.
6. Ilchenko, M. Transceiver for 130-134 GHz band digital radio relay system / M. Ilchenko, S. Kuzmin, T. Narytnik, A. Fisun, O. Belous, V. Radzikhovsky // Telecommunications and Radio Engineering (English translation of Elektrosvyaz and Radiotekhnika). – 2013. – Vol.72(17). – pp.1623-1638.
7. Ilchenko, M. Conception of development of millimeter and submillimeter wave band radio telecommunication systems /M. Ilchenko, T. Narytnik, A. Fisun, O. Belous // Telecommunications and Radio Engineering (English translation of Elektrosvyaz and Radiotekhnika). – 2008. – Vol. 67(17). – pp.1549-1564.
8. Ільченко М.Ю. Етапи еволюційного розвитку системи МІТРІС та концепція побудови мікрохвильової інтегрованої телерадіоінформаційної системи мультисервісного радіо доступу UMDS / М.Ю. Ільченко, Т. М. Наритник // Науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій»: Матеріали конференції / КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ, 2012. – С.40-43.
9. Ільченко, М.Е. Направления создания телекоммуникационных систем мультисервисного доступа с использованием радиотехнологии МИТРИС / М. Е. Ильченко, Т. Н. Нарытник // Материалы 22-ой Международной Крымской конференции КрыМиКо'2012/ СевНТУ – Севастополь, 2012. – С.289-291.
10. Ільченко, М.Е. Система микроволновая интегрированная телерадиоинформационная мультисервисного радиодоступа «UMDS» / М.Е. Ильченко, Т.Н. Нарытник, А.Г. Войтенко // Материалы 23-ой Международной Крымской конференции КрыМиКо'2013 / СевНТУ. – Севастополь, 2013. – С.320-322.
11. Авдеенко, Г.Л. Макет системы ретрансляции радиосигнала цифрового спутникового телевизионного вещания в диапазоне 11 ГГц для учебного процесса в ВУЗах / Г.Л. Авдеенко, О.Ю. Лавриненко, Е.А. Якорнов // Материалы 22-ой Международной Крымской конференции КрыМиКо'2012 / СевНТУ. – Севастополь, 2012. – С.357-358.
12. Авдеенко, Г.Л. Исследование ретрансляции радиосигнала спутникового цифрового телевизионного вещания в лабораторных условиях / Г.Л. Авдеенко, Е. А. Якорнов // Збірник тез VIII Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології» (COMINFO'2012) / ДУІКТ. – Київ, 2012. – С.71-73.
13. Авдеенко, Г. Л. Исследование ретрансляции радиосигнала спутникового цифрового телевизионного вещания стандарта DVB-S по радиолнии сверхвысокочастотного диапазона в лабораторных условиях / Г.Л. Авдеенко, О.Ю. Лавриненко, Е. А. Якорнов // Науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій»: Матеріали конференції // КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ, 2013. – С.317-320.

14. Авдеенко, Г.Л. Макет системы трансляции радиосигнала цифрового телевидения стандарта DVB-S по радиолинии СВЧ диапазона 4,3 ГГц для учебного процесса в ВУЗе / Г.Л. Авдеенко, А. В. Чижевская, В.Н. Бранчук // Научно-техническая конференция "Проблемы телекоммуникаций": Материалы конференции / КПИ им. Игоря Сікорського – Київ, 2014. – С.433-435.

15. Авдеенко, Г. Л. Макет системы трансляции сигналов цифрового телевизионного вещания для учебного процесса / Г. Л. Авдеенко, В. В. Трофименко // XII Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій» ПТ-2018: Збірник матеріалів конференції / КПИ им. Игоря Сікорського. – Київ, 2018. – С.414-417.

References

1. V 166 stranah mira cifrovoe veshchanie vnedryaetsya v standarte DVB-T ili DVB-T2: [Elektronnij resurs] – Rezhim dostupu : <https://mediasat.info/2016/10/25/166-countries-dvb-t-or-dvb-t2/> – Nazva z ekranu

2. K 2022 godu 72% domohozyajstv Evropy budut pol'zovat'sya televizionnym standartom DVB-T2: [Elektronnij resurs] – Rezhim dostupu : <https://satcomrus.ru/media/blog/files/88249866431c6ae5603cd4ec3950527e-469.html> – Nazva z ekranu

3. Ilchenko, M. Terahertz range telecommunication systems /M. Ilchenko, T. Narytnik, A. Fisun, O. Belous// Telecommunications and Radio Engineering (English translation of Elektrosvyaz and Radiotekhnika). – 2011. – Vol.70(16). – pp.1477-1487.

4. Naritnik ,T. M. Mikrohvil'ovi tekhnologii v telekomunikacijnih sistemah/T. M. Naritnik, V. P. Babak, M. YU. Il'chenko, S. O. Kravchuk. – K.: Tekhnika, 2000. – 304 s. – ISBN 966-575-043-7

5. Ilchenko, M. Directions of design of ultrahighspeed radio telecommunication systems with use of terahertz waves /M. Ilchenko, T. Narytnik// 2011 21st International Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology". – 2011. – pp.387-389.

6. Ilchenko, M. Transceiver for 130-134 GHz band digital radio relay system / M. Ilchenko, S. Kuzmin, T. Narytnik, A. Fisun, O. Belous, V. Radzikhovsky // Telecommunications and Radio Engineering (English translation of Elektrosvyaz and Radiotekhnika). – 2013. – Vol.72(17). – pp.1623-1638.

7. Ilchenko, M. Conception of development of millimeter and submillimeter wave band radio telecommunication systems /M. Ilchenko, T. Narytnik, A. Fisun, O. Belous // Telecommunications and Radio Engineering (English translation of Elektrosvyaz and Radiotekhnika). – 2008. – Vol. 67(17). – pp.1549-1564.

8. Il'chenko M.YU. Etapi evolyucijnogo rozvitku sistemi MITRIS ta koncepciya pobudovi mikrohvil'ovoї integrovanoї teleradioinformacijnogoї sistemi mul'tiservisnogo radio dostupu UMDS / M.YU. Il'chenko, T. M. Naritnik // Naukovo-tehnichna konferenciya «Problemi telekomunikacij»: Materiali konferencii / KPI im. Igorya Sikors'kogo. – Kiiv, 2012. – S.40-43.

9. Il'chenko, M.E. Napravleniya sozdaniya telekommunikacionnyh sistem mul'tiservisnogo dostupa s ispol'zovaniem radiotekhnologii MITRIS / M. E. Il'chenko, T. N. Narytnik // Materialy 22-oj Mezhdunarodnoj Krymskoj konferencii KryMiKo'2012/ SevNTU – Sevastopol', 2012. – S.289-291.

10. Il'chenko, M.E. Sistema mikrovolnovaya integrirovannaya teleradioinformacionnaya mul'tiservisnogo radiodostupa «UMDS» / M.E. Il'chenko, T.N. Narytnik, A.G. Vojtenko // Materialy 23-oj Mezhdunarodnoj Krymskoj konferencii KryMiKo'2013 / SevNTU. – Sevastopol', 2013. – S.320-322.

11. Avdeenko, G.L. Maket sistemy retranslyacii radiosignala cifrovogo suputnikovogo televizionnogo veshchaniya v diapazone 11 GGc dlya uchenogo processa v VUZah / G.L. Avdeenko, O.YU. Lavrinenko, E.A. YAKornov // Materialy 22-oj Mezhdunarodnoj Krymskoj konferencii KryMiKo'2012 / SevNTU. – Sevastopol', 2012. – S.357-358.

12. Avdeenko, G.L. Issledovanie retranslyacii radiosignala sputnikovogo cifrovogo televizionnogo veshchaniya v laboratornyh usloviyah / G.L. Avdeenko, E. A. YAKornov // Zbirnik tez VIII Mizhnarodnoї naukovo-tehnichnoї konferencii «Suchasni informacijnno-komunikacijni tekhnologii» (COMINFO'2012) / DUKT. – Kiiv, 2012. – S.71-73.

13. Avdeenko, G. L. Issledovanie retranslyacii radiosignala suputnikovogo cifrovogo televizionnogo veshchaniya standarta DVB-S po radiolinii sverhvysochastotnogo diapazona v

laboratornyh usloviyah / G.L. Avdeenko, O.YU. Lavrinenko, E. A. YAkornov // Naukovo-tekhnichna konferenciya "Problemi telekomunikacij": Materiali konferencii // KPI im. Igorya Sikors'kogo. – Kiïv, 2013. – S.317-320.

14. Avdeenko, G.L. Maket sistemy translyacii radiosignala cifrovogo televideniya standart DVB-C po radiolinii SVCH diapazona 4,3 GGc dlya uchebnogo processa v VUZe / G.L. Avdeenko, A. V. CHizhevskaya, V.N. Branchuk // Naukovo-tekhnichna konferenciya "Problemi telekomunikacij": Materiali konferencii /KPI im. Igorya Sikors'kogo – Kiïv, 2014. – S.433-435.

15. Avdeenko, G. L. Maket sistemy translyacii signalov cifrovogo televizionnogo veshchaniya dlya uchebnogo processa / G. L. Avdeenko, V. V. Trofimenko// XII Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferenciya «Problemi telekomunikacij» PT-2018: Zbirnik materialiv konferencii/ KPI im. Igorya Sikors'kogo. – Kiïv, 2018. – S.414-417.