УДК 621.396.43

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ БАГАТОКАНАЛЬНОГО СИГНАЛУ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ DVB-C ПРИ ЙОГО ПЕРЕДАВАННІ ПРИЙМАЛЬНО–ПЕРЕДАВАЛЬНИМ ТРАКТОМ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДІАПАЗОНУ

Авдєєнко Г. Л., Набока Б.Ю., Наритник Т.М.

Індустріальна вул., 2, Київ, 03057, Україна
НДІ телекомунікацій НТУУ «КПІ»
director@mitris.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МНОГОКАНАЛЬНОГО СИГНАЛА ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ DVB-C ПРИ ЕГО ПЕРЕДАЧЕ ПО ПРИЁМО–ПЕРЕДАЮЩЕМУ ТРАКТУ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА

Авдеенко Г. Л., Набока Б.Ю., Нарытник Т.Н.

НИИ телекоммуникаций НТУУ «КПИ»
Индустриальная ул., 2, Киев.03057, Украина
director@mitris.com

DVB-C MULTICHANNEL SIGNAL PARAMETERS RESEARCH AFTER ITS TRANSMISSION THROUGH TERAHERTZ RANGE TRANSCEIVER

Avdeyenko G.L., Naboka B.Yu, Narytnyk T.M.

Industrialna Str., 2, Kiev, 03057, Ukraine
SRI of Telecommunications NTUU "KPI"
director@mitris.com

Анотація. Описана структурна схема спроектованої експериментальної установки для дослідження параметрів сигналів цифрового телебачення при їх передаванні приймально–передавальним трактом терагерцового діапазону. Надані результати вимірювання параметрів триканального сигналу телевізійного мовлення стандарту DVB–C з загальною швидкістю транспортного потоку на рівні 125 Мбіт/с при його передаванні по приймально–передавальному тракту в діапазоні частот 130…132 ГГц.

Ключові слова: терагерцовий приймально–передавальний тракт, дослідження параметрів багатоканального сигналу цифрового телебачення DVB–C, експериментальна установка для дослідження.

Аннотация. Описана структурная схема спроектированной экспериментальной установки для исследования параметров сигналов цифрового телевидения при их передаче по приёмо–передающему тракту терагерцового диапазона. Представлены результаты измерения параметров трёхканального сигнала телевизионного вещания стандарта DVB–C с суммарной скоростью транспортного потока на уровне 125 Мбит/с при его передаче по приёмо–передающему тракту в диапазоне частот 130…132 ГГц.

Ключевые слова: терагерцовый приёмо–передающий тракт, исследование параметров многоканального сигнала цифрового телевидения DVB–C, экспериментальная установка для исследования.

Abstract. A block diagram of the testbed which designed for studies of digital television signals parameters during its transmission through terahertz transceiver is described. The measurements results of three–channel TV signal of DVB–C broadcasting standard after its transmission with the overall speed of traffic 125 Mbit/s are shown. The signal transmission was done through terahertz range transceiver in the frequency range 130…132 GHz.

Key words: terahertz range transceiver, DVB–C multichannel signal research, testbed.

Сьогодні у телекомунікаційному світі радіорелейного зв'язку існує тенденція використання більш широких смуг частот, яка обумовлена можливістю передавання значної кількості інформації, що призводить до збільшення пропускної здатності радіоканалу. Одним із розв'язань задачі використання широкого спектра частот, не заважаючи при цьому

 © *Авдєєнко Г. Л., Набока Б.Ю., Наритник Т.М.*, 2016

іншим операторам та провайдерам, є перехід на більш високі частоти (вище 100 ГГц). Дана смуга (від 100 до 3000 ГГц) має назву терагерцового діапазону частот та є неліцензійним діапазоном.

Випромінювання терагерцового діапазону може мати найширші практичні застосування. Проте, терагерцові електромагнітні хвилі лежать у спектральному діапазоні, з яким досить складно працювати через відсутність необхідних радіоелектронних компонентів: між мікрохвильовим випромінюванням і середньою інфрачервоною областю.

Над створенням подібних компонентів працюють вчені і технологи усього світу [1]. Група вчених з Технологічного університету Чалмерса (Chalmers University of Technology) та з Лондонського університетського коледжу (University College London, UCL), розробила і виготовила завдяки останнім досягненням в області нанотехнологій, в областях математичного моделювання та автоматизованого проектування дослідний зразок високочастотного підсилювача радіосигналів, який має найбільше значення смуги пропускання на сьогоднішній день. Його смуга пропускання починається на рівні декількох ГГц і закінчується значенням у 235 ГГц. В усій цій смузі підсилювач забезпечує підсилення радіосигналу більш ніж на 15 дБ, а верхня межа робочої частоти підсилювача має значення близько 1,5 ТГц, що перевищує верхню межу для всіх інших подібних пристроїв, розроблених раніше.

Науково–дослідний Інститут телекомунікацій НТУУ «КПІ» разом з Інститутом електроніки та зв'язку Української академії наук також беруть активну участь у дослідженні терагерцового діапазону, розробці радіоелектронних компонентів та створенні на цій основі телекомунікаційних систем різного призначення, зокрема приймально–передавального тракту терагерцового діапазону, що працює в діапазоні 0,13…0,132 ТГц [1–11].

Метою даної роботи є дослідження параметрів багатоканального сигналу цифрового телевізійного мовлення стандарту DVB–C при його передаванні в нижній частині робочого діапазону даного приймально–передавального тракту терагерцового діапазону (130,442…130,458 ГГц). Стандарт DVB–C було обрано через можливість використання під час дослідження тестових сигналів з різними параметрами сузір'я (від QAM–64 до QAM–256), що в свою чергу дозволило досліджувати зміну параметрів сигналів з різною завадостійкістю.

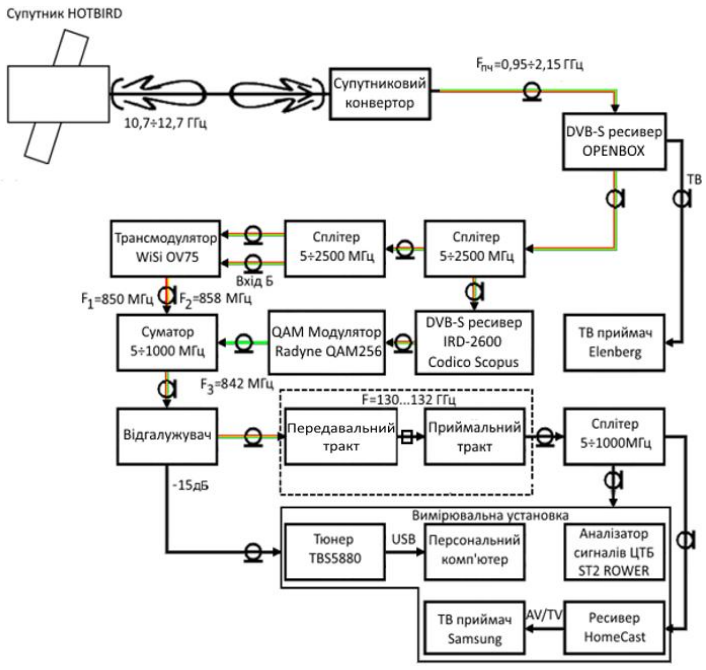

Рисунок 1 – Структурна схема експериментальної установки для дослідження багатоканальних сигналів цифрового телебачення стандарту DVB–C

Для дослідження параметрів багатоканального сигналу цифрового телебачення стандарту DVB–C при його передаванні по приймально–передавальному тракту терагерцового діапазону було спроектовано експериментальну установку, структурну схему якої надано на рис. 1.

Як видно з рис. 1, заміри сигналу виконувалися на вході тракту передавача та на виході тракту приймача прийомо–передавача терагерцового діапазону. При цьому вихід передавача було з'єднано з входом приймача хвилеводною лінією. На всіх етапах дослідження використовувалась наступна вимірювальна апаратура:

– аналізатор спектра цифрового телебачення ST–2 ROVER;

– телевізійний ресивер цифрового кабельного телебачення Homecast, що підключений до телевізора Samsung;

– тюнер ефірного та кабельного цифрового телебачення Qbox TBS5880, що підключений до комп'ютера за допомогою USB–кабелю. Тюнер TBS5880 призначений для отримання зображення констеляційних діаграм та якісних характеристик телевізійних сигналів на вході та на виході приймально–передавального тракту терагерцового діапазону.

Ресивер Homecast призначений для вимірювання параметру якості сигналу (Quality) DVB–C у відносній шкалі відсотків на вході та на виході приймально–передавального тракту терагерцового діапазону.

Аналізатор сигналів ST–2 ROVER, що працює з сигналами стандарту DVB–C в режимі емуляції, дозволяє отримати наступні параметри сигналів DVB–C на вході та виході приймально–передавального тракту терагерцового діапазону:

– рівень сигналу (LEV);
– відношення потужності носійного коливання до потужності шуму (C/N);
– запас завадостійкості (N.MAR);
– коефіцієнт нерівномірності спектра (FLAT);
– коефіцієнт бітової помилки (BER).

Слід зазначити, що оскільки аналізатор сигналу ROVER ST–2 працює в режимі емуляції, то він показує значення потужності сигналу DVB–C у середньому на 15 дБ менше за значення, що отримане за допомогою тюнера TBS5880.

Вимірювання параметрів багатоканального сигналу цифрового телебачення стандарту DVB–C при його передаванні по приймально–передавальному тракту терагерцового діапазону проводилось поетапно: було використано одноканальний, двоканальний та триканальний сигнали DVB–C. Формування сигналів стандарту DVB–C здійснювалось шляхом перетворення сигналів стандарту DVB–S, які було прийнято на дзеркальну антену від супутника HOT BIRD. Основні параметри сигналів стандарту DVB–S показано в таблиці 1.

Таблиця 1 – Основні параметри сигналів цифрового телебачення стандарту DVB–S, які прийнято від супутника HOT BIRD

Номер каналу	Вхідний сигнал, МГц	Проміжна частота, МГц	Символьна швидкість, Ксимв/с	Бітова швидкість, Мбіт/с	Модуляція	FEC		Інформаційна швидкість, Мбіт/с	Ширина спектра, МГц
						Conv.	R.S.		
1	11179	1429	27500	55	QPSK	3/4	188/204	38,015	36
2	11137	1387	27500	55	QPSK	3/4	188/204	38,015	36
3	11334	1584	27500	55	QPSK	3/4	188/204	38,015	36

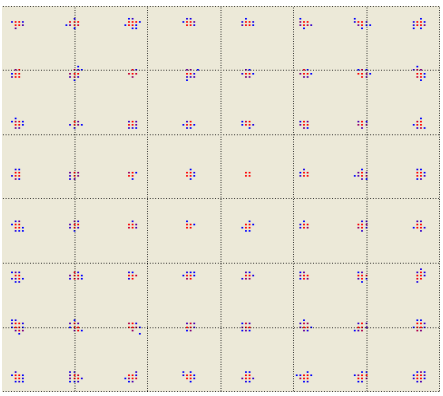

Рисунок 2 – Констеляційна діаграма сигналу DVB–C при модуляції QAM–64

Вхідний телевізійний сигнал стандарту DVB–S на **першому етапі** дослідження був перетворений за допомогою трансмодулятора WISI OV75 у радіосигнал стандарту DVB–C, при цьому був використаний тільки один вхід A.

За допомогою трансмодулятора можна було змінювати наступні параметри сигналу DVB–C: метод модуляції (QAM–16, QAM–32, QAM–64, QAM–128, QAM–256); швидкість (символьна, бітова в залежності від модуляції та завадостійкого кодування), проміжну частоту (з 950…2150 МГц на 47…862 МГц) та ширину спектра (в залежності від виду модуляції

та символьної швидкості). Результати першого етапу дослідження сигналу цифрового телебачення стандарту DVB–C на носійній частоті F = 850 МГц при його передаванні приймально–передавальним трактом терагерцового діапазону, що отримані на його вході і виході, показані в табл. 2…3 та на рис. 2…4. Дані констеляційні діаграми притаманні всім етапам проведення дослідження.

Рисунок 3 – Констеляційна діаграма сигналу DVB–C при модуляції QAM–128

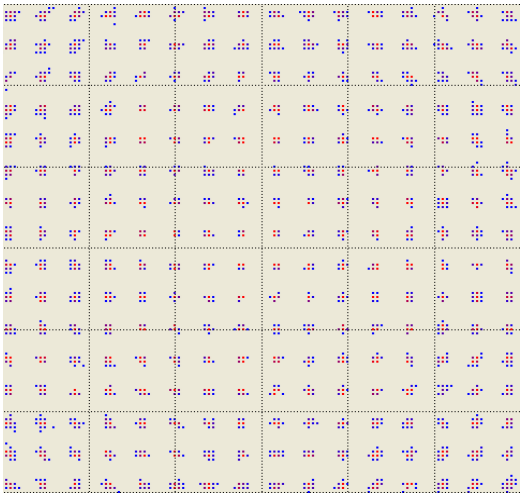

Рисунок 4 – Констеляційна діаграма сигналу DVB–C при модуляції QAM–256

Таблиця 2 – Параметри сигналу цифрового телебачення стандарту DVB–C на носійній частоті F = 850 МГц, виміряні аналізатором сигналу ROVER ST–2 та ресивером Homecast

Місце заміру	LEV, дБм	C/N, дБ	N. MAR дБ	FLAT, дБ	BER	Модуляція	$V_{симв}$, Мсимв/с	Якість, %
Вхід	–23,3	>36	16	2–3	$<10^{-8}$	QAM–64	6,875	100
Вихід	–33,5	>36	13	2	$<10^{-8}$	QAM–64	6,875	100
Вхід	–24,8	>36	13–14	3–4	$<10^{-8}$	QAM–128	5,895	92…100
Вихід	–36,5	>36	12	2	$<10^{-8}$	QAM–128	5,895	92…100
Вхід	–17,3	>36	20	2–3	$<10^{-8}$	QAM–256	5,156	33…60
Вихід	–28,6	33–34	9	2–4	$<10^{-8}$	QAM–256	5,156	33…60

Таблиця 3 – Параметри сигналу цифрового телебачення стандарту DVB–C на носійній частоті F = 850 МГц, виміряні тюнером TBS8550

Параметри каналу		Значення замірів на вході тракту терагерцового діапазону			Значення замірів на виході тракту терагерцового діапазону		
Частота, МГц	Модуляція	LEV, dBm	SNR, dB	BER	LEV, dBm	SNR, dB	BER
850	QAM–64	–35	38,6	$<10^{-8}$	–51	36,2	$<10^{-8}$
	QAM–128	–35	42,78	$<10^{-8}$	–51	42,12	$<10^{-8}$
	QAM–256	–29	38,6	$5\cdot10^{-8}$	—51	37,4	$9\cdot10^{-8}$

Аналізуючи дані табл. 2…3, можна дійти висновку, що навіть при використанні найменш завадостійкої модуляції QAM–256 її запас завадостійкості дорівнює 9 дБ. Цього достатньо, щоб забезпечити трансляцію по терагерцовому тракту за допомогою одного сигналу DVB–C декількох телевізійних програм з форматом зображення стандартної/підвищеної чіткості з високою якістю відтворення зображення та звуку кожної з них в телевізійному приймачі абонента за допомогою ресиверу DVB–C.

Під час **другого етапу** досліджень у схемі підключення був активований другий приймальний канал (вхід Б) трансмодулятора WISI OV75, до якого надходив другий сигнал стандарту DVB–S (табл.1). При перетворенні в трансмодуляторі WISI OV75двох вхідних сигналів стандарту DVB–S в двоканальний сигнал стандарту DVB–C для останнього вибирались наступні номінали носійних частот його окремих сигналів: F_1 = 850 МГц та F_2 = 858 МГц (рис. 1). Дані сигнали стандарту DVB–C надходили на вхід приймально–

передавального тракту терагерцового діапазону, де проводилось вимірювання їх параметрів (табл. 4…6).

Таблиця 4 – Параметри сигналу цифрового телебачення стандарту DVB–C на проміжній частоті F_1 = 850 МГц, виміряні аналізатором сигналу ROVER ST2 та ресивером Homecast при двоканальному режимі передавання

Місце заміру	LEV, дБм	C/N, дБ	N. MAR дБ	FLAT, дБ	BER	Модуляція	Vсимв, Мсимв/с	Якість, %
Вхід	–26	34	9	5	$<10^{-8}$	QAM–64	6,875	100
Вихід	–39	31	6	6	$<10^{-8}$	QAM–64	6,875	100
Вхід	–23.8	>36	11	3	$<10^{-8}$	QAM–128	5,892	60…100
Вихід	–36.7	34	8	5	$<10^{-8}$	QAM–128	5,892	60…100
Вхід	–18	34	6	2	10^{-6}	QAM–256	5,156	18…23
Вихід	–27	29	5	3	10^{-6}	QAM–256	5,156	18…23

Таблиця 5 – Параметри сигналу цифрового телебачення стандарту DVB–C на проміжній частоті F_2=858 МГц, виміряні аналізатором сигналу ROVER ST2 та ресивером Homecast при двоканальному режимі передавання

Місце заміру	LEV, дБм	C/N, дБ	N. MAR дБ	FLAT, дБ	BER	Модуляція	$V_{симв}$, Мсимв/с	Якість, %
Вхід	–28	>36	14	3	$<10^{-8}$	QAM–64	6,875	100
Вихід	–36	33	8	4	$<10^{-8}$	QAM–64	6,875	100
Вхід	–29	>36	11	4	$<10^{-8}$	QAM–128	5,892	60…100
Вихід	–36.6	32	8	4	$<10^{-8}$	QAM–128	5,892	60…100
Вхід	–17.4	34	16	3	10^{-5}	QAM–256	5,156	18…23
Вихід	–27	30	7	4	10^{-5}	QAM–256	5,156	18…23

Таблиця 6 – Параметри двоканального телевізійного сигналу цифрового телебачення стандарту DVB–C, які виміряні за допомогою тюнера TBS8550

Параметри каналу		Значення замірів на вході тракту терагерцового діапазону			Значення замірів на виході тракту терагерцового діапазону		
Частота, МГц	Модуляція	LEV, дБм	SNR, дБ	BER	LEV, дБм	SNR, дБ	BER
850	QAM–64	–38	38,6	$<10^{-8}$	–54	37,4	$<10^{-8}$
	QAM–128	–38	42,12	$<10^{-8}$	–54	41,07	$<10^{-8}$
	QAM–256	–26	38	$<10^{-8}$	–38	35	$9\cdot10^{-5}$
858	QAM–64	–35	38,6	$<10^{-8}$	–54	36,2	$<10^{-8}$
	QAM–128	–38	38,6	$<10^{-8}$	–54	39,43	$<10^{-8}$
	QAM–256	–26	38,6	$<10^{-8}$	–38	34,14	$7\cdot10^{-4}$

Виходячи з отриманих даних другого етапу досліджень, можна дійти висновку, що при одночасній передачі двох телевізійних сигналів DVB–C приймально–передавальним трактом терагерцового діапазону характеристики кожного з них погіршуються відносно з попереднім дослідженням (передачею одного телевізійного сигналу). В даному випадку при модуляції QAM–256 відношення бітової помилки погіршується до 10^{-6}, при цьому значення запасу по завадостійкості зменшилось на 2 дБ з 9 до 7 дБ, а якість сигналу – на 10 % – 20 %. Виходячи з даних, отриманих з ресивера TBS5880, параметр BER сигналу з модуляцією QAM–256 погіршується до 10^{-4}, що відповідає рівню якості сигналу 18…23 %. Але, навіть за таких обставин ресивер Homecast демодулює телевізійні сигнали DVB–C до рівня окремих телевізійних програм, що мають високу чіткість зображення (без його розривів та розсипання на «квадратики») та якість звучання каналу звукового супроводу.

Під час проведення **третього етапу** досліджень був активований третій канал багатоканального сигналу цифрового телебачення DVB–C (табл. 1).

Третій телевізійний сигнал стандарту DVB–C був отриманий за допомогою ресивера стандарту DVB–S OPENBOX, сигнал DVB–S, з якого по ланцюгу проміжної частоти надходить на ресивер IRD–2600 CODICO SCOPUS, що демодулює цей сигнал до рівня багатопрограмного транспортного потоку. З виходу даного ресивера транспортний потік

по інтерфейсу ASI надходить на QAM модулятор RADYNE COMSTREAM QAM–256, де обирається вид модуляції (QPSK, QAM–16 QAM–64, QAM–128, QAM–256), швидкість (символьна і бітова в залежності від типу модуляції та завадостійкого кодування), номінал носійної частоти (842 МГц), формат фрейма транспортного потоку (188 байт).

З виходу QAM модулятора RADYNE COMSTREAM QAM–256 та виходу трансмодулятора WISI OV75 (рис. 1) телевізійні сигнали DVB–C надходять на суматор, на виході якого сформований багатоканальний (триканальний) телевізійний сигнал DVB–C надходить на вхід приймально–передавального тракту терагерцового діапазону. Результати вимірювання параметрів триканального телевізійного сигналу стандарту DVB–C надані в табл. 7…10.

Таблиця 7 – Параметри сигналу цифрового телебачення стандарту DVB–C на проміжній частоті F_1 = 842 МГц, які виміряні аналізатором сигналу ROVER ST2 та ресивером Homecast при триканальному режимі передавання

Місце заміру	LEV, дБм	C/N, дБ	N. MAR дБ	FLAT, дБ	BER	Модуляція	$V_{симв}$, Мсимв/с	Якість, %
Вхід	–33	36	15	2	$<10^{-8}$	QAM–64	6,875	100
Вихід	–44	30	5	3	$<10^{-8}$	QAM–64	6,875	100
Вхід	–32	36	17	2	$5\cdot10^{-6}$	QAM–128	5,892	67…92
Вихід	–43	31	7	2	10^{-6}	QAM–128	5,892	67…92
Вхід	–23	>36	11	2	$<10^{-8}$	QAM–256	5,156	33…60
Вихід	–32	29	0	3	10^{-6}	QAM–256	5,156	33…60

Таблиця 8 – Параметри сигналу цифрового телебачення стандарту DVB–C на проміжній частоті F_2 = 850 МГц, виміряні аналізатором сигналу ROVER ST2 та ресивером Homecast при триканальному режимі передавання

Місце заміру	LEV, дБм	C/N, дБ	N. MAR дБ	FLAT, дБ	BER	Модуляція	Vсимв, Мсимв/с	Якість, %
Вхід	–29	36	10	3	$<10^{-8}$	QAM–64	6,875	100
Вихід	–40	33	8	1	$<10^{-8}$	QAM–64	6,875	100
Вхід	–30	30	9	2	10^{-7}	QAM–128	5,892	67…100
Вихід	–40	23	4	2	10^{-7}	QAM–128	5,892	67…100
Вхід	–23	>36	10	3	$<10^{-8}$	QAM–256	5,156	33…58
Вихід	–32	28	0	3	10^{-4}	QAM–256	5,156	33…58

Таблиця 9 – Параметри сигналу цифрового телебачення стандарту DVB–C на проміжній частоті F_3 = 858 МГц, виміряні аналізатором сигналу ROVER ST2 та ресивером Homecast при триканальному режимі передавання

Місце заміру	LEV, дБм	C/N, дБ	N. MAR дБ	FLAT, дБ	BER	Модуляція	$V_{симв}$, Мсимв/с	Якість, %
Вхід	–30	33	9	4	$<10^{-8}$	QAM–64	6,875	100
Вихід	–40	31	7	5	$<10^{-8}$	QAM–64	6,875	100
Вхід	–32	34	9	3	$<10^{-8}$	QAM–128	5,892	67…98
Вихід	–40	29	5	4	$<10^{-8}$	QAM–128	5,892	67…98
Вхід	–24	>36	9	3	$<10^{-8}$	QAM–256	5,156	33…53
Вихід	–32	29	0–1	3	10^{-6}	QAM–256	5,156	33…53

Аналізуючи результати третього етапу дослідження можна дійти висновку, що усі параметри сигналів у середньому погіршилися на 5 дБ порівняно з попереднім дослідом (передачі двох каналів багатоканального сигналу), при цьому в найгіршому випадку (за модуляцією QAM-256) відношення BER за вимірюваннями супутникового тюнера TBS5880 зменшилося, а якість сигналу стала на дорівнювати 33…53 %.

Таблиця 10 – Параметри трьох телевізійних сигналів цифрового телебачення стандарту DVB–C, виміряні за допомогою тюнера TBS8550

Показники каналу		Значення замірів на вході тракту терагерцового діапазону			Значення замірів на виході тракту терагерцового діапазону		
Частота, МГц	Модуляція	LEV, дБм	SNR, дБ	BER	LEV, дБм	SNR, дБ	BER
842	QAM–64	–51	38,6	$<10^{-8}$	–60	33,71	$<10^{-8}$
	QAM–128	–54	42,12	$<10^{-8}$	–57	39,43	$<10^{-8}$
	QAM–256	–32	38,6	$<10^{-8}$	–54	36,8	$<10^{-8}$
850	QAM–64	–38	38,6	10^{-4}	–57	37,6	$7*10^{-4}$
	QAM–128	–54	43,43	$<10^{-8}$	–54	39	$<10^{-8}$
	QAM–256	–32	38,6	$<10^{-8}$	–54	37,4	$<10^{-8}$
858	QAM–64	–38	38	$<10^{-8}$	–57	34,57	$<10^{-8}$
	QAM–128	–54	42,12	$<10^{-8}$	–54	39,43	$<10^{-8}$
	QAM–256	–32	38,6	10^{-3}	–54	36,8	$1,5*10^{-3}$

ВИСНОВОК

Результати дослідження параметрів багатоканального сигналу цифрового телебачення стандарту DVB-C при його передаванні по приймально-передавальному тракту терагерцового діапазону показали, що використання нижньої частини терагерцового діапазону частот (130 ГГц) зі смугою 24 МГц дозволяє передати три канали телевізійного мовлення стандарту DVB–C з загальною швидкістю транспортного потоку на рівні 125 Мбіт/с з високою суб'єктивною якістю відтворення ТВ програм в телевізійному приймачі.

Приймально-передавальні тракти терагерцового діапазону є одним із найбільш перспективних застосовань для безпроводового передавання мультиплексованих нестиснених (HD-SDI) телевізійних сигналів високої чіткості (High-Definition Television (HDTV)), швидкість передавання даних яких сягає 1,5 Гбіт/с. Використання приймально-передавального тракту терагерцового діапазону з пропускною здатністю 5 Гбіт/с дозволить передавати понад 130 телевізійних каналів стандарту DVB-C із загальною швидкістю до 5 Гбіт/с, або високоякісний триканальний мультиплексний HD-SDI канал без стиснення та часової затримки.

На базі такого приймально–передавального тракту терагерцового діапазону можна буде будувати високошвидкісні мережі не тільки для використання в області телекомунікацій, з їх допомогою можна буде пов'язувати в єдине ціле наукове вимірювальне обладнання та інші прилади, які виробляють величезні обсяги наукових даних .

ЛІТЕРАТУРА

1. Widest band amplifier ever at 235 GHz [Електронний ресурс] // Офіційний сайт університету Chalmers, – Режим доступу: www.chalmers.se/en/news/Pages/widest–band–amplifier–ever–at–235–GHz.aspx

2. Ильченко М.Е. Проектирование передающего и приёмного радиотрактов радиорелейных систем терагерцового диапазона / М.Е. Ильченко, Т.Н. Нарытник, В.Н. Радзиховский // Электросвязь, 2016. – № 2. – С. 42–49.

3. Ільченко М. Ю. Передавальний та приймальний радіотракти радіорелейних систем терагерцового діапазону / М.Ю. Ільченко, С.Є. Кузьмін, О.В. Лутчак, Т.М. Наритник, В.М. Радзіховський // Цифрові технології. – 2015. – № 17. – 2015. – С. 17–29. – Режим доступу: http://www.mitris.com/files/16–29.pdf

4. Кравчук С.О. Телекомунікаційні системи терагерцового діапазону. Монографія / С.О.Кравчук, Т.М. Наритник // Житомир.: ФОП «Євенок О.О.». – 2014. – 394 с.

5. Ilchenko M.Ye., Narytnik T.N., Kuzmin S.Ye. Transceiver for 130–134 GHZ band and digital radio relay system // Telecommunications and Radio Engineering. – 2013. – Vol. 72, №17. – P.1623–1638.

6. Ильченко М.Е. Моделирование функциональных узлов радиорелейной системы терагерцового диапазона/ М.Е. Ильченко, С.Е. Кузьмин, Т.Н. Нарытник, В.Н. Радзиховский // Проблемы телекоммуникаций. – 2013. – № 2 (11). – С. 95–113.

7. Ильченко М.Е. Приёмо-передатчик для цифровой радиорелейной системы терагерцового диапазона / М.Е. Ильченко, С.Е. Кузьмин, Т.Н. Нарытник, В.Н. Радзиховский // Телекоммуникационные науки. – 2013. – Т. 72, № 18. – С. 1651–1663.

8. Ильченко М.Е. Приёмо-передатчик для цифровой радиорелейной системы терагерцового диапазона / М.Е. Ильченко, С.Е. Кузьмин, Т.Н. Нарытник, В.Н. Радзиховский // Материалы 23–й Международной Крымской конф. «СВЧ–техника и телекоммуникационные технологии». – 2013. – Т.1. – С. 318–319.

9. Нарытник Т.Н. Исследование радиоканала связи для перспективных телекоммуникационных систем терагерцового диапазона/ М.Е. Ильченко, Т.Н. Нарытник, В.Н. Радзиховский // Материалы 8-й Междунар. науч.-техн. конф. «Проблемы телекоммуникаций». – Киев: НТУ «КПИ», 2014. – С.137–140.

10. Патент 84923. Украина. МПК H04B 7/165 (2006/0). Приёмо–передающий формирователь информационного потока для канала связи с повышенной спектральной эффективностью и пропускной способностью / М.Е. Ильченко, Т.Н. Нарытник, В.Я. Казимиренко и др. Заявка от 26.03.2013. Опубл.11.11.2013. Бюл. № 21.

11. Патент 93139. Украина. МПК H04B 7/165 (2006.01). Канал передачи данных в терагерцовом диапазоне с пропускной способностью более 1 Гбит/с / М.Е. Ильченко, Т.Н. Нарытник, В.Я. Казимиренко и др. Заявка от 25.02.2014. Опубл. 25.09.2014. Бюл. № 8.

12. Narytnik T.N. Possibilities of Using THz-Band Radio Communication Channels for Super High-Rate Backhaul // Telecommunications and Radio Engineering. – 2014. – № 73 (15). – P. 1361–1371.

REFERENCES

1. Widest band amplifier ever at 235 GHz [Elektronniy resurs] // OfItsIyniy sayt unIversitetu Chalmers, – Rezhim dostupu: www.chalmers.se/en/news/Pages/widest–band–amplifier–ever–at–235–GHz.aspx

2. Ilchenko M.E. Proektirovanie peredayuschego i priYomnogo radiotraktov radioreleynyih sistem teragertsovogo diapazona / M.E. Ilchenko, T.N. Naryitnik, V.N. Radzihovskiy // Elektrosvyaz, 2016. – # 2. – S. 42–49.

3. Ilchenko M. Yu. Peredavalniy ta priymalniy radIotrakti radIoreleynih sistem teragertsovogo dIapazonu / M.Yu. Ilchenko, S.E. KuzmIn, O.V. Lutchak, T.M. Naritnik, V.M. RadzIhovskiy // TsifrovI tehnologIYi. – 2015. – # 17. – 2015. – S. 17–29. – Rezhim dostupu: http://www.mitris.com/files/16–29.pdf

4. Kravchuk S.O. TelekomunIkatsIynI sistemi teragertsovogo dIapazonu. MonografIya / S.O.Kravchuk, T.M. Naritnik // Zhitomir.: FOP «Evenok O.O.». – 2014. – 394 s.

5. Ilchenko M.Ye., Narytnik T.N., Kuzmin S.Ye. Transceiver for 130–134 GHZ band and digital radio relay system // Telecommunications and Radio Engineering. – 2013. – Vol. 72, #17. – R.1623–1638.

6. Ilchenko M.E. Modelirovanie funktsionalnyih uzlov radiore¬leynoy sistemyi teragertsovogo diapazona/ M.E. Ilchenko, S.E. Kuzmin, T.N. Naryitnik, V.N. Radzihovskiy // Problemyi telekommunikatsiy. – 2013. – # 2 (11). – S. 95–113.

7. Ilchenko M.E. PriYomo-peredatchik dlya tsifrovoy radioreleynoy sistemyi teragertsovogo diapazona / M.E. Ilchenko, S.E. Kuzmin, T.N. Naryitnik, V.N. Radzihovskiy // Telekommunikatsionnyie nauki. – 2013. – T. 72, # 18. – S. 1651–1663.

8. Ilchenko M.E. PriYomo-peredatchik dlya tsifrovoy radioreleynoy sistemyi teragertsovogo diapazona / M.E. Ilchenko, S.E. Kuzmin, T.N. Naryitnik, V.N. Radzihovskiy // Mate¬rialyi 23–y Mezhdunarodnoy Kryimskoy konf. «SVCh–tehnika i telekommunikatsionnyie tehnologii». – 2013. – T.1. – S. 318–319.

9. Naryitnik T.N. Issledovanie radiokanala svyazi dlya perspektivnyih telekommunikatsionnyih sistem teragertsovogo diapazona/ M.E. Ilchenko, T.N. Naryitnik, V.N. Radzihovskiy // Materialyi 8-y Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. «Problemyi telekommunikatsiy». – Kiev: NTU «KPI», 2014. – S.137–140.

10. Patent 84923. Ukraina. MPK H04B 7/165 (2006/0). PriYomo–peredayuschiy formirovatel informatsionnogo potoka dlya kanala svyazi s povyishennoy spektralnoy effektivnostyu i propusknoy sposobnostyu / M.E. Ilchenko, T.N. Naryitnik, V.Ya. Kazimirenko i dr. Zayavka ot 26.03.2013. Opubl.11.11.2013. Byul. # 21.

11. Patent 93139. Ukraina. MPK H04B 7/165 (2006.01). Kanal peredachi dannyih v teragertsovom diapazone s propusknoy sposobnostyu bolee 1 Gbit/s / M.E. Ilchenko, T.N. Naryitnik, V.Ya. Kazimirenko i dr. Zayavka ot 25.02.2014. Opubl. 25.09.2014. Byul. # 8.

12. Narytnik T.N. Possibilities of Using THz-Band Radio Communication Channels for Super High-Rate Backhaul // Telecommunications and Radio Engineering. – 2014. – # 73 (15). – R. 1361–1371.