

СИСТЕМА БЕЗДРОВОГО ПЕРЕДАВАННЯ ВІДЕО З РОЗДІЛЬНОЮ ЗДАТНІСТЮ 8К З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕРАГЕРЦОВИХ ХВИЛЬ

Дикий О.І., Авдєєнко Г.Л.

Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: dykyi_oleksiy_172@ukr.net

8K RESOLUTION VIDEO WIRELESS VIDEO TRANSMISSION SYSTEM USING TERAHERTZ WAVES

A variant of practical implementation of a prototype of a wireless video transmission system with a resolution of 8K over a terahertz radio line in the 300 GHz band is considered. A distinctive feature of the proposed receiving device from the known is the use of resonant tunnel diodes as demodulators of the terahertz signal, which greatly simplifies the receiving part of the proposed wireless transmission system.

Останнім часом спостерігається інтерес наукової спільноти та інженерів-розробників до терагерцового діапазону частот (100 ГГц – 10000 ГГц), який містить великий частотний ресурс, що може бути задіяний для безпроводової передачі інформації, зокрема й сигналів телебачення надвисокої чіткості (UHD) з роздільною здатністю зображення 4К (3840×2160 пікселів) та 8К (7680×4320 пікселів) (рис.1).

Терагерцові хвилі займають проміжне положення між міліметровим та оптичним діапазоном хвиль (Рис.1). Аналіз публікацій показує, що більшість науковців зосередилися на розробці та дослідженні прототипів систем передавання сигналів на терагерцових хвилях у діапазоні 100, 130, 230 та 300 ГГц [1-3], що пов'язано з наявністю вікон прозорості у вказаних діапазонах.

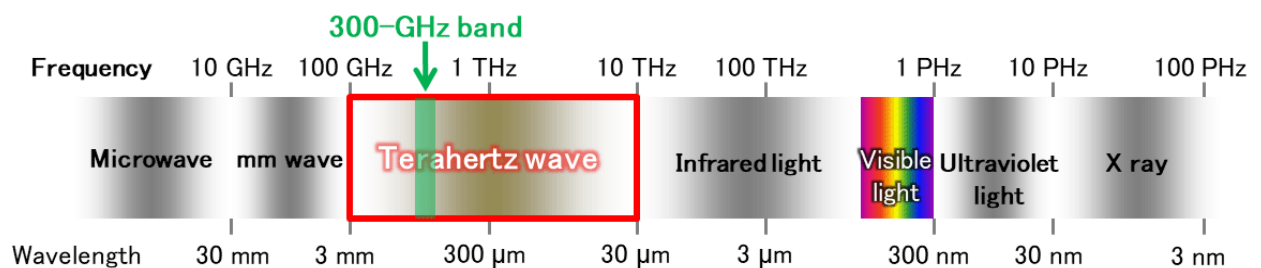


Рис.1. Терагерцові хвилі в діапазоні 300 ГГц.

Як приклад, у роботі [1] японських вчених представлено розробку інтегральної мікросхеми (ІМС) передавача діапазону 300 ГГц на базі електронної технології 40 нм CMOS. Такий передавач при використанні модуляції 32-QAM дозволяє забезпечити пропускну здатність 17,5 Гбіт/с у кожному з 6-ти каналів зі смугою пропускання 5 ГГц, покриваючи при цьому частотний діапазон 275-305 ГГц. Сумарна пропускна спроможність, яку може забезпечити ІМС передавача складає 105 Гбіт/с. У свою чергу, в роботі [2] продемонстровано експериментальний макет безпроводової лінії типу «точка-точка» (SISO) діапазону 237,5 ГГц, який поєднує в собі технології електронної

та фотонної техніки, з максимальною швидкістю передачі даних 100 Гбіт/с на відстань 20 м при використанні до трьох радіочастотних піднесучих частот. Для безпроводової лінії протяжністю більше 40 м, максимальна швидкість передачі даних 75 Гбіт/с забезпечувалась однією радіочастотною несучою на частоті 237,5 ГГц з модуляцією 8-QAM. Такі радіолінії терагерцового діапазону можуть застосовуватися у середині приміщень для організації надвисокошвидкісного з'єднання між мобільними терміналами та настільними персональними комп'ютерами. Крім того, у роботі [3] продемонстровано експериментальний макет системи волоконно-бездротової системи передачі по 80-кілометровому одномодовому волокну (SMF-28) з пропускною здатністю 108 Гбіт/с і 1-метрову радіолінію діапазону 100 ГГц з використанням квадратурної фазової маніпуляції з поляризаційним мультиплексуванням (PDM) (PDM-QPSK) і двоетапного понижуючого перетворення в аналогових і цифрових трактах приймача.

Враховуючи значний світовий прогрес у технічній розробці пристроїв терагерцового діапазону, метою тез є розгляд варіанту побудови системи безпроводового передавання ТВ сигналу стандарту 8K, який запропонований командою дослідників з Університету м. Осака (Японія) спільно з компанією Rohm Co., Ltd [4]. Прототип цієї системи використовує терагерцові хвилі діапазону 300 ГГц як носій інформації, який забезпечує бездротове передавання відео 8K UHD зі швидкістю передачі даних 48 Гбіт/с у рамках проекту JST CREST «Розробка інтегрованої технологічної платформи терагерцового діапазону шляхом поєднання резонансних тунельних діодів та фотонних кристалів.

Варто відзначити, що необхідність проведення досліджень та розробки прототипів таких систем бездротового передавання пов'язана з тим, що функціонал пристроїв стандарту мобільного зв'язку 6G буде виходити за рамки існуючого покоління систем 5G й передбачатиме передачу відео в форматі 8K з низькою затримкою та низьким енергоспоживанням. З іншого боку, оскільки швидкість передачі відео UHD дуже висока (десятки Гбіт/с), то необхідно стискати дані при його бездротовій передачі системою 5G з використанням мікрохвиль або міліметрових хвиль, що призводить до затримок та збільшення енергоспоживання. Таким чином, потрібна розробка технології бездротової передачі UHD без стиснення, яка орієнтована на стандарт 6G та терагерцовий діапазон.

У прототипі системи передавання відео 8K [4], розробники сконфігурували двоканальний терагерцовий передавач (Tx), модулюючи відеосигналом 8K вихідні оптичні сигнали двох лазерів з довжинами хвиль в діапазоні 1,55 мкм за допомогою модулятора інтенсивності хвилі на базі надшвидкого фотодіода (ФД). При цьому ці лазери були налаштовані таким чином один по відношенню до іншого, щоб різниця їх оптичних частот знаходилася в діапазоні терагерцових хвиль, тобто біля 300 ГГц (Рис.2).

На передавальній стороні прототипу у якості джерела відеосигналу 8K було використано підготовлений та комерційно доступний відеоконтент з повною роздільною здатністю 8K від компанії Astrodesign Inc., який

формувався у вигляді чотирьохканального сигналу зі швидкістю потоку в кожному з каналів 12 Гбіт/с з подальшим формуванням двоканального сигналу шляхом мультиплексування 4-х відеопотоків у 2. Використовувалася з двопозиційна амплітудна маніпуляція ООК двоканальним сигналом 24 Гбіт/с.

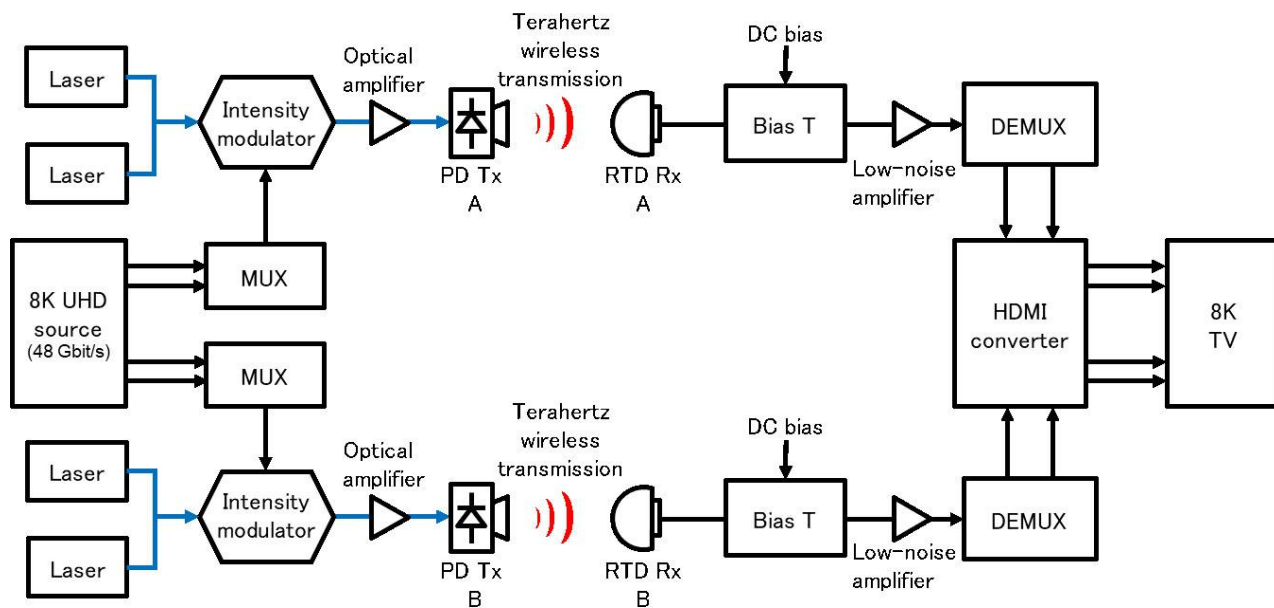


Рис.2. Блок-схема системи бездротової передачі відео 8K UHD в терагерцовому діапазоні, що має два канали по 24 Гбіт/с.

На приймальній стороні (рис.2) дві терагерцові хвилі, що передаються по бездротовому каналу від відповідних терагерцових передавачів, були виявлені чутливими когерентними терагерцовими приймачами (Rx) з використанням резонансних тунельних діодів (RTD) (Рис.3), які виступали у вигляді амплітудних детекторів. Після цього, продетектовані та підсилені відеопотоки 24 Гбіт/с були демультимплексовані з двох каналів на чотири канали по 12 Гбіт/с та підключені до монітора 8K через кабель HDMI. Використовуючи таку систему передавання, нестиснене відео 8K (еквівалент 48 Гбіт/с) успішно вдалось передати бездротовим каналом в діапазоні 300 ГГц (Рис. 4).

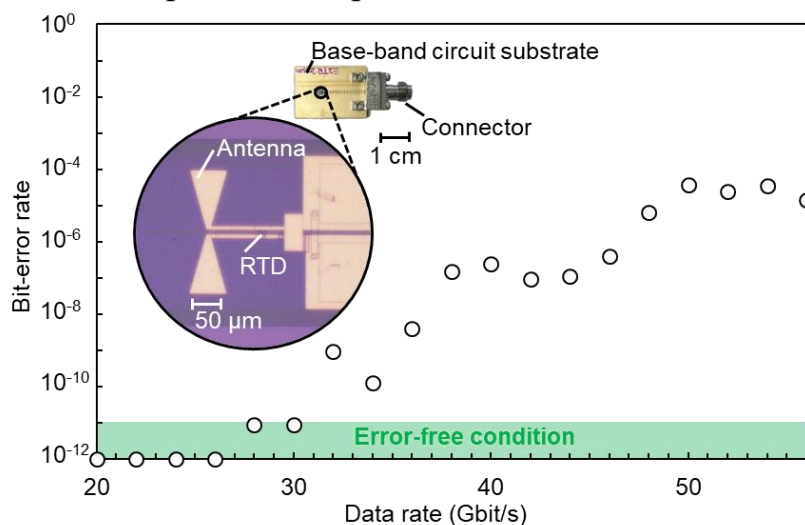


Рис.3. Фотографія терагерцового приймача та бази RTD: ймовірність бітової помилки на швидкості 24 Гбіт/с не перевищує 10^{-11} .

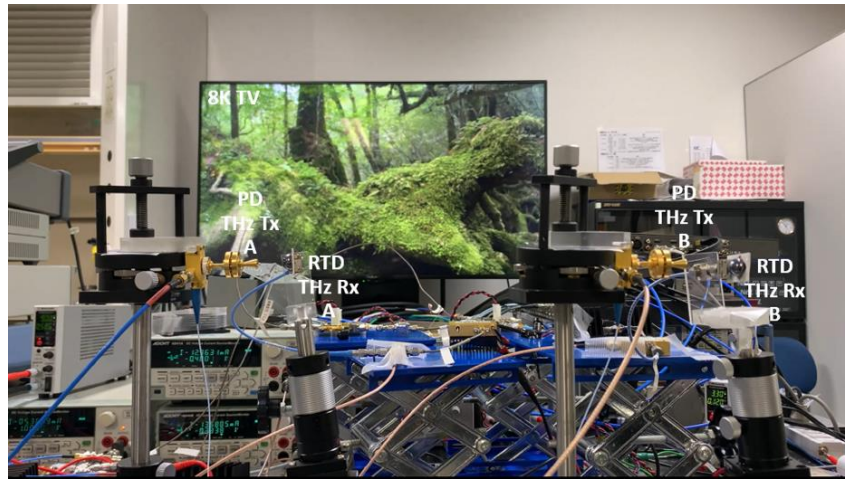


Рис. 4. Фотографія прототипу системи бездротового передавання відео 8K UHD у реальному часі: на передньому плані показані два фотодіодні передавачі (Tx) та два RTD-приймачі (Rx) з телевізійним екраном 8K на задньому плані.

Зазвичай, експерименти з надвисокою швидкістю передачі даних в терагерцовому діапазоні виконуються з використанням багаторівневої модуляції типу QAM за допомогою модуляторів/демодуляторів з високим енергоспоживанням, та цифровою обробкою сигналів [1]-[3]. Експериментальні дослідження прототипу системи передавання відео 8K, що запропонована в [4] показує можливість надійного використання найпростішого формату модуляції - ООК, що дозволяє значно спростити схему приймального пристрою і демонструє можливості надширокопasmових терагерцових хвиль.

Висновки: Наукові та практичні досягнення зарубіжних науковців, розробників та інженерів демонструють корисність застосування терагерцових хвиль, що в свою чергу прискорить дослідження та розробку надвисокошвидкісних систем передачі в стандарті 6G.

Література

1. K. Katayama, K. Takano, S. Amakawa, S. Hara, A. Kasamatsu, K. Mizuno, K. Takahashi, T. Yoshida, M. Fujishima A 300 GHz CMOS Transmitter With 32-QAM 17.5 Gb/s/ch Capability Over Six Channels // IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 51, December 2016, issue 12, pp. 3037-3048.
2. S. Koenig, D. Lopez-Diaz, J. Antes, F. Boes, R. Henneberger, A. Leuther, A. Tessmann, R. Schmogrow, D. Hillerkuss, R. Palmer, T. Zwick, C. Koos, W. Freude, O. Ambacher, J. Leuthold and I. Kallfass Wireless sub-THz communication system with high data rate // Nature photonics, Vol.7, December 2013, pp.977-981.
3. Xinying Li, Ze Dong, Jianjun Yu, Nan Chi, Yufeng Shao, and G. K. Chang Fiber-wireless transmission system of 108 Gb/s data over 80 km fiber and 2x2 multiple-input multiple-output wireless links at 100 GHz W-band frequency // Optics Letters, Vol.37, Issue 24, pp.5106-5108 (2012).
4. Terahertz accelerates beyond 5G towards 6G. Graduate School of Engineering Science, 2021. URL: https://resou.osaka-u.ac.jp/en/research/2021/20210201_1 (дата звернення 28.03.2022).