

## **АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЗАСТОСУВАННЯ ТЕРАГЕРЦОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ РОЗРОБОК**

**Наритник Т.М., Бондарчук С.О., Вальчук Д.С., Єрмаков А.В.**  
*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*  
*E-mail: director@mitris.com, bondserg8@ukr.net, yermak\_antonio@ukr.net*

### **Analytical review of terahertz technologies using to create innovation**

Considered existing systems already operating in the terahertz frequency range, showed their advantages and opportunities that the terahertz technology brings for telecommunication systems. Reviewed the experimental results of Ukrainian scientists in this field.

Терагерцовий діапазон частот завдяки своїм особливостям, може використовуватись в різних областях: фізики, хімії, біології, медицини, безпеки.

Сфери використання терагерцових хвиль:

1) системи телекомунікацій та зв'язку:

- в транспортних мережах мобільного зв'язку наступних поколінь;
- в телерадіомовленні;
- в міжсупутниковому зв'язку;
- в радарях та в радіолокації ближньої дії;
- в радіорелейних системах прямої видимості;
- в комунікації однієї будівлі, зокрема, в безпроводовій версії USB 3.0;
- в сканерах аеропортів.

2) системи виявлення та розпізнавання об'єктів

3) системи контролю якості харчових продуктів

4) системи діагностики в медицині

5) системи для знаходження протипіхотних мін

б) системи як інструмент для наукових досліджень (радіоастрономічні спостереження з супутників холодних космічних об'єктів, високоточний хімічний аналіз атмосфери, вивчення надпровідності, створення нових напівпровідникових матеріалів, бімолекулярні дослідження)

Як відомо, вчені приступили до розробки 5G. Про плюси впровадження мереж п'ятого покоління ще рано говорити, але можна виділити такі вимоги та цілі при впровадженні даних мереж зв'язку:

- стабільний зв'язок, з великою зоною покриття;
- підтримка попередніх поколінь;
- зменшення енергоспоживання;
- пропускна здатність мережі понад 10 Гбіт/сек;

- підтримка одночасного підключення до 100 млн. пристроїв/км<sup>2</sup>;
- затримка передачі даних на радіоінтерфейсі не більше 1 мс.

Одним із ймовірних рішень для дотримання сформульованих вище вимог, насамперед збільшення пропускної здатності, може бути застосування терагерцового діапазону. Дане рішення дозволить також вирішити проблему дефіциту частотного спектру [1].

Іншим прикладом доцільного використання терагерцової технології може бути її використання у стратосферних системах зв'язку. Дана концепція використання стратосферних систем зв'язку останнім часом привертає все більше й більше уваги. Принцип роботи стратосферних систем зв'язку полягає в тому, щоб розмістити приймально-передавальне обладнання (по суті – базові станції) на без пілотних стратосферних платформах. В якості таких платформ можуть використовуватися повітряні кулі, дрони, дирижаблі і т.ін., які повинні летіти на висоті 18-25 км, що не заважає цивільній авіації [2]. На таких висотах швидкість вітру є досить низькою, а густина повітря є в рази нижчою, ніж в приземному шарі. Використання стратосферних систем зв'язку дає свої значні переваги, основною з яких є підвищений кут огляду, що забезпечується стратосферною платформою порівняно із наземним відповідником.

Для забезпечення зв'язку із стратосферною станцією доцільно використовувати системи терагерцового діапазону, оскільки це дає ряд значних переваг, а саме:

- слабка завантаженість даного діапазону;
- можливість виділення широких смуг частот (до 5 ГГц і більше);
- спрощена процедура виділення частот у багатьох країнах світу;
- істотне зниження габаритів антенних систем, які забезпечують при цьому формування вузької діаграми напрямленості.

Широке впровадження стратосферних телекомунікаційних систем зв'язку дає дуже великі можливості у застосуванні: для забезпечення зв'язку в мережах загального користування, для оперативного зв'язку у військових цілях, для забезпечення зв'язку у зонах, що постраждали від стихійного лиха.

Для ефективної роботи систем зв'язку в терагерцовому діапазоні необхідні прилади орієнтовані на роботу в терагерцовому діапазоні.

В Україні застосування терагерцової технології в телекомунікаційних системах привертає з кожним роком більше й більше уваги. Уже зараз проводяться дослідження та створення реальних прототипів робочих телекомунікаційних систем терагерцового діапазону. Особливий пріоритет має питання використання терагерцового діапазону у системах передачі даних та доступу до інформаційних ресурсів, зокрема, доступу до Інтернету в мобільних мережах зв'язку. Державним університетом телекомунікацій та

Інститутом електроніки та зв'язку Української академії наук проводяться найбільш активні дослідження зі створення різноманітних пристроїв та повноцінних систем орієнтованих на роботу в терагерцовому діапазоні. Також проведено дослідження лабораторного зразка цифровий симплексної радіорелейної системи терагерцового діапазону і цифрового модему з пропускною каналною здатністю до 1200 Мбіт/с на дальність зв'язку в нормальних умовах в межах 1 км при ймовірних бітових помилки BER не більше  $10^{-6}$  [3]. Українськими науковими дослідниками представлено аналітичний огляд теоретичних і експериментальних досліджень і розробок телекомунікаційних систем в суб- і терагерцовому діапазонах з використанням елементів, пристроїв, ідей, технологій та технологій оптики (фотоніки) і мікрохвильових технологій (електроніки), а також перспективних досліджень в цьому напрямку телекомунікацій, зокрема, розвиток транспортних розподільних систем і створення бездротових ліній зв'язку з шумовим носієм в субтерагерцовому діапазоні частот [4-6]. Реалізовано концепцію створення програмно-визначених радіосистем на основі технології Wi-Fi продемонстрована на створеній гігабітній системі передачі в терагерцовому діапазоні 130-134 ГГц, яку протестовано в лабораторних умовах з досягненням швидкості до 1.2 Гбіт/с [7]. Це лише перші кроки у напрямку розвитку телекомунікаційних систем ТГЧ-діапазону, проте згодом саме ця основа дозволить розроблювати та використовувати пристрої та системи для широкого застосування.

### Література

1. Ильченко М.Е. Радиотелекоммуникационные системы терагерцового диапазона / М.Е. Ильченко, Т.Н. Нарытник, Б.Н. Шелковников, В.И. Христенко // Электроника и связь. – 2011. – №3.
2. Можливості розширення зони обслуговування та радіочастотного ресурсу в стратосферних системах зв'язку / Дружинін В.А., Кременецька Я.А., Жукова О.Р. // Телекомунікаційні та інформаційні технології. -2016. -№2
3. Ильченко М.Е., Нарытник Т.Н., Радзиховский В.Н., Кузьмин С.Е., Лутчак А.В. Проектирование передающего и приемного радиотрактов радиорелейных систем терагерцового диапазона// Электросвязь.-№2.-2016.-С.42-49.
4. Ильченко М.Ю., Кравчук С.О., Нарытник Т.М. Беспроводові системи зв'язку субтерагерцового та терагерцового діапазонів//[Цифрові технології](#).- 2014.- Вип. 16. - С.40-59.
5. В.М. Исаев, И.Н. Кабанов, В.В. Комаров, В.П. Мещанов. Современные радиоэлектронные системы // Доклады ТУСУРа, № 4 (34), декабрь 2014
6. Огляд досягнень в терагерцових комунікаційних системах / І. М. Майборода, І. П. Стороженко, В. П. Бабенко, М. В. Кайдаш. // ISSN 2409-7470. Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. -2016. -№ 1 (27)
7. Нарытник Т.М., Лутчак О.В., Осипчук С.О. Уривський Л.О. Особливості формування сигнально-кодових конструкцій на основі технології Wi-Fi для побудови телекомунікаційних систем терагерцового діапазону//[Цифрові технології](#). - 2016. - №20.