

## ТЕРАГЕРЦОВІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ ДЛЯ ПЕРЕДАВАННЯ ВІДЕОПОТОКІВ ВИСОКОЇ (HDTV) ТА НАДВИСОКОЇ ЯКОСТІ (UHDTV)

Авдєєнко Г. Л., Сливка А.Р.

*Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем*

*КПІ ім. Ігоря Сікорського*

*E-mail: djang02006@ukr.net, aslivka61@gmail.com*

### TERAHERTZ COMMUNICATIONS SYSTEMS FOR HIGH-DEFINITION AND ULTRA-HIGH-QUALITY (HDTV) TELEVISION BROADCASTING (UHDTV)

The advent of high-definition and ultra-high-quality video formats, and the growing volume of accumulated and transmitted data donate led to the demand for better throughput and data rate wireless communications. It is indicated that using the THz frequency band for wireless communications is the most rational approach. This report analyzes current advancements in implementing and deploying photonic-based terahertz (THz) communication systems.

Сучасні тенденції розвитку мереж наземного цифрового телебачення передбачають обмін великим обсягом даних. Дану потребу можливо вирішити, використовуючи послуги оптоволоконних мереж, які забезпечують гігабітні швидкості обміну даних в багатьох частинах світу. Але, беручи до уваги той факт, що прокладання лінії оптоволоконного доступу не завжди є можливим або економічно рентабельним, постає питання розробки та використання безпроводових телекомунікаційних систем (мереж), які б могли задовольнити аналогічні потреби. Відповідно до закону Едхольма [1] про зростання швидкості передачі даних у бездротових лініях зв'язку, в найближчому майбутньому знадобляться швидкості в десятки та сотні Гбіт/с – не менше 24 Гбіт/с для трансляції телевізійних даних з надвисокою роздільною здатністю (UHDTV) та 100 Гбіт/с для підтримки 100G Ethernet. Одним із рішень цієї проблеми є використання терагерцового діапазону частот.

Отже, метою роботи є обґрунтування та опис можливого варіанту технічної реалізації бездротової системи передачі ТВ сигналів у терагерцовому діапазоні частот.

Згідно рекомендації міжнародного союзу електрозв'язку IEEE 802.15 ТГц-діапазоном прийнято вважати частоти від 300 ГГц до 3 ТГц (діапазон довжин хвиль від 1 до 0,1 мм), але в загальному випадку цей діапазон займає частоти від 100 ГГц до 3 ТГц (рис.1) [2].



Рис.1. «Місце» терагерцового діапазону в електромагнітному спектрі.

В порівнянні з ближнім ІЧ-діапазоном частот ТГц-діапазон має ряд переваг. По-перше, ТГц сигнали мають менше, порівняно з ІЧ-сигналами, ослаблення за тих самих погодних умов - наприклад, при тумані. По-друге, амплітудно-фазові флуктуації, що спричинені локальними змінами показника заломлення атмосфери, також практично не впливають на поширення ТГц-випромінювання, але обмежують застосування систем на основі ІЧ-випромінювання. Описані переваги характерні для частот, що потрапляють у вікна

прозорості атмосфери, а саме в діапазонах 75-100; 110-150; 200-300 та 600-700 ГГц. При таких широких доступних смугах частот навіть при застосуванні найпростішої амплітудної модуляції можуть бути досягнуті швидкості передачі даних у десятки Гбіт/с [3]. Також особливістю даного діапазону частот є вузька спрямованість променя антени, що дозволяє розміщати велику кількість станцій без взаємної інтерференції між ними. Однак у освоєнні цієї смуги частот є певні проблеми, а саме, технологія генерації, прийому та обробки сигналу даних відрізняється від методів, які використовуються при роботі з вже відомими смугами частот. Також, наразі, однією із проблем є менша кількість теоретичних відомостей про терагерцовий спектр хвиль та його випромінювання у порівнянні з мікрохвильовим та інфрачервоним. Тому розвиток і освоєння ТГц-діапазону спирається на можливості радіоелектронних пристроїв для генерації, обробки та детектування сигналу [4].

В залежності від використаних компонентів, усі ТГц-системи можливо умовно поділити на *оптичні*, *електронні* та *гібридні*. Саме гібридні системи ТГц мовлення є найбільш розповсюджені. Це обумовлено тим, що поєднання саме електронних та оптичних пристроїв дає змогу досягнути рекордних швидкостей передачі даних. Практично було доведено, що генерація ТГц-сигналу на основі технологій фотоніки є більш доцільною з точки зору використання смуги частот і, більше того, дає можливість наблизитись до швидкості передачі даних у 10 Гбіт/с. Окрім цього, безумовним плюсом використання елементів фотоніки є той факт, що оптоволоконні та безпроводові комунікаційні системи можуть органічно поєднуватися за рахунок швидкості передачі даних і формату модуляції.

Узагальнена система генерації оптичного сигналу з використанням елементів фотоніки зображена на рис.2. Перш за все, оптичний сигнал генерується відповідним високостабільним оптичним джерелом з неперервним або імпульсним випромінюванням, після чого кодується електрооптичним модулятором на основі інтерферометра Маха-Цендера та конвертується в ТГц сигнал фотодіодом або фотопровідником, після чого сигнал випромінюється у навколишнє середовище за допомогою антени. В якості генератора оптичного сигналу найчастіше застосовуються ІЧ-напівпровідникові лазери, тому невід'ємною частиною таких схем є надійні та економічно вигідні телекомунікаційні компоненти: оптичне волокно, ербієві волоконні підсилювачі та напівпровідникові лазерні підсилювачі. У разі генерації сигналів методами фотоніки оптоелектронний фотодіод або фотопровідник (оптоелектронний перетворювач), що працює на довжинах хвиль 1,3–1,55 мкм, є ключовим компонентом: разом з джерелом оптичного сигналу він визначає продуктивність передачі у відношенні пропускної здатності та потужності. З практичної точки зору фотопровідні матеріали виконують роль перемикачів, які замкнуті в структурі металевих антен, при цьому утворюються так звані фотопровідні антени. При освітленні такої структури імпульсами фемтосекундної тривалості, фотопровідний перемикач переходить з ізолюючого в провідний стан. В результаті переходу виникає короткий імпульс струму, який є джерелом ТГц-випромінювання.

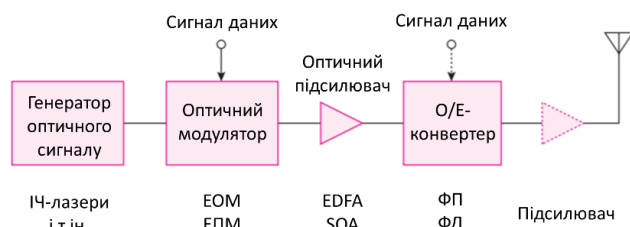


Рис.2. Загальна схема гібридної системи генерації ТГц-сигналу на основі технологій фотоніки.

Для генерації та реєстрації безперервного ТГц-випромінювання застосовують метод фотозмішування. При даному підході, генерація ТГц-випромінювання відбувається в результаті гетеродинного змішування та введення у фотопровідну структуру або фотодіод двох світлових хвиль різної частоти. На рис.3 схематично зображена реалізація даного

методу за допомогою двох лазерів з довжинами хвиль, що перебудовуються. До головного недоліку даного підходу можна віднести те що поляризація, частота і фаза оптичних пучків, що вводяться, повинні бути постійними, тому необхідно вводити додатково систему фазової синхронізації.

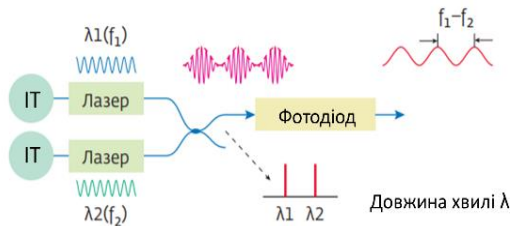


Рис.3. Схема генерації сигналу методом фотозмішування.

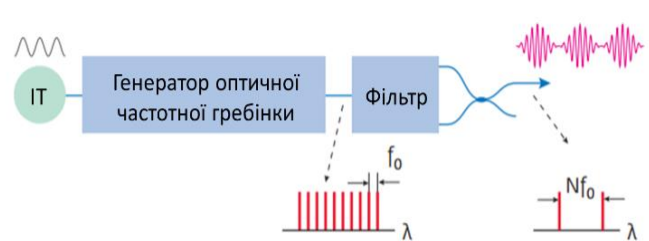


Рис.4 Схема генерації сигналу з використанням оптично частотної гребінки.

На рис.4 зображено альтернативну схему генерації ТГц-випромінювання, яка дозволяє генерувати сигнали з низьким фазовим шумом. Ключовими компонентами є генератор оптичної частотної гребінки і оптичний фільтр. Оптичну частотну гребінку отримують або за допомогою лазерної системи із синхронізацією мод, або модуляцією безперервного пучка лазерного випромінювання. Таким чином, генеруються багаточастотні оптичні сигнали, інтервали між якими рівні міжмодовій частоті  $f_0$  для лазерів із синхронізацією мод, причому всі моди синхронізовані по фазі. Виділення та комбінація двох мод здійснюється між модами з інтервалом  $Nf_0$ . Основна частота  $f_0$  зазвичай знаходиться в діапазоні від 10 до 30 ГГц, для якого оптичні модулятори та керуючі електронні пристрої комерційно доступні, і фактор множення  $N$  може досягати значень більше 50. Оскільки можлива точна перебудова  $f_0$  за допомогою синтезованого генератора сигналу, то частота сигналу на виході може безперервно змінюватись від  $f_0$  до  $Nf_0$ .

Пряме та гетеродинне детектування – це основний підхід, який використовуються для детектування сигналів ТГц діапазону. В якості приймача використовують діоди з бар'єром Шоткі (ДБШ). Пряме детектування є найбільш розповсюдженим методом для виміру амплітуди або потужності ТГц сигналів. В свою чергу, гетеродинне детектування на основі змішувача ДБШ і місцевого генератора коливаний надає більшу чутливість і фазову інформацію про ТГц сигнал.

**Висновок.** В даній роботі описані основні тенденції розвитку та підходи до побудови високошвидкісних безпроводових мереж наступного покоління. Було розкрито принципи та підходи до побудови приймальних та передавальних пристроїв ТГц діапазону, тому що даний діапазон є одним із найперспективніших для розвитку безпроводових мереж зі швидкістю передачі даних до 10 Гбіт/с. Зважаючи на все вище сказане, саме ТГц діапазон задовольняє основні технічні та економічні показники для впровадження мереж по передачі відеопотоків високої (HDTV) та надвисокої якості (UHDTV).

### Література

1. Наритник Т.М. Аналіз терагерцових технологій та їх застосування для створення інноваційних розробок [Електронний ресурс] / Т.М. Наритник, А.В. Єрмаков, С.О. Бондарчук, Д.С. Вальчук // Проблеми телекомунікацій. – 2017. – № 1 (20). – С. 50 - 56. – Режим доступу до журн.: [http://pt.journal.kh.ua/2017/1/1/171\\_narytnik\\_terahertz.pdf](http://pt.journal.kh.ua/2017/1/1/171_narytnik_terahertz.pdf)
2. В.М. Исаев, И.Н. Кабанов, В.В. Комаров, В.П. Мещанов. Современные радиоэлектронные системы // Доклады ТУСУРа, декабрь 2014, № 4 (34), стр. 5-21.
3. Mandehgar M., Yang Y., and Grischkowsky D. Atmosphere characterization for simulation of the two optimal wireless terahertz digital communication links // Optics Letters. 2013. V. 38. № 17. P. 3437–3440.
4. G. Avdeyenko, T. Narytnik, A. Yermakov. The research of transmission of DVB-C television signals on the basis of the prototype of transceiver operating in the lower part of terahertz band. Information and telecommunication sciences – 2016. – Vol.7. – №2. – pp.81-90.