

СУЧАСНІ ПРИЙМАЛЬНІ ПРИСТРОЇ ЗВ'ЯЗКУ ТА ВИМІРЮВАННЯ

Софія Лапчук¹, Любомир Никируй², Іван Яремій², Сергій Федосов^{1,3}

MODERN COMMUNICATION AND MEASUREMENT RECEIVERS

Sofia Lapchuk¹, Lubomyr Nykyruy², Ivan Yaremiy², Serhii Fedosov^{1,3}

¹Волинський національний університет імені Лесі Українки,
просп. Волі, 13, Луцьк, 43025, Україна

²Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,
вул. Шевченка, 57, Івано-Франківськ, 76018, Україна

³Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна

Abstract. The article discusses the main types of modern receiving devices used in various fields of communication and measurement. The key characteristics, advantages, and applications of each type are described. The emphasis is placed on the latest research in the field of terahertz communication, coherent signal processing, visible light communication and integration of radar and communication functions.

Приймальні пристрої є критично важливим компонентом будь-якої системи зв'язку. Вони виконують функцію приймання, фільтрації, підсилення та обробки сигналів. З розвитком бездротових технологій, оптики, мікрохвильової та квантової електроніки, з'явилося багато нових архітектур приймачів.

У наукометричній базі Scopus станом на травень 2025 року відображено понад 15 тисяч наукових публікацій, пов'язаних із тематикою приймальних пристроїв та технологій прийому сигналів (англ. *Receiver technologies, Signal reception systems*). Їх щорічна кількість безпосередньо залежить від впровадження новітніх розробок у сфері цифрового зв'язку, квантових сенсорів, радарних систем та оптичної передачі даних.

Зростання кількості публікацій у період 2011–2020 рр. (рис. 1) зумовлено активним розвитком цифрових приймачів і обробки сигналів DSP, а також мініатюризацією та інтеграцією в мобільних системах зв'язку. Значний стрибок у 2011-х роках відображає появу когерентних оптичних приймачів, терагерцового зв'язку та систем подвійного призначення (радар+зв'язок), що викликали інтерес до застосування у телекомунікаціях, безпеці, медицині й автономному транспорті.

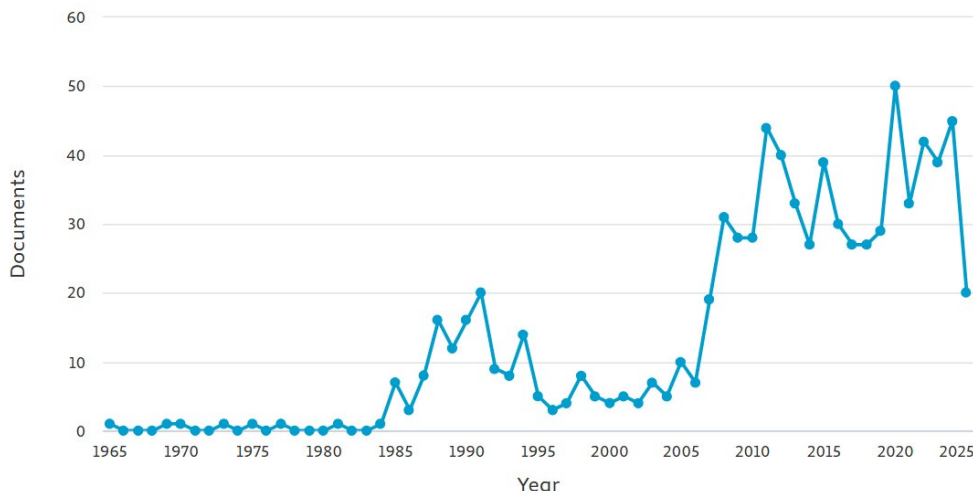


Рис. 1. Публікації за роками

Особливо помітною є активність у сфері квантових приймачів, зокрема на основі атомів Рідберга, а також видимого світлового зв'язку (англ. *Visible Light Communication* – VLC), де звичайні LED-джерела використовуються не тільки для освітлення, але і для передачі великих обсягів інформації.

У статті [1] представлено новий супергетеродинний приймач на основі атомів Рідберга, що дозволяє з високою чутливістю виявляти мікрохвильові електричні поля. Мінімальне поле становить 780 пВ/см, що в кілька разів краще за традиційні електрометри. Пристрій забезпечує фазову та частотну роздільну здатність і може бути використаний у метрології, зв'язку, радіоастрономії та радіолокації.

Дослідження [2] присвячене архітектурі приймачів прямого перетворення як альтернативу класичним супергетеродинам для цифрового зв'язку. Основна перевага – обробка сигналу на базовій частоті, що дозволяє знизити енергоспоживання та спростити схему. Автор також аналізує типові проблеми реалізації та підкреслює важливість поєднання аналогової частини з цифровою обробкою сигналів.

У статті [3], яка має 807 цитувань, розглянуто цифрові когерентні приймачі, що справили значний вплив на розвиток оптичних систем зв'язку. Автор детально описує підсистеми таких приймачів – оптичний інтерфейс, аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) та алгоритми цифрової обробки сигналів (DSP). Основна увага приділена компенсації спотворень передачі та аналізу алгоритмів еквалайзації для форматів модуляції PDM-QPSK і PDM-16-QAM. Також розглядаються методи синхронізації фази та часу, необхідні для точного відновлення даних. Стаття підсумовує ключові виклики у створенні когерентних оптичних приймачів нового покоління.

Видимий світловий зв'язок (VLC) розглянуто у роботі [4] (841 цитування). Такий зв'язок базується на використанні білих світлодіодів не лише для освітлення, а й для передачі даних. Основна увага приділена реалізації оптичних MIMO-систем, що дозволяють досягати швидкості передачі до 1 Гбіт/с. Автори порівнюють підходи з візуалізацією приймача та без неї, відзначаючи переваги візуалізованих конфігурацій за умов змінного положення приймача у просторі. Незважаючи на обмежену смугу пропускання світлодіодів, масивна передача даних паралельно з освітленням відкриває нові горизонти для розвитку VLC-систем.

Розглянуті основні типи приймальних пристроїв, від класичних супергетеродинних схем до сучасних оптичних і терагерцових рішень, мають свої переваги й обмеження, а вибір залежить від умов використання: швидкість, точність, енергоефективність або розмір.

Вирішенням проблем і впровадженням нових технологій у галузі приймальних пристроїв займається велика кількість світових науковців. Актуальність і популярність таких досліджень підтверджено великою кількістю і високою цитованістю публікацій у наукометричній базі даних Scopus. А відсутність статей українських вчених є ознакою необхідної популяризації і розвитку цього наукового напрямку в українських наукових центрах.

Бібліографія

1. Jing M., Hu Y., Ma J., Zhang H., Zhang L., Xiao L., Jia S. Atomic superheterodyne receiver based on microwave-dressed Rydberg spectroscopy. *Nature Physics*. 2020. Vol. 16. P. 911–915.
2. Abidi A. A. Direct-conversion radio transceivers for digital communications. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*. 2002. Vol. 30, № 12. P. 1399–1410.
3. Savory S. J. Digital Coherent Optical Receivers: Algorithms and Subsystems. *IEEE Journal on Selected Topics in Quantum Electronics*. 2010. Vol. 16, № 5. P. 1654–1662.
4. Zeng L., O'Brien D. C., Minh H. L., Faulkner G. E., Lee K., Jung D. High data rate multiple input multiple output (MIMO) optical wireless communications using white LED lighting. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. 2009. Vol. 27, № 9. P. 1654–1662.