

## МОЖЛИВОСТІ ЗБІЛЬШЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ

**Романишин В.С., Бердников О.М.**

*Інститут спеціального зв'язку та захисту  
інформації КІІ ім. Ігоря Сікорського, Україна  
E-mail: romanyshynvasyl@ukr.net*

### **Considered efficient modulation format optical signals in high-speed coherent**

The intensive development of new types of modulation of optical signals creates the preconditions for increasing the efficiency of modulation formats in fiber-optic transmission systems, increasing the noise immunity of optical channels, and increasing the throughput of fiber-optic linear paths, which ultimately leads to lower cost of telecommunication services. The urgency of the research is the need to upgrade existing technologies that allow the maximum use of the bandwidth of existing fiber optic communication lines (FOCL) and require lower payback periods compared with the construction of new fiber optics with higher data rates.

Сучасний стан мереж зв'язку та інформатизації характеризується широким упровадженням додаткових мультимедійних послуг, високим зростанням обсягу інформаційного обміну у всесвітній мережі *Internet*, масовим упровадженням передових технологій високошвидкісної передачі цифрових сигналів із комутацією пакетів.

Реалізація цих процесів вимагає різкого збільшення пропускної спроможності телекомунікаційних транспортних мереж (ТТМ) та мереж доступу, підвищення їхньої гнучкості, забезпечення ефективної маршрутизації при передачі текстової та мовної інформації, рухомих і нерухомих зображень, інших мультимедійних послуг.

Волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ) є основою ТТМ, що в першу чергу, пов'язано з високою пропускною здатністю таких ліній. Послідовне впровадження за останні декілька десятилетій на ТТМ волоконно-оптичних систем передавання (ВОСП) розширило швидкість передачі мережі от десятків – сотень мегабіт за секунду (ВОСП *PDH*) до десятків гігабіт за секунду (ВОСП *SDH*), а з застосування технології хвильового мультиплексування (ХМ), або *WDM (Wavelength Division Multiplexing)* до сотень – тисяч гігабіт за секунду [1, 2, 3].

Існуючі одномодові оптичні волокна (ООВ) мають робочий діапазон довжин хвиль від 1280 до 1625 нм, що відповідає діапазону частот від 234,375 ТГц до 184,615 ТГц, тобто робоча смуга частот дорівнює  $234,375 \dots 184,615 = 49,76$  ТГц або біля 50000 ТГц. І ця гігантська смуга частот при роботі ВОСП по ООВ, використовується недостатньо ефективно, що стримує різке збільшення пропускної спроможності таких мереж [3, 4].

Метод модуляції сигналів за інтенсивністю (бінарна амплітудна маніпуляція), що використовують у ВОСП, не дозволяють використати весь потенціал ВОЛЗ, тому в останні декілька років запропоновано обладнання та пристрої телекомунікаційних транспортних систем (ТТС), що побудовані з використанням більш ефективних методів модуляції. Особливої уваги

заслужують методи когерентного передавання оптичних сигналів, що базуються на використанні фазової маніпуляції. У когерентних ВОСП такі сигнали передаються за допомогою фазової маніпуляції лінійно поляризованої оптичної хвилі.

При побудові ВОЛЗ для таких ТТС застосовують волокна зі збереженням поляризації оптичної хвилі. У зв'язку з активним впровадженням методів когерентного передавання актуальним є дослідження, покликані підвищити швидкість передавання оптичних сигналів при допустимому рівні ймовірності помилки, а також забезпечити збільшення довжини підсилювальної ділянки (ПД) волоконно-оптичного лінійного тракту (ВОЛТ).

Основною перевагою на користь переходу від ВОСП з МИ до систем з когерентним прийомом оптичних сигналів є можливість використання різних видів багаторівневої модуляції: амплітудної (АМ), фазової (ФМ), частотної (ЧМ) і поляризаційної, а також їх комбінацій, наприклад, квадратурної амплітудної модуляції (КАМ) [5, 6].

Когерентний фотоприймач (ФП) є оптичним аналогом супергетеродинного радіоприймача. Всі когерентні ВОСП використовують висококогерентні, квазімонохроматичні джерела випромінювання, одномодові оптичні волокна (ООВ) гетеродинні або гомодинні приймачі. Використання когерентного прийому дозволяє значно підвищити чутливість фотоприймального пристрою.

У зв'язку з появою оптичних волокон, які зберігають стан поляризації (*Polarization Maintaining Fibers*), подальший розвиток отримала відносна фазова модуляція (*QPSK – Quadrature Phase-Shift Keying*), що призвело до появи квадратурної фазової модуляції з подвійною поляризацією (*DP-QPSK – Dual-Polarization QPSK*) сутність якої пояснює рис. 1.

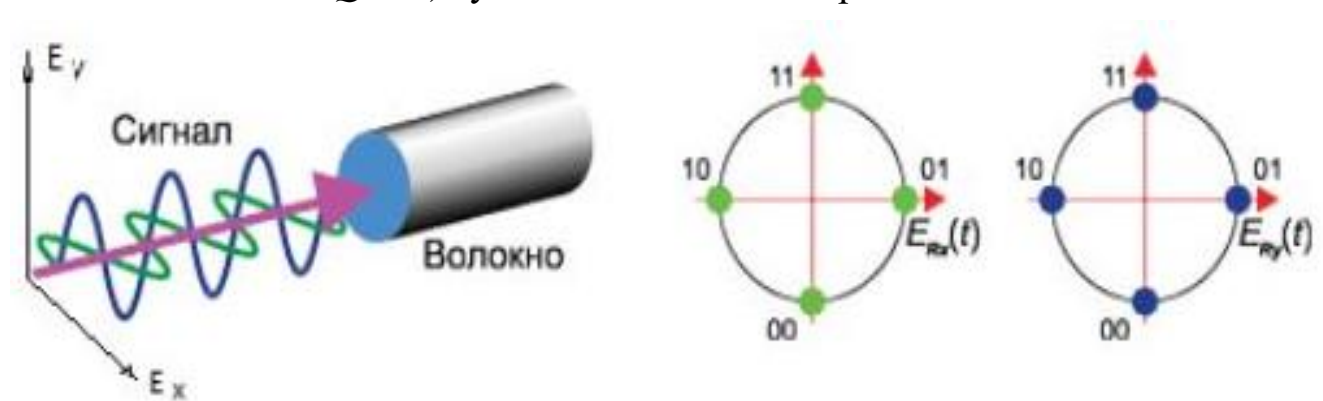


Рис. 1. Структура оптичного сигналу при використанні *DP-QPSK*.

При *DP-QPSK* використовуються два види поляризації і чотири значення фази сигналу, при якій фаза високочастотного коливання може приймати 4 різних значення з кроком кратним  $\pi/2$ , що пояснює рис. 1. З нього видно, що відповідність між значеннями символів і фазою сигналу встановлено таким чином, що в сусідніх точках сигнального сузір'я значення відповідних символів відрізняються лише в одному біті. При передачі в умовах шуму найбільш вірогідною помилкою буде визначення фази сусідньої точки сузір'я. При зазначеному кодуванні, незважаючи на те, що сталася помилка в визначенні значення символу, це буде відповідати помилці в одному (а не двох) біті

інформації. Таким чином, досягається зниження ймовірності помилки на біт. Зазначений спосіб кодування називається кодом Грея.

Ключовим елементом рішень на базі *DP-QPSK* є когерентні приймачі, які мають більш високу чутливість. Такі приймачі (рис. 2) налаштовуються на певну частоту і фазу і здатні ефективно демодулювати сигнали *DP-QPSK*.

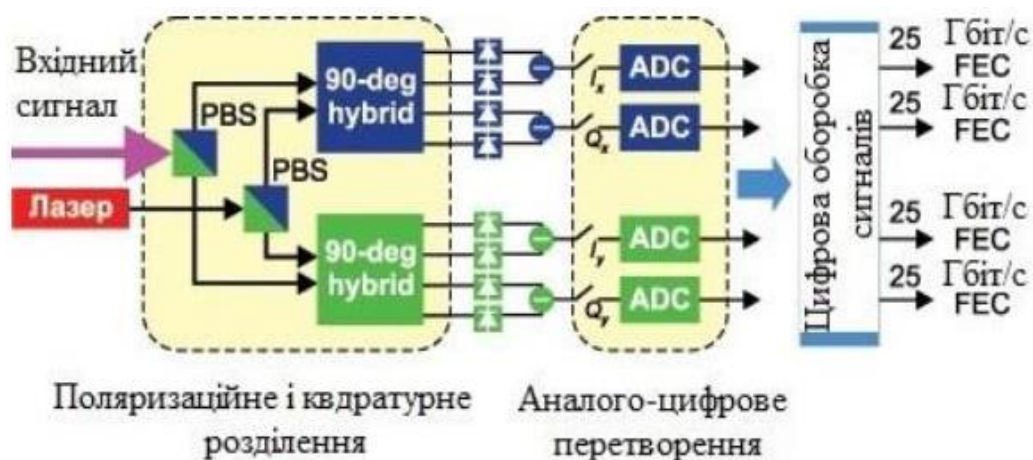


Рис. 2. Узагальнена структурна схема когерентного приймача *DP-QPSK*.

В волоконно-оптичних системах передачі всі фазові формати модуляції використовують диференціальні фазові методи, так як в оптичному діапазоні з практичної точки зору не доцільно виділяти абсолютне значення фази несівної хвилі оптичного сигналу. Тому інформація закладається у відносних змінах фази несівних двох послідовних імпульсів. Ефективність використання оптичних трактів та завадостійкість ВОСП в значній мірі залежить від виду форматів оптичної модуляції [2, 5, 6].

Когерентне детектування оптичного *DP-QPSK* сигналу створили високонадійну технологічну та ефективну платформу для побудови TTC DWDM з трактовою швидкістю 100 Гбіт/с, де протяжність ВОЛТ становить 3000 км з продуктивністю в *C*-діапазоні (роздільний спектр) 8 Тбіт/с, а продуктивність в *C*-діапазоні (гнучка схема частот) – 10 Тбіт/с. Застосування *DP-QPSK* формату модуляції дозволяє збільшити в 4 рази спектральну ефективність, але при цьому зменшується протяжність ВОЛТ за рахунок певного укорочення довжини підсилювальних ділянок.

#### Література

1. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. – М.: Техносфера, 2003. – 440 с.
2. Каток В.Б., Руденко І.Е., Ранський Є.Г., Однорог П.М. Волоконно – оптичний зв'язок / Під ред. Катка В.Б. – Київ: Логос, 2015. – 380 с.
3. Хмелев К.Ф. Основы фотонного транспорта. – Киев: Техніка. 2008. – 680 с.
4. Бердников О.М., Хмельов К.П. Застосування технології WDM на телекомунікаційних мережах / Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2003. – № 3. – С. 5...11.
5. Фокин В.Г. Оптические системы с терабитными и петабитными скоростями передачи: учебное пособие / Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики. – Новосибирск: СГУ ТИ, 2016. – 162 с.
6. Бортник Г.Г. Цифровий метод спектрального оцінювання випадкових сигналів. Г.Г. Бортник, М.В. Васильківський, О.В. Стальченко / Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – № 2. – С. 108...114.