

## **ВПЛИВ СПІВВІДНОШЕННЯ СИГНАЛ/ШУМ НА ЙМОВІРНІСТЬ БІТОВОЇ ПОМИЛКИ ПРИ РІЗНИХ ВИДАХ МОДУЛЯЦІЇ ПІДНОСІЙНИХ OFDM СИГНАЛУ**

*Вовк Д. В.; Шпилька О. О., к.т.н.*

*Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

OFDM (англ. Orthogonal Frequency Division Multiplexing) — мультиплексування з ортогональним частотним розділенням каналів. Технологія широко використовується в системах цифрового телебачення, радіомовлення та в мережах із широкосмуговим доступом (DVB-T2, DAB, WiFi, WiMAX). OFDM технологія являється однією з найбільш спектрально ефективних та стійких до багатопроменевого розповсюдження сигналу. Математично OFDM сигнал можна описати наступним виразом [1]:

$$s(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} \left[ a_k \cdot \cos \left[ 2 \cdot \pi \left( f_0 + \frac{k}{T} \right) \cdot t \right] + b_k \cdot \sin \left[ 2 \cdot \pi \left( f_0 + \frac{k}{T} \right) \cdot t \right] \right] \quad (1)$$

де:  $N$  — кількість несучих коливань;  $T$  — тривалість тактового інтервалу;  $a_k$ ,  $b_k$  — дані синфазного та квадратурного каналів, якими модулюють несучу коливання з номером  $k$ .

Основна ідея OFDM технології полягає у використанні великої кількості несучих, які являються ортогональними між собою. Кожна з несучих модулюється за допомогою обраної схеми цифрової модуляції, наприклад: QPSK, QAM-16, QAM-64. Внаслідок використання великої кількості піднесучих вхідна бітова послідовність ділиться на паралельні потоки, які мають меншу швидкість і більший інтервал часу передачі кожного із біт. Важливою рисою OFDM сигналів являється існування захисних інтервалів як у часовій так і в частотній областях — рис. 1. Захисний інтервал в часовій області використовується для забезпечення працездатності системи в умовах багатопроменевого поширення сигналу, що може призвести до виникнення між символної інтерференції. Захисний інтервал в частотній області забезпечує зниження впливу сусіднього каналу [2].

При виборі параметрів модуляції піднесучих у OFDM сигналі потрібно приймати певні компроміси в залежності від параметрів каналу та важливості інформації. Одним із основних параметрів каналу являється відношення сигнал/шум (англ. Signal-to-noise ratio,  $SNR$ ) — міра для визначення рівня спотворення сигналу адитивним білим гауссівським шумом [3]. В цифрових системах використовують нормоване значення  $SNR$  і позначають як  $E_b / N_0$ , де  $E_b$  — енергія біта. Вона рівна потужність сигналу  $S$ , помноженої на час передачі біта інформації  $T_b$ .  $N_0$  — спектральна щільність потужності шуму, вона виражається як відношення

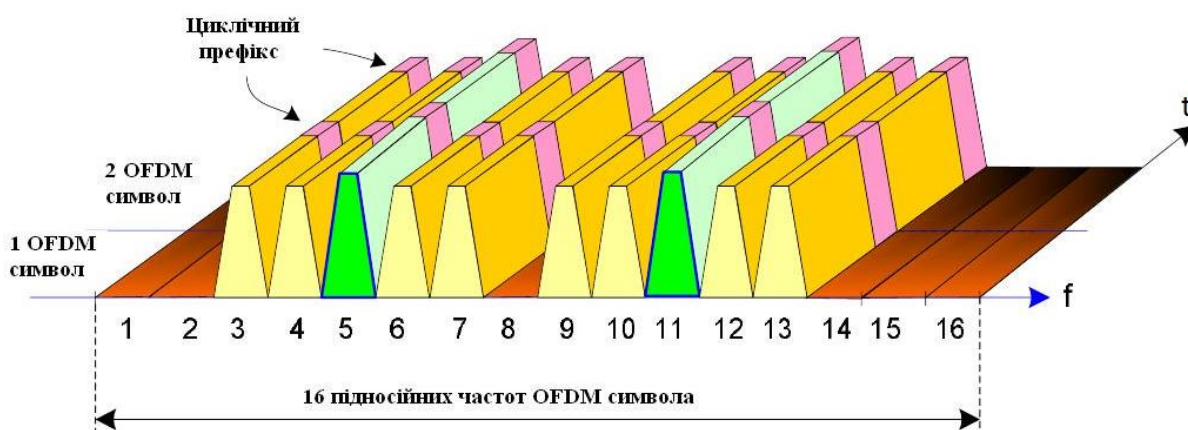


Рис 1 Частотно-часова структура двох OFDM символів

потужність шуму  $N$  до смуги  $W$ . В результаті отримуємо  $SNR$  для цифрових систем:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S \cdot T_b}{N/W} s \quad (2)$$

Оскільки час передачі біта і швидкість передачі біта обернено пропорційні величини, то  $T_b$  можна замінити на  $\frac{1}{R}$  де  $R$  — бітова швидкість, в результаті отримуємо:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S \cdot W_b}{N \cdot R} \quad (3)$$

Отже, під час проектування системи з OFDM технологією постає питання, яку схему модуляції підносійних обрати в залежності від заданих вимог до системи в технічному завданні. Тому актуальним являється задача аналізу залежності рівня помилок від відношення  $SNR$  для різних видів модуляції підносійних.

В роботі проведено математичне моделювання залежності ймовірності виникнення помилки на біт від відношення  $SNR$  для OFDM сигналу з наступними параметрами:

- кількість підносійних у символі OFDM — 1024;
- кількість корисних підносійних — 964;
- захисний інтервал в часовій області —  $\frac{1}{4}$ .

Для порівняння результатів було використано такі види модуляції підносійних: QPSK, QAM16, QAM64, QAM256.

З отриманих результатів, зображених на рис. 2, можна зробити висновок, що для забезпечення рівня помилок  $10^{-4}$  кожен наступний, більш складніший вид модуляції, потребує на 4 дБ більше відношення  $SNR$  ніж

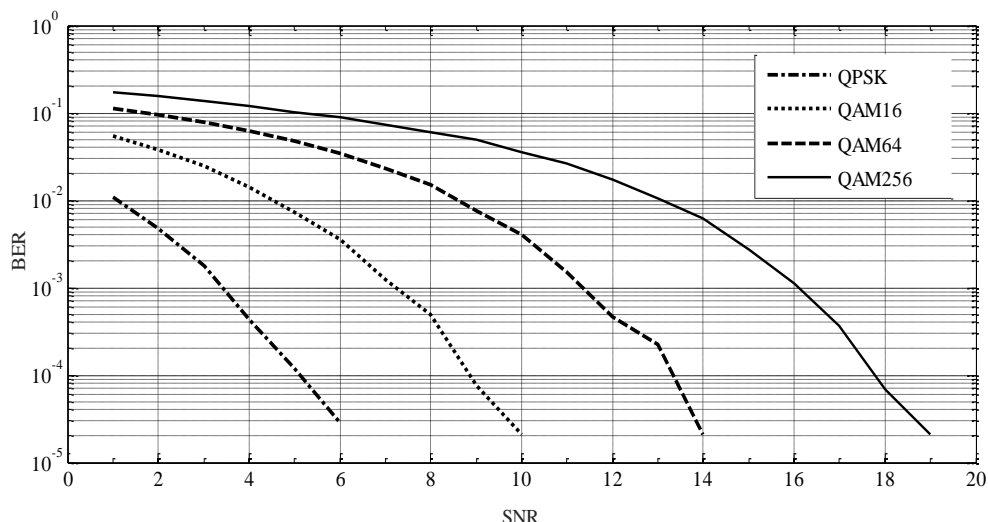


Рис 2 Залежність ймовірності помилки на біт від відношення сигнал/шум

попередній. Тому для забезпечення працездатності системи при низьких рівнях  $SNR$  необхідно зменшувати позиційності цифрової модуляції, що приводить до суттєвого зменшення швидкості передачі інформації. Іншими шляхами для забезпечення працездатності являється використання методів рознесеного прийому або комбінування часових захисних інтервалів.

### Перелік посилань

1. Seung Hee Han, Jae Lee. An Overview of Peak-to-Average Power Ratio Reduction Techniques for Multicarrier Transmission // IEEE Wireless Communication, 2005 – С 56-64.
2. Nee R., Wild A. Reducing the Peak-to-Average Power Ratio of OFDM // IEEE Wireless Communication, 2004– С 56-64.
3. Tellado J. Peak to Average Power Reduction for Multicarrier Modulation, Ph.D. dissertation, Stanford Univ., 2000.

### Анотація

В роботі проведено дослідження залежності ймовірності виникнення помилок від відношення сигнал/шум для різних видів модуляції підносійних OFDM сигналу за допомогою математичного моделювання в середовищі Matlab.

**Ключові слова:** OFDM, цифрова модуляція, SNR, ймовірність помилки

### Анотация

В работе проведено исследование зависимости вероятности возникновения ошибки от отношения сигнал/шум для разных видов модуляции поднесущих OFDM символа с помощью математического моделирования в среде Matlab.

**Ключевые слова:** OFDM, цифровая модуляция, SNR, вероятность ошибки

### Abstract

The paper studied the dependence of the probability of errors on the signal / noise ratio for various types of subcarriers' modulation of OFDM signal using the mathematical modeling in Matlab environment.

**Keywords:** OFDM, modulation, SNR, error probability