

тоту, а також забезпечити узгодження систем заміщення. Якщо для СЗ першого порядку  $C_1 = F_1 \log_2 N_{10}$ , а для СЗ другого порядку  $C_2 = F_2 \log_2 N_{20}$ , то вони будуть узгоджені при умові  $C_1 = C_2$ . Це означає, що виконується співвідношення  $N_{20} = N_{10}^m$ , де параметр  $m$  визначається з умови  $m = T_2 \sqrt{2 \ln 2 N_{20}} / T_1 \ln 2 N_{10}$ . Матеріали статті доповнюють існуючі дані про характеристики систем заміщення першого типу та переводять процедуру аналізу на якісно новий рівень, який забезпечує повну оцінку їх функціональних можливостей.

### Література

1. Остапенко Ю.О. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів керування. К.: Задруга, - 1999.
2. Ацюковский В.А. Построение систем связей комплексов оборудования летательных аппаратов. - М.: Сов. радио, - 1974.

*Бичковський В.О., Реутська Ю.Ю.. Функціональні можливості моделей заміщення систем. На підставі використання частотно-квантової спроможності систем заміщення першого типу проаналізована можливість передавання сигналів з обмеженнями на найвищу частоту та рівень спотворень.*

**Ключові слова:** частотно – квантова спроможність, інформаційна спроможність.

*Бычковский В.А., Реутская Ю.Ю.. Функциональные возможности моделей замещения систем. На основе использования частотно-квантовой способности систем замещения первого типа проанализирована возможность передачи сигналов с ограничением на наивысшую частоту и уровень искажений.*

**Ключевые слова:** частотно – квантовая способность, информационная способность.

*Bychkovsky V.A., Reutskaya J.Y. Functional possibilities of the system's substitute models. On the basis of the use of frequency-quantum ability of the systems of substituting for the first type possibilities of transmission of signals are analysed with a limit on the greatest frequency and level of distortions.*

**Keywords:** frequency-quantum ability, informative ability.

УДК 621.376.4

## МЕТОДИ ЗМЕНШЕННЯ ПІК - ФАКТОРУ В КАНАЛАХ З OFDM

*Білоконь О.В., Головін В.А*

Сигнали з ортогональним частотним мультиплексуванням (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM) використовуються в системах цифрового телебачення і радіомовлення (DVB-T, DAB, DRM) і мережах широкосмугового доступу WiFi, WiMAX. Ця технологія визнана перспективною в системах мобільного і фіксованого широкосмугового безпроводного доступу з використанням методів адаптивної модуляції –QPSK, BPSK, 16QAM, 64QAM. Сигнали OFDM стійкі до багатопроменевої інтерференції. Спектр сигналу OFDM рівномірний і має майже прямокутну фо-

рму. Кожне з несучих коливань визначається:  $S_n(t) = \cos(2\pi f_n t)$ , де  $f_n = f_0 + \frac{n}{T_S}$ ,  $n = 0, 1, \dots, N-1$ ;  $T_S$  - тривалість символу OFDM;  $f_0$  - мінімальна частота з усіх частот несучих коливань.

Загальний вигляд OFDM сигналу (рис 1):

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

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

Недоліком OFDM є велике відношення пікової потужності сигналу до його середнього значення потужності – пікфактор (ПФ)

$$ПФ = \max_{t \in [0; T]} \left\{ |s(t)|^2 \right\} / P_{cp} \quad (2)$$

де  $P_{cp} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T |s(t)|^2 dt$ .

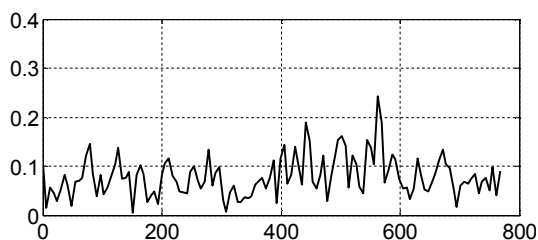


Рис.1. OFDM сигнал

Значний ПФ вимагає використання лінійних каскадів підсилення, які складні у виготовленні та мають малий коефіцієнт корисної дії, що неприпустимо в мобільних станціях.

Методи зменшення ПФ можна розділити на такі основні групи:

- методи амплітудного обмеження;

- методи блокового кодування;
- імовірнісні методи;
- методи частотної модуляції.

Використання амплітудного обмеження [7]. Суть цього методу полягає в тому, що обирається поріг  $A$ , і значення сигналу, що більші значення

порогу, обмежуються:  $\overline{|s|} = \begin{cases} |s|, & |s| \leq A \\ A \cdot e^{j\phi(s)}, & |s| \geq A \end{cases}$ , де  $\phi(x)$  фаза сигналу  $S$ . Проблема цього методу є оптимальний вибір порогу  $A$ , при невірному визначенні порогу розширюється спектр сигналу. Додаткова фільтрація спектру, приводить до незначного підвищення ПФ. Після фільтрації можна знову виконати амплітудне обмеження. Перевагою цього методу є малі втрати для реалізації. ПФ зменшується до 4,5 дБ. Недоліком є розширення спектра сигналу, збільшення помилок в переданій послідовності.

Використання вагових функцій [3]. Метод аналогічний методу амплітудного обмеження, але натомість порогу використовуються вагові функції такі як: Кайзера, Лапласа, Хемінга, Каре, Ганна та інші. Вікно застосовується у якомога вузьчій смузі частот, для зменшення зміни спектру OFDM. Недоліком методу є спотворення спектру.

Метод кодування [4]. Основна ідея полягає в тому, щоб ввести відносно невелику надлишковість у повідомлення, що передається, та відобразити всю множину вхідних комбінацій у множину слів з ПФ, що не перевищує заданий. На етапі аналізу сигналу з OFDM визначаються можливі значення ПФ і кількість сигналів з ПФ, який не перевищує заданий. На основі цих даних формуються вимоги до коду щодо надлишковості, яку вводимо. Недоліками такого методу трудомісткий алгоритм вибору надлишкових бітів для зменшення ПФ. В цьому методі досягається зменшення ПФ від 3,7 дБ до 6 дБ. Структурна схема системи з сигналами з OFDM і кодером для зниження ПФ наведена на рис. 2.

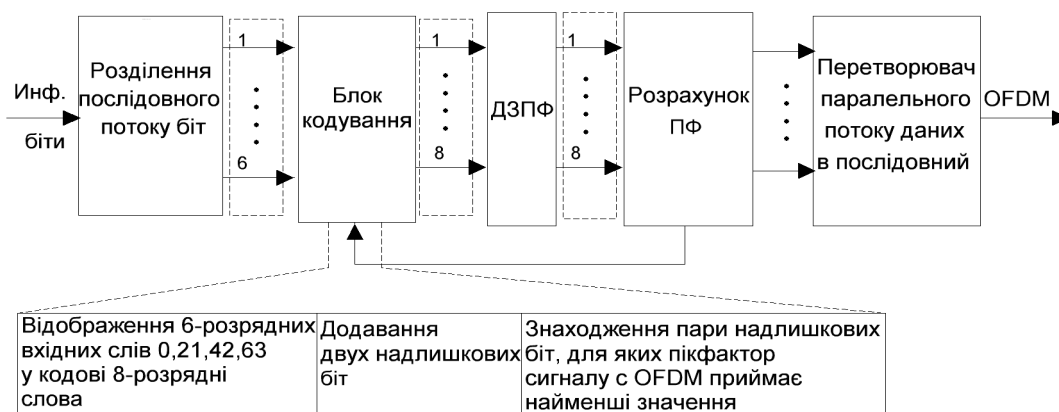


Рис.2. Структурна схема методу кодування

Скремблювання [5]. Кодування шляхом перестановки і інвертування ділянок спектра сигналу або групи символів. При скремблюванні цифрового потоку на виході, зменшується ймовірність значних відхилень амплітуди сигналу. Цей метод простий, зменшує ПФ не більше ніж на 2% від максимального значення сигналу.

Метод чергування [6]. Використовується тимчасове ущільнення імпульсних сигналів для зменшення ПФ (в режимі з декількома несучими замість ряду послідовностей фази). Алгоритм тимчасового ущільнення імпульсних сигналів виконує перестановку та упорядкування блоку з  $N$  піднесучих. Блок даних  $X = [X_0, X_1, \dots, X_{N-1}]^T$  перетворюється на  $X' = [X_{\Psi(0)}, X_{\Psi(1)}, \dots, X_{\Psi(N-1)}]^T$ , де  $\{n\} \leftrightarrow \{\Psi(n)\}$ ;  $\Psi(n) \in \{0, 1, \dots, N-1\}$  і для всіх  $n$ . Для модифікованих блоків даних виконується дискретне зворотне перетворення Фур'є (ДЗПФ) і обирають блок в якому ПФ найменший.

Зменшення ПФ досягається до 7,3 дБ. Недоліком методу є використання блоку тимчасового ущільнення, та великий обсяг розрахунків для визначення оптимального ПФ.

*Вибіркове групування* [8]. Передавач генерує ряд достатньо різних послідовностей блоків даних, всі відображають таку ж інформацію як і оригінальний блок даних, і обирають найбільш підходящу для передачі. Блок схема зображена на рис.3. Кожний блок даних перемножується на  $U$  фазових послідовностей, з довжиною  $N$ :  $B^{(u)} = [b_{u,0}, b_{u,1}, \dots, b_{u,N-1}]^T$ ,  $u = 1, 2, \dots, U$ . Після перемноження вихідний сигнал  $X$ , має вигляд :

$$x^{(u)}(t) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} X_n \cdot b_{u,n} \cdot e^{j2\pi n \Delta f t}, \quad 0 \leq t < NT, u = 1, 2, \dots, U$$

Серед змінених блоків даних  $X^{(u)}$ ,  $u = 1, 2, \dots, U$  вибирається для передачі той у якого найменший ПФ.

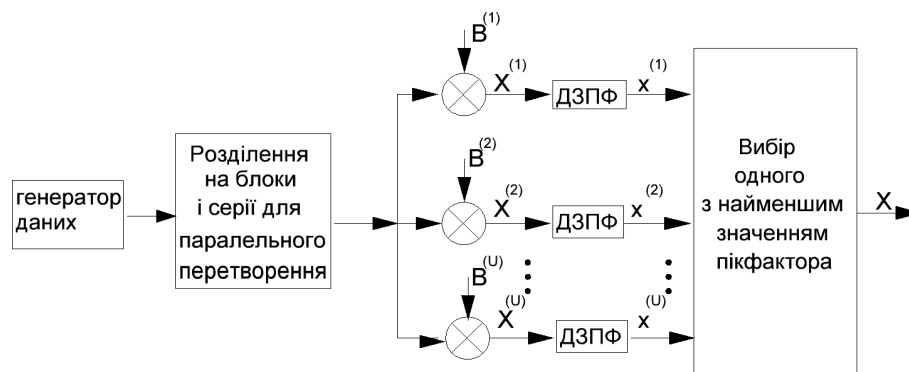


Рис.3. Блок схема формування сигналу

Метод досягає зменшення ПФ до 3,5 дБ. Недоліком методу є наявність генератору який генерує ряд послідовностей фаз  $U$  та наявність великої кількості блоків ДЗПФ. Так як всі перетворення виконуються паралельно то швидкодія цього методу не зменшується.

*Метод часткової передачі послідовності* [9]. Алгоритм полягає у тому, що вхідний сигнал розділяється на  $M$

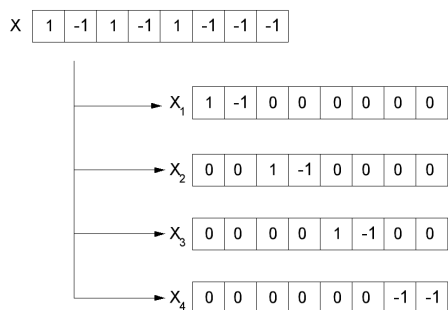


Рис. 4. Приклад додавання нулів до розділених підгруп

частин з мінімальним ПФ, та доповнюється нулями (див. рис. 4) і виконується перетворення Фур'є, складові додаються і формується сигнал без втрати інформації з меншим ПФ. Вагові фактори  $b_i$  генеруються за допомогою алгоритму оптимізації. Блок схема формування сигналу наведена на рис. 5. Недоліком методу є наявність програми оптимізації коефіцієнтів  $b$ . Перевагою методу є те, що в блоці ДЗПФ

виконується перетворення не всього сигналу, а тільки його частини – підгрупи.

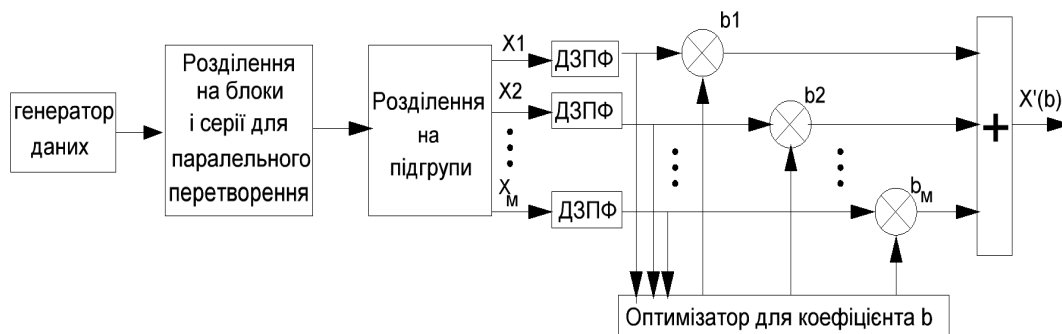


Рис. 5. Блок схема формування сигналу

*Метод тонового вводу даних* [10]. До інформаційного вектору  $X$  додається вектор  $C$ ,  $X'_k = X_k + C_k$ ,  $C_k = (p_k D + jq_k D)$ , де  $p$  і  $q$  цілі числа і вибираються з умови мінімуму ПФ.  $D$  обирають таким, щоб  $D \geq d_k \sqrt{M}$ . У результуючого сигналу  $X'$  зменшується ПФ. Вимогою до передавача є наявність генератору вектору  $C$ .

*Метод тонового резервування даних* [10]. Виконується резервування набору піднесучих для зменшення ПФ та оптимізації в часовій області OFDM сигналу. Передавач може додавати будь-який інформаційний вектор даних до збереженої піднесучої з метою зменшення ПФ. Зменшення ПФ в цьому методі досягається від 6 дБ до 10 дБ.

Зменшення ПФ за допомогою адаптивної корекції [3]. Використовується адаптивна коригуюча функція

$$k(t) = \sum_{n=1}^N A_n \cdot g(t - t_n),$$

де  $g(t) \approx \text{sinc}(\pi Bt) e^{j\pi Bt}$ ;  $A_n$  розраховується як

$$A_n = -(|S(t)| - A_0) \cdot \frac{S(t_n)}{|S(t_n)|}.$$

Тобто сигнал  $S(t)$  обмежує амплітуду в момент часу  $t_n$  до значення  $A_0$ .

Сигнал  $c(t)$  на виході передавача буде являти собою суміш корисного сигналу  $S(t)$  і функції  $k(t)$ . Недоліком є додатковий розрахунок коефіцієнтів  $A_n$  для адаптивної коригуючої функції.

*Зниження ефективної смуги частот ПФ* [3]. Перемноження OFDM огибаючої  $S(t)$  з ваговою функцією  $b(t)$ , яка складається з суми Гаусівських імпульсів  $b(t) = 1 - \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n \cdot g(t - t_n)$ , де  $g(t) = e^{-\gamma^2}$ , коефіцієнт  $a_n$  дорівнює

$a_n = 1 - \frac{T_r \cdot S_{\text{Eff}}(t)}{S(t)}$ , де  $T_r$  - порогове значення. Основною проблемою методу

є оптимальне визначення порогу для обчислення коефіцієнтів  $a_n$ .

*Метод зменшення ПФ за допомогою використання частотної модуляції* [1]. Це один з нових методів, який дозволяє зменшити ПФ до 3 дБ, отримати вигоду у енергетиці і спростити схеми підсилювачів передавача. Виконується частотна модуляція несучої частоти оптимально нормованою дійсною частиною комплексного OFDM сигналу. Завдяки великій кількості піднесучих  $N$  системи OFDM - ЧМ у комбінації з завадостійким кодуванням, можливо відновлення окремих символів, які спотворились в наслідок частотно-селективних завмирань піднесучих в каналі. Перевагою цього методу – висока ефективність використання смуги частот, можливість роздільної обробки піднесучих в каналі із завмиранням. Недоліком такого використання є зниження спектральної ефективності у два рази. Використання таких сигналів дозволяє використовувати високоефективні нелінійні підсилювачі потужності у вихідних каскадах передавачів з теоретично максимальним ККД 78,5%.

*Використання рознесених антен* [2]. Сигнал розділяють на менші блоки і передають за допомогою рознесених антен. Недоліком такого методу є значна кількість передаючих антен і складність приймальної системи.

З наведеного видно, що кожному методу притаманні визначені переваги і визначені недоліки. Жоден з них повністю не вирішує задачу зменшення ПФ. Серед інших слід виділити метод з використанням частотної модуляції, який забезпечує мінімальний ПФ.

### Література

1. Радионов А.Ю. Применение частотной модуляции для ортогонально частотноуплотненных сигналов // Молодежь и наука – третье тысячелетие: труды всероссийской научн. конф., Красноярск, 2005 – С.595-602.
2. 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.
3. Nee R., Wild A. Reducing the Peak-to-Average Power Ration of OFDM // IEEE Wireless Communication, 2004– С 56-64.
4. Jones A.E., Wilkinson T.A. Block Coding Scheme for Reduction of Peak to Mean Envelope Power Ratio of Multicarrier Transmission Scheme // Elect. Lett., vol.30, no.22, Dec. 1994, pp. 2098-99.
5. Li X., Cimini L. Effect of Clipping and Filtering on the Performance OFDM // IEEE Com. Lett., v.2 no.5, May 1998, pp. 131-33.
6. Hill G., Faulkner M. Reducing the Peak-to-Average Power Ratio in OFDM by Cyclically Shifting Partial Transmit Sequences // Elect. Lett., v.36, no.6, Mar. 2000, pp. 260-61.
7. O'Neill R., Lopes L. Envelope Variations and Spectral Splatter in Clipped Multicarrier Signals // Proc. IEEE PIMRC'95, Toronto, Canada, Sept. 1995, pp.71-75.
8. Breiling H., Muller-Weinfurtner S.H., Huber J., SLM Peak-Power Reduction without Explicit Side Information // IEEE Commun. Lett., vol.5, no. 6, June 2001, pp.239-41.
9. Muller S., Huber J. OFDM with Reduced Peak-to-Average Power Ratio by Optimum

Combination of Partial Transmit Sequences // *Elect. Lett.*, v. 33, no.5, Feb. 1997, pp.368-69.

10. Tellado J. Peak to Average Power Reduction for Multicarrier Modulation, Ph.D. dissertation, Stanford Univ., 2000.

*Білоконь О.В., Головін В.А.. Методи зменшення пікфактору в каналах з OFDM. В даній статті розглянуті основні методи зменшення пікфактору в системах, які використовують OFDM сигнали.*

**Ключові слова:** OFDM, пікфактор, модуляція

*Белоконь А.В., Головин В.А.. Методы уменьшения пик-фактора в каналах с OFDM. В данной статье рассмотрены основные методы уменьшения пик-фактора в системах, которые используют OFDM сигналы.*

**Ключевые слова:** OFDM, пикфактор, модуляція

*Bilokon A.V., Golovin V.A.. Methods of reduction of the peak-factor in channels with OFDM. In given article the basic methods of reduction of the peak-factor in systems which use OFDM signals are considered.*

**Key words:** OFDM, peak-to-average, modulation

УДК 621.378.001

## **СТАТИСТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПІВВІДНОШЕНЬ ЗАВАД ТА СИГНАЛІВ ДИСТАНЦІЙНО РОЗМІЩЕНИХ ОБ'ЄКТІВ**

*Бичковський В.О., Реутська Ю.Ю.*

### **Вступ. Постановка задачі**

Необхідність забезпечення радіозв'язку між об'єктами, довільно розташованими в межах заданої території, призвела до створення складних асинхронних імпульсних радіосистем, в яких декілька несинхронізованих між собою передавачів передають інформацію в загальний приймальний центр. В таких системах вплив сигналів від окремих передавачів або вплив завад, близьких по структурі до корисних сигналів, призводять до збою сигналів, що приймаються. В зв'язку з такими обставинами на початковому етапі проектування систем необхідно розв'язати ряд статистичних задач, спрямованих на забезпечення якісного прийому сигналів [1]. Одним з ефективних методів підвищення достовірності прийнятих повідомлень є адаптивна селекція сигналів. Для визначення ефективності адаптивної селекції сигналів необхідно знати розподіли ознак сигналів та особливості спотворення цих ознак. Однією з таких ознак є щільність ймовірності  $W_{1n}(n)$  відношення амплітуди завади до амплітуди сигналу. Для об'єктів, розташованих рівномірно уздовж лінії або в межах кільця,  $W_{1n}(n)$  є відомою [2]. В реальних ситуаціях центральна станція (ЦС) часто обслуговує абонентські станції (АС), які розміщуються уздовж лінії, а ЦС знаходиться осторонь цієї лінії. Вказана ситуація є характерною для обслуговування рухомих АС на дорогах та АС придорожніх населених пунктів в умовах складного рельєфу (ЦС необхідно винести в певну точку місцевості). Таким чином, визначення