

ЗМЕНШЕННЯ МІЖКАНАЛЬНИХ ЗАВАД В OFDM СИСТЕМІ З ВИКОРИСТАННЯМ ДВОПАРАМЕТРИЧНОГО СИГНАЛУ З СЕЛЕКТИВНИМ СПЕКТРОМ

Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку

Анотація

Досліджений двопараметричний сигнал з селективним спектром в якості формуючого імпульсу для OFDM системи. Виконана його оптимізація за критерієм максимуму відношення сигнал/завада (SIR). Досліджена ймовірність бітової помилки (BER) для модуляції QPSK в умовах адитивного білого гаусовського шуму (AWGN) при застосуванні обраного імпульсу.

Ключові слова: імпульс Найквіста, спектр, міжканальна інтерференція, відношення сигнал/завада, OFDM.

Abstract

The twoparametric signal with selective spectrum as a shaping pulse for OFDM system has been investigated. Its optimization according to the criterion of maximum signal-to-interference ratio (SIR) has been performed. The bit error rate (BER) of OFDM system for QPSK modulation in the conditions of additive white Gaussian noise (AWGN) when using a chosen pulse has been investigated.

Keywords: Nyquist pulse, spectrum, interchannel interference, signal-to-interference ratio, OFDM.

Вступ

OFDM – це багаточастотна технологія, що покладена в основу різних сучасних систем зв'язку. Недоліком OFDM є чутливість до зсуву частоти, в результаті якого виникає міжканальна інтерференція (ICI), що зменшує завадостійкість системи. Одним зі способів зменшення рівня ICI є застосування формуючих імпульсів на стороні передавача або віконних функцій на стороні приймача. Об'єктом дослідження є міжканальна інтерференція в OFDM системі. Предметом дослідження є використання імпульсів з селективним спектром для зменшення міжканальної завади в OFDM системі. Метою роботи є дослідження особливостей застосування двопараметричного сигналу з селективним спектром в якості формуючого імпульсу Найквіста в OFDM системі.

Постановка задачі

У роботі було поставлено такі задачі:

- дослідження залежності відношення сигнал/завада в OFDM системі від параметрів двопараметричного апроксимованого імпульсу з селективним спектром;
- порівняння ймовірності бітової помилки OFDM системи при застосуванні прямокутного імпульсу, імпульсу виду “Припіднятий косинус” та двопараметричного апроксимованого імпульсу.

Основна частина

OFDM сигнал може бути представлений у вигляді:

$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} a_k p_d(t) e^{j2\pi f_k t}, \quad (1)$$

де N – кількість піднесучих; a_k – інформаційний символ k -ої піднесучої; $p_d(t)$ – зсунута на половину тривалості версія формуючого імпульсу $p(t)$, яка починається з нульового моменту часу.

Для забезпечення ортогональності у (1) повинні виконуватись наступні умови:

$$f_{k+1} - f_k = \frac{1}{T},$$

$$P(f) = \begin{cases} UT, & |f| = 0; \\ 0, & |f| = 1/T, 2/T, \dots, n/T, \end{cases}$$

де $P(f)$ – спектральна щільність формуючого імпульсу.

Для дослідження були обрані три види імпульсів:

$$p_1(t) = \begin{cases} U, & |t| \leq \frac{T}{2}; \\ 0, & |t| > \frac{T}{2}, \end{cases} \quad (2)$$

$$p_2(t) = \begin{cases} U, & 0 \leq |t| < t_A; \\ \frac{U}{2} \left(1 + \cos \left(\frac{\pi}{\alpha T} \left(|t| - (1 - \alpha) \frac{T}{2} \right) \right) \right), & t_A \leq |t| < t_B; \\ 0, & |t| \geq t_B, \end{cases} \quad (3)$$

$$p_3(t) = \begin{cases} U, & 0 \leq |t| < t_A; \\ (1 - \beta)U, & t_A \leq |t| < t_C; \\ \beta U, & t_C \leq |t| < t_B; \\ 0, & |t| \geq t_B, \end{cases} \quad (4)$$

де $t_A = (1 - \alpha)t_C$; $t_B = (1 + \alpha)t_C$; $t_C = T/2$; $0 \leq \alpha \leq 1$; $0 \leq \beta \leq 1$.

Перша функція – це прямокутний імпульс, друга – імпульс виду “Припіднятий косинус”, третя – двопараметричний імпульс з кусково-лінійною апроксимацією [1]. Відповідні спектральні щільності (2)-(4) визначаються як:

$$P_1(f) = UT \operatorname{sinc}(\pi T f), \quad (5)$$

$$P_2(f) = UT \operatorname{sinc}(\pi T f) \frac{\cos(\pi \alpha T f)}{1 - 4\alpha^2 T^2 f^2}, \quad (6)$$

$$P_3(f) = UT \operatorname{sinc}(\pi T f) [1 - 2\beta(1 - \cos(\alpha \pi T f))], \quad (7)$$

$$\operatorname{sinc}(x) = \begin{cases} \sin(x) / x, & x \neq 0, \\ 1, & x = 0. \end{cases}$$

Оцінка ІСІ для m -ої піднесучої виконується за допомогою наступного виразу [2, 3]:

$$P_{ICI}(m) = \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq m}}^{N-1} \left| G\left(\frac{k-m}{T} + \Delta f\right) \right|^2, \quad (8)$$

де $G(f)$ – нормована відносно UT спектральна щільність формуючого імпульсу; k – індекс сусідньої піднесучої; N – загальна кількість піднесучих; $1/T$ – частотний інтервал між піднесучими; Δf – зсув частоти.

Вираз для SIR з врахуванням (8) має вид:

$$SIR = \frac{|G(\Delta f)|^2}{\frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} P_{ICI}(m)}.$$

Оптимальний формуючий імпульс повинен мати найбільше значення SIR незалежно від зсуву частоти. Тому, в якості критерію оптимізації (4) застосовані наступні вирази:

$$SIR_{total}(\alpha, \beta) = \int_0^1 SIR(\Delta f T | \alpha, \beta) d(\Delta f T),$$

$$\beta_{opt}(\alpha) = \arg \max_{\beta} \{SIR_{total}(\alpha, \beta)\}.$$

Результати дослідження

У роботі проведено дослідження для $\alpha=0,25$ та кількості піднесучих $N=64$. Найбільшому загальному значенню SIR (рис. 1) для двопараметричного імпульсу відповідає $\beta_{opt}=0,367$.

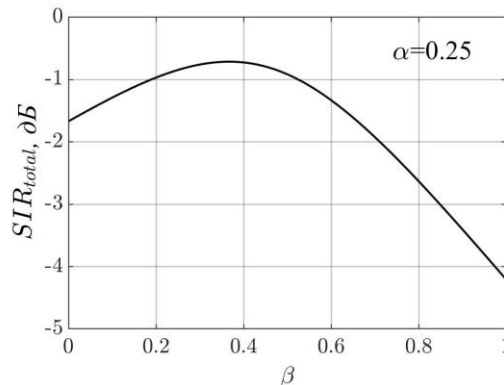


Рис.1. Залежність загального значення SIR від параметра β

За допомогою (2)-(7) були побудовані графіки досліджуваних функцій у часовій та частотній області при $\alpha=0,25$ (рис. 2). Як видно на рис. 2б, ступінчастий імпульс має найменші бічні пелюстки спектральної щільності.

У [3] наведені вирази, що визначають залежність ймовірності бітової помилки від E_b/N_0 для різних типів формуючих імпульсів Найквіста і різних значень зсувів частоти в умовах AWGN. За допомогою даних виразів були побудовані графіки залежностей BER від E_b/N_0 для модуляції QPSK (рис. 3). Так, при $E_b/N_0 = 20$ дБ і нормованому частотному зсуві $\Delta f T = 0,1$ для кількості піднесучих $N = 64$ $P_{b p_1} = 4,5 \cdot 10^{-5}$, $P_{b p_2} = 2,8 \cdot 10^{-5}$, $P_{b p_3} = 10^{-6}$.

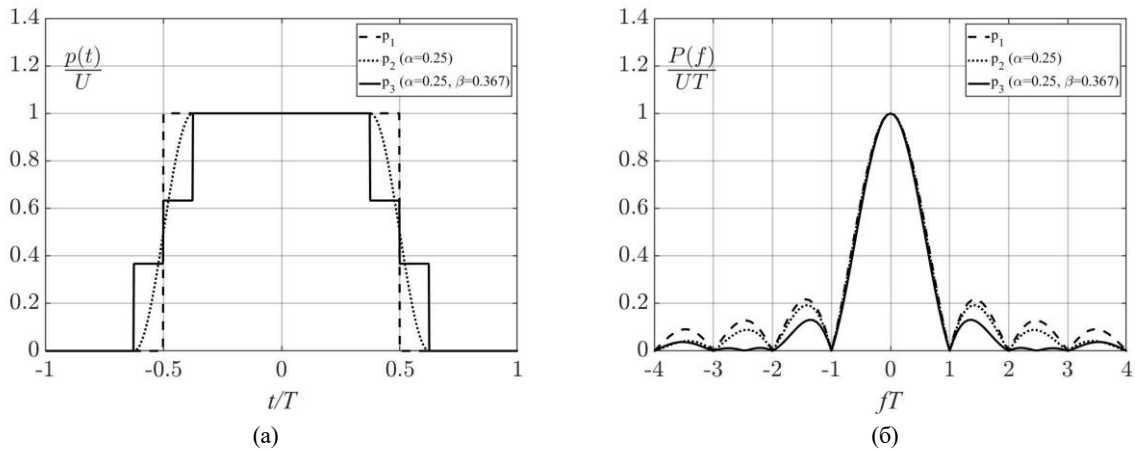


Рис. 2. Формуючі імпульси Найквіста у часовій (а) та частотній (б) області

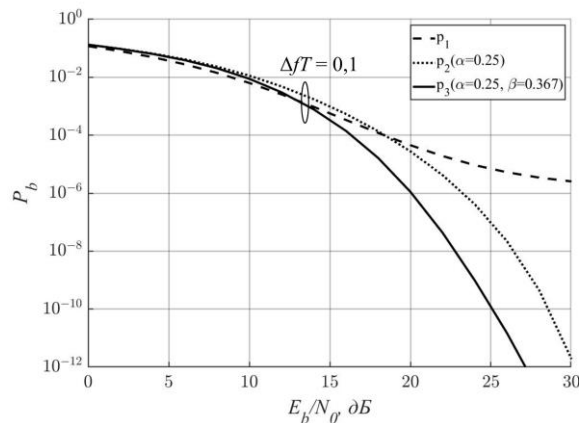


Рис. 3. Залежність ймовірності бітової помилки від E_b/N_0 для модуляції QPSK

Висновки

Виконана оптимізація двопараметричного імпульсу Найквіста за максимумом загального значення SIR. Проведений порівняльний аналіз ймовірності бітової помилки OFDM системи для обраних імпульсів. Результат показав, що для модуляції QPSK величина BER є найменшою при застосуванні двопараметричної функції з кусково-лінійною апроксимацією та $\beta_{\text{опт}}=0,367$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сукачев Э.А. Введение в теорию сигналов Найквиста: монография / Э.А. Сукачев. – Одесса: Освіта України, 2016. – 108 с.
2. Kamal S. Improved Nyquist-I pulses to enhance the performance of OFDM-based systems / S. Kamal, C.A. Azurdia-Meza, K.S. Lee // Wireless Personal Commun., vol. 95, no. 4, pp. 4095-4111, Aug. 2017.
3. Tan P. Analysis of the effects of Nyquist pulse-shaping on the performance of OFDM systems with carrier frequency offset / P. Tan, N.C. Beaulieu // European Transactions on Telecommunications, 20, pp. 9-22, 2009.

Биков Ростислав Геннадійович – аспірант кафедри бездротових та супутникових мереж електронних комунікацій, Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку, Одеса, e-mail: rbykov@ukr.net

Науковий керівник: **Сукачов Едуард Олексійович** – д-р техн. наук, професор, професор кафедри бездротових та супутникових мереж електронних комунікацій, Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку, Одеса

Bykov Rostyslav G. – Post-Graduate Student of the Chair of Wireless and Satellite Electronic Communications Networks, State University of Intelligent Technologies and Communications, Odesa, email: rbykov@ukr.net

Supervisor: **Sukachov Eduard O.** – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Wireless and Satellite Electronic Communications Networks, State University of Intelligent Technologies and Communications, Odesa