

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДУЛЯЦИИ OFDM

© 2017 Д. П. Комаристый, Д. Ю. Жулябин, Т. А. Цепковская

ОАО концерн «Созвездие»
ОАО «Пигмент», г. Тамбов

Воронежский институт высоких технологий

В данной работе проводится сравнительный анализ модуляции OFDM. Приведена структурная схема формирователя параллельно-составного сигнала. Рассчитаны вероятности ошибок для сигналов.

Ключевые слова: передача информации, модуляция, сигнал, кодирование.

В настоящее время международным комитетом по радиосвязи рекомендованы к применению высокоэнергетические виды модуляции, которые являются развитием техники шумоподобной модуляции сигналов (ШПС).

К ним относятся манипуляция ортогональными m -ичными сигналами (M-ary Bi-Orthogonal Keying modulation (МВОК)), манипуляция циклическими сдвигами кодовых последовательностей (Cyclic Code Shift Keying (CCSK)), манипуляция ортогональными комплементарными кодовыми последовательностями (Complementary Code Keying (ССК) и модуляция параллельными составными ортогональными сигналами (Orthogonal Code Division Multiplex modulation (ОСДМ)). Сравнительный анализ показывает преимущества последнего вида модуляции (ОСДМ), рассмотрению характеристик которого посвящена данная работа.

Преобразование информационного сообщения в параллельный составной сигнал (ПСС) можно представить в виде разложения по ортогональным функциям (например, функциям Уолша).

Принцип формирования этого сигнала описан давно, но не получил распространения из-за недостаточного развития элементной базы для практической реализации.

В 70-е и 80-е годы прошлого столетия наибольшее распространение получили шумоподобные сигналы с манипуляцией

кодовых последовательностей (М-последовательностями, Гоулда и т. п.). Несмотря на усилия некоторых отечественных исследователей, интерес к функциям Уолша возвращается только после рекомендаций с запада.

Известно, что система функций Уолша обладает важными для практического использования свойствами:

- система функций Уолша является абелевой (коммутативной) группой относительно операции умножения, обладающей свойством замкнутости и ассоциативности. Поэтому, исходя из ортогональности функций Уолша на периоде, при любом $n \neq 0$ среднее значение функций равно нулю (n – номер функции Уолша в системе упорядочения);

- система функций Уолша является, как и система гармонических функций, составной системой, т. е. состоит из системы четных и нечетных функций;

- система функций Уолша является полной системой ортогональных функций, поэтому разложение сигналов с конечной энергией в базисе функций Уолша может производиться сколь угодно точно;

- функции Уолша принимают только два значения, что очень удобно для их реализации в цифровых схемах.

Структурная схема формирования ПСС показана на рисунке 1.

Удельная скорость передачи информации с помощью ПСС составляет 2 бит/с/Гц, а удельный расход полосы частот – 0,5 Гц с/бит.

База ПСС $B = T/\tau_0 \gg 1$, где τ_0 – длительность одного бита ортогональной функции, T – период функции. База ортогональных функций устанавливает марков-

Комаристый Дмитрий Павлович – ОАО концерн «Созвездие», сотрудник, komstyrew_dp34@mail.ru.
Жулябин Дмитрий Юрьевич – ОАО «Пигмент», сотрудник, zhuloyua90dyur@mail.ru.
Цепковская Татьяна Анатольевна – Воронежский институт высоких технологий, ст. преподаватель, ser_ropirit4bvyt@mail.ru.

скую взаимосвязь между битами информационного сообщения, при этом:

$$\frac{E}{N_0} = \frac{2 \cdot P_c \cdot T}{N_0} = \frac{P_{O\phi}}{P_N} \cdot B,$$

где $P_{O\phi} = \frac{P_c}{m}$ – мощность одной ортогональной функции;

$P_N = N_0 \cdot \Delta F$ – мощность шума. Для одного кадра (m бит информации)

$$\frac{E_c}{N_0} = \frac{2 \cdot P_c}{P_N} \cdot B,$$

где P_c – мощность параллельно-составного сигнала,

E_c – энергия кодограммы.

База ортогональных функций определяет устойчивость ПСС к длительным замираниям и преднамеренным помехам в канале. Кроме того, величина B определяет энергетическую скрытность одного бита информации и кодограммы в целом, обусловленную временной избыточностью его базисных функций.

Наличие энергетической скрытности имеет важное значение, поскольку решение относительно каждой базисной функции и кодограммы в целом осуществляется одновременно.

Если воздействуют структурные помехи, то можно определить условия подавления одного бита информации: $P_n > P_{O\phi} B$ и для кодограммы $P > P_c \cdot P_0$, где P – мощность структурной помехи.

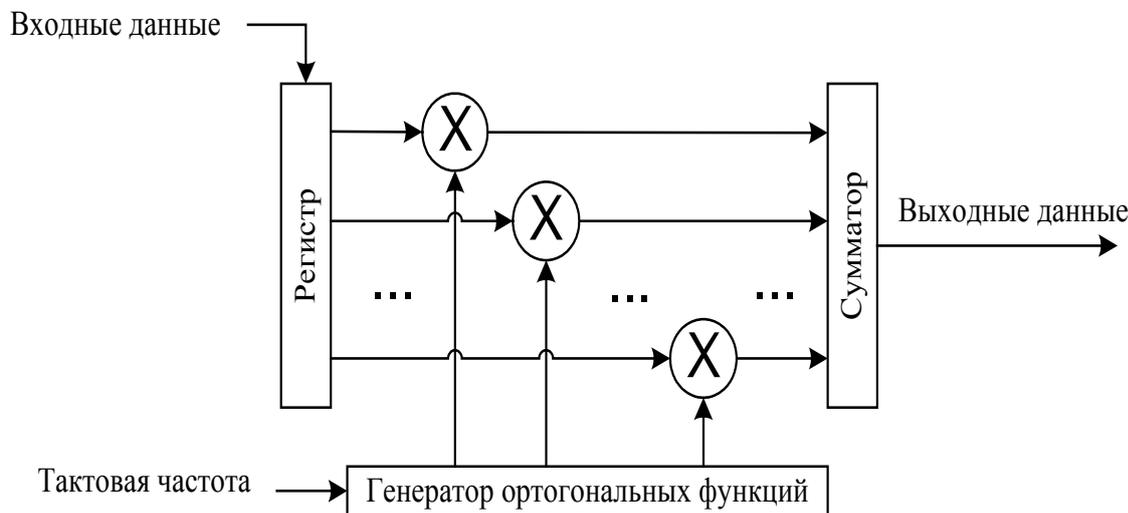


Рис. 1. Структурная схема формирователя параллельно-составного сигнала (ПСС – OCDM)

Помехоустойчивость ПСС к воздействию белого гауссова шума совпадает с помехоустойчивостью узкополосных сигналов при реализации оптимального метода приема, так как $\frac{E}{N_0} = \frac{P_{O\phi}}{P_N} B = 2 \cdot h^2$. Тем не менее, ПСС обладает устойчивостью к узкополосным помехам.

Параллельный составной сигнал при поэлементном приеме базисных функций эквивалентен групповому сигналу многоканальной системы связи.

При таком подходе основание используемых сигналов $M = 2$.

Однако, согласно, любую многоканальную систему с числом каналов n , предназначенную для передачи двоичных сигналов, можно представить в виде системы, использующей ансамбль сигналов $M = 2^n$.

Таким образом, при максимальной удельной скорости передачи информации и минимальной величине удельных затрат полосы частот, ПСС обладают свойствами структурной скрытности, большим ансамблем сигналов, что определяет целесообразность их применения в беспроводных сетях. Сравнительные характеристики ПСС и ШПС представлены в таблице 1.

Сравнительная характеристика сигналов

	Характеристики сигналов	ШПС	ПСС
1	Устойчивость к структурным помехам одного бита информации	$P_n > P_c \cdot B_{шпс}$	$P_n > P_{оф} \cdot B_{псс}$
2	Устойчивость к структурным помехам кодограммы	$P_n > P_c \cdot B_{шпс}$ Обусловлена частотной избыточностью	$P_n > P_{оф} \cdot B_{псс}$ Обусловлена временной избыточностью
3	Энергетическая скрытность, обусловленная частотной избыточностью	$\alpha_f = m \gg 1$	$\alpha_f = m \approx 1$
4	Энергетическая скрытность, обусловленная временной избыточностью	нет	$B = m$
5	Структурная скрытность	$\frac{\log_2 m}{m} \ll 1$	1
6	Устойчивость к гармоническим помехам	$\Delta f \approx \frac{1}{T} = \Delta F$	$\Delta f \approx \frac{1}{mT} = \frac{\Delta F}{m}$
7	Устойчивость к импульсным помехам	$\delta_N = \delta_0 = \frac{T}{m}$	$\delta_N = 0.3 \cdot T$

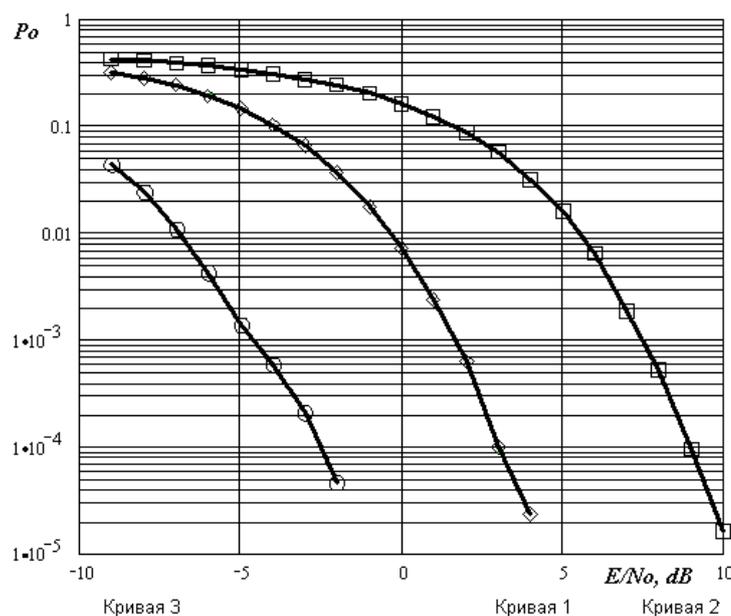


Рис. 2. Вероятности ошибки для сигналов МВОК с 8-элементными функциями Уолша (кривая 1), МВОК с 8-элементными циклическими сдвигами кода Баркера (кривая 2) и ПСС (OCDM) с 16-элементными функциями Уолша (кривая 3)

ЛИТЕРАТУРА

1. Andren C. CCK Modulation Delivers 11Mbps for High Rate IEEE 802.11 Extension. Harris Semiconductor, 2401 / C.Andren, M. Webster // Palm Bay Road, N.E. MS: 62A-024 Palm Bay, Florida, WIRELESS SYMPOSIUM/PORTABLE BY DESIGN CONFERENCE SPRING, 1999.

2. Хармут Х. Ф. Передача информации ортогональными функциями. / Х. Ф. Хармут. – М.: Связь, 1975. – 272 с.

3. Трахтман А. М. Основы теории дискретных сигналов на конечных интервалах / А. М. Трахтман, В. А. Трахтман. – М.: Сов. Радио, 1975. – 208 с.

4. Макаров С. Б. Передача дискретных сообщений по радиоканалам с ограничен-

ной полосой пропускания / С. Б. Макаров. – М.: Радио и связь, 1988.

5. Преображенский А. П. Особенности помехоустойчивого кодирования в каналах связи / А. П. Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2016. – № 3 (18). – С. 75-77.

6. Преображенский А. П. Анализ методов кодирования разных видов информации / А. П. Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2013. – № 10. – С. 74-77.

7. Lvovich I. Ya. Analysis of potential of error-correcting capabilities of codes / I. Ya. Lvovich, A. P. Preobrazhensky, O. N. Choporov // Life Science Journal. – 2013. – Т. 10. – № 4. – С. 830-834.

8. Львович И. Я. Основы информатики: учебное пособие / И. Я. Львович, Ю. П. Преображенский, В. В. Ермолова. – Воронеж, Воронежский институт высоких технологий, 2014. – 339 с.

COMPARATIVE ANALYSIS OF OFDM MODULATION

© 2017 D. P. Komunisty, D. Y. Zhulyabin, T. A. Tsepkovskaya

*JSC concern «Sozvezdie»
JSC «Pigment», Tambov
Voronezh Institute of high technologies*

In this paper a comparative analysis of OFDM modulation is given. The block diagram of the shaper parallel composite signal is shown. The error probability for signals is calculated.

Keywords: information transmission, modulation, signal, coding.