

УДК 621.372

## ПРИМЕНЕНИЕ ОДНОПОЛОСНОЙ КВАДРАТУРНОЙ МОДУЛЯЦИИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ С ОДНОПОЛОСНОЙ OFDM

К. т. н. А. Б. Коханов, М. Ю. Левковская

Одесский национальный политехнический университет  
Украина, г. Одесса  
skoh@mail.ru, levkovskaja@mail.ru

Для формирования однополосного сигнала с OFDM-модуляцией (SSB OFDM) предлагается использовать модулятор для формирования однополосного сигнала с квадратурной амплитудной модуляцией (SSB QAM). Это позволяет в два раза увеличить скорость передачи информации модемом в компьютерной сети с использованием только действительной арифметики.

Ключевые слова: SSB QAM, SSB OFDM, модулятор, демодулятор, быстрое преобразование Хартли.

В современных компьютерных сетях активно используют кабельные и радиомодемы для организации первичного доступа к сети. В основу высокоскоростных методов передачи информации в таких модемах положена современная технология, которая получила название DSL (Digital Subscriber Line, цифровая пользовательская линия). Эта технология основана на ортогональной частотной цифровой модуляции (OFDM, Orthogonal Frequency Digital Modulation) [1]. Перенос на несущую или промежуточную частоту OFDM-сигнала осуществляется одновременно с операцией цифрового аналогового преобразования (ЦАП). На рис. 1 приведен спектр частот OFDM-сигнала, который сформирован для потока данных со скоростью 155 Мбит/с с промежуточной частотой 25,83 МГц. Модулирующий сигнал формируется из бинарного потока данных с помощью десериалайзера и представляет собой поток символов с заданной разрядностью, как правило один байт (полубайт, два бита и т. д.). Недостатком такого сигнала является удвоенная по отношению к спектру передаваемого сигнала (модулирующий сигнал) полоса рабочих частот, что снижает скорость передачи сигнала.

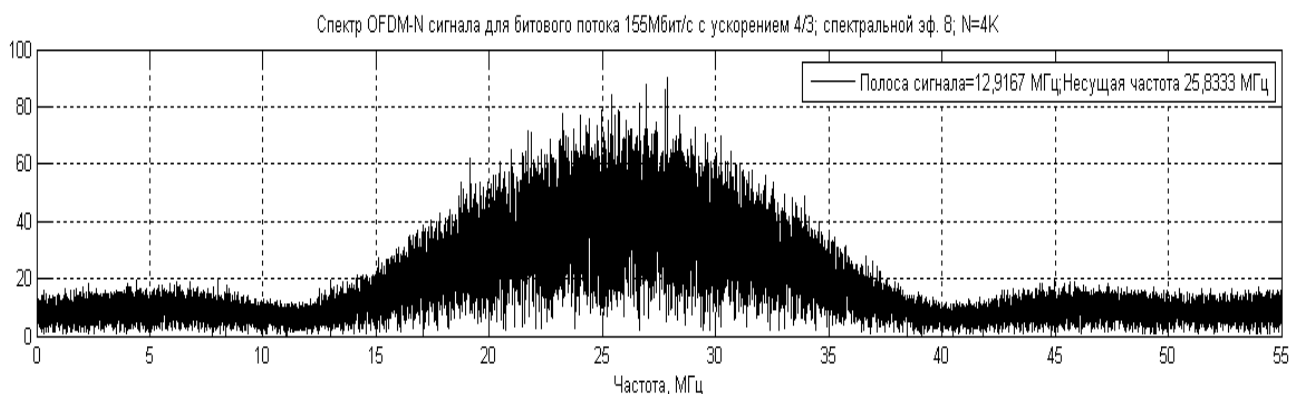


Рис. 1. Спектр OFDM-сигнала с промежуточной частотой 25,83 МГц (сигнал занимает полосу рабочих частот  $25,84 \pm 12,92$  МГц).

Целью данной работы является увеличение скорости передачи сигнала в заданной полосе рабочих частот.

При формировании OFDM-сигнала применён модулятор для формирования SSB QAM-сигнала [2], что позволяет в свою очередь сформировать SSB OFDM-сигнал. Для осуществления OFDM-модуляции в данном случае применяется быстрое преобразование Хартли (БПХ) [3]

$$F(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} S(n) \cos\left(\frac{2\pi nk}{N}\right), \quad k = 0, 1, \dots, N-1, \quad (1)$$

где  $N$  — число символов  $S(n)$  в модулирующей символьной последовательности,

$$S(n) = \begin{cases} a(n) - b(n) & \text{при } n = 1, 2, 3, \dots, N - 1; \\ a(n) + b(n) & \text{при } n = 2N - 1, \dots, N + 1; \\ 0 & \text{при } n = 0; \\ 0 & \text{при } n = N. \end{cases} \quad (2)$$

БПХ в данном случае используется вместо быстрого преобразования Фурье (БПФ), как это принято в известных методах построения модуляторов [1]. В этом случае будет обеспечена полная идентичность конечного результата, как и в случае использования БПФ. При использовании БПХ (1) используется для вычислений только действительная арифметика, что значительно упрощает процесс модуляции с целью получения OFDM-сигнала. На рис. 2 приведен спектр SSB OFDM-сигнала с нижней боковой полосой (LSB OFDM), причем параметры сигнала идентичны параметрам сигнала, спектр которого приведен на рис. 1. Из рис. 2 видно, что SSB OFDM-сигнал занимает в два раза меньшую полосу частот по сравнению с OFDM-сигналом (рис. 1), что позволяет в заданной полосе частот увеличить скорость передачи информации в два раза.

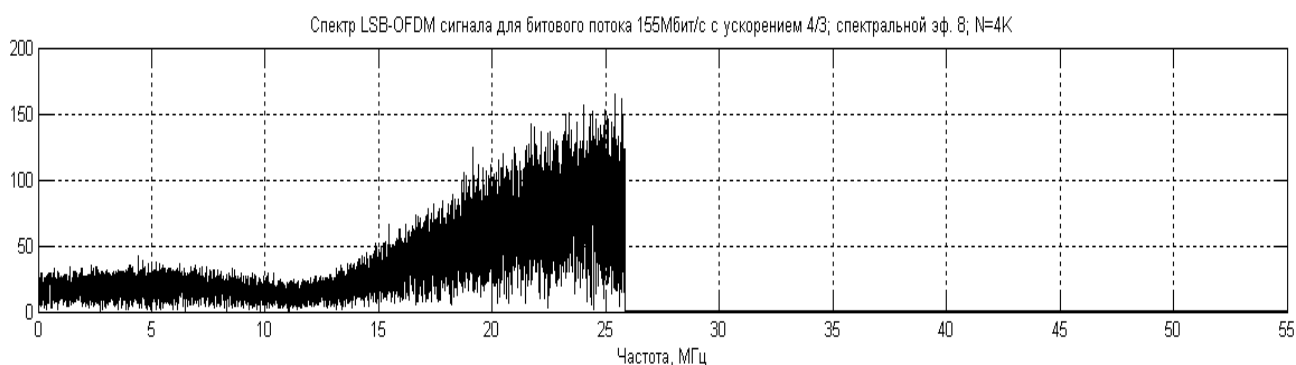


Рис. 2. Спектр SSB OFDM-сигнала с промежуточной частотой 25,83 МГц (сигнал занимает полосу рабочих частот, равную 12, 92 МГц относительно несущей частоты 25, 84 МГц)

Для вычисления ДПХ с использованием БПХ потребуется  $M \log_2 M$  операций действительных умножений и  $\frac{3}{2} M \log_2 M$  действительных сложений. Выигрыш при применении БПХ по сравнению с БПФ равен для операций умножения  $B_{ум} \approx 2,6(6)$  раз. Для операций сложения (с учетом дополнительных сложений, необходимых для формирования символов), экономия числа операций  $B_{сл} > 3$  раз для длины модулирующей последовательности больше либо равной 64.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Балашов В. А. Системы передачи ортогональными гармоническими сигналами / В.А. Балашов, П.П. Воробиевко, Л.М. Ляховецкий.— Москва: Эко-трендз, 2012.— 228 с.
2. Патент України на винахід № 103565. Квадратурний модулятор з однією боковою смугою / О. Б. Коханов.— 10.04.2013.— Бюл. № 7.
3. Коханов А. Б. Модифицированный алгоритм обработки с применением преобразования Хартли/ А.Б. Коханов, В.В. Захаров // Радиотехника и электроника. Москва.— 2005.— Т. 50 — № 12. — С. 1—5.

О. В. Kokhanov, М. U. Levkovskaya

#### Application of single-sideband quadrature modulation (SSB QAM) for forming signals with single-sideband OFDM.

The paper presents a method for applying a single-sideband quadrature modulation (SSB QAM) for forming signals with single-sideband OFDM (SSB OFDM), which allows doubling the speed of transmission in the computer network using only real arithmetic.

Keywords: SSB QAM, SSB OFDM, modulator, demodulator, fast Hartley transform.