

УДК 621.315.05

**МОДУЛИРОВАНИЕ В УЗКОПОЛОСНОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ ЛИНИИ
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА СРЕДНЕМ НАПРЯЖЕНИИ МЕТОДОМ
МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАННОЙ С ОРТОГОНАЛЬНЫМ ЧАСТОТНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ
КАНАЛОВ (OFDM)**

Хуснутдинов Эдуард Рамилевич

студент 2 курса магистратуры

Потапчук Николай Константинович

кандидат технических наук, доцент

кафедра электромеханики факультет авионики, энергетики и инфокоммуникаций

Уфимский Государственный Авиационный Технический Университет, г. Уфа

Аннотация. Рассматривается возможность модулирования методом мультиплексированной с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM) в узкополосной системы линии связи электропередачи на среднем напряжении при помощи технологии F-OFDM и W-OFDM модуляции.

Ключевые слова: OFDM – модуляция, Power Line Communication, Smart Grid

Системы энергоучёта позволяют производить учёт потребления электроэнергии и тепла на объектах жилого, коммерческого и производственного назначения. Системы могут учитывать потребление энергоресурсов на уровне дома, районов, города, населённого пункта с единым диспетчерским и финансовым центрами. Power Line Communication (PLC) основана на использовании линий электропередач (ЛЭП) для высокоскоростного обмена информацией. [1]

Существующие ЛЭП являются важной технологической и коммуникационной архитектурой, предназначенной для развертывания Smart Grid (SG) благодаря широкому охвату и низкой стоимости в отличие от беспроводных технологий. Следовательно, PLC играет ключевую роль в SG. Основная проблема заключается в том, что линия электропередачи предназначена для передачи электрической энергии, а не для передачи данных. [2]

Для достижения успеха связь по линии должна быть тщательно продумана, что соответственно увеличит сложность систем PLC. Метод мультисветовой модуляции, названный мультиплексированием с ортогональным частотным разделением (OFDM), преодолевает эффекты многолучевого затухания, разделяя широкую полосу на множество более узких поддиапазонов, где он использует ортогональные несущие для эффективности полосы пропускания. Каждая из этих поднесущих содержит номера параллельных потоков данных или каналов и обычно модулируется с низкой скоростью передачи символов. Производительность

системы OFDM сильно зависит от качества оценки канала. Как правило, в системах OFDM коэффициенты субканалов сильно коррелированы. [1]

В OFDM частоты поднесущих выбираются таким образом, чтобы они были ортогональны друг другу, чтобы исключить перекрестные помехи между подканалами. Это во многом упрощает конструкцию как передатчика, так и приемника. Отдельный фильтр для каждого подканала не требуется в отличие от обычного FDM.

Входные данные в систему F-OFDM являются сигналами вида

$$s_k(t) = \sum_n s_k[n] \delta(t - nT),$$

где $s_k[n]$ - символы данных поднесущей, k -индекс поднесущей и T -длительность символа.

В общем случае разница между OFDM и фильтрующей батареей с несколькими поднесущими (FBMC) заключается в выборе импульсных откликов формирующих фильтров $p_T(t)$ и $p_R(t)$, используемых на передатчике и приемнике соответственно. В OFDM $p_T(t)$ - прямоугольный импульс длительностью, равной T , тогда как $p_R(t)$ - также прямоугольный импульс, но меньшей длительности $T_{FTT} < T$, где $T_{FTT} = 1/B$, и B -интервал частот поднесущих.

В системах FBMC, рассчитанных на максимальную спектральную эффективность, длительность обоих формирующих импульсов выбирается равной T_{FTT} . Кроме того, длительность $p_T(t)$ и $p_R(t)$ больше, чем длительность символа T (обычно целое число, кратное T), что приводит к наложению последовательных символов данных [3].

При передаче без искажений простым выбором для $p_T(t)$ и $p_R(t)$ будет пара прямоугольных импульсов длительностью t . Чтобы облегчить переходное явление, длительность $p_T(t)$ продлевается во времени на период времени, больший, чем длительность импульсной характеристики канала, путем добавления циклического префикса (CP) к каждому символу OFDM. В приемнике $p_R(t)$ выравнивается по времени с передаваемым символом после того, как последний достиг своего стационарного состояния.

Мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов с использованием элементарных волн (W-OFDM). Элементарные волны - это нулевые средние сигналы фиксированной длительности. Разница между элементарными волнами и синусоидами, используемыми в анализе Фурье, заключается в том, что элементарные волны обычно нерегулярны и асимметричны. Wavelet-преобразование разделяет сигналы на сдвинутые и масштабированные версии соответствующих элементарных волн.

Преимущество Wavelet-преобразования перед другими преобразованиями заключается в том, что оно дискретно как по времени, так и по масштабу. Wavelet-преобразование реализуется с использованием соответствующих фильтров нижних частот (LPF) и верхних частот (HPF), за которыми следует понижающий дискретизатор для повышения спектральной эффективности Wavelet-преобразования.

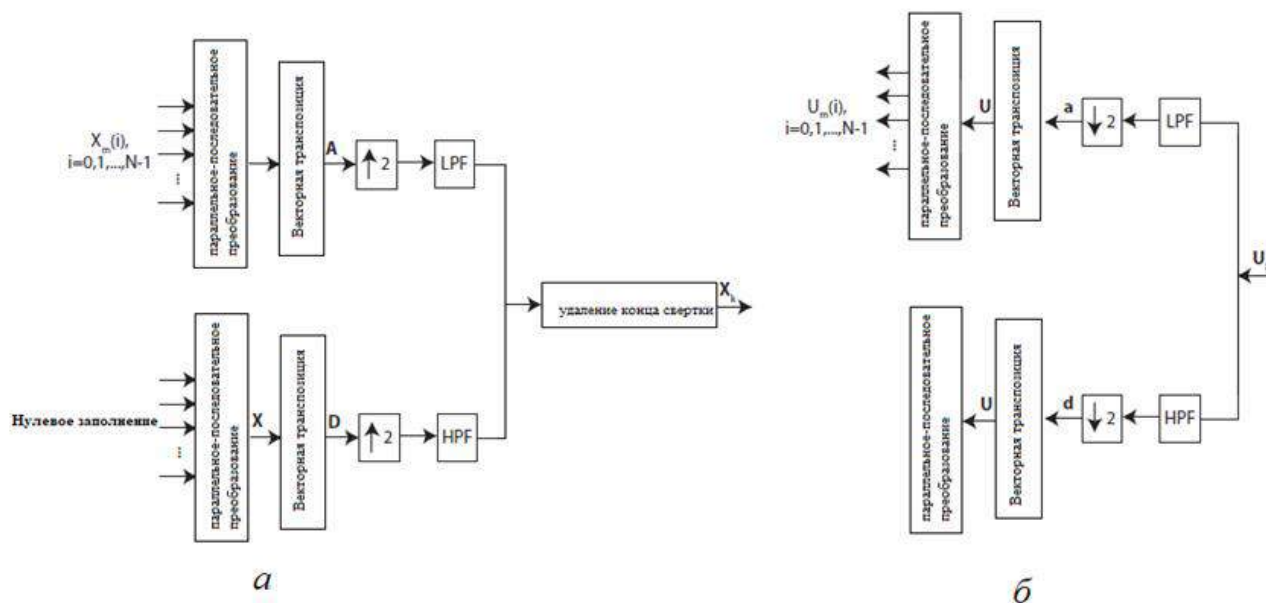


Рисунок 1. Мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов с использованием элементарных волн: а - обратное дискретное преобразование; б – приемник дискретного преобразование.

На рисунке 1а передатчик использует цифровой модулятор. Каждый поток $X_m(i)$ преобразуется в последовательный поток формируя вектор X . Чтобы реализовать обратное вейвлет-преобразование в передатчике, сигнал дискретизируется с повышением частоты до двух, а затем фильтруется с помощью нижних частот. Эта операция сохраняет в первую очередь важную нижнюю часть спектра сигнала.

Согласно вышеописанной процедуре, Wavelet-преобразование разлагает сигнал на его коэффициенты аппроксимации (выходной сигнал ФНЧ) и его детальные коэффициенты (выходной сигнал ФНЧ). Обратная процедура выполняется с использованием обратного Wavelet-преобразования.

При вейвлет-преобразовании фильтры нижних и верхних частот должны быть квадратурными зеркальными фильтрами. Длины A и D зависят от количества поднесущих OFDM, N , и от фильтров, генерирующих выбранные элементарные волны [4]. Процедура дискретного вейвлет-преобразования реализована на приемнике, как показано на рисунке 1б. Полученные данные U_k поступают на нижний и верхний частоты, используемые в приемнике,

и подвергаются дискретизации. Выходной сигнал с нижних частот затем преобразуется в параллельный поток $U_m(i)$, который подается на демодулятор. Выходной сигнал d с верхних частот отбрасывается.

Параметр, существенно влияющий на проектирование систем связи по линиям электропередачи, поскольку он напрямую связан со стоимостью установки интеллектуальных сетей, - это расстояние между ретрансляторами в одной линии электропередачи. Здесь исследуется передача сигналов связи узкополосной линии электропередачи по неразветвленным линиям электропередачи среднего напряжения, исследуя два варианта OFDM, а именно OFDM с фильтрами и OFDM с использованием элементарных волн.

Список литературы:

1. S. Muratoğlu Çürük. Performance of MAP Channel Estimator in Power Line Communication with OFDM under Impulsive Noise. *Balkan journal of electrical & computer engineering*, Vol. 6, No. 1, February 2018.
2. Sana Ezzine, Fatma Abdelkefi, Jean Pierre Cances, Vahid Meghdadi, Ammar Bouallégue. Evaluation of PLC Channel Capacity and ABER Performances for OFDM-Based Two-Hop Relaying Transmission. *Hindawi Wireless Communications and Mobile Computing* Volume 2017, Article ID 4827274
3. Farhang-Boroujeny, B. OFDM versus filter bank multicarrier. *IEEE Signal Process. Mag.* 2011, с. 92–112.
4. Abdullah, K.; Hussain, Z.M. Studies on DWT-OFDM and FFT-OFDM systems. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Communication, Computer and Power*, Muscat, Oman, 15–18 February 2009.