

Музыченко А.Д., Гуляев Г.А.
 ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
 г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а
 gregory.guliaev@yandex.ru

Особенности реализации формирователя спектрально эффективных сигналов на ПЛИС Cyclone V

Технология мультиплексирования с ортогональным частотным разделением (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing – OFDM) получила широкое распространение в современных стандартах беспроводной связи (LTE, 3G, Wi-Fi, WiMAX, IEEE 802.11, HIPERLAN/2, Flash-OFDM, IEEE 802.16, IEEE 802.16e, IEEE 802.15.3a), проводной связи (ADSL, VDSL), цифрового радиовещания (DRM), цифрового кабельного телевидения (ТВ) (DVD-C2, DVD-C), цифрового ТВ (DVB-T, ISDB-T), наземного мобильного ТВ (DVB-H, T-DMV, ISDB-T, MediaFLO). Это обусловлено возможностью добиться высокой спектральной и энергетической эффективности, низкого уровня или полного отсутствия МСИ и высокого качества передачи информации [1].

Необходимость организации широкополосного доступа в сетях мобильной связи 5-го поколения (5G) в условиях ограниченности частотного ресурса ставят задачу развития новых методов формирования сигналов и передачи данных, позволяющих повысить эффективность использования частотного спектра [2]. В качестве альтернативы OFDM-сигналам можно рассматривать SEFDM-сигналы, которые отличаются от известных OFDM-сигналов тем, что частотный разнос между поднесущими выбирается меньше, чем требуется для выполнения условия нулевой межсимвольной интерференции (МСИ).

В основу принципа работы приемопередающих трактов подобных систем связи входят многопоточные параллельные вычисления, что обуславливает необходимость использования ПЛИС при формировании SEFDM-сигналов для обеспечения высокой скорости передачи.

Целью данной работы является анализ погрешности вычислений формирователя SEFDM-сигналов, реализованного на ПЛИС Cyclone V фирмы «Altera».

Основными задачами, решаемыми в данной работе, являются: 1) разработка имитационной модели для исследования алгоритма формирования SEFDM-сигналов на основе обратного быстрого преобразования Фурье (ОБПФ) в среде Matlab; 2) проведение имитационного моделирования формирования SEFDM-сигналов в системе автоматизированного проектирования (САПР) Quartus Prime на языке описания аппаратуры интегральных схем VHDL; 3) сравнение результатов моделирования при вычислениях в фиксированной и плавающей точках; 4) реализация на ПЛИС Cyclone V формирователя SEFDM-сигналов на основе ОБПФ.

Процедура формирования SEFDM-сигналов (рисунок 1) отличается от алгоритма формирования OFDM-сигналов тем, что после выполнения ОБПФ отбрасываются несколько отсчетов сигнала [3].

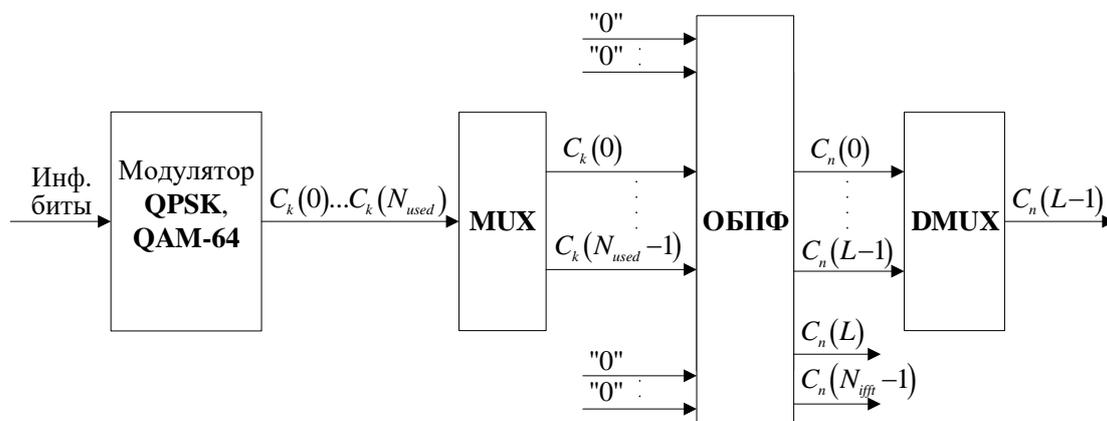


Рис. 1. Схема формирователя SEFDM-сигналов

Архитектура формирователя SEFDM-сигнала в ПЛИС Cyclone V фирмы «Altera» представлена на рисунке 2. Семейство **Cyclone V** имеет в своем составе микросхемы, которые содержат такие инновационные решения, как аппаратный процессорный блок, основой которого является одно- или двухъядерный процессор **ARM Cortex A9** [4]. Архитектуру реализации формирователя SEFDM-сигналов на основе дискретного преобразования Фурье (ДПФ) условно можно разделить на блок входного FIFO – FIFO_in_block, блок ОБПФ – IFFT_block и блока выходного FIFO – FIFO_out_block.

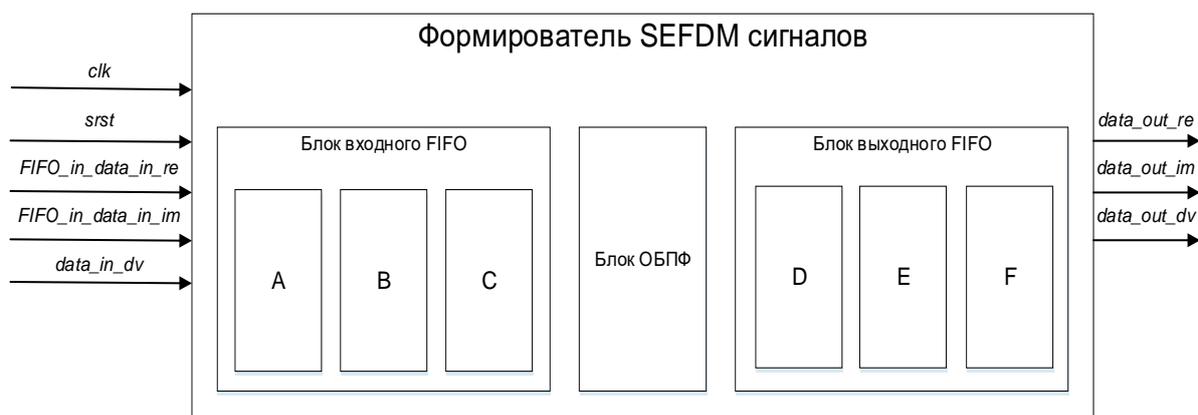


Рис. 2. Архитектура реализованного в ПЛИС формирователя SEFDM-сигнала

На рис. 2 введены обозначения: А – объединение отсчетов модуляционного символа `data_connect_1`; В – входное FIFO (First in, first out) `FIFO_in`; С – конечный автомат `state_FIFO_in`; D – объединение отсчетов ОБПФ `data_connect_2`; E – выходное FIFO `FIFO_out`; F – блок управления `logic_block`).

В результате моделирования была определена зависимость плотности распределения отклонений отсчетов сформированного SEFDM-символа от их величины отклонений, выраженной в процентах (`Erg_ratio` – текущее значение отклонения; `N_erg_up` – количество отсчетов, отклонение которых больше текущего значения отклонения; `N` – количество отсчетов в SEFDM-символе).

В данной работе разработана имитационная модель для исследования алгоритма формирования SEFDM-сигналов на основе ОБПФ в среде Matlab. Проведено имитационное моделирование SEFDM-сигналов в САПР Quartus Prime на языке описания аппаратуры интегральных схем VHDL [5], а также обоснован выбор ПЛИС и осуществлена реализация SEFDM-формирователя на ПЛИС Cyclone V.

В ходе сравнения сформированных реализаций SEFDM-сигналов в среде Matlab и САПР Quartus Prime выявлено, что погрешность формирования отсчетов в Quartus Prime составляет не более двух процентов по сравнению с математической моделью в среде Matlab. В связи с этим, можно сделать вывод, что формирователи SEFDM-сигналов на ПЛИС Cyclone V обеспечивает достаточно высокую точность вычислений.

Литература

1. Shulze H., Luders C. Theory and Applications of OFDM and CDMA. – Chichester, U.K.: John Wiley & Sons, 2005. – 421 p.
2. Opportunities in 5G Networks: A Research and Development Perspective / Edited by Dr. Fei Hu. – CRC Press, 2016. – 556 p.
3. Солонина А.И., Арбузов С.М. Цифровая обработка сигналов. Моделирование в MATLAB. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 816 с.
4. СБИС ПЛ семейства Cyclone V. – URL: <http://altera.ru/sbis-pl-cyclone-V.html>.
5. Бибило П.Н. Основы языка VHDL. – М.: Солон-Р, 2010. – 200 с.