

Снижение пик-фактора сигнала

Современные стандарты радиосвязи радиосвязи 4G(LTE/LTE-A)/5G используют OFDM-сигналы, что даёт им высокую спектральную эффективность. Однако у такого вида сигналов очень высокий уровень пик-фактора ($PAPR > 10$ дБ), т.е. отношение пиковой мощности сигнала к средней мощности сигнала.

На рисунке 1 представлена комплементарная кумулятивная функция распределения вероятностей для OFDM-сигнала с количеством поднесущих равным 2048 и модуляцией QAM-256.

Высокий уровень пик-фактора приводит к снижению КПД усилителей мощности на выходе радиопередающих устройств, так как большую часть времени излучается сравнительно небольшая мощность сигнала. Кроме того, существенно снижается эффективность систем ввода цифровых предискажений (DPD) для сигналов с высоким пик-фактором, так как основную часть времени сигнал находится в линейной зоне работы усилителя мощности.

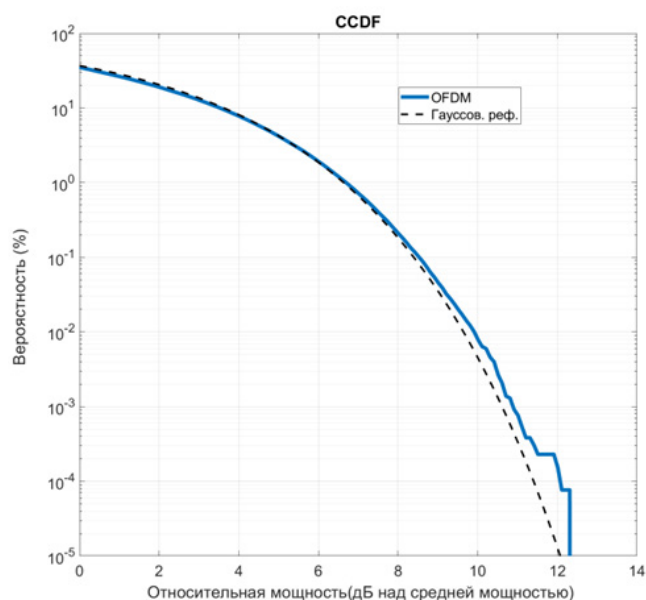


Рисунок 1

Всё это приводит к тому, что для эффективной передачи сигналов стандартов 4G (LTE/LTE-A)/5G требуются усилители высокой мощности и линейности, что приводит к удорожанию оборудования, увеличению массы и габаритов систем связи.

Для решения проблем систем радиосвязи, связанных с высоким уровнем пик-факторов сигнала, компания ЦИТМ «Экспонента» разработала технологии и методы снижения пик-фактора сигнала, применимые для современных стандартов связи, включая 4G(LTE/LTE-A)/5G-технологии. Основная идея в снижении пик-фактора – это уменьшение пиковой мощности сигнала.

В разное время были использовались различные методы снижения пик-фактора: оконные функции (peak windowing), жёсткое клипирование (hard clipping), сигналозависимые алгоритмы (tone reservation, active constellation extension).

Развитие получил один из наиболее прогрессивных методов – Peak cancellation crest factor reduction (PC-CFR). Данный метод имеет один из лучших показателей по снижению пик-фактора, при этом использует существенно меньшие вычислительные ресурсы в сравнении с другими методами.

В течение нескольких лет компания ЦИТМ «Экспонента» ведёт исследование и разработку систем снижения пик-фактора, основанных на прогрессивном методе PC-CFR. И в настоящее время готова представить IP-ядро собственной разработки PC-CFRex-IP, предназначенное для снижения пик-фактора сигнала стандартных (4G (LTE/LTE-A)/5G и др.) и нестандартных систем связи (custom OFDM).

Уникальность данного IP-ядра в том, что его архитектура не привязана к какому-либо стандарту, она гибкая и настраивается в режиме онлайн, не требуя переконфигурации проектов.

Описание

IP-ядро PC-CFRex-IP предназначено для снижения пик-фактора сигнала.

Архитектура IP-ядра PC-CFRex-IP не привязана к конкретному производителю ПЛИС/СБИС, что повышает гибкость и независимость разрабатываемых систем радиосвязи. IP-ядро PC-CFRex-IP (ЦИТМ «Экспонента») и IP-ядро DPDEX-IP (ЦИТМ «Экспонента») полностью совместимы и составляют готовое DFE-решение (Digital Front-End) для современных систем связи.

На рисунке 2 представлена комплементарная кумулятивная функция распределения вероятностей для OFDM-сигнала и для OFDM-сигнала с использованием IP-ядра PC-CFRex-IP.

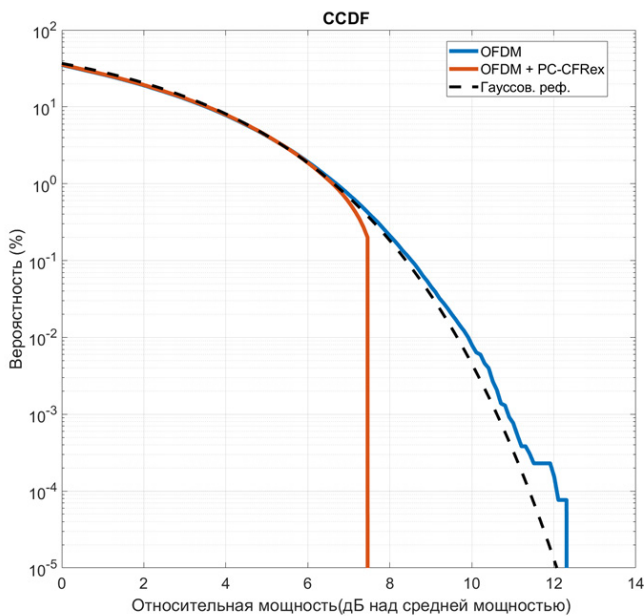


Рисунок 2

Как видно из графика, эффективное снижение пик-фактора при использовании IP-ядра PC-CFRex-IP составляет более, чем 4.0 дБ ($PAPR=7.7$ дБ/ $EVM_{rms} = 3.0\%$).

Снижение пик-фактора осуществляется за счёт использования специальных коэффициентов импульсных характеристик – peak cancellations. Загрузка коэффициентов осуществляется через стандартный интерфейс AXI4-Lite. Максимальная скорость загрузки ограничена только производительностью интерфейса AXI4-Lite. Для расчёта коэффициентов используется специализированное ПО, поставляемое вместе с IP-ядром PC-CFRex-IP.

IP-ядро PC-CFRex-IP спроектировано таким образом, что позволяет снижать пик-фактор сигнала, при этом не допуская существенного расширения спектра сигнала. Это достигается за счёт методики расчёта коэффициентов импульсных характеристик (peak cancellations) и многокаскадной архитектуры, которая итеративно снижает пик-фактор сигнала.

На рисунке 3 представлены спектры OFDM-сигнала ширины полосы частот 50 МГц с использованием и без использования IP-ядра PC-CFRex-IP.

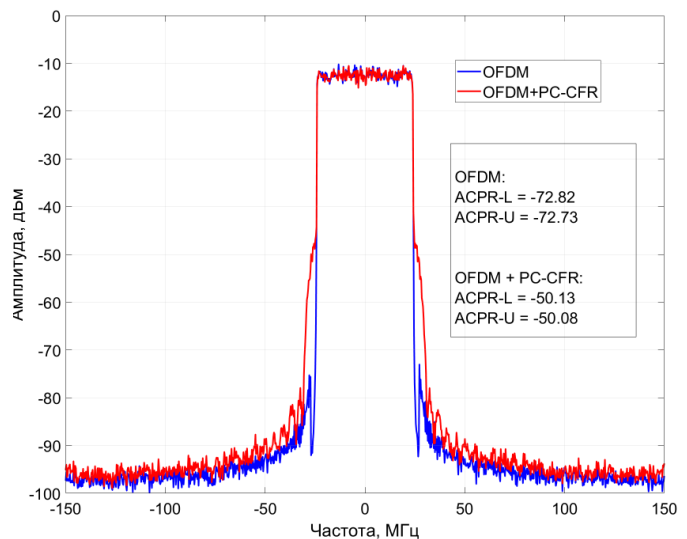


Рисунок 3

Другим немаловажным показателем эффективности работы IP-ядра PC-CFRex-IP является низкий уровень вносимых искажений.

Значение EVMrms при использовании PC-CFRex-IP для OFDM с модуляциями QAM-256/ QAM-64 находится в пределах 3.2% при эффективном PAPR=7.7 дБ.

В таблице 1 представлено сравнение с аналогичными решениями от других производителей. Информация взята из открытых источников.

Таблица 1

Производитель	Lattice Semi	Altera	Xilinx	Texas Instr	Systems 4Silicon	ЦИТМ Экспонента
Тип сигнала	LTE 20 MHz	LTE 20 MHz	LTE 20 MHz	LTE 20 MHz	LTE 20 MHz	LTE 20 MHz
PAPR w/CFR, дБ	7.3	6.5	7.5	8	7	7.6
EVM, %	3.7	13.8	4	-	5	3.2
Тип CFR	non-data-aided	non-data-aided	non-data-aided	non-data-aided	non-data-aided	non-data-aided

Также IP-ядро PC-CFRex-IP содержит встроенный аппаратный «hard clipper», который позволяет осуществлять сжатие динамического диапазона без учёта расширения спектра.

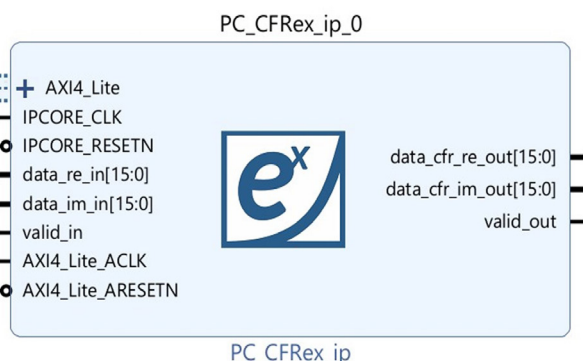


Рисунок 4

Технические характеристики

- Архитектура – Non data aided (Peak cancellation+Hard clipper)
- Максимально эффективная полоса входного сигнала – 80 МГц (при максимальной тактовой частоте 400 МГц)
- Максимальная тактовая частота работы ядра – 400 МГц (Xilinx Zynq7100/ Zynq7045/Kintex-7)
- Максимальное количество стадий обработки – 3
- LUT – 9000
- DSP – 200 (в режиме 1 clk/sample)/ 100 (в режиме 2 clk/sample) при максимальном количестве итераций
- FF – 16213 (в режиме 1 clk/sample при максимальной тактовой частоте 400 МГц)
- Встроенный «hard clipper»
- Управление IP-ядром по AXI4-Lite
- «Онлайн» загрузка коэффициентов импульсных характеристик по AXI4-Lite

Интеграция

IP-ядро PC-CFRex-IP ЦИТМ «Экспонента» всегда доступно для целевых платформ FPGA и СБИС. Для специальных применений возможно использование IP-ядра PC-CFRex-IP в составе специализированных СМК. Интеграция IP-ядра PC-CFRex-IP в текущие или будущие проекты возможна в соответствии с любыми требованиями и пожеланиями заказчика. Специалисты ЦИТМ «Экспонента» помогут вам в решении этой задачи.

Свяжитесь с нами, чтобы узнать больше технических подробностей!

+7 (495) 009 65 85
info@exponenta.ru
www.exponenta.ru