

## 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.

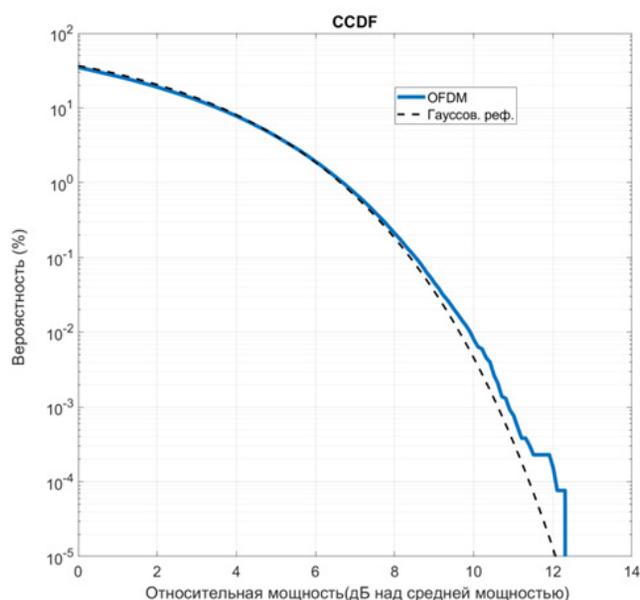


Рисунок 1

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.

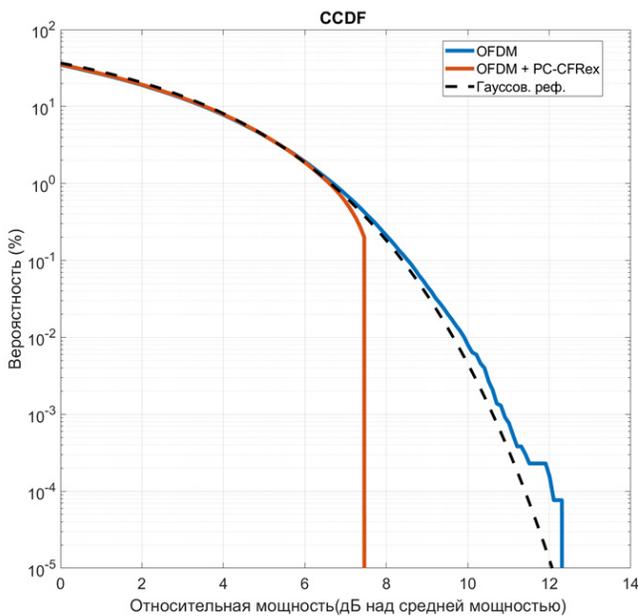


Рисунок 2

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.

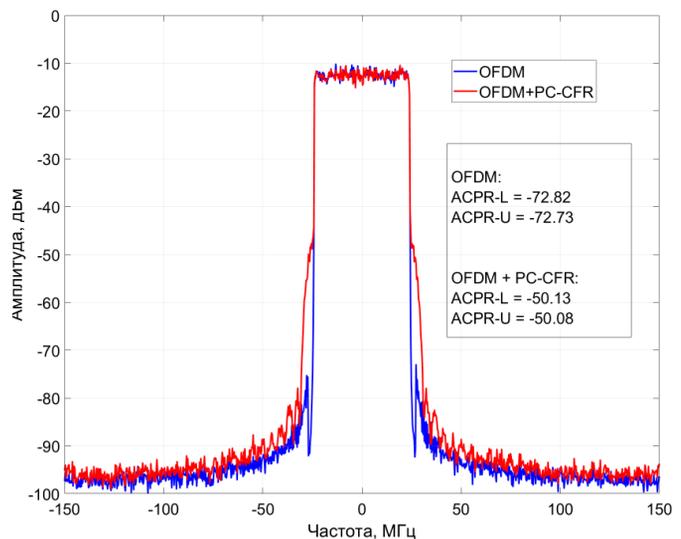


Рисунок 3

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	<b>LTE 20 MHz</b>				
PAPR w/CFR, дБ	7.3	6.5	7.5	8	7	<b>7.6</b>
EVM, %	3.7	13.8	4	-	5	<b>3.2</b>
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.

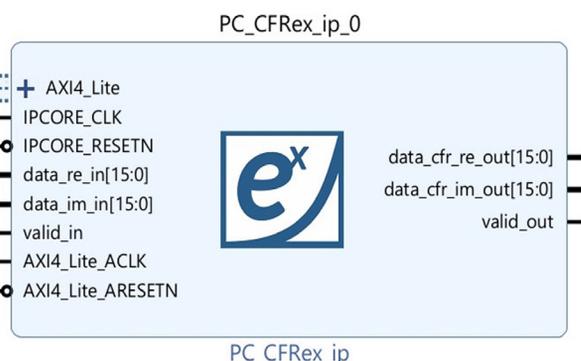


Рисунок 4

## 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