

Снижение пик-фактора сигнала

Современные стандарты 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 256-QAM.

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

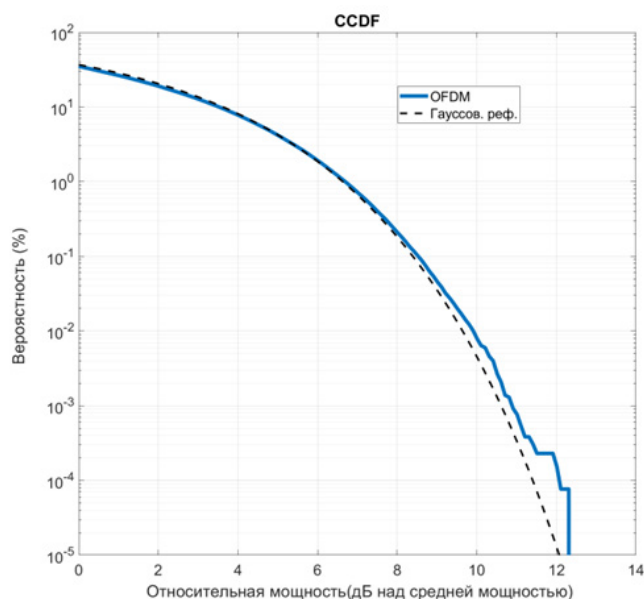


Рисунок 1

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-фактора 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 представлены различные методы снижения пик-фактора: оконные функции (peak windowing), жёсткое клипирование (hard clipping), сигналзависимые алгоритмы (tone reservation, active constellation extension). Одним из наиболее прогрессивных методов стал Peak cancellation crest factor reduction (PC-CFR). Данный метод имеет один из лучших показателей по снижению пик-фактора, при этом он использует существенно меньшие вычислительные ресурсы в сравнении с другими методами.

Уже несколько лет компания ЦИТМ «Экспонента» ведёт исследование и разработку систем снижения пик-фактора, основанных на прогрессивном методе PC-CFR. И теперь мы готовы 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 и является гибкой и конфигурируемой в режиме «онлайн», не требуя переконфигурации проектов.

Описание PC-CFRex-IP

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.

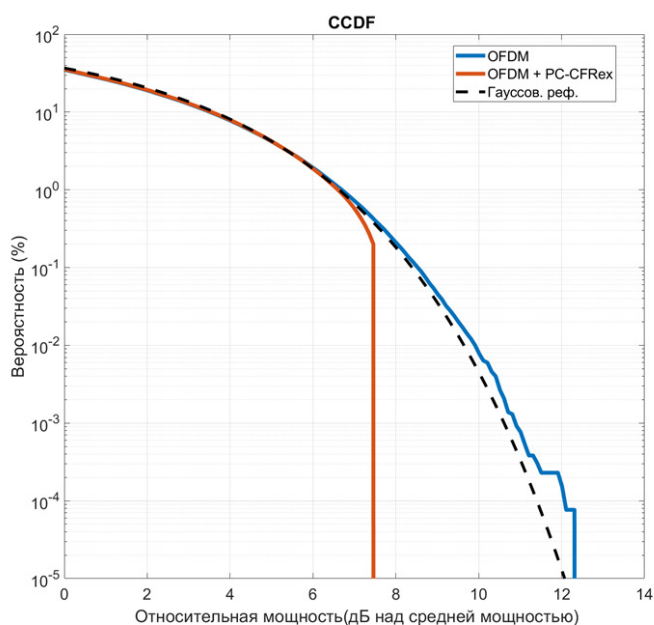


Рисунок 2

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

Снижение пик-фактора осуществляется за счёт использования специальных коэффициентов импульсных характеристик – peak cancellations. Коэффициенты загружаются через стандартный интерфейс AXI-4Lite. Максимальная скорость загрузки ограничена только производительностью интерфейса AXI-4Lite. 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 шириной полосы частот 50 МГц с использованием и без использования IP-ядра PC-CFRex-IP.

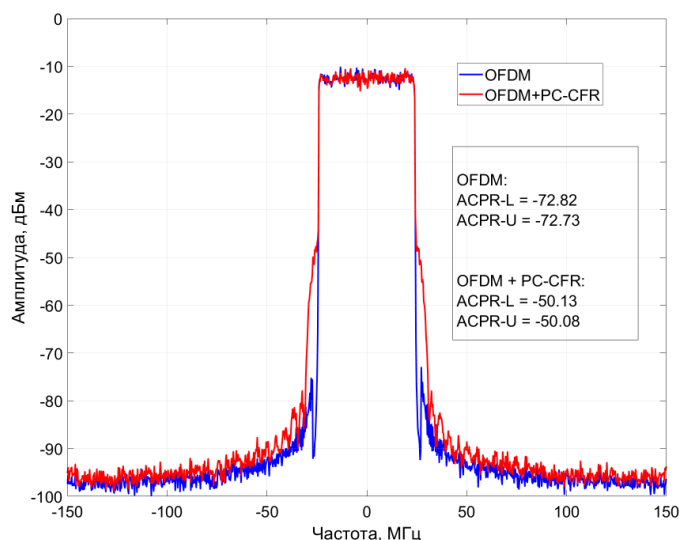


Рисунок 3

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

Значение EVM_{rms} при использовании PC-CFRex-IP для OFDM с модуляциями 256-QAM/64-QAM 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.

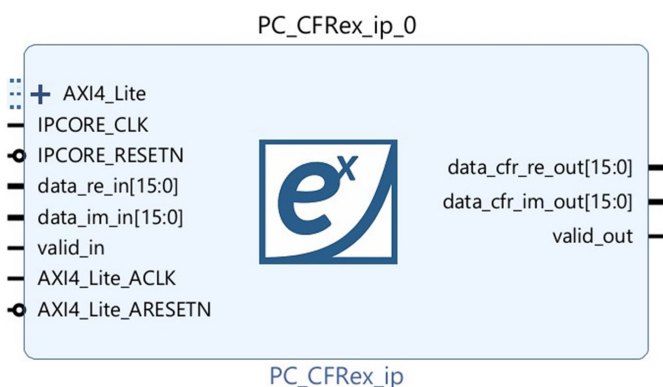


Рисунок 4

Технические характеристики

- Архитектура – Non data aided (Peak cancellation+Hard clipper)
- Максимальная 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 кол-во стадий обработки – 3
- LUT – 11300
- DSP – 30
- 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 СнК. Специалисты ЦИТМ «Экспонента» помогут интегрировать IP-ядро PC-CFRex-IP в текущие или будущие проекты и учтут любые требования и пожелания заказчика.

Свяжитесь с нами, чтобы узнать больше технических подробностей!

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