

СНИЖЕНИЕ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ ВЫСОКИХ ЗНАЧЕНИЙ ПИК-ФАКТОРА СИГНАЛОВ В СИСТЕМЕ McWiLL

О.А. Шорин, Генеральный директор ООО «НСТТ», профессор, д.т.н., oshorin@gmail.com;
Г.О. Бокк, директор по науке ООО «НСТТ» д.т.н., bgo@nxtt.org.

УДК 621.396

Аннотация. Рассмотрен один из вопросов, связанных со снижением негативного влияния высоких значений показателя пик-фактора (*PAPR*) сигналов *OFDM*, препятствующих эффективной работе усилителей мощности, повышающих энергопотребление и способствующих быстрой разрядке аккумуляторов. Отмечается, что в системах подвижной радиосвязи стандарта *McWiLL* достигнут определенный прогресс в решении такой задачи. В результате чего было достигнуто преимущество над другими общеизвестными системами связи последних поколений. Но в то же самое время в стандарте *McWiLL* был упущен еще больший потенциально достижимый выигрыш от разработанного метода из-за того, что при организации скоростных соединений на нескольких подканалах расширение ресурса в первую очередь предусматривает увеличение спектральных компонент, а потом уже добавление временных слотов. Отмечено, что это может привести к полной потере положительного эффекта.

Ключевые слова: пик-фактор, *PAPR*, *OFDM*, перемежение частот, спектральные компоненты.

REDUCTION OF THE NEGATIVE INFLUENCE OF HIGH VALUES OF THE PEAK FACTOR OF SIGNALS IN THE McWiLL SYSTEM

O.A. Shorin, General director of LLC «NXTT», professor, doctor of technical science;
G.O. Bokk, science director of LLC «NXTT», doctor of technical science.

Annotation. One of the issues associated with reducing the negative impact of high values of the peak factor (*PAPR*) of *OFDM* signals preventing the effective operation of power amplifiers, increasing power consumption and contributing to the rapid discharge of batteries is considered. It is noted that in the mobile radio systems of the *McWiLL* standard, some progress has been made in solving this problem. As a result an advantage was achieved over other well-known communication systems of the latest generations. But at the same time the *McWiLL* standard missed even more potentially achievable gain from the developed method due to the fact that when organizing high-speed connections on several subchannels, resource expansion primarily involves increasing the spectral components and then adding time slots. It is noted that this can lead to a complete loss of a positive effect.

Keywords: peak factor, *PAPR*, *OFDM*, frequency interleaving, spectral components.

Проблема высокого пик-фактора (*PAPR*) *OFDM*-сигналов является одной из ключевых для систем связи, начиная с поколения *4G*. Требования умеренных искажений *OFDM*-сигнала в условиях больших значений *PAPR* порождают высокие требования к характеристике линейности передатчика в широком динамическом диапазоне. В результате возникает необходимость применения усилителей мощности «класса А», обладающих низким КПД (ниже 10%). На базовых станциях (БС) это приводит к заметному росту энергопотребления, а на абонентских станциях (АС) к удорожанию аппаратуры и быстрой разрядке аккумулятора. Последнее обстоятельство особенно критично. Из-за него в серии стандартов *LTE* и *LTE-Advance* в линиях связи «вверх» (*Up-Link*) в базовом режиме работы исключили использование

сигналов *OFDM* [1, 2]. Применяемые вместо этого сигналы *SC-OFDM* не обладают высоким показателем *PAPR*, но и не обладают высокими качествами чистых *OFDM*-сигналов, связанными с эффективной работой в условиях замираний и многолучевого распространения. На текущем этапе идет активный поиск сигнальных структур на базе или подобных *OFDM*, которые бы обладали указанными высокими качествами, но имели низкий, или хотя бы умеренный, уровень *PAPR*.

По этому вопросу в системе подвижной связи *McWiLL* достигнут определенный прогресс, позволивший добиться определенных преимуществ над общеизвестными системами связи последних поколений. Оригинальная организация радиосигнала позволила сохранить структуру *OFDM*, и одновременно ограничить предельный уровень *PAPR* в 16 раз во внутренней части и в 14 раз на краях рабочего диапазона частот. В результате оказалось возможным применять в базовом режиме работы *OFDM* модуляцию и в линиях *Up-Link* при гарантированной длительности работы АС без подзарядки в течение 1-2 суток.

Основная идея, позволившая добиться указанного результата, состоит в использовании перемежающейся структуры спектрального распределения поднесущих частот *OFDM*-сигнала, для организации ресурсных элементов (подканалов), динамически распределяемых для организации каналов связи с абонентами [3]. Ресурсный элемент радиотракта в системе *McWiLL* состоит из одного подканала (*SubChannel*) на одном тайм-слоте. Подканал организует спектральную составляющую ресурсного элемента, а тайм-слот – временную.

На рис. 1а и рис. 1б показана структура подканала для случаев работы в полосе 1 МГц, находящихся в центре и с краю рабочего диапазона частот. Частотный разнос поднесущих в подканале составляет 125 кГц для случая работы внутри полосы и 109,375 кГц в случае работы на краях.

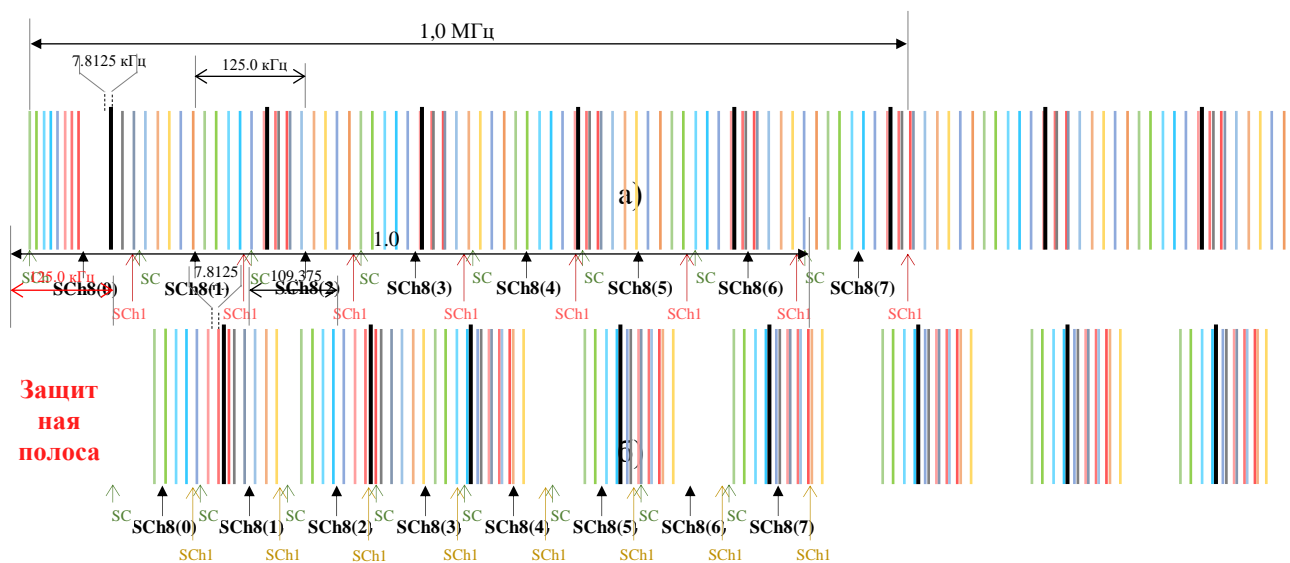


Рисунок 1

Так как АС использует в базовом режиме работы один подканал, то спектр транслируемого ею сигнала в отдельном тайм-слоте может быть представлен в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 W(k) &= (a_I(k), a_Q(k)), \quad k = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, \\
 a_I(k) &= \sum_{i=0}^{L_f} \{H_I(k)d_I(i) - H_Q(k)d_Q(i)\}, \\
 a_Q(k) &= \sum_{i=0}^{L_f} \{H_I(k)d_Q(i) + H_Q(k)d_I(i)\},
 \end{aligned} \tag{1}$$

где: k – номер поднесущей, входящей в состав используемого абонентской станцией подканала; $W(k)$ – вектор, состоящий из синфазной a_I и ортогональной a_Q квадратурных компонент сигнала, транслируемого на k -й поднесущей; L_f – параметр информационной нагрузки (*Load Factor*), устанавливающий, сколько информационных символов модуляции будет отображаться на 8 поднесущих в процессе операции расширения спектра; H_I и H_Q – синфазная и ортогональная компоненты матрицы Адамара, используемой для расширения спектра в режиме распределения L_f информационных символов модуляции (d_I, d_Q) на 8 поднесущих частот.

Из (1) следует, что из-за операции расширения спектра, а также из-за возможного применения *QAM*-модуляции при формировании информационных символов, амплитуды и фазы спектральных компонент разных поднесущих будут различаться. Но из-за того, что частотный разнос между 8 поднесущими подканала будет либо в 16 раз (в середине полосы) или в 14 раз (на краях полосы) больше шага сетки размещения поднесущих, то на длительности одного символа *OFDM* (без учета защитных интервалов) будет размещаться либо 16, либо 14 периодов повторения сигнала, формируемого АС.

На рис. 2 для примера показан случай сигнала, сформированного АС в 0-ом подканале. Рассмотрена ситуация использования модуляции *QAM16* для формирования информационных символов.

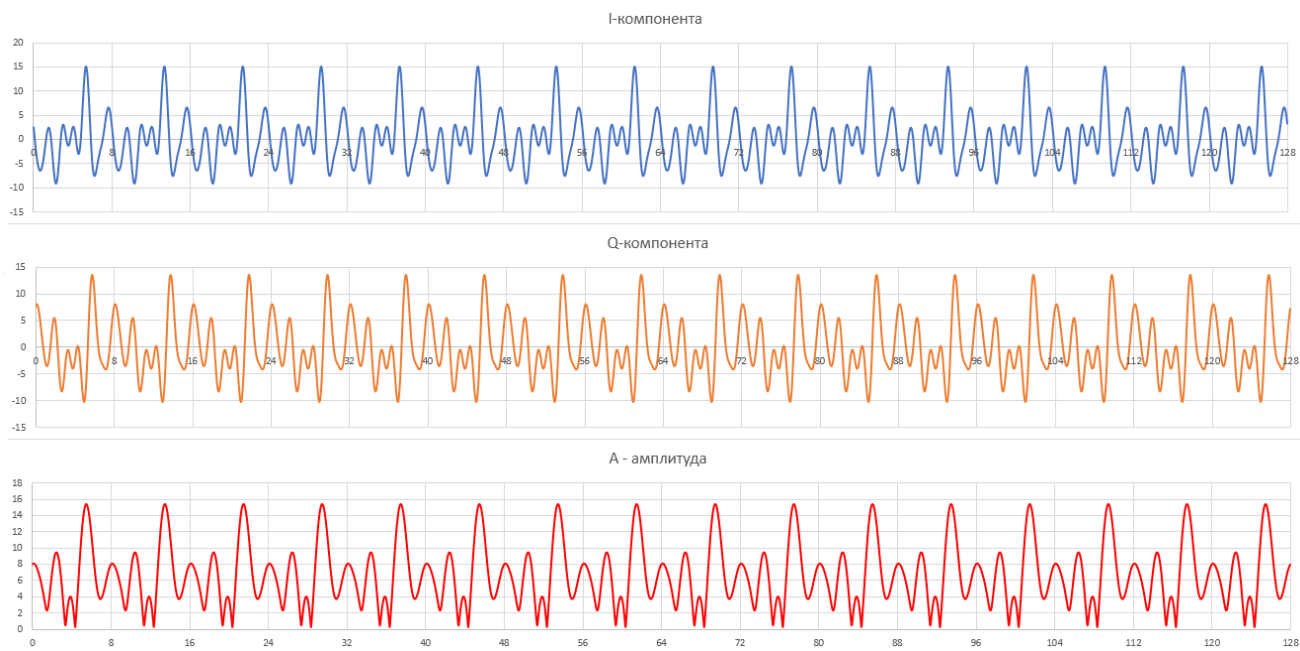


Рисунок 2

Можно видеть, что транслируемый сигнал повторяется 16 раз на рабочем интервале *OFDM*-символа, составляющем 128 мкс (рассматривался случай работы внутри диапазона, в группе частот № 2). На подканалах с другими номерами (1, 2, ..., 7) сигналы тоже будут иметь периодическую структуру, за исключением того, что на каждом из 16 отрезков они будут приобретать свой собственный дополнительный фазовый набег. Именно это позволяет разделить на приеме сигналы разных подканалов. Но амплитудная зависимость будет строго периодичной для всех подканалов.

В результате этого вся мощность сигнала не может собраться в одной дискретной позиции отсчета. Максимум концентрации оказывается «размазанным» по 16 позициям. *PAPR* может достигать 8. И если при прилегающей структуре поднесущих из-за нелинейных искажений высокого *PAPR* в рабочую полосу попадают все комбинационные компоненты до 15-го порядка, то из-за применения перемежающейся структуры, показанной на рис. 1, начиная

с 3-го порядка комбинации начинают выходить за полосу и подавляться фильтрующими схемами. Фактически требования к *PAPR* снижаются в 16 раз.

Заключение. Применение перемежающейся структуры для организации подканалов позволяет в системе *McWiLL* сократить предельный уровень пик-фактора сигналов, транслируемых абонентами до 16 раз. Но при организации высокоскоростных соединений на ресурсе нескольких подканалов указанный выигрыш исчезает, так как схема расширения, предусмотренная в *McWiLL*, ориентирована, в первую очередь, на добавление подканалов спектра, а потом уже тайм-слотов.

Литература

1. S. Sesia, I. Toufik, M. Baker. LTE – the UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice // John Wiley&Sons, 2011, – p. 752.
2. 3GPP TS 36.104 V8.5.0 (2009-03) // 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception (Release 8).
3. ГОСТ Р 58166-2018. Технические требования к радиointерфейсу широкополосной подвижной радиосвязи (ШПР). Организация протоколов и алгоритмов работы на канальном и физическом уровнях. Основные параметры и технические требования. – М.: Стандартинформ, 2018. – 142 с.
4. Шорин О.А., Аверьянов Р.С. Оценка уровня интерференций для сигналов с OFDM-модуляцией // Электросвязь, 2015. – № 12. – С. 55-59.
5. S. Sesia, I. Toufik, M. Baker. LTE – the UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice // John Wiley&Sons, 2011, – p. 752.
7. Лохвицкий М.С., Сорокин А.С., Шорин О.А. Мобильная связь: стандарты, структуры, алгоритмы, планирование – М.: 2018.
8. Шорин О.А. Вероятность перегрузки сотовых систем связи с учетом подвижности абонентов // Электросвязь, 2004. – № 5.
9. Косинов М.И., Шорин О.А. Повышение емкости сотовой системы связи при использовании зон перекрытия // Электросвязь, 2003. – № 3.