

УДК 621.391.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШУМА АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НА БЕСПРОВОДНЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ ДИАПАЗОНА 60 ГГц

А. А. Мальцев, Р. О. Масленников, А. В. Хоряев

Нижегородский госуниверситет им. Н. И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия

В работе рассматривается влияние шума квантования аналого-цифровых преобразователей на характеристики систем беспроводной передачи данных с одной несущей и со многими ортогональными поднесущими. Показано, что для каналов связи без временной дисперсии система с одной несущей может иметь разрядность аналого-цифрового преобразователя на $1\div 2$ бита меньшую, чем для систем со многими ортогональными поднесущими. В то же время для каналов связи с сильной частотной селективностью (преобладающих в беспроводных системах передачи данных) разрядности аналого-цифрового преобразователя, необходимые для работы систем с одной несущей и со многими ортогональными поднесущими, совпадают.

ВВЕДЕНИЕ

Современные системы беспроводной связи традиционно включают в себя как аналоговые, так и цифровые блоки обработки сигналов. Основными функциями аналоговых (видео- и радиочастотных) блоков являются перенос сигнала с видеочастоты на частоту несущей на передающей стороне и обратный перенос радиосигнала с несущей частоты на видеочастоту на приёмной стороне. В свою очередь, цифровые блоки осуществляют формирование передаваемого видеосигнала на передатчике и восстановление переданной информации по принятому видеосигналу на приёмнике.

Интерфейсом между аналоговыми и цифровыми блоками обработки сигналов являются аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи (АЦП и ЦАП соответственно). Эти преобразователи неизбежно вносят в передаваемый и принимаемый сигналы шумы квантования, вызванные ограниченной разрядностью этих модулей. Свойства шумов квантования, вносимых АЦП и ЦАП, и их влияние на характеристики цифровых систем связи активно исследуются [1–3]. При этом практически более важными являются характеристики шумов квантования АЦП, т. к. повышение разрядности и улучшение характеристик для АЦП, как правило, существенно сложнее, чем для ЦАП.

Рассматриваемая проблема влияния шума квантования АЦП на характеристики систем связи в настоящее время наиболее актуальна для перспективных локальных систем передачи данных (систем Wi-Fi) диапазона 60 ГГц [4, 5]. Большое количество свободного для использования спектра в данном частотном диапазоне позволяет создавать беспроводные системы связи с используемой полосой частот $1\div 2$ ГГц и скоростями передачи данных до $2\div 7$ Гбит/с. Для этого необходима разработка АЦП со скоростями преобразования до нескольких гигагерц и высокой разрядностью, что является технически сложной задачей. Поэтому в настоящее время актуальной является проблема определения допустимых характеристик АЦП, которые бы удовлетворяли требованиям, предъявляемым к ним системами связи диапазона 60 ГГц.

В данной работе выполнено исследование влияния шума квантования АЦП на характеристики двух систем связи, которые являются наиболее перспективными для использования в беспроводных локальных сетях передачи данных диапазона 60 ГГц: систем, использующих ортогональное частотное уплотнение многих поднесущих частот (Orthogonal Frequency Division

Multiplexing, OFDM) [6, 7], и систем, использующих схему модуляции с одной несущей частотой и выравнивание принимаемого сигнала в частотной области (Single Carrier with Frequency Domain Equalization, SCFDE) [8]. Параметры рассматриваемых OFDM- и SCFDE-систем соответствуют типичным параметрам локальных систем передачи данных Wi-Fi частотного диапазона 60 ГГц [4]. Сравнение таких OFDM- и SCFDE-систем с точки зрения влияния на их работу шума квантования и определения минимальной разрядности АЦП, необходимой для работы каждой из систем, является весьма важным для выбора типа модуляции для перспективных беспроводных систем связи частотного диапазона 60 ГГц.

Модели рассматриваемых OFDM- и SCFDE-систем связи кратко описаны в разделе 1 настоящей работы. В разделе 2 влияние шума квантования АЦП исследуется путём нахождения для данных систем связи отношения ρ мощности принимаемого сигнала к мощности вносимого шума квантования. В свою очередь, раздел 3 содержит результаты прямого численного моделирования влияния шума квантования АЦП на характеристики вероятности битовой ошибки (P_{BER}) в OFDM- и SCFDE-системах радиосвязи. Выводы приведены в заключительном разделе 4.

1. МОДЕЛИ OFDM- И SCFDE-СИСТЕМ СВЯЗИ

На рис. 1 показаны блок-диаграммы OFDM- (рис. 1а) и SCFDE- (рис. 1б) систем связи. Передатчик OFDM-системы связи [7] (см. рис. 1а) включает в себя блок кодирования, перемежения и модуляции, который преобразует входную двоичную информацию в квадратурно-амплитудно модулированные комплексные сигнальные созвездия. Эти созвездия передаются по многим параллельным поднесущим. Переход между частотным представлением множества поднесущих и их совокупным временным представлением осуществляется с помощью обратного быстрого преобразования Фурье. Для преодоления влияния многолучевого запаздывания (частотной селективности) в канале связи к временным отсчётам получаемого после обратного быстрого преобразования Фурье сигнала добавляется так называемый циклический префикс. После добавления циклического префикса сформированный на видеочастоте OFDM-символ переносится на радиочастоту для передачи по беспроводному каналу связи.

На приёмном конце OFDM-системы связи принимаемый сигнал переносится с радиочастоты на видеочастоту, преобразуется в цифровой вид с помощью аналого-цифрового преобразователя и далее обрабатывается в цифровой области. Система синхронизации приёмника позволяет выбрать временное окно внутри каждого OFDM-символа (при этом циклический префикс принимаемого сигнала отбрасывается), и к принимаемому сигналу внутри этого временного окна применяется прямое быстрое преобразование Фурье для определения значений сигналов на отдельных поднесущих (в частотной области) [7]. При этом частотная передаточная характеристика канала связи оценивается в приёмнике по известным пилотным сигналам (известным поднесущим). Это позволяет восстановить переданные сигнальные созвездия на каждой поднесущей с помощью относительно простой процедуры выравнивания в частотной области. Далее производится демодуляция принятых квадратурно-амплитудно модулированных созвездий и последующие деперемежение и декодирование принятых данных.

Для передатчика SCFDE-системы связи [8] (см. рис. 1б) блок кодирования, перемежения и модуляции принципиально не отличается от соответствующего блока OFDM-системы связи. Однако получаемые на его выходе квадратурно-амплитудно модулированные созвездия используются для модулирования одной несущей частоты сразу во временной области. Передача модулированных сигналов осуществляется отдельными блоками, к которым для преодоления влияния многолучёвости также добавляется циклический префикс. После добавления циклического префикса сформированный таким образом SCFDE-символ переносится на радиочастоту.

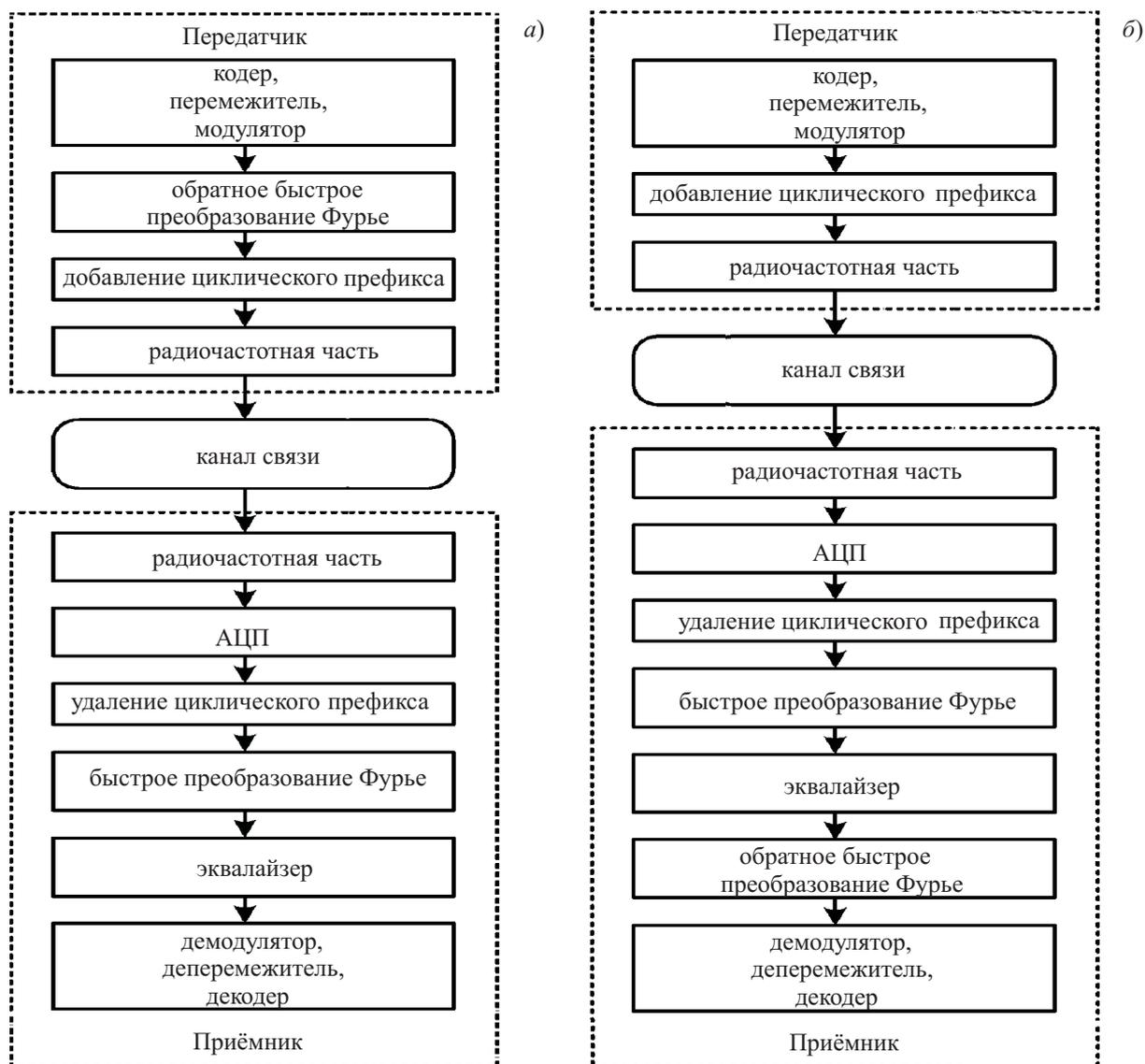


Рис. 1. Блок-диаграммы OFDM- (а) и SC-FDE- (б) систем связи

На приёмном конце SCFDE-системы связи принимаемый сигнал переносится на видеочастоту и преобразуется в цифровой вид с помощью аналого-цифрового преобразователя. Система синхронизации приёмника позволяет выбрать окно внутри каждого SCFDE-символа (при этом циклический префикс отбрасывается), и к принимаемому внутри этого окна сигналу применяется прямое быстрое преобразование Фурье. Такой переход позволяет легко выравнять принимаемый сигнал в частотной области (аналогично OFDM-системам). Однако для демодуляции и декодирования выровненный в частотной области сигнал преобразуется обратно во временную область с помощью обратного быстрого преобразования Фурье. Далее демодуляция, деперемеживание и декодирование в SCFDE-системе осуществляются во временной области.

Параметры OFDM- и SCFDE-систем, использованных в работе для численного моделирования, приведены в табл. 1.

Выбранные значения параметров сигналов являются типичными для персональных и локальных систем передачи данных, работающих в диапазоне 60 ГГц [4, 5]. Параметры OFDM-

Таблица 1. Параметры OFDM- и SCFDE-систем

Параметр	OFDM	SCFDE
Частота дискретизации, МГц	1 280	960
Размерность быстрого преобразования Фурье	1 024	1 024
Число (под)несущих, используемых для передачи данных	768	1 024
Размер циклического префикса (ЦП)	1/4 (256 отсчётов)	1/4 (256 отсчётов)
Длительность символа, мкс	1 (включая ЦП)	1,33 (включая ЦП)
Интервал между (под)несущими, МГц	1,25	0,94
Виды модуляции ¹	ДФМ, 4-КАМ, 16-КАМ	ДФМ, 4-КАМ, 16-КАМ
Помехоустойчивое кодирование	Свёрточный код (133 ₈ , 171 ₈) со скоростью кодирования 1/2	Свёрточный код (133 ₈ , 171 ₈) со скоростью кодирования 1/2

¹ ДФМ — двоичная фазовая модуляция, 4-КАМ — четырёхпозиционная квадратурно-амплитудная модуляция, 16-КАМ — 16-позиционная квадратурно-амплитудная модуляция

и SCFDE-систем выбирались таким образом, чтобы выровнять скорости передачи информации в двух системах и обеспечить их сравнение в одинаковых условиях.

В качестве моделей канала связи была взята модель канала с плоской частотной характеристикой и аддитивным белым гауссовским шумом и многолучевая экспоненциальная модель рэлеевского канала связи с отсчётами импульсной переходной характеристики, имеющими независимые рэлеевские распределения и среднюю мощность, спадающую по экспоненциальному закону с характерным временем затухания 30 нс.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ШУМА АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

В данном разделе влияние шума квантования АЦП на OFDM- и SCFDE-системы радиосвязи исследовалось путём измерения мощности этого шума с помощью численного моделирования и последующей оценки влияния шума квантования в предположении, что данный шум эквивалентен аддитивному белому гауссовскому шуму той же мощности. Шум квантования определяется как разница между значением аналогового сигнала на входе АЦП и получаемым квантованным значением этого сигнала в цифровой области. В численном моделировании измеряемой величиной являлось отношение ρ мощности сигнала на входе АЦП к мощности шума квантования.

Следует отметить, что в АЦП шум квантования может появляться благодаря двум различным эффектам. Во-первых, входной диапазон АЦП ограничен определёнными максимальным и минимальным значениями, что приводит к усечению входного сигнала, если его величина находится вне входного диапазона АЦП. Шум квантования, определяемый эффектом усечения сигнала, далее будем называть шумом усечения. Во-вторых, число выходных уровней АЦП конечно и определяется его разрядностью. При выполнении преобразования АЦП ставит в соответствие неквантованному входному сигналу наиболее близкий к нему выходной сигнал из дискретного на-

бора возможных уровней. Шум квантования, определяемый дискретностью выходных значений АЦП, далее будем называть шумом дискретизации.

Очевидно, что величина ρ для любых типов входных сигналов АЦП зависит от отношения максимальной амплитуды в шкале АЦП к среднему уровню входного сигнала. Для учёта этой зависимости в выполненном численном моделировании величина ρ измерялась как функция коэффициента ослабления входного сигнала относительно шкалы АЦП. Коэффициент ослабления входного сигнала определялся как отношение максимального входного значения АЦП к среднеквадратическому отклонению входного сигнала. Установление коэффициента ослабления в практических системах связи выполняется схемами автоматической регулировки усиления. Задача нахождения оптимального рабочего диапазона автоматической регулировки усиления, реализующего требуемый режим работы АЦП, также является актуальной и связана с определением требуемой разрядности АЦП.

На рис. 2 показаны измеренные с помощью численного моделирования величины ρ в зависимости от коэффициента ослабления для рассматриваемых OFDM- и SCFDE-систем связи для случаев рэлеевского канала и канала с аддитивным белым гауссовским шумом. Результаты приведены для различной разрядности АЦП (от 4 до 12 бит). Как видно из рис. 2, для всех рассмотренных случаев существует некоторое оптимальное значение коэффициента ослабления входного сигнала, которое максимизирует величину ρ . При коэффициенте ослабления входного сигнала, большем оптимального значения, в общей мощности шума квантования доминирует шум дискретизации. При коэффициенте ослабления, меньшем оптимального значения, преобладающим является шум усечения.

Из вида приведённых на рис. 2 зависимостей ρ от коэффициента ослабления следует, что в области преобладания шума дискретизации над шумом усечения (область больших коэффициентов ослабления) мощность шума квантования для заданной разрядности АЦП приблизительно одинакова для всех рассмотренных случаев (правые части всех графиков на рис. 2 имеют одинаковый вид). В данной области значений коэффициентов ослабления увеличение разрядности АЦП на 1 бит приводит к повышению ρ приблизительно на 6 дБ.

В свою очередь, мощность шума усечения начинает преобладать в общей мощности шума квантования при значениях коэффициента ослабления ниже оптимального. Мощность шума усечения зависит от распределения значений синфазной и квадратурной составляющих входного сигнала во временной области. Следует отметить, что функции распределения квадратурных составляющих входного сигнала определяются видом модуляции, используемой в передатчике, и характеристиками канала связи (искажениями сигнала, внесёнными каналом связи).

Для OFDM-системы связи передаваемый сигнал может рассматриваться как взвешенная сумма гармонических сигналов различной частоты. Поэтому, в силу центральной предельной теоремы, во временной области OFDM-сигнал имеет распределение, близкое к гауссовскому. Как видно из рис. 2, зависимости величины ρ от коэффициента ослабления для канала с аддитивным белым гауссовским шумом (рис. 2а) и рэлеевского канала (рис. 2б) совпадают для всех видов модуляции (ДФМ, 4-КАМ и 16-КАМ). Это связано с тем, что распределение OFDM-сигнала во временной области практически не зависит от типа канала и вида модуляции.

Для SCFDE-системы распределение принимаемого сигнала зависит как от вида модуляции, так и от типа канала связи. В канале с аддитивным белым гауссовским шумом (см. рис. 2в) зависимости величины ρ от коэффициента ослабления ведут себя по-разному для разных видов модуляции. Эти зависимости совпадают для ДФМ- и 4-КАМ-модуляций, однако отличаются для более сложной модуляции 16-КАМ. Для SCFDE-системы в рэлеевском канале (см. рис. 2г) многолучевое распространение приводит к наложению множества отдельных переданных отсчётов во временной области, что опять делает временное распределение сигнала близким к гауссов-

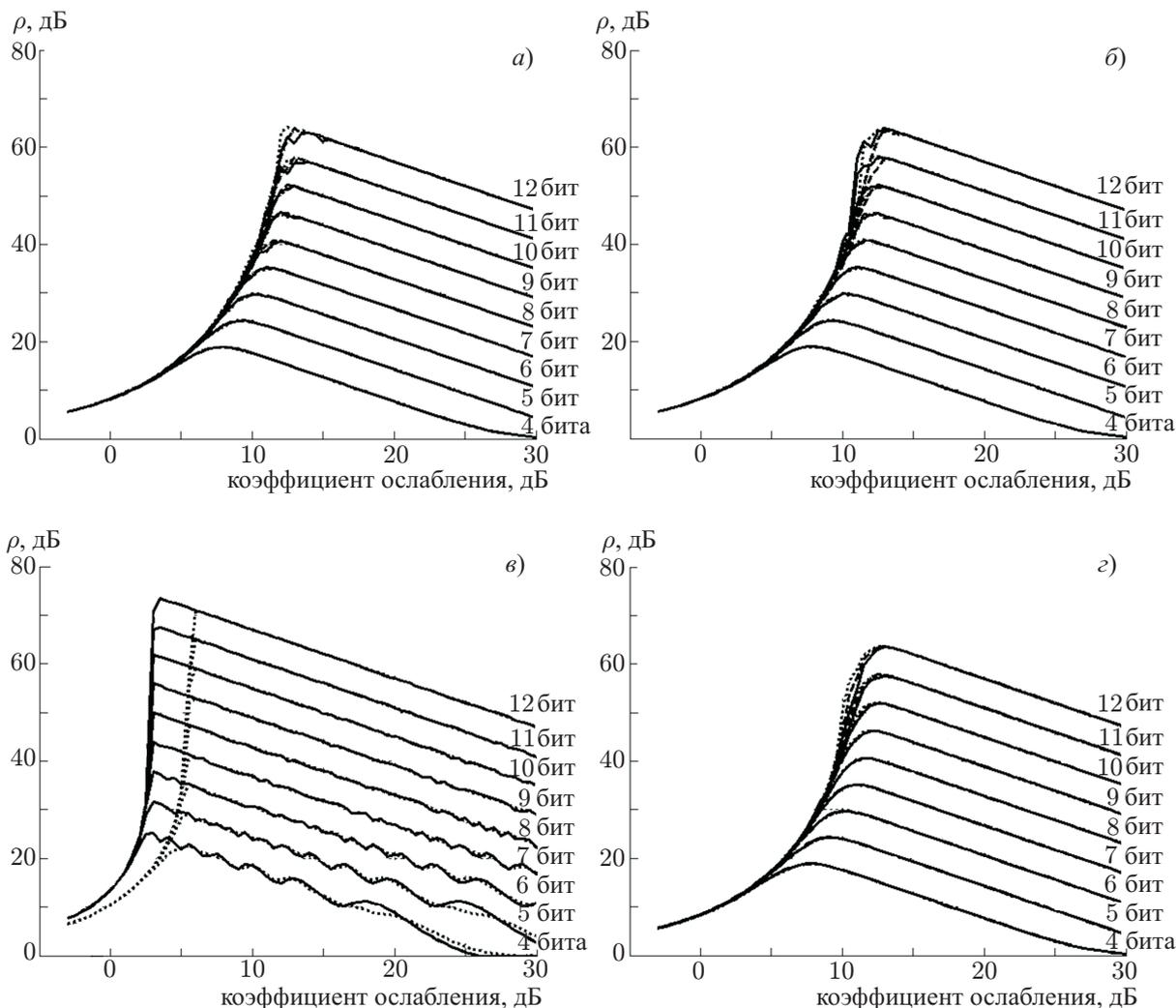


Рис. 2. Зависимости величины ρ от коэффициента ослабления входного сигнала для OFDM-системы в канале с аддитивным белым гауссовским шумом (а) и рэлеевском канале (б) и SCFDE-системы в канале с аддитивным белым гауссовским шумом (в) и рэлеевском канале (г) для разрядности АЦП от 4 до 12 бит. Сплошные линии соответствуют ДФМ, штриховые — 4-КАМ, пунктирные — 16-КАМ

скому распределению и приводит к практическому совпадению зависимостей ρ от коэффициента ослабления с соответствующими зависимостями для OFDM-системы (см. рис 2а, б, г).

Для систем связи диапазона 60 ГГц предполагается, что наибольший порядок квадратурно-амплитудной модуляции, который будет в них использоваться, ограничен 16 позициями модуляции (16-КАМ). Предварительное моделирование OFDM- и SCFDE-систем связи показало, что использование в этих системах модуляции 16-КАМ совместно со схемой свёрточного помехоустойчивого кодирования с порождающими полиномами кода $(133, 171)_8$ и скоростью кодирования $1/2$ требует обеспечения общего отношения сигнал/шум не менее 10 дБ для канала с аддитивным белым гауссовским шумом и 15 дБ для частотно-селективного рэлеевского канала. Предельный допустимый уровень ρ рассчитывался из предположения, что мощность шума квантования АЦП должна составлять не более $1/10$ от общего шума беспроводной системы связи. Таким образом, если система связи должна работать в рэлеевском канале, требования к ρ должны быть установлены на уровне $25 \text{ дБ} = 15 \text{ дБ} + 10 \text{ дБ}$. Если система связи должна работать только в частотно-плоском канале с аддитивным белым гауссовским шумом, то требования к мощности

шума квантования АЦП могут быть снижены до $20 \text{ дБ} = 10 \text{ дБ} + 10 \text{ дБ}$.

Из результатов, приведённых на рис. 2, следует, что для OFDM-системы связи минимальное число бит АЦП, обеспечивающее $\rho = 25 \text{ дБ}$, составляет 6. Диапазон значений коэффициента ослабления, гарантирующий требуемый уровень ρ , составляет от 9 до 13 дБ. Если предполагается применение OFDM-системы только в канале с аддитивным белым гауссовским шумом, то разрядность АЦП может быть уменьшена до 5 бит. Для SCFDE-системы связи в канале с аддитивным белым гауссовским шумом требуемое значение ρ может быть обеспечено с использованием 4-битного АЦП при диапазоне коэффициентов ослабления от 4 до 7 дБ, однако применение SCFDE-системы в рэлеевском канале также потребует 6-битного АЦП и диапазона коэффициентов ослабления от 9 до 13 дБ.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШУМА АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НА ВЕРОЯТНОСТЬ БИТОВОЙ ОШИБКИ БЕСПРОВОДНОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Выводы о влиянии шума квантования АЦП, сделанные в предыдущем разделе, основаны на предположении, что шум квантования по своему воздействию на систему связи эквивалентен аддитивному белому гауссовскому шуму той же мощности. Однако очевидно, что статистические свойства шума квантования могут отличаться от статистических свойств аддитивного белого гауссовского шума и верность принятого предположения об эквивалентном воздействии шума квантования на рассматриваемые системы связи должна быть дополнительно проверена прямым моделированием всей системы связи.

В данном разделе представлены результаты прямого численного моделирования рассматриваемых беспроводных систем связи с учётом шума квантования АЦП. На рис. 3 показаны зависимости вероятности битовой ошибки (Bit Error Rate, BER) P_{BER} для OFDM-системы передачи данных от отношения сигнала к мощности аддитивного шума в рэлеевском канале связи. Предполагалось, что OFDM-система использует модуляцию 16-QAM и свёрточное кодирование со скоростью $1/2$. Представлены результаты для случаев идеального АЦП (АЦП имеет бесконечно большую разрядность и входной диапазон, так что шум квантования отсутствует) и 6-битного АЦП с различными уровнями коэффициента ослабления входного сигнала относительно шкалы АЦП (5; 7; 9; 11 и 13 дБ). Аналогичные результаты для SCFDE-системы связи показаны на рис. 4.

Как предполагалось выше, мощность шума квантования АЦП не должна превышать $1/10$ от общей мощности шума. Таким образом, при рассмотрении влияния АЦП на величину P_{BER} системы связи в зависимости от мощности аддитивного шума, деградация в отношении сигнал/шум для достижения требуемого значения P_{BER} по сравнению со случаем отсутствия АЦП должна составлять не более $10 \lg(1 + 1/10) \approx 0,4 \text{ дБ}$. В данной работе в качестве требуемого значения P_{BER} , соответствующего нормальной работе системы связи, было взято значение $P_{\text{BER}} = 10^{-5}$. Как видно из рис. 3 и 4, достижение этого значения P_{BER} для OFDM- и SCFDE-систем в частотно-селективном рэлеевском канале требует отношения сигнал/шум около 15 дБ, как и предполагалось выше.

Из рис. 3 и 4 следует, что выбранный в предыдущем разделе диапазон входных значений коэффициента ослабления $9 \div 13 \text{ дБ}$ для 6-битного АЦП приводит к деградации отношения сигнал/шум для $P_{\text{BER}} = 10^{-5}$ не более, чем на 0,4 дБ, как для OFDM-, так и для SCFDE-систем связи. Таким образом, для целей данного исследования шум квантования АЦП можно считать эквивалентным аддитивному белому гауссовскому шуму.

Также из результатов, приведённых на рис. 3 и 4, следует, что коэффициенты ослабления, максимизирующие ρ , совпадают со значениями коэффициентов ослабления, минимизирующих ве-

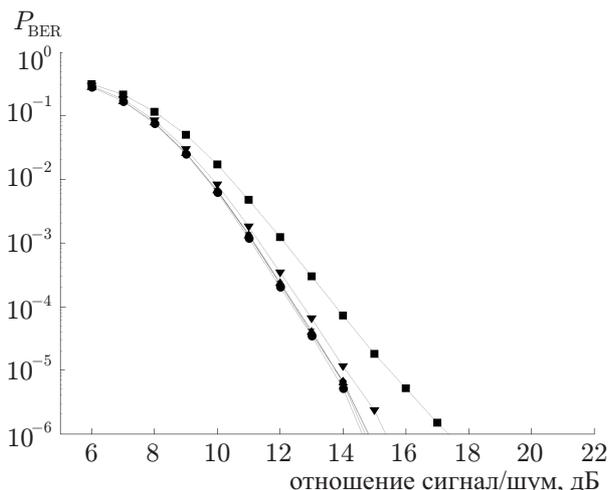


Рис. 3. Зависимости P_{BER} от отношения сигнал/шум для модуляции 16-КАМ со скоростью свёрточного кодирования 1/2 OFDM-системы передачи данных в рэлеевском канале связи для случаев идеального АЦП (●) и наличия 6-битного АЦП с различными уровнями коэффициента ослабления входного сигнала: ■ соответствует коэффициенту ослабления, равному 5 дБ, ▼ — 7 дБ, ▲ — 9 дБ, ◆ — 11 дБ, ★ — 13 дБ

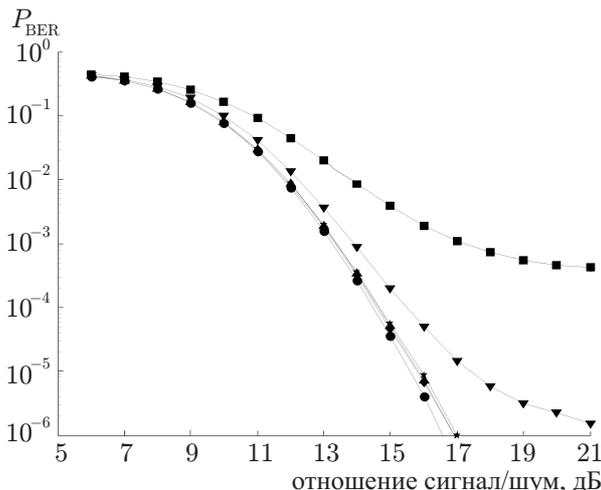


Рис. 4. Зависимости P_{BER} от отношения сигнал/шум для модуляции 16-КАМ со скоростью свёрточного кодирования 1/2 SCFDE-системы передачи данных в рэлеевском канале связи для случаев идеального АЦП (●) и наличия 6-битного АЦП с различными уровнями коэффициента ослабления входного сигнала: ■ соответствует коэффициенту ослабления, равному 5 дБ, ▼ — 7 дБ, ▲ — 9 дБ, ◆ — 11 дБ, ★ — 13 дБ

личину P_{BER} . В обоих случаях оптимальный коэффициент ослабления для 6-битного АЦП находится в диапазоне 9÷11 дБ. Кроме этого, приведённые результаты показывают, что величина P_{BER} более чувствительна к ошибкам в выборе оптимального коэффициента ослабления при его изменении в сторону уменьшения, когда возрастает шум усечения, чем при увеличении коэффициента ослабления. При этом SCFDE-системы являются более чувствительными к таким ошибкам, чем OFDM-системы.

С учётом результатов предыдущего раздела для ρ и данного раздела для P_{BER} в качестве оптимального диапазона коэффициента ослабления входного сигнала в случае 6-битного АЦП для всех типов канала связи можно рекомендовать 9÷13 дБ. При этом нужно принимать во внимание возможную ошибку установления данного коэффициента автоматическими системами регулировки усиления в ± 2 дБ. Рекомендованный диапазон значений коэффициента ослабления одинаков для OFDM- и SCFDE-систем радиосвязи.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе выполнен анализ влияния шума квантования АЦП на перспективные беспроводные системы передачи данных диапазона 60 ГГц. Рассмотрены системы связи, использующие ортогональное частотное уплотнение (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM), и системы связи с одной несущей частотой и выравниванием в частотной области (Single Carrier with Frequency Domain Equalization, SCFDE). Исследование проведено для случаев частотно-плоского канала с аддитивным белым гауссовским шумом и многолучёвого частотно-селективного рэлеевского канала.

Анализ шума квантования АЦП выполнялся путём вычисления отношения мощности сигнала к мощности шума квантования для различных значений коэффициентов ослабления принимае-

мого входного сигнала относительно полной шкалы АЦП. Результаты анализа позволили получить требуемые значения для разрядности АЦП для OFDM- и SCFDE-систем передачи данных в частотно-селективных и частотно-плоских каналах связи. Эквивалентность шума квантования АЦП аддитивному белому гауссовскому шуму с точки зрения влияния на характеристики вероятности битовой ошибки подтверждена результатами прямого численного моделирования.

В работе показано, что для частотно-плоских каналов связи без временной дисперсии система SCFDE может иметь разрядность АЦП на $1\div 2$ бита меньшую, чем OFDM-система для обеспечения такого же уровня шума квантования. Таким образом, для таких каналов фактор влияния шума квантования АЦП может являться существенным (определяющим) при выборе между OFDM- и SCFDE-модуляциями для построения системы связи. В то же время для каналов связи с сильной частотной селективностью, которые преобладают в беспроводных системах передачи данных, величины разрядности АЦП, необходимые для работы OFDM- и SCFDE-систем связи совпадают, и фактор влияния шума квантования АЦП перестаёт быть определяющим при выборе между OFDM- и SCFDE-системами.

Работа выполнена при поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры современной России» (госконтракт 02.740.11.0003).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dardari D. // IEEE Trans. Circuits Systems. I. Regular papers. 2006. V. 53. P. 1741.
2. Moschitta A., Petri D. // IEEE Trans. Instrumentation and Measurement. 2003. V. 52. P. 1302.
3. Nsenga J., Van Thillo W., Horlin F., et al. // Proc. IEEE 65th Vehicular Technology Conference, 2007, VTC2007-Spring, April 2007. P. 1292.
4. Maltsev A., Maslennikov R., Sevastyanov A., et al. // IEEE J. Selected Areas in Communications. 2009. V. 27, No. 8. P. 1488.
5. Maltsev A., Perahia E., Maslennikov R., Sevastyanov A., Lomayev A., Khoryaev A. // IEEE Antennas and Wireless Propagation Lett. 2010. V. 9. P. 413.
6. Bingham J. A. C. // IEEE Communications Magazine. 1990. No. 5. P. 5.
7. Van Nee R. D. J., Prasad N. OFDM for wireless multimedia communications. Artech House, 1999. 260 p.
8. Pancaldi F., Vitetta G., Kalbasi R., et al. // IEEE Signal Processing Magazine. 2008. V. 25, No. 5. P. 37.

Поступила в редакцию 11 сентября 2010 г.; принята в печать 31 октября 2010 г.

STUDYING THE IMPACT OF ADC QUANTIZATION NOISE ON 60-GHZ WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS

A. A. Maltsev, R. O. Maslennikov, and A. V. Khoryaev

We consider the impact of quantization noise due to analog-to-digital conversion (ADC) on characteristics of the wireless communication systems with single carrier modulation and frequency domain equalization (SCFDE) and orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) of multiple subcarriers. It is shown that in the channels without temporal dispersion, the minimum ADC resolution for the SCFDE system can be from 1 to 2 bits lower than for the OFDM system. However, for the channels with strong frequency selectivity, which are the most common for wireless communication systems, the required minimum ADC resolution is the same for the SCFDE and OFDM systems.

A. A. Мальцев, Р. О. Масленников, А. В. Хоряев