

ИСКАЖЕНИЯ В СТАНДАРТЕ ЦИФРОВОГО ВЕЩАТЕЛЬНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ DVB-T

Одними из основных причин искажений сигналов в системе DVB-T связаны с системой модуляции OFDM являются:

- высокий пик-фактор сигнала OFDM,
- чувствительность к смещениям поднесущих частот,
- искажения в переходные моменты между символами.

Высокий пик-фактор (CF) это отношение пикового значения сигнала к его среднеквадратичному значению, обусловленный тем, что в модеме OFDM на периоде символа происходит одновременное сложение модулированных сигналов нескольких тысяч поднесущих, например, при условии, что все поднесущие будут промодулированы одинаковыми битами, пиковый уровень суммарного сигнала станет в N раз больше одиночного значения, величина CF может достигать значения порядка 10 дБ. На рис.1

приведён пример такого случая.

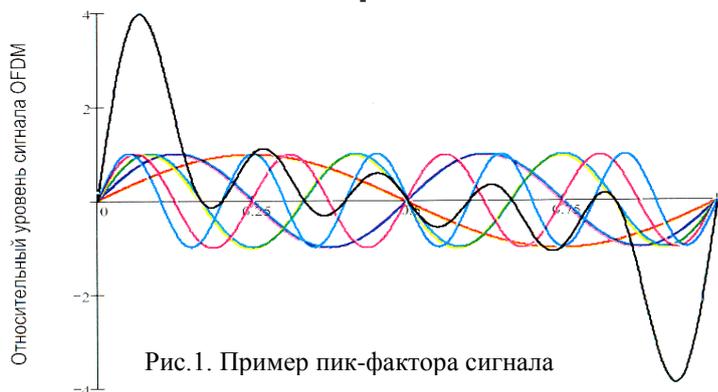


Рис. 1. Пример пик-фактора сигнала

Реальности вероятность возрастания пикового уровня до вышеназванного предела крайне маловероятна, так как с увеличением числа несущих, согласно центральной предельной теореме, распределение суммы их амплитуд приближается к гауссовскому закону, а интегральная функция вероятности для пикового значения сигнала OFDM может быть приблизительно оценена по формуле:

$$P(CF > \gamma) = \left[1 - (1 - e^{-\gamma})^N \right]$$

В частности, для уменьшения пик-фактора могут использоваться блочные коды со специально подобранной книгой кодовых слов, которые минимизируют CF, то есть, таким образом устраняется необходимость передавать сочетания кодовых слов, чрезмерно влияющих на возрастание CF. Однако, хотя для большого количества поднесущих (или высоких скоростей передачи данных) подобные кодовые схемы и существуют, реализуется процесс кодирования/декодирования в таком случае слишком сложно.

Другой метод в общих чертах выглядит следующим образом: для заданного символа OFDM с индексом "n", состоящего из суммы некоторого количества поднесущих частот, имеется набор D векторов P_{(n)i}:

$$P_{(n)} = \left[P_{(n) 1} P_{(n) 2}, \dots, P_{(n) D} \right]$$

При этом каждый из векторов представляет собой фазовый множитель:

$$P_{(n) i} = e^{j \cdot \phi_{(n) i}}$$

где показатель степени (фаза) распределен равномерно на интервале (0...2·π).

Данные, получаемые на выходе маппера (точки сигнальных созвездий, формирующие спектр сигнала OFDM), умножаются на массив векторов P_{(n)i}, формируя D вариантов одного символа OFDM. Затем эти варианты преобразуются во временную область, определяется символ с минимальным пик-фактором и именно он поступает в канал. Для данного метода отсутствуют как таковые ограничения на количество поднесущих частот и вид манипуляции. Единственно, в данном случае необходимо передавать в канале дополнительную информацию об используемом векторе P_{(n)i}.

Очевидно, что присутствие резких всплесков в огибающей сигнала OFDM накладывает ограничение на используемые усилители, которые в данном случае должны работать в неэффективных режимах линейного усиления, поднимая для вещателя уровень затрат на закупку и эксплуатацию оборудования связи [1].

Можно предложить ещё один вариант борьбы с высоким пик-фактором, заключающийся в отслеживании всплесков уровня сигнала OFDM с выработкой противофазного сигнала коррекции, поступающего с выхода специального детектора огибающей (рис.2).

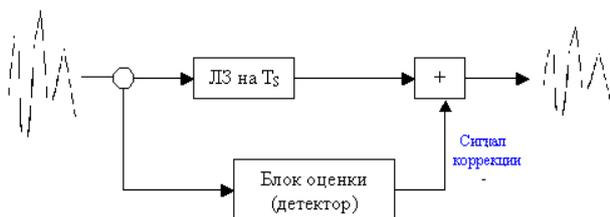


Рис.2. Упрощенная схема коррекции пик-фактора

При этом следует учитывать то, что амплитуда суммарного сигнала изменяется независимо от символа к символу, так как для каждого нового символа OFDM существует свой набор комплексных амплитуд образующих его поднесущих частот. Поэтому в схему введена линия задержки на величину T_s – период символа OFDM.

Вторая проблема – высокая чувствительность к смещениям поднесущих частот, отрицательно влияющая на характеристики системы. Демодуляция сигнала со смещёнными частотами вызывает резкое возрастание частоты следования ошибочных битов (BER). Это является следствием нарушения ортогональности поднесущих OFDM, приводящим к интерференции между ними. Частотные смещения происходят в основном из-за нестабильностей частот гетеродина на передаче и приёме, а также из-за эффекта Доплера.

Рассмотрим первый случай. Известно, что частоты гетеродинов на передающей и приёмной сторонах любой радиосистемы отличаются друг от друга на некоторую случайную величину Δf_{LO} . Математически это может быть выражено посредством умножения принимаемого сигнала во временной области на комплексную экспоненту, в степени которой содержится частота, соответствующая этому сдвигу. Данное явление обычно компенсируется системами автоматической подстройки частоты, однако некоторая остаточная ошибка всё равно существует и вызывает пропорциональное смещение спектра принимаемого сигнала OFDM, приводя в конечном итоге к потере ортогональности. Таким образом, поднесущие частоты OFDM теряют взаимонезависимость вследствие того, что отсчёты БПФ (быстрые преобразования Фурье) берутся не точно в местах максимумов каждой из поднесущих, где, как известно, спектральные составляющие других частот близки или равны нулю, а на позициях отличных от эталонных на неизвестную величину Δf_{LO} (рис.3). Это явление носит название “утечки БПФ” [2].

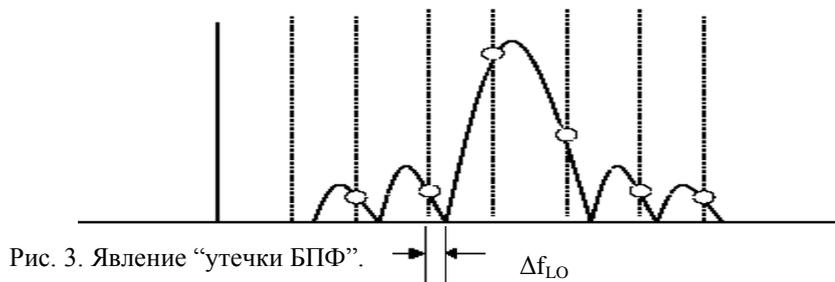


Рис. 3. Явление “утечки БПФ”. Δf_{LO}

На каждую из поднесущих оказывают влияние “утечки” от всех остальных, причем максимальное воздействие будет наблюдаться от близлежащих частот. Согласно центральной предельной теореме сумма большого числа случайных процессов приводит к формированию сигнала с гауссовским распределением. Вследствие этого влияние “утечек БПФ” можно рассматривать как снижающий отношение сигнал-шум в системе в целом, для исправления ситуации существует большое количество алгоритмов отслеживания и подстройки частоты.

Теперь рассмотрим второй фактор, способствующий смещениям поднесущих частот. Движения приёмного и передающего устройств вызывают так называемый доплеровский сдвиг частоты. Здесь нужно учитывать, что в отличие от первого случая, где все поднесущие испытывали одинаковое смещение, каждая из частот теперь получает своё приращение, так как доплеровский сдвиг пропорционален её абсолютному значению. Кроме того, вследствие работы в условиях многолучевого распространения, происходит доплеровское расширение спектра, вызываемое разностью в относительных скоростях для отличных путей распространения сигнала DVB-T/OFDM. В результате этого сигнал оказывается частотно-модулированным по некоторому случайному закону, поскольку число многолучевых компонент весьма значительно. Борьба с данными эффектами методами автоматической подстройки частоты малоэффективна.

Для упрощения процесса синхронизации на приёмной стороне, в составе кадра OFDM передаются на повышенном энергетическом уровне фиксированные пилот-сигналы (177 и 45 в режимах 8k и 2k соответственно). Эти пилоты позволяют приёмному устройству войти в синхронизм и подстроить свои генераторы, благодаря опорной информации, параметры которой априорно ему известны.

Третья проблема – высокий уровень искажений в частотной области в переходные моменты между двумя символами OFDM (рис.4.).

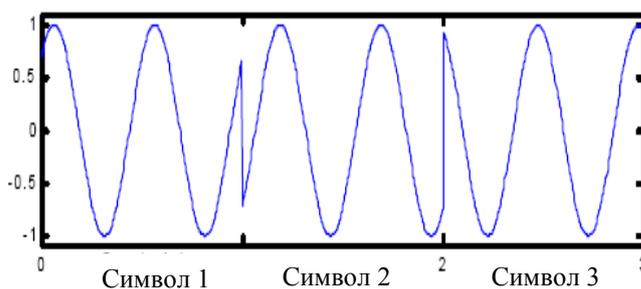


Рис. 4. Межсимвольные переходы.

В связи с этим, очевидно, возникает задача минимизации указанных искажений. Решается она двумя способами: либо с помощью использования формирующих фильтров, либо посредством выбора некоторой оконной функции, отличной от прямоугольной, с целью локализации сигнала OFDM в частотно-временной области, либо обоими способами совместно. Реализуется процедура наложения "окна" посредством умножения отсчётов сигнала после БПФ на отсчёты выбранной функции. Существует очень много типов оконных функций, включая прямоугольную (boxcar), треугольную (triangle), косинус квадратичную (squared cosine), Гаусса (Gauss), Хэмминга (Hamming), Хэннинга (Hanning), Блэкмана (Blackman), Барлетта (Barlett), Кайзера (Kaiser) и др. На рис.5. приведен пример оконной функции Хэмминга и её применения на периоде одного символа OFDM.

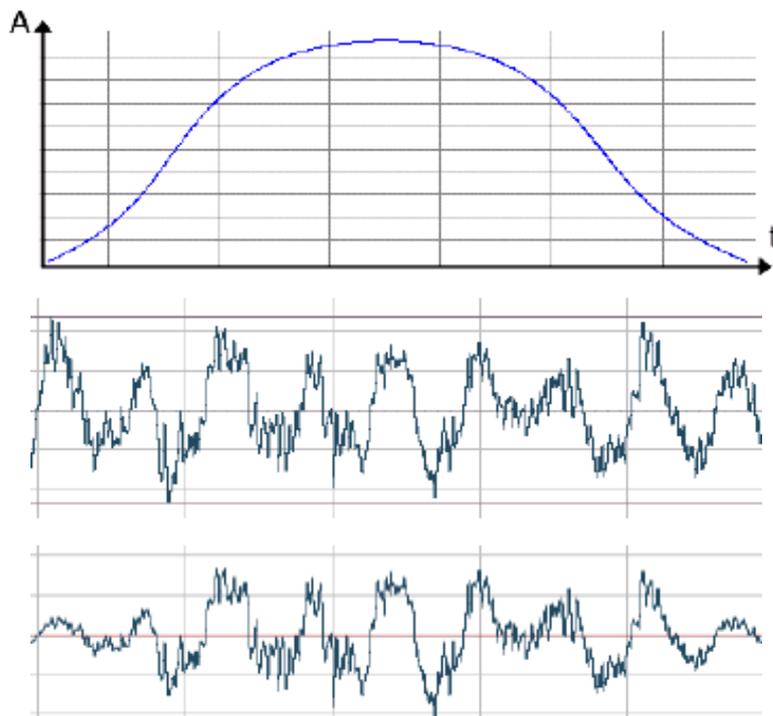


Рис. 5. Оконная функция Хэмминга (вверху), сигнал до наложения оконной функции (в центре), сигнал после наложения оконной функции (внизу).

Литература.

1. Безруков В. Н., Комаров П.Ю. Коржихин Е.О. Специфика коррекции характеристик радиоканала в системе цифрового телевидения по стандарту DVB-T // Труды МГУСИ, Т.1 .-2008г,-С.437-440.
2. Безруков В.Н., Власюк И.В., Комаров П.Ю. Цифровое ТВ: специфические искажения // Мобильные системы.– 2006. – № 11– С. 28-33.
3. Власюк И.В. Крючкова Ю.П., Игнатов Ф.М., «Анализ искажений изображений в современных видеокодеках», Материалы Международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения», 2009 г., . Москва. / Под. ред. чл.-корр. РАН А.С. Сигова. – М.: Энергоатомиздат, 2009, часть 4. – 293с.
4. Меланюк Д.В., Игнатов Ф.М., «Субъективная оценка искажений в цифровом вещательном ТВ», INTERMATIC – 2007 Материалы Международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения». Часть 2, М. 2007 г., стр. 232 – 236.

D.N. ANDREYKO, F.M. IGNATOV

DISTORTIONS IN THE STANDARD OF DIGITAL BROADCASTING TV DVB-T

By one of principal causes of distortions of signals in system DVB-T are connected with system of modulation OFDM are:

- High peak-factor of signal OFDM,
- Sensitivity to displacement subcarrier frequencies,
- Distortions during the transitive moments between symbols.

High peak-factor (CF) this relation of peak value of a signal to its root-mean-square value.

For peak-factor reduction can be used block codes with specially picked up book of code words which minimise CF, that is, necessity to transfer a combination of the code words excessively influencing increase CF thus is eliminated.

It is possible to offer one more variant of struggle against the high peak-factor, consisting in tracing of splashes in level of signal OFDM with development of an antiphase signal of the correction arriving from an exit of the special detector bending around

The second problem – high sensitivity to displacement subcarrier the frequencies, negatively influencing system characteristics.