

Оценка эффективности применения амплитудного ограничения на передающем модуле в системе DVB-T2

Д. К. Нгуен

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
daccu91.spb@gmail.com

Аннотация. В работе выполнено имитационное моделирование передачи информации в системе DVB-T2 при использовании многочастотных сигналов в условиях амплитудного ограничения на передающем модуле. Результаты моделирования показывают, что использование методов уменьшения пик-фактора с помощью усилителя и ограничителя на передающем модуле поможет снизить вероятность ошибки и достичь максимальной эффективности при значении уменьшения пик-фактора 4,5 дБ. Кроме того, в работе также показано, что использование алгоритма приема на основе последовательной компенсации интерференции способствует повышению качества передачи информации для системы DVB-T2.

Ключевые слова: OFDM; PAPR; DVB-T2

I. ВВЕДЕНИЕ

Наземное цифровое видеовещание DVB-T – это наиболее широко распространенная система цифрового наземного телевидения в мире, предоставляющая услуги в эфире более чем в тридцати странах. Для увеличения спектральной эффективности и предоставления новых услуг в 2003 г. консорциум DVB разработал новый стандарт под названием DVB-T2. Прогрессивный стандарт DVB-T2 позволил как минимум на 30 % увеличить емкость телевизионных сетей по сравнению с предшественником DVB-T при той же инфраструктуре сети и частотных ресурсах. Скорость передачи сигнала, устойчивость к помехам, качество картинки и другие показатели в стандарте DVB-T2 примерно в полтора раза выше, чем в DVB-T [1]. Также в системе DVB-T2 обеспечивается более эффективное использование высокоомощных усилителей со множеством передающих антенн. Это достигается применением специальных методов для уменьшения пик-фактора (отношения пиковой мощности к средней – PAPR). В стандарт DVB-T2 включены два метода для ограничения PAPR без ухудшения качества передаваемого сигнала: расширение активного созвездия ACE (Active Constellation Extension) и резервных поднесущих TR (Tone Reservation) [2, 3].

В [4, 5] мы рассмотрели методы жесткого и мягкого ограничений для уменьшения пик-фактора. Результаты моделирования той работы показали, что использование этих методов позволяет уменьшить вероятность ошибки при снижении пик-фактора вплоть до некоторого

значения. С точки зрения минимизации вероятности ошибок эффективное значение уменьшения пик-фактора PR (PAPR Reduction) составляет около 4 дБ. Целью данной работы является оценка эффективности применения амплитудного ограничения на передающем модуле в системе DVB-T2.

II. ХАРАКТЕРИСТИКИ DVB-T2 СИСТЕМЫ

DVB-T2 – стандарт второго поколения для цифрового наземного телевидения предлагающий значительные преимущества по сравнению с DVB-T. Соответственно, DVB-T2 предлагает больший выбор параметров мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM) и схем модуляции. Увеличена и полоса частот. Комбинация различных схем модуляции с размерами быстрого преобразования Фурье (БПФ) и защитными интервалами позволяет конструирование многочастотных и одночастотных сетей для различных приложений: от мобильного приема с низким битрейтом, но устойчивого, до стационарного приема с высоким битрейтом для домашнего и профессионального пользования.

В системе DVB-T2 передается ряд независимых мультимедийных потоков. Каждый поток имеет свою схему модуляции, скорость кодирования и временной интервал. В связи с этим появляется новая функция в системе DVB-T2 для входной предварительной обработки. Она может включать в себя разделитель служб или демультиплексор входных потоков для разделения служб на входы системы DVB-T2. Затем эти потоки передаются в отдельные каналы физического уровня (PLP). Обобщенная схема обработки передаваемых сигналов в системе DVB-T2 представлена на рис. 1.

Структура кадра DVB-T2 показана на рис. 2. На верхнем уровне структура кадра состоит из суперкадров, которые делятся на T2-кадры [6, 7].

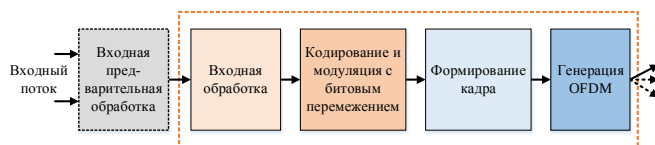


Рис. 1. Схема обработки передаваемых сигналов в системе DVB-T2

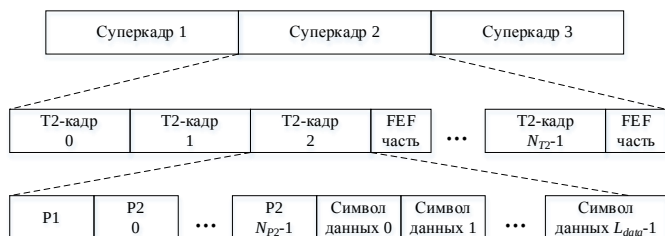


Рис. 2. Обобщённая схема обработки передаваемых сигналов в системе DVB-T2 [7]

Суперкадр может дополнительно иметь части для кадров будущего расширения (Future Extension Frame-FEF). Кадр T2 содержит один символ преамбулы P1, за которым следует один или несколько символов преамбулы P2, за которыми следует конфигурируемое количество L_{data} символов данных OFDM.

III. ОПИСАНИЕ СИГНАЛОВ И АЛГОРИТМА ДЕМОДУЛЯЦИИ

Рассмотрим символ ортогонального сигнала OFDM с N поднесущими частотами и с периодом T в следующем виде [8–10]:

$$s(t) = \sum_{k=1}^N a(t - kT) d_k \cos(2\pi k \Delta f t), \quad (1)$$

где $a(t)$ – огибающая; $t \in [0, T]$; d_k – значения передаваемых символов для k -й поднесущей; $\Delta f = 1/T$.

Сигнал на входе приёмного устройства:

$$r(t) = \lim \left\{ \sum_{k=1}^N a(t - kT) d_k \cos(2\pi k \Delta f t) \right\} + n(t), \quad (2)$$

где $\lim\{\}$ – означает прохождение блока ограничителя на передающем устройстве; и $n(t)$ – аддитивный белый гауссовский шум (АБГШ).

По алгоритму поэлементного когерентного приема сигналов на k -й поднесущей частоте, сигналы на соседних поднесущих являются помехой. Поэтому, предлагаем алгоритм повышения помехоустойчивости приёма многочастотных сигналов на основе последовательной компенсации интерференции сигналов с соседних поднесущих частот.

На первом шаге мы определяем значение d_1 , находя j , удовлетворяющий условию:

$$d_1 = \arg \left\{ \min_{j=1,2} \sqrt{\int_0^T (s_{1j}(t) - r(t))^2 dt} \right\},$$

где $s_{1j}(t) = a(t-T)d_{1j}\cos(2\pi\Delta f t)$; $d_j = \pm 1$ при $j = 1, 2$.

На i -ом шаге значение d_i для i -й поднесущей определяется значениями $d_1, d_2, \dots, d_{i-1}$, полученными на предыдущих шагах и удовлетворяющими условию:

$$d_i = \arg \left\{ \min_{j=1,2} \sqrt{\int_0^T (s_{ij}(t) - r(t))^2 dt} \right\},$$

где $s_{ij}(t) = \sum_{k=1}^N a(t - iT) d_{ij} \cos(2\pi i \Delta f t)$.

После N -го шага ($k = 1, 2, \dots, N$) найдено множество, соответствующее входной реализации процесса $x(t)$.

В следующей части этой работы рассмотрим имитационную модель.

IV. ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ

Структурная схема имитационной модели для исследования показана на рис. 3. Модель построена и реализована в системе Matlab. Она включает в себя источник информации, передающий модуль, блок имитации канала передачи с АБГШ, блоки расчёта PAPR и спектральных характеристик и блок приёмного модули.

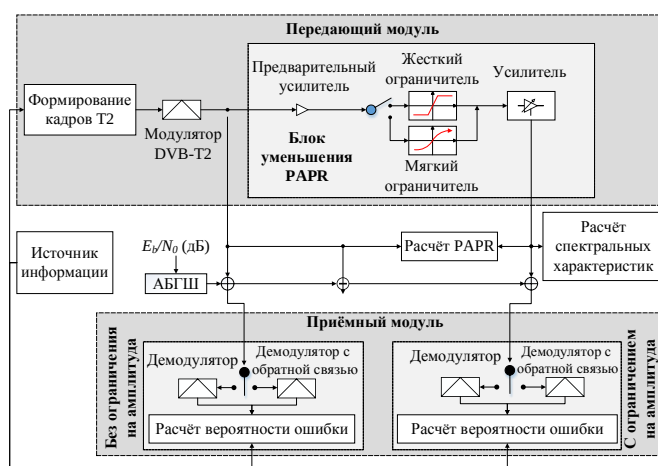


Рис. 3. Структурная схема имитационной модели

По этой схеме созданная псевдослучайная последовательность нулей и единиц в блоке источника информации отправляется в передающий модуль. Этот модуль включает в себя блок формирования кадров T2 по заданному параметру. Кадры T2 поступают в модулятор для того, чтобы вставить соответствующую опорную информацию, известную как пилот-сигналы, позволяющие приемнику компенсировать искажения, вносимые каналом передачи и создать из этого основу для сигнала временной области для передачи. В этой работе мы выбрали размер БПФ 1К, то есть количество поднесущих $N = 853$, рассеянный пилотный шаблон PP4 (показан на рисунке 4) и пилотные группы CP1. В качестве схемы модуляции используется BPSK.

Модулирующий сигнал подаются на блок уменьшения PAPR. Используется 2 метода для ограничения амплитуд: жесткое и мягкое ограничение. Соотношение входной и выходной амплитуд выражается по формулам в [11].

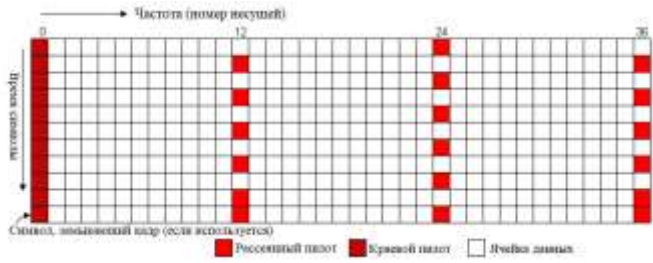
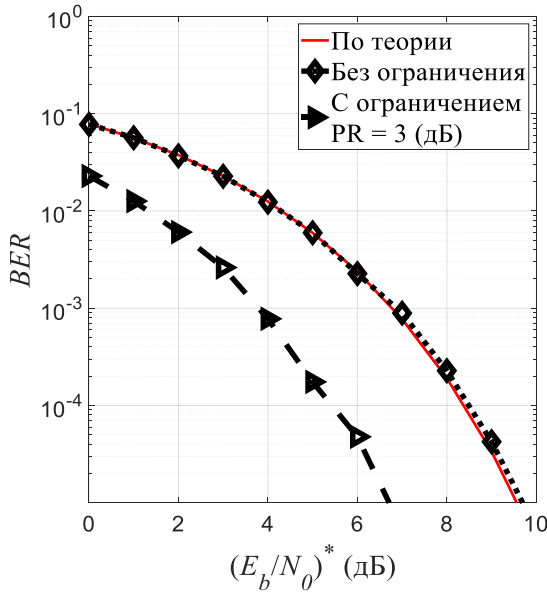
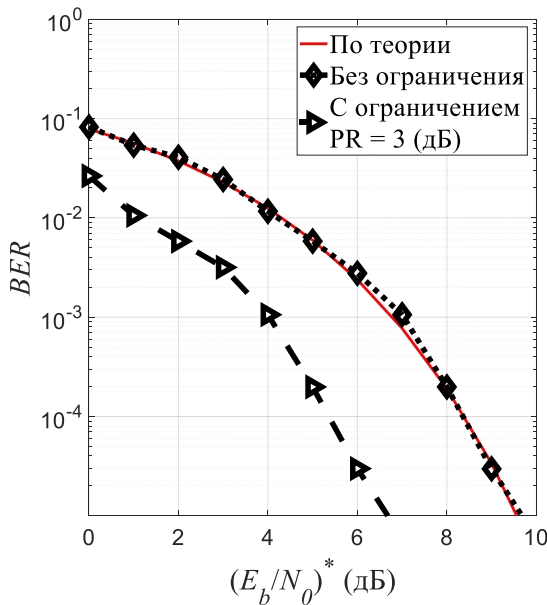


Рис. 4. Рассеянный пилотный шаблон PP4 (SISO) [7]



а)



б)

Рис. 5. Вероятность ошибки в зависимости от отношения сигнал/шум:
а – По модели при $N = 16$; б – Для пакета DVB-T2

Сигнал с ограничением значения пик-фактора передается в блоки расчёта PAPR и спектральных характеристик. Значение PR показывает, на сколько децибел должен быть уменьшен пик-фактор, и определяется по формуле:

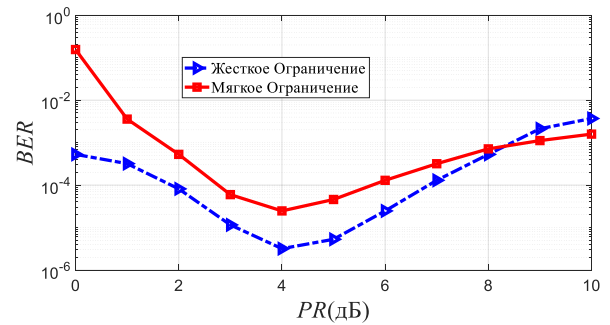
$$PR(\text{дБ}) = PAPR_{\text{orig}}(\text{дБ}) - PAPR_{\text{red}}(\text{дБ}),$$

где $PAPR_{\text{orig}}$ – PAPR принятого сигнала на выходе модулятора и $PAPR_{\text{red}}$ – PAPR сигнала, полученного на выходе усилителя мощности.

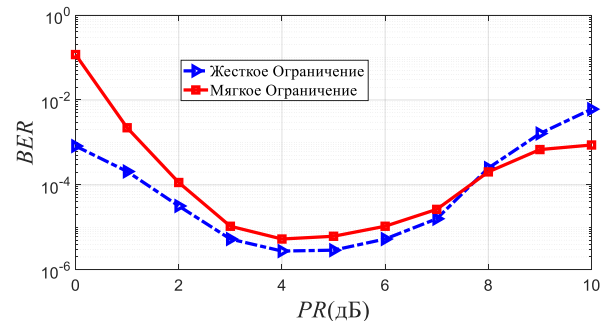
Затем сигнал передается по каналу АБГШ на приемник. В канале связи шум добавляется на том же уровне, что и к сигналу OFDM без ограничения по амплитуде. Модель приемника выполняет процедуры обнаружения и демодуляции сигналов OFDM. Используются 2 алгоритма приёма: алгоритм когерентного поэлементного приёма и алгоритм повышения помехоустойчивости на основе последовательной компенсации интерференции сигналов с соседних поднесущих частот.

V. РЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

На рис. 5 и 6 представлены сравнения результатов моделирования для алгоритма приема на основе последовательной компенсации интерференции сигналов с соседних поднесущих частот в двух случаях: (а) для произвольных пакетов с количеством поднесущих $N = 16$ и (б) для конкретных пакетов стандарта DVB-T2 с добавлением пилотных информационных по шаблону PP4 и количеством поднесущих $N = 853$.



а)



б)

Рис. 6. Вероятность ошибки в зависимости от значения снижения пик-фактора при отношении сигнал-шум 7 дБ: а – По модели при $N = 16$; б – Для пакета DVB-T2

Исходя из анализа графиков, можно заметить, что существует оптимальное по минимизации вероятности ошибки значение PR . Данное значение равно 4–5 дБ, причем как для жесткого, так и для мягкого варианта ограничения. Причем данное значение практически не меняется для случая формата сигналов DVB-T2 и для намного меньшего количества поднесущих частот.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе показана возможность уменьшения значения пик-фактора многочастотных сигналов в системе DVB-T2 с помощью усилителя и ограничителя. При этом, оптимальное значение уменьшения пик-фактора равно 4–5 дБ при отношении сигнал-шум 7 дБ.

Дальнейшие направления исследования связаны с оценкой применения этих методов уменьшения пик-фактора для неортогональных многочастотных сигналов в системе DVB-T2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Шахнович И. "DVB-T2-новый стандарт цифрового телевизионного вещания." *Электроника: Наука, технология, бизнес* 6 (2009): 30-35.
- [2] Mendicute, M., Sobrón, I., Martínez, L. and Ochandiano, P., 2010. DVB-T2: new signal processing algorithms for a challenging digital video broadcasting standard. *Digital Video (In-Tech)*, 2010, pp.185-206.
- [3] Antonov E.O., Rashich A.V., Fadeev D.K., Tan N. Reduced complexity tone reservation peak-to-average power ratio reduction algorithm for SEFDM signals. In 2016 39th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP) (pp. 445-448). IEEE.
- [4] Дак Кы Нгуен, Овсянникова А.С., Завьялов С.В., Волвенко С.В., Смирнова Е.Н. Особенности использования SEFDM сигналов с

оптимальной огибающей в условиях жесткого и мягкого ограничений на передающем устройстве // *Радиотехника*. Т. 84. № 12(24), 2020. С. 52–61. DOI: 10.18127/j00338486-202012(24)-05.

- [5] Nguyen D.C., Zavjalov S.V., Ovsyannikova A.S. "The effectiveness of application of multi-frequency signals under conditions of amplitude limitation". In *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems* (pp. 681-687). 2019, Springer, Cham..
- [6] ETSI, TS. "102 831 V1. 2.1 (08/12) Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)." European Telecommunications Standards Institute, Geneva (2012).
- [7] ETSI, EN. "302 755 V1. 4.1 (2015-07)«Digital Video Broadcasting (DVB).» Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2).
- [8] Макаров С. Б., Рашич А. В. Снижение пик-фактора сигналов с ортогональным частотным уплотнением // *Информатика, телекоммуникации и управление*, 1(2), 2008, 79-84.
- [9] Рашич А.В., Урванцев А.С. Формирование и прием сигналов с неортогональным частотным уплотнением и гладкими огибающими // *DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов*, 8(2), 2018, pp.156-161.
- [10] Гельгор А.Л., Попов Е.А. Оптимизация формы огибающей многокомпонентных сигналов при наличии ограничений на пик-фактор и коэффициент корреляции // *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика, телекоммуникации и управление*, 2010. (5 (108)).
- [11] Nguyen D.C., Zavjalov S.V., Ovsyannikova A.S., Volvenko S.V., Smirnova E., Nguyen C.M. On Application of Hard-Clipping and Soft-Clipping for SEFDM Signal with Optimal Envelope. In: Galinina O., Andreev S., Balandin S., Koucheryavy Y. (eds) *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. NEW2AN 2020, ruSMART 2020. Lecture Notes in Computer Science*, vol 12526. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65729-1_16.