

Лекция 5
СТАНДАРТЫ НАЗЕМНОГО ЭФИРНОГО ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ
DVB-T И DVB-T2

4.1 Стандарт наземного эфирного телевизионного вещания DVB-T2

4.2.1 Общая характеристика стандарта DVB-T2

DVB-T2 (Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial) — второе поколение европейского стандарта эфирного (наземного) цифрового телевидения DVB-T. Стандарт DVB-T2 призван улучшить как минимум на 30% ёмкость сетей цифрового телевидения по сравнению с DVB-T при той же инфраструктуре сети и частотных ресурсах. DVB-T2 принципиально отличается как архитектурой системного уровня (MAC-уровня), так и особенностями физического уровня, вследствие чего **приёмники DVB-T несовместимы с DVB-T2.**

В DVB-T2 используется стандарт сжатия MPEG-4 AVC и OFDM модуляция, однако, с бóльшим количеством поднесущих, чем в DVB-T, обеспечивающая более устойчивый прием цифрового сигнала в условиях многолучевого распространения. В DVB-T2 предусмотрено большое количество различных режимов, что делает этот стандарт очень гибким. Для коррекции ошибок в DVB-T2 применяется такое же кодирование, которое было выбрано для стандарта спутникового телевидения DVB-S2. Сочетание кодирования с низкой плотностью проверок на четность (LDPC) и кодирования Боуза-Чоудхури-Хоквингема (BCH) обеспечивает очень устойчивый сигнал и высокое качество изображения в условиях с высокого уровня шумов и помех.

Имеется несколько опций таких параметров, как число несущих, длительность защитного интервала и размещение пилот-сигналов. Это позволяет снизить до минимума долю служебной информации для любого заданного канала передачи. Существенный прирост устойчивости в сложных эфирных условиях обеспечивает также использование поворота сигнального созвездия с Q-задержкой (см. рис.4.16).

Для обеспечения требуемых условий приема (например, комнатная антенна/антенна на крыше) предусмотрен механизм отдельной настройки устойчивости сигнала в пределах канала для каждой предоставляемой службы. Тот же самый механизм позволяет настроить передатчик так, чтобы дать возможность приемнику экономить энергию посредством декодирования только одной программы, а не всего пакета программ.

4.2.2 Особенности преобразования цифровых потоков в передающих и приемных системах стандарта DVB-T2

4.2.2.1 Классификация и структура цифровых потоков

В стандарте различаются три основных типа магистральных потока: транспортный (Transport Stream – TS), обобщенный инкапсулированный (Generic Stream Encapsulation – GSE) и обобщенный непрерывный поток (Generic Continuous Stream – GCS). Каждый поток представляет собой последовательность пользовательских пакетов (UP – User Packet).

Транспортный поток – это последовательность пакетов фиксированной длины (пакеты MPEG-2 длиной 188 байт)

Поток GSE характеризуется пакетами переменной или фиксированной длины, которая указывается в заголовках этих пакетов.

Поток GCS представляет собой непрерывный поток битов. Реально – это или последовательность пакетов без указания их длины, или пакеты максимальной возможной длины 64 Кбит.

Пакеты каждого магистрального потока объединяются в потоковые ВВ-кадры (рис.4.5).

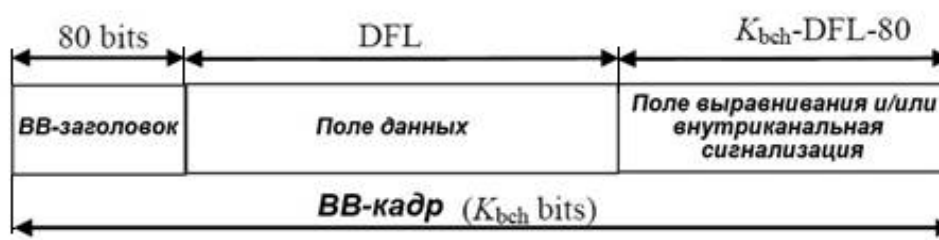


Рисунок 4.5 – Структура потокового ВВ-кадра

ВВ-кадр содержит ВВ-заголовок (80 бит), поле данных и поле выравнивания. В последнем можно передавать данные внутриканальной сигнализации. В заголовке пакета содержится информация о типе транспортного потока, размере пользовательского пакета (при необходимости) и всего поля данных, наличии режимов удаления пустых пакетов.

Стандарт DVB-T2 ориентирован на передачу телевизионных потоков, в которых для выравнивания скорости потока используются пустые пакеты. Поэтому в DVB-T2 предусмотрены средства удаления этой избыточной информации, но с возможностью ее восстановления на приемном конце.

4.2.2.2 Особенности помехоустойчивого канального кодирования в стандарте DVB-T2

При канальном кодировании в DVB-T2 используется, как и в DVB-T каскадное включение *внешнего* и *внутреннего* кодеров. Но в качестве *внешнего* применен не кодер Рида – Соломона, а блочный кодер Боуза-Чоудхури-Хоквингема (BCH). *Внутренним* является кодер LDPC с проверкой на четность. Эффективность исправления ошибок в системах стандарта DVB-T2 благодаря каскадному включению кодеров BCH и LDPC (BCH&LDPC) значительно выше по сравнению с кодерами Рида-Соломона и Витерби, применяемыми в системах стандарта первого поколения DVB-T. В результате в системах и сетях SFN стандарта DVB-T2 скорость кодирования может быть намного выше и общая пропускная способность канала существенно возрастает.

Структура потокового FEC-кадра с BCH&LDPC кодированием представлена на рис.4.6. Полная длина кадра с наложенным помехозащитным кодированием составляет 64800 бит. В качестве опции допускается и более короткий вариант FEC-кадра длиной в 16200 бит. Он может применяться для уменьшения задержек приема низкоскоростных услуг.

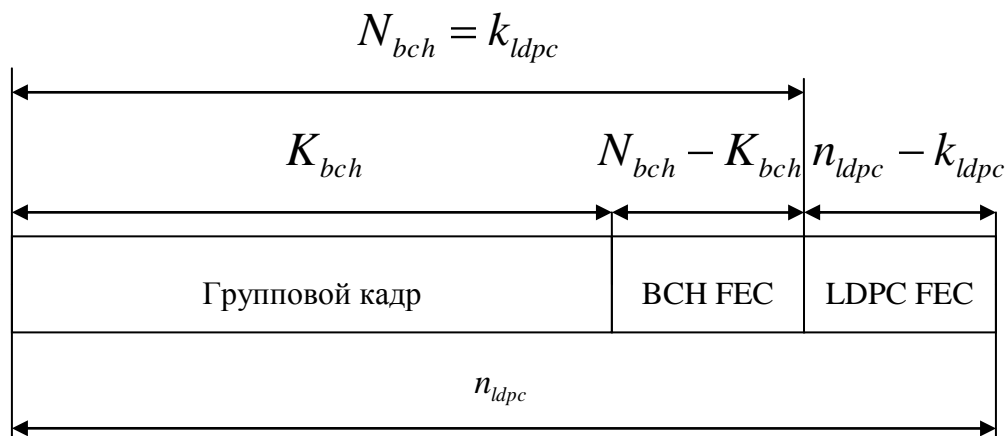


Рисунок 4.6 – Структура потокового FEC-кадра DVB-T2

4.2.2.3 Особенности COFDM в стандарте DVB-T2

При разработке DVB-T2 проводились сравнения нескольких вариантов модуляции. В результате был оставлен вариант COFDM с защитными интервалами GI (Guard Interval), который используется в DVB-T.

В COFDM каждый символ содержит большое количество ортогональных несущих, модулируемых одновременно по фазе и амплитуде. В частности, DVB-T предусматривает два режима формирования сигнала с множественными несущими: 2k и 8k, реализуемые с использованием обратного быстрого преобразования Фурье (IFFT – Inverse fast Fourier transform) соответствующих размерностей. При этом длина защитного интервала выбирается в зависимости от дальности эфирного вещания и других параметров сети передачи. Более длинные защитные интервалы требуются в одночастотных сетях, где сигналы с соседних передатчиков могут приходить на приемник со значительным запаздыванием относительно основного сигнала. Защитный интервал представляет собой надстройку в символе, уменьшающую долю транспортного ресурса. В DVB-T эта надстройка может занимать до 1/4 общего объема передаваемых данных.

С целью уменьшения доли защитного интервала в общем объеме данных в DVB-T2 введены два новых режима: 16k и 32k с соответствующим

увеличением числа ортогональных несущих частот. Переход к режимам с большим числом несущих частот при сохранении абсолютной величины защитного интервала позволяет заметно снизить его долю в общем объеме цифрового потока, что значительно повышает производительность системы передачи данных. Например, при переходе от режима 8к к 32к доля защитного интервала снижается с 25% до 6% (рис.4.7)

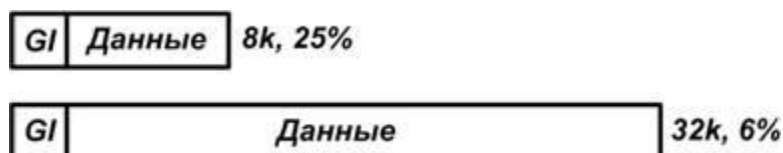


Рисунок 4.7 – Сравнительная оценка доли защитного интервала *GI* в общей длительности символа для режимов 8к и 32к

Максимальная длительность защитного интервала в DVB-T2 превышает 500 мкс, что вполне достаточно для строительства крупной региональной одночастотной сети.

Таким образом, DVB-T2 предлагает более широкий ряд размерностей IFFT и защитных интервалов. Размерности IFFT: 1к, 2к, 4к, 8к, 16к, 32к, а относительная длительность защитных интервалов: 1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4.

Как уже отмечалось, в COFDM каждая несущая подвергается квадратурной модуляции. В стандарте DVB-T высшей является 64-позиционная квадратурная амплитудная модуляция (64-QAM), при которой обеспечивается передача 6 бит информации одной несущей. В DVB-T2 **число позиций увеличено до 256**. При этом **передается одной несущей 8 бит информации**.

Увеличение числа позиций модуляции неизбежно приводит к уменьшению помехозащищенности. Однако, благодаря кодированию LDPC&FEC удается значительно снизить вероятность ошибок и увеличить эффективность использования канала по сравнению с DVB-T до 50%.

Расширенный спектр в режиме 32k стандарта DVB-T2 имеет низкий уровень внеполосных составляющих, соизмеримый с уровнем нормального (не расширенного) спектра, и значительно ниже по сравнению с уровнем в режиме 2k (см. рис.4.8). Кроме того, за счет расширения на 2% рабочей полосы канала 8 МГц, (с 7,61 МГц до 7,77 МГц) дополнительно повышена производительность системы передачи данных.

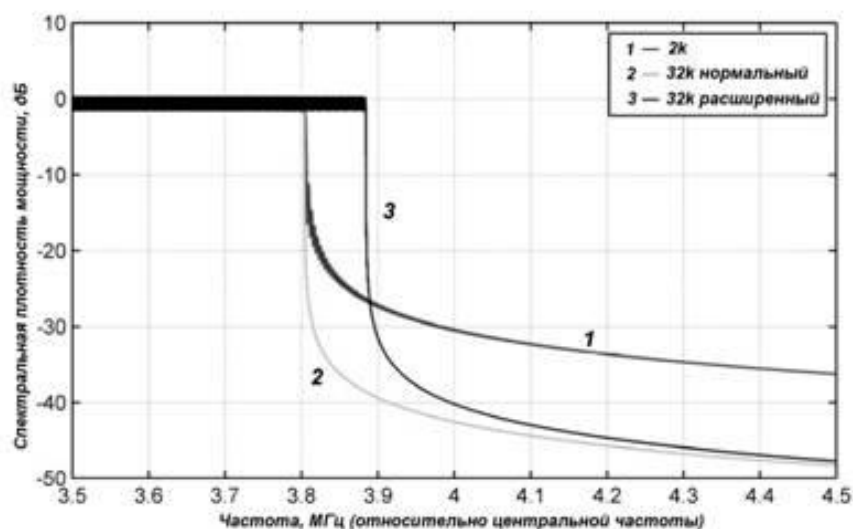


Рисунок 4.8 – Фрагмент теоретического DVB-T2 спектра канала 8 МГц, $GI = 1/8$

Использование распределенных пилот-сигналов. Пилот-сигналы предназначены для передачи служебной информации и несут декодеру информацию о параметрах сигнала, используются для синхронизации, оценки качества канала передачи данных и компенсации канальных искажений.

Различают непрерывные пилот-сигналы, передаваемые на одной и той же несущей, и распределенные, передаваемые на нескольких несущих, а также пилот-сигналы закрытия кадров.

Переменные пилот-сигналы, используемые в DVB-T2 для оценки качества канала, должны располагаться достаточно плотно для слежения за изменениями в каждой из ячеек символов в зависимости от частоты и времени.

В DVB-T2 возможен выбор из 8 различных моделей пилот-сигналов PP1...PP8, что дает возможность системе адаптироваться к конкретным сценариям канала.

Наиболее устойчивой к интерференции является модель PP1 (рис.4.9), имеющая небольшое расстояние между пилот-сигналами.



Рисунок 4.9 – Шаблон PP1 (MISO) распределенных пилот-сигналов

В тоже время, благодаря увеличению этого расстояния, модели PP6 и PP7 (рис.4.10 и рис.4.11) являются более уязвимыми к интерференции, но обеспечивают более высокую производительность передачи информации.



Рисунок 4. 10 – Шаблон PP6 (MISO) распределенных пилот-сигналов



Рисунок 4.11 – Шаблон PP7 (MISO) распределенных пилот-сигналов

Модель распределения пилот-сигналов PP8 (рис.4.12) предназначена для стационарного приема, но не для портативного и мобильного приема.

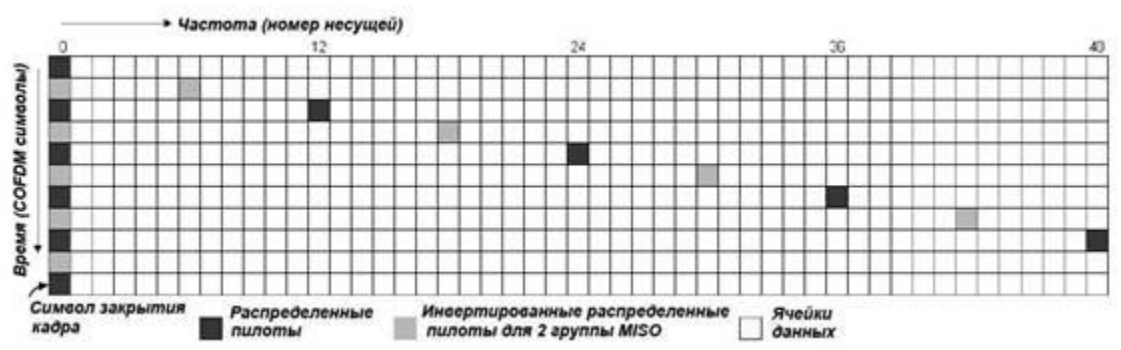


Рисунок 4. 12 – Шаблон PP8 (MISO) распределенных пилот сигналов

Выбор определенной модели распределения пилот-сигналов должен быть осуществлен исходя из компромисса между качеством передаваемой информации (вероятностью ошибок на бит) и производительностью работы системы (скоростью передачи данных).

В результате, если в DVB-T распределенные пилот-сигналы составляют 8% всех несущих (фиксированная модель), то в DVB-T2 этот показатель варьируется в пределах от 1% до 4%.

4.2.3 Структура кадра DVB-T2

Структура кадра DVB-T2 показана на рис.4.13. На верхнем уровне структура кадра состоит из суперкадров, которые делятся на DVB-T2 кадры (в дальнейшем сокращенно - T2 кадры), состоящие из символов OFDM.

Суперкадр может иметь часть для будущего расширения кадра FEF (Future Extension Frame).

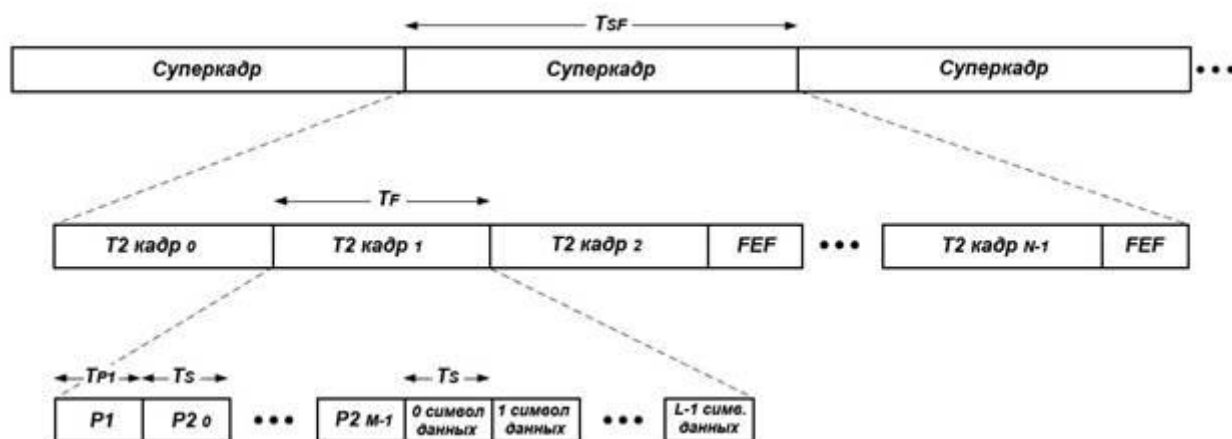


Рисунок 4. 13 – Структура кадра DVB-T2: суперкадры, кадры и OFDM символы

Кадр физического уровня T2 (рис.4.13) начинается с преамбулы P, являющейся OFDM символом (рис.4.10) с дифференциальной фазовой модуляцией DBPSK (Differential phase shift keying), защитными интервалами с двух сторон (в сумме $1/2$ длительности символа).

Для канала 8 МГц общая длительность символа 224мкс, включающая длительность полезной части «А» символа $T_{PA}=112$ мкс плюс два защитных интервала «С» и «В» длительностью $T_{PIC} = 59$ мкс и $T_{PIB} = 53$ мкс (рис.4.14).

Символ P1 служит для синхронизации, идентификации потока DVB-T2, а также содержит информацию о T2 кадре, а именно, число номинальных несущих в OFDM (1k–32k) и формат передачи следующей за P1 преамбулы P2 (режимы MISO или SISO).

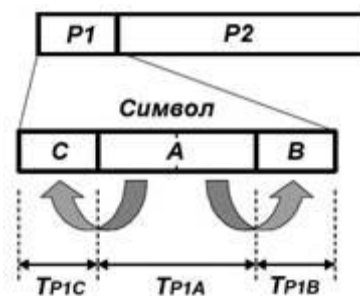


Рисунок 4.14—Структура символа P1

Вся остальная информация о T2 кадре (длина, вид модуляции, скорость кодирования и т.п.) передается в преамбуле P2, которая может занимать несколько OFDM-символов.

Далее следует поле данных (информационные OFDM символы). Замыкает T2 кадр специальный символ закрытия OFDM кадра завершающий OFDM-символ (рис.4.9 - рис.4.13).

Коммерческие требования к DVB-T2 включали обеспечение различных уровней помехоустойчивости для разных услуг. Это может обеспечиваться использованием разных схем модуляции и степени помехоустойчивого кодирования. В DVB-T2 это достигается путем группировки OFDM символов внутри кадра, так, что каждая услуга передается цельным блоком, занимающим в кадре определенный слот (рис.4.15).

Общий PLP – это информация, общая для группы из нескольких PLP (например, таблицы программ и сервисов PSI/SI для нескольких транспортных потоков).

Потоки PLP типа 1 в T2-кадре не подразделяются на фрагменты – иными словами, в каждом T2-кадре может быть только один фрагмент каждого PLP типа 1.

Наконец, *потоки типа 2* могут в пределах T2-кадра разделяться на несколько фрагментов (от 2 до 6480).

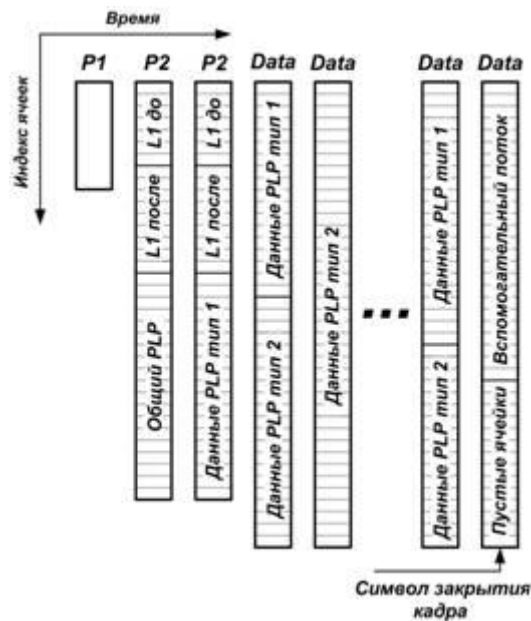


Рисунок 4.15– Структура объединения услуг в T2 кадре

4.2.4 Особенности перемежений в стандарте DVB-T2

В DVB-T2 используется три каскада перемежений:

- битовый перемежитель: рандомизирует биты в пределах FEC-блока;
- временной перемежитель: перераспределяет данные FEC-блока по символам в рамках кадра DVB-T2. Это повышает устойчивость сигнала к импульсному шуму и изменению характеристик тракта передачи.
- частотный перемежитель: он рандомизирует данные в рамках OFDM-символа с целью ослабить эффект селективных частотных замираний.

Это практически гарантирует, что искаженные элементы, в том числе при пакетных ошибках, после деперемежения в декодере будут рассосредоточены по LDPC FEC-кадру, что должно позволить декодеру LDPC выполнить восстановление.

4.2.5 Поворот сигнального созвездия и циклические Q задержки

DVB-T2 использует QPSK, 16 QAM, 64QAM и также 256QAM. Кроме того, сигнальное созвездие может быть повернуто в I/Q системе координат (повернутое созвездие). Такой поворот может существенно повысить

устойчивость сигнала к воздействию помех. Благодаря повороту диаграммы на точно подобранный угол для каждого вида модуляции (29° для QPSK, $16,8^\circ$ – для 16-QAM, $8,6^\circ$ для 64-QAM и $\arctg(1/16)$ для 256-QAM) созвездие приобретает уникальные I,Q координаты (рис.4.16).

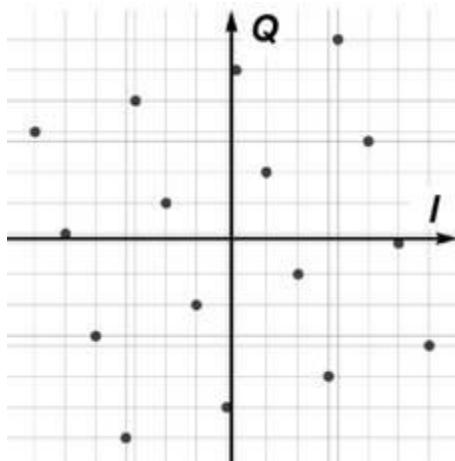


Рисунок 4. 16 – Повернутое созвездие для 16-QAM модуляции

Перед началом вращения квадратурная (Q) координата каждого модуляционного символа циклически сдвигается, т.е. берется из предыдущего символа.

4.2.6 Использование режима MISO

Как отмечалось ранее, для одночастотных SFN сетей может быть введен режим MISO (Multy Input Multy Output), благодаря которому удастся уменьшить интерференционные искажения сигналов в областях перекрытия зон обслуживания передатчиков.

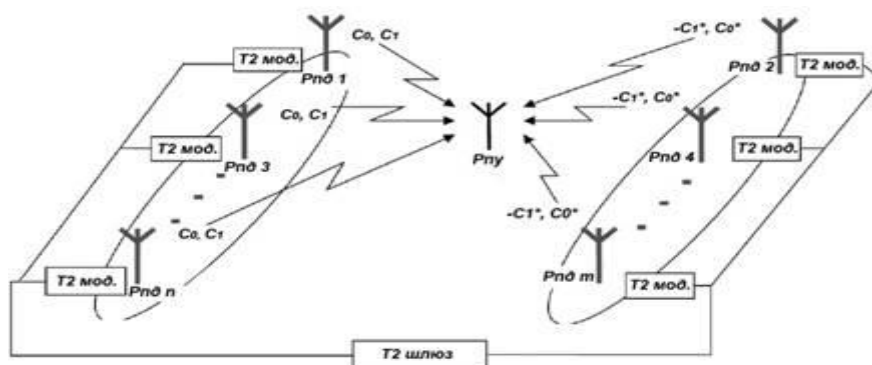


Рисунок 4.17. Обобщенная сеть DVB-T2 MISO

Общая конфигурация сети MISO показана на рис.4.17. Из схемы видно, что основным отличием сети MISO и стандартного сетевого вещания в том, что в MISO сети передается две различных версии полезного сигнала одновременно.

Обычно передатчики географически отделены друг от друга. Передача нескольких версий полезного сигнала в режиме MISO позволяет повысить отношение сигнал/шум в сети или увеличить скорость передачи данных.

В стандарте DVB-T2 для объединения сигналов отдельных каналов используется один из вариантов схемы Alamouti. Одним из основных преимуществ этой конкретной схемы является то, что он может быть реализован относительно простым способом. Использование только одной приемной антенны схемы Alamouti позволяет получить значительное улучшение отношения сигнал/шум.

Основные операции Alamouti в сети на основе MISO можно понять, обратившись к рис.4.17. Каждый из нескольких передатчиков сети входит в одну из двух групп, где каждый передатчик рассматривается как источник полезной информации в паре ячеек.

Источники сигнала первой группы передают немодифицированную версию каждого созвездия, такой, какой они были бы в "стандартных" SFN. Первая пара ячеек показана, как C_0 и C_1 на схеме.

Источники сигнала во второй группе передают измененную версию пары каждого созвездия в обратном порядке. 2-я группа передает C_1^* и C_0^* , где * означает операцию сопряжения.

Приемник восстанавливает компоненты из комбинированных сигналов относительно простым способом, который не требует больших дополнительных сложностей по сравнению со стандартным приемником без обработки по алгоритму MISO.

На схеме также показаны две части оборудования, которые необходимы для того, чтобы сеть работала правильно: T2 шлюз и DVB-T2 модуляторы.

T2 шлюз (интерфейс T2 модуляторов) производит T2-MISO поток, который содержит всю информацию, необходимую для описания содержания и меток времени T2 кадров. T2-MISO поток подается на T2 модуляторы, которые обеспечивают требуемые задержки и Alamouti кодирование.

Все передатчики в MISO сети привязаны к базовой частоте. Таким образом, сигналы синхронизированы по частоте и времени так же, как в «стандартной» сети SFN. Обычно для этой цели используется GPS.

На рисунке показано неограниченное количество передатчиков на группу. Хотя на практике при построении DVB-T2 MISO сети на каждую группу приходится два или три передатчика.

4.2.7 Уменьшение отношения пиковой к средней мощности передачи

Значительную долю расходов на передачу составляет стоимость электроэнергии, используемой для питания передатчиков. COFDM сигналы характеризуются относительно высоким отношением пиковой к средней мощности. В связи с этим в DVB-T2 включены две технологии, позволяющие снизить это отношение примерно на 20%. и существенно снизить расходы на электропитание:

- *резервирование тона*. В этом случае 1% несущих остается в резерве, не перенося никаких данных, но может использоваться передатчиком для введения сигналов, размазывающих пики;

- *активное расширение сигнального созвездия*. В этом случае часть крайних точек созвездия отводится дальше от центра так, что это уменьшает пики сигналов. Так как изменения касаются только крайних точек, уводимых в область, свободную от других точек, это не оказывает существенного влияния на декодирование данных на приемной стороне.

4.2.8 Дополнительные функции стандарта DVB-T2

Спецификация T2 включает два дополнительных инструмента, которые в перспективе можно будет использовать для расширения кадра. Во-первых,

структура кадра T2 предусматривает возможность введения сигнализации для еще несуществующих типов кадров, которые будут предназначены для пока еще не определенных типов сигналов (рис.4.18). Однако содержание

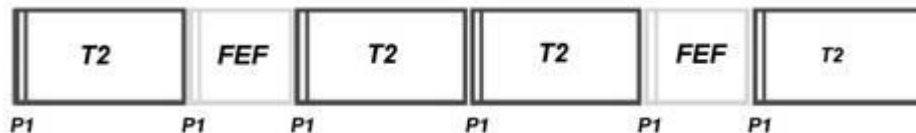


Рисунок 4.18 – Сосуществование T2 кадров и расширение FEF

кадров будущего расширения (FEF Extension Frames) пока не определено. Включение соответствующей сигнализации в спецификацию DVB-T2 позволит ресиверам первого поколения распознать и проигнорировать FEF фрагменты. Но забронированное уже сегодня место обеспечит обратную совместимость первых систем передачи с будущими, в которых эта сигнализация будет переносить информацию о новых типах содержимого.

DVB-T2 также включает сигнализацию, необходимую для будущего применения частотно-временных срезов TFS (Time Frequency Slicing). Хотя основная спецификация предусматривает прием без применения TFS, в сигнализацию включены метки, которые позволят будущим ресиверам, оснащенным двумя тюнерами, работать с TFS-сигналами.

Такой сигнал будет занимать несколько РЧ-каналов (рис.15), и разные фрагменты каждой из услуг будут в общем случае передаваться на разных частотах. Ресивер будет скачками перестраиваться с канала на канал, собирая

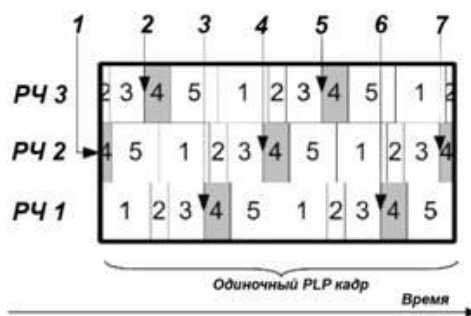


Рисунок 4.15 – Пример реализации TFS на 3-х частотах

фрагменты данных, относящихся к принимаемой услуге. Это позволит формировать пакеты с размерами, значительно превышающими допустимые для одного РЧ-канала, что, в свою очередь, даст возможность выигрыша благодаря статистическому мультиплексированию значительного количества каналов и гибкости частотного планирования.

Таким образом, благодаря введению дополнительных режимов OFDM (16 и 32k), более эффективной защите от ошибок на основе использования кодирования LDPC, использованию и интеграции базовой структуры кадра стандарта DVB-S2, поворота сигнального созвездия с Q-задержкой, снижения пик-фактора при передаче и использования режима MISO в стандарт DVB-T2 обеспечивает существенное улучшение характеристик цифрового телевизионного вещания:

- увеличенная не менее, чем на 30 % пропускная способность и улучшенные характеристики SFN по сравнению с DVB-T;
- возможность передачи программ как на стационарные, так и мобильные приемники;
- широкое использование инфраструктуры DVB-T;
- снижение эксплуатационных расходов на передачу за счет уменьшения отношения пиковой мощности к средней мощности;

Стандарт DVB-T2 позволяет также предоставлять различные цифровые сервисы и услуги:

- оповещение о чрезвычайных ситуациях;
- доступ к государственным услугам в электронном виде;
- широкополосный доступ в Интернет;
- телевидение высокой чёткости HDTV;
- телегид;
- интерактивное гибридное телевидение в стандарте Hbb TV, который объединяет все современные возможности интернета и цифрового телевидения;

- появление в ближайшем будущем 3D-телевидение в новом стандарте DVB 3D-TV.

В настоящий момент цифровое эфирное телевидение в стандарте DVB-T2 ведется уже в большинстве стран Европы.

В Украине тестовое вещание цифрового телевидения в стандарте DVB-T2 с киевской телевышки началось 18 августа 2011 года. С марта 2012 года началась массовая реализация для населения Украины ресиверов-приставок: Trimax TR-2012HD и Strong SRT 8500 для обеспечения возможности приема цифрового эфирного телевидения в стандарте DVB-T2.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем основное отличие стандартов эфирного цифрового телевизионного вещания DVB-T и DVB-T2 от других стандартов группы DVB.
2. Изобразите структуру временного интервала субпотока символа T_s в стандарте DVB-T и поясните ее особенность.
3. Изобразите групповой спектр несущих COFDM сигнала стандарта DVB-T при частотном разносе 1116 Гц и 4464 Гц.
4. Запишите основные параметры COFDM стандарта DVB-T в режимах 2к и 8к.
5. Какие многопозиционные методы модуляции несущих в групповом сигнале COFDM предусмотрены стандартом DVB-T.
6. Поясните отличия *неиерархического* и *иерархического* режимов модуляции.
7. Поясните принцип и основные операции *внешнего* помехоустойчивого канального кодирования в стандарте DVB-T.
8. Поясните принцип и основные операции *внутреннего* помехоустойчивого канального кодирования в стандарте DVB-T.
9. Изобразите упрощенную структурную схему промышленного образца приемника цифрового ТВ стандарта DVB-T.

10. Дайте общую характеристику стандарта DVB-T2 и причины его несовместимости со стандартом DVB-T.

11. Назовите основные типы цифровых потоков, используемых в цифровом телевидении стандарта DVB-T2 и особенности их преобразования на передающей и приемной стороне.

12. Поясните особенности COFDM в стандарте DVB-T2.

13. Назовите основные особенности помехоустойчивого канального кодирования в стандарте DVB-T2.

14. Изобразите структура кадра стандарта DVB-T2.

15. Назовите особенности перемежений в стандарте DVB-T2.

16. Поясните необходимость осуществления поворота сигнального созвездия с Q-задержкой в стандарте DVB-T2.

17. За счет чего обеспечивается уменьшение отношения пиковой к средней мощности передачи в стандарте DVB-T2.

Литература к материалу лекция 4 и 5

1. ETSI EN 302 755 V1.2.1 (2011-02), "Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)", ETSI, Sophia Antipolis, 2011. 177 p.

2. User Requirements for Terrestrial Digital Broadcasting Services. DVB document A004, Dec. 1994.

3. EBU, "Frequency and Network Planning Aspects of DVB-T2", Status: Report, Geneva, 2011. 89 p.

4. Шахнович И. Новый стандарт цифрового телевизионного вещания/ И. Шахнович// ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес, № 6, 2009.

5. Уэллес Н. DVB-T2: Новый стандарт вещания для телевидения высокой четкости/ Ник Уэллес, Крис Нокс// Теле-Спутник, № 11(157), 2008. С. 92-97.
6. Локшин Б. А. Цифровое вещание: от студии к телезрителю / Б. А. Локшин.—М. : Компания САЙРУС СИСТЕМС, 2001.—447 с.
7. Локшин М.Г. Проблемы построения наземных сетей цифрового телевидения// Электросвязь, №3, 2007.
8. Резолюция первой сессии Региональной конференции радиосвязи по планированию наземной радиовещательной службы в частях Районов 1 и 3 в полосах частот 174-230 и 470-862 МГц – Женева, 10-28 мая 2004г.
9. Гельгор А.Л., Попов Е.А. Система цифрового телевизионного вещания стандарта DVB-T: Учеб. пособие. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. — 207 с.
10. Рекомендация МСЕ-R ВТ.1368-6.Критерии планирования наземных цифровых телевизионных систем в ОВЧ/УВЧ диапазонах.
11. Блох В. DVB - T2 – новый стандарт вещания для ТВЧ // Телевидение и радиовещание, №4, 2011. С. 33-35.