

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
СВЯЗИ И ИНФОРМАТИКИ»
(МТУСИ)

Кафедра телевидения и звукового вещания им. С.И. Катаева

Лабораторный практикум

ИЗУЧЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ И ПЕРЕДАЧИ РАДИОСИГНАЛОВ ПО
СТАНДАРТУ DVB-T2

Лабораторная работа №69а. Изучение параметров и характеристик сигнала в
стандарте DVB-T2

Лабораторная работа №69б. Измерение помехоустойчивости внутренней
модуляции DVB-T2 для Гауссовского канала связи

Лабораторная работа №69в. Изучение влияния пик-фактора на работу системы
DVB-T2

Лабораторная работа №69г. Изучение работы DVB-T2 в многолучевом канале
связи

План УМД на 2016/2017 уч. г.

Для студентов направлений подготовки 11.03.02, профиль «Цифровое телерадиовещание» по дисциплине «Телевидение» и 11.03.01, профиль «Аудиовизуальная техника» по дисциплине «Основы телевидения»

Лабораторный практикум

ИЗУЧЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ И ПЕРЕДАЧИ РАДИОСИГНАЛОВ ПО СТАНДАРТУ DVB-T2

Лабораторная работа №69а. Изучение параметров и характеристик сигнала в стандарте DVB-T2

Лабораторная работа №69б. Измерение помехоустойчивости внутренней модуляции DVB-T2 для Гауссовского канала связи

Лабораторная работа №69в. Изучение влияния пик-фактора на работу системы DVB-T2

Лабораторная работа №69г. Изучение работы DVB-T2 в многолучевом канале связи.

Составители: Власюк И.В., к.т.н.
Канев С.А., к.т.н.
Поташников А.М.

Издание утверждено советом факультета Р и Т.
Протокол № 9 от 18 мая 2017г.
Рецензент: Балобанов А.В., к.т.н.

Цель работы: изучить сигнално-кодовые конструкции, используемые в стандарте цифрового телевизионного вещания DVB-T2; изучить возможности выбора параметров передачи и их влияние на сигнал в точке приёма.

Домашнее задание – вычислить длительность защитного интервала системы DVB-T2 для порядков модуляции OFDM 1K и 32K при относительных длительностях защитного интервала 1/4, 19/128, 1/8, 19/256, 1/16, 1/32 и 1/128.

Интерфейс программного обеспечения для выполнения лабораторной работы

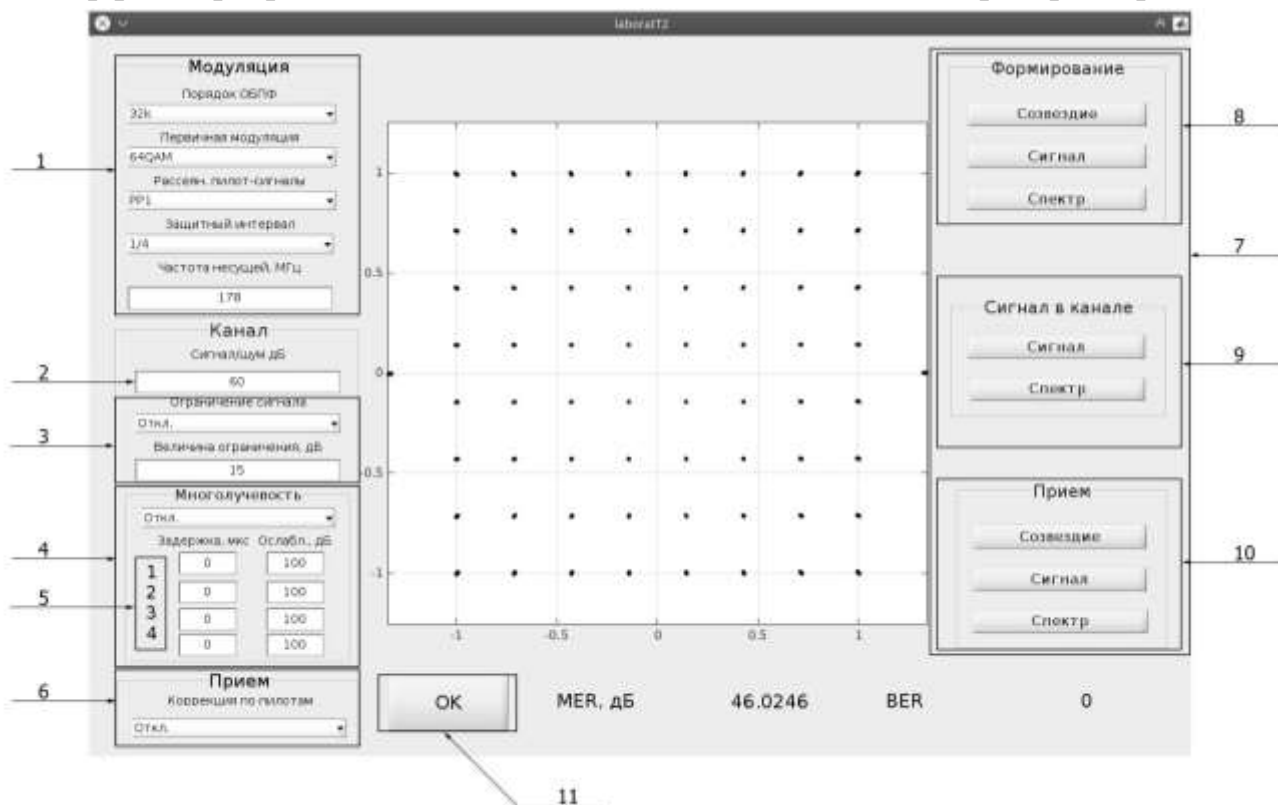


Рисунок 1 – интерфейс ПО для моделирования системы DVB-T2: 1 – параметры модулятора; 2 – ОСШ Гауссового канала связи; 3 – параметры «жесткого» ограничения передатчика; 4 – параметры многолучёвости модели прима; 5 – номер луча («основной» сигнал – луч №0); 6 – включение линейной коррекции АЧХ и ФЧХ; 7 – вывод результатов моделирования; 8 – сигнал на выходе модулятора; 9 – сигнал на выходе передатчика; 10 – сигнал на входе приёмника; 11 – запуск моделирования

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Система DVB-T2. Общие сведения

Задача повышения эффективности систем цифрового телевизионного (ТВ) вещания была решена разработкой стандарта второго поколения DVB-T2, в котором регламентированы новые методы канального кодирования и модуляции. Сочетание стандарта второго поколения DVB-T2 и компрессии видеoinформации MPEG-4 AVC/H.264 дает возможность увеличить число программ в мультиплексе и передавать программы телевидения высокой четкости (ТВЧ).

Система DVB-T2 (рис. 2) обладает повышенной, примерно на 30-50% пропускной способностью, максимально приближена к остальным стандартам цифрового телевизионного вещания DVB-S2 и DVB-C2 в плане форматов данных, необходимых для передачи, и уровней адаптации к сети вещания, в которую входит предобработка изначальных данных, адаптации потока в основной полосе и канальное кодирование.

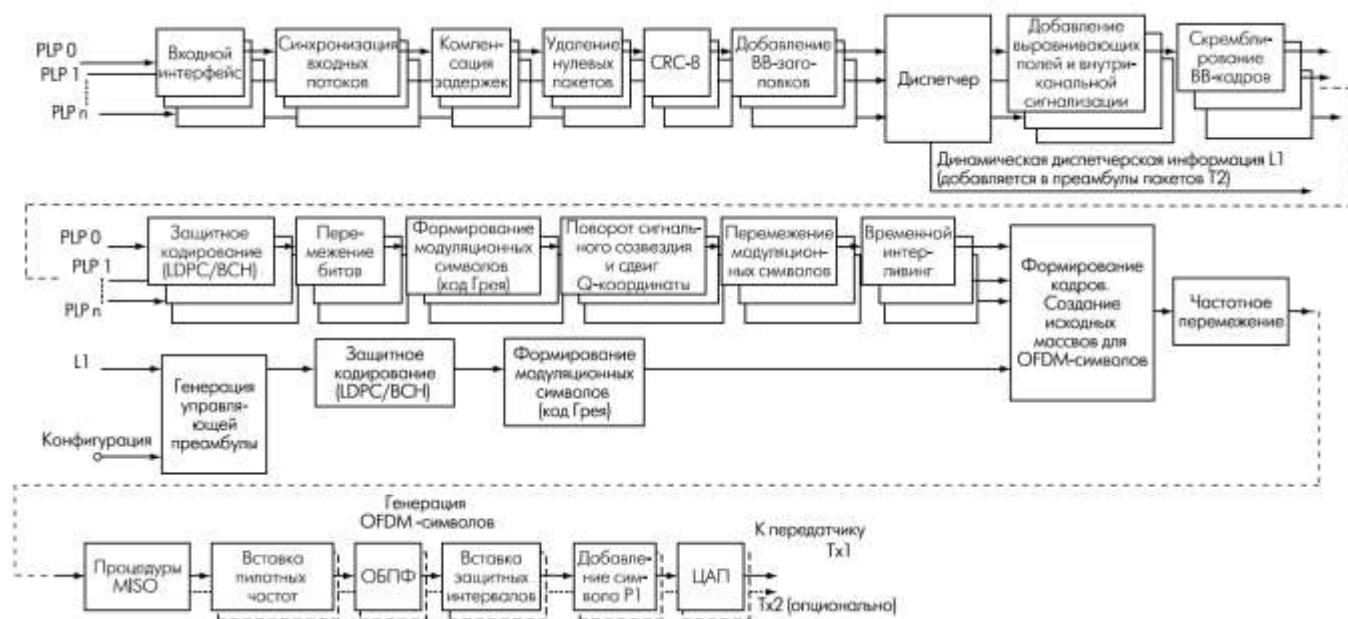


Рисунок 2 - структурная схема DVB-T2

Во втором поколении стандартов для канального кодирования применяются коды БЧХ в качестве внешних кодов и коды с малой плотностью проверок на чётность (LDPC) в качестве внутренних кодов. Возможности использования кодовых скоростей расширены до $1/4$, $1/3$, $2/5$, $1/2$, $3/5$, $2/3$, $3/4$, $4/5$, $5/6$. Использование сочетания LDPC/VCH-кодов более эффективно по сравнению с каскадами кодов Рида-Соломона и сверточными кодами. Так, например, для системы DVB-S2 при выборе вида модуляции, аналогичного системе DVB-S, и при той же спектральной эффективности требуемое отношение энергии на бит к спектральной плотности шума снижается на 2,5 дБ.

В качестве схемы модуляции DVB-T2, как и в DVB-T, используется COFDM, но кроме принятых ранее режимов 2k, 4k, 8k, применяются также 1k, 16k, 32k. Виды первичной модуляции дополнены 256QAM. Дополнительные значения относительных защитных интервалов по сравнению с системой DVB-T составляют 19/256, 19/128 и 1/128. Кроме того появилась возможность работы с временным перемежением кадров.

Использование большего числа поднесущих (режим 16k и 32k) благоприятно с точки зрения дальности распространения сигнала, так как при увеличении числа поднесущих увеличивается длительность символа, и, как следствие, происходит увеличение длительности защитного интервала. Таким образом возрастает защита от отраженных лучей, как следствие – распространение на большие расстояния и увеличение расстояния между передатчиками при организации одночастотных сетей. Кроме того, использование режимов с большим числом поднесущих более эффективно с точки зрения использования частотного ресурса так как при этом форма спектра группового сигнала максимально приближенную к прямоугольной. Минусом режимов 16k и 32k является меньшая устойчивость системы к эффекту Доплера. Таким образом, можно сделать вывод о том, что вещание с параметрами 16k и 32k применимо для покрытия больших зон с вещанием на стационарные приемники.

Формирование потоков данных стандарта DVB-T2

Отличительной особенностью систем второго поколения, в число которых входит стандарт DVB-T2, является использования одиночного или системного многоцелевого потока, который в свою очередь может быть пакетированным или непрерывным. В отличие от привычного транспортного потока MPEG-2, поток образуется при помощи инкапсуляции многоцелевого потока (GSE) следующим образом: в качестве входных данных (Рис. 3) берутся протокольные единицы обмена (PDU) сетевого уровня (IP дейтаграммы, кадры Ethernet либо другие пакеты сетевого уровня), которые целиком или частично помещаются в GSE пакеты различной длины вместе с информацией о типе сетевого протокола и другими вспомогательными данными. При разделении протокольных единиц обмена сетевого уровня на фрагменты происходит разметка его начала и конца для того чтобы в последний GSE пакет можно было включить коды защиты CRC-32 для проверки целостности доставки всех фрагментов. Использование такого метода сопряжения протоколов обеспечивает возможность использования рассматриваемых систем в качестве физического уровня доставки сетевых ресурсов пользователям.

Использование данного метода инкапсуляции GSE позволяет значительно повысить эффективность применения IP-дейтаграмм по сравнению с использованием мультипротокольной инкапсуляции (MPE) в транспортный поток MPEG-2, как это было сделано в стандартах DVB-H. С использованием GSE сокращается объем сигнальной информации для формирования потока в среднем с 10 % для MPE/MPEG-2 для транспортный поток до 2-3 % для GSE .

Предобработка данных на входе блока канального кодирования включает в себя: синхронизацию, компенсацию задержки для транспортного потока, обнаружение и удаление нулевых пакетов (с дальнейшим их восстановлением на приемной стороне), вставку битов проверки на четность для обнаружения ошибок при дальнейшей обработке.

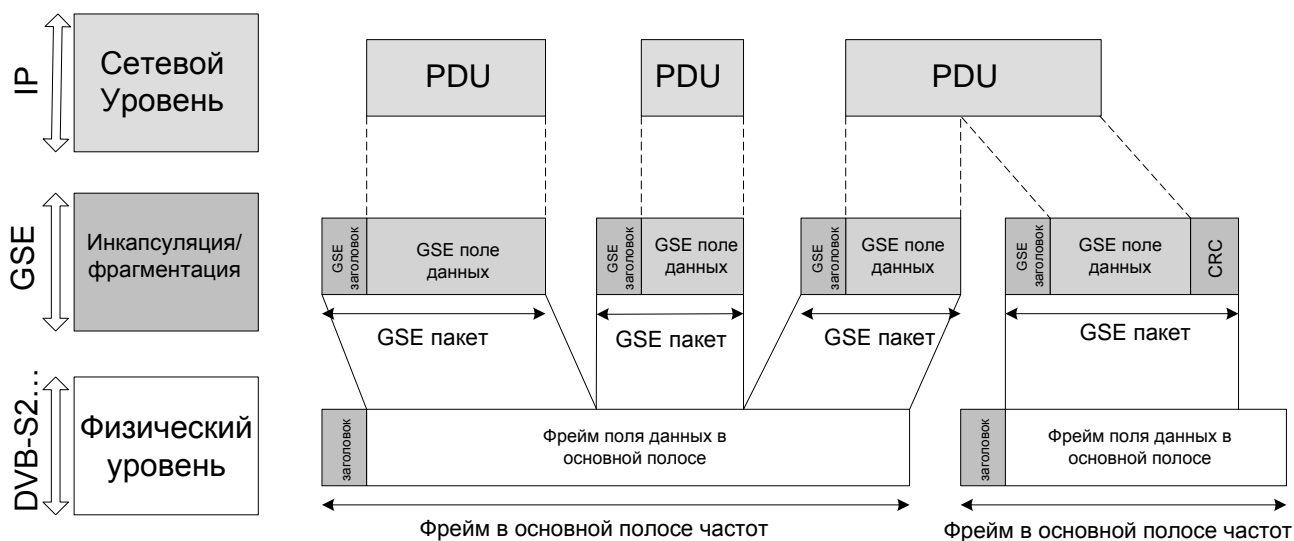


Рисунок 3 - GSE-инкапсуляция внутри стека протоколов DVB

Вся информация, поступающая на кодер DVB-T2, обрабатывается в виде PLP (Physical Layer Pipe). В одном PLP обрабатываются данные, поступающие от одного источника в виде транспортного потока MPEG-2, содержащий одну программу либо мультиплексированный пакет программ, или же одно- или многопрограммный многоцелевой поток (GSE).

Таким образом, все данные обрабатываются одновременно в виде параллельных PLP. В результате, конструкция кодера/декодера резко усложняется по сравнению с каналобразующим оборудованием предыдущего поколения.

Кроме того, существует иерархия среди PLP потоков. Самыми приоритетными являются общие PLP, содержащие информацию мультиплексированных программ. Ниже по иерархической лестнице находятся PLP первого типа, за которыми следуют PLP второго типа. Такое расслоение PLP определяет их положение в кадре OFDM.

Такая организация структуры системы позволяет выдавать в эфир несколько различных телевизионных услуг внутри одного частотного канала, при этом оператор может выбирать, что для каждой из услуг предпочтительнее, больший объем передаваемых данных или высокая степень защиты контента от воздействия помех.

Кадровая структура системы DVB-T2

Кадровая структура DVB-T2 имеет следующую организацию. На самом верхнем уровне находится суперкадр T2, который состоит из кадров T2,

делящихся в свою очередь, на OFDM символы. В состав суперкадра также могут входить FEF (Future Extension Frame) части. Эти части вводятся как резервные единицы структуры для возможности дальнейшего расширения данного стандарта вещания новыми возможностями без изменений структуры системы. Схематично кадровая структура показана на рисунке 4. Данная схема описывает стандартную структуру организации вещания, то есть использование одного частотного телевизионного канала.

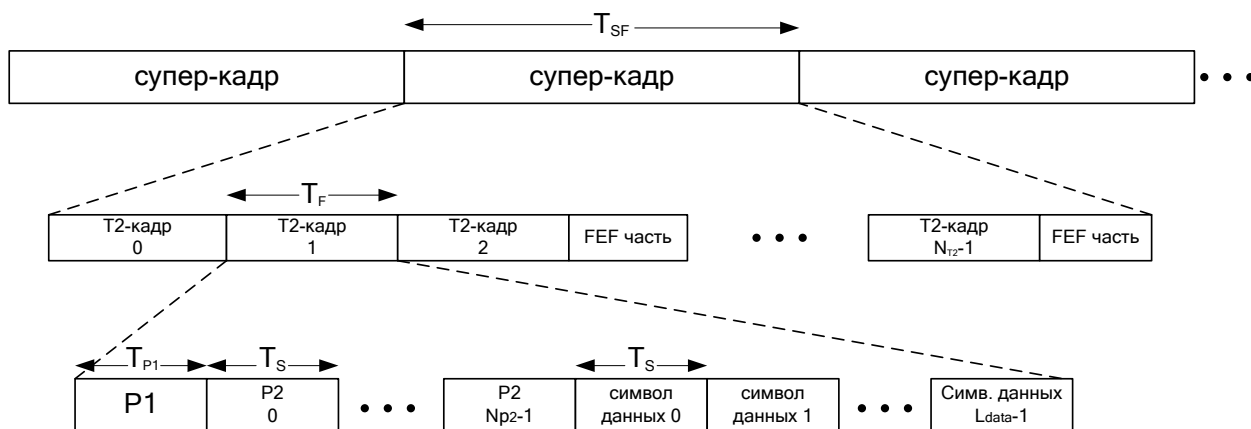


Рисунок 4 - кадровая структура DVB-T2

Число кадров с супер-кадре не является фиксированным значением, как это было в первом поколении стандартов. Информация о количестве кадров N_{T2} определяется в пред - сигнализации L1, о которой более подробно будет говориться далее, с помощью задания соответствующего параметра. Идентификация текущего кадра осуществляется с помощью индекса в динамической части пост - сигнализации L1.

На рисунке 5 показана структура суперкадра. На ней можно рассмотреть расположение FEF частей. Их может быть несколько внутри супер-кадра, но их расположение определяется следующим образом: они могут находиться исключительно между кадрами T2, расположение рядом двух FEF частей не допускается. При использовании FEF частей внутри суперкадра, последний должен закрываться именно этой частью.

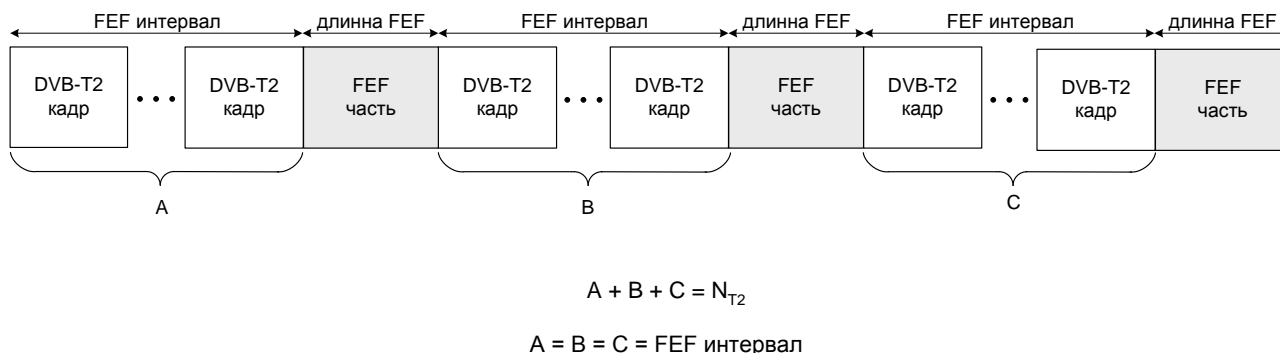


Рисунок 5 - структура суперкадра

Таким образом, длительность символа можно определить следующим образом: $T_{SF} = N_{T2} \times T_F + N_{FEF} \times T_{FEF}$, где N_{FEF} - количество FEF частей в суперкадре, а T_{FEF} - длительность FEF части. Эти параметры также передаются с помощью сигнализации L1.

Максимальное значение для длины суперкадра T_{FS} равно 64 секунды в случаях, когда FEF части не используются, что эквивалентно 255 кадрам по 250 миллисекунды. При условии использования FEF частей, длительность суперкадра увеличивается до 128 секунд. Параметры сигнализации L1 могут быть изменены только на границе суперкадров.

Кадр T2 состоит из следующих элементов: в начале кадра находится символ P1, которых содержит информацию о преамбуле символа P2 и следующих за ним символах. Символы P2 переносят информацию, содержащую сигнализацию L1. Количество символов P2 зависит от порядка ОБПФ, используемого при формировании OFDM модуляции данного кадра. Так, например, для режимов модуляции 16k и 32k, достаточно одного символа, а для режима 4k, необходимо использовать четыре символа OFDM.

Количество символов OFDM внутри кадра также передается внутри сигнализации L1 с помощью соответствующего параметра. Таким образом, длительность кадра в символах, исключая символ P1, можно определить следующим образом: $L_F = N_{P2} + L_{data}$, где L_{data} - количество информационных символов в кадре, а N_{P2} - количество символов P2. Длительность кадра равна:

$T_F = L_F \times T_S + T_{P1}$, где T_S - общая продолжительность символа OFDM, а T_{P1} - продолжительность символа P1. Максимальное значение для длительности кадра составляет 250 мкс. Максимальные значения для количества символов в кадре для полосы 8 МГц в зависимости от модуляции и защитных интервалов представлены в таблице.

Таблица 1 Максимальное количество символов в кадре T2 для полосы 8 МГц

Размер ОБПФ	T_U , мкс	Защитный интервал						
		1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
32k	3,584	68	66	64	64	60	60	NA
16k	1,792	138	135	131	129	123	121	111
8k	0,896	276	270	262	259	247	242	223
4k	0,448	NA	540	524	NA	495	NA	446
2k	0,224	NA	NA	1049	NA	991	NA	892
1k	0,112	NA	NA	2098	NA	1982	NA	1784

Минимальное количество символов для режима 32k составляет $L_F = N_{P2} + 3$, а для режимов с меньшим размером ОБПФ преобразования равно $N_{P2} + 7$.

Если P2 символы имеют свободные ячейки модуляции OFDM, которые не задействованы под L1 сигнализацию, то эти ячейки резервируются как информационные и они распределяется в зависимости от иерархии передаваемых данных. Разделение и распределение данных сигнализации L1 и данных вещания, регламентировано стандартом.

Кадр T2, так же как и кадр DVB-T, можно представить в виде частотно временной сетки $x_{m,l,p}$, где m – номер кадра T2, l – номер символа в кадре, а p индекс ячейки внутри символа. Для символа P2, количество активных поднесущих C_{P2} определено в таблице 2. Данная таблица распространяется на режим вещания с одним выходом системы и одним выходом приемника. Таким образом, количество активных поднесущих во всех символах кадра получается равным $N_{P2} \times C_{P2}$.

Таблица 2 Количество информационных ячеек C_{P2} в символе P2

Размер ОБПФ	C_{P2}
1k	558
2k	1118
4k	2 236
8k	4 472
16k	8 944
32k	22 432

Количество информационных поднесущих для различных режимов вещания в зависимости от варианта размещения рассеянных пилот – сигналов, представлено в таблице. Для режимов вещания 8k, 16k и 32k также представлены варианты расширенного использования поднесущих. Данные режимы используются для случаев, когда не используется тональное резервирование. При возможности его использования число информационных поднесущих для каждого режима определяется путем вычета столбца TR из ячейки, характерной для данного варианта работы системы.

При некоторых комбинациях размера ОБПФ преобразования и защитных интервалов, применяется символ завершения кадра. Этот символ имеет более плотную структуру пилотов – сигналов и многие поднесущие не модулированы для того чтобы сохранить общую энергию символа неизменной величины. Количество информационных поднесущих при использовании символа завершения кадра дополнительно определено стандартом в виде таблицы и обозначается N_{FC} , а количество модулированных поднесущих обозначается C_{FC} и также определено стандартом.

Таблица 3 Количество информационных ячеек C_{data} в кадре

Размер ОБПФ	C_{data} (без тональной резервации)								TR ре-зерв	
	PP1	PP2	PP3	PP4	PP5	PP6	PP7	PP8		
1k	764	768	798	804	818				10	
2k	1522	1532	1596	1602	1632		1 646		18	
4k	3 084	3 092	3 228	3 234	3 298		3 328		36	
8k	Норм.	6 208	6 214	6 494	6 498	6 634		6 698	6 698	72
	Расшир.	6 298	6 298	6 584	6 588	6 728		6 788	6 788	72
16k	Норм.	12 418	12 436	12 988	13 002	13 272	13 288	13 416	13 406	144
	Расшир.	12 678	12 698	13 262	13 276	13 552	13 568	13 698	13 688	144
32k	Норм.		24 886		26 022		26 592	26 836	26 812	288
	Расшир.		25 412		26 572		27 152	27 404	27 376	288

Получаем, что индекс ячеек p может принимать следующие значения:

- $0 \leq p \leq C_{P2}$ при $0 \leq l \leq N_{P2}$;
- $0 \leq p \leq C_{data}$ при $N_{P2} \leq l \leq L_F - 1$;
- $0 \leq p \leq N_{FC}$ при $l = L_F - 1$ (использование символа завершения кадра);
- $0 \leq p \leq C_{data}$ при $l = L_F - 1$ (без использования символа завершения кадра).

Таким образом количество активных OFDM ячеек (C_{tot}) в одном кадре T2 ровно:

$$C_{tot} = \begin{cases} N_{P2} * C_{P2} + (L_{data} - 1) * C_{data} + C_{CF} \\ N_{P2} * C_{P2} + L_{data} * C_{data} \end{cases}$$

Количество символов OFDM, задействованных при передаче информации сигнализации P2, зависит от порядка ОБПФ и определено в таблице.

Таблица 4 Зависимость количества символов N_{P2} сигнализации P2 от порядка ОБПФ

Порядок ОБПФ	N_{P2}
1k	16
2k	8
4k	4
8k	2
16k	1
32k	1

Количество ячеек, необходимых для переноса сигнализации L1 будем обозначать D_{L1} . Тогда количество ячеек, используемых для переноса информации PLP внутри одного кадра T2 можно записать в следующем виде:

$D_{PLP} = C_{tot} - D_{L1}$. Значения D_{PLP} и D_{L1} остаются неизменными и могут изменяться только при переходе к следующему мега-кадру.

PLP начинают размещаться в незадействованных ячейках символов, переносящих сигнализацию L1. Информация PLP в T2 кадре переносится в виде подслоев, при этом подслоям присваиваются номера от 1 до 6480. Информация PLP типа 1 переносится в одном подслое с номером 1, а информация PLP типа 2 переносится в подслоях с номерами от 2 до 6480. Количество OFDM ячеек, выделенных для PLP информации типа 2 в одном T2 кадре, должно быть кратным количеству подслоев $N_{subslices}$. Структура кадра T2 изображена на рисунке.

Вслед за информацией PLP типа 2 могут следовать один или более дополнительных потоков, за которыми также могут следовать пустые ячейки. Вспомогательные потоки и пустые ячейки вместе точно заполняют оставшуюся нагрузку на кадр T2.



Рисунок 6 - структур кадра данных T2

Сигнализации L1

Сигнализация L1 предоставляет приемнику информацию о средствах доступа к физическому уровню информационного канала DVB-T2 кадра. Эта сигнализация делится на три основные типа: P1 сигнализация, L1 пред-сигнализация и L1 пост-сигнализация. Задачей сигнализации P1, которая переносится P1 символом, является определение типа вещания и основных параметры вещания. Оставшиеся сигнализации передаются внутри символа P2. С помощью L1 пред - сигнализации обеспечивается прием и декодирование в L1 пост - сигнализации, которая, в свою очередь, передает параметры, необходимые приемнику для доступа к физическому слою информационного канала. L1 пост – сигнализация в дальнейшем делится на две основные части: конфигурируемую и динамическую, за которыми может следовать поле опционального расширения. L1 пост – сигнализация заканчивается CRC кодом и дополнением, если это необходимо.

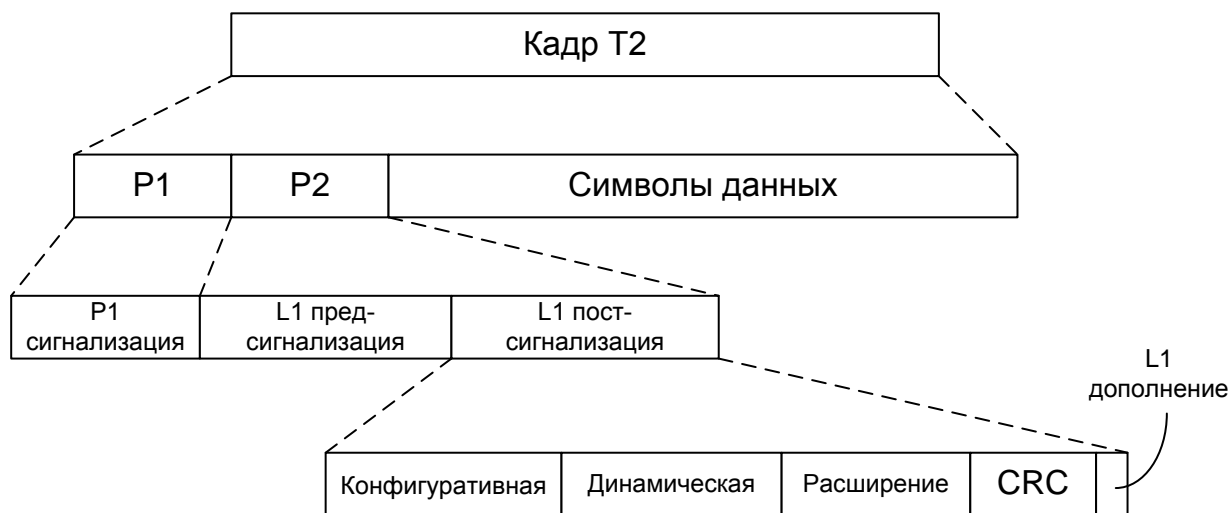


Рисунок 7 - структура сигнализации L1

Все L1 сигнальные данные, исключая динамическую L1 пост-сигнализацию, должны оставаться неизменными в течение всего единичного супер - кадра. Поэтому любые изменения в конфигурации всегда должны быть сделаны на границе двух супер - кадров.

Введение пилот сигналов T2 и их виды

Структура пилот-сигналов системы DVB-T2 несколько отличается от аналогичной системы DVB-T. В этой системе к рассеянным и непрерывным были добавлены граничные пилоты, пилоты P2, а также пилоты завершения кадра. Информацию о распределении пилотов данного кадра передается в сигнализации L1(pre-signaling) в виде параметра PILOT_PATERN, который задается с помощью четырех бит. При рассмотрении пилот-сигналов бедам рассматривать только режим вещания с одним выходом передатчика и одним входом приемника. Зависимость типа пилот-сигналов от места их появления представлена в таблице 5.

Таблица 5 Наличие пилот-сигналов различного типа в символе каждого типа

Символ	Тип пилот-сигналов				
	Рассеянные	Непрерывные	Граничные	P2	Завершения кадра
P1					
P2				X	
Обычный	X	X	X		
Завершающий кадр			X		X

Модуляция пилот-сигналов осуществляется в соответствии со ссылочной последовательностью, $r_{l,k}$. Она получается из двух последовательностей: PRBS

(значение w_k) и PN, значение pn_i зависит от положения символа в кадре и режима модуляции. Эта ссылочная последовательность применяется для пилот-сигналов всех типов. Генератор PRBS повторяет аналогичный генератор в системе DVB-T, в котором индексация выходной последовательности начинается с w_0 . Конечную форму для записи ссылочной последовательности, с учетом режима расширенного количества поднесущих, можно представить в следующем виде (значение K_{ext} соответствует минимальному значению индексу поднесущей в нормальном режиме):

$$r_{l,k} = \begin{cases} w_{k+K_{ext}} \oplus pn_i & \text{нормальный_режим} \\ w_k \oplus pn_i & \text{расширенный_режим} \end{cases}$$

Для ясности данное выражение может быть представлено в виде рисунка.



Рисунок 8 - образование ссылочной последовательности

Каждое значение последовательности PN соответствует одному символу OFDM кадра T2. Таким образом, максимальное значение элементов этой последовательности является равным количеству символов в кадре, за исключением символа P1. Сама же последовательность задается стандартом в виде таблицы, в которой приведены значения для 2624 элементов (их полное количество используется в режиме 1k для ширины полосы частот равной 10 МГц).

Рассеянные пилоты вводятся в каждый символ за исключением символов P1 и P2, а также символов завершения кадра. Их местоположение определяется следующим образом: данная поднесущая k данному символу l является рассеянным пилот-сигналом, если удовлетворяется следующее равенство:

$$k \bmod (D_X \cdot D_Y) = D_X (l \bmod D_Y) \quad \text{нормальный_режим}$$

$$(k - K_{ext}) \bmod (D_X \cdot D_Y) = D_X (l \bmod D_Y) \quad \text{расширенный_режим}$$

где $k \in [K_{min}; K_{max}]$; $l \in [N_{P2}; L_F - 2]$, в случае символа завершения кадра; $l \in [N_{P2}; L_F - 1]$, в случае отсутствия символа завершения кадра; D_X - параметр определения опорных поднесущих; D_Y - количество символов, определяющих одну последовательность рассеянных пилот-сигналов.

Стандарт DVB-T2 подразумевает использование восьми моделей размещения пилот-сигналов в зависимости от значений коэффициентов D_x и D_y (Таблица).

Таблица 6 Параметры распределения рассеянных пилот-сигналов

Модель пилот-сигналов	D_x	D_y
PP1	3	4
PP2	6	2
PP3	6	4
PP4	12	2
PP5	12	4
PP6	24	2
PP7	24	4
PP8	6	16

Варианты применения различных моделей распределения пилот-сигналов при различных комбинациях параметров системы представлены в таблице.

Таблица 7 Зависимость распределения рассеянных пилот-сигналов от параметров системы

Порядок ОБПФ	Защитный интервал						
	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
32k	PP7	PP6 PP4	PP2 PP8 PP4	PP2 PP8 PP4	PP2 PP8	PP2 PP8	NA
16k	PP7	PP7 PP4 PP6	PP2 PP8 PP4 PP5	PP2 PP8 PP4 PP5	PP2 PP3 PP8	PP2 PP3 PP8	PP1 PP8
8k	PP7	PP7 PP4	PP8 PP4 PP5	PP8 PP4 PP5	PP2 PP3 PP8	PP2 PP3 PP8	PP1 PP8
4k, 2k	NA	PP7 PP4	PP4 PP5	NA	PP2 PP3	NA	PP1
1k	NA	NA	PP4 PP5	NA	PP2 PP3	NA	PP1

В отличие от предыдущего стандарта DVB-T, в котором существовал единственный вариант распределения пилот-сигналов, в новом стандарте амплитуда передаваемых рассеянных пилотов (A_{SP}) не только отличается от амплитуды информационных поднесущих, но зависит от варианта их распределения (Таблица 8).

Таблица 8 Амплитуды рассеянных пилот-сигналов

Модель рассеянных пилотов	Амплитуда (A_{SP})	Эквивалентный подъем (дБ)
PP1, PP2	4/3	2,5
PP3, PP4	7/4	4,9
PP5, PP6, PP7, PP8	7/3	7,4

В результате, получаем рассеянный пилот-сигнал, модулированный следующим образом:

$$\operatorname{Re}\{c_{m,l,k}\} = 2A_{SP}(1/2 - r_{l,k})$$

$$\operatorname{Im}\{c_{m,l,k}\} = 0$$

Распределение непрерывных пилот-сигналов представлено в стандарте EN302755 в виде таблицы (приложение) объединенных в группы значений (CP), которые зависят от порядка ОБПФ при формировании сигнала OFDM системы DVB-T2, а также от используемой модели рассеянных пилотов. Существует шесть групп значений распределений для пилот-сигналов. Группы значений приведены в виде индексов $k_{i,32k}$ поднесущих для непрерывных пилот-сигналов при порядке ОБПФ равном 32k. Зависимость возможности использования различных групп значений в зависимости от порядка ОБПФ, представлена в таблице. Для получения частотных индексов других порядков ОБПФ необходимо воспользоваться следующей формулой $k = k_{i,32k} \bmod k_{\text{mod}}$, значения для k_{mod} также можно взять из таблицы 9. При использовании режима расширенного количества поднесущих происходит расширение количества непрерывных пилот-сигналов путем добавления дополнительных индексов, которые для каждого режима ОБПФ также определено стандартом в приложении в виде таблицы.

Таблица 9 Зависимость группы CP от порядка ОБПФ

Порядок ОБПФ	Используемая CP группа	k_{mod}
1k	CP1	1 632
2k	CP1, CP2	1 632
4k	CP1, CP2, CP3	3 264
8k	CP1, CP2, CP3, CP4	6 528
16k	CP1, CP2, CP3, CP4, CP5	13 056
32k	CP1, CP2, CP3, CP4, CP5, CP6	NA

Амплитуда непрерывных пилот-сигналов (A_{CP}) также как и амплитуда рассеянных превышает значение амплитуды информационных поднесущих. Однако, величина подъема амплитуды зависит уже не от модели распределения рассеянных пилот-сигналов, а от порядка преобразования ОБПФ. Величина подъема амплитуды приведена в таблице.

Таблица 10 Амплитуды непрерывных пилот-сигналов

Порядок ОБПФ	1k	2k	4k	8k	16k	32k
A_{CP}	4/3	4/3	$(4\sqrt{2})/3$	8/3	8/3	8/3

В случаях, когда одна и та же поднесущая является рассеянным и непрерывным пилот сигналом, значение ее амплитуды берется для случая рассеянного пилот-сигнала.

Модулированное значение для непрерывных пилот-сигналов имеет следующий такой же вид как и для рассеянных, за исключением амплитуды.

Граничные пилот-сигналы вводятся во все символы кадра кроме P1 и P2. Они вводятся в таком порядке, чтобы позволить использование частотной интерполяции вплоть до края символа. Модуляция граничных пилот-сигналов полностью совпадает с модуляцией рассеянных пилот-сигналов.

P2 пилот-сигналы для режима 32k находятся в символах P2 при которых, для режима 32k, $k \bmod 6 = 0$. Для всех других режимов модуляции они находятся в ячейках символов P2, для которых $k \bmod 3 = 0$. В режимах использования расширенного количества поднесущих, используются значения k для которых $K_{\min} \leq k < K_{\min} + K_{\text{ext}}$ и для которых $K_{\max} - K_{\text{ext}} < k \leq K_{\max}$. Амплитуды P2 пилот-сигналов () для различных режимов представлены в таблице. Принцип модуляции P2 пилот-сигналов тот же что и в предыдущих случаях, отличием служит амплитуда, представленная в таблице 11.

Таблица 11 Амплитуды P2 пилот-сигналов

Режим	A_{P2}
32k	$\frac{\sqrt{37}}{5}$
Все остальные режимы	$\frac{\sqrt{31}}{5}$

Для пилот-сигналов завершения кадра. Варианты порядка ОБПФ, защитные интервалы и варианты распределения рассеянных пилот-сигналов для режима SISO, в которых используются пилот-сигналы завершения кадра, представлены в таблице 12.

Таблица 12 Использование пилот-сигналы завершения кадра

Порядок ОБПФ	Защитный интервал						
	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
32К		PP6	PP4	PP4	PP2	PP2	NA
16К		PP7 PP6	PP4 PP5	PP4 PP5	PP2 PP3	PP2 PP3	PP1
8К		PP7	PP4 PP5	PP4 PP5	PP2 PP3	PP2 PP3	PP1
4К, 2К	NA	PP7	PP4 PP5	NA	PP2 PP3	NA	PP1
1К	NA	NA	PP4 PP5	NA	PP2 PP3	NA	PP1

В таблице через NA обозначены варианты системы, которые не существуют, а пустыми ячейками обозначены варианты системы, в которых пилот-сигналы завершения кадра не используются.

Борьба с пик-фактором в системе DVB-T2

В систему DVB-T2 самым стандартом введены инструменты для борьбы с пик-фактором модуляции OFDM. Существует два основных инструмента для устранения этого явления – активное расширение сигнала созвездия, схема реализации которого показана на рис. 9, и возможность борьбы с пик-фактором путем введения резервных пилот-тонов. С их помощью, там, где это необходимо, возникает возможность изменения формы передаваемого сигнала путем перераспределения задействованных поднесущих. Эти алгоритмы не являются обязательным для вещания.

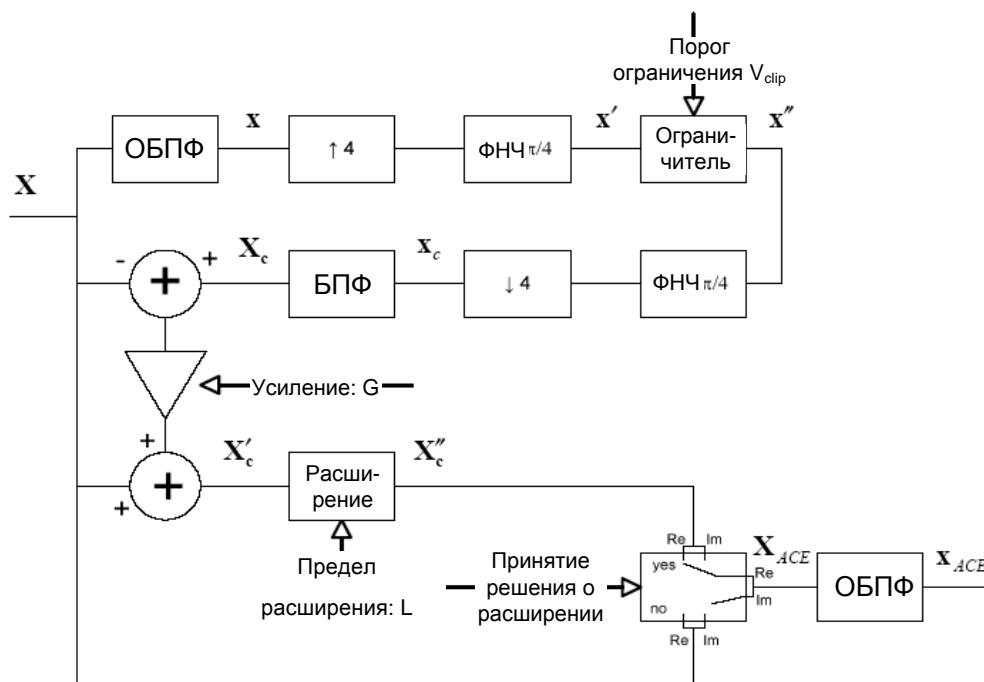


Рисунок 9 - Реализация алгоритма активного расширения созвездия

Символ P1.

В P1 символе сигнализация передается в виде двух полей данных. В первом поле S1 передаются 3 бита для характеристики преамбулы (а тем самым и типа кадра), а во втором S2 данные (4 бита информации), предоставляющие приемнику информацию о параметрах вещания. Таким образом, для сигнализации используется 7 битов. Эта сигнализация используется для того чтобы определить сам формат преамбулы из-за различия ее форматов.

Сам символ P1 имеет четыре основных предназначения. Во-первых, он используется для первоначального сканирования сигнала, для которого обнаружение символа P1, чтобы сделать вывод о наличии сигнала DVB-T2. Этот символ построен таким образом, что любые смещения частоты можно обнаружить непосредственно. Это экономит время сканирования, так как приемник не должен тестировать все возможные известные отклонения частоты для начала работы.

Вторым предназначением символа P1 является идентификации преамбулы T2 кадра. Символ P1 таков по структуре, что он может быть использован для того чтобы отличать самого себя от других форматов, используемых в FEF частях, сосуществующих в том же супер - кадре. Третья задача состоит в том, чтобы передавать основные параметры передачи, которые необходимы для декодирования, и которые могут помочь во время процесса инициализации. Четвертая и наиболее интересная цель символа P1 состоит в его участии в частотной и временной синхронизации приемника. На рисунке 10 показана структура символа P1. Для его передачи используется 1к модуляция с добавленным двусторонним защитным интервалом. В полосе частот 8 МГц, длительность этого символа составляет 224мкс, включающая в себя 112 мкс. полезного сигнала (длительность используемой части A) и две секции защитных интервалов B и C продолжительность соответственно 59 мкс. (542 отчета) и 53 мкс. (482 отчета).

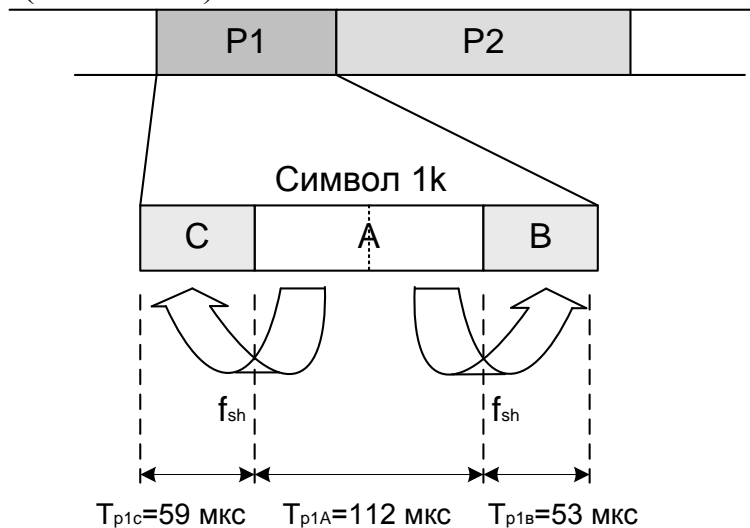


Рисунок 10 - структура символа P1

Среди 853 возможных поднесущих модуляции 1к, берутся центральные 766, из которых реально используется только 384, значение остальных установлено в ноль. Используемые поднесущие занимают примерно 6,83 МГц в середине номинальной полосы пропускания сигнала 7,61 МГц. Активные поднесущие распределены в соответствии с таблицей регламентированной стандартом. Дизайн символа таков, что даже при максимальной отстройке частоты в 500 кГц, большинство используемых поднесущих будут находиться внутри номинальной частоты 7,61 МГц и у приемника появляется возможность перенастроить принимаемый диапазон для приема символа. Первая активная поднесущая соответствует 44 номинальной, а последняя 809.

Все имеющиеся поднесущие, используемые при передаче символа P1, делятся на три зоны: две боковых и одна центральная. В боковых зонах передается информация о первом поле данных символа, длина которой составляет 128 бит, а в центральной зоне информация второго поля, длина данных которого равна 256 битам. Номера активных поднесущих определены в виде таблицы стандартом. Активные поднесущие символа P1 используют модуляцию DBPSK в качестве первичной.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА

1. Лабораторная работа №69а. Изучение параметров и характеристик сигнала в стандарте DVB-T2

1.1 Выставить настройки по умолчанию или перезапустить программу. Просмотреть сигнальные созвездия QPSK для PP1 и PP8 и 16QAM для PP1 и для всех видов модуляции сделать вывод о замеченных различиях.

1.2 Зарисовать спектры сигнала в канале связи для 256QAM и QPSK.

1.3 Восстановить настройки по умолчанию. Установить порядок (кратность) модуляции OFDM 1К. Зарисовать спектр сигнала в канале связи. Повторить для кратностей модуляции 8К, 32К на одном графике вместе с 1К.

2. Лабораторная работа №69б. Измерение помехоустойчивости внутренней модуляции DVB-T2 для Гауссовского канала связи (без многолучевости).

2.1 Установить настройки по-умолчанию. Выставить внутреннюю модуляцию ОБПФ 32К, ОСШ 25 дБ. Зарисовать спектр сигнала в канале связи.

2.2 Установить внутреннюю модуляцию QPSK. Просмотреть сигнальные созвездия и заполнить Таблицу 2.2 для ОСШ от 5 до 40 дБ с шагом в 5 дБ при $BER = \pm 2 \cdot 10^{-4}$.

2.3 Повторить П. 2.2 для внутренней модуляции 16 QAM.

2.4 Повторить П. 2.2 для внутренней модуляции 64 QAM.

2.5 Повторить П. 2.2 для внутренней модуляции 256 QAM.

Таблица 2.2

ОСШ	QPSK		16 QAM		64 QAM		256 QAM	
	MER	BER	MER	BER	MER	BER	MER	BER
40								
...								
5								

3. Лабораторная работа №69в. Изучение влияния пик-фактора на работу системы DVB-T2

3.1 Выставить настройки по умолчанию. (Прим. - величина «ограничения» - уровень относительного среднеквадратичного значения амплитуды сигнала, по которому осуществляется жесткое ограничение) Для каждого измерения нужно провести не менее 10 итераций. При этом следует учитывать результат с наименьшим значением MER. Установить внутреннюю модуляцию 16 QAM, ОСШ 60 дБ. Включить ограничение сигнала. Зарисовать сигнал в канале связи при ограничении 3 дБ при $BER = 2 \cdot 10^{-4}$.

3.2 Выставить внутреннюю модуляцию ОБПФ 1К, величина ограничения сигнала [0; 3.5] дБ с шагом в 0.5 дБ. Занести в Таблицу 3.1 значения MER и BER при $BER = 2 \cdot 10^{-4}$.

3.3 Повторить П 3.1 для внутренней модуляции ОБПФ 2К.

3.4 Повторить П 3.1 для внутренней модуляции ОБПФ 4К.

3.5 Повторить П 3.1 для внутренней модуляции ОБПФ 8К.

3.6 Повторить П 3.1 для внутренней модуляции ОБПФ 16К.

3.7 Повторить П 3.1 для внутренней модуляции ОБПФ 32К.

Таблица 3.1

Величина ограничения сигнала, дБ	1К		2К		4К		8К		16К		32К	
	MER	BER	MER	BER	MER	BER	MER	BER	MER	BER	MER	BER
0												
...												
3.5												

3.8 Построить графики зависимости величины ограничения от порядка ОБПФ при $BER = 2 \cdot 10^{-4}$

4. Лабораторная работа №69г. Изучение работы DVB-T2 в многолучевом канале связи.

4.1 Выставить настройки по умолчанию. Включить многолучевость. Выставить для луча 1 задержку в 0.5 от максимального защитного интервала внутренней

модуляции 1К при ослаблении луча в 3 дБ. Внести в Таблицу 4.2 показания MER и BER с включенной и выключенной коррекциями пилот-сигналов.

4.2 Выставить для луча 1 задержку в 0.5 от максимального защитного интервала внутренней модуляции 32К при ослаблении в 3 дБ. Внести в Таблицу 4.1 показания MER и BER с включенной и выключенной коррекциями пилот-сигналов. По внешнему виду сигнальных созвездий и данным, занесенным в таблицу, сделать выводы о назначении пилот-сигналов и эффективности коррекции по ним.

Таблица 4.1

Порядок модуляции ОБПФ	0.5 от максимального защитного интервала внутренней модуляции 1К				0.5 от максимального защитного интервала внутренней модуляции 32К			
	Коррекция ВКЛ		Коррекция ВЫКЛ		Коррекция ВКЛ		Коррекция ВЫКЛ	
	MER	BER	MER	BER	MER	BER	MER	BER

4.3 Выставить внутреннюю модуляцию ОБПФ 32К. Включить коррекцию пилот-сигнала. Просмотреть сигнальные созвездия в канале связи для всех видов распределений пилот-сигналов и записать в Таблицу 4.2 показания MER и BER.

Таблица 4.2

PP	MER	BER

4.4 Выставить распределение пилот-сигналов по умолчанию. Просмотреть сигналы созвездия в канале связи для всех защитных интервалов и записать в Таблицу 4.3 показания MER и BER.

Таблица 4.3

Защитный интервал	MER	BER

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Рисунки QPSK для PP1 и PP8 и 16QAM для PP1, Выводы по п. 1.1
2. Рисунки спектров сигнала в канале связи для 256QAM и QPSK
3. Рисунки спектров сигнала в канале связи для кратности модуляций 1К, 8К, 32К
4. Рисунок спектра сигнала в канале связи при внутренней модуляции ОБПФ 32К, ОСШ 25 дБ.
5. Заполненная Таблица 2.2. Построенные зависимости MER от ОСШ на одном графике
6. Рисунок сигнала в канале связи при ограничении 3 дБ при BER= $2 \cdot 10^{-4}$.
7. Заполненная Таблица 3.1
8. Графики зависимости величины ограничения от порядка ОБПФ при BER= $2 \cdot 10^{-4}$
9. Заполненная Таблица 4.1. Вывод по результатам измерений
10. Заполненная Таблица 4.2. Вывод по результатам измерений
11. Заполненная Таблица 4.3. Вывод по результатам измерений

6. Литература

1. В.П. Дворкович, А.В. Дворкович, «Цифровые видеоинформативные системы (теория и практика)», ТЕХНОСФЕРА, Москва, 2012
2. ETSI EN 302 755 V1.3.1. «Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)»
3. DVB BlueBook A136. «Modulator Interface (T2-MI) for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)»

7. Контрольные вопросы

1. Что такое PLP ?
2. Какие потоки может содержать PLP ?
3. Какие существуют типы каналов PLP ?
4. Как передается поток PLP данных типа 2?
5. Что такое M-PLP ?
6. Что такое временной перемежитель TI ?
7. Какова структура сигнализации L1 ?
8. Виды внутренней модуляции в DVB-T2 и ее выбор.
9. Назначение и выбор длительности временного защитного интервала
10. Что такое сигнализация предобработки L1 ?
11. К каким двум типам относится передаваемая в поле P1 информация ?

12. Для чего предназначен символ начального поля P1 и какова его структура?
13. Что такое пилот-сигналы? Каковы их виды и назначение?
14. Почему существует несколько видов распределений пилот-сигналов?
15. Что зависит от выбора числа несущих OFDM?
16. Средства борьбы с пик-фактором в системе DVB-T2
17. Построение одночастотных сетей по стандарту DVB-T2
18. Назначение поворота сигнального созвездия