

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

**ИЗМЕРЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ ЦИФРОВОГО
ТЕЛЕВИДЕНИЯ СТАНДАРТОВ DVB**

Лабораторная работа №72а Измерение основных параметров сигналов
цифрового телевидения стандарта DVB-S/S2

Лабораторная работа №72б Измерение основных параметров сигналов
цифрового телевидения стандарта DVB-T2

Лабораторная работа №72в Измерение основных параметров сигналов
цифрового телевидения стандарта DVB-C

Москва 2019

План УМД на 2018/2019 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

ИЗМЕРЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ СТАНДАРТОВ DVB

Лабораторная работа №72а Измерение основных параметров сигналов
цифрового телевидения стандарта DVB-S/S2

Лабораторная работа №72б Измерение основных параметров сигналов
цифрового телевидения стандарта DVB-T2

Лабораторная работа №72в Измерение основных параметров сигналов
цифрового телевидения стандарта DVB-C

Авторы: Власюк И.В., к.т.н.
Балобанов А.В., к.т.н., доц.
Селиванов В.А., к.т.н.

Издание утверждено советом факультета РиТ.
Протокол № 9 от 16 мая 2019г.
Рецензент: Коринский А.М.

Цель практикума: изучить основные контролируемые параметры сигналов систем DVB, научиться диагностировать неисправности трактов передачи сигналов DVB по измеряемым параметрам, получить практические навыки работы с универсальным измерительным прибором для сетей DVB.

Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд состоит из опытной системы кабельного телевидения МТУСИ (Рис. 3), из которой выведены контрольные точки для выполнения измерений и универсального измерительного прибора для сетей DVB SatLink WS-6980 (Рис. 1, 2)

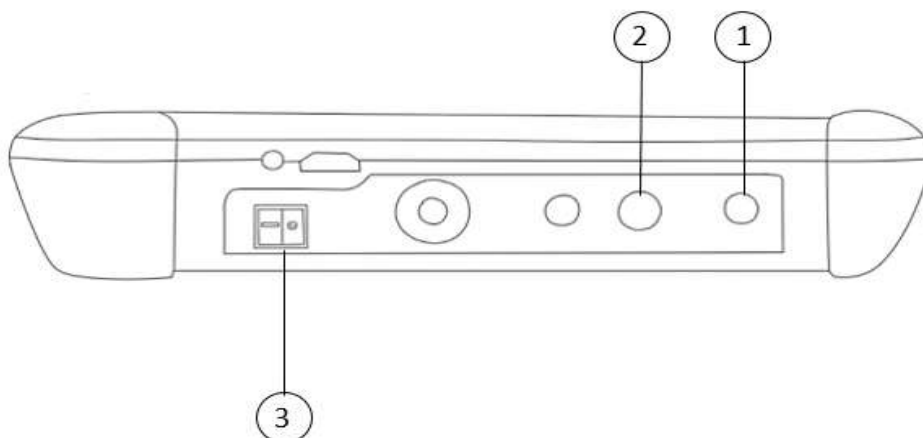


Рисунок 1 – SatLink WS-6980, вид сверху

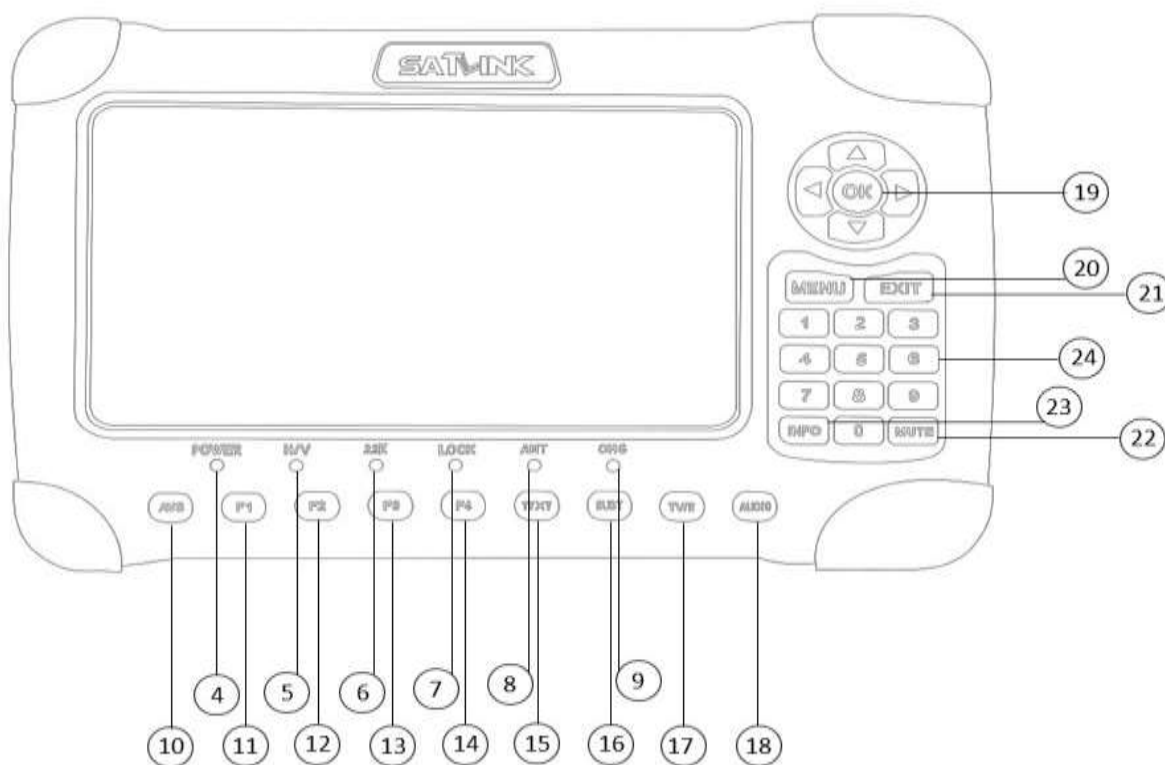


Рисунок 2 – SatLink WS-6980, вид спереди

Таблица 1 – Органы управления прибора SatLink WS-6980 в соответствии с рисунками 1 и 2.

№	Описание	Функции
1	LNB IN	Подключение к кабелю спутниковой антенны
2	ANT IN	Подключение к кабелю DVB-T/T2/C сигналов
3	Power Switch	ВКЛ/ВЫКЛ устройства
4	Power	Индикатор питания
5	H/V	Индикатор вертикальной/горизонтальной поляризации выходного напряжения
6	22kHz	Индикатор 22кГц
7	LOCK	Индикатор блокировки сигнала
8	ANT	Индикатор DC OUT
9	CHG*	Индикатор зарядки
10	AV-S	Переключение источника аудио- и видеосигнала
11	F1	Функциональная клавиша (значение зависит от контекста на экране, выделенного цветом)
12	F2	Функциональная клавиша (значение зависит от контекста на экране, выделенного цветом)
13	F3	Функциональная клавиша (значение зависит от контекста на экране, выделенного цветом)
14	F4	Функциональная клавиша (значение зависит от контекста на экране, выделенного цветом)
15	TTXT	Интерфейс телетекста, красная кнопка
16	SUBT	Интерфейс субтитров, зелёная кнопка
17	TV/R	Переключение ТВ/Радио, оранжевая кнопка
18	AUDIO	Аудио интерфейс, синяя кнопка
19	NAVIGATION KEY	Регулировка громкости, перемещение курсора, переключение канала, подтвердить и т. д.
20	MENU	Показать главное меню или вернуться к предыдущему меню
21	EXIT	Выход из предыдущего меню и сохранение настроек
22	INFO	Инфо кнопка
23	MUTE	Без звука
24	0-9	Номера кнопок для выбора каналов и т. п.

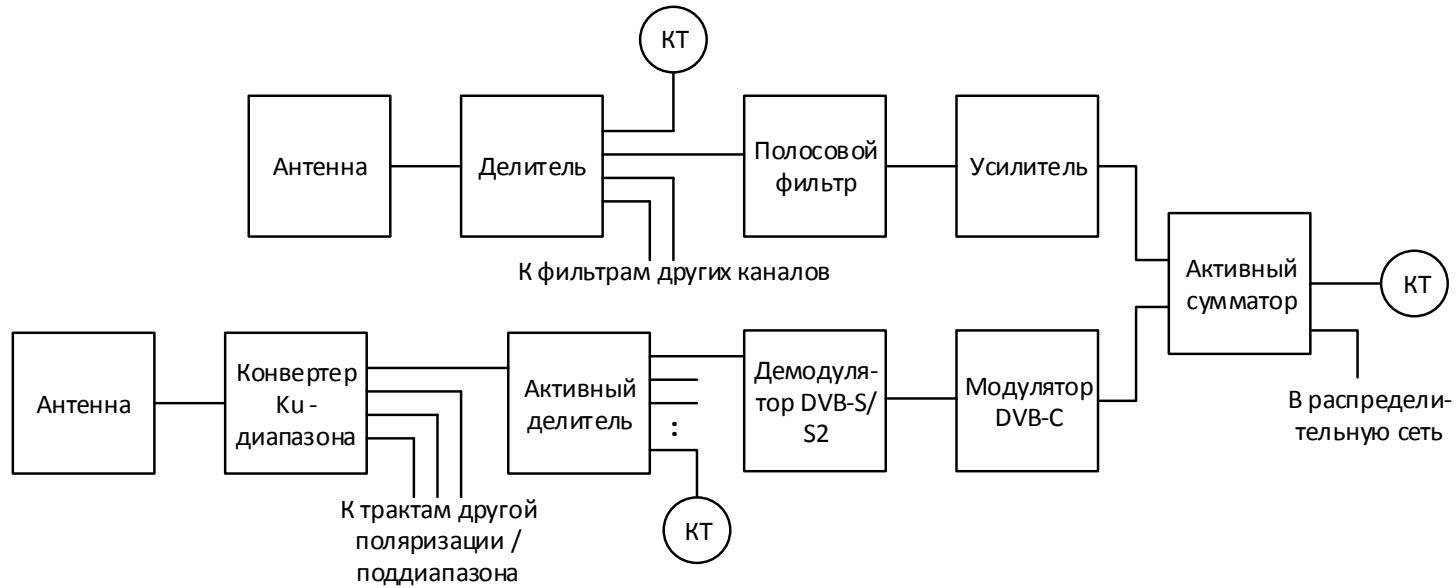


Рисунок 3 – Упрощенная схема головной станции системы кабельного телевидения МТУСИ

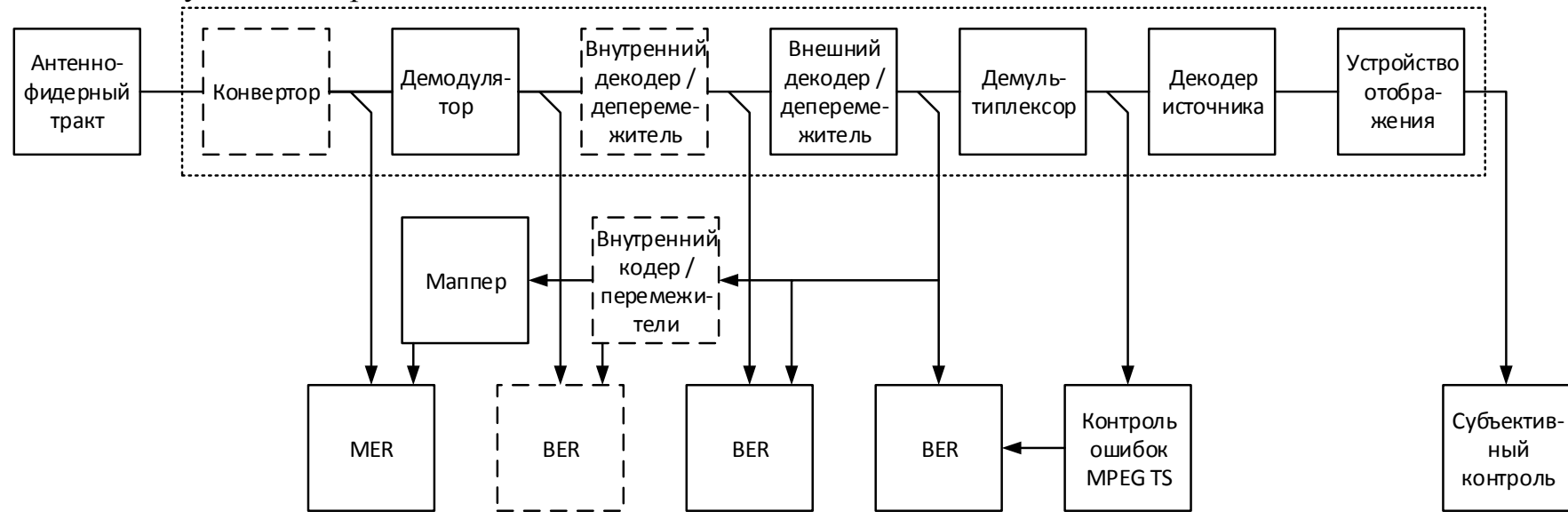


Рисунок 3 – Типичная схема приемника системы DVB S/S2/C/T2 с пояснением принципа измерения параметров

Теоретическая часть

Коэффициент ошибок модуляции (MER)

Коэффициент ошибок модуляции или MER (Modulation Error Ratio) - это мера, используемая для количественной оценки характеристик передатчика или приемника цифрового телевидения. Сигнал, отправленный идеальным передатчиком или полученный идеальным приемником, будет иметь все точки созвездия точно в идеальных позициях, однако различные недостатки реализации, помехи и шумы в канале связи приводят к тому, что фактические точки созвездия отклоняются от идеальных местоположений.

MER передатчика может быть измерен специализированным оборудованием, которое модулирует принятый сигнал аналогично приемнику. Демодулированный сигнал (особенно после устранения ошибок и обратного введения помехоустойчивого кодирования и формирования модуляционных символов) может использоваться в качестве достаточно надежной оценки для идеального передаваемого сигнала при расчете MER. Мера обычно указывается в [дБ]. Если присутствует только один шумовой эффект, MER и отношение сигнал-шум S/N равны.

Оценка величины MER производится путем обработки пар координат символов (I, Q). Истинное положение полученного символа (центр блока принятия решения) определяется вектором (I, Q), а вектор ошибки (δI , δQ) определяется как расстояние от истинного положения до фактического положения символа. Вектор (\tilde{I} , \tilde{Q}) есть сумма истинного вектора (I_j , Q_j) и вектора ошибки (δI , δQ), см. рисунок 4.



Рисунок 4 – Вектор ошибки для определения MER

Коэффициент ошибок модуляции (MER) определяется выраженным в децибелах отношением суммы квадратов величин идеальных векторов символа к сумме квадратов величин векторов ошибки символа:

$$\text{MER} = 10 \lg \left(\frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)} \right).$$

Иногда используется другая мера – EVM- error vector magnitude – величина вектора ошибки. Обычно ее выражают процентах:

$$\text{EVM} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)}}{S_{max}} \cdot 100\%$$

где S_{max} – максимально возможная номинальная амплитуда вектора сигнала.

При накоплении большого числа символов можно осуществить переход от одной из указанных мер к другой [1], при этом, как правило, рекомендуется использовать MER.

Коэффициент битовых ошибок (BER)

Достоверность передачи данных характеризует вероятность получить искажение для передаваемого бита данных. Этот показатель называют интенсивностью или коэффициентом битовых ошибок (Bit Error Rate, BER). В различных системах DVB BER измеряется в разных точках тракта.

В DVB-S BER измеряется в трёх точках приемного тракта:

- BER до декодера Витерби (внутреннего декодера);
- BER после декодера Витерби или до декодирования Рида-Соломона;
- BER после декодирования Рида-Соломона.

Коэффициент битовых ошибок до Витерби дает наибольшую информацию о линии передачи. Квазибезошибочный прием режим (Quasi Error Free, QEF) реализуется при значении BER перед декодированием Витерби от $1 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-2}$. (в зависимости от использованной на передаче скорости кода) Структурная схема измерения BER до Витерби приведена на рисунке 5.

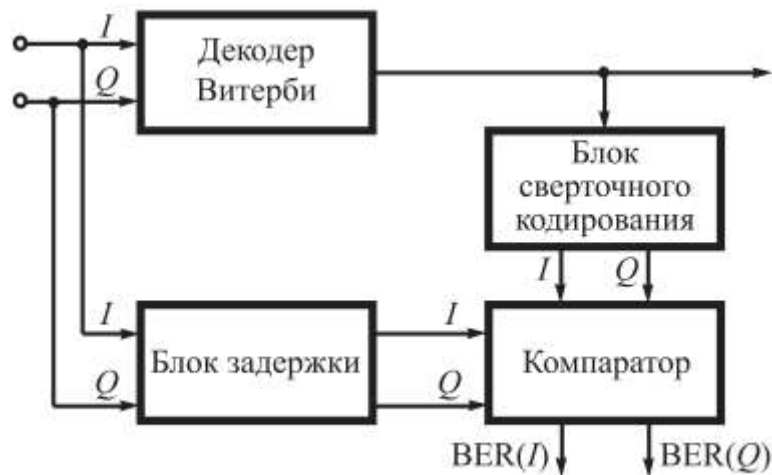


Рисунок 5 - Структурная схема измерения до декодера Витерби

Декодер Витерби может исправить только часть битовых ошибок. Таким образом, перед декодером Рида-Соломона получается остаточный коэффициент ошибок по битам и можно рассчитать предельный коэффициент BER до декодера Рида-Соломона. Это значение составляет около $2 \cdot 10^{-4}$. Хотя декодер Рида-Соломона может исправить все ошибки, передача при этом находится «на грани», незначительные изменения условий приема приведут к потере сигнала вследствие лавинного увеличения количества ошибок на выходе декодера (эффект цифрового обрыва, digital cliff effect). В нормальных условиях декодер Рида-Соломона также не может исправить все битовые ошибки, например, из-за их группировки, поэтому измеряется также коэффициент ошибок по битам после декодера Рида-Соломона с предельным значением $1 \cdot 10^{-11}$, или точнее, согласно рекомендации DVB-M, предельным условием, при котором можно заметить не более одного артефакта в час. Определить наличие ошибок на выходе декодера Рида-Соломона можно средствами мониторинга ошибок транспортного потока MPEG. Измерение столь малых значений BER требует больших интервалов наблюдения, поэтому практически мало используется.

В DVB-S2 / DVB-T2 BER также измеряется в трёх точках приемного тракта:

- BER до LDPC;
- BER до BCH;
- BER после BCH.

Отношение сигнал / шум, необходимое для QEF, зависит от скорости помехоустойчивого кодирования, а также от кратности модуляции. Чем выше кратность квадратурной амплитудной модуляции, тем чувствительнее система передачи к помехам. Например, Рисунок 6 показывает изменение отношения ошибок по битам относительно отношения S/N для QPSK, 16QAM, 64QAM и 256QAM.

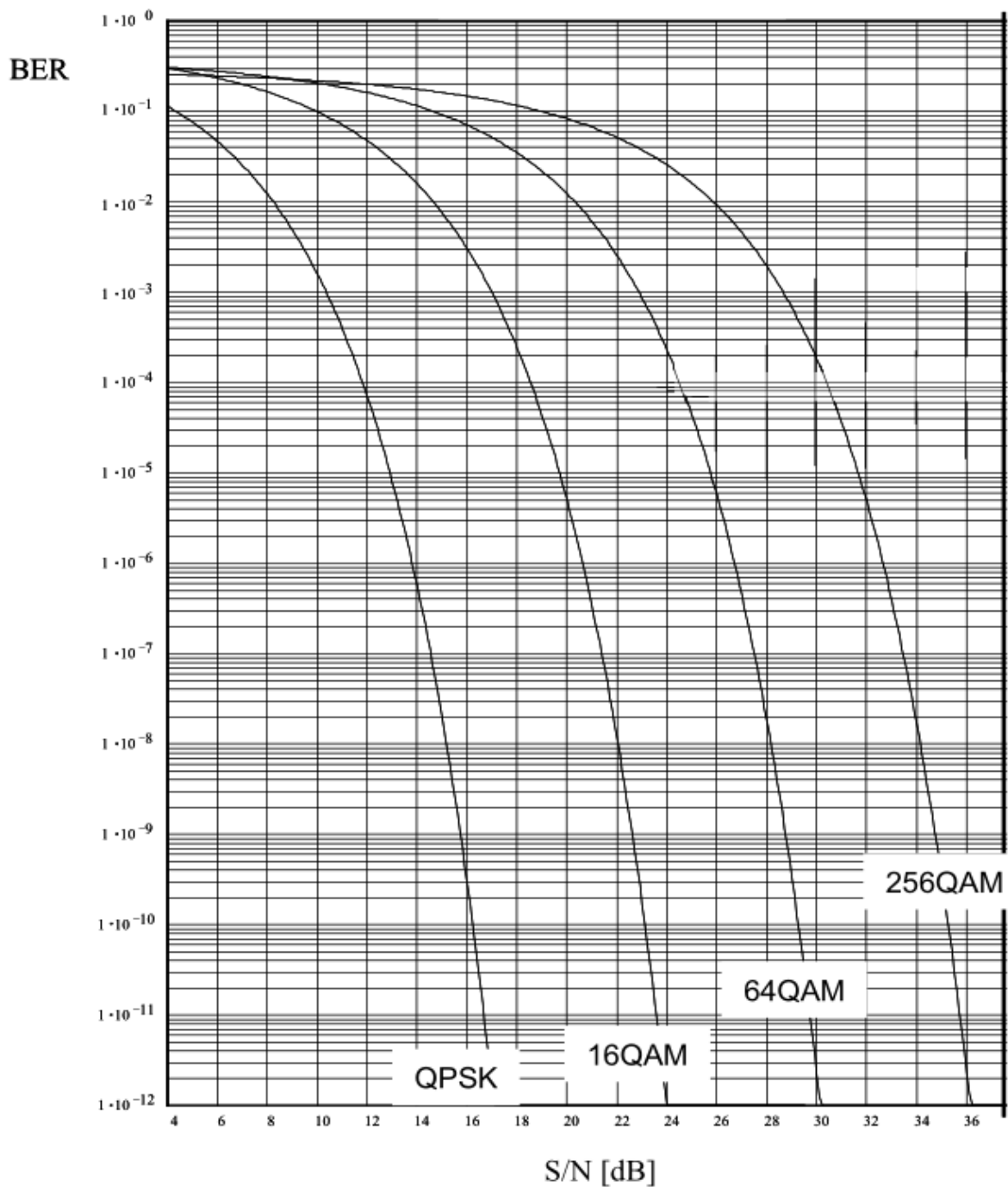


Рисунок 6 – График зависимости коэффициента битовых от ОСШ ошибок в DVB-C [2]

в DVB-C он измеряется в двух местах:

- BER до декодера Рида Соломона
- BER после декодера Рида Соломона

Уровень BER на входе декодера должен быть не менее $1 \cdot 10^{-4}$. Затем декодер Рида-Соломона исправляет ошибки и BER составляет уже $1 \cdot 10^{-11}$. Это соответствует QEF (1 ошибка в час).

Анализ сигнального созвездия QAM

Внешний вид значащих точек в ячейках созвездия может дать ключевую информацию о том, что происходит при передаче сигнала. Далее приведен перечень типичных диаграмм и соответствующая им диагностика.

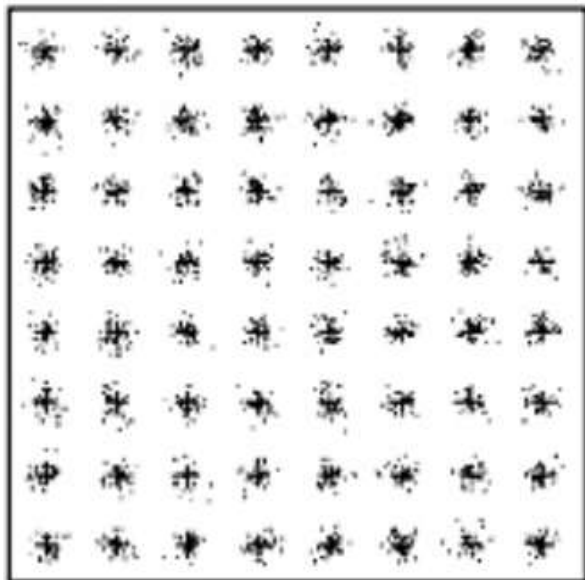


Рисунок 7 - Плохое отношение Сигнал/Шум – картинка пока отличная, но дальнейшая деградация сигнала приведет к полной потере картинки. Расплывчатый образ точки занимает практически всю ячейку

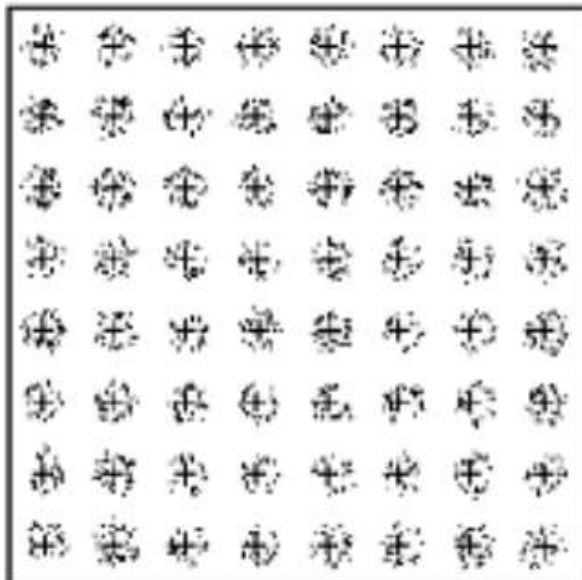


Рисунок 8 - Интермодуляционная картина («шумы ингрессии») – по причине когерентного шума в каждой ячейке образуются концентрические картинки.

Фазовое дрожание (так же фазовый шум) в сигнале QAM вызван преобразователями в тракте передачи или самим I/Q модулятором. На сигнальном созвездии фазовое дрожание вызывает искажение “смазывания” большей или меньшей величины (рисунок 9). Чтобы найти фазовое дрожание, измеряют искажения “смазывания” самых внешних точек созвездия, где шум оказывает наибольшее влияние. Затем частотное распределение в пределах поля принятия решения рассматривается вдоль кругового пути, центральная точка которого находится в начале диаграммы состояний.

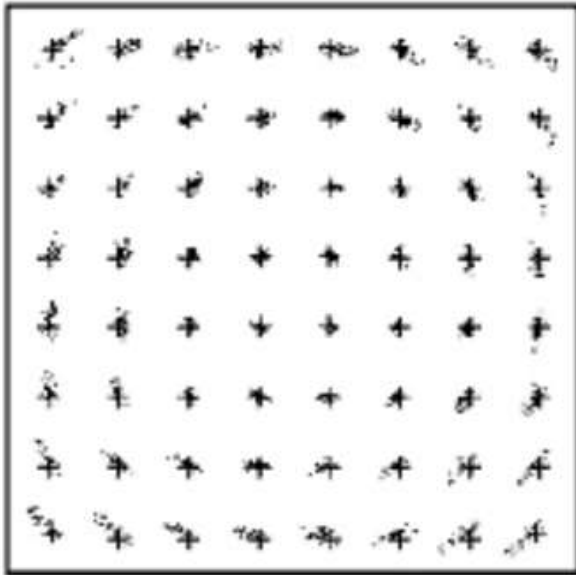


Рисунок 9 - Фазовое дрожание – возникает из-за остаточных радиочастотных помех, которые обычно являются проблемой головного оборудования.

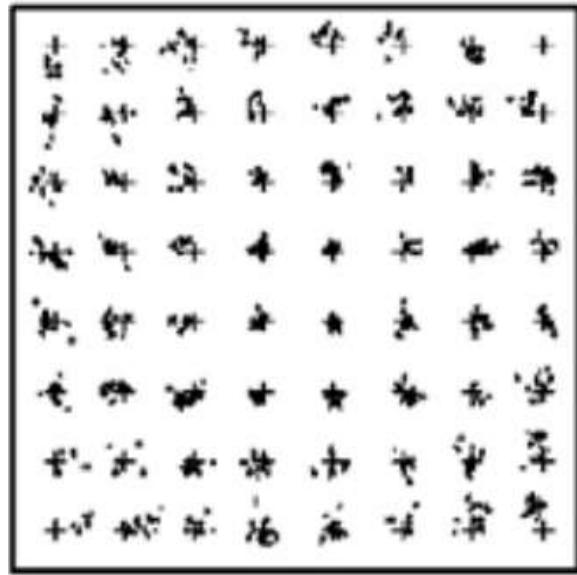


Рисунок 10 - Нелинейность амплитудной характеристики – вызвана нелинейностью промежуточных и высокочастотных усилителей, фильтров, конвертеров и эквалайзеров. Точки сдвинуты относительно центра ячейки по осям I и Q пропорционально расстоянию ячейки от центра диаграммы.

Одним из видов мешающего воздействия в канале передачи информации, является так называемый аддитивный белый гауссов шум (АБГШ).

На сигнальном созвездии эффект от шума такого типа распознаются в виде симметричного «облака» вокруг каждой точки, соответствующей идеальному значению вектора сигнала (рисунок 13).

В случае дисбаланса I/Q сигнальное созвездие сдавливается в направлении I или Q, в результате чего получается прямоугольное созвездие вместо квадратного (см. рисунок 14).

Амплитудный дисбаланс может быть определен путем измерения длин сторон прямоугольника. Определяется как:

$$AI = (v_2/v_1 - 1) \cdot 100\%;$$

где v_1 - усиление в направлении I или в сторону I прямоугольника; v_2 - усиление в направлении Q или Q-сторону прямоугольника.

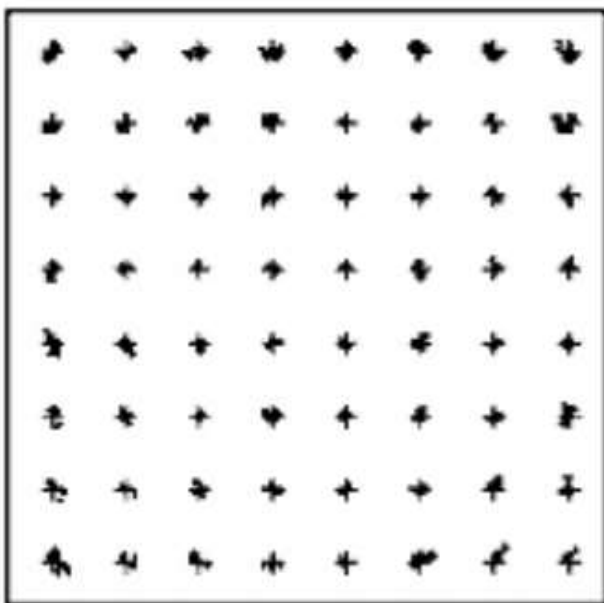


Рисунок 11 - IQ нестабильность – связана с проблемами усилителей несущей частоты, фильтров и цифровых модуляторов головных станций

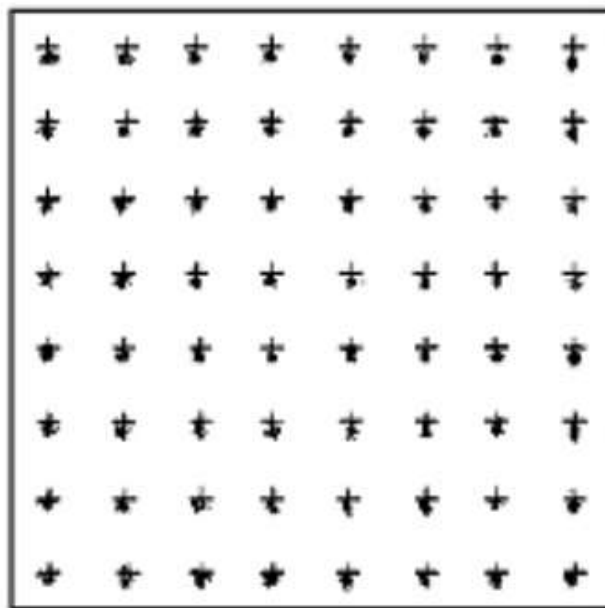


Рисунок 12 - Уход несущей – является следствием дисбаланса в смесителе модулятора или наличия паразитного постоянного тока в системе передачи. Вся картинка сдвинута в одном направлении.

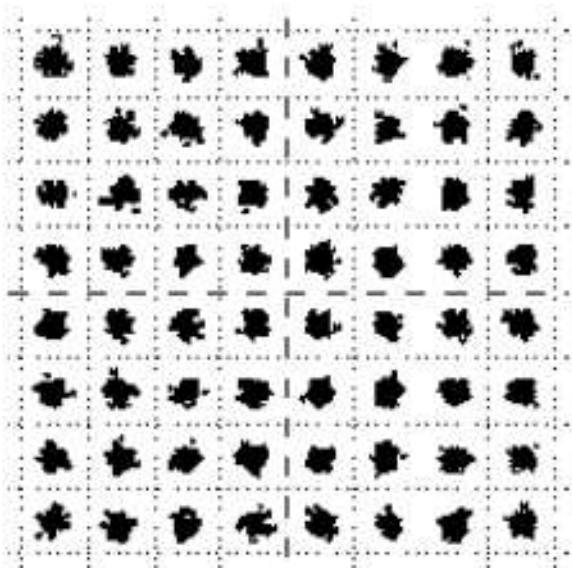


Рисунок 13 - Сигнальное созвездие при воздействии АБГШ

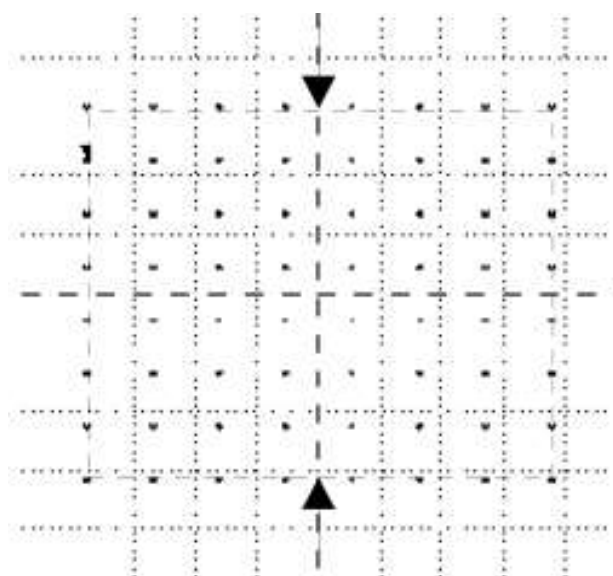


Рисунок 14 - Сигнальное созвездие с I/Q дисбалансом

Разность фаз двух несущих, подаваемых на модуляторы I и Q, должна быть равна 90° . Иначе возникает искажение сигнального созвездия, вызванное так называемой ошибкой фазы I/Q или квадратурной ошибкой QE (Quadrature Error). Типичное искажение сигнального созвездия приведено на рисунке 15.

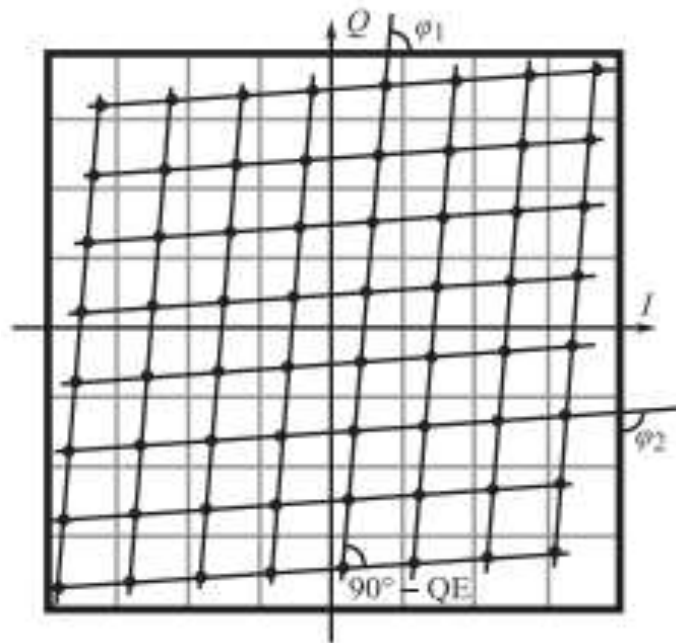


Рисунок 15 - Искажение сигнального созвездия в результате квадратурной ошибки

Квадратурная ошибка сигнального созвездия после вычисляется по формуле:

$$QE = \frac{180^\circ}{\pi} \sum |\varphi_1 - \varphi_2|$$

$\Delta\varphi = |\varphi_1 - \varphi_2|$ – абсолютное значение разности фаз.

Порядок выполнения лабораторной работы

Лабораторная работа №72а Измерение основных параметров сигналов цифрового телевидения стандарта DVB-S/S2

1. Подключить питание к прибору SatLink WS-6980. Включить устройство с помощью кнопки «PWR».
2. Подсоединить кабель спутниковой антенны ко входу LNB IN устройства.
3. В меню Spectrum выбрать Sat-Spectrum для вывода спектра DVB-S2 сигнала. Нажать ОК. Зарисовать спектр.
4. Определить в спектре предполагаемую частоту с наилучшим сигналом и выбрать её, передвинув вертикальную линию курсора и нажав клавишу ОК. Записать выбранную частоту и канал.
5. Нажать ОК. Посмотреть канал и субъективно оценить качество принимаемого сигнала. Если качество плохое или сигнала нет, то выбрать другой канал или повторить пункт 4 (с другой частотой). Если хорошее, то перейти к пункту 6.
6. В меню DVB-S2 сверить предлагаемую частоту и канал с выбранными в спектре. Если всё верно-нажать ОК, если нет-выбрать нужный канал и затем нажать ОК. Записать все доступные измеряемые значения (PWR, CN, BER, MER и т. д.).
7. Выбрать S/Q с помощью жёлтой клавиши для измерения уровня и качества сигнала. Записать значения. С помощью клавиши MENU вернуться в предыдущее меню.
8. Вывести на экран сигнальное созвездие с помощью синей кнопки. Зарисовать созвездие. Выйти в предыдущее меню.
9. Сделать вывод о качестве принимаемого сигнала DVB-S2.
10. Отсоединить кабель спутниковой антенны.
11. Отсоединить кабель о прибора и выключить его. Отсоединить блок питания от прибора.

Лабораторная работа №72б Измерение основных параметров сигналов цифрового телевидения стандарта DVB-T2

12. Подсоединить кабель антенны DVB-T2 сигнала ко входу ANT IN устройства.
13. В меню Spectrum выбрать Terr-Spectrum для вывода спектра DVB-T2 сигнала. Нажать ОК. Зарисовать спектр.
14. Определить в спектре предполагаемую частоту с наилучшим сигналом и выбрать её с помощью вертикальной линии курсора, предварительно нажав Locked (жёлтая кнопка). Записать выбранную частоту и канал. Дождаться пока определятся значения CN, BER, MER. Нажать Scan (синяя кнопка).
15. В меню DVB-T2 сверить предлагаемую частоту и канал с выбранными в спектре. Если всё верно-нажать ОК, если нет-выбрать нужный канал и затем

нажать ОК. Записать все доступные измеряемые значения (PWR, CN, BER, MER и т. д.).

16. Выбрать S/Q с помощью жёлтой клавиши для измерения уровня и качества сигнала. Записать значения. С помощью клавиши MENU вернуться в предыдущее меню.

17. Вывести на экран сигнальное созвездие с помощью синей кнопки. Зарисовать созвездие. Выйти в предыдущее меню

18. Сделать вывод о качестве принимаемого сигнала DVB-T2.

19. Отсоединить кабель антенны DVB-T2.

20. Отсоединить кабель о прибора и выключить его. Отсоединить блок питания от прибора.

Лабораторная работа №72в Измерение основных параметров сигналов цифрового телевидения стандарта DVB-C

21. Подсоединить кабель DVB-C сигнала ко входу ANT IN устройства.

22. В меню Spectrum выбрать Cable-Spectrum для вывода спектра DVB-C сигнала. Нажать ОК. Зарисовать спектр.

23. Определить в спектре предполагаемую частоту с наилучшим сигналом и выбрать её с помощью вертикальной линии курсора, предварительно нажав Locked (жёлтая кнопка). Записать выбранную частоту и канал. Дождаться пока определятся значения CN, BER, MER. Нажать Scan (синяя кнопка).

24. В меню DVB-C сверить предлагаемую частоту и канал с выбранными в спектре. Если всё верно-нажать ОК, если нет-выбрать нужный канал и затем нажать ОК. Записать все доступные измеряемые значения (PWR, CN, BER, MER и т. д.).

25. Выбрать S/Q с помощью жёлтой клавиши для измерения уровня и качества сигнала. Записать значения. С помощью клавиши MENU вернуться в предыдущее меню.

26. Вывести на экран сигнальное созвездие с помощью синей кнопки. Зарисовать созвездие. Выйти в предыдущее меню. Сделать вывод о качестве принимаемого сигнала DVB-C.

27. Отсоединить кабель о прибора и выключить его. Отсоединить блок питания от прибора

Содержание отчета

1. Название и цель работы.

2. Полученные значения, зарисованное сигнальное созвездие, зарисованный спектр для DVB-S2.

3. Полученные значения, зарисованное сигнальное созвездие, зарисованный спектр, для DVB-T2.

4. Полученные значения, зарисованное сигнальное созвездие, зарисованный спектр для DVB-C.

5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Для чего нужны параметры MER, BER, CNR и как их определить?
2. Как найти вектор ошибки с помощью графического представления MER?
3. Преимущества и недостатки параметров MER, BER.
4. Сигнальное созвездие, его назначение. Компоненты I и Q.
5. Зависимость параметра CNR от параметра BER и скорости передачи сигнала.
6. Коды Рида-Соломона в современных системах цифрового телевидения.
7. Методы обработки сигналов и виды модуляции в системах спутникового вещания.
8. Особенности передачи цифровых сигналов по сетям наземного телевидения (стандарт DVB-T). Особенности стандарта DVB-T2 с более высокой спектральной эффективностью.
9. Система цифрового ТВ вещания DVB-C. Принципы построения.
10. Методы модуляции и помехоустойчивого кодирования, используемые в стандартах DVB.

Литература

1. В.П. Дворкович, А.В. Дворкович, «Цифровые видеоинформационные системы (теория и практика)», ТЕХНОСФЕРА, Москва, 2012
2. Walter Fischer. Digital Video and Audio Broadcasting Technology. A Practical Engineering Guide - The third edition. – Springer Heidelberg Dordrecht. – 2010.
3. Б.А. Локшин, «Цифровое вещание: - от студии к телезрителю»
4. Зубарев Ю. Б., Кривошеев М. И., Красносельский И. Н. «Цифровое телевизионное вещание. Основы, методы, системы» – М.: Научно - исследовательский институт радио (НИИР). 2001. – 568 с.
5. Digital Video Broadcasting (DVB) Measurement guidelines for DVB systems. - ETSI TR 101 290 V1.3.1 (2014-07)