

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	9
Сокращения	12

1 Стандарт спутникового цифрового ТВ ETSI EN 300 421	
V1.1.2 (DVB-S)	17
1.1. История создания стандарта	18
1.2. Общая характеристика стандарта DVB-S	20
1.3. Адаптация к характеристикам спутниковых транспондеров	21
1.4. Входные/выходные интерфейсы модуляторов/демодуляторов стандарта DVB-S	24
1.5. Канальное кодирование в стандарте DVB-S	25
1.5.1. Адаптация транспортного потока (TS) и рандомизация для энергетической дисперсии	25
1.5.2. Внешнее канальное кодирование (с помощью кодов Рида-Соломона) и свёрточное перемежение. Кадрирование	27
1.5.3. Внутреннее выколотое свёрточное кодирование. Преобразование битов в созвездие несущих QPSK	28
1.6. Полосовая фильтрация и QPSK-модуляция	29
1.7. Требования к спектру выходного QPSK-сигнала	30
1.8. Требования к ограничению количества вносимых ошибок	32
1.9. Пример возможного использования системы стандарта DVB-S	33
1.10. Концепция построения демодулятора приёмной части стандарта DVB-S	34

2 Стандарт кабельного цифрового ТВ ETSI EN 300 429	
V1.2.1 (DVB-C)	36
2.1. История создания стандарта	37
2.2. Общая характеристика стандарта DVB-C	37
2.3. Канальное кодирование в стандарте DVB-C	39
2.4. Преобразование байтов в m-кортежи	39
2.5. Модуляция	43
2.6. Характеристики полосового фильтра	43

2.7. Совместимость стандарта DVB-C с действующими аналоговыми и цифровыми ТВ-системами.....	44
2.8. Концепция построения демодулятора приёмной части стандарта DVB-C	45

3 Стандарт эфирного наземного цифрового ТВ ETSI EN 300 744 V1.6.1 (DVB-T)	47
3.1. История создания стандарта DVB-T	48
3.2. Общая характеристика стандарта DVB-T	49
3.3. Входные/выходные интерфейсы модуляторов/демодуляторов стандарта DVB-T	52
3.4. Канальное кодирование и модуляция в стандарте DVB-T	53
3.4.1. Адаптация транспортного потока (TS), рандомизация для энергетической дисперсии. Внешнее канальное кодирование (с помощью кодов Рида-Соломона) и внешнее свёрточное перемежение. Кадрирование	53
3.4.2. Внутреннее канальное свёрточное кодирование и перемежение	54
3.4.3. Диаграммы созвездий несущих, преобразование отображения и первичная модуляция	61
3.5. Структура OFDM-кадра стандарта DVB-T	64
3.5.1. Определение опорных сигналов	66
3.5.2. Расположение рассредоточенных пилот-сигналов	67
3.5.3. Расположение непрерывно повторяющихся пилот-сигналов	68
3.6. Несущие с параметрами передачи (TPS) стандарта DVB-T	69
3.6.1. Формат передачи данных TPS	70
3.7. Количество RS-пакетов в одном суперкадре в стандарте DVB-T	75
3.8. Спектр и спектральные характеристики выходного сигнала стандарта DVB-T	76
3.8.1. Спектральные характеристики	76
3.8.2. Внеполосная спектральная характеристика выходного сигнала	77
3.9. Средняя частота РЧ-сигнала стандарта DVB-T для 8 МГц канала	81

3.10. Представление моделированной системы стандарта DVB-T для 8 МГц каналов	81
3.11. Определение величин F1 и P1 для системы стандарта DVB-T	81
3.12. Пример внутреннего перемежения стандарта DVB-T	86
3.13. Руководство по формированию передаваемого сигнала стандарта DVB-T	87
3.13.1. Использование быстрого преобразования Фурье FFT для формирования рабочей полосы DVB-T-сигнала	88
3.13.2. Выбор центральной частоты основной полосы пропускания DVB-T-сигнала	89
3.13.3. Иные потенциальные проблемы при формировании выходного DVB-T-сигнала	89
3.14. Параметры передаваемого сигнала стандарта DVB-T в 6 и 7 МГц РЧ-каналах	90
3.15. Обслуживание стандарта DVB-T в 5 МГц РЧ-каналах	93
3.16. Концепция построения демодулятора приёмной части стандарта DVB-T	94

4 Стандарт наземного мобильного цифрового ТВ (DVB-H, приложение стандарта ETSI EN 300 744 V1.6.1)	98
4.1. История создания стандарта DVB-H и его особенности	99
4.2. Общая характеристика стандарта DVB-H	100
4.3. Обзор дополнительных функций, предоставляемых стандартом DVB-H	101
4.4. Канальное кодирование и модуляция в стандарте DVB-H ...	103
4.4.1. Адаптация транспортного потока (TS), рандомизация для энергетической дисперсии. Внешнее канальное кодирование (с помощью кодов Рида-Соломона) и внешнее свёрточное перемежение. Кадрирование. Внутреннее канальное свёрточное кодирование	103
4.4.2. Внутреннее перемежение	103
4.5. Структура OFDM-кадра стандарта DVB-H	106
4.6. Формат передачи данных TPS	108
4.6.1. Информация TPS об инициализации, синхронизации и индикаторе продолжительности данных	109

4.6.2. Информация TPS о номере кадра, созвездии несущих, иерархичности передачи и перемежении данных	109
4.6.3. Информация TPS о кодовом показателе внутреннего кодирования, защитном интервале, режиме передачи данных и идентификации ячеек	110
4.6.4. Информация TPS о передаче DVB-H.....	110
4.6.5. Защита от ошибок сигнала данных TPS	111
4.7. Количество RS-пакетов в одном суперкадре и используемая скорость потока в стандарте DVB-H	111
4.7. Спектр и спектральные характеристики выходного сигнала стандарта DVB-H	112
4.8. Концепция построения демодулятора приёмной части стандарта DVB-H.....	112
5 Стандарт ETSI EN 301 210 V1.1.1 (DVB-DSNG).....	113
5.1. Общие сведения о системе DVB-DSNG	114
5.2. Описание системы DVB-DSNG.....	116
5.3. Архитектура и конфигурация системы DVB-DSNG.....	117
5.4. Адаптация к характеристикам спутниковых транспондеров. Входные/выходные интерфейсы модуляторов/демодуляторов стандарта DVB-DSNG	119
5.5. Спецификация подсистем стандарта DVB-DSNG.....	120
5.5.1. Адаптация транспортного потока (TS), рандомизация для энергетической дисперсии. Внешнее канальное кодирование (с помощью кодов Рида-Соломона) и внешнее свёрточное перемежение. Кадрирование	120
5.5.2. Внутреннее выколотое свёрточное кодирование, преобразование битов в созвездие несущих, полосовая фильтрация в режиме QPSK-модуляции	121
5.5.3. Внутреннее «эмпирическое» решётчатое (треллисное) кодирование в режимах 8-PSK и 16-QAM модуляций	121
5.5.4. Преобразование битов в созвездия несущих для режимов модуляции 8-PSK и 16-QAM.....	125
5.5.5. Полосовая фильтрация и модуляция для режимов 8-PSK и 16-QAM	129

5.6. Требования к спектру сигнала на выходе модулятора.....	129
5.7. Требования к ограничению количества вносимых ошибок.....	131
5.8. Настройки параметров передачи для тестов на совместимость и аварийных ситуаций.....	132
5.9. Применение дополнительных режимов	134
5.10. Применение сервисной информации SI для системы DVB-DSNG и других распределительных приложений	134
5.11. Примеры возможного использования системы стандарта DVB-DSNG	136
5.12. Концепция построения демодулятора приёмной части системы DVB-DSNG	140

6 Стандарт спецификации потоков сервисной информации ETSI EN 300 468 V1.9.1 (DVB-SI).....	141
6.1. Введение.....	142
6.2. Описание сервисной информации SI.....	146
6.3. SI-таблицы.....	148
6.3.1. Механизм SI-таблиц	148
6.3.2. Определение таблиц	154
6.4. Дескрипторы.....	175
6.4.1. Идентификация и местоположение дескрипторов....	175
6.4.2. Кодирование дескрипторов.....	177
6.4.3. Идентификация и местоположение дескрипторов расширения	248
6.4.4. Кодирование дескрипторов расширения.....	248
6.5. Меры для совместимости с носителями данных	254
6.5.1. SMI-таблицы	254
6.5.2. Описатели SMI	255
6.6. Кодирование текстовых символов.....	255
6.6.1. Управляющие коды	256
6.6.2. Выбор таблицы символов.....	257
6.7. Модель CRC-декодера.....	259
6.8. Преобразование между стандартами исчисления времени и даты	263
6.9. Введение сервисной информации об обслуживании потоков звукового сопровождения стандартов AC-3 и Enhanced AC-3 в системах DVB.....	268

6.9.1. Типы составляющих AC-3.....	269
6.9.2. Дескриптор AC-3.....	272
6.9.3. Дескриптор E-AC-3.....	275
6.10. Использование дескриптора скремблирования scrambling_descriptor.....	279
6.11. Дескриптор языков ISO 639 для исходных звуковых треков потоков звуковой информации.....	280
6.12. Введение сервисной информации в системы DVB об обслуживании звука, закодированного в системе DTS.....	280
6.12.1. Дескриптор DTS.....	281
6.13. Введение сервисной информации в системы DVB об обслуживании звука, закодированного в системе HE-AAC....	284
6.13.1. Дескриптор AAC.....	284
6.14. Назначение и интерпретация поля service_type.....	286
6.14.1. Основание использования.....	286
6.14.2. Назначение поля service_type.....	287
6.14.3. Служба цифрового ТВ service_type = 0x01.....	287
6.14.4. Поле service_type для служб с различными «улучшенными кодами».....	288

7 Стандарт передачи мегакадров для синхронизации DVB SFN-сети ETSI TS 101 191 V1.4.1.....	290
7.1. Основные характеристики сетей MFN и SFN.....	291
7.2. Основные принципы и схемы построения сетей SFN.....	292
7.2.1. MPEG-2-ремультимплексор.....	294
7.2.2. SFN-адаптер.....	294
7.2.3. Передающий и приёмный сетевые адаптеры.....	294
7.2.4. Синхронизирующая система.....	295
7.2.5. DVB-T-модулятор.....	295
7.2.6. Система глобального позиционирования (GPS).....	296
7.3. Определение мегакадров.....	296
7.4. Мегакадровый инициализирующий пакет (MIP).....	297
7.4.1. Функции.....	301
7.5. Реконфигурация параметров модулятора DVB-T при помощи MIP-пакета.....	305
Список литературы.....	307

ПРЕДИСЛОВИЕ

Основанный в сентябре 1993 года европейский проект DVB объединил общественные и частные организации ТВ-индустрии. Его целью стало создание цифровых ТВ-служб на основе стандарта цифрового сжатия MPEG-2. В настоящее время он включает свыше 200 организаций, представляющих более чем 25 стран.

Принятый двадцать лет назад, в 1994 году, стандарт спутникового цифрового телевидения (ТВ) DVB-S стал точкой отсчёта момента неизбежного перехода от аналогового вещания к цифровому. Этому способствовали качественно новые показатели эксплуатационных характеристик цифровых систем вещания. Одним из положительных моментов внедрения системы, помимо повышения пропускной способности каналов связи, стал фактор возможности гибкой интеграции информационных каналов передачи данных.

Передача дискретных цифровых сигналов вместо непрерывных аналоговых позволила на порядок увеличить соотношение параметра сигнал/шум приёмопередающих систем, что значительно увеличило устойчивость приёма программ потребителем. Иерархическое мультиплексирование источников информации дало возможность легко интегрировать в поток передаваемых данных каналы радиовещательных (РВ) программ, сигналы ТВ-телетекста и субтитров. Использование системы сжатия звукового сопровождения добавило возможность передачи высококачественного звукового сопровождения, а варьирование в широком диапазоне скорости результирующего передаваемого потока – возможность организации мультязычного звукового сопровождения ТВ-программ.

Вслед за стандартом DVB-S был в тот же год принят стандарт цифрового ТВ для кабельных сетей DVB-C. Несколькими годами позже (это было связано с отсутствием широкодоступной элементной базы для построения приёмников) был принят стандарт для эфирного цифрового ТВ-вещания DVB-T.

Высокая помехоустойчивость систем и показанные на практике их высокие эксплуатационные характеристики привели к тому, что в начале нынешнего тысячелетия стандарт DVB-T дополнился спецификацией для организации цифрового вещания на мобильные приёмники и сотовые телефоны в стандарте DVB-H. При этом на основе стандарта DVB-S был разработан стандарт для цифровых спутниковых систем сбора новостей DVB-DSNG.

На основе опыта эксплуатации систем стандарта DVB первого поколения в прошлом десятилетии были созданы стандарты второго поколения DVB-C2, DVB-S2 и DVB-T2. Эти системы имеют более высокие технико-эксплуатационные характеристики, по сравнению с предшествующими системами, и активно внедряются в сферу вещания. Несмотря на то что они, помимо всего, предоставляют дополнительные возможности (к примеру, предоставление интерактивных услуг), их внедрение сдерживает ряд субъективных факторов.

Немаловажным является то, что в наличии у потребителя имеется огромнейший парк приёмников, позволяющих принимать программы, передаваемые по стандартам старого поколения. Поэтому переход на вещание по новым стандартам продлится ещё достаточно длительное время.

Если анализировать аспекты перехода от стандарта DVB-S к DVB-S2, то можно быть уверенным, что он происходит динамично ввиду того, что сам вещатель заинтересован в данном действии. Стандарт второго поколения предлагает большую пропускную способность арендуемого спутникового канала, что позволяет вещателю при неизменной арендной плате за транспондерные ёмкости спутника передать через него больший объём информации. Поэтому зачастую вещатель акциозно осуществляет потребителю льготную замену старых приёмников на новые по сниженным ценам.

Несколько иначе обстоит дело в процессе перехода от стандарта DVB-T к DVB-T2. Сдерживающим фактором здесь является сложность получения поставщиком контента информации лицензий на цифровое вещание, а также достаточно высокие стоимости передающего оборудования и его модернизации. Кроме этого, так же необходимо, как и в предыдущем случае, учитывать наличие у абонентов большого количества приёмников DVB-T. Поэтому вещатель зачастую ведёт параллельное вещание на одном канале по обоим стандартам. (К примеру, на момент написания книги в Москве вещание первого мультиплекса ведётся в двух стандартах, позволяя использовать для приёма старые цифровые приёмники.)

Переход от стандарта DVB-C на стандарт DVB-C2 осложнён как наличием большого количества приёмников старого стандарта у абонентов, так и огромной неосвоенной ёмкостью существующих в наличии у кабельного оператора канальных ёмкостей. По данным автора, в России в настоящее время в стандарте DVB-C2 не вещает ни один кабельный оператор, и повальный переход к данному стандарту в ближайшее пятилетие не предвидится.

Как можно видеть, в России процесс перехода вещания по стандартам DVB второго поколения будет происходить ещё не один год. При этом будет актуален вопрос изучения основ и принципа работы стандартов DVB первого поколения. При этом, несомненно, следует учесть то, что стандарты второго поколения сформулированы подобно их предшественникам и принципы функционального построения оборудования на их основе схожи.

Данная монография является довольно полным и исчерпывающим описанием основных стандартов DVB первого поколения, основанным на точном переводе стандартов ETSI. Книга позволяет получить точное понимание процессов формирования сигналов и их обратного преобразования, что дает возможность широко применять полученные знания на практике. В процессе перевода оригиналов публикуемого материала автор старался максимально минимизировать использование технических неологизмов, используя их вполне доступные для употребления и незаслуженно забытые русскоязычные эквиваленты.

Книга предназначена для широкого круга специалистов в сфере цифрового телевидения и радиовещания, программистов, занимающихся созданием программного обеспечения для приёмников стандартов DVB, а также студентов радиотехнических специальностей учебных заведений радиотехнического профиля.

Все отзывы, замечания и пожелания, а также информацию об обнаруженных в книге неточностях автор просит направлять по **e-mail: boss@dvb.com.ru**.

С наилучшими пожеланиями!
Василий Фёдоров

СОКРАЩЕНИЯ

В книге используются следующие наиболее часто применяемые сокращения:

ACI (Adjacent Channel Interference) – интерференция между смежными каналами.

AWGN (Additive White Gaussian Noise) – совокупный белый гауссов шум.

BAT (Bouquet Association Table) – таблица объединения кластеров.

BB (Base Band) – полоса модулирующих частот.

BCH (Bose–Chaudhuri–Hocquenghem code) – код Боуза–Чоудхури–Хоквингема.

BER (Bit Error Ratio) – вероятность ошибки на бит.

BSS (Broadcast Satellite Service) – радиовещательные спутниковые службы (РВСС) в диапазонах 11,7...12,5 ГГц.

BW (Band Width) – полоса пропускания.

CA (Condition Access) – условный доступ.

CAT (Condition Access Table) – таблица условного доступа.

CCI (Co-Channel Interference) – интерференция между совмещёнными каналами.

CPCM (Content Protection Copy Management) – система управления защиты копий содержимого (контента).

DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying) – дифференциальная двоичная фазовая манипуляция (ДДФМ).

DFT (Discrete Fourier Transform) – дискретное преобразование Фурье (ДПФ).

DIT (Discontinuity Information Table) – таблица информации неоднородности.

DTH (Direct To Home) – непосредственное спутниковое ТВ-вещание (НТВ).

DTS (Digital Theater System) – цифровая система для демонстрации цифровых фонограмм в кинотеатрах синхронно с фильмокопиями.

DTVC (Digital Television by Cable) – цифровое кабельное ТВ.

DVB (Digital Video Broadcasting) – цифровое вещание ТВ-сигналов. Стандарты *ETSI* для цифрового ТВ-вещания.

DVB-C (DVB-Cable) – цифровое кабельное ТВ-вещание стандарта DVB.

DVB Group – группа (свыше 200 организаций из 23 стран), принявшая спецификацию передачи кабельного, наземного и спутникового (*DVB-S*) цифрового вещания на основе международного стандарта MPEG. Спецификация *DVB* одобрена *ETSI*.

DVB-H (*DVB-Handheld*) – цифровое эфирное вещание с приёмом на перемещающихся объектах стандарта *DVB*.

DVB-S (*DVB-Satellite*) – цифровое спутниковое ТВ-вещание стандарта *DVB*. Стандарт *ETSI* для цифрового спутникового вещания. Применяются QPSK-модуляции (манипуляции) несущей как наиболее приемлемые для спутниковых каналов передачи сигналов.

DVB-T (*DVB-Terrestrial*) – цифровое эфирное (наземное) ТВ-вещание стандарта *DVB*.

EDTV (*Enhanced Definition TeleVision*) – ТВ улучшенной (повышенной) чёткости.

EIRP (*Equivalent Isotropic Radiated Power*) – эквивалентная изотропная излучаемая мощность (ЭИИМ). Характеризует уровень передаваемого сигнала в конкретной точке приёма.

EIT (*Event Information Table*) – таблица информации эпизода.

EMM (*Entitlement Management Message*) – сообщение управления условным доступом, предназначенное для работы декодера, восстанавливающего скремблированный сигнал платной программы.

EPG (*Electronic Programme Guide*) – электронный навигатор программы.

ES (*Elementary Stream*) – элементарные потоки программ и информации стандарта MPEG.

FDM (*Frequency Division Multiplex*) – множество несущих на транспондер. Несколько каналов, передаваемых через один транспондер, модулируют каждый одну из нескольких несущих, лежащих в полосе пропускания данного транспондера.

FEC (*Forward Error Correction*) – алгоритмы поиска и коррекции (исправления) ошибок. Предназначены для уменьшения искажений (артефактов) принимаемых сигналов.

FFT (*Fast Fourier Transform*) – быстрое преобразование Фурье (БПФ).

FIFO (*First-In, First-Out shift register*) – каскадированный регистр стекового типа. Данные, приходящие на вход подобного регистра, проходят через него по принципу «первый пришёл – первым вышел».

FIR (*Finite Impulse Response*) – конечный импульсный отклик.

FSS (*Fixed Satellite Service*) – фиксированные спутниковые службы (ФСС) в диапазонах 10,7...11,7 и 12,5...12,75 ГГц.

FTA (Free-To-Air) – свободно вещаемые службы или программы.
HEX (Hexadecimal notation) – шестнадцатеричное представление.
HDTV (High Definition Television) – ТВ высокой чёткости.
IF (Intermediate Frequency) – промежуточная частота.
IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) – обратное быстрое преобразование Фурье.

IMUX (Input Multiplexer – Filter) – входной фильтр-мультиплексор.

HP (High Priority bit stream) – высокоприоритетный поток битов.

IRD (Integrated Receiver Decoder) – интегрированный приёмник-декодер (ресивер).

LDTV (Limited Definition TeleVision) – ТВ ограниченной чёткости.

LP (Low Priority bit stream) – низкоприоритетный поток битов.

LSB (Least Significant Bit) – наименьший значащий бит в передаваемой через канал связи цифровой последовательности (обычно передаётся последним).

MCPC (Multi Channel Per Carrier) – множество программ на одной несущей.

MFN (Multi-Frequency Network) – многочастотные передающие ТВ-сети.

MPEG (Moving Pictures Experts Group) – подкомитет ISO, занимающийся вопросами разработки алгоритмов сжатия и мультиплексирования оцифрованных видео- и звуковых сигналов.

MPEG-2 – стандарт ISO, предназначенный для сжатия (компрессии) ТВ-сигналов и звукового сопровождения различного качества с использованием цифровых методов и алгоритмов. Имеет возможность регулировки коэффициента сжатия.

MSB (Most Significant Bit) – наибольший значащий бит в передаваемой через канал связи цифровой последовательности (обычно передаётся первым).

MUX (Multiplex) – мультиплексирование, уплотнение.

NICAM (Near-Instantaneous Companded Audio Multiplex) – разновидность цифровой компрессии звука.

NIT (Network Information Table) – таблица сетевой информации.

NTSC (National Television Systems Committee) – первая аналоговая система передачи цветного изображения формата 4:3 (525 строк), использующая квадратурно-модулированную цветовую АМ-поднесущую.

NVOD (Near Video On Demand) – видео почти по требованию.
OBO (Output Back Off) – потери выходной мощности.
OCT (Octal notation) – восьмеричное представление.
OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) – мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов.
OMUX (Output Multiplexer – Filter) – выходной фильтр-мультиплексор.

OSD (On-Screen Display) – выводимые на экран ТВ меню управления и информация о параметрах принимаемых каналов.

P (Puncturing) – пробивание, выкалывание.

PES (Packetized Elementary Stream) – пакетизированный элементарный поток программ и информации стандарта MPEG.

PAL (Phased Alternate Line) – аналоговая система передачи цветного изображения формата 4:3 (625 строк), использующая квадратурно-модулированную АМ-поднесущую с чередованием фазы красного цветоразностного сигнала в соседних строках. Является самой распространённой аналоговой системой в мире.

PAT (Program Association Table) – таблица объединения программы.

PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) – плезиохронная цифровая иерархия.

PS (Program Stream) – поток программ стандарта MPEG.

PID (Packet Identifier) – идентификатор пакета транспортного потока TS. Является 13-разрядным двоичным числом и может принимать значения в пределах 0–8191 (0x00–0x1FFF), определяет тип данных внутри пакета (видео, звук и т. д.). PID в диапазоне 0–31 (0x00–0x1F) содержит системные таблицы.

PMT (Program Map Table) – таблица структуры программы.

PSI (Program Specific Information) – информация определения программы.

PSK (Phase Shift Keying) – фазовая манипуляция.

PRBS (Pseudo Random Binary Sequence) – псевдослучайная двоичная последовательность.

QAM (Quadrature Amplitude Modulation) – квадратурная амплитудная модуляция.

QEF (Quasi-Error-Free) – квазибезошибочный приём. Передача информации с уровнем ошибок, не превышающим заданного граничного значения.

QPSK (Quaternary PSK) – квадратурная фазовая манипуляция.

R (Randomized sequence) – случайная последовательность.

RF (Radio Frequency) – радиочастота.

RS (Reed-Solomon) – код Рида-Соломона.

RST (Running Status Table) – таблица статуса исполнения.

SCPC (Single Carrier Per Channel) – одна программа на одной несущей.

SDT (Service Description Table) – таблица описания службы.

SDTV (Standard Definition TeleVision) – ТВ стандартной чёткости.

SECAM (SEquential Couleur A Memoire) – аналоговая система передачи цветного изображения формата 4:3 (625 строк), использующая частотно-модулированные цветовые поднесущие, чередующиеся через строку. Является самой помехоустойчивой аналоговой системой в мире.

SFN (Single Frequency Network) – одночастотные передающие ТВ-сети.

SI (Service Information) – сервисная (служебная) информация.

SIT (Selection Information Table) – таблица выбираемой информации.

SMATV (Satellite Master Antenna Television) – система спутникового ТВ коллективного пользования.

SMI (Storage Media Interoperability) – совместимость с накопителями данных.

ST (Stuffing Table) – уравнивающая таблица.

TBD (To Be Defined) – быть определённым.

TDM (Time Division Multiplex) – одна несущая на транспондер. Общий поток, обычно содержащий несколько цифровых каналов, передаваемых через один транспондер, модулирует одну несущую, лежащую в полосе пропускания данного транспондера.

TDT (Time and Data Table) – таблица времени и даты.

TOT (Time Offset Table) – таблица смещения времени.

TPS (Transmission Parameter Signalling) – информация о параметрах передачи.

TS (Transport Stream) – транспортный поток [2].

TV (Television) – телевидение, ТВ.

TWTA (Traveling Wave Tube Amplifier) – усилитель на лампе бегущей волны (ЛБВ).

UHF (Ultra-High Frequency) – очень высокие частоты, ДМВ-диапазон ТВ-вещания.

VHF (Very-High Frequency) – очень высокие частоты, МВ-диапазон ТВ-вещания.

1 Стандарт спутникового цифрового ТВ ETSI EN 300 421 V1.1.2 (DVB-S)

2	Стандарт кабельного цифрового ТВ ETSI EN 300 429 V1.2.1 (DVB-C)	36
3	Стандарт эфирного наземного цифрового ТВ ETSI EN 300 744 V1.6.1 (DVB-T)	47
4	Стандарт наземного мобильного цифрового ТВ (DVB-H, приложение стандарта ETSI EN 300 744 V1.6.1)	98
5	Стандарт ETSI EN 301 210 V1.1.1 (DVB-DSNG)	113
6	Стандарт спецификации потоков сервисной информации ETSI EN 300 468 V1.9.1 (DVB-SI)	141
7	Стандарт передачи мегакадров для синхронизации DVB SFN-сети ETSI TS 101 191 V1.4.1	290

1.1. История создания стандарта

В 80-х годах спутниковые системы связи предназначались для распределительных целей по распространению программ нескольких национальных государственных программ крупных стран. Появление недорогих приёмников СТВ-программ привело к началу аналогового вещания в рамках программ непосредственного вещания (НТВ) – DTH (Direct-To-Home). Новатором в данной области стала европейская частная компания SES. Этот момент стал отправной точкой активной децентрализации и коммерциализации сектора СТВ-вещания. Впоследствии подавляющая доля рынка данных услуг перешла из государственного сектора экономики в частный сектор.

Ранее передача и приём сигналов на спутники и с них осуществлялись с помощью очень больших параболических антенн, чей диаметр превышал три метра. В программе ASTRA компании SES, начавшей вещание со спутника ASTRA1A, применялись небольшие параболические антенны диаметром всего 60 см.

Вещание производилось в аналоговом виде путём частотной модуляции несущей транспондера комплексным видеосигналом, уплотнённым модулированными по частоте сигналами звукового сопровождения. При этом любой житель Западной Европы получил возможность принимать сигналы 16 телевизионных и множества радиовещательных программ (с FM-качеством).

В тот момент сложилась тенденция интенсивного увеличения количества спутников на орбитальных позициях и количества транспондеров на их борту. Но спутниковые операторы не могли справиться с увеличивающимся спросом на аренду спутниковых каналов. Возросшие эстетические потребности телезрителей требовали большего количества получаемой информации. Вместе с этим получило развитие направление применения систем ТПЧ (ТВ повышенной чёткости) и ТВЧ (ТВ высокой чёткости), что сказалось на дальнейших исследованиях в области разработки и принятия новых ТВ-стандартов.

В начале 90-х годов прошлого века интенсивное развитие цифровых методов обработки сигналов в корне решило этот вопрос, результатом чего стало основание консорциума DVB, который 15 августа 1994 года принял стандарт DVB-S [1] для передачи ТВ- и РВ-программ через спутниковые транспондеры в цифровом виде. Это привело к возможности транслировать через транспондер вместо одного аналогового канала до десятка цифровых программ. Количество ретранслируемых программ возросло при этом в несколько раз.

В настоящее время в СТВ трансляция аналоговых программ практически не ведётся. Естественно, что принципы обработки принимаемых аналоговых и цифровых программ полностью различны. Принципиально новыми являются устройство и работа как цифровых СТВ-передатчиков, так и приёмников. 31 мая 1998 года была принята окончательная версия (V1.1.2) европейского стандарта DVB-S, действующая в настоящее время и представленная далее.

Настоящая глава описывает стандарт DVB-S модуляции и кодирующей системы спутникового канала (далее используется равнозначное обозначение «система DVB-S») для спутникового цифрового многопрограммного ТВ и телевидения ТВЧ с высокой разрешающей способностью HDTV (High Definition Television). Услуги используются для основного и вторичного распределения программ в фиксированных спутниковых службах ФСС (FSS – Fixed Satellite Service) и радиовещательных спутниковых службах РВСС (BSS – Broadcast Satellite Services). Основное назначение системы – предоставление услуги НТВ для абонентов, имеющих интегрированный приёмник-ресивер (IRD – Integrated Receiver Decoder), а также пользователям систем спутникового ТВ коллективного пользования (SMATV – Satellite Master Antenna TeleVision) и станциям головных узлов кабельного телевидения, с перемодуляцией в стандарты кабельного ТВ DVB-C (глава 2), а также DVB-C2.

Система использует четверичную фазовую манипуляцию QPSK (Quaternary Phase Shift Keying) в сочетании со связанной системой защиты, основанной на каскадно используемых свёрточном кодере и кодере укороченного кода Рида-Соломона (RS – Reed-Solomon). Далее в настоящей книге QPSK-манипуляция будет именоваться устоявшимся в практике термином – QPSK-модуляция.

Система DVB-S подходит для использования в различных полосах пропускания спутниковых транспондеров (С-, Ка-, Ку-диапазонах). При этом системой обеспечена совместимость со стандартом структуры передачи и синхронизации мультиплексированного пакета сжатых (компрессированных) ТВ-сигналов изображения и звукового сопровождения MPEG-2 [2] в единый транспортный поток TS (Transport Stream). Гибкость изменения параметров мультиплексирования пакета позволяет использовать параметры канала передачи ко множеству сервисных конфигураций ТВ-передач, включая использование многоканального звука и информационных служб. Все компоненты сервисной информации мультиплексированы по временному базису TDM (Time Division Multiplexed) на единой цифровой несущей.

Настоящая глава даёт:

- представление об общем описании системы для спутниковой передачи цифрового ТВ;
- определяет описание цифрового модулированного сигнала для обеспечения совместимости между разрабатываемыми функциональными узлами оборудования различными производителями системы. Это достигается нормативным описанием принципов обработки и формирования сигнала на передающей стороне, в то время как методы обработки принимаемого сигнала в приёмниках оставлены открытыми для различных решений и применений. Однако при этом рекомендуется принимать во внимание положения данного описания применительно к определенным аспектам приема;
- идентифицирует общие эксплуатационные требования и особенности системы для получения цели наивысшего качества обслуживания потребителя.

1.2. Общая характеристика стандарта DVB-S

Функциональная блок-схема передающей части ТВ-сигнала и звукового сопровождения стандарта DVB-S показана на рис. 1.1. Система данного стандарта определена как преобразователь выходного сигнала с транспортного мультиплексора MPEG-2 (ISO/IEC DIS 13818-1) [2] в спутниковый радиочастотный канал. Этот процесс включает в себе следующие этапы:

- адаптация транспортного потока (TS) и рандомизация для энергетической дисперсии;
- внешнее канальное кодирование (с помощью кодов Рида-Соломона);
- свёрточное перемежение;
- внутреннее канальное кодирование (выколотое свёрточное кодирование);
- полосовая фильтрация для модуляции;
- QPSK-модуляция.

Поскольку службы DTH обычно работают с сигналами строго ограниченной мощности, для борьбы с шумами и интерференцией в каналах связи первой задачей является повышение эффек-

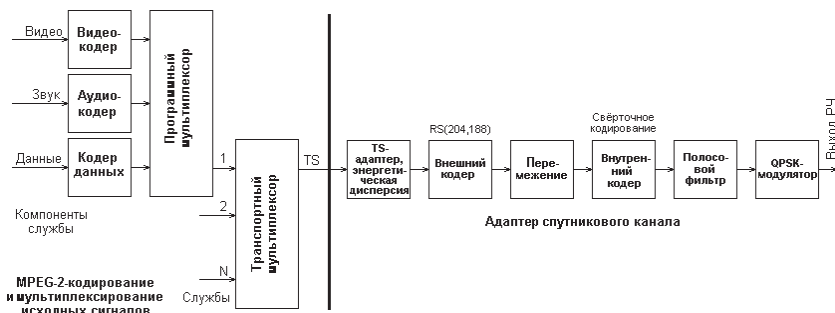


Рис. 1.1. Функциональная блок-схема модулятора стандарта DVB-S

тивности заполнения выделенной полосы частот РЧ-сигнала. Для этого в описываемом стандарте используют QPSK-модуляцию и совместное применение схем свёрточного и RS-кодирования (коды Рида-Соломона). Система при этом может оптимально работать как в режиме с одной несущей на транспондер TDM (Time Division Multiplex), так и в режиме множества несущих с использованием частотного уплотнения FDM (Frequency Division Multiplex) в рамках полосы пропускания транспондера. Все узлы системы синхронизируются образцовыми импульсами, выделяемыми из входного транспортного потока MPEG-2.

Если полученный сигнал превышает соотношение уровней мощности несущей к уровню шума канала C/N (Signal-to-noise ratio), а также порога отношения мощности несущей к уровню помехи C/I , система коррекции ошибок, использованная в системе, обеспечивает QEF (Quasi-Error-Free) квазибезошибочный приём информации с уровнем ошибок, не превышающим заданного граничного значения. QEF предусматривает менее чем один неисправленный ошибочный случай за один час передачи, соответствуя вероятности ошибки на бит BER (BitErrorRatio) = $10^{-10} \dots 10^{-11}$ на входе MPEG-2 TS-демультиплексора приёмника.

1.3. Адаптация к характеристикам спутниковых транспондеров

Передача сигналов DVB-S осуществляется в обеих спутниковых службах РВСС и ФСС Ку-диапазона. Так как транспондеры спутников на этих частотах имеют разную полосу пропускания, то при разных зна-

чениях свёрточных кодов можно высчитать допустимую символьную скорость подаваемого на вход системы цифрового потока.

Примеры допустимых скоростей символов в спутниковом канале, основанные на компьютерном моделировании для гипотетической спутниковой цепочки связи (без учёта эффекта интерференции), показаны в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Версия примеров скоростей символов для различной полосы пропускания транспондеров

BW' (уровень -3 дБ) [МГц]	BW' (уровень -1 дБ) [МГц]	R_s (для $BW/R_s = 1,28$) [МБод]	R_u (для QPSK + свёртка 1/2) [МБит/с]	R_u (для QPSK + свёртка 2/3) [МБит/с]	R_u (для QPSK + свёртка 3/4) [МБит/с]	R_u (для QPSK + свёртка 5/6) [МБит/с]	R_u (для QPSK + свёртка 7/8) [МБит/с]
54	48,6	42,2	38,9	51,8	58,3	64,8	68,0
46	41,4	35,9	33,1	44,2	49,7	55,2	58,0
40	36,0	31,2	28,8	38,4	43,2	48,0	50,4
36	32,4	28,1	25,9	34,6	38,9	43,2	45,4
33	29,7	25,8	23,8	31,7	35,6	39,6	41,6
30	27,0	23,4	21,6	28,8	32,4	36,0	37,8
27	24,3	21,1	19,4	25,9	29,2	32,4	34,0
26	23,4	20,3	18,7	25,0	28,1	31,2	32,8

Примечание: 1. R_u обозначает полезную скорость символов после MPEG-2-мультиплектора. R_s – скорость символов, выделенных из полосы пропускания промодулированного сигнала по уровню -3дБ.

2. Данные таблицы соответствуют ухудшению отношения E_b/N_0 на 1,0 дБ (относительно канала совокупного белого гауссова шума AWGN) для коэффициента округления 0,35, свёрточного кодирования 2/3 с учётом эффектов в IMUX, OMUX и TWTA.

Скорость символов промодулированного сигнала R_s при максимальной способности передачи данных может быть подобрана применительно к особенностям существующего транспондера с допустимой потерей из-за ограничения полосы пропускания транспондера. Полезная скорость символов R_u (после MPEG-2-мультиплектора) достигается в транспондере с полосой пропускания BW (Band Width) в соответствии с отношением $BW/R_s = 1,28$.

Другие величины отношения BW/R_s могут быть приняты для различных служебных приложений в зависимости от объёма пере-

даваемых данных и отношения энергии передаваемого бита к эффективной спектральной плотности шума E_b/N_0 .

На рис. 1.2 и 1.3 показаны характеристики IMUX (Input Multiplexer – Filter) и OMUX (Output Multiplexer – Filter) фильтров мультиплексоров соответственно, рассчитанные с помощью компью-

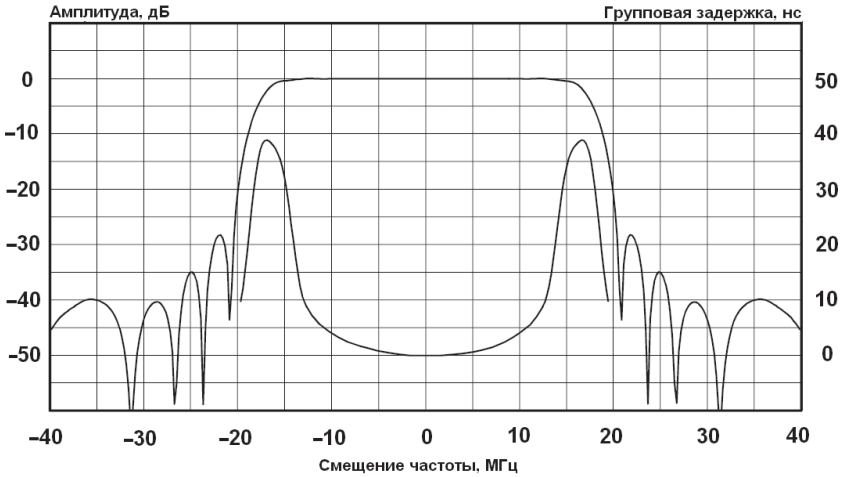


Рис. 1.2. Моделированная характеристика IMUX-фильтра

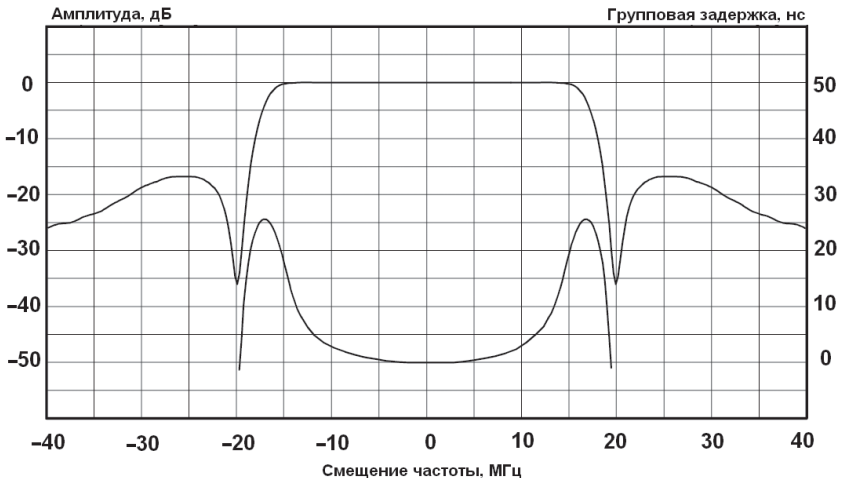


Рис. 1.3. Моделированная характеристика OMUX-фильтра

терного моделирования для СТВ-транспондера с полосой пропускания 33 МГц (по уровню -3 дБ).

На рис. 1.4 показаны моделированные значения деградации E_b/N_0 при потерях выходной мощности ОВО (Output Back Off) в усилителе на лампе бегущей волны TWTA (Traveling Wave Tube Amplifier). При этом учитываются условия ограничений полосы пропускания в IMUX и OMUX и рассматриваются отношения BW/R_s в диапазоне 1...1,35. Для отсчёта 0 дБ взята деградация при условии отсутствия ограничения полосы частот транспондера ($BW = \infty$, TWTA ОВО = 0 дБ). Кривые смоделированы для показателей скорости внутреннего свёрточного кода 2/3 и 7/8 и для BER = 2×10^{-4} . Используя данные кривые, можно получить результаты для различных характеристик фильтров транспондера, учитывая его тепловую неустойчивость и неустойчивость в результате износа старения.

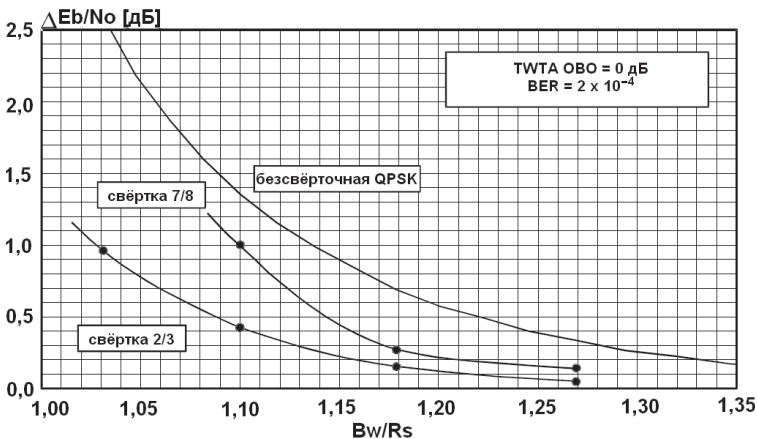


Рис. 1.4. Моделирование деградации E_b/N_0 , ожидаемой для ограничения полосы транспондера

1.4. Входные/выходные интерфейсы модуляторов/демодуляторов стандарта DVB-S

Система DVB-S использует интерфейсы связи, приведённые в табл. 1.2, для связи модуляторов и демодуляторов с источниками и потребителями сигналов в составе передатчика и приёмника цифрового сигнала.

Таблица 1.2. Интерфейсы стандарта DVB-S

Устройство	Интерфейс	Тип интерфейса	Связь
Передающая станция (DVB-S-модулятор)	Вход	Мультиплексированный MPEG-2 TS-поток [2]	От MPEG-2-мультиплексора
	Выход	70/140 МГц ПЧ	К выходному РЧ-преобразователю
Приёмник (DVB-S-демодулятор)	Вход	Определяется типом РЧ-демодулятора	От входного РЧ-преобразователя
	Выход	Мультиплексированный MPEG-2 TS-поток [2]	К MPEG-2-демультиплексору

1.5. Канальное кодирование в стандарте DVB-S

Канальное кодирование системы DVB-S представляет собой совокупность функций адаптации TS-потока, рандомизации для энергетической дисперсии, внешнее канальное кодирование, перемежение, кадрирование и заключительное внутреннее свёрточное кодирование.

1.5.1. Адаптация транспортного потока (TS) и рандомизация для энергетической дисперсии

На вход системы подаётся цифровой поток с транспортного мультиплексора MPEG-2 [2], который представляет собой пакеты данных фиксированной длины (рис. 1.5а). Пакеты имеют длину 188 байт. Каждый пакет начинается с байта синхрослова (47h). При этом в процессе передачи данных первым всегда передаётся старший значащий бит (MSB) синхрослова (то есть 01000111).

По рекомендации ITU входная цифровая последовательность для энергетической дисперсии подвергается рандомизации согласно рис. 1.6. (По данной схеме производится дерандомизация цифровой последовательности в DVB-S-приёмниках.) Порождающий многочлен для псевдослучайной последовательности ПСП (PRBS):

$$f(x) = 1 + x^{14} + x^{15}.$$

Последовательность «100101010000000» загружается в ПСП (PRBS) регистр в начале каждого восьмого транспортного пакета. Для получения инициализирующего сигнала дескремблера СТВ-приёмника синхробиты первого транспортного пакета побитно ин-