

# 10. Измерения в цифровом телевидении

## 10.1. Общие сведения

В мае 2001 года опубликовано «Руководство по измерениям» TR 101 290 [10.1]. Оно определяет правила и процедуры контроля параметров входных/выходных сигналов всех блоков телевизионного тракта. Эти правила установлены для спутникового, кабельного и наземного телевизионного вещания DVB, а также SMATV, MMDS/MVDS.

В первую очередь прописаны методы оценки и измерения транспортного потока MPEG-2 TS. Они позволяют идентифицировать проблемы модулятора и передатчика, обеспечивают правильное определение измеряемых параметров на физическом уровне систем DVB-T, S, C.

В отдельном разделе Руководства подробно рассмотрены измеряемые параметры системы наземного цифрового видеовещания DVB-T (табл. 10.1). Это параметры радиосигналов, влияние шумов на качество передачи информации, измерение коэффициента битовых ошибок BER, анализ квадратурных составляющих  $I/Q$ , ошибки модуляции и синхронизации.

Для характеристики качества выходных сигналов передающих систем или модуляторов одним из наиболее часто используемых параметров является коэффициент ошибок модуляции MER. Его можно интерпретировать как расширенную версию отношения сигнал/шум SNR. Он также включает систематические ошибки от специфических искажений модулятора, таких как амплитудный дисбаланс, фазовое дрожание и квадратурные ошибки. На приемной стороне величина MER характеризует качество сигнала, включая систематические ухудшения, вызванные передающей системой. Считается, что ее минимальное значение находится в пределах 37–43 дБ. Для синхронизации в одночастотных сетях полезен MIP (Mega-frame Initialization Packet) для регулировки специфических параметров. Дополнительно в одночастотных сетях может быть идентифицирован дрейф и задержка сигналов отдельных передатчиков.

Таблица 10.1

Измеряемые параметры DVB-T (ETSI TR 101 290)

Измеряемые параметры	Пере- датчик	Сеть	При- емник
1. Радиочастотные измерения			
1.1. Точность частоты	+		
1.2. Ширина канала	+		
1.3. Измерение длительности символа	+		
2. Селективность			+
3. Захват АПЧ (AFC Capture)			+
4. Фазовый шум местного генератора	+		+
5. Мощность сигнала РЧ/ПЧ	+		+
6. Мощность шума			+
7. Спектры РЧ и ПЧ	+		
8. Чувствительность приемника			+
9. Эквивалентная деградация шума END	+		+
9а. Минимальный уровень шума ENF	+		
10. Линейность характеристики (ослабление плеч)	+		
11. КПД (Power efficiency)	+		
12. Когерентная интерференция	+		
13. BER vs. $C/N$ при изменении мощности передатчика	+		
14. BER vs. $C/N$ при изменении мощности Гауссова шума			+
15. BER перед декодером Витерби	+		+
16. BER перед RS-декодером	+		+
17. BER после RS-декодера	+		
18. $I/Q$ -анализ			
18.1. Коэффициент модуляционной ошибки MER	+	+	+
18.2. System target error	+		+
18.3. Подавление несущей	+		+
18.4. Амплитудный дисбаланс	+		+
18.5. Квадратурная ошибка	+		+
18.6. Фазовое дрожание	+		+
19. Полная задержка сигнала	+		

Измеряемые параметры	Пере- датчик	Сеть	При- емник
20. Синхронизация SFN			
20.1. MIP временная ошибка	+		
20.2. MIP структурная ошибка	+		
20.3. MIP ошибка наличия	+		
20.4. MIP ошибка отметки	+		
20.5. MIP ошибка периодичности	+		
20.6. MIP ошибка ts rate	+		
21. Системная ошибка	+	+	+

В связи с появлением систем второго поколения может появиться необходимость для возрождения измерительной группы. Пунктами пересмотра Рекомендаций могут быть новые параметры и другие проблемы. Ожидается [10.2], что появится второе издание Руководства, которое снова обеспечит для всех применений результаты измерений от различных тест-приборов в соответствии с рекомендациями модернизированного TR 101290.

Далее обсуждаются методы измерений в соответствии с TR 101290. Требования к измерениям в DVB-T значительно выше, чем в DVB-S или DVB-C. Это связано со сложностью модулятора и наземного тракта передачи сигналов. Для измерений требуется спектроанализатор, измерительный приемник и генератор (передатчик) испытательных сигналов.

Основным средством для проведения испытаний является измерительный приемник (рис. 10.1) [10.3].

Наиболее важен анализ созвездия. Ниже в основном рассмотрены особенности анализа созвездий DVB-T. Благодаря наличию пилотных сигналов, можно выполнить расширенный анализ без привлечения других средств. Положение рассеянных и непрерывных пилотов и TPS-несущих на рис. 10.1 можно легко обнаружить на оси *I*. Рассеянные пилоты используются для оценки и коррекции канала и являются опорными точками на диаграмме. Они всегда находятся в одном и том же положении.

Несущие параметров сигнализации служат для быстрой передачи канальной информации от передатчика к приемнику.

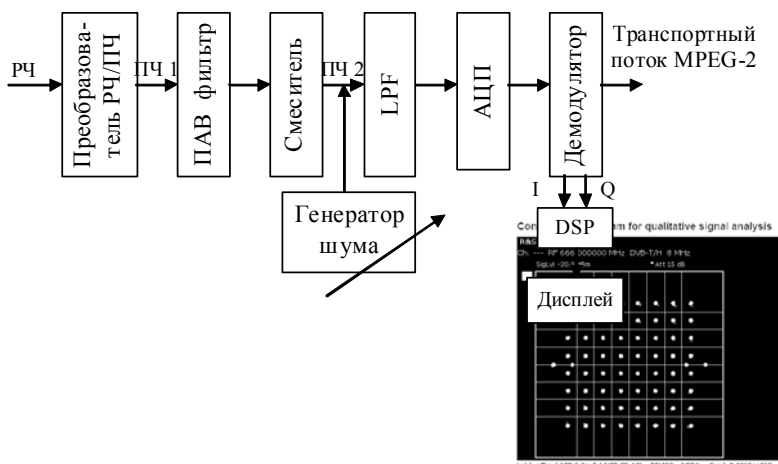


Рис. 10.1. Структура измерительного приемника и диаграмма созвездия на экране дисплея

Кроме шумов, влияния других факторов на данном изображении не видно. Измерительный приемник может быть использован для обнаружения искажений и за счет других факторов. Основное отличие измерительного приемника от сет-топ-бокса состоит в более высоком качестве обработки аналоговых сигналов и использовании цифровых сигнальных процессоров DSP для оценки канала и данных  $I/Q$ .

Отметим, что общие требования к измерительным сигналам и трактам передачи сигналов цифрового вещательного телевидения изложены в отечественном стандарте [10.4].

## 10.2. Измерение и анализ транспортного потока MPEG-2

Значительную часть Руководства [10.1] составляют принципы анализа транспортного потока MPEG-2. Его основные параметры разбиты на три группы в соответствии с их значением для мониторинга.

В *первую группу* входят параметры, анализ которых позволяет убедиться, что транспортный поток может быть декодирован стандартным декодером. Индикаторы этих параметров указывают на потерю синхронизации **TS\_sync\_loss**, ошибки в синхробайте пакетов транспортного потока **Sync\_byte\_error**, ошибки в таблице соединения программ PAT (Program Association Table) **PAT\_error** и таблицах плана программ PMT (Program Map Table) **PMT\_error**, а также **PID\_error**.

Эта группа параметров имеет наивысший приоритет. Если индикаторы первой группы указывают на ошибки, то проверка остальных параметров не имеет смысла [10.5].

Во *вторую группу* входят параметры, рекомендуемые для непрерывного или периодического мониторинга транспортного потока MPEG-2. К ним относятся ошибки в заголовках пакетов транспортного потока **Transport\_error**, ошибки в контрольных суммах таблиц с программной информацией **CRC\_error**, нарушения правил передачи меток опорного времени **PCR\_error** и др. Метки PCR используются для регенерации тактовой частоты 27 МГц в приемнике. Если PCR прибывают нерегулярно, тактовые сигналы могут флуктуировать или дрейфовать. Приемник/декодер может даже выйти из синхронизации. В DVB период повторения PCR не должен превышать 40 мс. Дополнительный индикатор **PCR\_accuracy\_error** сигнализирует, что ошибка PCR превышает  $\pm 500$  нс.

В *третью группу* входят параметры, относящиеся к системе вещания DVB.

**NIT\_error.** Таблицы сетевой информации (NIT) содержат информацию о частоте, кодовой скорости, модуляции, поляризации и другие данные о программах, которые может использо-

вать декодер. Индикатор указывает, присутствуют ли NIT в транспортном потоке и имеют ли они корректные PID.

**SI\_repetition\_error.** Для таблиц сервисной информации установлена минимальная и максимальная периодичность (EN 300 468 [10.6] и TR 101 211 [10.7]). Этот индикатор должен быть установлен дополнительно к другим индикаторам ошибок повторения для отдельных таблиц.

**Buffer\_error.** Сигнализирует о переполнении или недогрузках буферов опорного декодера.

**Unreferenced\_PID.** Каждая открытая программа потока данных должна иметь свой PID в списке таблиц плана программ PMT.

**SDT\_error.** SDT (Service Description Table) — таблица описания службы — описывает имеющиеся для зрителя сервисы. Без этой таблицы приемник/декодер не может обеспечить зрителю список имеющихся в наличии сервисов.

**EIT\_error.** EIT (Event Information Table) — таблица информации о событиях.

### 10.3. Измерения транспортных потоков MPEG-2 в сетях

Транспортный поток, передаваемый в реальных сетях, подвержен влиянию ряда факторов, которые явно не проявляются. Одним из преобладающих эффектов является изменение программных часов PCR (джиттер) в транспортном потоке. В [10.1] описаны различные компоненты джиттера, которые могут быть разделены *границными частотами*. При измерениях скоростей передачи битов в транспортных потоках требования существенно меняются для потоков с постоянной и переменной скоростью. Применение статистического мультиплексирования приводит к более динамичным изменениям скоростей передачи битов, особенно для видеокomпонентов.

Транспортный поток содержит программные компоненты с разной предысторией, в том числе и с различающимися такто-

выми частотами, поэтому невозможно или очень трудно привести все сигналы к единой временной базе. Для управления такими потоками вводится еще один механизм синхронизации, называемый ссылкой на программные часы (PCR — Program Clock Reference) [10.8]. PCR, как и другие временные метки, представляет собой 33-битовое число, отсчитываемое в периодах частоты 90 кГц, получаемой делением на 300 частоты тактового генератора 27 МГц. Оно показывает ожидаемое время завершения считывания в декодере поля PCR из транспортного потока, после чего декодер может приступить к сравнению пришедшего и местного отсчетов и выработке корректирующего сигнала.

В отличие от ссылки на системные часы (SCR — System Clock Reference), ссылки на программные часы (PCR) вводятся в поток на программном, а не на системном уровне. В одном потоке может передаваться несколько различных PCR — по числу программ. Декодер при переключении на каждую новую программу заново синхронизирует свой внутренний генератор частоты 27 МГц. Стандарт предписывает повторение метки PCR не реже чем один раз в 0,7 с. В промежутках декодер вычисляет значения меток путем интерполяции. PCR передается в поле адаптации.

На рис. 10.2 поясняется формирование и использование PCR [10.8].

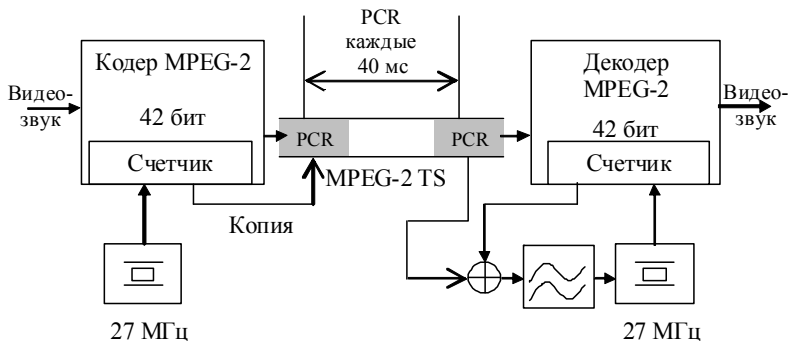


Рис. 10.2. Использование PCR

В разделе измерения PCR (таймер программы) представлена образцовая модель для любого источника транспортного потока (TS) относительно генерации PCR и задержек доставки. Рассмотрены временные эффекты, которые видимы в точках интерфейсов TS. Механизмы, из-за которых эти временные эффекты могут возникать в реальных системах, здесь не рассматриваются.

**Частотный сдвиг PCR\_FO.** Определяется как отличие частоты программных часов (таймера) от номинала. Единица измерения — герц или миллионные доли (ppm) — отношение разности измеренной и номинальной частот (Гц) к номинальной частоте (МГц). Оригинальная частота тактов используется в цифровом видеоформате перед компрессией (программные часы), передается в оконечный приемник в форме цифровой величины в поле PCR. Допуск определен в ISO/IEC 13818-1 [10.9] и равен  $\pm 810$  Гц или  $\pm 30$  ppm.

**Дрейф PCR\_DR.** Скорость дрейфа определяется первой производной от частоты и низкочастотными компонентами разности между программными часами и номинальной тактовой частотой. Формат этого параметра мГц/с при частоте 27 МГц или ppm/ч. Допуск определен в ISO/IEC 13818-1 и равен  $\pm 75$  мГц/с для частоты 27 МГц или  $\pm 10$  ppm/ч. Это ограничение эффективно только для низкочастотных компонентов, определяемых граничной частотой [10.1, приложение I].

**Общее дрожание PCR\_OJ.** Определяется как мгновенное измерение высокочастотных компонентов различия между прибытием PCR в точку измерения и моментом, когда оно должно прибыть. Выражается в наносекундах. Измерение PCR\_OJ предназначено для расчета суммарных ошибок PCR при генерации программного потока, мультиплексировании, передаче и т.д. Все эффекты проявляются как дрожание в приемнике, но они комбинируются с неточностью и джиттером, возникающими в передатчике. Эти величины могут сравниваться с максимально допустимым значением  $\pm 500$  нс согласно ISO/IEC 13818-1 только при условии, что в передатчике дрожание равно нулю.



**Точность PCR<sub>АС</sub>.** Определяется как различие между действительной величиной PCR и той величиной, которую должен иметь PCR в транспортном потоке TS. Ошибка может быть рассчитана при постоянной скорости транспортного потока TS, при переменной скорости измерение может не принести поддающийся интерпретации результат. Выражается в наносекундах. Согласно ISO/IEC 13818-1 допустимая величина ошибки равна  $\pm 500$  нс. Измерение предназначено для индикации полной ошибки входящей в PCR величины относительно его положения в транспортном потоке.

## 10.4. Измерение высокочастотных параметров сигналов

**Центральная частота канала.** Успешная обработка сигналов OFDM требует, чтобы определенная частота несущей подерживалась в передатчике с высокой точностью. Особенно высокой точности требуют специфические режимы работы, такие как одночастотные сети SFN.

В режиме *8k* DVB-T всегда имеет непрерывный пилот с непрерывной фазой в последовательности OFDM-символов точно в центре канала ( $K = 3408$ ). Его частота может быть непосредственно измерена спектроанализатором, который имеет встроенный счетчик и фильтр с разрешением не менее 300 Гц (при необходимости используется опорный источник с достаточной точностью).

В режиме *2k* имеется непрерывный пилот с непрерывной фазой при  $K = 1140$ . Его частота также может быть измерена спектроанализатором. Центральная частота канала может быть определена вычитанием относительно измеренной частоты.

Канал 8 МГц:  $(1\,140 - 852) \times 4\,464,2857 = 1\,285\,714$  Гц.

Канал 7 МГц:  $(1\,140 - 852) \times 3\,906,25 = 1\,125\,000$  Гц.

Канал 6 МГц:  $(1\,140 - 852) \times 4\,464,2857 = 964\,286$  Гц.

Для режима *2k* этот метод может иметь некоторую неточность, если образцовая частота модулятора неточная, однако

такая ошибка образцовой частоты должна быть очень высокой, чтобы значительно повлиять на измерение центра канала. Если требуется более высокая точность, могут быть измерены два внешних пилота (ширина радиочастотного канала) и рассчитано среднее значение из двух величин.

**Ширина РЧ-канала.** Измерение ширины канала используется для проверки того, что образцовая частота точно поддерживается в модуляторе. Полоса частот, занимаемая модулированным COFDM-сигналом, зависит непосредственно от частотного разнеса и от образцовой частоты. Крайние несущие в сигнале DVB-T являются непрерывными пилотными несущими. Измеряются их частоты и разность между ними сравнивается с номинальной шириной канала:

7 607 142,857 Гц для каналов 8 МГц;

6 656 250,000 Гц для каналов 7 МГц;

5 705 357,143 Гц для каналов 6 МГц.

Три десятичных знака даны только для полноты. В большинстве случаев для измерения образцовой частоты достаточно точности 1 Гц, что на частоте 5 МГц соответствует относительной погрешности  $0,2 \cdot 10^{-6}$ . Измерительный инструмент должен иметь на порядок более высокую точность и разрешение. Если частоты внешних несущих известны, относительная величина может быть рассчитана в соответствии с табл. 10.2.

Таблица 10.2

Формулы для расчета параметров РЧ-канала

Параметр	Режим 8k	Режим 2k
Занимаемая полоса	$F_H - F_L$	
Разнос частот	$(F_H - F_L) / 6\,816$	$(F_H - F_L) / 1\,704$
Полезная длительность	$6\,816 / (F_H - F_L)$	$1\,704 / (F_H - F_L)$
Центральная частота	$(F_H - F_L) \cdot 4\,096 / (K - 1)$	$(F_H - F_L) \cdot 1\,024 / (K - 1)$
Частота отсчетов	$(F_H - F_L) \cdot 16\,384 / (K - 1)$	$(F_H - F_L) \cdot 4\,096 / (K - 1)$

Обозначим внешние пилотные частоты как  $F_L$  и  $F_H$ . Тогда занимаемая полоса будет  $F_H - F_L$ . Число несущих  $K$  для режима 2k составит  $K - 1 = 1704$ , для режима 8k —  $K - 1 = 6816$ .

**Измерение длительности символа на РЧ (проверка защитного интервала).** Проверка защитного интервала в приняемом сигнале DVB-T может быть проведена тщательным измерением частоты. Это измерение эффективно в том случае, когда имеется неопределенность, что модулятор работает правильно и производит сигнал с ожидаемым или назначенным защитным интервалом.

Рассеянные пилоты производят подобные импульсам спектры каждой третьей несущей в спектре DVB-T из-за их повторения в той же фазе и размещения в каждом четвертом символе. Частотное различие двух смежных спектральных линий, представляющих рассеянные пилотные несущие, обратно пропорционально длительности четырех следующих друг за другом символов DVB-T. Измерение такого частотного различия и деление его инверсии на 4 обеспечит полную длительность  $T_S$  измеряемого сигнала. Вычитая номинальную длительность полезного символа  $T_U$ , получим защитный интервал.

**Фазовые шумы местных генераторов.** Фазовый шум может появиться в передатчике при любом преобразовании частоты или в приемнике из-за случайных флуктуаций фазы генераторов. В системе OFDM фазовый шум может вызвать *общую фазовую ошибку* Common Phase Error (CPE), которая влияет на все несущие одновременно и может быть минимизирована или скорректирована с помощью непрерывных пилотов. Однако интерференция между несущими Inter-Carrier Interference (ICI) является шумоподобной и не может быть скорректирована. Влияние CPE подобно фазовому шуму за пределами полосы контура схемы восстановления несущей и приводит к периодическому сдвигу точек созвездия на  $I/Q$ -плane. Это уменьшает рабочий запас помехоустойчивости системы и может привести к увеличению BER. Влияние ICI является специфическим для OFDM и не может быть скорректировано. Это необходимо

принимать во внимание как часть общего шума системы. Фазовый шум может быть измерен спектроанализатором, векторным анализатором или установкой для испытаний.

Плотность мощности фазового шума обычно выражается в децибел-секундах на герц (дБ·с/Гц) при определенном частотном сдвиге от сигнала местного генератора. Рекомендуется специальная спектральная маска, по крайней мере, с тремя точками частотного сдвига или уровня (рис. 10.3).

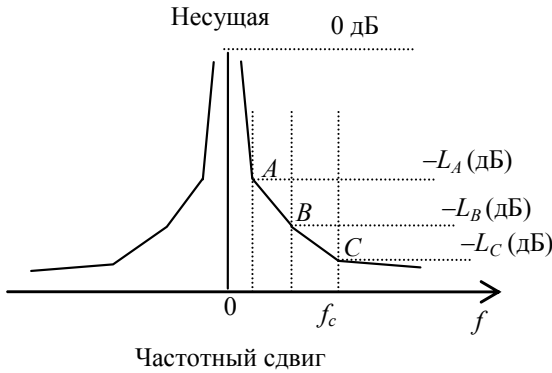


Рис. 10.3. Спектральная маска

Для измерения ICI расположение несущих на частотах  $f_a, f_b, f_c$  приведено в табл. 10.3.

Таблица 10.3

Частотные сдвиги  $f_a, f_b, f_c$  для систем 2к и 8к, кГц

Частотные сдвиги	$f_a$	$f_b$	$f_c$
Система 2к, кГц	4,5	8,9	13,4
Система 8к, кГц	1,1	2,2	3,4

**Мощность RF/IF-сигнала и шума.** Мощность сигнала наземного DVB — средняя мощность, измеренная тепловым сенсором. В случае принимаемых сигналов необходимо обращать внимание на ограничение полосы частот ожидаемого сигнала.

При использовании спектроанализатора или калиброванного приемника необходимо интегрировать мощность сигнала в пределах номинальной полосы сигнала ( $nf_{\text{SPACING}}$ , где  $n$  — число несущих,  $f_{\text{SPACING}}$  — разнос несущих). Мощность шума может быть измерена спектроанализатором. Мощность шума определяется с использованием занимаемой полосы частот OFDM сигнала  $n f_{\text{SPACING}}$ .

*Примечание:* термин  $C/N$  должен быть рассчитан как отношение мощности сигнала к мощности шума, измеренного так, как описано в этом разделе.

**Спектры РЧ и ПЧ.** Для устранения интерференции с другими каналами передаваемый РЧ-спектр должен соответствовать спектральной маске, которая определяется для наземных сетей. Если спектр на выходе модулятора определяется спектральной маской, та же самая процедура может быть применена к сигналу ПЧ (при отсутствии предкоррекции). Это измерение обычно проводится с использованием спектроанализатора. Спектральная плотность наземного сигнала DVB определяется долговременным усреднением изменяющейся во времени мощности на единицу полосы частот (1 Гц). Значение для другой ширины полосы может быть получено пропорциональным увеличением единичной полосы. Для устранения регулярных структур в модулированном сигнале необходимо на входе передатчика использовать нерегулярный сигнал, т.е. псевдослучайную бинарную последовательность (Pseudo-Random Binary Sequence (PRBS)). Входной каскад селективного измерительного оборудования не должен перегружаться главной долей сигнала при оценке краевых частей, т.е. за пределами полосы диапазона (out-of-band range).

Рекомендуемая величина для полосы разрешения не превышает 30 кГц. Предпочтительная величина примерно 4 кГц.

**Чувствительность приемника. Динамический диапазон при Гауссовом канале.** При планировании сети должны быть определены минимум и максимум входной мощности для нормальной работы приемника. Должны быть измерены пороги минимальной и максимальной входной мощности для квази-

безошибочной работы QEF (Quasi Error Free) после RS-декодера ( $BER < 2 \cdot 10^{-4}$  перед декодером RS). Динамический диапазон — это разность между измеренными величинами.

**Эквивалентное шумовое ухудшение (END) и эквивалентный минимальный уровень шума (ENF).** END является мерой потерь реализации, обусловленных сетью или оборудованием относительно идеальных характеристик. END равно разности (дБ) отношения  $C/N$ , необходимого для достижения  $BER = 2 \cdot 10^{-4}$  перед декодером RS, и отношения  $C/N$ , которое теоретически дает  $BER = 2 \cdot 10^{-4}$  для Гауссова канала [10.10, приложение А].

ENF является мерой потерь реализации, обусловленных передающим оборудованием, по сравнению с идеальным передатчиком.

ENF получают при измерении дополнительного шума, необходимого для достижения  $BER = 2 \cdot 10^{-4}$  перед RS-декодером, и уровня шума, который теоретически дает  $BER = 2 \cdot 10^{-4}$  для Гауссова канала [10.10, приложение А].

Влияние передатчика DVB-T на полные характеристики системы при приеме измерительным приемником в определенном режиме работы и Гауссовом канале ассоциируется с измерением END.

Измерительный приемник в [10.1] определяется как приемник, который требует  $C/N$  на 3,0 дБ выше, чем указано в [10.10] при Гауссовом канале. END по определению настоящего документа — это разность между требуемым  $C/N$  при  $BER = 2 \cdot 10^{-4}$  после сверточного декодирования в приемнике при использовании реального и идеального передатчика.

END является характеристикой не только самого передатчика, но также зависит от используемого режима работы и от потерь реализации приемника (поэтому фиксированное значение 3 дБ определено для реального измерительного приемника).

Пусть END не превышает 0,5 дБ и не зависит от защитного интервала. В зависимости от требований оператора сети эта величина находится в диапазоне 0,1–0,4 дБ. Для определения

END может использоваться другая величина — Equivalent Noise Floor (ENF), в результате этого может быть улучшена точность для END.

В противоположность END параметр ENF является относительно независимым от режима работы DVB-T и потерь реализации приемника и может, следовательно, использоваться для характеристики именно *самого* передатчика. В зависимости от того, имеется ли необходимость для характеристики самого передатчика или необходимо характеризовать *его влияние на приемник*, ENF может иногда использоваться как альтернатива END в качестве параметра исполнения. Характеристика группового времени задержки передатчика должна быть определена оператором сети в зависимости от используемой конфигурации — компоновки, выходных фильтров и т.д.

**Линейность характеристики («ослабление плеч»).** «Ослабление плеч» можно использовать для характеристики линейности OFDM-сигнала без ссылки на спектральную маску. Для измерения радиочастотного спектра радиопередатчика необходимо:

а) определить максимальную величину спектра с использованием полосы разрешения в 10 разносов несущих;

б) провести наклонные прямые линии, соединяющие измеренные точки на 300 и 700 кГц выше и ниже верхнего и нижнего краев спектра; нарисовать дополнительную линию, параллельную этим, так, чтобы наибольшая спектральная величина внутри соответствующего диапазона лежала на ней;

в) вычесть величину мощности в центре линии (500 кГц от верхнего и нижнего краев спектра) от максимального значения спектра (а) и отметить разницу как ослабление на верхней и нижней границах;

г) принять наихудший случай из верхнего и нижнего результатов (в) в качестве общего «ослабления плеч».

**Пример.** Процедура измерения «ослабления плеч» для канала UNF 47.

1. Выбрать центральную частоту спектроанализатора в центре канала ДМВ, т.е. 682 МГц для канала 47 (рис. 10.4).

Проверить уровень выходной мощности, используя высокое разрешение (3 или 5 МГц), и сравнить с величиной, полученной измерителем мощности.

2. Выбрать центральную частоту спектроанализатора в конце канала ДМВ (т.е. 686 МГц для канала 47).

3. Выбрать подходящий диапазон частот, например 2 МГц.

4. Выбрать полосу разрешения (10 кГц достаточно для режима 2k или 8k).

5. Измерить уровень мощности на частотах 300 и 700 кГц выше верхней границы спектра DVB-T и продолжить, как указано в п. (г). Последняя несущая спектра +3,8 МГц от центра канала ДМВ, следовательно, для канала 47 две измеряемые точки будут 686,1 и 686,5 МГц.

6. Повторить шаги 2–5 для нижнего края спектра.

7. Наихудшая величина верхнего и нижнего результатов является «ослаблением плеч».

Мощность, дБм

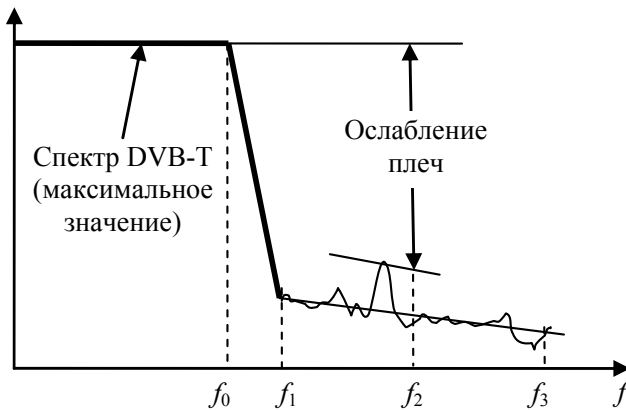


Рис. 10.4. Пример оценки «ослабления плеч»

**Эффективность.** Эффективность определяется как отношение выходной мощности к полной потребляемой передатчиком мощности, включая все необходимое для работы оборудование:



вентиляторы, трансформаторы и т.д. Обычно выражается в процентах.

**Когерентная интерференция (Coherent interferer).** Определяется любая когерентная интерференция, которая может повлиять на надежность  $I/Q$ -анализа или на измерение BER.

Измерение проводится спектроанализатором. Полоса разрешения уменьшается постепенно, так что уменьшается уровень модуляции несущих (и немодулированные пилоты благодаря влиянию защитного интервала). Когерентная интерференция не зависит от этого процесса и может быть обнаружена усреднением следов trace.

**Зависимость BER от  $C/N$  при изменении мощности передатчика.** Оценивается характеристика BER передатчика при изменении отношения несущая/шум; измерения повторяются в диапазоне средней выходной мощности передатчика. Это измерение можно использовать для сравнения характеристик передатчика с теорией или с другим передатчиком.

Вводится псевдослучайная бинарная последовательность PRBS. На входе тест-приемника добавлением Гауссова шума устанавливаются различные отношения  $C/N$  и измеряется BER принимаемой последовательности. Измерения повторяются в диапазоне среднего уровня мощности. Если возможность генерировать PRBS включается в передающее оборудование для целей проверки, то это должна быть последовательность 223-1 PRBS, определенная рекомендацией ITU-T O.151. Для измерения несущей и мощности шума системная полоса определена как  $nf_{\text{SPACING}}$ , где  $n$  — число активных несущих (6 817 или 1 705 несущих в канале 8 МГц);  $f_{\text{SPACING}}$  — разнос несущих OFDM.

*Примечание.* Transmitter back-off определяется как отношение номинальной пиковой мощности передатчика к средней мощности сигнала. Номинальная пиковая мощность соответствует мощности на уровне синхроимпульсов радиочастотного сигнала в стандартах B, D, G, H, I или K.

**BER в зависимости от отношения  $C/N$  при вариации мощности Гауссова шума.** Оцениваются характеристики BER

приемника при изменении отношения  $C/N$  за счет изменения мощности аддитивного Гауссова шума. Это измерение можно сравнивать с теорией или с другими приемниками. Например, можно использовать для оценки влияния минимальной величины шума приемника noise floor.

Вводится псевдослучайная бинарная последовательность PRBS. Различные отношения  $C/N$  устанавливают на входе приемника при испытаниях добавлением Гауссова шума и измеряют BER принимаемой псевдослучайной последовательности PRBS. Испытываемый передатчик должен быть способен генерировать 223-1 PRBS, как определено рекомендацией ITU-T O.151.

## 10.5. Измерение коэффициента битовых ошибок BER

В DVB-T, как и в DVB-S, коэффициент битовых ошибок BER измеряется для внутренней и внешней защиты от ошибок:

- коэффициент битовых ошибок перед декодером Витерби (рис. 10.5);
- коэффициент битовых ошибок перед декодером Рида — Соломона;
- коэффициент битовых ошибок после декодера Рида — Соломона.

Коэффициент ошибок представляет наибольший интерес.

Битовые ошибки рассчитываются относительно числа переданных за то же время битов: BER равен отношению числа ошибочных битов к числу переданных битов.

Коэффициент битовых ошибок BER до декодера Витерби находится в диапазоне от  $10^{-9}$  до  $10^{-2}$ .

Декодер Витерби корректирует часть ошибок, остаточные ошибки корректируются декодером Рида — Соломона. Отношение их к числу переданных битов дает коэффициент битовых ошибок после декодера Витерби. Но декодер Рида — Соломона не может скорректировать все ошибки. Остаются искаженные

транспортные пакеты. Это отражается в заголовке транспортного пакета (индикатор пораженного пакета — бит = 1).

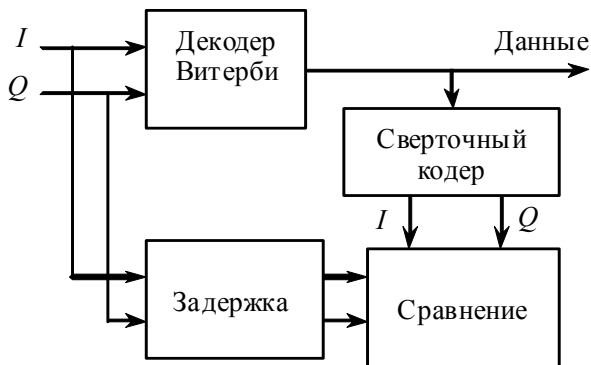


Рис. 10.5. Схема определения битовых ошибок перед декодером Витерби

Подсчитав число пораженных пакетов, можно вычислить коэффициент битовых ошибок после декодера Рида — Соломона.

Измерительный приемник может определить все три коэффициента и отразить их в меню. Отметим, что при малом числе ошибок время измерения может продлиться от нескольких минут до часов.

## 10.6. Уровень ошибок модуляции (MER)

**Определение MER [10.8].** Уровень ошибок модуляции зависит от многих факторов в передающем тракте. MER является мерой суммарного воздействия помех в системе передачи (рис. 10.6). Подобно отношению сигнал/шум  $S/N$ , величина MER обычно выражается в децибелах. Если учитывается только влияние шума, MER и  $S/N$  эквивалентны. Реально  $MER [дБ] \leq S/N [дБ]$ .

В результате суммарного воздействия всех факторов точки созвездия смещаются относительно их номинального положения в центре окна решения. Если отклонения слишком большие, пересекаются границы и принимается ошибочное решение. Отклонение от центра квадратной области («поля решения») можно рассматривать как параметр, соответствующий величине помехи. Вектор ошибки направлен от центра окна к точке действительного положения. Измеряются длины всех векторов ошибок за определенный интервал времени, вычисляется среднеквадратическое значение или определяется пиковая величина. MER рассчитывают в соответствии с [10.1].

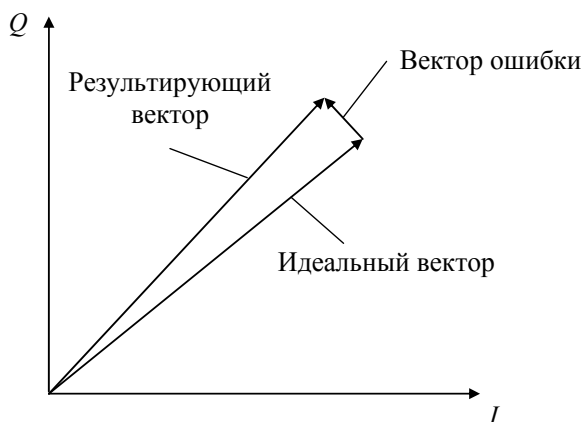


Рис. 10.6. Вектор ошибки для определения MER

Представление  $MER(f)$  в зависимости от номера поднесущей имеет для DVB-T очень важное значение, так как позволяет рассмотреть полную ситуацию в канале. Легко увидеть области с искаженными несущими. Часто приводят среднее значение MER, но эта величина не обеспечивает достаточной для практики информации. Графическое представление MER в зависимости от частоты всегда имеет важное значение.

Например, в сертификате на передатчик определяется MER 35 дБ, но при измерении на расстоянии 25 км обнаруживаются огромные проблемы в сигнале DVB-T, связанные непосред-

венно с передатчиком. Во многих областях несущих частот обнаруживаются сильные помехи. Однако принятый сертификат часто свидетельствует, что все в порядке.

Для DVB-T важно графическое представление зависимости MER от частоты несущей и измерение битовых ошибок до декодера Витерби. Эти измерения, проведенные в течение нескольких минут, обеспечивают всю требуемую информацию. В DVB-T нет просто одного среднего значения MER, как при одночастотной модуляции. Чтобы обеспечить ясность в этом вопросе, особенно при дискуссиях сервисного персонала с производителями передатчиков, необходимо настойчиво повторять, какие требования наиболее важны для такой новой концепции наземного телевизионного вещания, как DVB-T.

**Измерение коэффициента модуляционной ошибки (MER).** Восстанавливаются частота несущей OFDM-сигнала и символьная синхронизация. Сдвиги несущей, квадратурная ошибка (QE) и амплитудный дисбаланс не корректируются. Фиксируется запись пар  $(I_j, Q_j)$ .

Для каждого принятого символа решается, какой из символов был передан. Вектор ошибок определяется как расстояние от идеального положения выбранного символа (в центре рамки) до действительного положения принимаемого символа. Расстояние может быть выражено как вектор  $(\delta I_j, \delta Q_j)$ . Сумма квадратов величин идеального вектора делится на сумму квадратов величин вектора ошибок. Результат, выраженный отношением мощностей (дБ), определяется как MER:

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

Надо отметить, что MER не является единственным показателем качества для вектора модулированного сигнала. Другим

показателем качества является Error Vector Magnitude (EVM), определяемый в приложении С документа ETSI TR 101 290. Там же показано, что MER и EVM тесно связаны и что один может быть рассчитан из другого.

## 10.7. Приборы для измерения. Примеры от разных производителей

**Производитель Tandberg Television. TT4010** — прибор для настройки и тестирования цифровой телевизионной сети. Анализатор цифровых транспортных потоков MPEG-2 с входами QAM и ASI. Небольшие габариты позволяют носить прибор и подключать к любому участку для локализации источника ошибок. TT4010 анализирует потоки спецификаций DVB и ATSC с выводом информации на монитор персонального компьютера через WEB-интерфейс и браузер Explorer/Netscape (с поддержкой JAVA), имеет возможность дистанционного управления через сеть Ethernet. Tandberg TT4010 декодирует и отображает PSI/SI/PSIP-таблицы потока в виде syntax и hex. Выполняет мониторинг потока/сервиса/выбранных PID с графическим отображением битрейта по каждому PID, динамическим обновлением и контролем минимальных/максимальных значений. Обнаруживает кодирование сервисов, определяет длину пакетов ASI DVB. Измеряет и графически отображает PCR-джиттер в реальном времени. Выводит QAM-конstellationную диаграмму.

Может использоваться для мониторинга общего и эффективного бит-рейта, ошибок MPEG-2/DVB-потока в реальном времени в соответствии со спецификацией DVB ETR290, имеет логгер событий и сигналов тревоги.

Интерфейсы: вход ASI с транзитным выходом ASI. QAM-тюнер: разъем типа F, модуляция 4-, 16-, 32-, 64-, 128-, 256-QAM; диапазон 50–860 МГц, ширина канала 8 МГц, рабочие уровни на входе 30–100 дБмкВ. Ethernet-порт (10Base-T). Питание от внешнего БП 12V/2A DC (в ком-

плекте). Диапазон рабочих температур 0–45 °С, размеры 170×290×43 мм.

**Производитель PROMAX (Испания).** TV Explorer II+ в 19-дюймовом исполнении. PAL/DVB-S/C/T/H, измеритель с анализатором спектра и MPEG-2-декодером. Цифроаналоговый измеритель пятого поколения с динамическим исследованием спектра и автоопределением всех каналов диапазона. Одним нажатием кнопки осуществляется поиск и создание списка всех каналов с распознаванием типа сигнала (цифровой или аналоговый), определением системы цветности (для аналогового) или типа его модуляции — QAM/QPSK/COFDM, а также всех связанных параметров — ширины полосы канала, смещения цифрового канала, S/R, FEC и пр. Все результаты замера параметров выбранного канала выводятся в одной таблице с возможностью одновременного просмотра изображения. TV-Explorer имеет сертификат Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии, занесен в Государственный реестр средств измерений, имеет русскоязычную инструкцию по эксплуатации и русифицированное меню.

Explorer II+ работает с сигналами аналогового ТВ и цифрового ТВ форматов DVB-S/S2/C/T/H, обратного канала 5 МГц и сигналами FM-радио. Диапазоны частот 45–865/950–2150 МГц; уровни измеряемых аналоговых сигналов и точность замеров: 10–120 дБмкВ, ±1,5 дБ (ТВ); 30–120 дБмкВ ±2,5 дБ (SAT); уровни цифровых сигналов: QPSK (DVB-S и DVB-S2) — 44–114 дБмкВ, QAM — 45–110 дБмкВ; COFDM — 45–100 дБмкВ, автоаттенюатор. Настройка осуществляется вводом частоты или номера канала.

Explorer II+ декодирует компрессию MPEG-2 встроенным декодером и компрессию MPEG-4 с использованием транскодирующего MPEG-4 САМ, что позволяет выводить на экран 6,5-дюймового цветного TFT-монитора формата 16:9 цифровые некодированные и кодированные каналы с использованием соответствующих САМ и карты доступа.

TV-Explorer имеет яркость экрана 320 кд/м<sup>2</sup> и датчик освещенности, автоматически регулирующий яркость и контраст-

ность. Анализатор спектра прибора имеет удобное управление растяжкой (span) и аттенуатором с помощью четырех кнопок курсора. Прибор имеет режим констелляционной диаграммы, автоматический поиск с возможностью создания частотного плана для каждой сессии, автоматическое определение типа сигнала и всех параметров потока, даталоггер с записью результатов замеров, функцию получения снимков экрана (скриншотов), возможность записи и воспроизведения видеопотока и скриншотов, для хранения которых память прибора увеличена до 1 Гбайта.

Аналоговые измерения: отношение видео/аудио, отношение несущая/шум. Цифровые измерения: мощность, несущая/шум, идентификация канала, а также для QPSK — CBER, VBER, MER; для QAM 16/32/64/128/256 — BER, MER; для COFDM 2k/8k — MER, VBER, CBER. Одновременный показ результатов измерений и основных связанных с ними параметров. Показания анализатора DVB-потока: список сервисов с указанием PID; видео — компрессия, профиль, битрейт, разрешение, формат кадра, vpid, tsid; аудио — компрессия, профиль, apid, язык вещания. Возможность замера параметра MER (спектр всех 8000 частот COFDM-модуляции).

Интерфейсы: RF-вход (F-male), SCART (DIN EN 50049 — видеовыходы Composite, RGB; Composite видеовход, Audio L/R вход и выход), USB-порт для подключения к персональному компьютеру, RS-232C.

Литийионная батарея Explorer II+ обеспечивает автономную работу до 4,5 ч и быструю зарядку: до 80 % в течение 1 ч. В комплекте: AC-адаптер, автомобильный адаптер 12 В, ремень для крепления на поясе, чехол с наплечным ремнем, комплект переходников, аттенуатор 10 дБ. Размеры 230×61×76 мм при весе 1,9 кг.

**Измерительные приборы ЗАО «СОТА» (Челябинск).** В линейке цифровых измерительных приборов радиочастотные анализаторы параметров (РАП) представлены как полнофункциональные «все-в-одном» приборы для тех, кто производит, эксплуатирует и поверяет передающую аппаратуру.



В 2004 году анализаторы РАП/ТВ/УКВ внесены в Государственный реестр на основании сертификационных испытаний, проведенных ГЦИ СИ ФГУП ВНИИФТРИ в соответствии с поручением Госстандарта России. Радиочастотный анализатор параметров цифровых телевизионных передатчиков РАП/DVB-TН предназначен:

- для тестирования, регулировки и поверки передатчиков и модуляторов DVB-T / DVB-H;
- мониторинга параметров передатчиков DVB-T / DVB-H и ретрансляторов в процессе передачи;
- измерения и мониторинга параметров транспортного потока MPEG-2, поступающего от студии (на входе передатчика), или в выходном сигнале передатчика.

Анализатор РАП/DVB-TН позволяет измерять:

- параметры спектра — внеполосные излучения, неравномерность в полосе, точность установки несущей, ослабление плеч;
- параметры модуляции — MER, дисбаланс амплитуд, квадратурные искажения, джиттер фазы, BER;
- параметры радиосигнала — уровень второй гармоники центральной несущей, групповое время задержки, фазовый шум задающего генератора;
- параметры трансляции — синхронизация в SFN, готовность системы, готовность соединения;
- параметры транспортного потока MPEG-2/MPEG-4 — флаги ошибок, характеристики PRC.

На экране отображаются измеренные значения параметров, результаты допускового контроля, характерные графики (диаграммы созвездий, спектрограммы).

Измерения проводятся согласно спецификации ETSI ETR 290 и ETSI ETR 102 377.

Отличительные особенности анализатора:

- формирование испытательных сигналов (стандартная псевдослучайная последовательность, нуль-пакеты);
- поддержка всех возможных режимов работы передатчика (2k/4k/8k);

- поддержка полос передатчиков различной ширины (5, 6, 7, 8 МГц);
- возможность измерения параметров аналоговых телевизионных передатчиков (опционально);
- автоматическое определение режима работы передатчика (ширина полосы, величина защитного интервала, количество несущих, скорость кода и т.д.).

Измерительный приемник T2005 предназначен:

- для мониторинга параметров передатчиков DVB-T;
- мониторинга параметров транспортного потока MPEG-2 (на входе и выходе передатчика).

Все измерения проводятся в реальном масштабе времени. Результаты измерений могут быть представлены на встроенном дисплее, на компьютере и по сети (локальной или Интернет, по протоколам HTTP, FTP, SNMP).

Прибор позволяет осуществлять мониторинг:

- параметров ВЧ-сигнала — MER, BER до и после декодера Витерби, уровень принятого сигнала, отношение  $C/N$ , смещение несущей, смещение тактовой частоты, количество неисправленных пакетов, задержка SFN;
- параметров транспортного потока MPEG-2 — структура потока, битрейт, характеристики PCR.

Отличительные особенности T2005:

- возможность приема эфирного сигнала в поддиапазонах III (178–227 МГц), IV–V (474–858 МГц);
- поддержка режимов передачи 2k и 8k (иерархическая и неиерархическая передача);
- поддержка полос канала 6, 7 и 8 МГц;
- автоматическое или ручное задание параметров передачи;
- наличие двух выходов MPEG-2 TS ASI;
- наличие входа MPEG-2 TS ASI (возможность мониторинга параметров потока MPEG-2 от внешнего источника);
- наличие демультимплексора/декодера MPEG-2 (композитный ( $Y/C$ ) и компонентный ( $RGB$ ) выходной сигнал);
- интерфейсы Ethernet TCP/IP и RS-232;

– встроенный серверный модуль с поддержкой протоколов HTTP, FTP, SNMP;

– возможность установки сигнализации выхода параметра из заданных пределов.

Измерения проводятся согласно спецификации ETSI ETR 101 290.

# 11. Сетевое планирование

## 11.1. Основные понятия и определения

Под сетевым планированием понимается определение зоны покрытия передатчиком при оговоренных условиях приема. *Зоной покрытия* (ЗП) принято называть территорию вокруг передающего центра, на границе которой гарантируется прием с заданным качеством. На практике часто ставится и обратная задача — определение места установки передатчика, его выходной мощности и высоты подвеса антенны при заданной зоне покрытия [11.1].

Качество приема в первую очередь определяется величиной напряженности электромагнитного поля в месте установки приемной антенны [11.2].

Расчет напряженности поля по формулам представляет трудоемкий процесс, а в ряде случаев вообще невозможен. Поэтому на практике для определения напряженности поля широко используют графики и таблицы, построенные с учетом результатов многочисленных измерений, выполненных в реальных условиях. Вычисления удобно вести в децибелах относительно опорного уровня, за который обычно принимается 1 мкВ/м. Ввиду непостоянства поля во времени, особенно на больших расстояниях, для его характеристики используется средний уровень, называемый медианным значением уровня принимаемого сигнала  $E_{\text{мед}}$ . *Медианный уровень* — это уровень, превышаемый в течение 50 % времени приема.

Напряженность поля зависит также от местных условий, изменяясь от точки передачи к точке приема. Эти условия оговариваются процентом мест, в которых напряженность поля превышает указанный уровень и обозначается в общем виде как  $E(L)$ , где  $L$  при конкретных значениях процента мест заменяется соответствующим числом процентов.

При определении покрытия наблюдается очень быстрый переход от приема, близкого к совершенному качеству, к полному его отсутствию. Необходимо, чтобы минимальный уровень

принимаемого сигнала обеспечивался в большинстве процентов положения, которые установлены от 95 % для «хорошего» до 70 % для «приемлемого» приема [11.3].

Границу зоны обслуживания определяют как геометрическое место точек, в которых значения напряженности поля  $E$  равны нормируемым значениям в течение определенного времени  $T$  (%) в  $L$  (%) местах приема. Обычно на практике используют *медианные значения*, т.е. для 50 % мест и 50 % времени приема. В каждом конкретном случае необходимо четко оговаривать условия приема.

Возможные условия приема:

– *фиксированный* прием — прием, при котором используется направленная приемная антенна, установленная на крыше. Высоту приемной антенны принято считать 10 м выше уровня земли;

– *мобильный* прием определяется для двух случаев:

1) класс А — вне помещения на высоте не менее 1,5 м над уровнем земли;

2) класс В — в помещении на первом этаже с окном в направлении приема (или близком к нему) на высоте 1,5 м от пола.

Для классов А и В оговаривается, что мобильный приемник не должен перемещаться во время приема. Кроме того, около приемника не должны перемещаться предметы значительных размеров и условия приема не должны соответствовать полностью экранированному помещению. Логично считать, что мобильный прием в основном ориентирован для городских условий, поэтому класс В будет являться наиболее общим случаем мобильного приема.

В определении зоны покрытия для каждого условия приема используются следующие подходы.

1. Зона приема разделяется на минимальную и малую. *Минимальная зона* — зона охвата с размерами  $0,5 \times 0,5$  м. Для мобильного приема принято, что для оптимального приема допустимо перемещение антенны на 0,5 м в любом направлении. Для фиксированного приема принято, что оптимальные условия

приема создаются во время юстировки антенны в направлении на телецентр вещания. Зона приема считается покрытой, если требуемые значения несущая/шум ( $C/N$ ) и отношение несущая/интермодуляция ( $C/I$ ) обеспечиваются в течение 99 % времени. *Малая зона* — это площадь порядка  $100 \times 100$  м. Охват малой зоны квалифицируется на «хорошо», если охвачено не менее 95 % местоположений приема, и на «приемлемо», если охвачено не менее 70 % местоположений приема.

2. Зона покрытия передатчиком или группой передатчиков формируется из суммы индивидуальных зон, в которых действует данный класс охвата. На практике под формулировкой «зона покрытия, в пределах которой ожидается хороший фиксированный прием» понимается, что при фиксированном приеме покрытию подлежат не менее 95 % малых зон приема. Аналогично для мобильного приема под термином «приемлемый мобильный прием» понимается покрытие не менее 70 % местоположений приема внутри помещения на первом этаже.

При оценке *минимальной напряженности поля  $E$*  (эквивалент минимального уровня входного сигнала) принято вести отсчеты мощностных значений для нескольких фиксированных значений  $C/N$  в диапазоне от 2 до 26 дБ. Для других значений  $C/N$  используется линейная экстраполяция (или интерполяция). Если не оговаривается особо, то коэффициент шума приемника принимается по умолчанию 7 дБ для всех диапазонов частот, в силу чего минимальный уровень входного сигнала приемника не будет зависеть от частоты. Если же используется приемник с другим коэффициентом шума, то соответственно изменяется и требуемый уровень входного сигнала на разницу в этих значениях. Формулы для расчета минимальной напряженности поля приведены в [11.1, 11.4]. Необходимые значения отношения несущая/шум  $C/N$  приведены в [11.5] (табл. 11.1).

Подробный перечень терминов, используемых при планировании сети, приведен в [11.6].

Таблица 11.1

Отношение  $C/N$ , необходимое для того, чтобы BER при неиерархической передаче достиг значения  $2 \cdot 10^{-4}$  после декодера Витерби и QEF после декодера Рида — Соломона

Моду- ляция	Скорости кода	Канал Гаусса	Канал Райса	Канал Релея
QPSK	1/2	<i>3,1</i>	<i>3,6</i>	<i>5,4</i>
QPSK	2/3	<i>4,9</i>	<i>5,7</i>	<i>8,4</i>
QPSK	3/4	<i>5,9</i>	<i>6,6</i>	<i>10,7</i>
QPSK	5/6	<i>6,9</i>	<i>6,0</i>	<i>13,1</i>
QPSK	7/8	<i>7,7</i>	<i>8,7</i>	<i>16,3</i>
16-QAM	1/2	<i>8,8</i>	<i>9,6</i>	<i>11,2</i>
16-QAM	2/3	<i>11,1</i>	<i>11,6</i>	<i>14,2</i>
16-QAM	3/4	<i>12,5</i>	<i>13,0</i>	<i>16,7</i>
16-QAM	5/6	<i>13,5</i>	<i>14,4</i>	<i>19,3</i>
16-QAM	7/8	<i>13,9</i>	<i>15,0</i>	<i>22,8</i>
64-QAM	1/2	<i>14,4</i>	<i>14,7</i>	<i>16,0</i>
64-QAM	2/3	<i>16,5</i>	<i>17,1</i>	<i>19,3</i>
64-QAM	3/4	<i>18,0</i>	<i>18,6</i>	<i>21,7</i>
64-QAM	5/6	<i>19,3</i>	<i>20,0</i>	<i>25,3</i>
64-QAM	7/8	<i>20,1</i>	<i>21,0</i>	<i>27,9</i>

*Примечание.* Курсивом даны приблизительные значения. Квазибезошибочный (QEF) означает менее одного случая несправивмой ошибки в час, что соответствует  $BER = 10^{-11}$  на входе демультимплектора MPEG-2.

Теоретическое значение  $C/N$  из табл. 11.1 практически следует увеличивать на 2,5 дБ с учетом потерь сигнала при технической реализации. Канал Гаусса характеризует идеальный случай приема. Канал Райса характеризует прием при наличии импульсных помех с использованием стационарной направленной антенны. Канал Релея характеризует прием внутри помещения на комнатную антенну.

Для системы DVB-T2 требуемые отношения  $C/N$  приведены в [11.7].

## 11.2. Связь напряженности поля в месте приема с мощностью передатчика

Напряженность поля [11.2]

$$E_{\text{действ}} = 173(PG)^{1/2}/r,$$

где  $r$  — расстояние, км;  $P$  — мощность передатчика, кВт;  $G$  — коэффициент усиления антенны в направлении приема относительно элементарного (всенаправленного или изотропного) диполя. Для получения амплитудного значения коэффициент 173 заменяется на 245.

Для удобства расчетов напряженность поля выражается в децибелах по отношению к напряженности поля, равной 1 мкВ/м, и обозначается дБ/мкВ/м. В этом случае

$$E = 106,59 - 20\lg r + 10\lg P + 10\lg G.$$

В конечном счете задача сводится к нахождению минимальной напряженности электрического поля в точке приема, которая будет гарантировать требуемое отношение несущая/шум  $C/N$ . С другой стороны, требуемая минимальная напряженность поля будет обеспечиваться мощностью передатчика, коэффициентом усиления передающей антенны, высотой ее подъема, ландшафтом местности и т.п. Приравняв эти два значения минимальной напряженности поля (требуемую для уверенного приема и обеспечиваемую передатчиком), находят требуемую мощность передатчика. В силу этого в [11.1] рассматривается отдельно фиксированный и мобильный прием сигналов DVB-T (для сетей DVB-H методика расчета несколько иная [11.8]).



### 11.3. Уровень сигнала на входе приемника и напряженность поля

ЭДС на зажимах приемной антенны, возникающая под действием электрического поля радиоволны напряженностью  $E$  (В/м) [11.9]:

$$U_a = E l_d F_a(\varphi, \theta),$$

где  $l_d$  — действующая длина антенны;  $F_a(\varphi, \theta)$  — ненормированная характеристика направленности антенны по напряженности поля. Для симметричного вибратора  $l_d = (\lambda/\pi) \operatorname{tg}(\pi l/2\lambda)$ .

Отношение амплитуд напряженностей электрического и магнитного поля в плоской волне носит название волнового сопротивления среды  $Z_0$ . Для свободного пространства  $Z_0 = 120\pi = 376,6$  Ом. В плоской волне плотность потока энергии и действующие значения напряженностей связаны зависимостью  $p = EH = E^2/Z_0 = H^2 Z_0$ .

Например, волна, распространяющаяся в свободном пространстве с плотностью потока энергии  $1 \text{ мкВт/м}^2$ , обладает действующим значением напряженности электрического поля

$$E = (p \cdot 20\pi)^{1/2} = (10^{-6} 120\pi)^{1/2} = 19,4 \cdot 10^{-3} \text{ В/м} \approx 20 \text{ В/м},$$

$$20 \lg(E) = 10 \lg(p) + 10 \lg(120\pi).$$

Расчет минимального уровня сигнала на входе приемника приведен в [11.2, 11.3].

При согласованной нагрузке мощность шума

$$P_{\text{ш}} = kT\Delta f,$$

где  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К — постоянная Больцмана;  $T$  — абсолютная температура, К;  $\Delta f$  — полоса частот, Гц.

Для расчетов принимают  $\Delta f = B$  — шумовая полоса приемника ( $7,61 \cdot 10^6$  Гц).

Видно, что мощность шума не зависит от сопротивления нагрузки и определяется только температурой и полосой частот. Тогда спектральная мощность шума  $G_{\text{ш}} = P_{\text{ш}}/\Delta f = kT$ . Для комнатной температуры  $27^\circ\text{C}$  имеем  $T = 273 + t^\circ\text{C} = 300\text{ K}$ :

$$G_{\text{ш}} = 300 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} = 4,14 \cdot 10^{-21} \text{ Вт/Гц.}$$

Это значение спектральной плотности принято за единицу; оно обозначается как  $1kT_0 = 300\text{ K}$ . Значение  $kT_0$  выражается как в разгах, так и в децибелах.

Напряжение сигнала на входе приемника ( $B$ ) составляет

$$U_{\text{вх}} = (NP_{\text{ш вх}}\psi R_{\text{н}})^{1/2},$$

где  $N$  — коэффициент шума приемника,  $kT_0$ ;  $P_{\text{ш вх}}$  — мощность шума приемника, отнесенная к его входу,  $P_{\text{ш вх}} = kT\Delta f$ , Вт;  $\psi$  — заданное на выходе отношение сигнал/шум, в разгах;  $R_{\text{н}}$  — сопротивление нагрузки, обычно  $75\text{ Ом}$ .

После логарифмирования получим

$$20\lg(U_{\text{вх}}) = 10\lg(N) + 10\lg(P_{\text{ш}}) + 10\lg(\psi) + 10\lg(R_{\text{н}}).$$

Обозначим:

$10\lg(N) = F$  — фактор шума (коэффициент шума приемника);

$10\lg(N) + 10\lg(P_{\text{ш}}) = P_{\text{ш}}$  — мощность шума, дБВт;

$10\lg(\psi) = C/N$  — отношение сигнал/шум, дБ;

$R_{\text{н}} = Z_i$  — входное сопротивление приемника (входной импеданс).

Добавив  $120\text{ дБ}$  для перевода входного напряжения в микровольты, получим формулу

$$\begin{aligned} U_{s \text{ min}} &= P_{s \text{ min}} + 120 + 10\lg(Z_i) = \\ &= F + 10\lg(kT_0 B) + C/N + 120 + 10\lg(Z_i). \end{aligned} \quad (*)$$

*Примечание.* В рекомендации МСЭ [11.4]  $T_0 = 290\text{ K}$ .

Формула (\*) принята для расчета в [11.3], полученные там результаты расчета для пяти значений отношения несущая/шум  $C/N$  приведены в табл. 11.2.

Таблица 11.2

Минимальный уровень эквивалентного  
входного сигнала

Частотные диапазоны I, III, IV, V						
Эквивалентная шумовая полоса	$B$ (Гц)	$7,6 \cdot 10^6$				
Коэффициент шума приемника	$F$ (дБ)	7				
Входная мощность принимаемого шума	$P_{ш}$ (дБВт)	- 128,2				
RF отношение сигнал/шум	$C/N$ (дБ)	2	8	14	20	26
Минимальная мощность принимаемого сигнала	$P_s \min$ (дБВт)	- 126,2	- 120,2	- 114,2	- 108,2	- 102,2
Минимальное эквивалентное входное напряжение	$U_s \min$ (дБмкВ)	13	19	25	31	37

*Кривая распространения* — зависимость напряженности поля от расстояния между передающей телевизионной станцией и местом приема для действующей мощности 1 кВт, излучаемой полуволновым диполем при разных высотах подъема передающей антенны и разных процентах времени и мест приема. При этом напряжённость поля выражают в децибелах относительно одного микровольта на метр [11.10].

Кривые распространения приведены в [11.3, 11.10, 11.11].

## 11.4. Одночастотные сети SFN

Как видно из названия сетей, все передатчики работают на одной и той же частоте, что приводит к большой экономии частотного ресурса. Все передатчики излучают один и тот же сигнал и должны работать в полном синхронизме друг с другом. Сигналы от соседних передатчиков выглядят просто как эхо. Частотная синхронизация является необходимым условием. Лучший опорный сигнал для синхронизации — GPS (Global Positioning System). Спутники GPS излучают сигнал 1 pps (один импульс в секунду), к которому синхронизируются 10-мегагерцовые генераторы профессиональных приемников GPS, в свою очередь использующиеся в качестве опорных сигналов для передатчиков DVB-T.

Имеются, однако, ограничивающие условия на расстояние между передатчиками (рис. 11.1). Межсимвольная интерференция может быть устранена при многолучевом приеме, если задержка на любом направлении не превышает длительности защитного интервала.

При приеме сигналов от передатчиков (П), расположенных на большем расстоянии, результат межсимвольной интерференции проявляется как шум. Сигналы от передатчиков с больших расстояний должны быть достаточно ослаблены. Порог для квазибезошибочной работы формируется так же, как и для чистого шума. Особое значение имеет то, что уровни сигналов в одночастотной сети калибруют корректно. Мощность во всех направлениях от передатчика не должна быть максимальной, она должна быть отрегулирована. Планирование требует топографической информации.

Скорость света  $c = 299792458$  м/с. Задержка сигнала на каждый километр расстояния  $l$  от передатчика составляет  $t_{1\text{км}} = l/c = 3,336$  мкс. Так как в режиме 8k защитный интервал больше, именно этот режим предусмотрен для работы в одночастотных сетях.

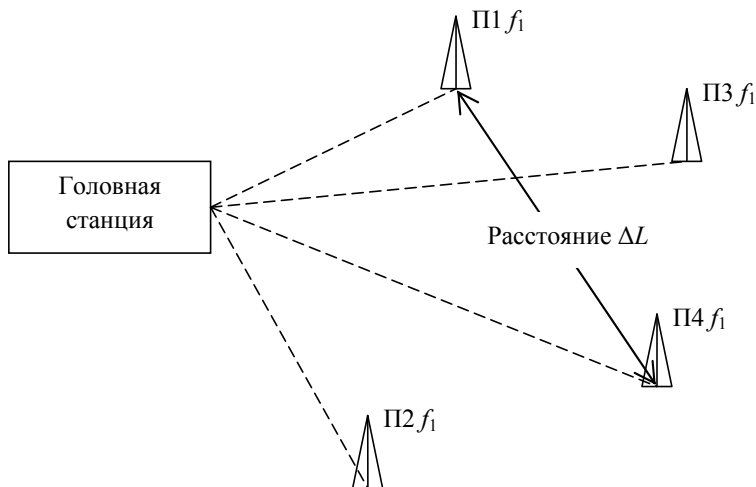


Рис. 11.1. Одночастотная сеть

Большая величина защитного интервала предусмотрена для работы одночастотных сетей; средняя величина защитного интервала — для региональных сетей; короткие защитные интервалы — для локальных сетей или вне одночастотных сетей.

В табл. 11.3 приведены защитные интервалы и расстояния между передатчиками для режимов 8k, 4k и 2k.

Таблица 11.3

Длительности защитных интервалов  $\Delta T$  и максимальные расстояния между передатчиками  $\Delta L$  в одночастотной сети

$G_{\text{IF}}$	8k		4k		2k	
	$\Delta T$ , мкс	$\Delta L$ , км	$\Delta T$ , мкс	$\Delta L$ , км	$\Delta T$ , мкс	$\Delta L$ , км
1/4	224	67,1	112	33,6	56	16,8
1/8	112	33,6	56	16,8	28	8,4
1/16	56	16,8	28	8,4	14	4,2
1/32	28	8,4	14	4,2	7	2,1

*Примечание.* Для режимов 16k и 32k, используемых в системе DVB-T2, длительности защитных интервалов приведены в [11.12].

Рассмотрим синхронизацию в одночастотных сетях [11.13].

SFN является расширением системы DVB. Дополнительные блоки отмечены серым цветом на рис. 11.2. Они могут быть реализованы как отдельно, так и в составе мультиплексора и/или модулятора.

Ремультимплексор MPEG-2 ремультимплексирует программы от различных входных каналов, обновляет SI и формирует транспортный поток MPEG-2, который после адаптации передается через модуляторы в SFN.

Адаптер сети SFN формирует мегакадр, состоящий из  $n$  пакетов транспортного потока, содержащих 8 кадров DVB-T в режиме 8k или 32 кадра в режиме 2k, и вставляет пакет инициализации мегакадра (MIP) с определенной величиной индикатора пакета PID. Вставленный внутри мегакадра индекс  $M$ ,  $MIP_M$ , позволяет идентифицировать начальную точку (т.е. первый пакет) мегакадра  $M + 1$ .

Временное отличие между последним опорным импульсом «один импульс в секунду» (pps), полученным от GPS, предшествующим началу мегакадра  $M + 1$ , и действительным стартом (т.е. первый бит первого пакета) данного мегакадра  $M + 1$ , копируется в  $MIP_M$ . Этот параметр называется меткой временной синхронизации (Synchronization Time Stamp (STS)).

Длительность мегакадра зависит только от полосы канала и от пропорции защитного интервала, т.е. длительность мегакадра не зависит от длительности  $T_U$ , созвездия или от кодовой скорости сигнала DVB-T. Длительность мегакадра представлена в табл. 11.4 для полосы канала 8 МГц и пропорций защитного интервала, предусмотренных в [11.5].

Таблица 11.4

Длительность мегакадра для полосы частот канала 8 МГц  
и различных долей защитного интервала

Защитный интервал	Длительность мегакадра, с
1/32	0,5026560
1/16	0,5178880
1/8	0,5483520
1/4	0,6092800

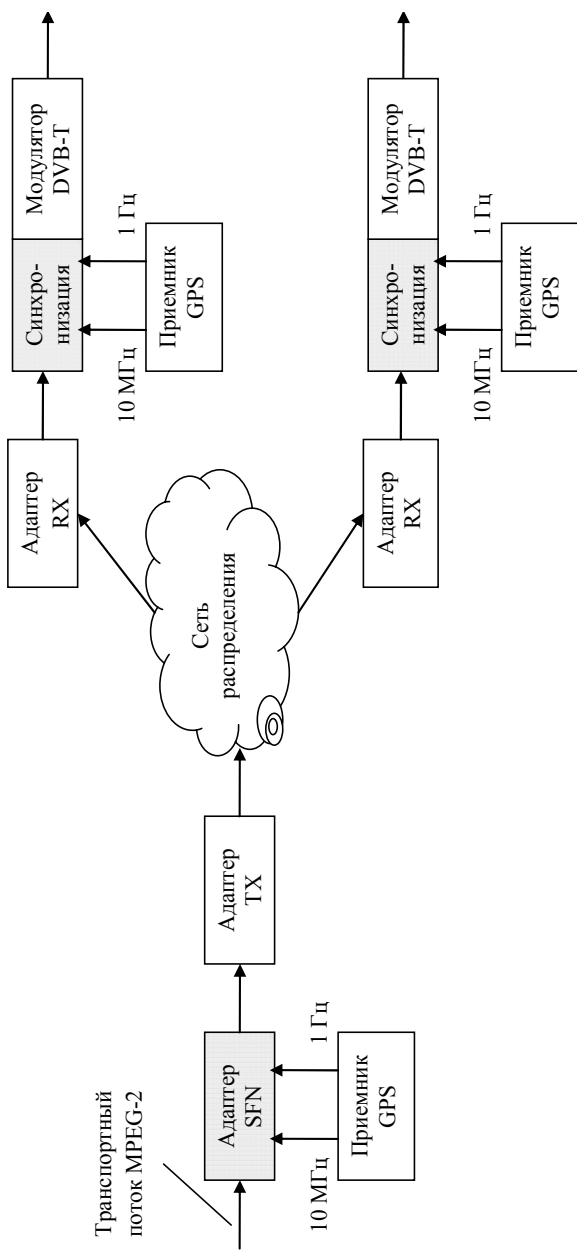


Рис. 11.2. Распределение с помощью адаптера SFN

Временные соотношения показаны на рис. 11.3.

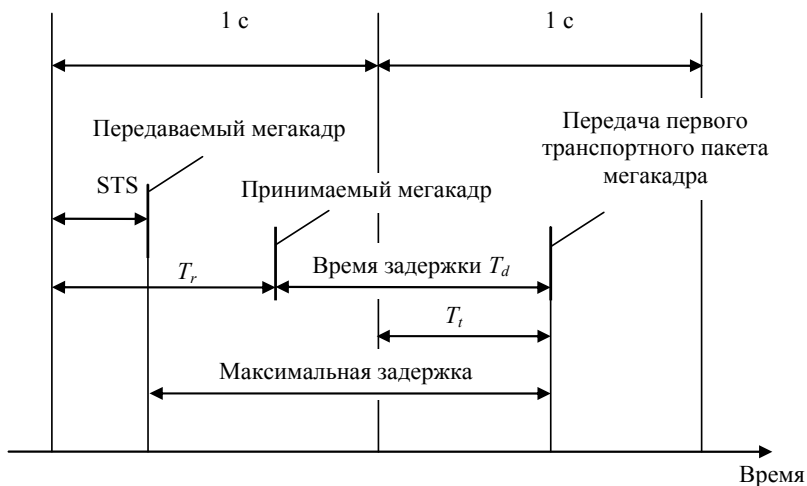


Рис. 11.3. Задержка мегакадра

## 11.5. Сети системы второго поколения DVB-T2

Спецификация DVB-T2 [11.12] использует выражение T2-system в разных значениях. В некоторых местах оно используется для ссылки на стандарт DVB-T2 и его различные элементы. Однако T2-system используется также в специфических случаях как отдельное понятие layer 1 (уровень 1), которое является обобщением понятия *мультиплекса* в DVB-T и других стандартах DVB. В этом специфическом значении T2-system есть набор передач с кадровой структурой, синхронизированной во времени, использующий одни и те же физические параметры (полоса частот, размер FFT), переносящих одно и то же число и типы PLP с одинаковыми физическими параметрами для каждого из PLP. Поэтому L1-сигнализация будет идентична для всех передач в T2-системе, кроме **cell\_id**, который может быть разным.



Однако DVB-T2 позволяет вставлять региональный контент, так что одна и та же T2-система может переносить разные наборы транспортных потоков и/или обобщенных потоков (Generic Streams) и использовать разные частоты передачи в различных географических областях. Все передачи, комплектуемые в T2-системе, возникают в одном узле T2-gateway, порождающем поток T2-MI, так что кадровая структура и расписание (scheduling) определяются в одном месте и являются общими для всех передач. Поток T2-MI будет распространяться через сеть распределения, в которой часть контента может быть заменена. В принципе, может быть заменен весь контент PLP ко времени передачи сигнала, хотя на практике — часть контента, которая одинакова для всех передач. На рис. 11.4 приведен пример сети распределения [11.7].

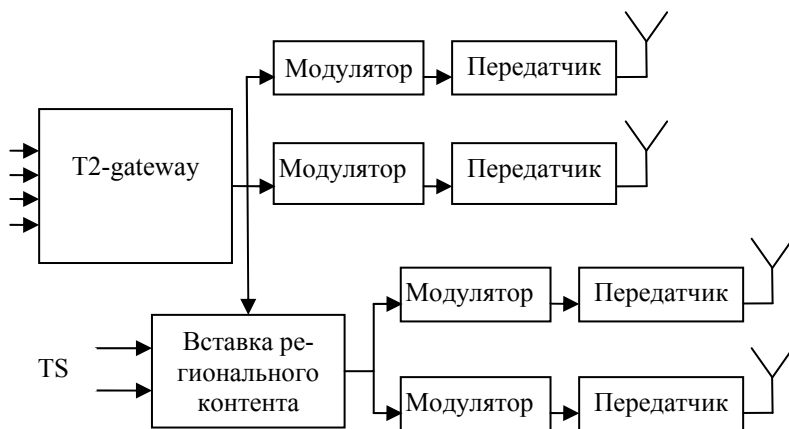


Рис. 11.4. Сеть передатчиков в системе DVB-T2

Так как все передачи в системе T2 приходят от передатчиков, которые связаны с одним и тем же узлом T2-gateway, термин T2-system может быть применен к оборудованию и сети распределения от входа T2-gateway до выхода передатчиков. Это согласуется с определением в [11.12].

**Полная битовая скорость в системе DVB-T2.** В канале 8 МГц наибольшая скорость данных достижима при 32k,  $G_{TF} = 1/128$ , в режиме расширенных несущих при отсутствии резервных тонов, для которого всегда используется узор пилотов PP7. Первые несколько столбцов табл. 17 в [11.7] дают максимально достижимую скорость для каждой комбинации созвездий и кодовой скорости вместе с соответствующими размерами кадра ( $L_F$ ) и полным числом FEC-блоков в каждом кадре. Длина кадра, обеспечивающая эту максимальную скорость, изменяется с созвездием в результате изменения числа «фальшивых» ячеек. На практике рекомендуется использовать более короткую длину кадра, дающую меньшую битовую скорость, но большее время перемежения. Битрейты приведены на рис. 11.5.

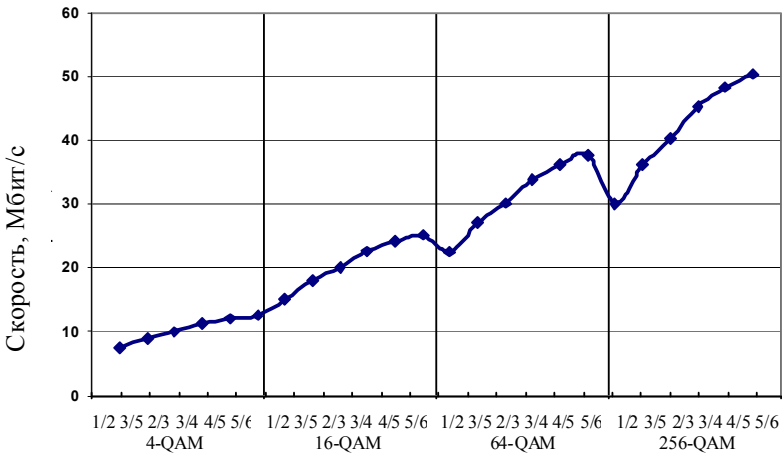


Рис. 11.5. Максимальная скорость передачи данных в системе DVB-T2 для некоторых конфигураций

**Распределение пакетов T2-MI на передатчики.** Поток пакетов T2-MI с выхода T2-gateway должен быть инкапсулирован в уровни нижнего протокола. Спецификация [11.14] описывает путь переноса пакетов в транспортный поток MPEG, который

может переноситься через цепь ASI для DVB-T. Спецификация обеспечивает также метод переноса транспортного потока MPEG по протоколу IP-TV [11.15]. Это позволяет проводить распределение по сетям IP и корректировать такие дефекты, как потеря пакетов, вновь упорядочивать пакеты, а также расщеплять высокий битстрим пакетов T2-MI на несколько потоков с меньшей скоростью, которые затем рекомбинируют на месте нахождения передатчика. Таким образом упрощается спутниковое распределение высокоскоростных потоков T2-MI. Возможность коррекции и восстановления пакетов гарантирует, что одна и та же исходная последовательность кадров T2-MI является входом всех модуляторов. Основываясь на инструкциях внутри пакетов T2-MI, каждый модулятор способен сформировать идентичную последовательность физических кадров DVB-T2 и передать их синхронно в SFN.

**Распределение в эфире.** Там, где главный передатчик на частоте  $f_1$  действует как распределяющий механизм для одночастотной сети SFN, работающей на частоте  $f_2$ , вся информация должна передаваться через эфир.

Эта топология успешно развернута в испытательных и коммерческих сетях DVB-T/H, предлагается для использования в Великобритании и представляется экономичным решением для распределения сервисов.

В DVB-T синхронизирующая информация SFN содержится в транспортном потоке в пакетах Megaframe Initialisation Packets (MIP), которые могут переноситься через эфир и игнорироваться приемниками потребителей. Этот подход остается и в DVB-T2, где необходимая временная информация PLP переносится в предназначенных пакетах транспортного потока с новой величиной параметра Synchronisation\_Id, отличающейся от DVB-T. T2-MIP содержат всю информацию, необходимую каждому модулятору для формирования потока вещания единообразно и в подходящее время. Первое не вызывает проблем, так как сигнал T2 сформирован на главной станции, релейные станции просто нуждаются во временной информации, чтобы обеспечить синхронизацию во времени.

Однако имеется специальный случай, где некоторые станции получают сигнал от головной станции по фидеру, а остальные — через эфир. В этом случае головная станция должна строить свои T2-кадры точно таким же образом, как и релейные станции в сети SFN, даже если она сама не является частью этой сети.

**Вставка регионального/локального контента.** Региональные сервисы могут быть вставлены в распределенной сети после T2-gateway. Предусмотрена соответствующая емкость в потоке T2-MI, в одном или нескольких PLP, переносящих «фиктивные» данные (dummy data).

Если, например, резервируется постоянное число ВВ-кадров в каждом T2-кадре для локальных/региональных сервисов, то эти «фиктивные» кадры должны быть заменены реальными ВВ-кадрами с местным/региональным контентом без какого-то влияния на T2-MI и конфигурацию DVB-T2. При использовании единственного PLP такая простая замена может быть неосуществима, так как потребуются переустановка (restamping) PCR местного входного потока. В этом случае распределение в региональные точки вставки может быть выполнено на основе стандартного распределения TS, сопровождаемого демультимплексированием. В некоторых случаях это может быть применимо и в случае множества PLP.

**Работа T2-MI с входными потоками.** Обработка T2-MI входного потока осуществляется модулятором (рис. 11.6). Вначале должны быть декодированы заголовки входящих пакетов для определения их типа. Большинство пакетов содержит ВВ-кадры. В этом случае должен быть декодирован индекс PLP, который используется для отправки ВВ-кадра в соответствующий PLP.

ВВ-кадры, принадлежащие одному кадру перемежения IF, должны быть буферизированы в ожидании L1-сигнализации, описывающей данный IF. Это необходимо, так как некоторые каскады ВИСМ нуждаются в динамической информации для разделения IF в TI-блоки.

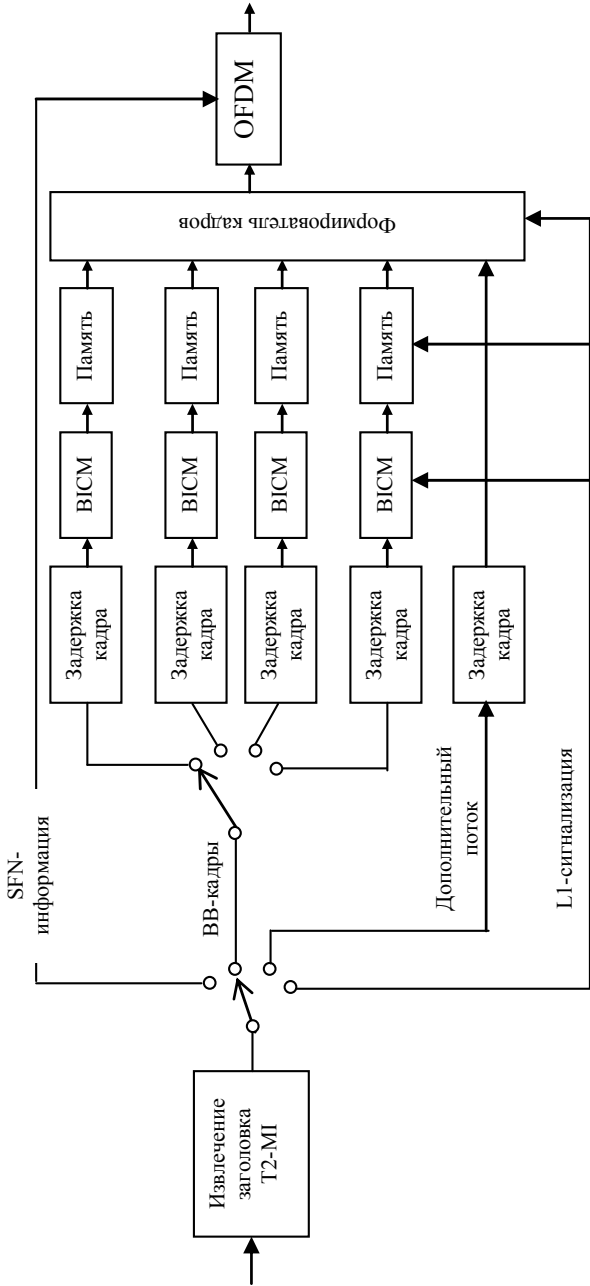


Рис. 1.1.6. Обработка T2-MI входного потока в T2-модуляторе

T2-MI-пакеты, содержащие вспомогательные потоки данных, должны быть задержаны на один T2-кадр для компенсации задержек в PLP и подводятся непосредственно к формирователю кадров.

Для пакетов, содержащих L1-сигнализацию, информация должна быть извлечена и немедленно подведена к VICM-строителю кадров (Frame Builder). Frame Builder использует L1-информацию для отображения PLP в определенные ячейки кадра и вставляет кодированную и модулированную L1-сигнализацию в P2-символы.

**Буферизация.** При использовании T2-gateway формируются ВВ-кадры и немедленно посылаются к модулятору по мере их готовности. В модуляторе требуется задержка до формирования планировки, чтобы вставить L1-сигнализацию в подходящий момент.

## 11.6. Защитные отношения

**Общие положения [11.4].** Зона обслуживания передающей станции зависит не только от минимальной допустимой напряженности поля в точках приема на границе зоны, но и от уровня помех в этих точках, создаваемых другими радиосистемами и попадающих на вход приемника. Допустимое отношение напряжения полезного сигнала к напряжению помехи на входе приемника называется *защитным отношением*. Номинальные значения защитных отношений определяются избирательностью приемника и частотами помех.

При работе нескольких передающих станций создаются взаимные помехи в *совмещенном* (одинаковом) канале, *смежных* (соседних) каналах и от излучений гетеродинов приемников. Наибольшее защитное отношение требуется в совмещенном канале и составляет 45–50 дБ. В аналоговом телевидении для снижения защитного отношения при работе в совмещенном канале применяют смещение несущих частот [11.3]. Наибольшее ослабление мешающего действия помехи (до 18 дБ) дости-

гается при смещении спектров на половину частоты строк:  $f_{\text{стр}}/2$ .

Для системы наземного цифрового ТВ-вещания DVB-T защитные отношения PR (Protection Ratios) рассмотрены в [11.3]. Для оценки PR в системе DVB-T используется усредненная (эффективная) мощность сигнала COFDM в системной полосе, для аналоговых систем — среднеквадратическое значение мощности в пике синхронизирующего сигнала изображения (кроме SECAM L, в которой максимальное значение на уровне белого). Защитные отношения (дБ) релевантны для указанного вида помех без учета шумов. Защитные отношения приведены в таблицах в [11.4, 11.3]. Аналогичные таблицы приведены в [11.15] с учетом потерь на реализацию.

Защитное отношение представляет собой минимальное значение отношения полезного сигнала к мешающему сигналу на входе приемника, обычно выраженное в децибелах.

Эталонный уровень цифрового сигнала определяется как среднеквадратичное значение мощности излучаемого сигнала в полосе канала. Его предпочтительно измерять тепловым ватт-метром. Все защитные отношения для полезных цифровых сигналов измеряются при мощности на входе приемника  $-60$  дБм.

Эталонный уровень аналогового модулированного видеосигнала определяется как среднеквадратичное значение видеонесущей в точках, соответствующих пикам огибающей модулированного сигнала. Все значения защитных отношений для полезных аналоговых сигналов измеряются при мощности на входе приемника  $-39$  дБм ( $70$  дБмкВ при  $75$  Ом).

**Системы цифрового наземного телевидения с полезным сигналом.** Защитные отношения для систем цифрового наземного телевидения применяются и к непрерывным, и к тропосферным помехам. Защитные отношения относятся к центральной частоте системы цифрового наземного телевидения с полезным сигналом.

Поскольку цифровой телевизионный приемник должен успешно функционировать в присутствии сильных аналоговых

сигналов в соседних каналах, требуется высокий уровень линейности входных характеристик приемника.

Защитные отношения для систем цифрового наземного телевидения, которые выступают в качестве мешающих, такие же, как и в том случае, когда полезный и мешающий сигналы не синхронизированы и/или исходят из разных программных источников. Результаты, относящиеся к одночастотным сетям, пока еще не получены.

Для системы цифрового наземного телевидения ATSC защитные отношения измеряются при значениях  $BER = 3 \cdot 10^{-6}$  на входе демультимплексора MPEG-2.

Для систем наземного цифрового телевизионного вещания DVB-T и наземного цифрового радиовещания с интеграцией служб ISDB-T защитные отношения измеряются между внутренним и внешним кодами перед декодером Рида — Соломона для  $BER = 2 \cdot 10^{-4}$ ; это соответствует значению  $BER < 1 \cdot 10^{-11}$  на входе демультимплексора MPEG-2. Для бытовых приемников может оказаться невозможным измерить BER перед декодированием Рида — Соломона. Значение для таких случаев изучается.

Для уменьшения числа измерений и таблиц было предложено измерять защитные отношения для систем DVB-T в трех предпочтительных режимах (табл. 11.5). Значения защитных отношений для различных требуемых рабочих режимов в случае приема на фиксированное, переносное или подвижное оборудование можно рассчитать, используя приведенные измеренные значения.

Временные нормы на защитные отношения для целей планирования сетей цифрового наземного телевизионного вещания, утвержденные Министерством Российской Федерации по связи и информатизации, размещены на сайте <http://rfcmd.ru/>.



Таблица 11.5

Предлагаемые предпочтительные режимы измерения  
защитных отношений для DVB-T

Модуляция	Кодовая скорость	Отношение $C/N^1$ , дБ	Битовая скорость <sup>2</sup> , Мбит/с
QPSK	2/3	6,9	$\approx 7$
16-QAM	2/3	13,1	$\approx 13$
64-QAM	2/3	18,7	$\approx 20$

<sup>1</sup> Значения приведены для гауссовского канала (включая типичный запас на реализацию) для  $BER < 10^{-11}$ .

<sup>2</sup> Для защитного интервала, равного 1/4.

## 12. Приемные устройства цифрового телевизионного вещания

### 12.1. Основные узлы и блоки приемных устройств цифрового телевизионного вещания

Прием цифрового телевизионного сигнала в настоящее время обычно осуществляется либо интегрированным декодером, либо приставкой к телевизору [12.1, 12.2].

Независимо от того, поступает ли цифровой телевизионный сигнал с наземного передатчика, со спутника или по кабелю, большинство функций приемного устройства во всех случаях остаются схожими.

Сжатие исходного сигнала — это всегда MPEG-2-компрессия, несмотря на то что в зависимости от форматов вещания модуляционные схемы, канальное кодирование и т.п. в различных странах разные.

Какую же работу должен проделать над принимаемым цифровым сигналом телевизионный приемник, чтобы в итоге на экране кинескопа могла появиться цифровая телевизионная программа?

Рассмотрим обобщенную структурную схему интегрированного приемника-детектора IRD (рис. 12.1).

Прежде всего высокочастотный радиосигнал нужного канала выделяется и усиливается тюнером, радиочастота преобразовывается в более низкую — промежуточную частоту. В случае приема со спутника первичное преобразование с понижением частоты несущей осуществляется маломощным преобразователем и маломощным блоком, находящимся в головке антенны.

Далее сигнал ПЧ демодулируется во входном блоке и преобразуется в сигнал основной полосы. Этот процесс может быть аналоговым или цифровым. В случае использования QPSK-модуляции (для спутниковой передачи) или M-QAM-модуляции (для кабельной) демодулятором входного блока выделяют-

ся два демодулированных сигнала  $I$  и  $Q$ , а при использовании OFDM-модуляции (для наземной передачи) — один многоуровневый выход.

Вслед за демодуляцией во входном блоке идет Витерби-декодирование — процесс, обратный внутреннему кодированию. При его выполнении выделяется один цифровой поток, который подвергается процедуре депережежения для получения правильного порядка следования данных во времени. С целью выделения транспортных 188-битовых пакетов поток затем подвергается процедуре декодирования Рида — Соломона. После этого этапа сигнал принимает вид транспортного потока.

Затем сигнал должен быть демультимплексирован, т.е. разделен на отдельные составляющие информационного потока, полученного мультимплексированием.

Для демультимплексирования необходимо произвести так называемую PID-фильтрацию, которая включает:

- установление синхронизма работы декодера. Для этого система автоматически находит первый байт в заголовке транспортного пакета;
- поиск транспортных пакетов с идентификатором  $PQ = 0$  для построения таблицы соединения программ PAT, а также поиск пакетов с идентификатором  $PQ = 1$  для построения при необходимости таблицы условного доступа CAT;
- использование PAT для построения таблиц планов программ PMT, а также таблиц CAT для предоставления зрителю информации о доступных ему программах в мультимплексированном потоке.

Зритель может выбрать необходимую программу, подав соответствующую команду с пульта дистанционного управления, сигнал с которого обрабатывается микропроцессором. Получив команду, приемник «узнает» в соответствии с этой командой и информацией из таблиц PAT и PMT идентификационные PID-номера транспортных пакетов, необходимых для реконструкции пакетных элементарных потоков, составляющих выбранную зрителем программу.

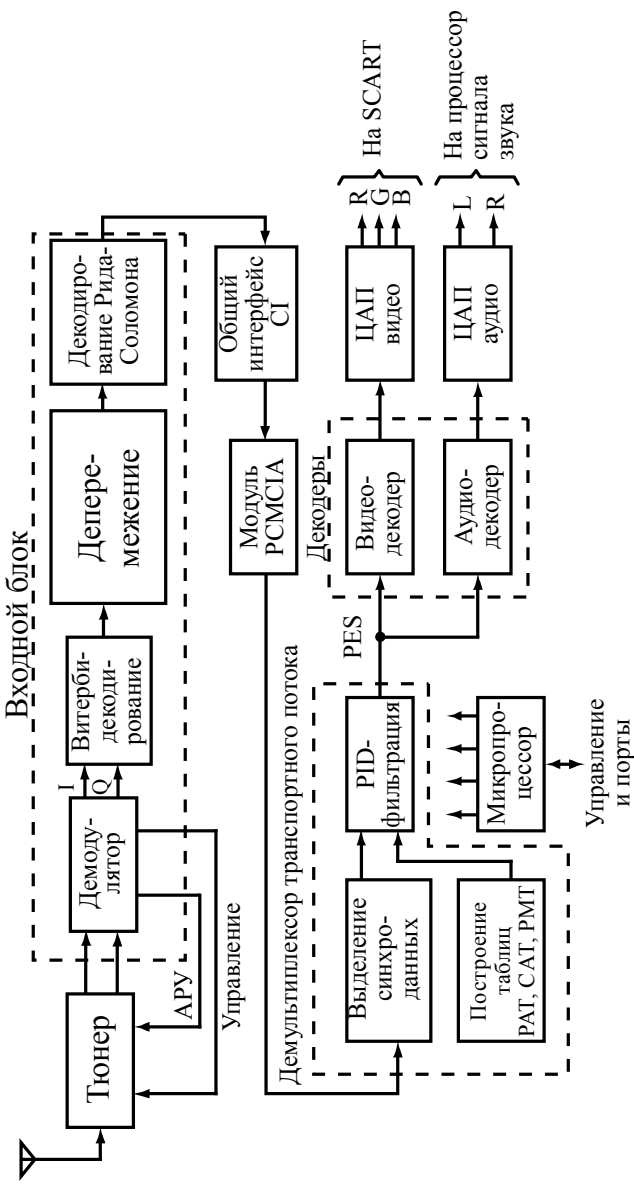


Рис. 12.1. Обобщенная структурная схема интегрированного приемника-декодера IRD

Таким образом, приемник начинает демультимплексировать транспортный поток, восстанавливая исходные пакетные элементарные аудио- и видеопотоки PES, которые подаются на аудио- и видеодекодеры для MPEG-декодирования аудио- и видеосигналов, в результате чего получают цифровые потоки данных, подвергаемые обратному преобразованию в низкочастотные аналоговые видео- и аудиосигналы. Видеосигналы на выходе ЦАП — это либо сигналы основных цветов  $R$ ,  $G$ ,  $B$ , либо декодированные сигналы систем PAL, NTSC или SECAM, поступающие на видеопроцессор.

Сигналы звука на выходе ЦАП — это сигналы левого и правого каналов, поступающие на процессор сигналов звука, где происходят регулировки громкости, баланса, тембров ВЧ и НЧ и т.д.

На рис. 12.2 показан вариант обобщенной структурной схемы приставки цифрового телевизионного декодера приемника, которая может быть подключена к обычному телевизору.

Канальный декодер включает в себя цифровой демодулятор и узел коррекции ошибок. Декодер принимает цифровые модулированные ВЧ-сигналы и составляет из них цифровой транспортный поток, содержащий пакеты мультимплексированных программ. Цифровой транспортный поток поступает на демультимплексор, который опознает каждый пакет по находящемуся в нем программному идентификатору и перекомпоновывает данные с целью создания пакета выбранной программы.

Если пакет скремблируется, т.е. цифровой сигнал преобразуется, то в результате этого разрушаются корреляционные связи между символами исходного сигнала, изменяются его статистические свойства и он приобретает свойства случайного сигнала. В этом случае он поступает в модуль условного доступа, предназначенный для определения зрителем возможности пользоваться выбранной программой. Если выделение потока невозможно, то обработка сигналов прекращается. Если поток выделен, то сигнал возвращается в демультимплексор, откуда два набора цифровых сигналов подаются на соответствующие декодеры: один набор — однобайтовые (8 битов) видеосигналы, другой — последовательные сигналы звука.

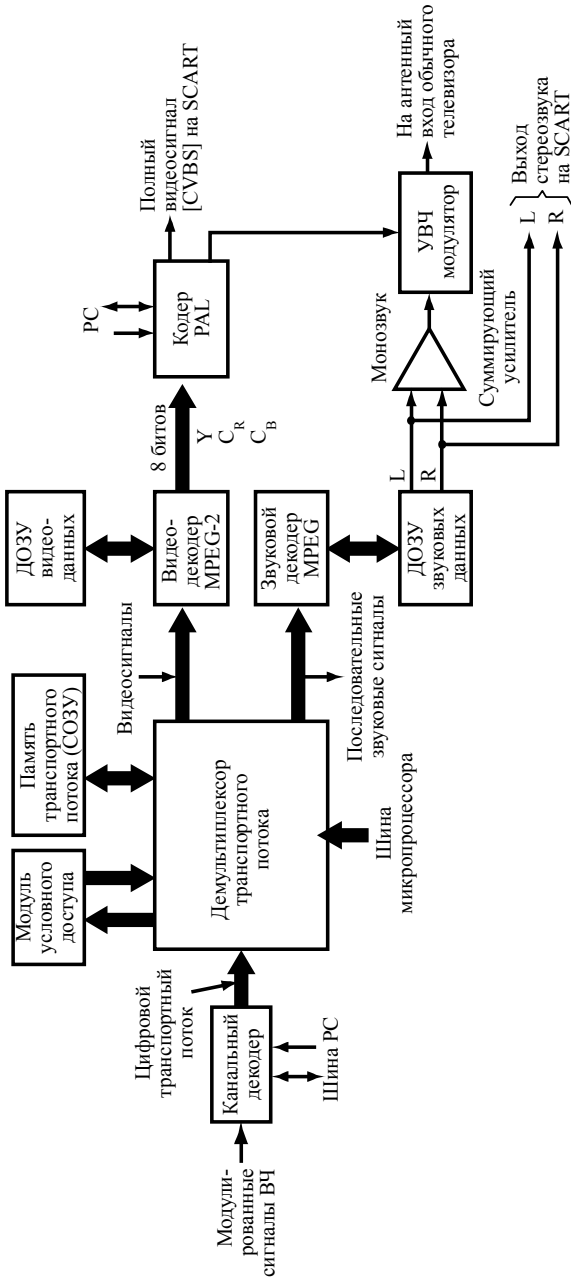


Рис. 12.2. Обобщенная структурная схема приставки декодера приемника

Для хранения и последующей выдачи видео- и звуковых сигналов используется быстрая память транспортного потока СОЗУ 8Кх8.

Видеодекoder стандарта MPEG-2 преобразует видеосигналы в сигналы яркости  $Y$  и цветности  $C_R$  и  $C_B$ . Большая память видеоданных в микросхеме ДОЗУ необходима для одновременного хранения информации о нескольких кадрах.

Цифровые сигналы яркости и цветности передаются в кодер PAL, который преобразует их в полный аналоговый видеосигнал CVBS, поступающий затем в УВЧ-модулятор.

Звуковой канал содержит декодер MPEG, который декодирует звуковой сигнал по тем же правилам, что и при его кодировании в передатчике. Звуковой декодер формирует левый ( $L$ ) и правый ( $R$ ) аналоговые звуковые сигналы. Микросхема ДОЗУ звуковых сигналов необходима для их хранения в памяти и создает задержку для обеспечения синхронизации звука и изображения. Задержка необходима, поскольку обработка видеосигналов производится дольше, чем обработка звуковых сигналов.

Звуковые сигналы обоих каналов поступают на суммирующий усилитель, где создается сигнал монофонического звука, подаваемый на УВЧ-модулятор. Сигнал с УВЧ-модулятора может быть подан на антенный ввод обычного телевизора.

Для управления системой применяется микроконтроллер (рис. 12.3), который выполняет всю необходимую программную работу. Связь микроконтроллера со всеми другими узлами приемного устройства осуществляется по одной или нескольким цифровым шинам управления как последовательным, так и параллельным способом.

Однако чаще для управления используется последовательный способ передачи данных, а для передачи данных полезных сигналов цифровых устройств — параллельный.

Обычно в телевизионных схемах встречаются три различных типа системных шин с последовательной передачей информации:

- шина IM (IntermetaM-Bus);

- шина Томсона (M3L);
- шина I<sup>2</sup>C.

В конкретном телевизоре могут использоваться две и более системных шины, а также возможны комбинации различных системных шин.

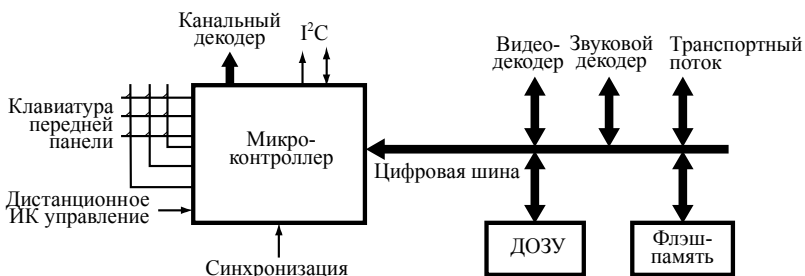


Рис. 12.3. Структурная схема управления интегрированным декодером приемника цветного телевизора

Шина IM представляет собой комплект из трех сигнальных линий: линии данных (DATA), линии синхронизации (CLOCK) и линии идентификации (IDENT).

Линия данных является двунаправленной, передача информации по остальным двум линиям возможна лишь в одном направлении. Шина IM применяется в двух вариантах: для медленных передаваемых потоков (IM-IDS) и быстрых передаваемых потоков (IM-IDF). В схемах маркируется линия идентификации — IDS (Slow — медленная) или IDF (Fast — быстрая).

Обмен данными начинается, когда уровень на всех линиях шины переходит в состояние логического нуля. Конец обмена данными сигнализирует короткий импульс в линии идентификации. На рис. 12.4 показана временная диаграмма уровней сигналов для трех линий шины-IM.

Шина Томсона (M3L), как и шина IM, также представляет собой трехпроводную систему, состоящую из линии данных (DATA), линии синхронизации (CLOCK) и линии разрешения (ENABLE). Временная диаграмма уровней в шине Томсона представлена на рис. 12.5.





Линия данных является двунаправленной. Передача данных начинается при изменении уровня на низкий, а конец передачи данных происходит по короткому импульсу в линии разрешения.

Шина I<sup>2</sup>C (Inter Integrated Circuit) наиболее часто используется в телевизионных приемниках. Она представляет собой двунаправленную синхронную шину, состоящую из двух сигнальных линий: линии данных SDA (Serial Data) и линии синхронизации SCL (Serial Clock). Передача данных возможна также и в одном направлении, если абоненты шины работают только как приемники. В состоянии покоя уровень сигнала в шине соответствует логической единице, т.е. рабочему напряжению питания шины 5 В. На рис. 12.6 представлена временная диаграмма уровней шины I<sup>2</sup>C.

Началом передачи является логический ноль в линии данных. Данные передаются блоками (кодowymi словами) из 8 последовательных информационных битов (побайтно). Дополнительно передается квитирующий бит (сигнал подтверждения приема) от последнего принимавшего данные абонента системной шины. Восьмой бит в кодовом слове однозначно определяет направление передачи следующего кодового слова (передача — 0, прием — 1). Передача заканчивается, когда уровень в линиях SDA и SCL соответствует логической 1.

В зависимости от схемных решений к шине I<sup>2</sup>C возможно подключение таких функциональных узлов, как телетекст, «кадр в кадре» и т.п.

Питающее напряжение 5 В подводится к линиям SDA и SCL через подтягивающие резисторы. Для развязки на входах отдельных устройств, подключаемых к шине, обычно размещают развязывающие резисторы.

На рис. 12.7 представлена упрощенная структурная схема включения узлов телевизора посредством цифровой шины I<sup>2</sup>C.

Измерения уровней сигналов в системной шине при поиске неисправности в телевизоре зачастую быстро ведут к ее локализации. В первую очередь проверке подлежит питающее напряжение шины, так как даже малые его отклонения от номинального могут привести к прекращению работы телевизора.

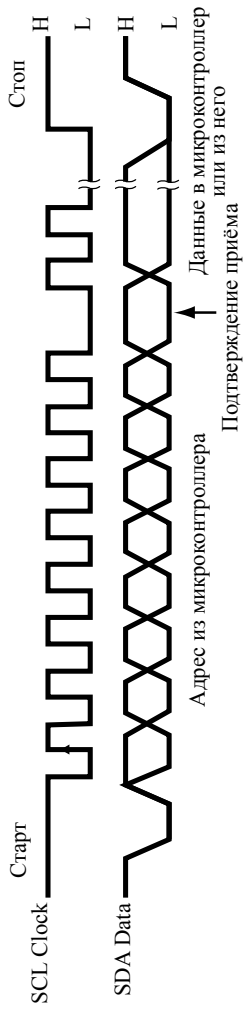


Рис. 12.6. Временные диаграммы уровней сигналов в линиях шины I<sup>2</sup>C

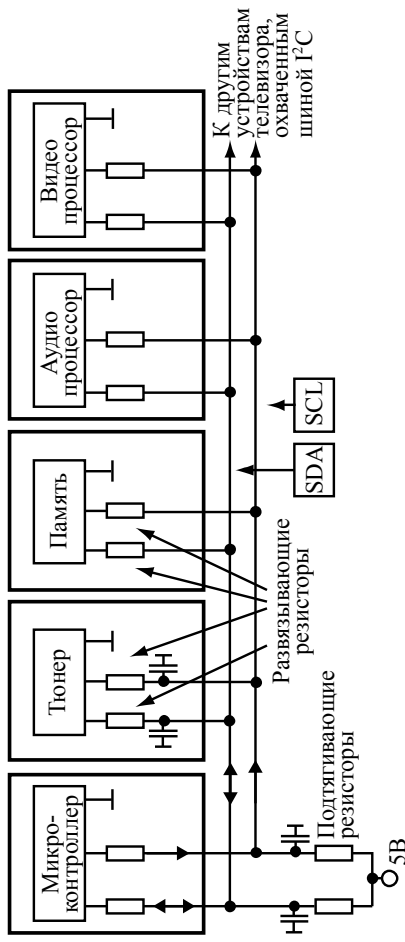


Рис. 12.7. Структурная схема соединения ряда устройств телевизора по цифровой шине I<sup>2</sup>C

Необходимо обращать внимание на наличие напряжения питания, особенно в случаях, когда появляется некая нерегулярная неисправность. Пульсации напряжения могут составлять несколько милливольт, и в сомнительных случаях проверку питающего напряжения надо проводить с помощью осциллографа.

Измерение напряжения до и после подтягивающих резисторов уже дает информацию о вероятных неисправностях в устройствах, подключенных к системной шине, при большом падении напряжения на них. А измерения на входах узлов или микросхем (после соответствующих развязывающих резисторов) могут дать ответ о неисправности функционального узла.

Поиск неисправностей несколько осложняется, когда подключение отдельных схем к шине производится без развязывающих резисторов, так как любой неисправный узел может полностью заблокировать обмен информацией по системной шине. Тогда придется последовательно отсоединять от шины подключаемые к ней схемы. Можно посоветовать начинать с узлов, подключенных через соединители (часто это тюнер, узел телетекста, схема PIP).

Проверка наличия сигналов в шине также является важным условием при поиске неисправностей. Отсутствие сигнала синхронизации служит указанием на необходимость проверки работоспособности как микропроцессора, так и внешнего кварцевого резонатора. Неисправности частотоподающих элементов являются причиной «ухода» частоты синхронизации от номинальной, что может привести к нарушению обмена данными.

При измерениях в системной шине внутреннее входное сопротивление осциллографа должно быть высоким, измерительной щуп должен иметь делитель 1:10 и необходимо выбрать как можно более высокий предел измерений. Если невнимательно отнестись к процессу измерения частоты синхронизации, это может привести к изменению частоты во время измерения и прекращению обмена данными. При наличии контрольной точки измерения частоты синхронизации измерения необходимо проводить только в ней.

Проверка наличия сигналов в линии данных не дает полной информации о правильности обмена информацией между устройствами, подключенными к шине. Однако само наличие информации в шине является косвенным подтверждением происходящего обмена.

Как правило, при цифровой обработке полезных сигналов и в других случаях используется параллельная трансляция кодовых слов. В этом случае в передатчиках и приемниках информации используют параллельные порты.

MSB (Most Significant Bit) — старший значащий бит. Проверку наличия цифровой информации необходимо начинать с этой линии и далее по нисходящей, так как старшие разряды определяют более высокие уровни аналогового сигнала. Если заблокировано прохождение информации в этой линии (короткое замыкание или обрыв), то это неизбежно приводит к нарушению правильной работы телевизора.

LSB (Least Significant Bit) — младший значащий бит. При параллельной цифровой обработке это наименее важный информационный разряд. При неисправности в линии LSB вряд ли будут проявляться нарушения работы телевизора, особенно в случае, когда кодовые слова 8-разрядные, а не 4-разрядные.

Отдельные линии, по которым подаются управляющие сигналы, обозначаются так:

CS (Chip Select) — сигнал активирования (выбора) соответствующей схемы. Выполняет функцию сигнала адресации;

OE (Output Enable) — разрешающий сигнал для чтения данных;

WE (Write Enable) — разрешающий сигнал для занесения данных.

Микроконтроллер системы управления декодирует инфракрасный сигнал от пульта дистанционного управления и сигналы от клавиатуры передней панели телевизора. Он управляет каналным декодером, включая селектор каналов (тюнер) и цифровой демодулятор, видео- и звуковым декодерами, декодером PAL и транспортным потоком. С микроконтроллером по цифровой шине связаны ДОЗУ и флэш-память.

Канальный декодер (рис. 12.8), называемый также внешним интерфейсом, является одной из основных частей цифровой приставки к телевизору. Селектор смешивает входной модулированный ВЧ-сигнал с сигналом гетеродина (ГУН), в результате чего получается модулированная ПЧ — сигналы  $I$  и  $Q$ .

Для передачи на цифровой демодулятор ПЧ надо преобразовать их в цифровую форму с помощью АЦП. Частота выборки должна превышать частоту символов в передаваемом сигнале, по крайней мере, в 2 раза.

Цифровой демодулятор представляет собой микросхему процессора цифровой обработки сигналов, который может быть демодулятором сигналов спутникового приема или демодулятором COFDM-сигналов наземного приема. Демодулятор управляется и программируется системным микроконтроллером по цифровой шине I<sup>2</sup>C. Он оценивает мощность входного сигнала и посылает сигнал через схему автоматической регулировки усиления (APУ) на селектор.

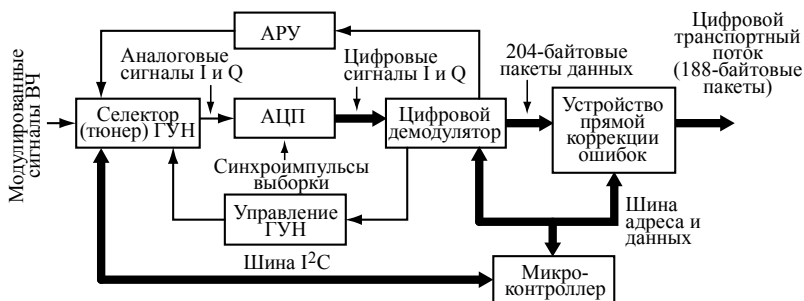


Рис. 12.8. Структурная схема канального декодера

Демодулятор через схему управления ГУН управляет гетеродином селектора. Выходные данные цифрового демодулятора состоят из 204-байтовых пакетов данных (видеозвуковых или обслуживания программ). Выделенный поток направляется на устройство прямой коррекции ошибок. Это устройство использует контрольные байты корректирующего кода для принятия решения в зависимости от полученных данных. Оно

определяет, содержат ли полученные пакеты данных какие-либо ошибки. Если содержат, то устройство пытается скорректировать их. При неудачной попытке устройство коррекции пометит пакеты, которые содержат ошибки, и они не будут подвергаться дальнейшей обработке.

В конце этого процесса формируется транспортный поток, который содержит 188-байтовые мультиплексированные пакеты, относящиеся к четырем или пяти различным телевизионным программам. Перед восстановлением изображения пакеты, относящиеся к выбранной программе, должны быть опознаны и размещены в необходимом порядке, что и происходит в транспортном демультиплексоре.

Транспортный демультиплексор (рис. 12.9) принимает на свой вход 8-битовый транспортный поток, содержащий видео-, звуковую или служебную информацию, относящуюся к четырем или пяти различным программам, представленный в виде 188-байтовых пакетов. Каждый пакет содержит слово синхронизации для вхождения в синхронизм, идентификатор пакета, опорный сигнал синхронизации программы и биты видео-, звуковых и служебных данных. Если используется скремблирование (шифрование), входные данные передаются на модуль условного доступа по 8-битовой шине CAM DATAOUT, если доступ разрешен, то данные возвращаются по 8-битовой шине CAM DATAIN. Доступом управляет микроконтроллер, который может обращаться к интерфейсу кредитной карты, чтобы установить возможность зрителя пользоваться подпиской на выбранную программу.

Итак, основной задачей транспортного демультиплексора является идентификация пакетов, относящихся к выбранной программе, и использование их меток времени для синхронизации выбранных пакетов между собой. Затем демультиплексор фильтрует выбранные пакеты и передает видеоданные на видеодекoder MPEG-2 по шине шириной 8 бит.

Звуковые пакеты преобразуются демультиплексором в последовательность звуковых данных, которые подаются на звуковой декодер MPEG-2. Этой операцией управляет микрокон-

троллер, который, помимо прочего, проверяет служебные пакеты запрошенных программ и направляет соответствующие инструкции по управлению и обработке на демультимплексор.

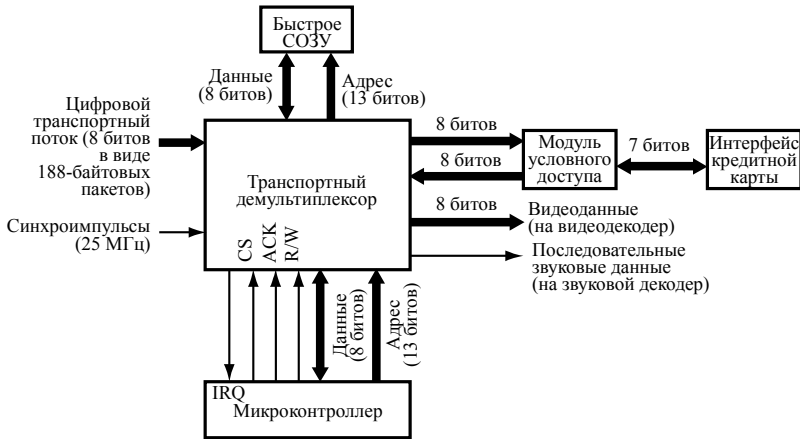


Рис. 12.9. Структурная схема транспортного демультимплексора

Для хранения выбранных видео- и звуковых пакетов и последующей их выдачи используется быстрое СОЗУ (время доступа 20–25 нс). Для этой цели используются специальные шины адреса (13 бит) и данных (8 бит) ОЗУ микроконтроллера. Кроме того, используется несколько линий управления: чтение/запись R/W, подтверждение ASK и выбор кристалла CS, а также одна или более линии запроса прерывания IRQ. Демультимплексор использует запросы прерывания для того, чтобы, например, проинформировать о переполнении буфера СОЗУ. Системная синхронизация транспортного демультимплексора составляет 25 МГц, в то время как программная опорная синхронизация потока данных составляет 27 МГц.

Видеодекодер MPEG-2 (рис. 12.10) предназначен для восстановления исходных сигналов. Процесс включает в себя распаковку данных, реконструирование изображения по кадрам и воспроизведение исходных составляющих яркости  $Y$  и цветности  $C_R$  и  $C_B$  для каждого кадра.



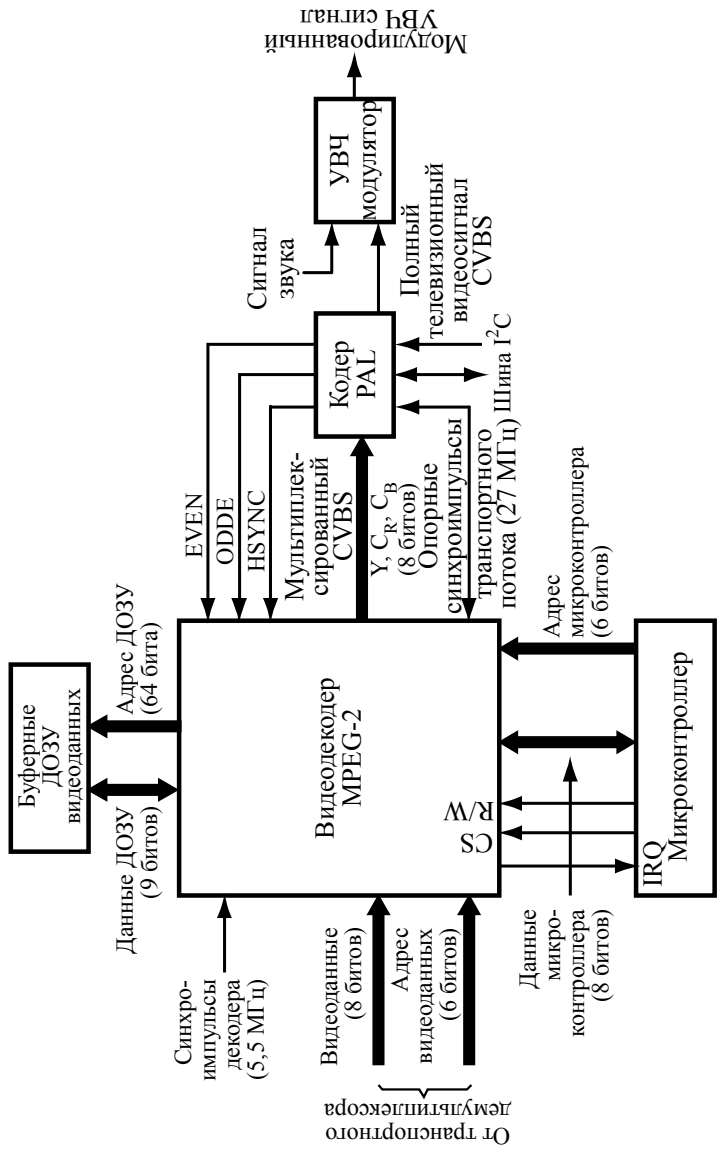


Рис. 12.10. Структурная схема видеодекодера MPEG-2

Чтобы реконструировать изображение, надо одновременно хранить передаваемые кадры и вести необходимые сравнения между ними для восстановления полных кадров. Поэтому необходима память большого объема. В качестве ее используется буферное ДОЗУ.

После восстановления изображения данные пикселей, связанные с яркостью и цветностью, передаются на кодер PAL по 8-битовой мультиплексированной шине данных (мультиплексированный CVBS). Кодер PAL формирует стандартный телевизионный сигнал (625 строк в кадре и 25 кадров в секунду). Начало каждой строки развертки определяется сигналом HSYNC, поступающим с кодера на видеodeкодер. Нечетные и четные поля указываются сигналами ODDE и EVEN соответственно. Полный видеосигнал CVBS подается на УВЧ-модулятор.

Для синхронизации процесса сбора данных и видеodeкодер, и кодер PAL тактируются опорными программными синхроимпульсами транспортного потока частотой 27 МГц.

Кодер PAL программируется и управляется микроконтроллером по 8-битовой шине данных и 6-битовой адресной шине с использованием нескольких управляющих сигналов, в том числе записи/считывания R/W и выбора кристалла CS.

Для запроса прерывания видеodeкодеру MPEG-2 предоставляется один сигнал IRQ. Кодер PAL управляется также от микроконтроллера по цифровой шине I<sup>2</sup>C, по которой микроконтроллер устанавливает рабочие параметры кодера.

Звуковой декодер MPEG-2 (рис. 12.11) — это микросхема, которая получает последовательные цифровые звуковые сигналы от транспортного демультиплексора и выполняет необходимую обработку сигналов, формируя два (левый и правый) последовательных звуковых канала с импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ). Звуковой декодер может формировать сигналы при трех различных частотах выборки — 32; 44,1; 48 кГц.

Информацию о фактической частоте выборки, используемой передатчиком, предоставляет транспортный демультиплексор, который извлекает ее из поступающего транспортного потока.

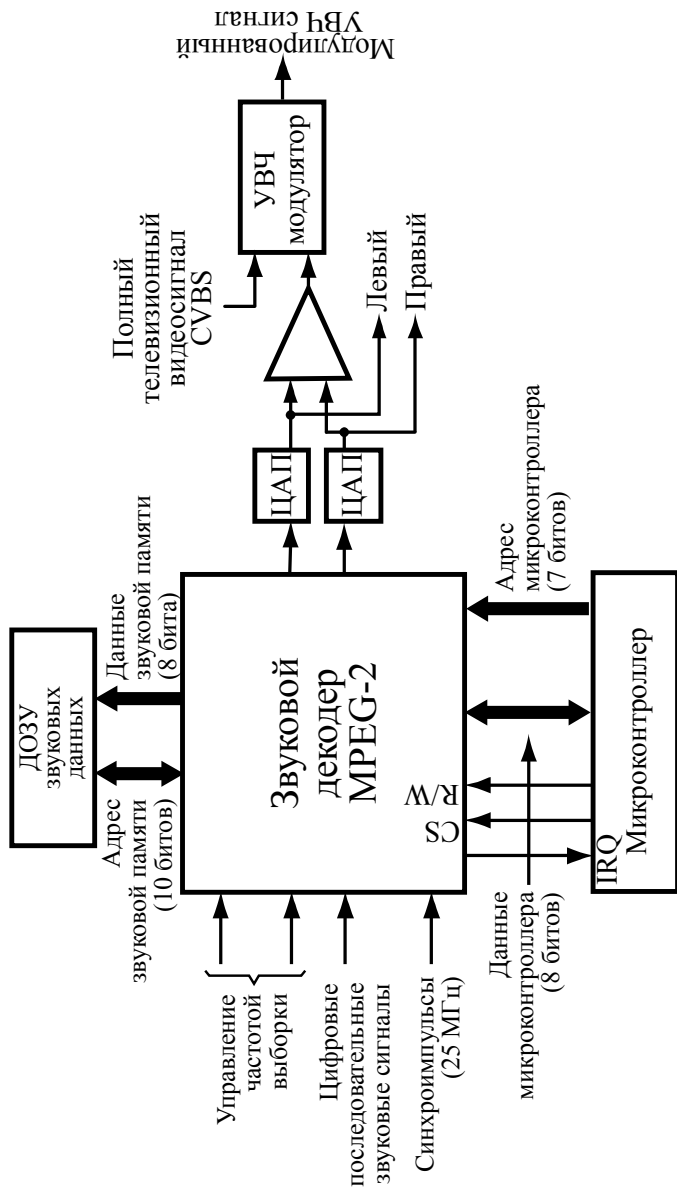


Рис. 12.11. Структурная схема декодера звука MPEG-2

Хранение объема звуковых данных осуществляет ДОЗУ, которое обеспечивает также задержку сигнала. Декодер звука управляется и программируется микроконтроллером по 7-битовой адресной шине, 8-битовой шине данных и управляющим линиям R/W и CS. С помощью предоставляемого запроса прерывания IRQ звуковой декодер может информировать микроконтроллер о некоторых возникающих сбоях и запрашивать прерывание.

Схема УВЧ-модулятора (рис. 12.12) состоит из непосредственно УВЧ-модулятора с синтезатором частот ФАПЧ и усилителя петли.

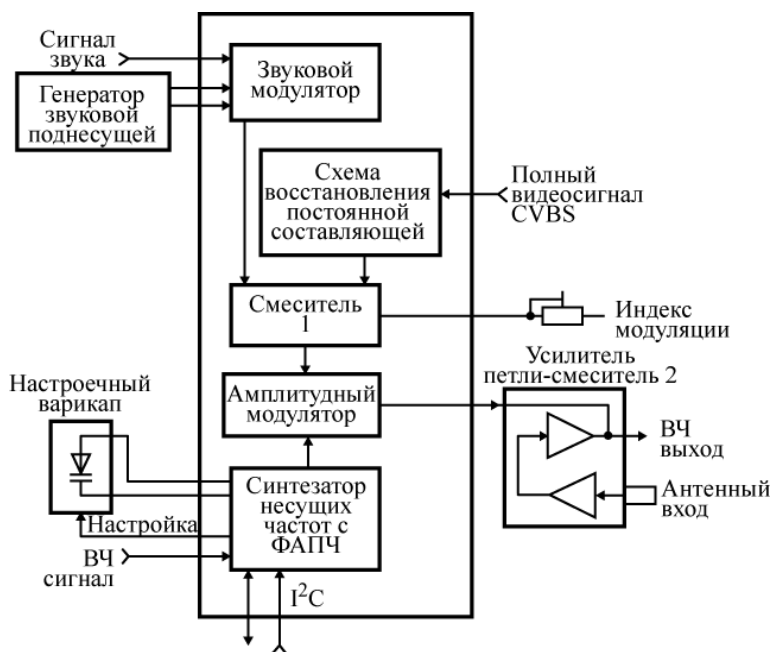


Рис. 12.12. Структурная схема УВЧ-модулятора и усилителя петли

В состав УВЧ-модулятора входят:

– синтезатор частот ФАПЧ, управляемый по цифровой шине  $I^2C$ ;

- амплитудный модулятор;
- звуковой генератор для звуковой поднесущей;
- схема восстановления постоянной составляющей видеосигнала;
- смеситель с регулятором индекса модуляции.

## 12.2. Принцип работы ЖК-устройств отображения информации

Технологии на базе жидких кристаллов (ЖК) и области применения ЖК практически безграничны, поэтому неудивительно, что эти технологии затронули самое распространенное домашнее устройство — телевизионный приемник.

Твист-нематические (ТН) скрученные кристаллы — наиболее распространенная на сегодняшний день разновидность ЖК, используемая в телевизионных приемниках, мониторах, проекторах. Принцип работы ЖК-панелей построен на регулировке интенсивности светового потока, проходящего через слой жидких кристаллов и поляризационные фильтры, с помощью электрического поля.

В зависимости от напряженности электрического поля, приложенного к определенному пикселю панели, жидкие кристаллы раскручиваются на определенный угол и пропускают только часть падающего светового потока. По существу, ЖК-панели могут переключаться между ярким состоянием (когда все кристаллы полностью скручены) и темным состоянием (когда кристаллы полностью раскручены) или между ними — по всей шкале серого.

ЖК-панели состоят из множества крошечных сегментов — пикселей, при помощи которых формируется изображение. В активных ЖК-панелях каждый пиксель управляется отдельным транзистором.

Источником света в ЖК-панелях с активной матрицей является электролюминесцентная лампа (галогеновая лампа, белые светодиоды), которая излучает поток белого света, проходящего

через первый поляризационный фильтр и стеклянную пластину, расположенную позади раствора жидких кристаллов, раствор жидких кристаллов, вторую стеклянную пластину и второй поляризационный фильтр, плоскость поляризации которого перпендикулярна плоскости поляризации первого фильтра. Наружный экран ЖК-панели должен светиться белым цветом в состоянии, когда кристаллы полностью скручены и способны пропускать через экран ЖК-панели полный спектр света.

Для формирования цветных изображений каждый пиксель разделен на три субпикселя — красный, синий, зеленый, которые совместно создают любой цвет с помощью различной интенсивности свечения. Эти субпиксели представляют собой специальные фильтры, которые пропускают волны определенной длины и позволяют воспроизводить до 16,8 миллиона цветовых оттенков на экране.

Каждый субпиксель имеет индивидуальный прозрачный электрод, конденсатор памяти и полевой транзистор, который подключен стоком к вертикальной шине данных, затвором к горизонтальной шине управления и истоком к индивидуальному электроду субпикселя (рис. 12.13).

Формирование изображения в активных ЖК-панелях происходит следующим образом: входной видеосигнал первой строки поступает на вертикальные шины данных, в результате чего напряжение на каждой из шин соответствует яркости субпикселей первой строки. После этого на горизонтальную шину управления поступает импульс, который открывает все транзисторы этой строки, и через открытые транзисторы заряжаются все конденсаторы субпикселей первой строки до значений на вертикальных шинах данных. После запираания всех транзисторов субпиксели продолжают хранить заряд, поэтому угол поворота ЖК-кристаллов, а следовательно, и яркость ячеек первой строки сохраняются. Далее все повторяется для 2-й, 3-й и последующих строк. Яркость экрана остается постоянной в течение всего периода обновления экрана. Даже если бы экран обновлялся всего 1 раз в секунду, то он бы не мелькал. Для качественной передачи движущихся объектов желательна час-

тота обновления кадров 20–30 Гц, но для увеличения совместимости с широко распространенными видеоадаптерами и для упрощения отображения телевизионного изображения современные ЖК-мониторы работают на частотах 60, 75, 85 Гц. Качественное отображение картинки на экране ЖК-устройства отображения информации возможно только в том случае, если число строк разложения входного сигнала соответствует физическому разрешению экрана.

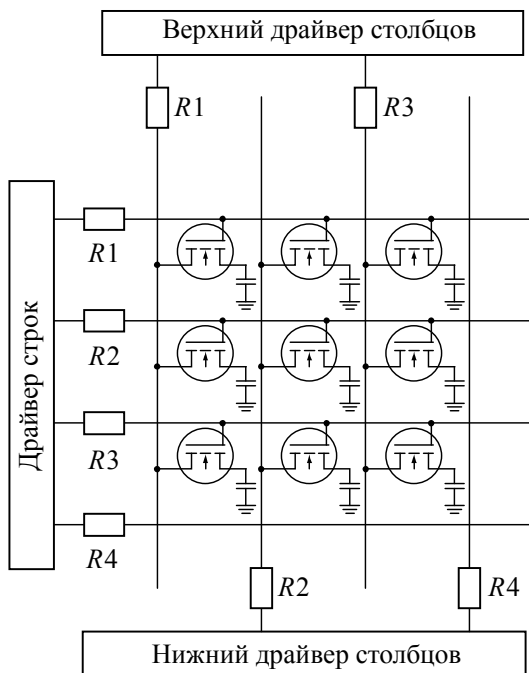


Рис. 12.13. Эквивалентная схема управления ЖК-матрицей

Современные системы цифрового телевидения позволяют передавать изображение в стандартах телевидения высокой четкости, в частности в стандарте HDTV (High-Definition television), который обеспечивает гораздо более высокое качество

изображения по сравнению с существующими аналоговыми и цифровыми стандартами. Высокое качество HDTV обусловлено более высоким разрешением изображения, которое может составлять  $1920 \times 1080$  или  $1280 \times 720$  пикселей, в то время как привычные для нас телевизионные вещания имеют разрешение  $640 \times 480$  пикселей для системы NTSC и  $768 \times 576$  для систем PAL, SECAM.

HDTV не имеет стандартов для передачи видео в формате 4:3 — только 16:9, поддерживает скорость до 60 кадров в секунду прогрессивной развертки, различные цифровые аудиоформаты (вплоть до Dolby Digital 5.1).

Наиболее популярные форматы стандартов ТВЧ:

720 p —  $1280 \times 720$  пикселей, прогрессивная развертка, формат кадра 16:9, частота кадров 24, 25, 30, 50, 60 Гц;

1080 —  $1920 \times 1080$  пикселей, чересстрочная развертка, формат кадра 16:9, частота 50 или 60 Гц;

1080 —  $1920 \times 1080$  пикселей, прогрессивная развертка, формат кадра 16:9, частота кадров 24, 25, 30 Гц.

Преимущества ЖК-устройств отображения информации:

– яркость экрана в 2 раза больше, чем у ЭЛТ, достигает  $500 \text{ кд/м}^2$ ;

– срок службы превышает 20 000 часов и определяется лампой подсветки;

– контрастность 250/1–500/1;

– диагональ  $\leq 40^\circ$ , глубина  $\leq 10 \text{ см}$ .

Недостатки ЖК-панелей:

– инерционность, определяемая временем переориентации жидких кристаллов, составляющая  $\geq 4 \text{ мс}$ ;

– недостаточный угол обзора  $\leq 140^\circ$ ;

– максимальный угол обзора определяется как угол, при обзоре с которого контрастность уменьшается в 10 раз, но наиболее заметны искажения цвета при изменении угла обзора, поэтому, чем больше угол обзора, тем лучше.

Пиксели ЖК-панелей деградируют, хотя скорость деградации наименьшая из всех технологий отображения.



Перспективной технологией, которая может замещать ЖК-панели, часто считают OLED-дисплеи. Но эта технология встретила сложности в массовом производстве, особенно для матриц с большой диагональю.

Органический светодиод (Organic Light-Emitting Diode (OLED)) — полупроводниковый прибор, изготовленный из органических соединений, которые эффективно излучают свет при пропускании через них электрического тока.

Сравнительные характеристики различных экранов отображения информации приведены в табл. 12.1.

Таблица 12.1

Сравнительные характеристики различных экранов отображения информации

Технология	Недостатки	Преимущества
ЭЛТ	Мерцание, большие габариты, вес	Большие углы обзора, хорошая цветопередача, большая скорость реакции
ЖК	Низкая скорость реакции, цветопередачи, малые углы обзора	Высокая яркость, малые габариты, вес, перспективы развития, большие диагонали
OLED	Неотработанная технология, малые диагонали, высокая цена	Малое время отклика, высокая яркость, большие углы обзора
PDP	Большой вес, большие размеры точки	Высокая яркость, контрастность, большая скорость реакции
3D	Высокая цена, технологическая сложность, малые углы обзора	Улучшенное восприятие изображения

Плазменные панели (PDP) имеют дисплеи от 42 дюймов до рекордных 103 дюймов, впрочем, компания Panasonic недавно анонсировала панель 150 дюймов. Они представляют собой матрицу газонаполненных ячеек, заключенных между двумя параллельными стеклянными поверхностями. Разряд в газе,

инициируемый прозрачными электродами, вызывает ультрафиолетовое излучение, которое в свою очередь обеспечивает свечение люминофора в видимой области.

В цветных плазменных панелях люминофоры излучают один из основных цветов: красный, зеленый, синий. Затем цветные компоненты света проходят через наружную стеклянную пластину и воспринимаются зрителем.

В плазменной панели  $1280 \times 768$  пикселей присутствует примерно три миллиона субпикселей, что дает шесть миллионов электродов. Для управления субпикселями дорожки необходимо мультиплексировать.

Яркость плазменных экранов превышает  $600 \text{ кд/м}^2$ . Контраст превышает 1500:1, а динамический контраст достигает 3000000.

## Заключение

Авторы монографии ставили перед собой задачу создать по возможности развернутое инженерное руководство по проблемам цифрового телевидения и цифровой обработки изображений, составляющих основное содержание происходящей в настоящее время технологической революции в области телекоммуникаций. Книга написана с позиций радиоинженера. Авторы, используя свой научно-педагогический опыт, достаточно подробно рассмотрели физические процессы, лежащие в основе сложных алгоритмов обработки цифровых сигналов. Такой подход, на наш взгляд, позволяет читателю более глубоко усваивать материал и делает книгу полезной научным работникам, инженерам и студентам, специализирующимся в области телевидения и видеоинформационных систем.

Подбор материала для монографии также подчинен стремлению авторов дать полную картину состояния теории и техники цифрового телевидения на современном этапе.

В первой части монографии рассмотрены общие принципы цифрового телевидения, в том числе методы цифрового кодирования аудио- и видеосигналов и цифровой обработки изображений, актуальные не только для вещательного, но и для прикладного телевидения.

Вторая часть монографии посвящена изложению методов и стандартов компрессии аудио- и видеосигналов.

В третьей части рассмотрены эффективные методы цифровой модуляции и международная стандартизация систем цифрового телевидения.

Четвертая часть монографии касается организации телевизионного вещания в стандарте DVB и содержит описание Европейской системы DVB первого и второго поколений, цифровых передатчиков и приемников, методов измерений в цифровом телевидении и сетевого планирования.

Как видно, перечень вопросов, рассмотренных в монографии, достаточно широк. При ограниченном объеме книги естественно, что некоторые вопросы рассмотрены недостаточно полно.

Заканчивая данное заключение, необходимо отметить, что работа по написанию монографии была поддержана грантом Минобрнауки РФ по программе «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 гг.)».

Отзывы, замечания и предложения по улучшению книги просим направлять по адресу: 634050, Томск, пр. Ленина, 40, ТУСУР, кафедра телевидения и управления.

# Литература

## Введение

В.1. Кривошеев М.И. Новый подход к развитию цифрового ТВ-вещания / М.И. Кривошеев // Media Vision. – 2010. – № 6. – С. 4–11.

В.2. Кривошеев М.И. Видеоинформационные системы на основе телевидения высокой и сверхвысокой четкости / М.И. Кривошеев, В.Г. Федунин // Broadcasting. Телевидение и радиовещание. – 2009. – № 3. – С. 26–31.

В.3. Казанцев Г.Д. Измерительное телевидение : учеб пособие для вузов / Г.Д. Казанцев, М.И. Курячий, И.Н. Пустынский. – М. : Высшая школа, 1994. – 288 с.

## Раздел 1

1.1. Телевидение / под ред. В.Е. Джакони. – М. : Радио и связь, 2004. – 616 с.

1.2. Быков Р.Е. Основы телевидения и видеотехники : учеб. для вузов / Р.Е. Быков. – М. : Горячая линия – Телеком, 2006. – 399 с. – ISBN 5-93517-262-3.

1.3. Домбругов Р.М. Телевидение / Р.М. Домбругов. – Киев : Вища школа, 1988. – 2-е изд. – 215 с. – ISBN 5-11-001288-1.

1.4. Быков Р.Е. Теоретические основы телевидения / Р.Е. Быков. – СПб. : Лань, 1998. – 288 с. – ISBN 5-8114-0121-3.

1.5. Ибрагим К.Ф. Телевизионные приемники : пер с англ. / К.Ф. Ибрагим. – М. : Мир, 2000. – 432 с. – ISBN 5-03-003351-3.

1.6. Казанцев Г.Д. Измерительное телевидение / Г.Д. Казанцев, М.И. Курячий, И.Н. Пустынский. – М. : Высш. шк., 1994. – 288 с. – ISBN 5-06-002267-6.

## Раздел 2

2.1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение : пер.с англ. / Б. Скляр. – М. : Вильямс, 2004. – 2-е изд., испр. – 1104 с. – ISBN 5-8459-0497-8.

2.2. Вернер М. Основы кодирования : учеб. для вузов / М. Вернер. – М. : Техносфера, 2004. – 288 с. – ISBN 5-94836-019-9.

2.3. Мамчев Г.В. Основы цифрового телевидения : учеб. пособие / Г.В. Мамчев. – Новосибирск : СибГУТИ, 2003. – 248 с.

2.4. Зубарев Ю.Б. Цифровое телевизионное вещание. Основы, методы, системы / Ю.Б. Зубарев, М.И. Кривошеев, И.Н. Красносельский. – М. : Научно-исследовательский институт радио, 2001. – 568 с. – ISBN 5-88230-055-X.

2.5. Пгачек М. Цифровое телевидение. Теория и техника / М. Патачек. – М. : Радио и связь, 1990. – 528 с. – ISBN 5-256-00279-1.

2.6. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука / Д. Сэломон. – М. : Техносфера, 2004. – 368 с. – ISBN 5-94836-027-х.

2.7. Токхейм Р. Основы цифровой электроники / Р. Токхейм. – М. : Мир, 1988. – 392 с. – ISBN 5-03-000981-7.

2.8. Гласман К. Цифровое представление телевизионного сигнала / К. Гласман // 625. ТВ информационно-технический журнал. – 1997. – № 4 – С. 38–44.

2.9. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М. : Техносфера, 2005. – 1072 с. – ISBN 5-94836-028-8.

2.10. Ричардсон Я. Видеокодирование. H.264 и MPEG-4 — стандарты нового поколения / Я. Ричардсон. – М. : Техносфера, 2005. – 368 с. – ISBN 5-94836-041-5.

2.11. Цифровое эфирное телевидение : сб. ст. – СПб. : Теле-спутник, 2008. – № 1. – 154 с.

2.12. Морелос-Сарагоса Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применения / Р. Морелос-Сарагоса. – М. : Техносфера, 2006. – 320 с. – ISBN 5-94836-035-0.

### **Раздел 3**

3.1. Казанцев Г.Д. Измерительное телевидение : учеб. пособие / Г.Д. Казанцев, М.И. Курячий, И.Н. Пустынский. – М. : Высшая школа, 1994. – 288 с.

3.2. Курячий М.И. Цифровая обработка сигналов : учеб. пособие для вузов / М.И. Курячий. – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2009. – 192 с.

3.3. Дмитриенко В.Л. Непараметрическое обнаружение множества объектов в телевизионном изображении с использованием сканирующих многоэлементных апертур / В.Л. Дмитриенко, М.И. Курячий, Е.Я. Курьянович // Изв. вузов СССР. Приборостроение. – 1991. – № 4. – С. 69–74.

3.4. Ильин А.Г. Прецизионное измерение координат объектов цифровыми телевизионными системами / А.Г. Ильин, А.Г. Костевич, М.И. Курячий // Изв. вузов СССР. Приборостроение. – 1991. – № 4. – С. 64–69.

3.5. Курячий М.И. Принципы построения аппаратных и программных средств телевизионных измерительных систем с использованием вычислителей / М.И. Курячий // Новые информационные технологии, распознавания образов и анализ изображений. – Курск, 1992. – С. 35–41.

3.6. Kuryatchy M.I. Dependent Data Compression / M.I. Kuryatchy, V.N. Ulyanov // Proc. of Int. Conf. on Concurrent Engineering Research and Application. – Pittsburgh, Pennsylvania, 1994. – Pp. 467–469.

3.7. Пустынский И.Н. Телевизионные охранные системы с повышенной чувствительностью / И.Н. Пустынский, М.И. Курячий, Ю.Р. Кирпиченко // Системы безопасности. – 2002. – № 3. – С. 54–56.

3.8. Курячий М.И. Алгоритмы обработки видеоданных при измерении параметров множества объектов с использованием «сигнально-фоновых» сканирующих апертур / М.И. Курячий // Изв. вузов. Приборостроение. – 2003. – № 11. – С. 16–20.

3.9. Стробируемая система ночного видения ZOND / В.В. Белов, В.С. Белоусов, Б.Д. Борисов, М.И. Курячий, Г.Г. Матвиенко, И.Н. Пустынский, В.П. Тарасенко // Наука производству. – 2003. – № 9. – С. 32–38.

3.10. Ким В.В. Телевидение и дистанционное обучение / В.В. Ким, М.И. Курячий, И.Н. Пустынский // Broadcasting. Телевидение и радиовещание. – 2004. – № 1 (37). – С. 70–71.

3.11. Особенности построения систем измерительного телевидения / И.Н. Пустынский, М.И. Курячий, А.Г. Костевич, Н.И. Мищенко, А.Д. Бордус, В.А. Шалимов // Изв. вузов. Приборостроение. – 2005. – № 11. – С. 13–18.

3.12. Курячий М.И. Декодирование видеоданных с использованием сигнальных процессоров TMS320DM642 / М.И. Курячий, А.С. Рудникович, В.В. Русинов // Изв. вузов. Приборостроение. – 2005. – № 11. – С. 31–33.

3.13. Гальчук И.В. Инструментальные средства для оценки эффективности ранговых алгоритмов цифровой обработки изображений / И.В. Гальчук, М.И. Курячий // Изв. вузов. Приборостроение. – 2005. – № 11. – С. 38–40.

3.14. Активно-импульсные телевизионные системы «Зонд» и «Обзор» / В.В. Белов, В.С. Белоусов, Б.Д. Борисов, П.А. Дегтярев, Ю.Р. Кирпиченко, М.И. Курячий, Г.Г. Матвиенко, И.Н. Пустынский, А.С. Рудникович // Изв. вузов. Приборостроение. – 2005. – № 11. – С. 51–54.

3.15. Телевизионно-вычислительная система контроля с радиационно-стойкой видеокамерой / И.Н. Пустынский, В.Ф. Коновалов, М.И. Курячий, И.В. Гальчук // Докл. Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники. – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2008. – № 2 (18). – Ч. 2. – С. 46–49.

3.16. Пат. на полезную модель 58244 ФГУ ФИПС. Универсальный цифровой модуль обработки и преобразования видеоданных / А.С. Рудникович, М.И. Курячий, В.В. Русинов. – Приоритет 10.11.2006.

3.17. Система видения в сложных метеоусловиях / И.Н. Пустынский, М.И. Курячий, И.В. Гальчук, А.С. Рудникович // Опыт научно-технического и инновационного сотрудничества Томской области и Тайваня : сб. материалов Сибирско-Тайваньского форума. В 2 т. Томск, 16–17 сентября 2009 г. – Томск : Томск. гос. ун-т, 2009. – Т. 1. – С. 186–189.



## Раздел 4

4.1. Гласман К.Ф. Формат МР3. Слуховая система человека: основные свойства / К.Ф. Гласман // Звукорежиссер. – 2005. – Ч. 1, № 2 (63). – С. 69–71 ; Ч. 2, № 3 (64). – С. 65–67 ; Ч. 3, № 4 (65). – С. 60–62.

4.2. Алдошина И.А. Основы психоакустики / И.А. Алдошина // Звукорежиссер. – 1999. – Ч. 1, № 6. – С. 28–33 ; Ч. 2, № 7. – С. 22–23.

4.3. Алдошина И.А. Музыкальная акустика : учеб. / И.А. Алдошина, Р. Приттс. – СПб. : Композитор – Санкт-Петербург, 2006. – 720 с. – ISBN 5-73790298-6.

4.4. Брайс Р. Справочник по цифровому телевидению / Р. Брайс. – Жуковский : Эра, 2001. – 230 с. – ISBN 5-901138-05-8.

4.5. Ковалгин Ю.А. Цифровое кодирование звуковых сигналов / Ю.А. Ковалгин, Э.И. Вологдин. – СПб. : КОРОНА – принт, 2004. – 240 с. – ISBN 5-7931-0290-6.

4.6. Артющенко В.М. Цифровое сжатие видеoinформации и звука : учеб. пособие для вузов / В.М. Артющенко, О.И. Шелухин, М.Ю. Афонин ; под ред. В.М. Артющенко. – М. : Дашков и К°, 2004. – 428 с. – ISBN 5-74978-258-7.

4.7. Сэломон Д. Сжатие данных изображения и звука / Д. Сэломон ; пер. с англ. В.В. Чепыжова. – М. : Техносфера, 2004. – 368 с. – ISBN 5-94836-027-X.

4.8. Локшин Б.А. Цифровое вещание: от студии к телезрителю / Б.А. Локшин. – М. : Компания САЙРУС СИСТЕМС, 2001. – 448 с. – ISBN 5-88230-049-5.

4.9. Зубарев Ю.Б. Цифровое телевизионное вещание, основы, методы, системы / Ю.Б. Зубарев, М.И. Кривошеев, И.Н. Красносельский. – М. : НИИР, 2001. – 568 с. – ISBN 5-88230-055-X.

4.10. Смирнов А.В. Цифровое телевидение: от теории к практике / А.В. Смирнов, А.Е. Пескин. – М. : Горячая линия-Телеком, 2005. – 351 с. – ISBN 5-93517-222-4.

4.11. Карякин В.Л. Цифровое телевидение / В.Л. Карякин. – М. : Солон-Пресс, 2008. – 272 с. – ISBN 978-5-91359-040-4.

4.12. Серов А.В. Эфирное цифровое телевидение DVB-T/H / А.В. Серов. – СПб. : БХВ — Петербург, 2010. – 464 с. – ISBN 978-5-9775-0538-3.

4.13. Ковалгин Ю.А. Формат Dolby AC-3. Ч. 1. Алгоритмы компрессии цифровых аудиоданных / Ю.А. Ковалгин // Звукорежиссер. – 2001. – № 3.

4.14. Ковалгин Ю.А. Формат Dolby AC-3. Ч. 2. Алгоритмы компрессии цифровых аудиоданных / Ю.А. Ковалгин // Звукорежиссер. – 2001. – № 4.

4.15. Ковалгин Ю.А. Кодирование звуковых сигналов в стандарте MPEG-4. Ч. 1. Общие сведения о стандарте / Ю.А. Ковалгин // Звукорежиссер. – 2006. – № 2. – С. 58–65.

4.16. Ковалгин Ю.А. Кодирование звуковых сигналов в стандарте MPEG-4. Ч. 2. Кодирование выделенных параметров сигнала текущей выборки / Ю.А. Ковалгин // Звукорежиссер. – 2006. – № 3. – С. 71–73.

## **Раздел 5**

5.1. Серов А.В. Эфирное цифровое телевидение DVB-T/H / А.В. Серов. – СПб. : БХВ – Петербург, 2010. – 464 с. – ISBN 978-5-9775-0538-3.

5.2. Ричардсон Я. Видеокодирование. H.264 и MPEG-4 — стандарты нового поколения / Я. Ричардсон. – М. : Техносфера, 2005. – 368 с. – ISBN 5-94836-041-5.

5.3. Брайс Р. Справочник по цифровому телевидению / Р. Брайс. – М. : Эра, 2001. – 230 с. – ISBN 5-901138-05-8.

5.4. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение : пер. с англ. / Б. Скляр. – М. : Вильямс, 2004. – 2-е изд., испр. – 1104 с. – ISBN 5-8459-0497-8.

5.5. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений : пер. с англ. / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М. : Техносфера, 2005. – 1092 с. – ISBN 5-94836-028-8.

5.6. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука : пер. с англ. / Д. Сэломон. – М. : Техносфера, 2004. – 368 с. – ISBN 5-94836-027-X.

## **Раздел 6**

6.1. Мамаев Н.С. Цифровое телевидение / Н.С. Мамаев, Ю.Н. Мамаев, Б.Г. Теряев ; под ред. Н.С. Мамаева. – М. : Горячая линия – Телеком, 2001. – 180 с. – ISBN 5-93517-045-0.

6.2. Шахнович И. Современные технологии беспроводной связи / И. Шахнович. – М. : Техносфера, 2004. – 168 с. – ISBN 5-94836-022-9.

6.3. ETS 300421. Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services.

6.4. Зубарев Ю.Б. Цифровое телевизионное вещание. Основы, методы, системы / Ю.Б. Зубарев, М.И. Кривошеев, И.Н. Красносельский. – М. : НИИР, 2001. – 568 с.

6.5. ETS 300744. Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television.

6.6. ETS 300429. Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for cable systems.

## **Раздел 7**

7.1. Кривошеев М.И. Международная стандартизация цифрового телевизионного вещания / М.И. Кривошеев. – М. : Научно-исследовательский институт радио, 2006. – 928 с.

7.2. Зубарев Ю.Б. Цифровое телевизионное вещание. Основы, методы, системы / Ю.Б. Зубарев, М.И. Кривошеев, И.Н. Красносельский. – М. : Научно-исследовательский институт радио, 2001. – 568 с.

7.3. Мамчев Г.В. Основы радиосвязи и телевидения / Г.В. Мамчев. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 380 с.

7.4. Карякин В.Л. Цифровое телевидение / В.Л. Карякин. – М. : Солон-Пресс, 2008. – 272 с.

7.5. Мамаев Н.С. Системы цифрового телевидения и радиовещания / Н.С. Мамаев, Ю.Н. Мамаев, Б.Г. Теряев ; под ред. Н.С. Мамаева. – М. : Горячая линия – Телеком, 2006. – 254 с.

## Раздел 8

8.1. ETSI EN 300 744. Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television (DVB-T), ETSI, 1997.

8.2. ETSI EN 302 307. Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2).

8.3. ETSI EN 302 755 V1.1.1 (2009-09). European Standard (Telecommunications series) Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2).

8.4. Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital transmission system for cable systems (DVB-C2) DVB Document A138. April 2009.

8.5. Скляр Бернад. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение : пер. с англ. / Бернад Скляр. – М. : Вильямс, 2003. – 2-е изд., испр. – 1104 с. – ISBN 5-8459-0497-8 (рус).

8.6. Зубарев Ю.Б. Цифровое телевизионное вещание. Основы, методы, системы / Ю.Б. Зубарев, М.И. Кривошеев, И.М. Красносельский. – М. : Научно-исследовательский институт радио, 2001. – 568 с. – ISBN 5-88230-055-X.

8.7. Fischer Walter. Digital television. A practical guide for engineers / W. Fischer ; transl. : H. von Renouard. – Berlin : Springer-Verlag, 2004. – 384[10] p.: 308 figur. – (Signals and communication technology). – index: p. 381–384. – ISBN 3-540-01155-2.

8.8. Ануфриев А. DVB-S2 выходит на орбиту / А. Ануфриев // Теле-Спутник. – 2007. – № 3(137).

8.9. A133. Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2) DVB Document A133. February 2009.

8.10. A122. Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system

(DVB-T2) DVB Document A122. June 2008 a122.tm3980r5. DVB-T2, a122r1.tm3980r7. DVB-T2.

8.11. Robert J. DVB-C2 — стандарт передачи по сетям КТВ следующего поколения / J. Robert, C. Schaaf, L. Stadelmeier // Теле-Спутник. – 2009. – № 12(170).

8.12. ETSI EN 302 304 V1.1.1 (2004-11). European Standard (Telecommunications series) Digital Video Broadcasting (DVB); Transmission System for Handheld Terminals (DVB-H).

8.13. Серов А.В. Эфирное цифровое телевидение DVB-T/H / А.В. Серов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2010. – 464 с. – ISBN 978-5-9775-0538-3.

## **Раздел 9**

9.1. European Standard (Telecommunications series) ETSI EN 300 744 V1.5.1 (2004-11). Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television. – REN/JTC-DVB-156.

9.2. Technical Report ETSI TR 101 290 V1.2.1 (2001-05). Digital Video 9.1. European Standard (Telecommunications series) ETSI EN 300 744 V1.5.1 (2004-11) Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television. – REN/JTC-DVB-156.

9.3. European Standard (Telecommunications series) ETSI EN 302 304 V1.1.1 (2004-11). Digital Video Broadcasting (DVB); Transmission System for Handheld Terminals (DVB-H). – DEN/JTC-DVB-155.

9.4. Правила применения оборудования систем телевизионного вещания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.rfcmd.ru/sphider/docs/tv/Prikaz\\_Mininformsvyazi\\_N01\\_ot\\_10\\_01\\_06.htm](http://www.rfcmd.ru/sphider/docs/tv/Prikaz_Mininformsvyazi_N01_ot_10_01_06.htm).

9.5. Артамонов А. Передатчики для цифрового телевизионного вещания фирмы МАРТ / А. Артамонов, В. Модель, Ю. Погорельцев // Broadcasting. Телевидение и радиовещание. – 2006. – № 7. – С. 25.

9.6. Roberto Valentin. ABE Elettronica S.p.A. Digital TV Broadcasting Handbook Edition 1-2004 / Valentin Roberto [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [www.abe.it](http://www.abe.it) .

9.7. System Engineering Solutions. A complete set of services and products provided by DMT and its partners [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dmtonline.com>.

9.8. Передатчики большой мощности с жидкостным охлаждением для цифрового ТВ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rohde-schwarz.ru>.

9.9. Линейка цифроаналоговых телевизионных передатчиков типов txtu/txtv от НПП «Квант-эфир» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kvant-efir.com.ua>.

9.10. A133. Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2) DVB Document A133. February 2009.

9.11. A122. Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2) DVB Document A122. June 2008 a122.tm3980r5. DVB-T2, a122r1.tm3980r7.DVB-T2.

9.12. A136. Digital Video Broadcasting (DVB); Modulator Interface (T2-MI) for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2) A136 a136r2.DVB-T2-MI.dTS102773.

9.13. Серов А. DVB-T2 — цифровое телевидение второго поколения / А. Серов // «625». – 2009. – № 7. – С. 70–73 ; Broadcasting (DVB); Measurement guidelines for DVB systems. – RTR/JTC-DVB-77.

## **Раздел 10**

10.1. ETSI TR 101 290 V1.2.1 (2001-05). Technical Report Digital Video Broadcasting (DVB); Measurement guidelines for DVB systems [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.broadcasting.ru/pdf-standard\\_specifications/measurement/tr101290.v1.2.1.pdf](http://www.broadcasting.ru/pdf-standard_specifications/measurement/tr101290.v1.2.1.pdf).

10.2. Mesurement UP. Jürgen Lauterjung, Rohde & Schwarz Broadcasting Division & Chairman DVB Measurement Group // DVB-SCENE. – Edition No. 31. – September 2009. – С. 10.

10.3. Walter Fischer. Digital Video and Audio Broadcasting Technology / Walter Fischer // A Practical Engineering Guide. –

Second Edition. – Springer Series on Signals and communication Technolog, 2008. – 601 с.

10.4. ГОСТ Р 52592-2006. Тракт передачи сигналов цифрового вещательного телевидения, звенья тракта и измерительные сигналы. Общие требования. – М. : Стандартинформ, 2006.

10.5. Гласман К. MPEG-2 и измерения / К. Гласман // «625». – 2004. – № 1. – С. 5–16.

10.6. ETSI EN 300 468. Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems.

10.7. ETSI TR 101 211. Digital Video Broadcasting (DVB); Guidelines on implementation and usage of Service Information (SI).

10.8. Карякин В.Л. Цифровое телевидение / В.Л. Карякин. – М. : Солон-Пресс, 2008. – 272 с.

10.9. ISO/IEC 13818-1 (ITU-T Recommendation H.222.0). Information technology — Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems.

10.10. European Standard (Telecommunications series) ETSI EN 300 744 V1.5.1 (2004-11). Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television. – REN/JTC-DVB-156.

## **Раздел 11**

11.1. Песков С.Н. Рекомендации по внедрению DVB эфирного вещания. Сетевое планирование / С.Н. Песков, И.А. Колпаков, С.Ю. Колгатин // Теле-Спутник. – 2007. – № 8(142).

11.2. Варбанский А.М. Передающие телевизионные станции / А.М. Варбанский. – М. : Связь, 1980.

11.3. ETSI TR 101 190 V1.3.1 (2008-10). Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for DVB terrestrial services; Transmission aspects.

11.4. МСЭ-R ВТ.1368-6. Критерии планирования для услуг наземного цифрового телевидения в диапазонах ОБЧ/УВЧ (Вопрос МСЭ-R 4/6).

11.5. ETSI EN 300 744. Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television.

11.6. Критерии планирования сетей цифрового телевизионного вещания в полосах 470–862 МГц. Термины и определения, используемые при планировании сети (Статья на сайте «Радиочастотный центр МО»).

11.7. A133. Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2) DVB Document A133. February 2009.

11.8. Цифровое эфирное телевидение 2008. Принципы построения и расчетов сетей DVB-T и DVB-H. – М. : Телеспутник, 2008. – 154 с.

11.9. Справочник по радиоэлектронике. – М. : Энергия, 1967. – Т. 1. – 640 с.

11.10. Телевизионная техника : справ. / под общ. ред. Ю.Б. Зубарева и Г.Л. Глориозова. – М. : Радио и связь, 1994. – 312 с.

11.11. Песков С.Н. Аналитические методы расчета напряженности поля, создаваемой передатчиком / С.Н. Песков // Теле-Спутник. – 2008. – № 10 (156).

11.12. A122. Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2) DVB Document A122. June 2008 a122.tm3980r5.DVB-T2, a122r1.tm3980r7. DVB-T2.

11.13. ETSI TS 101 191 V1.4.1 (2004-06). Technical Specification. Digital Video Broadcasting (DVB); DVB mega-frame for Single Frequency Network (SFN) synchronization.

11.14. ETSI TS 102 773. Digital Video Broadcasting (DVB); Modulator Interface (T2-MI) for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2).

11.15. ETSI TS 102 034. Transport of MPEG-2 TS based DVB services over IP based networks.

## **Раздел 12**

12.1. Смирнов А.В. Основы цифрового телевидения / А.В. Смирнов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2005. – 349 с.

12.2. Мамчев Г.В. Основы цифрового телевидения / Г.В. Мамчев. – Новосибирск : Сиб. гос. ун-т телекоммуникаций и информатики, 2003. – 248 с.



# Оглавление

Введение .....	3
Часть 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ	
<b>1. Общие принципы телевидения .....</b>	<b>9</b>
1.1. Структурная схема телевизионной системы.....	9
1.2. Принципы черно-белого телевидения.....	10
1.3. Принципы цветного телевидения .....	23
1.4. Аналоговое телевизионное вещание .....	37
1.5. Принципы построения совместимых систем цветного телевидения .....	41
1.6. Совместимые системы цветного телевидения с квадратурной модуляцией .....	47
<b>2. Цифровое кодирование телевизионных сигналов .....</b>	<b>57</b>
2.1. Структурная модель цифровой телевизионной системы.....	57
2.2. Цифровое представление телевизионных сигналов.....	63
2.2.1. Аналого-цифровое преобразование видеосигнала .....	63
2.2.2. Устройство и принцип работы аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователей.....	72
2.2.3. Цифровые коды для представления телевизионных сигналов.....	75
2.2.4. Форматы цифрового представления телевизионных сигналов.....	78
2.3. Коды для сжатия (компрессии) цифровых аудио- и видеоданных .....	81
2.3.1. Определения.....	81
2.3.2. Структура кодера/декодера источника.....	83
2.3.3. Энтропийное кодирование .....	84
2.3.4. Кодирование Хаффмана.....	85
2.3.5. Арифметическое кодирование .....	88
2.4. Помехоустойчивое кодирование цифровых телевизионных сигналов.....	91
2.4.1. Простейшие методы помехоустойчивого кодирования .....	91
2.4.2. Двоичные циклические коды .....	93
2.4.3. Сверточное кодирование .....	98

<b>3. Цифровая обработка телевизионных изображений</b> .....	100
3.1. Основные положения .....	100
3.2. Представление и преобразование двумерных сигналов .....	105
3.3. Двумерные линейные фильтры .....	111
3.4. Рекурсивная обработка изображений .....	115
3.5. Нелинейная обработка изображений .....	120
3.6. Инструментальные средства для оценки эффективности алгоритмов цифровой обработки изображений .....	126
3.7. Алгоритмы обработки видеоданных при измерении параметров множества объектов с использованием сигнально-фоновых сканирующих апертур .....	132
3.8. Пространственно-временные ранговые алгоритмы выделения малоразмерных объектов на сложном фоне .....	141
3.9. Устранение помеховых образований в видеосистемах с высокочувствительными телевизионными датчиками .....	148
3.10. Обработка и анализ изображений с использованием цифровых сигнальных процессоров .....	154
3.11. Декодирование видеоданных с использованием видеопроцессоров .....	159
3.12. Телевизионно-вычислительный комплекс контроля с радиационно-стойкой видеокамерой .....	165
3.13. Активно-импульсная телевизионно-вычислительная система для работы в экстремальных условиях наблюдения и контроля .....	170
<b>Часть 2. СТАНДАРТЫ КОМПРЕССИИ ЦИФРОВЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ</b>	
<b>4. Сжатие аудиоданных</b> .....	177
4.1. Физиология слуха .....	177
4.2. Маскирование .....	182
4.3. Компрессия цифровых аудиоданных .....	185
4.4. Психоакустические модели стандартов MPEG .....	194
4.5. Семейство стандартов MPEG .....	195
<b>5. Видеокомпрессия</b> .....	202
5.1. Стандарты видеокомпрессии .....	202
5.2. Потребности и ресурсы видеокомпрессии .....	203
5.3. Кодирование/декодирование видеoinформации в стандарте MPEG-2 .....	207
5.4. Алгоритм внутрикадрового сжатия в стандарте MPEG-2 .....	213

5.5. Мультиплексирование и помехоустойчивое кодирование компрессированных данных в стандарте MPEG-2.....	222
--	-----

### Часть 3. СИСТЕМЫ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ

<b>6. Эффективные методы модуляции в цифровом телевидении</b> .....	235
6.1. Направления развития цифрового телевидения .....	235
6.2. Распределение частотного диапазона.....	236
6.3. Базовые методы одночастотной модуляции в системах ЦТВ .....	238
6.4. Многопозиционная модуляция несущей.....	243
6.5. Модуляция COFDM .....	250
<b>7. Международная стандартизация систем цифрового телевизионного вещания</b> .....	254
7.1. Организация работ по международной стандартизации телевизионного вещания .....	254
7.2. Стандартизация цифровых методов кодирования сигналов телевизионного вещания .....	258
7.3. Стандартизация систем телевидения высокой четкости и их применение .....	261
7.4. Стандартизация наземного цифрового телевизионного вещания .....	266
7.5. Стандартизация спутниковых систем телевизионного вещания и журналистики.....	273
7.6. Стандартизация систем передачи дополнительной информации в составе сигнала телевизионной программы .....	279
7.7. Стандартизация интерактивных систем вещания .....	283
7.8. Стандартизация методов оценки качества телевизионных изображений, контроля и измерений параметров телевизионных трактов .....	295

### Часть 4. ОРГАНИЗАЦИЯ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ В СТАНДАРТЕ DVB

<b>8. Семейство стандартов цифрового видеовещания DVB</b> .....	301
8.1. Проект DVB .....	301
8.2. Система DVB-T .....	302
8.3. Система DVB-S .....	310
8.4. Стандарт DVB-S2 .....	311
8.5. Система DVB-T2 .....	319

8.6. Системы кабельного телевидения DVB-C/C2 .....	333
8.7. Мобильное телевидение DVB-H.....	335
<b>9. Передатчики для цифрового телевидения .....</b>	<b>337</b>
9.1. Требования к цифровым телевизионным передатчикам .....	337
9.2. Основные параметры и характеристики передатчиков DVB-T/H .....	341
9.3. Передатчики отечественных производителей .....	346
9.4. Передатчики компаний ABE и DMT (Италия).....	349
9.5. Передатчики компании Rohde & Schwarz (Германия).....	357
9.6. Передатчики компании «Квант-Эфир» (Украина).....	362
9.7. Особенности IFFT- и OFDM-модуляции в системе DVB-T2 .....	363
9.8. Обсуждение ключевых технологий DVB-T2.....	366
<b>10. Измерения в цифровом телевидении .....</b>	<b>373</b>
10.1. Общие сведения .....	373
10.2. Измерение и анализ транспортного потока MPEG-2 .....	377
10.3. Измерения транспортных потоков MPEG-2 в сетях .....	378
10.4. Измерение высокочастотных параметров сигналов .....	381
10.5. Измерение коэффициента битовых ошибок BER .....	390
10.6. Уровень ошибок модуляции (MER) .....	391
10.7. Приборы для измерения. Примеры от разных производителей .....	394
<b>11. Сетевое планирование .....</b>	<b>400</b>
11.1. Основные понятия и определения .....	400
11.2. Связь напряженности поля в месте приема с мощностью передатчика.....	404
11.3. Уровень сигнала на входе приемника и напряженность поля.....	405
11.4. Одночастотные сети SFN .....	408
11.5. Сети системы второго поколения DVB-T2.....	412
11.6. Защитные отношения.....	418
<b>12. Приемные устройства цифрового телевизионного вещания .....</b>	<b>422</b>
12.1. Основные узлы и блоки приемных устройств цифрового телевизионного вещания .....	422
12.2. Принцип работы ЖК-устройств отображения информации .....	441
Заключение .....	447
Литература .....	449

Научное издание

**Ильин** Анатолий Григорьевич,  
**Казанцев** Генрих Дмитриевич,  
**Костевич** Анатолий Геннадьевич,  
**Курячий** Михаил Иванович,  
**Пустынский** Иван Николаевич,  
**Шалимов** Вадим Александрович

ЦИФРОВОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ  
В ВИДЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Монография

Корректор Л.И. Кирпиченко

Компьютерная верстка Е.Н. Ворониной

Подписано в печать 07.12.10. Формат 60x84/16.

Усл. печ. л. 27,03. Тираж 500 экз. Заказ 1175.

---

Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники.  
634050, г. Томск, пр. Ленина, 40.  
Тел. (3822) 533018.