

**ИНСТИТУТ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ РАБОТНИКОВ
ТЕЛЕВИДЕНИЯ И РАДИОВЕЩАНИЯ**

Мосина В. Ф.

ЦИФРОВОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ

Курс лекций

Москва 2013

Мосина В.Ф.

Цифровое телевидение. Курс лекций В.Ф.Мосиной.

В настоящем курсе лекций даны принципы построения тракта цифрового телевизионного вещания, назначение основных видов обработки сигналов в блоках тракта, рассмотрены требования к процедурам формирования аналоговых видеосигналов основных цветов и компонентных видеосигналов (яркостного и цветоразностных), приведены характеристики сигналов и их спектров, включая характеристики сигналов телевидения высокой четкости.

Излагаются методы преобразования аналоговых видеосигналов в цифровые, даются характеристики получаемых цифровых сигналов телевидения обычной и высокой четкости, характеристики цифровых форматов. Приводятся параметры параллельных и последовательных интерфейсов, даются методы мультиплексирования видеосигналов, правила введения в них цифровых синхросигналов.

Рассматриваются принципы сжатия цифровых видеосигналов, особенности работы схем дискретного косинусного преобразования, дифференциальной импульсно-кодовой модуляции, процедуры формирования сжатых кадров трех типов (I, P, B), а также правила создания определенной структуры элементарного потока на выходе кодера сжатия. Дается описание уровней и профилей международных стандартов для сжатых цифровых сигналов MPEG – 2, MPEG – 4.

Материал рассчитан на руководителей, инженерно – технических работников, молодых специалистов телекомпаний.

Содержание

Аннотация.....	2
Тема 1. Тракт цифрового телевизионного вещания.....	3
Тема 2. Аналоговые видеосигналы и их спектры.....	14
2.1.Физические принципы формирования аналоговых видеосигналов.....	14
2.2.Телевизионный растр.....	19
2.3.Параметры аналоговых видеосигналов на входах аналого – цифрового преобразователя (АЦП).....	21
2.4.Компонентные видеосигналы.....	26
2.5.Спектр видеосигнала.....	3
Тема 3. Формирование цифровых сигналов из аналоговых.....	3
3.1 .Дискретизация аналоговых сигналов по времени.....	3
3.2Дискретизация отсчетов по уровню	6
3.3Кодирование.....	7
3.4Параметры ...дискретизации и квантования для базового цифрового формата 4:2:2	9

3.5	Форматы дискретизации компонентных видеосигналов.	1
Тема 4	Стыки цифровых компонентных сигналов.....	16
4.1	Параметры параллельных и последовательных стыков	
4.2.	Мультиплексирование цифровых видеосигналов	18
4.3.	Синхросигналы в параллельном видеостыке	20
4.4.	Параллельный цифровой интерфейс.....	23
4.5.	Последовательный цифровой интерфейс	25
Тема 5.	Принципы сжатия видеоданных.....	
5.1	Виды избыточной информации в ТВ изображении и видеосигнале.....	
5.2	Внутрикадровое сжатие методом ДКП.....	
5.3	Дифференциальная импульсно-кодовая модуляция.....	
Тема 6.	Стандарты MPEG.....	
6.1	Структура элементарного потока видеоданных по стандарту MPEG – 2.....	
6.2	Уровни и профили MPEG – 2.....	
6.3	Уровни и профили MPEG - 4	
Литература.....		

Тема 1. Тракт цифрового телевизионного вещания.

Упрощенная структурная схема тракта представлена на рис.

1.1. Как и в аналоговом тракте, цифровой тракт получает сигнал от преобразователя свет – сигнал и формирует на выходе сигнал для преобразователя сигнал – свет. Поэтому на входе и выходе тракта - аналоговые сигналы, а именно видеосигналы трех основных цветов R, G, B.

Видеосигналы по-разному обозначены: «сигнал 1» и «сигнал 2», т. к. на самом деле эти сигналы очень сильно отличаются друг от друга. Сигнал 2 – это R G B выходные сигналы тракта, обеспечивающие на экране телевизионного приемника изображение с заданными характеристиками. Параметры выходных сигналов – стандартизованы, заданы их величины (уровни), их форма (фронты и длительности импульсов), отношение сигнал\ шум и т.д. Сигнал 1 – это RGB видеосигналы, полученные от трубок или ПЗС, их величины малы, зависят от условий съемки,

режима работы оптики, ПЗС (или трубок), а кроме того содержат шумы, паразитные сигналы.

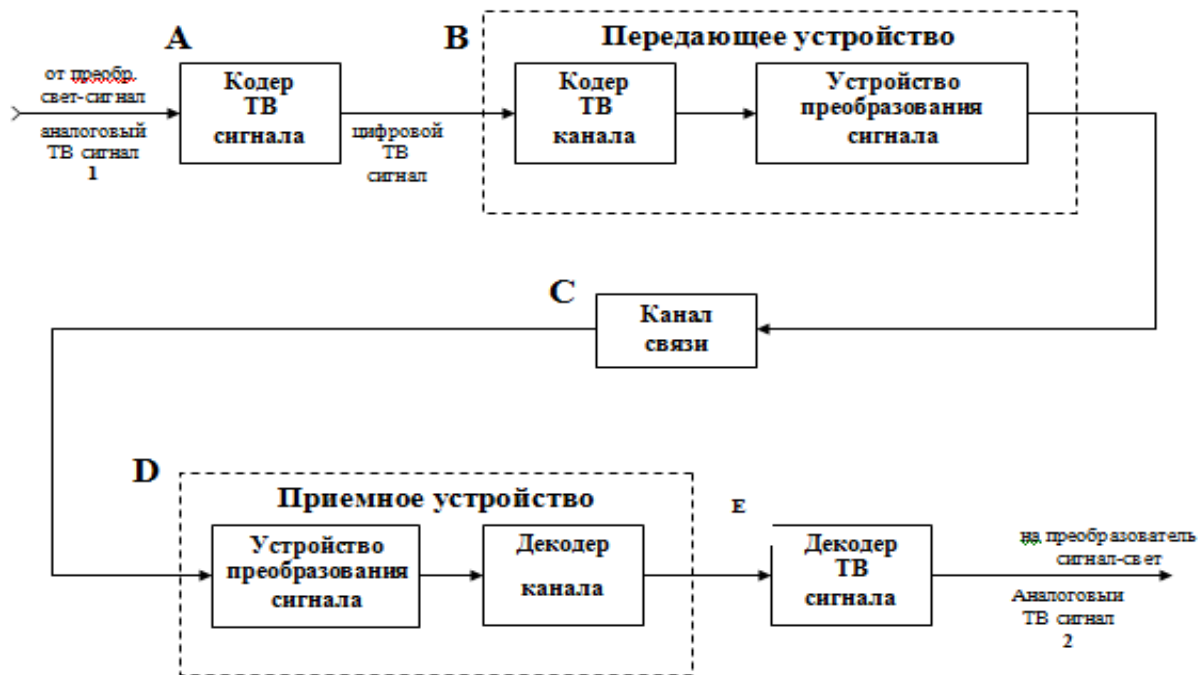


Рис. 1.1

Обычно видеосигналы на входе видеотракта (сигнал 1) искажены как воздействием оптики, так и процессом преобразования свет сигнал.

Кодер телевизионного (ТВ) сигнала (А) должен усилить, скорректировать, преобразовать RGB сигналы так, чтобы в соответствии с выбранным стандартом эти сигналы могли быть поданы с выхода кодера А на вход декодера Е, который и сформирует на

выходе видеотракта стандартизованные аналоговые RGB видеосигналы.

Передающее и приемное устройства (B,D) вместе с линией связи (C) только обеспечивают доставку цифровых ТВ сигналов на вход блока E. В состав передающего устройства входит кодер ТВ канала и модулятор несущей частоты. Соответственно в приемное устройство входит демодулятор несущей частоты и декодер ТВ канала. В кодере ТВ канала преобразуют цифровой ТВ сигнал так, чтобы его можно было использовать для модуляции несущей частоты, которую будут передавать по конкретному виду канала связи (спутниковое, кабельное, наземное вещание). Для этой цели в кодере канала производят сжатие цифрового сигнала, формирование цифрового потока (транспортного), введение защитных кодов. Декодер ТВ канала должен произвести обратное преобразование.

Кодер ТВ сигнала (A) представляет собой не что иное, как видеотракт телекамеры, где обрабатывают видеосигналы, а именно:

- предварительно усиливают и корректируют аналоговые видеосигналы;
- преобразуют аналоговые сигналы в цифровую форму;
- корректируют цифровые видеосигналы;
- формируют из RGB цифровых видеосигналов компонентные и композитные цифровые сигналы цветного телевидения.

Предусмотрено и цифро – аналоговое преобразование выходных сигналов телекамеры, т. к. аналоговая форма удобна для визуального контроля по осциллографу. При необходимости, аналоговые сигналы могут быть использованы для вещания в аналоговой системе.

Рассмотрим случай, когда две телекамеры (цифровая и аналоговая) работают в одном стандарте разложения (Standard Definition Television –SDTV 625 x25). Будут ли отличаться кадры, создаваемые ими на экране телевизионного приемника?

- Во-первых, цифровая камера дает изображение, в котором четкость цветных деталей в два раза выше по горизонтали и

по вертикали, чем в аналоговой, а четкость черно-белых деталей выше на 20%...40% только по вертикали.

- Во-вторых, цифровая обработка сигналов расширяет диапазон регулирования характеристик изображения по сравнению с аналоговым вариантом.

- В третьих, цифровая форма дала новые возможности управления изображением за счет введения новых регуляторов, способных: изменять цветность и детальность воспроизведения лица, не затрагивая остальную часть кадра; регулировать цветопередачу каждого из нескольких выбранных цветов; регулировать в широких пределах детальность изображения.

Преимущества использования цифровой формы сигналов в телевидении было трудно реализовать из-за повышенных требований к полосе пропускания каналов связи и к объему носителей для хранения ТВ изображений.

Однако технологии сжатия цифровых сигналов за короткое время своего развития позволили успешно преодолеть возникший барьер и в определенном смысле легли в основу цифрового ТВ.

Цифровой поток на выходе телекамеры может иметь скорость от 216 Мбит\с до 2970Мбит\с и состоит из 8-и или 10-и битных цифровых слов, которые называют байтами. В цифровых словах зафиксирована информация о яркости и цветности элементов изображения, а также о начале и конце каждой строки и каждого кадра. Значительная часть цифрового потока информации – избыточна и может быть сокращена, например, с 216 Мбит\с до 2...15 Мбит\с. Процедуру сжатия цифровых кадров на передающем конце и их восстановления в приемнике производят в кодере канала (Р - на рис.1.1) и в декодере канала (D - на рис.1.1).

Алгоритм устранения избыточности разработан Международной организацией Moving Picture Expert Group (MPEG). Используется внутрикадровое кодирование с применением Дискретного Косинусного Преобразования (ДКП) и межкадровое кодирование с применением Дифференциальной Импульсно – Кодовой Моду-

ляции (ДИКМ). Сжатые изображения объединяют в группы, группы - в последовательности, образуя так называемый элементарный цифровой поток видеосигнала. Полученный поток видеосигнала входит в состав полной телевизионной программы, которая должна содержать не только видео, но и аудиосигналы, информационные данные, компьютерные программы и управляющую информацию.

На рис. 1.2 показана упрощенная структурная схема тракта цифрового ТВ комплекса, где кроме кодера А для видеосигнала, показаны кодеры А1, А2 для сигналов звукового сопровождения и дополнительной информации, а также соответствующие им декодеры Е1 и Е2. Блоки синхронизации (на передаче Р2 – на приеме D2) обеспечивают синхронизацию тракта, а генератор испытательных сигналов на передаче Р3 и блок контроля параметров D3 в приемнике позволяют проверять работу тракта.

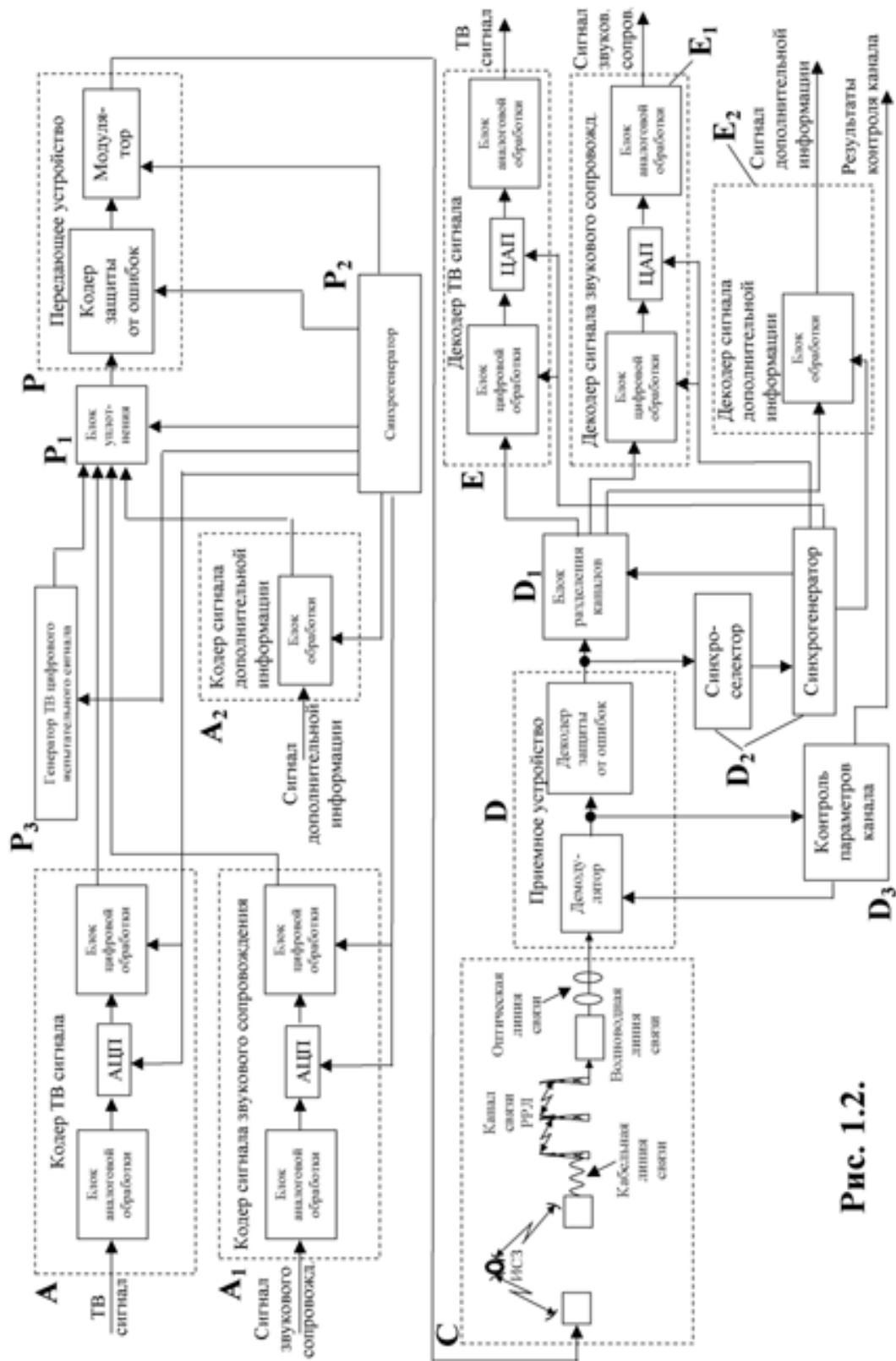


Рис. 1.2.

На схеме рис. 1. 2 «Кодер ТВ канала» разбит на два блока: «Кодер защиты от ошибок» (Р) и «Блок уплотнения» (Р1). На блок Р1 попадают цифровые сигналы трех составляющих ТВ программы (трех «приложений»): видео, аудио, дополнительной информации. Каждая из составляющих подвергается уплотнению и формирует свой «элементарный поток» (ЭП). Затем в блоке Р1 эти элементарные потоки «пакетируют» и из трех «пакетированных элементарных потоков» (ПЭП) создают (мультиплексируют) единый «транспортный» поток. Такой поток состоит из одинаковых по объему информации транспортных пакетов (каждый пакет – 188 байт). В транспортном потоке содержится полная информация (видео, аудио, дополнительная), а коды, добавленные в исходные элементарные потоки в ходе их пакетирования, позволяют на приеме (в блоке разделения D1) восстановить каждый из трех исходных цифровых сигналов. Кроме того, в заголовки пакетов транспортного потока введены специальные временные метки, по которым производится синхронизация всех составляющих ТВ программы (с помощью блоков D2 – см. рис. 1.2).

Следует отметить, что одинаковые малые транспортные пакеты «нарезают» из больших пакетов трех исходных пакетированных элементарных потоков, поскольку малый цифровой пакет легче защитить от ошибок передачи по линиям связи. Необходимый уровень защиты достигается последовательным использованием нескольких систем защитного кодирования: рандомизация формы спектра, кодирование Рида – Соломона и конволюционное перемежение. В результате увеличивается длина транспортного пакета на 16 байт, т.е. каждый пакет содержит 204 байта.

Рассмотрим краткие характеристики перечисленных видов обработки цифровой информации в ТВ тракте.

Рандомизация формы спектра (скремблирование) подразумевает введение псевдослучайной последовательности в цифровой сигнал. Это уменьшает постоянную составляющую сигнала, позволяя передавать его через трансформатор, а также увеличивает число переходов между низким и высоким уровнем напряжения, что облегчает синхронизацию на приеме.

Коды Рида – Соломона хорошо исправляют ошибки, подходят для исправления пакетных ошибок, компенсации потери данных и широко используются не только для передачи по линиям связи, но и при записи на диск или ленту. Добавленные в этом случае 16 байт (в каждый транспортный пакет) могут исправить до 8 испорченных байт в каждом пакете.

Если в пределах одного ТВ кадра возникают сильные искажения («пакет ошибок»), важно распределить ошибки по всему потоку данных так, чтобы в каждом транспортном пакете оказалась только часть «пакета ошибок». Для этой цели используют конволюционное перемежение Форни. Устройство перемежения имеет 12 ответвлений, каждое ответвление со своей величиной задержки. Переключатели подают и снимают сигналы (на передаче и приеме) с того или иного ответвления устройств перемежения и меняют свою позицию после передачи каждого байта информации. В результате передаваемые данные оказываются «разбросанными» по времени, но предсказуемым образом. Их порядок восстанавливают (в декодере защиты от ошибок).

Три рассмотренных вида защиты от ошибок называют «внешним кодированием». Но перед передачей сигнала по спутниковым, кабельным или наземным каналам связи применяют конволюционное или Витерби кодирование. Такое кодирование называют «внутренним». На передаче поток данных пропускают через цепочку регистров сдвига. С выходов регистров сигналы суммируют с входными данными. Образуются два цифровых потока с той же скоростью передачи, что и входной поток. Удвоенный выходной цифровой поток имеет 100% избыточности и обеспечивает широкие возможности по исправлению ошибок. Намеренно пропуская часть битов Витерби кодированного потока, можно уменьшить скорость его передачи более чем вдвое. Такой вариант называют «пунктирным Витерби кодированием».

В передающем устройстве (Р – на рис. 1. 2) обработанный в кодере защиты от ошибок цифровой поток подают на модулятор. Тип модуляции используют разный для разных линий связи. Для передачи по спутниковым и кабельным линиям связи применяют

модифицированный вид квадратурной амплитудной модуляции. В этом случае формируют две сдвинутые по фазе на 90 градусов несущие частоты и модулируют каждую по амплитуде цифровыми сигналами с ограниченным числом состояний (значений кода). Суммарный сигнал дает конечный набор модуляционных состояний (в зависимости от модулирующего кода): 4, 8, 16, 32, 64. Такие наборы называют «созвездиями», а тип модуляции – Quadrature Amplitude Modulation или сокращенно: QAM – 4 (8, 16, 32, 64).

Когда модулированный сигнал передают по широкополосной линии связи, например, используют спутниковую связь (полоса частот 26...54 МГц), применяют QAM – 4. Модуляция с большим числом в «созвездии» (QAM – 16, 32, 64) хорошо согласуется с передачей по кабельным линиям связи, где полоса передаваемых частот (около 8 МГц) заметно уже. Американская система цифрового наземного телевизионного вещания использует модуляцию типа QAM – 8 и получила наименование: Advanced Sistem Television Commitie или сокращенно ASTC.

Европейская система цифрового наземного ТВ вещания названа : Digital Video Broadcasting Terrestrial, сокращенно DVB–T.

В этой системе вещания модуляцию несущих частот производят, используя ортогональное частотное разделение каналов с кодированием или Coded Ortogonal Frequency Division Multiplexing, сокращенно – COFDM. Такая система вещания – многочастотна. В ней, доступный для передачи частотный диапазон, разделяется между большим количеством несущих, каждая из которых модулируется цифровым потоком с очень низкой скоростью передачи. Число несущих частот может быть 2000 или 8000. Спектр передаваемой полосы частот очень эффективно используется за счет близкого расположения частот несущих. Интерференция между несущими частотами отсутствует, благодаря их взаимной ортогональности (фазы соседних частот сдвинуты на 90 градусов), т.е. спектр любой модулированной несущей не влияет на спектры других несущих частот.

В системе вещания COFDM каждая модулированная несущая имеет узкополосный спектр (1кГц) и почти не подвержена влиянию задержанных сигналов при многолучевом приеме. Чтобы вызвать межсимвольную интерференцию в принимаемом сигнале, задержка отраженного (мешающего) сигнала должна быть очень большой (более 500 мкс). Но затухание сигнала COFDM на некоторых несущих частотах может вызвать ошибки передачи. В цифровом наземном вещании защищают сигнал от ошибок кодом Витерби.

На рис. 1.2 показана процедура обработки цифрового сигнала, поступившего с линии связи (С) на телевизионный приемник. В приемном устройстве (D) сигнал проходит демодулятор и декодер защиты от ошибок, в результате чего восстанавливается исходный транспортный поток. Далее в блоке разделения каналов (D1) формируют элементарные цифровые потоки трех приложений: видео, аудио и дополнительной информации. Декодеры ТВ сигнала (E), звукового сигнала (E1), сигнала дополнительной ин-

формации (E2) завершают формирование трех составляющих ТВ программы.

Контрольные вопросы по теме 1

1. Назначение блоков структурной схемы цифрового тракта ТВ вещания.
2. Достоинства и недостатки цифровых методов передачи сигналов в телевидении.
3. Блоки цифрового тракта ТВ вещания, предназначенные для сжатия цифрового потока и защиты от ошибок.
4. Типы модуляции несущей частоты, выбранные в цифровом ТВ для разных видов линий связи.

Тема 2. Аналоговые видеосигналы и их спектры

2.1. Физические принципы формирования аналоговых видеосигналов.

На схеме рис. 2.1 показаны все элементы структурной схемы тракта цифрового ТВ, дополненные схематичным изображением оптического светоделения и преобразования свет – сигнал в телекамере и преобразования сигнал – свет в телевизионном приемнике. Здесь кодер ТВ сигнала А показан внутри телекамеры, как её трехканальный видеотракт, а приёмное устройство D и декодер ТВ сигнала Е – часть ТВ приёмника. По-прежнему Р – передающее устройство, а С – линия связи.

Рассмотрим преобразование сигнал – свет, т.е. формирование изображения на экране приёмной трубки (хроматрона). В колбе трубки создан вакуум для беспрепятственного движения электронных пучков. Электронный пучок формируется в электронном прожекторе. Подогретый катод испускает электроны, а модулятор, в зависимости от напряжения на нем, пропускает весь пу-

чок, его часть или «запирает» трубку, не пропуская электроны. Аноды и фокусирующие электроды прожектора трубки создают поля, сжимающие и ускоряющие электронный пучок. На внутренней поверхности колбы нанесено металлическое покрытие, на которое подают высокое напряжение (20...25 кВ). Там же, на передней стенке колбы нанесен люминофор. Ускоренные электроны бомбардируют люминофор, создавая в точке касания люминисцентное излучение, интенсивность которого зависит от плотности электронного пучка, т.е. от напряжения на модуляторе в прожекторе трубки. Таким образом возникает зависимость интенсивности света от величины сигнала (преобразование сигнал - свет).

Однако свечение люминофора будет возникать только в одной точке – в центре экрана, если не перемещать электронный пучок. Перемещение создают магнитные поля катушек отклоняющей системы ОС. За счет изменения магнитных полей этих катушек электронный пучок и светящаяся точка на экране трубки быстро перемещаются, создавая для инерционного человеческого

зрения впечатление светящейся поверхности. Передача и воспроизведение изображения таким методом происходит последовательно и поэлементно и называется «разложением». Возможны различные способы разложения изображения, но в вещательном ТВ принято только линейно – строчное разложение чересстрочное или построчное.

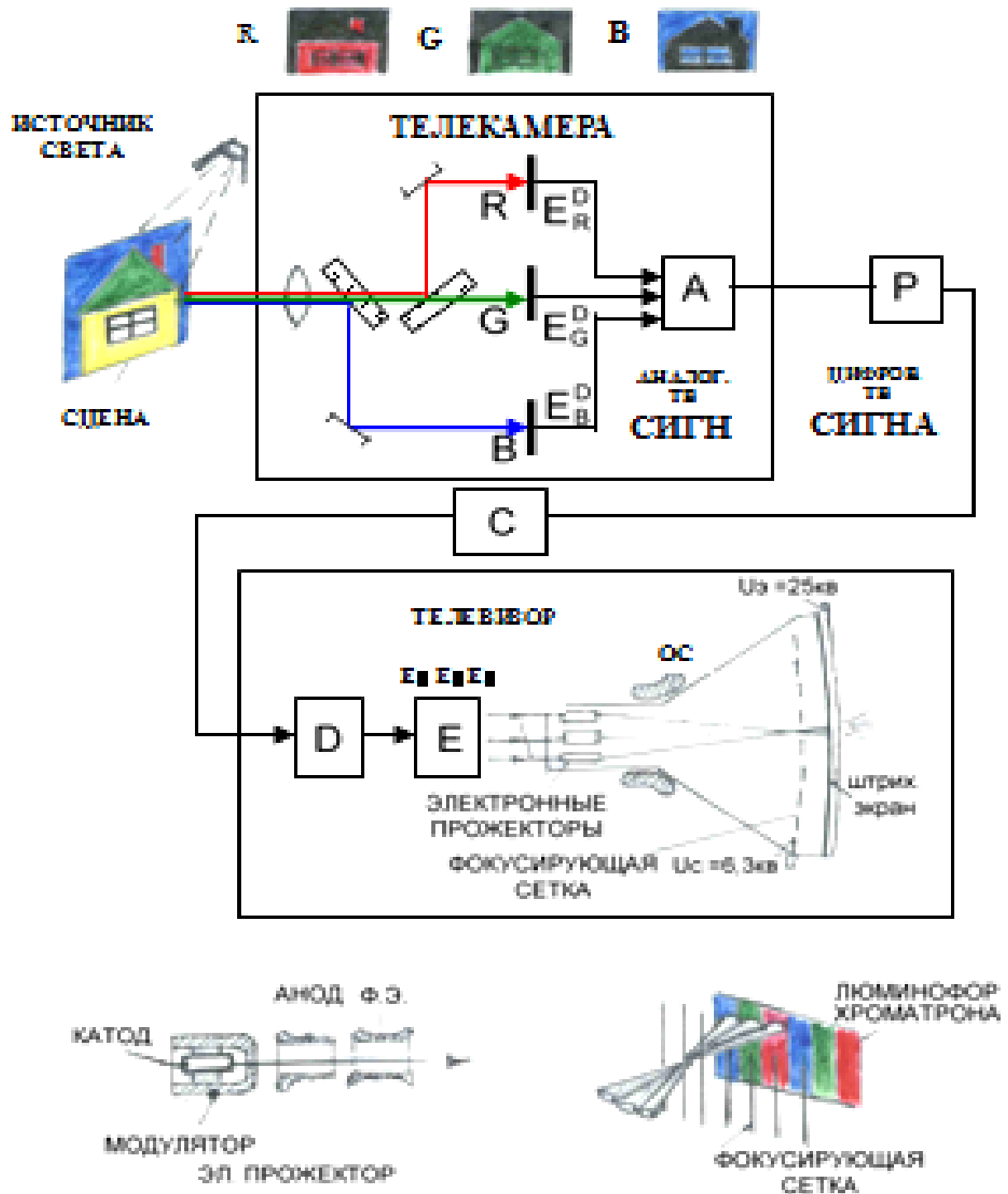


Рис. 2.1

Принцип чересстрочного разложения показан на рис. 2.2.

Пучок электронов засвечивает элементы экрана, двигаясь слева на право по наклонным линейкам – строкам. Это движение с постоянной скоростью происходит под действием магнитного поля ОС на электронный пучок. Магнитное поле перпендикулярно оси трубки и изменяется с постоянной скоростью по вертикали и горизонтали, но по вертикали изменение магнитного поля и смещение пучка в 300 раз медленнее, чем по горизонтали, поэтому строки прочерчиваются почти горизонтально. Быстрое обратное возвращение пучка электронов справа на лево и снизу вверх - гасят, подавая запирающие импульсы на модулятор трубки. Обход и засвечивание всех элементов экрана разбит на два этапа – два поля. За время первого поля засвечивают элементы на нечетных строках, а во втором поле обходят элементы на четных строках, расположенные между нечетными на равном расстоянии. При достаточно большом числе строк (500....600) глаз перестает различать их как отдельные линии, а видит на лицевой поверхности трубки светящийся прямоугольник, называемый растром.

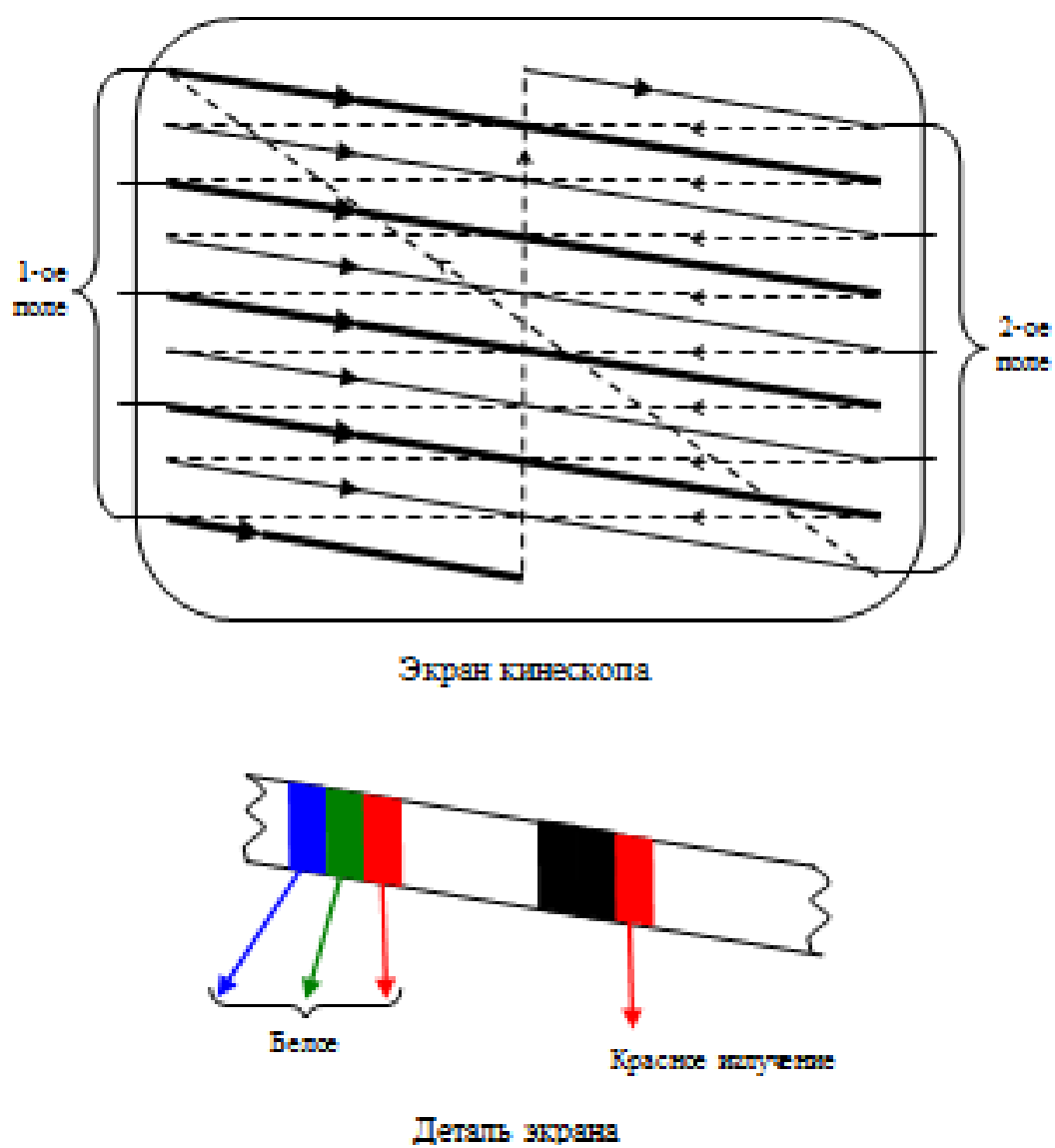


Рис. 2.2

В цветном кинескопе растр образуется при одновременном движении трех электронных пучков под действием магнитных полей отклоняющей системы. Внутренняя поверхность экрана

хроматрона покрыта вертикальными тонкими полосками люминофора. Полоски под действием электронных пучков дают свечение трех основных цветов (красного, зеленого, синего). На каждый модулятор в трех прожекторах подан видеосигнал, управляющий плотностью электронного пучка. Три пучка попадают на штриховой экран через фокусирующую сетку. Она обеспечивает попадание каждого пучка электронов на «свою» полосу. Когда видеосигналы на трех модуляторах трубки равны между собой, плотность электронных пучков одинакова и такие электронные пучки создают одинаковые по мощности излучения трех люминофоров. Зритель в этом случае видит не окрашенное (белое, серое) свечение экрана, т.е. наблюдает «баланс белого». Если два электронных пучка «запереть», экран будет светиться одним из основных цветов. Меняя относительную яркость свечения трех полосок люминофора при каждом касании трех пучков, получают все цветовые оттенки от смеси трех цветов внутри малого элемента экрана (триады). Размер этого элемента равен суммарному сечению трех пучков.

Сигналы, управляющие яркостью и цветностью свечения триад кинескопа, формируются в передающей камере. Оптика телекамеры фокусирует и разделяет многоцветный световой поток от объекта, образуя три сфокусированных одноцветных изображения на поверхности трех преобразователей свет- сигнал (трубок или ПЗС). Световые лучи выбивают фотоэлектроны в пикселях (элементах ПЗС), обладающих внутренним фотоэффектом. Образуются заряды, пропорциональные яркости освещения и создается потенциальный рельеф. При считывании потенциального рельефа с элементов ПЗС формируются видеосигналы, пропорциональные яркости сфокусированных одноцветных изображений. Процесс считывания на трех преобразователях свет – сигнал происходит синхронно и синфазно методом линейно – строчного чересстрочного или построчного разложения. Образуются аналоговые сигналы отрицательной полярности. По окончании считывания каждой строки и поля в сигналы вводят вычеркивающие импульсы на время гашения обратного хода в кинескопе телевизора.

Три полученных однополярных аналоговых видеосигнала усиливают, корректируют, доводят до трех модуляторов кинескопа телевизора с помощью ряда блоков системы ТВ вещания (см. рис. 2.1 блоки А,Р,С,Д,Е).

2.2. Телевизионный растр.

Для получения телевизионного растра в вещательном ТВ используют линейно – строчное чересстрочное или построчное разложение.

Чересстрочное разложение состоит из двух равных по времени этапов – двух полей. Переход между двумя полями должен происходить в середине формирования строки, что возможно только при нечетном числе строк в целом кадре. Совпадение начала четного поля с серединой строки дает временной сдвиг этого поля (относительно начала нечетного поля) и приводит к смещению в пространстве строк четного поля относительно строк нечетного на необходимую величину (строки четного поля располагаются точно на середине интервала между строками нечетного). Однако при

нарушении длительности временного сдвига между полями проявляется недостаток чересстрочного раstra – эффект «слипания» строк

(сближение строк двух полей), а это снижает детальность изображения по вертикали.

Время образования полного раstra из двух полей – это время передачи и воспроизведения одного кадра изображения. Опыт кинопроизводства показал, что для передачи необходимого количества фаз движения число кадров в секунду должно быть не менее 20...24. Но если в моменты окончания каждого кадра затемнять экран, то у зрителя создается ощущение мерцания яркости в том случае, когда частота затемнения менее чем 48...50 раз в секунду.

Наличие двух полей в кадре чересстрочного разложения как раз и обеспечивает частоту затемнения экрана в два раза выше частоты кадров, т. е. позволяет выбрать низкую частоту смены ТВ кадров на экране (25...30 Гц).

Построчное (прогрессивное) формирование раstra нельзя разбить на два поля. В этом растре возможно любое число строк (четное и нечетное). Строки в кадре прочерчиваются одна за другой, подряд (строки 1, 2, 3, 4... и т.д.). За один обход сверху вниз формируются все строки данного кадра. Движение луча кинескопа снизу вверх происходит один раз в конце кадра, или частота затемнения

ТВ экрана равна частоте кадров. Незаметность мелькания яркости в этом случае удастся обеспечить только за счет повышения частоты смены кадров на экране до 50...60 Гц. В аналоговой системе ТВ вещания построчное разложение с высокой частотой кадров в телекамере в два раза расширяло полосы частот формируемых видеосигналов, что не позволяло практически использовать прогрессивное разложение.

В цифровой системе ТВ вещания возможен выбор разных методов разложения изображения на передаче и приеме – за счет использования устройств цифровой памяти на ТВ кадр в телевизоре.

Например, сформированный в телекамере построчным методом разложения кадр (с низкой частотой следования 25...30 Гц) может быть воспроизведен в телевизоре с любой повышенной частотой

(для незаметности мерцания экрана).

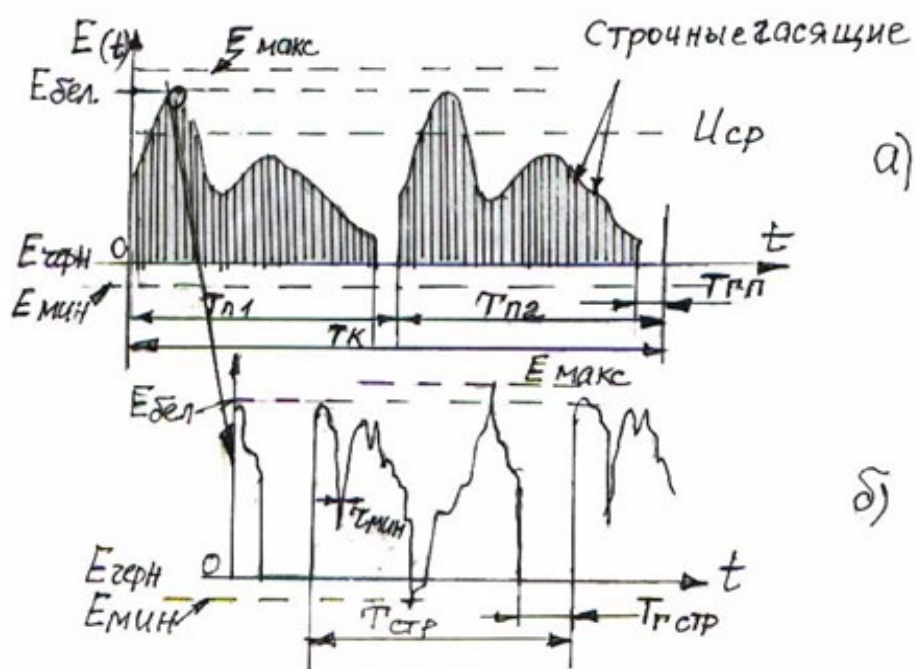


Рис. 2.3

2.3. Параметры аналоговых видеосигналов на входах аналого - цифрового преобразователя (АЦП).

Параметры аналоговых видеосигналов на входах АЦП - стандартизованы, поскольку к ним привязаны параметры получаемых цифровых сигналов. На рис. 2.3 показан вид одного из трех аналоговых видеосигналов в течение одного кадра и одной строки.

Сигналы положительной полярности и содержат среднюю составляющую $U_{\text{ср}}$. Минимальный уровень сигнала (уровень черного) совпадает с уровнем гасящих импульсов и соответствует нулевому напряжению: $E_{\text{ЧЕРН}} = 0$ Номинальный уровень белого $E_{\text{БЕЛ}}$ – это напряжение 700 мВ.

На рис.2.3 показаны допустимые величины отрицательных и положительных выбросов: $E_{\text{МИН}} = - 48$ мВ, $E_{\text{МАКС}} = 761$ мВ.

Частоты повторения кадров и полей должны быть кратны частоте сети (для незаметности сетевых наводок).

$$F_{\text{П}} = F_{\text{СЕТИ}} = 50 \text{ Гц} \quad F_{\text{К}} = 0,5 F_{\text{П}} = 25 \text{ Гц}$$

Периоды частот следования полей и кадров определяются:

$$T_{\Pi} = 1/F_{\Pi} = 20 \text{ мс} \quad T_K = 1/F_K = 40 \text{ мс}$$

Частоту повторения строк подсчитывают, зная число строк в кадре Z_K . В стандарте SDTV:

$$Z_K = 625 - \text{нечетное число.}$$

$$F_{\text{СТР}} = Z_K \times F_K = 625 \times 25 = 15625 \text{ Гц}$$

Длительность строки принято обозначать буквой «Н» и её вычисляют : $H = T_{\text{СТР}} = 1/F_{\text{СТР}} = 64 \text{ мкс}$

Интервалы времени, необходимые для гашения луча трубки в ТВ приемнике, определены стандартом:

$$T_{\Gamma\Pi} = 25H = 1,6 \text{ мс} \quad T_{\Gamma\text{СТР}} = 12 \text{ мкс}$$

Зная длительность интервалов гашения в двух полях, определяем число активных строк в кадре и в поле ($Z_{\text{АК}}$, $Z_{\text{АП}}$) :

$$\text{в кадре } Z_{\text{АК}} = 625 - 50 = 575, \text{ а в поле } Z_{\text{АП}} = 575/2 = 287,5$$

Полный телевизионный аналоговый сигнал содержит синхронизирующие строчные импульсы и импульсы полей, «насаженные» на гасящие импульсы строк и полей. Смесь синхронизирующих импульсов строк и полей называют сокращенно «ССП» - сигнал синхронизации приемников. Синхроимпульсы

обеспечивают в аналоговой системе вещания синхронное и синфазное с видеосигналом формирование раstra на экране приемной трубки. Но в цифровом тракте ССП не передают, а формируют и передают специальные кодовые слова, в которых содержится вся информация, необходимая для синхронизации и гашения в телевизионном приемнике.

Формирование цифрового сигнала должно быть жестко привязано к частоте и фазе аналогового видеосигнала. Для аналогового и цифрового ТВ комплекса стабильным ориентиром частоты и фазы служат строчные синхроимпульсы. На рис. 2.4. показано положение фронта гасящего строчного импульса относительно фронта строчного синхроимпульса в аналоговой строке SDTV (это - опережение на 1,5 мкс). Разделив аналоговые строки на равное число интервалов дискретизации, начиная именно от фронта синхроимпульса (точки 0h) можно подсчетом числа интервалов найти начало активной части строки.

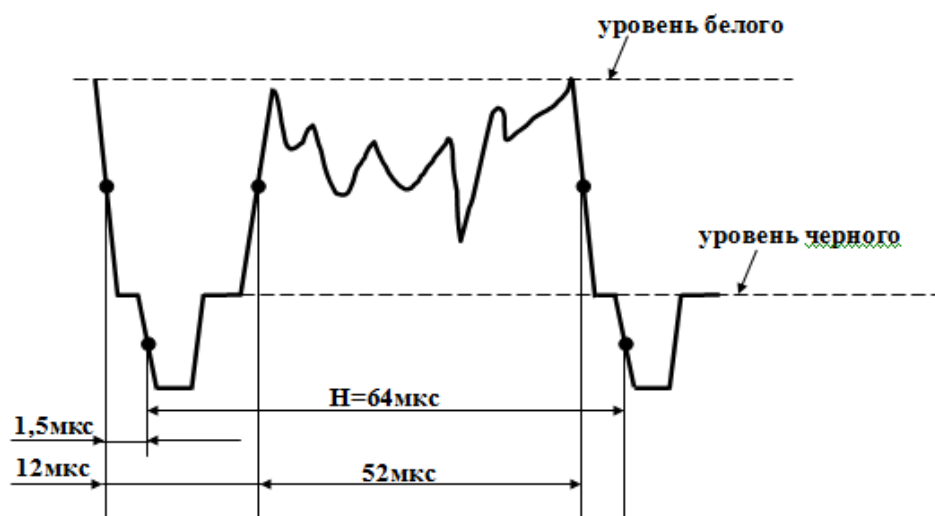


Рис. 2.4

Для нахождения активной части поля используют расположение фронтов синхроимпульсов полей относительно строчных синхроимпульсов. Фронт синхроимпульса нечетного поля совпадает с фронтом строчного синхроимпульса 1-ой строки, а фронт синхроимпульса четного поля совпадает с серединой 313- ой строки. Отсчитывая от того и другого фронта синхроимпульсов полей по 22, 5 длительности строки, попадаем на активную часть каждого поля.

АЦП телекамеры обнаруживает совпадение фронта импульса полей с фронтом строчного синхроимпульса и такое совпаде-

ние фиксируется в цифровом сигнале как начало кадра или начало нечетного поля. Совпадение фронта следующего импульса полей с серединой 313 строки указывает для АЦП начало четного поля.

Номера строк, подлежащих гашению в стандарте аналогового ТВ известны: перед нечетным полем гасят 25 строк, начиная с середины 623 строки и до середины 23 строки, а перед четным полем гасят 25 строк, начиная с начала 311 строки и до конца 335 строки. Однако гашение только половины строки 623 и половины строки 23 крайне нежелательно для цифровой формы сигнала, где во всех активных строках необходимо иметь одинаковое число дискретных отсчетов. Поэтому в процессе аналогово – цифрового преобразования изменяют интервал гашения перед нечетным полем: начинают его в момент начала 624 строки и заканчивают в момент окончания 22 строки. В результате длительность этого гасящего поля уменьшается до 24 строк, а длительность активной части нечетного и четного полей возрастает на половину строки, т. е. становится равной длительности 288 строк. При

обратном преобразовании цифрового сигнала в ЦАП телевизора восстанавливают одинаковую длительность гасящих импульсов полей.

Параметры видеосигналов в телевидении высокой четкости – ТВЧ (High Definition Television – HDTV) отличаются от рассмотренных за счет стандартизации увеличенного числа строк:

$$Z_K = 1125$$

Частота строк в этом стандарте: $F_{СТР} = Z_K \times F_K = 28125 \text{ Гц}$

Длительность строки $T_{СТР}$ также обозначается буквой «Н» и её вычисляют: $N = T_{СТР} = 1 / F_{СТР} = 35,56 \text{ мкс}$

Длительность интервалов гашения в строках $T_{Г СТР}$ выбрана равной 9,72 мкс, а интервалы гашения полей чересстрочного разложения взяты равными 23Н для нечетного поля и 22Н для четного поля. Можно подсчитать длительность активной части строки $T_{А СТР}$ и количество активных строк в двух полях и в кадре:

$$T_{А СТР} = 35,56 \text{ мкс} - 9,72 \text{ мкс} = 25,84 \text{ мкс}$$

$$Z_{АК} = 1125 - 45 = 1080 \quad Z_{АП} = 540$$

2.4. Компонентные видеосигналы.

В АЦП телекамеры из трех аналоговых RGB видеосигналов формируют три цифровых RGB видеосигнала, затем их подвергают всем необходимым видам коррекции. Скорректированные видеосигналы на выходе телекамеры преобразуют в специальные компонентные видеосигналы, предназначенные для передачи по цифровым линиям связи. Компонентные цифровые видеосигналы в ЦАП телевизора декодируют до аналоговых компонентных видеосигналов, т. е. получают: яркостный сигнал E_Y и два цветоразностных сигнала E_{R-Y} и E_{B-Y} . Такие же компонентные аналоговые сигналы передают в канале связи аналогового ТВ, но их объединяют в композитный сигнал цветного ТВ в аналоговых кодерах разных систем вещания (NTSC, PAL, SECAM).

Яркостный и цветоразностные сигналы получают линейной комбинацией сигналов основных цветов. В системе SDTV эти уравнения имеют вид:

$$E_Y = 0,3 E_R + 0,59 E_G + 0,11 E_B \quad E_{Y\text{ вч}} = E_{Y/\text{нч}} + E_{Y\text{ вч}}$$

$$E_{R-Y} = E_R - E_{Y/\text{нч}} \quad ; \quad E_{B-Y} = E_B - E_{Y/\text{нч}}$$

Здесь введены обозначения:

$E_R/$, $E_G/$, $E_B/$ – сигналы основных цветов, сформированные в ограниченной полосе частот ($0 \dots f_{\text{ВЦ}} = 2,7 \text{ МГц}$) и полностью скорректированные в том числе и в гамма – корректоре.

$E_Y \text{ вч}$ – высокочастотная составляющая, взятая из какого-либо одного видеосигнала (R, G или B канала) и дополненная апертурно - корректирующими добавками, сформированными из того же видеосигнала.

Принято нормировать сигналы основных цветов так, чтобы обеспечивать их равенство друг другу на неокрашенных объектах (баланс видеосигналов) :

$$E_R/ = E_G/ = E_B/, \text{ тогда } E_{R-Y}/ = 0; E_{B-Y}/ = 0.$$

Коэффициенты 0,3 ; 0,59 ; 0,11 показывают относительную яркость трех стандартизованных цветных люминофоров, когда видеосигналы на трех модуляторах приемной трубки равны, излучения люминофоров равноможны и их смесь создает для человеческого зрения ощущение белого цвета (типа D65). Когда с такими коэффициентами суммируют сигналы основных цветов,

получают сигнал E_Y /, создающий на экране черно – белой трубки яркость цветных деталей наиболее близкую к яркости тех же деталей на экране цветного кинескопа. Так обеспечивают совместимость

цветного и черно – белого ТВ.

В цветном ТВ (аналоговом и цифровом) передача компонентных сигналов E_Y /, E_{R-Y} /, E_{B-Y} / дает определенные преимущества по сравнению с передачей сигналов основных цветов.

Во-первых, полосу частот цветоразностных сигналов ограничивают до значения верхней граничной частоты канала цветности:

$f_{вц} = 1,5 \dots 2,7$ МГц. Ограничение рассчитано на незаметность для зрения потери цветности мелких деталей. Ограниченная полоса частот упрощает передачу цветоразностных сигналов по каналам связи аналоговым и цифровым. Мелкие детали объекта в таком варианте передают сигналом $E_{Yвч}$, входящим в состав яркостного сигнала, и воспроизводят на цветном экране в черно – белом виде. Сигнал $E_{Yвч}$ формируют в апертурном корректоре,

используя один из трех сигналов основных цветов, а именно тот, который содержит наибольшие величины сигналов от мелких деталей и резких границ. Из сигнала выбранного канала выделяют фильтром верхних частот высокие частоты (от 2,7 до 6 МГц), а также формируют сигнал полной апертурной коррекции для подчеркивания горизонтальных и вертикальных границ изменения яркости и цветности изображения. Две составляющие: высокие частоты выбранного канала цветности и апертурно - корректирующая добавка образуют сигнал $E_{Y\text{ вч}}$.

В телевизионном приемнике из двух цветоразностных сигналов получают третий линейным сложением :

$$E_{G-Y/} = -0,51E_{R-Y/} - 0,19E_{B-Y/}$$

Каждый из трех цветоразностных сигналов подают на соответствующий модулятор приемной трубки, а на общий катод поступает сигнал $E_{Y/}$. Например, между катодом и модулятором «красного» канала будет действовать сигнал:

$$E_{Y/нч} + E_{Y\text{ вч}} + E_{R/} - E_{Y/нч} = E_{Y\text{ вч}} + E_{R/}$$

Между катодом и двумя другими модуляторами аналогично будет приложен одинаковый сигнал E_Y вч и сигнал соответствующего основного цвета. Сигнал E_Y вч создает на экране изображение черно-белых мелких деталей и черно – белых контуров. Сигналы E_R /, E_G /, E_B / формируют изображение окрашенных средних и крупных деталей. В тех случаях, когда и сигналы основных цветов равны между собой, крупные и средние детали на экране трубки также становятся черно- белыми.

Следует отметить, что передача цветоразностных сигналов от неокрашенных и слабо окрашенных объектов либо обращает эти сигналы в 0 , либо уменьшает их величину , что сокращает объем передаваемой информации в линиях связи и также является преимуществом (по сравнению с передачей сигналов основных цветов).

В телевидении высокой четкости (HDTV) стандартизованы телевизионные приемники с другой цветностью люминофоров (по сравнению с системой SDTV). В случае создания на экране

белого цвета (типа D65) яркости таких RGB люминофоров соотносятся:

$$0,21:0,72:0,07$$

Линейная комбинация сигналов основных цветов (для получения яркостного сигнала) принимает вид:

$$E_Y/ = 0,21E_R/ + 0,72E_G/ + 0,07E_B/ + E_{Y/ВЧ} = E_{Y/НЧ} + E_{Y/ВЧ}$$

$E_R/$, $E_G/$, $E_B/$ - сигналы основных цветов, сформированные в полосе частот канала цветности системы HDTV ($0 \dots f_{ВЦ} = 15$ МГц) и полностью скорректированные в том числе в гамма-корректоре. $E_{Y/ВЧ}$ — высокочастотная составляющая, взятая из какого-либо одного видеосигнала (R, G или B канала) и дополненная апертурно - корректирующими добавками, сформированными из того же видеосигнала. Верхняя граничная частота f_B яркостного сигнала системы HDTV выбрана равной 30 МГц.

2. 5. Спектр видеосигнала.

Для любого периодического импульсного сигнала существуют методы расчета и построения спектра с помощью преобразования Фурье. Зная частоты повторения, длительности, размахи импуль-

сных составляющих, определяют частоты и амплитуды гармоник (косинусоид), входящих в состав спектра. Видеосигнал всегда содержит периодически повторяющиеся импульсы двух видов: строчные гасящие импульсы и гасящие импульсы полей. Периодичность гасящих импульсов и сходство формы видеосигналов в соседних строках и кадрах определяет сосредоточение энергии спектра вокруг гармоник строчной и кадровой частоты и дискретность спектра.

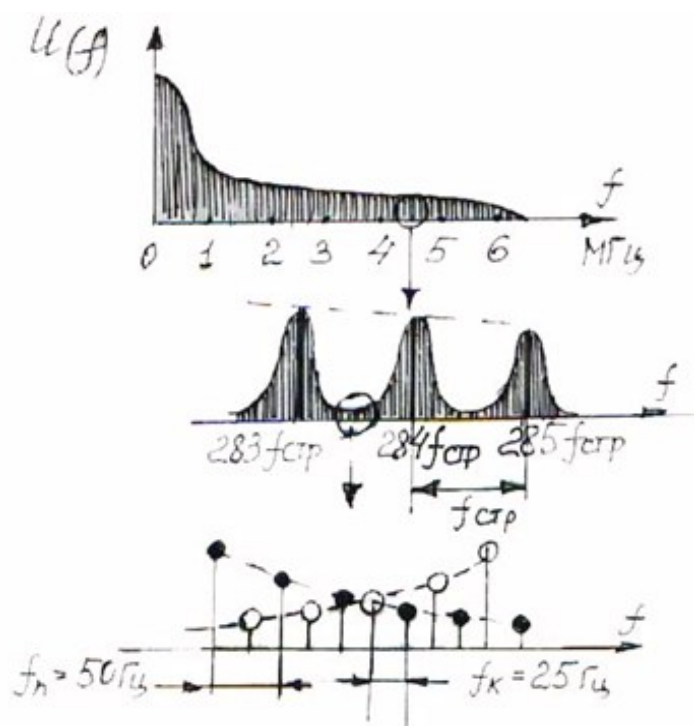


Рис. 2.5

Быстрое движение в кадре нарушает сходство видеосигналов

в строках и кадрах. Тогда в спектре видеосигналов заполняются интервалы между дискретными гармониками, спектр приближается к сплошному. Для большинства случаев спектр дискретен, а его форма одинакова для всех видов аналоговых видеосигналов.

На рис 2.5 показана форма спектра видеосигнала. Энергия спектра спадает по мере повышения частоты гармоник. На гармониках, кратных строчной частоте, сосредоточены максимумы энергии, а минимальное расстояние между двумя гармониками равно частоте кадров. Учитывая равномерность спектра шумов, получаем снижение отношения сигнал \ шум на высоких частотах спектра и на гармониках кратных полустрочной и полукадровой частоте. Чтобы повысить отношение сигнал \ шум в видеосигнале применяют противозумовые гребеньчатые фильтры. Они обладают амплитудно – частотной характеристикой , изменяющейся по косинус – квадратичному закону с минимальным коэффициентом передачи на частотах , кратных полустрочной частоте.

Важная характеристика спектра аналогового видеосигнала – его верхняя граничная частота f_B . Эту частоту можно определить через длительность импульсов $T_{\text{мин}}$, сформированных от самых тонких

вертикальных штрихов, когда их читают вдоль строки изображения: $f_B = 1 / 2T_{\text{мин}}$. Если в качестве тонких штрихов использовать вертикальные телевизионные линии (ТВЛ_{ПО ГОР}), а также учесть длительность прямого хода строки (в ТВ стандарте) и формат кадра, то получим соотношения:

$$\text{ТВЛ}_{\text{ПО ГОР}} = 78 f_B (\text{МГц}) - \text{для SDTV}$$

$$\text{ТВЛ}_{\text{ПО ГОР}} = 29 f_B (\text{МГц}) - \text{для HDTV}$$

Они определяют максимально возможную четкость телевизионного изображения по горизонтали в зависимости от верхней граничной частоты видеосигнала. Например, в том случае, когда верхняя граничная частота сигнала яркости $f_B = 6 \text{ МГц}$, четкость черно – белого изображения по горизонтали не может быть более 468 ТВЛ, а для $f_B = 30 \text{ МГц}$ четкость по горизонтали 870 ТВЛ.

Контрольные вопросы по теме 2

1. Как формируется изображение на экране приемной трубки?
2. Чем отличаются методы построения строчного и чересстрочного растров?
3. Как образуются R, G, B видеосигналы в телекамере?
4. Параметры аналоговых R, G, B видеосигналов на входах АЦП телекамеры.
5. Характеристики компонентных аналоговых видеосигналов - яркостного и двух цветоразностных.
6. Как выбирают значения коэффициентов для формирования яркостного сигнала из трех сигналов основных цветов?
7. Как формируют и передают в ТВ системе сигнал от мелких деталей изображения и сигнал апертурной коррекции?
8. Какие составляющие в спектре видеосигнала обладают максимальной энергией?
9. Как влияют верхние частоты видеосигнала на качество изображения?

Тема 3. ФОРМИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ ИЗ АНАЛОГОВЫХ

3.1. Дискретизация аналоговых видеосигналов по времени

Процесс формирования цифровых сигналов из аналоговых включает в себя три вида преобразований:

- дискретизацию сигнала по времени;
- дискретизацию сигнала по уровню (квантование);
- кодирование, т.е. цифровое представление отобранных уровней.

Дискретизация сигнала по времени позволяет заменить непрерывную передачу всех значений сигнала на передачу отдельных значений (отсчетов), взятых через равные интервалы времени - T_d . T_d - это период дискретизации, а $1/T_d = f_d$ - частота дискретизации.

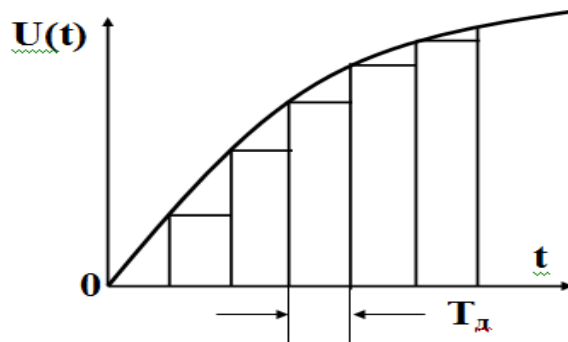


Рис. 3.1

На рис. 3.1 показан фрагмент видеосигнала и его дискретизированная копия. Чем меньше период дискретизации (выше частота дискретизации), тем меньше различие между исходным сигналом и его дискретизированной копией. Ступеньчатую структуру дискретизированного сигнала можно сгладить, пропустив его через фильтр нижних частот (ФНЧ). Именно так восстанавливают аналоговый видеосигнал из дискретизированного в цифро-аналоговых преобразователях (ЦАП). Это восстановление будет достаточно точным, если соблюдается правило, вытекающее из теоремы Котельникова, которая регламентирует форму спектра дискретизированного сигнала.

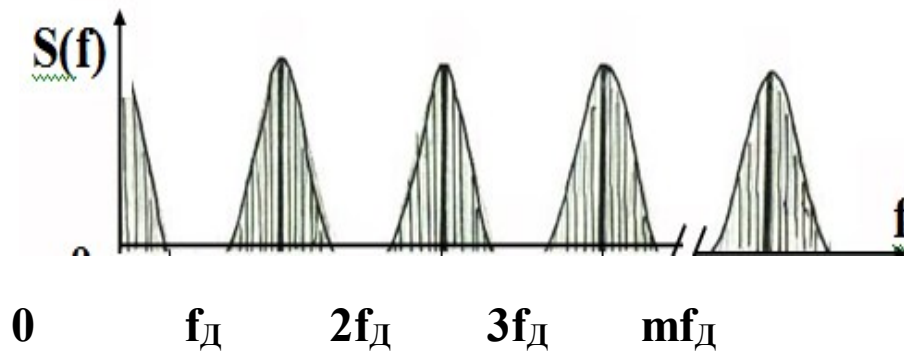


Рис.3.2

Спектр дискретизированного видеосигнала показан на рис. 3.2. Ширина этого спектра теоретически стремится к бесконечности и содержит гармоники частоты f_D , а вокруг каждой гармоники mf_D расположена нижняя и верхняя полосы частот спектра исходного (до дискретизации) видеосигнала шириной f_B . В теореме Котельникова утверждается: спектральные составляющие двух соседних гармоник не переплетаются и не создают неустраняемые искажения только в том случае, когда верхняя граничная частота исходного аналогового видеосигнала (f_B) меньше, чем половина частоты f_D : $f_B < 0,5f_D$. Отсутствие наложений спектральных составляющих в спектре дискретизированного сигнала позволяет получить без искажений исходный видеосигнал с помощью включения ФНЧ с полосой частот фильтрации $0 \dots f_B$.

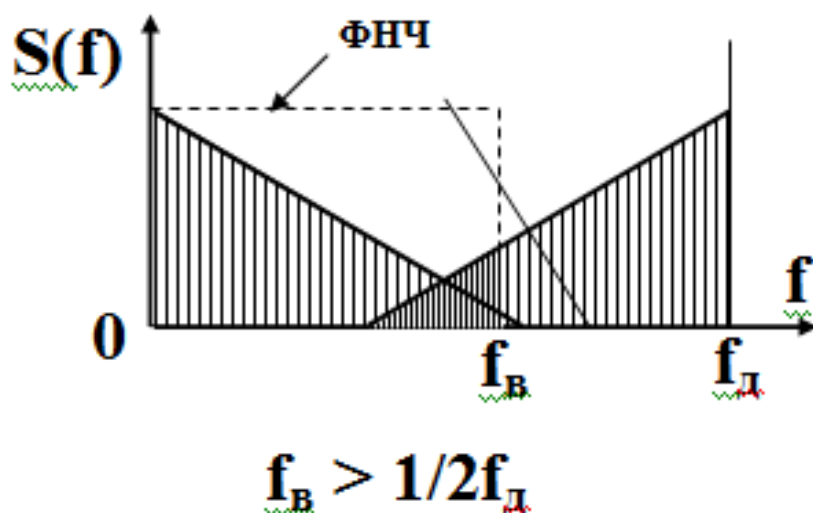


Рис. 3.3

Нарушение теоремы Котельникова показано на рис. 3.3, где $f_{\text{в}} > 0,5f_{\text{д}}$. Неустранимые частотные искажения будут на выходе ФНЧ и при идеальной (прямоугольной) характеристике фильтра и при реальной характеристике с плавным спадом. Спад характеристики фильтра – необходим, в противном случае будет внесена в сигнал большая величина задержки.

Учитывая реальную (со спадом) характеристику ФНЧ, для получения исходного видеосигнала из дискретизированного нужно

выбирать частоту дискретизации f_d более чем в два раза выше верхней граничной частоты спектра видеосигнала f_v .

В стандарте телевидения SDTV для яркостного канала установлены частоты: $f_{vy}=5,75$ МГц - верхняя граничная частота спектра аналогового яркостного сигнала, $f_{dy}=13,5$ МГц - частота дискретизации видеосигнала яркостного канала.

Выбранная частота 13,5 МГц обеспечивает защитный интервал 1 МГц для ФНЧ, выделяющего аналоговый сигнал из дискретного, а также имеет очень важное свойство: она кратна частотам строк ($f_{стр}$) двух основных (в Европе) телевизионных стандартов разложения: 625/50 и 525/60. Частоты строк рассчитывают по формуле:

$$F_{СТР} = Z_K \times F_K$$

Получают существенно разные величины частот для двух стандартов – 15625 Гц и 15750 Гц.

Когда частота дискретизации кратна частоте строк, отсчеты дискретного сигнала располагаются на равном расстоянии вдоль строк и всегда один под другим во всех строках кадра (по линиям,

перпендикулярным строкам). Такая стабильная повторяющаяся во всех кадрах структура отсчетов называется ортогональной и она стандартизована в цифровом телевидении (ТВ). Для обеспечения кратности двум разным частотам найдены два наименьших множителя: 144 и 143.

$$144 \times 15625 = 143 \times 15750 = 2,25 \text{ МГц}$$

Частота 2,25 МГц принята в качестве базовой для всех стандартов цифрового ТВ. Умножением базовой частоты на целое число получают частоту дискретизации. Например, частота дискретизации SDTV получена: $2,25 \times 6 = 13,5 \text{ МГц}$, а частота дискретизации HDTV получена: $2,25 \times 33 = 74,25 \text{ МГц}$.

Частота дискретизации цветоразностных сигналов $f_{д\text{ цв}}$ во всех стандартах цифрового ТВ выбирается в 2 раза ниже частоты дискретизации в канале яркости:

$$6,75 \text{ МГц для SDTV}$$

$$37,125 \text{ МГц для HDTV.}$$

Верхняя граничная частота спектра цветоразностных сигналов - $f_{в\text{ цв}}$ должна, в соответствии с теоремой Котельникова, удовлетворять условию:

$$f_{в\text{ цв}} < 0,5f_{д\text{ цв}}$$

В SDTV принято значение верхней граничной частоты спектра цветоразностных сигналов - 2,75 МГц. Защитный интервал для ФНЧ в этом случае составляет 0,625 МГц. По сравнению с системой аналогового ТВ спектр цветоразностных сигналов расширен на 1,25 МГц, что позволяет в два раза повысить четкость изображения в цвете (по горизонтали) и улучшает работу схемы электронной рип-проекции.

Следует отметить, что структура отсчетов для цветоразностных сигналов ортогональна так же, как для яркостных сигналов.

В телевидении высокой четкости установлены верхние граничные частоты яркостного и цветоразностного каналов также с учетом частот дискретизации и величины защитных интервалов для ФНЧ, которые должны выделять аналоговые сигналы из дискретных в широкой полосе частот:

$$f_{B\gamma} = 30 \text{ МГц}; f_{B\text{ЦВ}} = 15 \text{ МГц}.$$

3.2. Дискретизация отсчетов по уровню

Динамический диапазон, внутри которого уровни сигнала принимают любые произвольные значения от минимальных до максимальных, разделяют на определенное (большое) число разрешенных уровней. Отсчеты сигнала, не совпадающие с выбранными значениями, «округляют» (квантуют) до ближайшего разрешенного уровня. Уровни нумеруют по порядку, каждый уровень имеет свой номер.

Чем больше брать число разрешенных уровней, тем меньше будет интервал между соседними уровнями, т.е. меньше шаг и порог квантования (см. рис. 3.4, рис. 3.5). Ошибки квантования, шум квантования тем незаметнее, чем меньше порог квантования. Таким образом, качество восстановленного на приеме сигнала

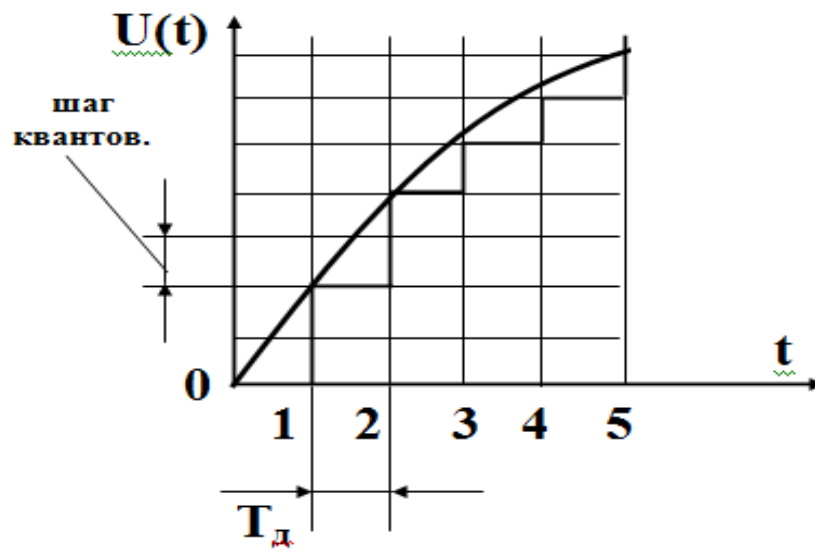


Рис. 3.4

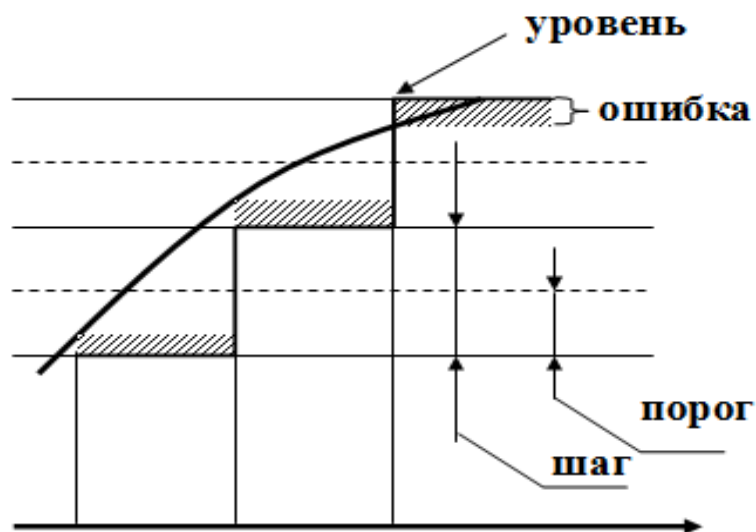


Рис. 3.5

будет расти по мере роста числа разрешенных уровней квантования.

Если интервалы между уровнями квантования постоянны, такое квантование называют равномерным или линейным. Но возможно и неравномерное, нелинейное квантование. В цифровом ТВ аналого-цифровое преобразование - всегда линейно, но в телевизионных цифровых кодерах сжатия применяется и нелинейное квантование.

Было экспериментально найдено: для передачи изображения с хорошим качеством необходимо не менее 256 дискретных уровней квантования. При таком количестве уровней переменная ошибка квантования не заметна из-за конечной контрастной чувствительности глаза. Однако в этом случае наблюдатели часто отмечают появление ложных контуров на участках изображения с плавно меняющейся яркостью, где особенно заметны ошибки квантования. Лучшие результаты дает увеличение числа дискретных уровней до 1024, когда шум квантования уменьшается в 4 раза (на 12 дБ).

3.3. Кодирование

В цифровом ТВ для передачи информации о численном значении уровня в каждый момент дискретизации сигнала эту информацию кодируют. Процесс кодирования начинается с преобразования номера уровня из десятичной системы счисления в

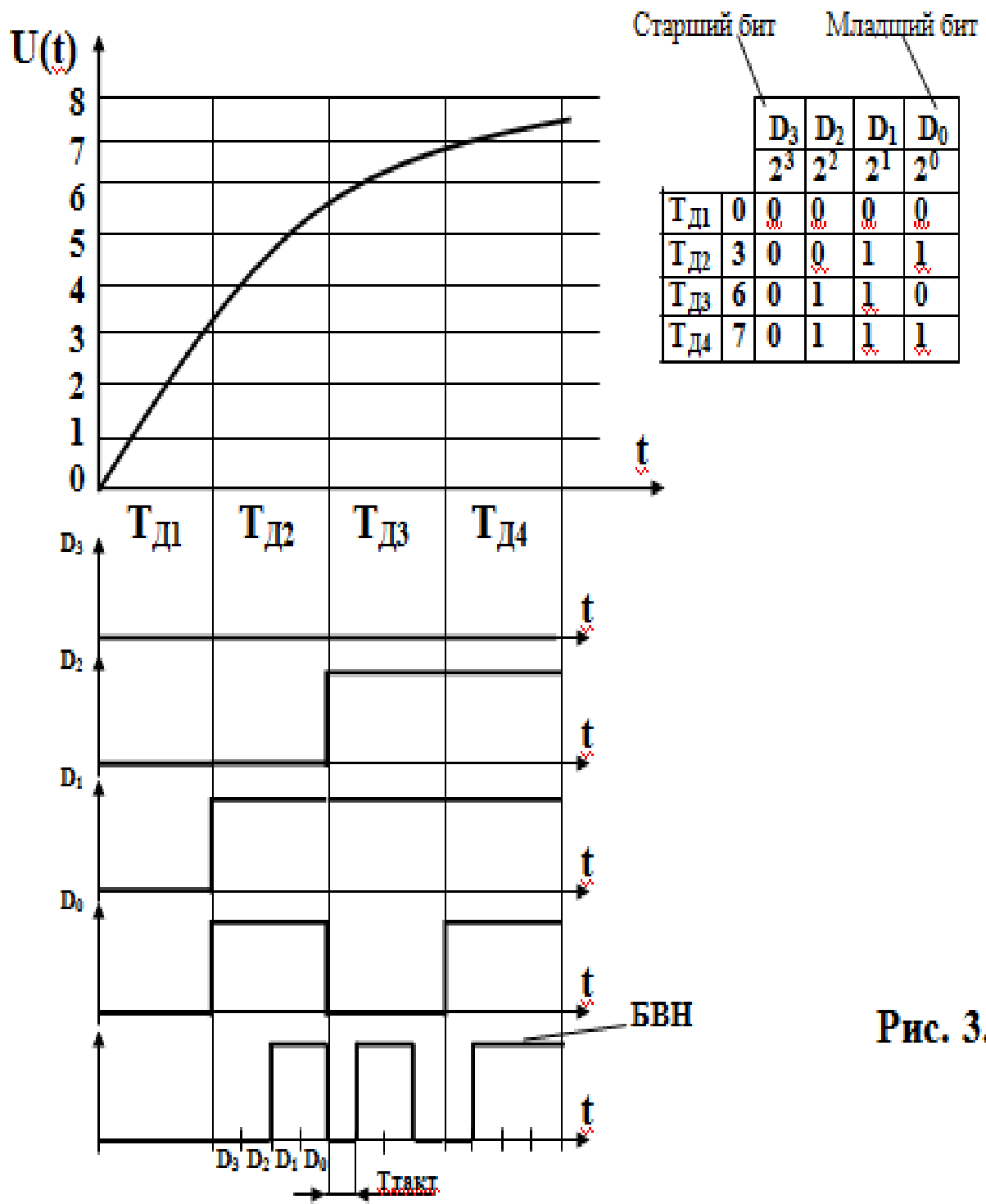


Рис. 3.6

двоичную. Двоичная система более выгодна, экономична для физической реализации процесса передачи и была принята в цифровой технике, где двум числам двоичной системы сопоставлено:

«0» - отсутствие импульса в течение известного интервала времени;

«1» - появление импульса определенного размаха в течение того же интервала времени.

В десятичной и двоичной системах счисления есть понятие «разряд». Например, в десятичной системе единицы - это младший разряд, десятки - первый, сотни - второй и т. д. Для записи любого числа N в двоичной системе понадобится n - разрядов: $N = 2^n$. Это соотношение показывает, что для записи нумерации 256 уровней требуется восемь разрядов двоичной системы счисления, а для записи нумерации 1024 уровней - нужно десять разрядов. Передача отсчетов от 0 до 255 происходит с помощью комбинации из восьми сочетаний нулей и единиц, а передача отсчетов от 0 до 1023 производится с помощью комбинации из десяти сочетаний нулей и единиц. Каждая такая комбинация, указывающая

номер уровня для данного интервала дискретизации видеосигнала, называется восьмиразрядной (десятиразрядной) посылкой или кодовым словом.

На рис. 3.6 показана процедура перехода от десятичных значений уровней - к двоичным. В двоичном четырехразрядном коде каждый уровень записан в виде комбинации из четырех нулей и единиц. Такую математическую запись можно преобразовать в цифровой сигнал двух видов (рис. 3.6):

- параллельный цифровой сигнал;
- последовательный цифровой сигнал.

Параллельная форма цифрового сигнала требует использования числа линий связи, равного числу разрядов (на рис. 3.6 показаны четыре линии связи для разрядов D0, D1, D2, D3). Последовательная форма цифрового сигнала может быть передана по одной линии связи, но частота передаваемых импульсов повышается в число разрядов раз. Формируя последовательный цифровой сигнал, интервал дискретизации T_d делят на число разрядов n и получают тактовый период T_t и тактовую частоту f_t :

$$T_T = T_D/n \qquad f_T = 1/T_T = n f_D$$

Параллельная и последовательная форма цифрового сигнала в любом случае является последовательностью кодовых слов (восьмиразрядных или десятиразрядных), формируемых в каждом интервале дискретизации.

В цифровом телевидении для формирования сигналов, образующих кодовые слова, принят код «Без возвращения к нулю» - БВН или «Not return to zero» - NRZ - см. рис. 3.6.

В соответствии с международно принятыми рекомендациями (ITU - R601) для упрощения совместимости различных систем цветного ТВ нужно производить отдельную дискретизацию, квантование и кодирование трехкомпонентных видеосигналов: E_Y' , E_{R-Y}' , E_{B-Y}' . Кодированию подлежат гамма - скорректированные сигналы. Цифровые компонентные сигналы обозначаются: Y , C_R , C_B .

Частота дискретизации яркостного сигнала (13,5 МГц) в два раза выше частоты дискретизации цветоразностных сигналов (6,75 МГц). В иерархии цифровых стандартов SDTV в качестве

минимальной частоты дискретизации принята частота 3,375 МГц и по сравнению с ней частоты дискретизации яркостного и двух цветоразностных сигналов соответственно в четыре и в два раза выше, т.е. находятся в соотношении: 4:2:2. Соотношение частот дискретизации трех сигналов называют «формат дискретизации». Формат дискретизации 4:2:2 принят в качестве базового для оценки других вариантов дискретизации компонентных сигналов.

В качестве характеристики цифровых сигналов используют параметр «скорость цифрового потока» - V . Величина параметра V указывает количество импульсов, передаваемых в единицу времени, и определяется соотношением: $V = n f_{\text{д}} \text{ бит/сек}$. Здесь n - разрядность кодирования. Определим общую скорость $V_{\text{общ}}$ для всех трех составляющих компонентного цифрового сигнала:

$$V_{\text{общ}} = n f_{\text{дY}} + 2n f_{\text{дЦВ}}.$$

В телевидении обычной четкости кодирование дает:

$$V_{\text{общ}} = 216 \text{ Мбит/с (восьмиразрядное кодирование)}$$

$$V_{\text{общ}} = 270 \text{ Мбит/с (десятиразрядное кодирование)}.$$

В стандарте HDTV используется десятиразрядное кодирование и чересстрочное разложение создает скорость цифрового потока 1485 Мбит\с. Построчное разложение в стандарте HDTV (с тем же числом строк и полей) требует двукратного расширения полосы частот видеосигналов и частот их дискретизации. В результате скорость цифрового потока возрастает до 2970МГбит\с.

3.4. Параметры дискретизации и квантования для базового цифрового формата 4:2:2 .

На рис. 3.7 показана аналоговая форма видеосигнала SDTV. В течение длительности строки укладывается 864 отсчета яркостного сигнала (через интервал дискретизации $T_d = 74$ нс). К активной части цифровой строки отнесено 720 отсчетов, но только 702 взяты в активной части аналоговой строки, а 10 отсчетов слева и 8 отсчетов справа берут из двух соседних интервалов гашения аналоговой строки. Расширение активной части цифровой строки обеспечивает защитные интервалы, которые предотвращают проникновение нежелательных цифровых краевых эффектов в видимую зрителем часть строки изображения. В течение передачи

сигнала по всему цифровому тракту эти отсчеты передаются как сигналы прямого хода строки, но они подлежат гашению в процессе цифро-аналогового преобразования.

Расположение временных интервалов цифрового сигнала определяется тем, что генератор импульсов дискретизации синхронизируется фронтами строчных синхроимпульсов аналогового сигнала. Фронт импульса T_d совпадает с фронтом строчного синхроимпульса (точка $0h$ на рис. 3.7), и все точки цифровых отсчетов определяются по целому числу интервалов T_d от точки $0h$.

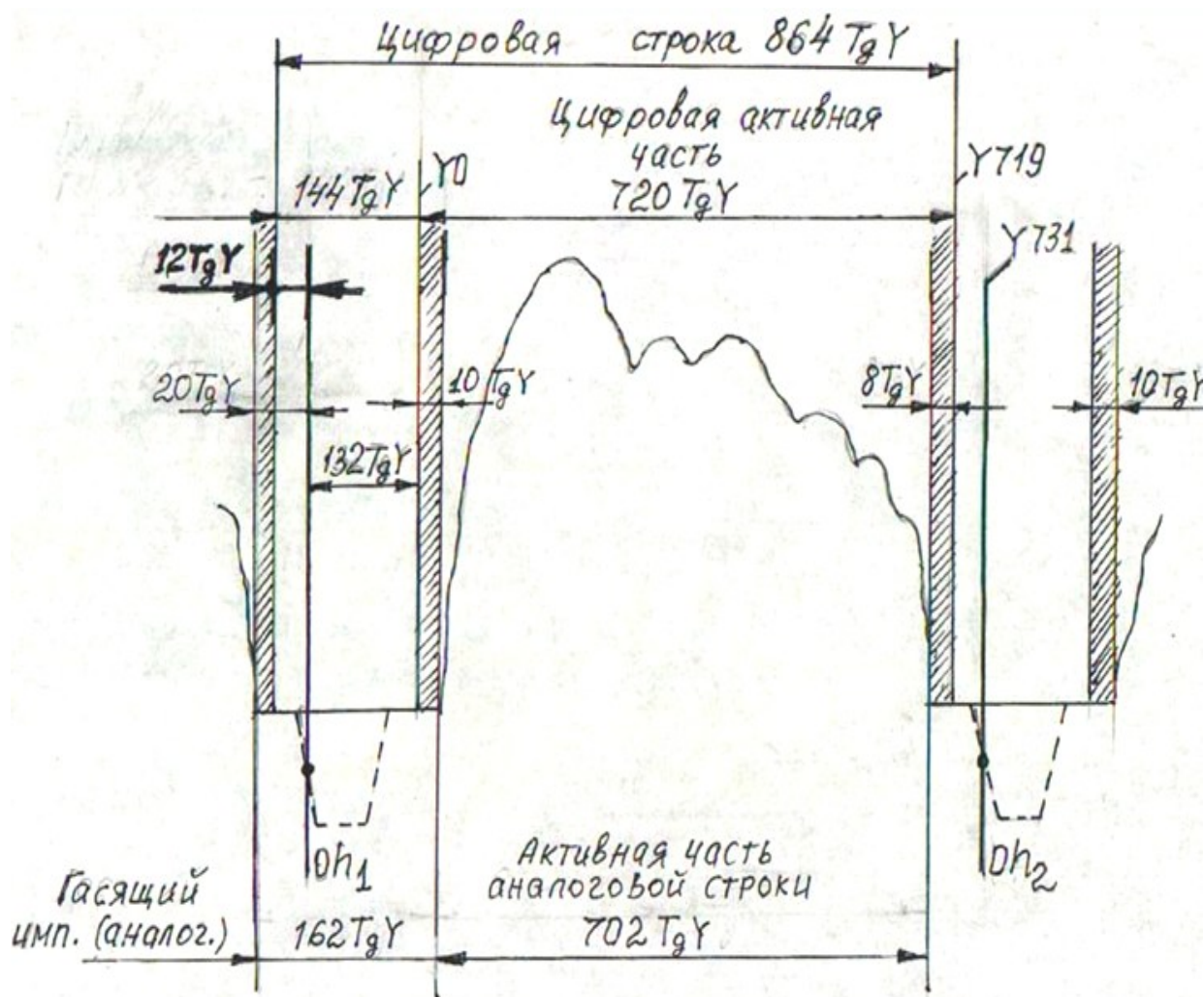


Рис. 3.7

Положение точки $0h$ стандартизовано относительно фронта строчного гасящего аналогового импульса: фронт синхроимпульса задержан на $1.5 \mu\text{с}$ или отстоит на 20 интервалов $T_{дУ}$. Также стандартизована длительность строчного гасящего импульса $T_{г\text{ стр}} = 12 \text{ мкс} = 162 T_{дУ}$. Отсюда можно подсчитать, сколько интервалов дискретизации отделяют точку $0h$ от начала активной

части цифровой строки ($132T_{дY}$) и от конца предыдущей цифровой строки ($12T_{дY}$) - см. рис. 3.7.

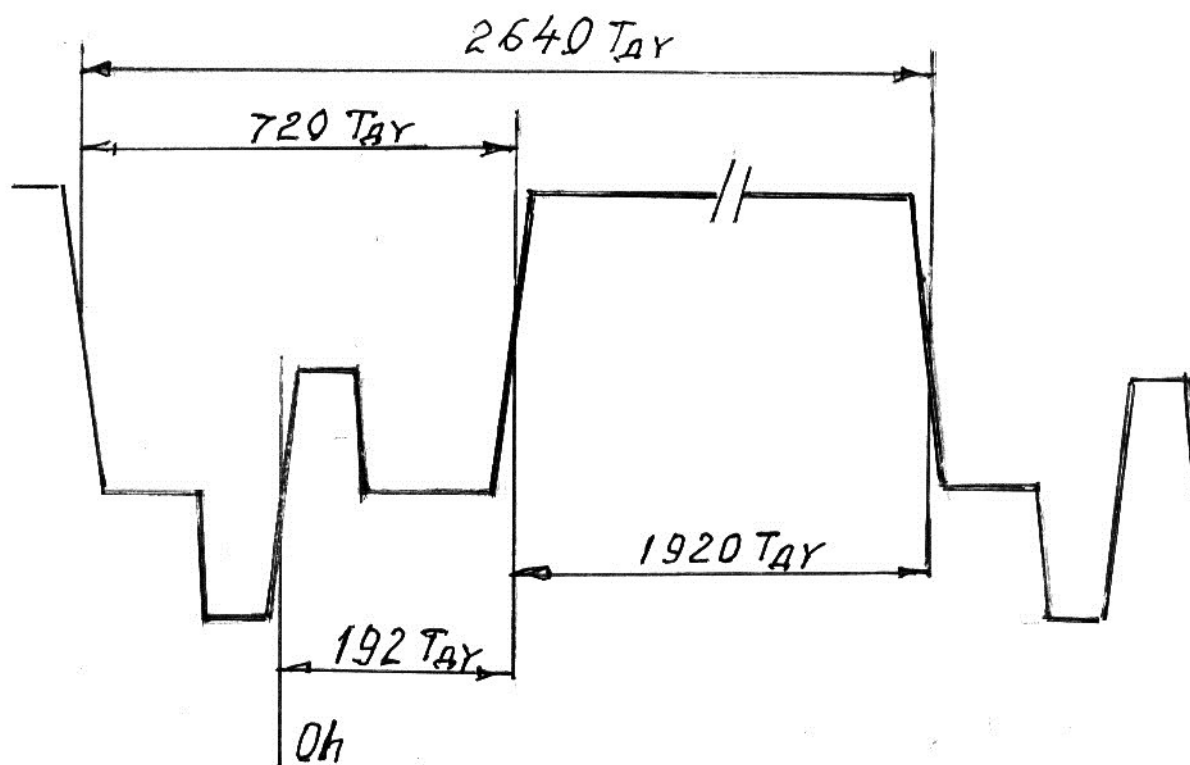


Рис. 3.8

Вид аналогового видеосигнала стандарта HDTV представлен на рис. 3.8. В отличие от стандарта SDTV аналоговый строчный синхросигнал здесь сформирован в виде двуполярного импульса. Точка перехода синхроимпульса через нулевой уровень обозначена «0h». Фронт импульса дискретизации совпадает с точкой 0h и расположение всех точек цифровых отсчетов определяется по целому числу интервалов $T_{дY} = 13,5$ нс от точки 0h. В течение дли-

тельности строки укладывается 2640 отсчетов (стандарт разложения $1125 \setminus 50$) или 2200 отсчетов (стандарт разложения $1125 \setminus 60$). Но в том и другом случае к активной части строки отнесено 1920 отсчетов, а начало активной части строки задержано относительно точки $0h$ на $192 T_{дУ}$.

По вертикали ТВ изображения цифровая активная часть кадра в стандарте SDTV на одну строку больше аналоговой активной части кадра: каждое цифровое поле содержит целое и одинаковое число строк - 288, в отличие от аналогового растра, где каждое поле сформировано из 287,5 строк. Половину строки (23) добавляют в начале нечетного цифрового поля и половину строки (623) в конце четного поля. В результате оба цифровых поля содержат целое число строк (288), а интервал гашения после четного поля сокращается на одну строку и содержит $24T_{стр}$ ($T_{стр} = H = 64$ мкс - длительность строки).

Растр изображения стандарта HDTV содержит 1080 строк, по 540 строк в каждом поле. Интервалы гашения по полям состав-

ляют 23 строки и 22 строки для первого и второго полей соответственно (здесь $T_{СТР} = 35,56$ мкс в стандарте разложения 1125\50).

На рис. 3.9 показаны шкалы 8-битового и 10 -битового квантования яркостного и цветоразностных сигналов цветных полос. Шкалы квантования получены в результате компромисса между относительным уровнем ошибок квантования (шумом квантования) и величиной запаса по динамическому диапазону величин сигналов.

Строго говоря, ошибки квантования не являются случайными и к ним не применимы методы статистического анализа. Но среднеквадратичное значение уровня шума квантования составляет около 35% от величины шага квантования. Отсюда вычисляют: 8-битовое кодирование 100% (по размаху) сигнала посредством 220 шагов квантования дает значение отношения сигнал\шум около 56.8 дБ. Однако реальный мешающий эффект ошибок квантования намного больше из-за повышенной заметности ложных контуров, возникающих на плавных переходах яркости изображения.

Сигнал яркости, изменяющийся в диапазоне 0...700 мВ, квантуется уровнями 16...235, т.е. занимает 220 уровней шкалы. Установлен запас: выше номинального уровня «белого» (235) можно использовать 19 уровней (8.6% размаха номинального сигнала или 61 мВ) и ниже номинального уровня «черного» (16) используют 14 уровней (6.3% размаха номинального сигнала или 48 мВ). Указанный запас достаточен для передачи точно отрегулированных студийных сигналов, однако во внестудийных условиях нужно обеспечивать защитное ограничение уровней аналогового сигнала перед подачей его на АЦП.

Динамический диапазон аналоговых цветоразностных сигналов (от -350 мВ до +350 мВ), принятый за «1», квантуют уровнями от 16-го до 240-го, т.е. число используемых отсчетов шкалы - 225.

Запас в каналах цветоразностных цифровых сигналов составляет 14 уровней и в сторону увеличения положительных значений аналоговых сигналов, и в сторону увеличения отрицательных значений, а это соответствует увеличению квантуемых сигналов

на 6.3% (44 мВ). Важно отметить, что нулевой уровень аналогового двухполярного цветоразностного сигнала (уровень «черного») при

8-ми разрядной дискретизации кодируют уровнем 128 (в отличие от уровня «черного» яркостного сигнала, принятого равным 16). Но в шкале восьмибитового кодирования и яркостного и цветоразност-

ного сигналов уровни «0» и «255» зарезервированы для передачи сигнала синхронизации.

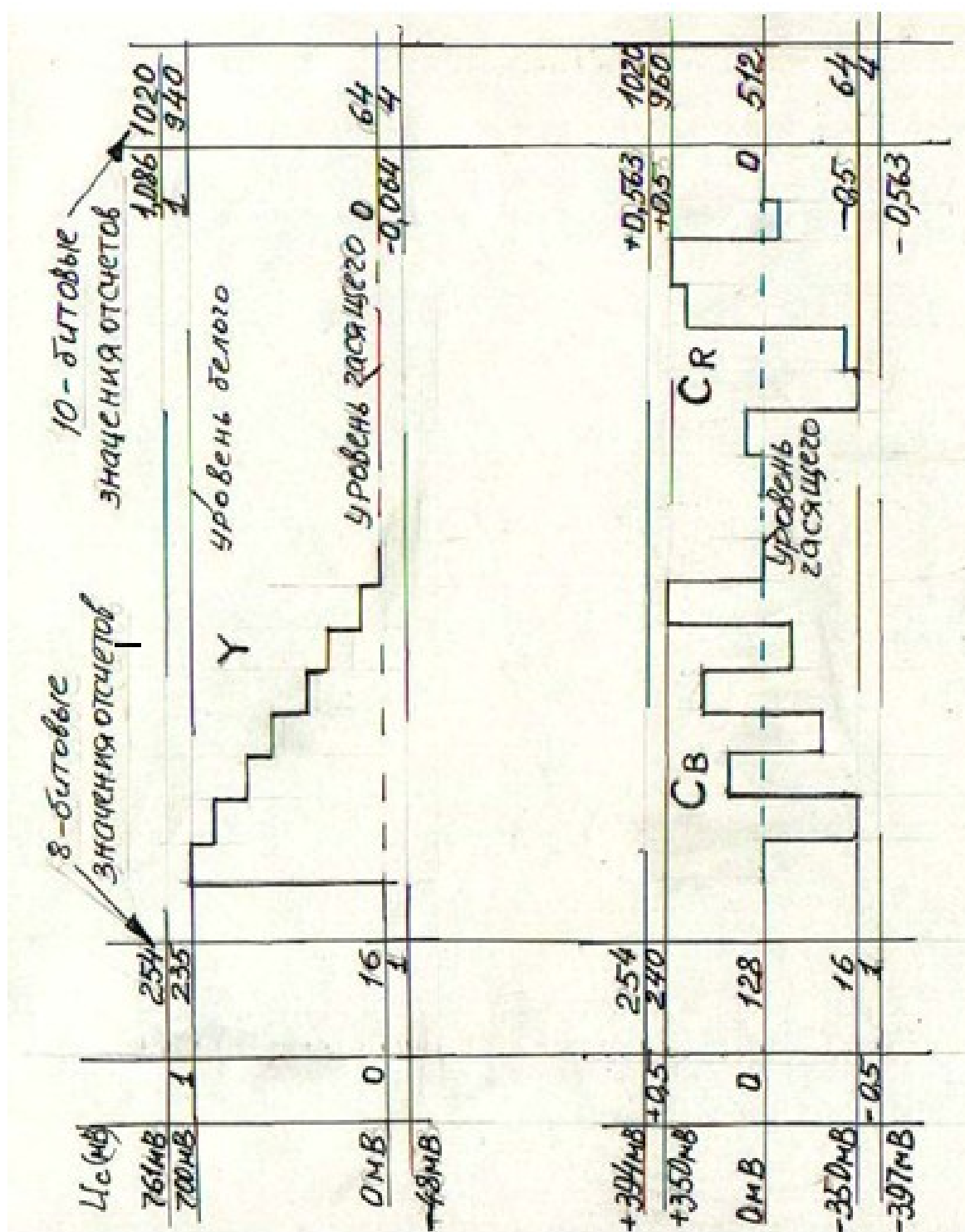


Рис. 3.9

10-битовое квантование видеосигналов существенно снижает (в 4 раза или на 12 дБ) заметность ошибок квантования, но не

влияет на относительную величину запаса по динамическому диапазону. В 10-битовых кодах уровни 0...3 и 1020... 1023 резервируют для передачи цифровых синхросигналов. Единичный яркостный сигнал (от 0 до 700 мВ) занимает 877 уровней квантования, начиная от уровня 64 (уровень «черного») и до уровня 940 (уровень «белого»). 80 уровней квантования, расположенные выше уровня «белого», и 60 уровней квантования, расположенные ниже уровня «черного», дают тот же (в %) запас для квантования выбросов аналоговых видеосигналов, что и в случае 8-битного кодирования.

Номинальный динамический диапазон аналоговых цветоразностных видеосигналов (от -350 мВ до $+350$ мВ) квантуют уровнями от 64 до 960 (диапазон 897 уровней). Нулевое значение аналогового видеосигнала в этом случае (уровень «черного») кодируют уровнем 512. Запас квантованных уровней для отрицательных и положительных максимальных значений аналоговых видеосигналов составляет по 60 уровней (см. рис. 3.9).

3.5. Форматы дискретизации компонентных видеосигналов

Принцип расположения отсчетов в активной части кадра базового формата дискретизации трехкомпонентных видеосигналов (4:2:2) изображен на рис. 3.10. Там же показаны два других формата с уменьшенным (на 25%) цифровым потоком - это форматы 4:2:0 и 4:1:1. Формат 4:2:0 предлагает изображение, в котором яркостная компонента Y содержит столько же отсчетов в кадре (720x576 или 1920x1080), как и в формате 4:2:2, а отсчеты компонентов C_B и C_R не взяты во всех четных строках кадра. Уменьшение числа «цветных» строк в два раза снижает четкость по вертикали цветного изображения в этом формате (по сравнению с базовым форматом).

Однако частота дискретизации цветоразностных сигналов, верхняя граничная частота канала цветности и цветовая четкость по горизонтали сохранены в изображении формата 4:2:0 те же, что и в изображении базового формата.

В формате 4:1:1 используется двукратное уменьшение частоты дискретизации для цветоразностных сигналов (в сравнении с

форматом 4:2:2). В стандарте SDTV берут частоту дискретизации цветоразностных сигналов 3,375 МГц, а это приводит к ограничению верхней граничной частоты канала цветности (до величины 1,35 МГц) и снижает цветовую четкость по горизонтали в два раза (по сравнению с базовым форматом). Но число «цветных» строк в формате 4:1:1 то же, что и в формате 4:2:2, поэтому четкость цветного изображения по вертикали - совпадает для форматов 4:2:2 и 4:1:1.

Цифровые сигналы форматов 4:2:0 и 4:1:1 можно получить из сигналов формата 4:2:2 путем предварительной обработки и децимации (прореживания отсчетов). В результате скорость передачи данных снижается и составляет 162 Мбит/с для 8-разрядного кодирования и 202 Мбит/с для 10 - разрядного кодирования (в стандарте SDTV). Формат 4:1:1 удобнее для систем со стандартом разложения 525\60, где меньше число строк в кадре и не желательно дополнительно уменьшать четкость по вертикали. Формат 4:2:0 применяют для систем со стандартом разложения 625\50 и

1125\50, в которых достаточно большое число строк в кадре и допустимо снижение четкости по вертикали.

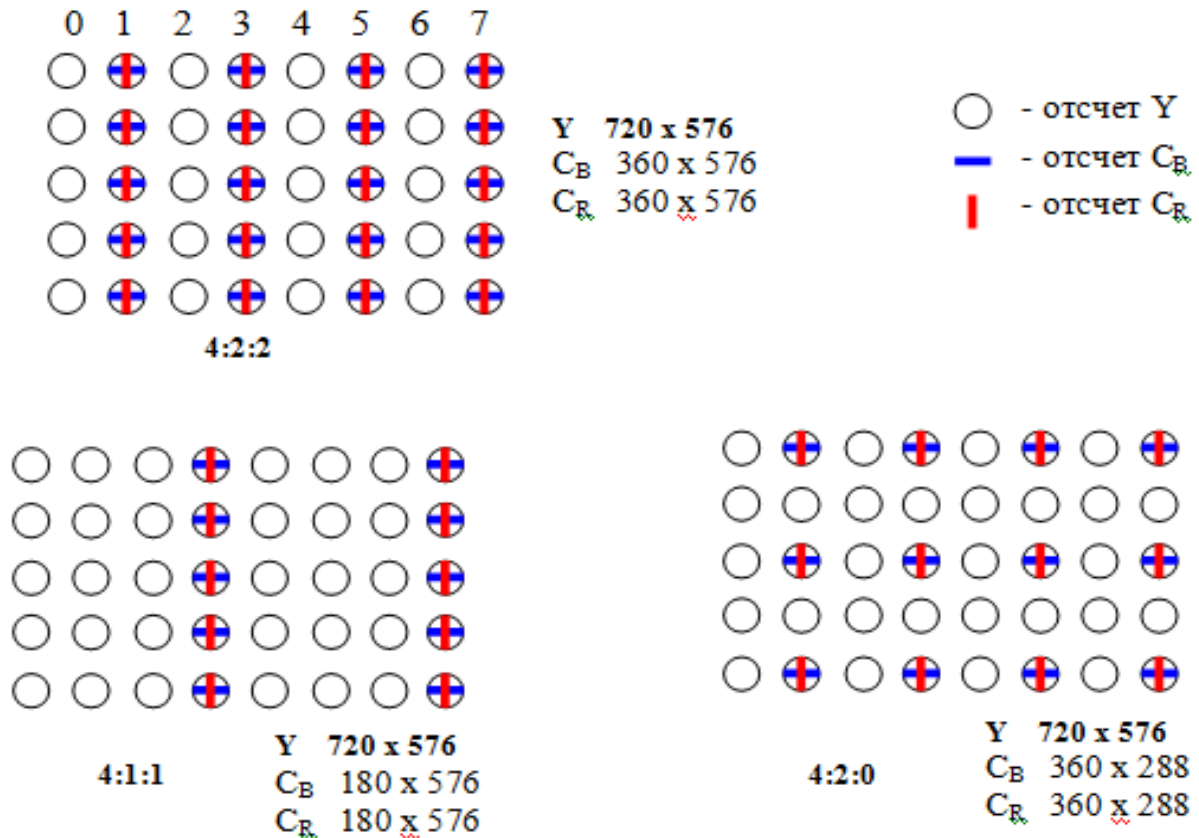


Рис. 3.10

Значительное сокращение скорости цифрового потока достигают путем понижения детальности изображения в 2 раза по горизонтали и в 2 раза по вертикали (по сравнению с форматом 4:2:2). Такой формат назван Common Interchange Format (CIF), он применяется для записи на CD-ROM. Формируя цифровой сигнал формата CIF, дискретизируют сигналы одного поля изображения -

это половина строк (288). На каждой строке берут 352 отсчета сигнала яркостного канала и по 176 отсчетов для цветоразностных компонентов. Величина цифрового потока в этом случае сокращается до 30 Мбит\с (для 8-разрядного кодирования).

В документы «Рекомендации ITU - R601» для стандарта SDTV добавлен новый раздел, описывающий системы, воспроизводящие широкоформатные кадры изображения (с отношением сторон 16:9). В этих системах также стандартизован ортогональный формат 4:2:2, но частота дискретизации в канале яркости повышена до 18 МГц. Компонентный сигнал такого изображения дает скорость цифрового потока 360 Мбит\с (10-разрядное кодирование).

Форматы кодирования 4:2:2 и 4:2:0 используются для получения цифровых сигналов телевидения высокой четкости обычного (4\3) и широкого (16\9) форматов. Изображения в этих системах содержат в два раза больше активных строк (1125 или 1152), а число отсчетов в активной части каждой строки увеличено в два раза: в обычном формате до 1440 и в широком формате до 1920.

Соответственно скорость цифровых потоков при 10-битном кодировании составляет 1080 Мбит\с (обычный формат) и 1485Мбит\с (широкий формат).

Компонентные сигналы $Y C_R C_B$ могут дискретизировать в другом ортогональном формате: 4:4:4 13,5МГц. Здесь предполагается использование частоты дискретизации 13,5 МГц для каждой из трех компонент, а все три компоненты - широкополосные и дают высокую четкость по горизонтали в черно-белых и цветных деталях. Иногда в этом формате в качестве трех компонентов берут сигналы основных цветов RGB. Но в том и другом случае формат 4:4:4 дает высокую скорость цифрового потока: 324Мбит\с для 8-битового кодирования и 405МГбит\с для 10-битового кодирования (система SDTV).

Максимальная скорость цифрового потока (в системе SDTV) создается в ортогональном формате 4:4:4:4, где три сигнала могут иметь вид $Y C_R C_B$ или RGB, а четвертый (альфа-канал) несет информацию об обработке сигнала, например, о прозрачности изображения переднего плана при наложении нескольких изображе-

ний (в процессе создания спецэффектов в линейно - микшерном тракте). Кроме того, четвертым сигналом может быть яркостный сигнал Y в дополнение к трем сигналам основных цветов. Скорость цифрового потока в формате 4:4:4:4 достигает значений 442Мбит\с или 540 Мбит\с.

Контрольные вопросы по теме 3

1. Чем отличаются спектры аналогового сигнала и его дискретизированной копии?
2. Как изменится изображение, если нарушены правила, вытекающие из теоремы Котельникова?
3. Как выбирают в телевидении частоты дискретизации аналоговых компонентных видеосигналов?
4. Как влияет выбор шага квантования видеосигналов по уровню на качество получаемого изображения?
5. Как формируют параллельный и последовательный цифровые сигналы?
6. Тип кода, число линий связи, частоты, необходимые для передачи параллельных и последовательных кодовых слов.

7. Как вычислить скорость цифрового потока для компонентных сигналов?
8. Почему длительность активной части цифровой строки в стандарте SDTV отличается от длительности активной части аналоговой строки?
9. Как в цифровом сигнале обеспечивают целое число строк в активной части полей чересстрочного раstra?
10. Какие уровни при 8-битовом и 10-битовом квантовании зарезервированы для передачи синхросигналов?
11. Какие уровни при 8-битовом и 10-битовом квантовании предназначены для передачи уровня черного?
12. В чем отличие и сходство форматов дискретизации 4:2:0 и 4:1:1 ?

Тема 4. СТЫКИ ЦИФРОВЫХ КОМПОНЕНТНЫХ СИГНАЛОВ

4.1. Параметры параллельных и последовательных стыков

По мере того, как в телевизионной аппаратуре процессы обработки сигналов стали переводиться в цифровую форму, встала проблема минимизации числа аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразований. Необходимого результата удалось добиться путем введения общего стандарта на стыки между отдельными ТВ устройствами. Понятие «видеостык» или «стык» описывает соединение, в котором задают: число, тип, назначение соединительных цепей и передаваемых по ним сигналов. Стандарт видеостыка получил наименование: «Стыки цифровых компонентных видеосигналов для 525-строчных и 625-строчных систем, действующих на уровне 4:2:2 Рекомендации ITU BT. 601 (часть А)». В этом документе речь идет только о передаче с выхо-

да одного устройства на вход другого определенного формата сигналов (4:2:2).

Стандарт определяет параметры параллельного и последовательного видеостыков, указывая:

- параметры форматирования (мультиплексирования) сигналов, т.е. правила объединения в определенном порядке цифровых данных изображения, синхронизации, дополнительных;
- параметры электрического интерфейса, а именно конкретные параметры электрических сигналов (частота следования и форма импульсов видеоданных, тактовых импульсов, их временные соотношения);
- параметры физического соединения, т.е. виды разъемов, соединительных кабелей, проводов, распределение сигналов в разъемах. Цифровой параллельный видеостык или Parallel Digital (Video) Interface - PDI - это формат видеостыка, в котором цифровой видеосигнал передается в виде отдельных битов по нескольким параллельным линиям так, что по каждой паре проводов передается одновременно по одному биту. Обычно 8-битовые или

10-битовые видеоданные передают через 25- контактный разъем типа D

Стык PDI широко применялся на ранних стадиях внедрения цифровой видеотехники. Его достоинство - низкая скорость передачи сигналов по каждому физическому соединению, что облегчает техническую реализацию. Но громоздкое соединение и малая дальность передачи ограничивают возможность применения. Практически параллельный видеостык в настоящее время используют только для межплатных соединений внутри отдельных устройств. Следует отметить, что внутри блоков обработки цифровых видеосигналов эти сигналы существуют только в параллельной форме. Оборудование, за исключением коммутаторов и усилителей распределителей, не поддерживает сигналы в последовательной форме.

Цифровой последовательный видеостык или Serial Digital (Video) Interface - SDI - это формат видеостыка, в котором 10-битные видеоданные передаются последовательно по битам через разъем типа BNC или через волоконно-оптический разъем. В ви-

деостыке SDI системы SDTV поддерживаются четыре уровня, отличающиеся скоростью передачи данных:

уровень **A** - предназначен для композитных сигналов систем цветного ТВ NTSC, PAL-M, скорость передачи их данных 143 Мбит\с;

уровень **B** — используют для композитного сигнала системы цветного ТВ PAL со скоростью передачи данных 177 Мбит\с;

уровень **C** — предназначен для компонентных 10-разрядных сигналов формата 4:2:2 13.5 МГц со скоростью передачи данных 270Мбит\с; уровень **D** — используют для компонентных 10-разрядных сигналов формата 4:2:2 18 МГц со скоростью передачи данных 360Мбит\с.

Последовательный видеостык C получил наибольшее распространение, для него применяют несколько разных обозначений: SDI, Bit Serial Format, CSDV, Serial Digital Video, SIF, D1\D2. В русской документации принято обозначение: ЦВС - Цифровой (Компонентный) Видео Сигнал.

4.2. Мультиплексирование цифровых видеосигналов

Прежде чем цифровые компонентные сигналы будут поданы на параллельный или последовательный видеостык, их объединяют по определенному методу, называя такую процедуру «мультиплексированием». Мультиплексированные данные для трех видов сигналов (видеоданных, синхросигналов, дополнительных) формируют из цифровых сигналов Y , C_B , C_R , имеющих кратные скорости передачи. Объединение происходит с помощью четырехходового переключателя, управляемого тактовыми импульсами. Длительность периода тактовых импульсов - T - выбирают равной половине интервала дискретизации сигналов в канале Y . В системе SDTV $T = 0.5T_{ду} = 37$ нс. Переключатель, имеющий на своих четырех входах сигналы C_B , Y , C_R , Y , последовательно коммутирует на выходы эти сигналы с тактовой частотой f_T :

$$f_T = 1/T = 27 \text{ МГц}$$

Первым на выходы переключателя поступает сигнал C_B , вторым - сигнал Y , за ним - сигнал C_R и снова сигнал Y . Цикл завер-

шается за четыре такта ($4T$) или за два интервала дискретизации сигнала в Y -канале.

Процесс объединения трех цифровых сигналов показан в упрощенном виде на рис. 4.1 для 3-разрядных компонентных сигналов ($n = 3$). Интервал мультиплексирования взят минимально необходимый, т.е. равный $4T$, что соответствует циклу объединения сигналов.

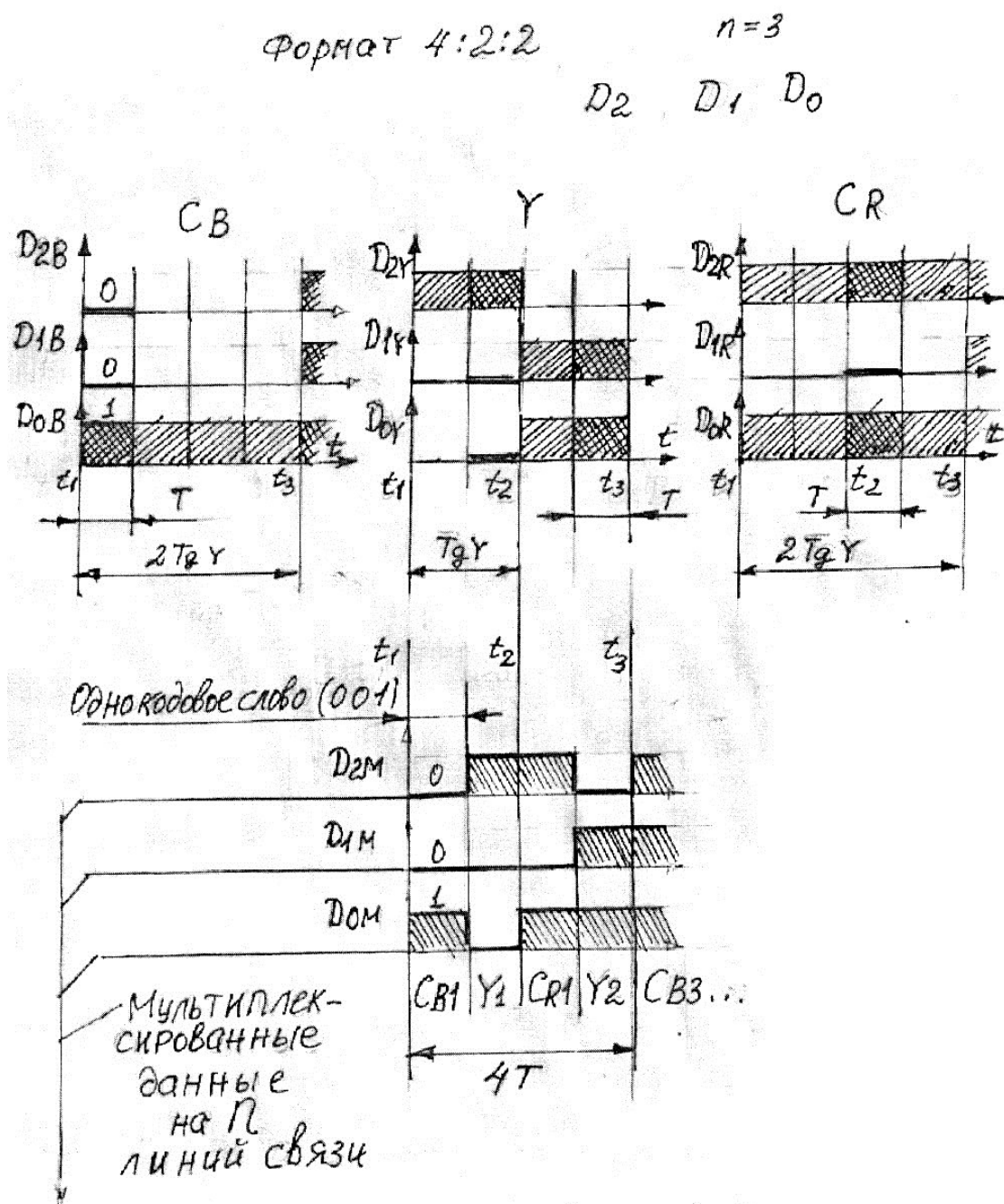


Рис. 4.1.

Каждый из трех параллельных цифровых сигналов требует для своей передачи число линий связи, равное числу разрядов, т.е. при 10-разрядном кодировании их должно быть 30. На рис. 4.1

показана форма видеосигналов (до объединения) на девяти линиях связи, по три линии связи для каждого 3-х разрядного сигнала. На рисунке осциллограмма сигнала каждого разряда обозначена буквой «D» с двойным индексом, где первый индекс (0,1,2) обозначает номер разряда, а второй индекс (B, Y, R, M) указывает наименование сигнала (M - мультиплексированный сигнал).

В момент времени t_1 значения сигналов всех трех разрядов канала C_B (001) подаются через коммутатор на три выходные линии D_{0M} D_{1M} D_{2M} , образуя на выходе то же самое кодовое (трехразрядное) слово сигнала, оно обозначено C_{B1} .

Через интервал времени T на те же выходные линии в том же порядке через переключатель подают сигналы с трех линий связи канала Y (100) и получают второе кодовое слово, обозначенное Y_b поскольку сигналы на линиях связи канала Y не изменились с момента времени t_1 . В момент времени t_2 переключатель коммутирует на выходы сигналы канала C_R (101), а еще через период T на выходы снова поступают сигналы канала Y , появившиеся в этом канале в момент времени t_2 . Четвертое цифровое слово на выходе

(011) обозначено Y_2 , оно содержит информацию о второй точке дискретизации сигнала в канале Y , а в целом за время $4T$ завершается цикл формирования объединенного сигнала о яркости и цветности двух соседних точек изображения.

От числа разрядов кодирования объединяемых сигналов зависит только необходимое количество групп в электронном коммутаторе и число его выходов. Если компонентные сигналы 8-разрядные, коммутатор будет объединять 24 входных сигнала на 8 выходных линиях. 10-разрядные сигналы, расположенные на 30 входных линиях, объединяются на 10 линиях, т.е. мультиплексирование позволяет в 3 раза уменьшить число линий связи, но тактовая частота возрастает до 27 МГц (в системе SDTV) и до 148,5 МГц (в системе HDTV). Соответственно повышается скорость цифрового потока в выходных сигналах.

4.3 Синхросигналы в параллельном видеостыке

Мультиплексированный поток данных на приемной стороне необходимо демультиплексировать. Для этой цели в момент объединения сигналов в них вводят «форматные метки», обозначаю-

щие начало и\или конец определенного цикла передачи. Роль меток выполняют два синхросигнала Time Referens Signals - TRS. Перед началом активной части строки объединенного сигнала вводят сигнал Start of Activ Video - SAV, а в момент окончания строки добавляют сигнал End of Activ Video - EAV.

В промежутке между сигналами SAV и EAV передаются видеоданные активной части цифровой строки. В системе SDTV они образуют блок из 1440 кодовых слов мультиплексированных данных, разбитых на $1440/4 = 360$ групп по четыре отсчета: $[C_B Y C_R][Y]$. Границы таких групп внутри блока из 1440 слов никак не обозначены и определяются демультимплексором путем счета тактов относительно сигнала SAV. Формат данных, синхросигналы и тактовые импульсы показаны на рис. 4.2, 4.3.

На рис. 4.2 отмечена точка 0h - фронт строчного аналогового импульса, она служит точкой отсчета для цифровых сигналов. Относительно точки 0h окончание активной части цифровой строки отстает на 12 интервалов дискретизации яркостного канала (12Тду).

В мультиплексированном сигнале тот же момент времени соответствует отставанию на 24 цифровых слова ($24T$). Именно в этот момент, т.е. в момент начала интервала гашения в цифровом сигнале, в объединенный сигнал вводят 4 синхрослова сигнала EAV. Длительность интервала гашения в цифровой строке составляет $144T$ ду или $288T$. В конце интервала гашения перед началом активной части цифровой строки используют интервал времени $4T$, помещая в нем четыре синхрослова сигнала SAV. Между двумя сигналами TRS в интервале гашения каждой строки остается 280 тактов ($280T$), пригодных для передачи дополнительной информации (см. рис.4.2).

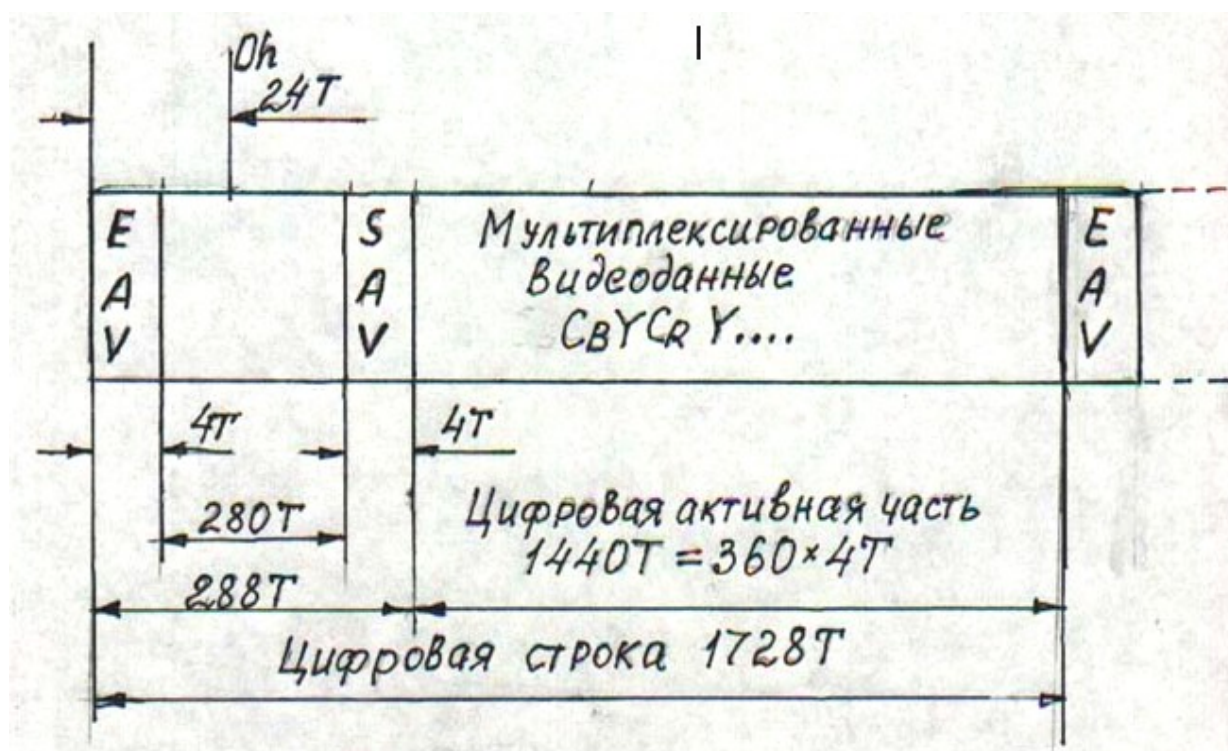


Рис. 4.2

По окончании сигнала SAV передается в начале активной части строки первое слово видеоданных канала Св, затем слова Y канала, С_R канала и снова Y канала. Последняя группа мультимплексированных видеоданных (№360) заканчивается видеоданными Y канала, далее идет интервал гашения, начинающийся с сигнала EAV.

Временное соотношение между импульсами видеоданных и тактовыми импульсами мультиплексора показаны на рис. 4.3. Здесь точкой «0» отмечен опорный момент тактовых импульсов.

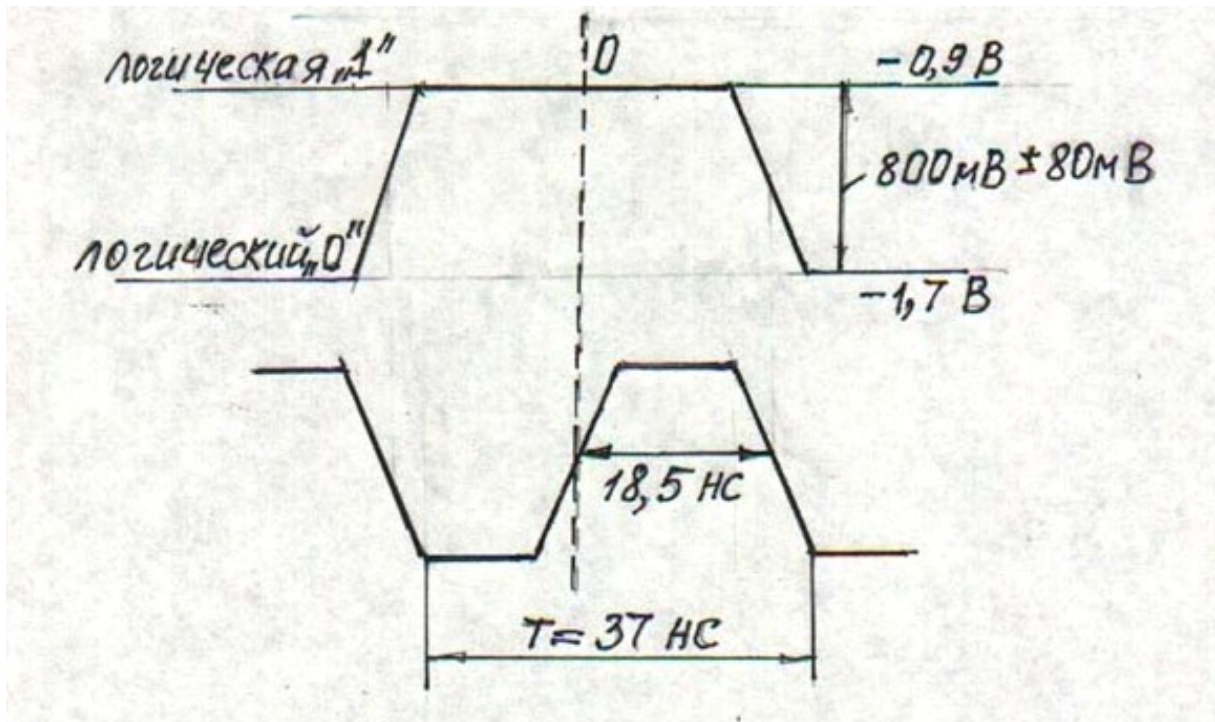


Рис. 4.3

Мультиплексированный сигнал системы HDTV отличается от сигнала системы SDTV количеством кодовых слов (3840) и числом кодовых групп в промежутке между сигналами SAV и EAV ($3840 \div 4 = 860$), а также двукратным повторением цифровых слов SAV и EAV в начале и в конце интервала гашения по строкам.

Рассмотрим структуру 8-битовых синхросигналов SAV и EAV. Оба сигнала содержат по четыре синхрослова или по четыре байта. Байт - это 8-битное слово (при 8-разрядном кодировании). Первые 3 байта в двух синхросигналах одинаковы, неизменны,

предназначены для строчной синхронизации, а для нее были выделены уровни 0 и 255. В первом из трех байтов все биты имеют единичные значения, а во втором и третьем - нулевые. Такие байты удобно записывать шестнадцатиричным кодом: FF; 00; 00. Четвертый байт, который принято обозначать PQ, содержит информацию:

- о четном или нечетном поле;
- о начале и конце строчного и полевого гасящего импульса;
- о наличии или отсутствии ошибок данных;
- о возможности исправления ошибок передачи.

Следует рассмотреть отдельно два полубайта четвертого байта. Здесь старший полубайт Q (разряды D7, D6, D5, D4) называют управляющим полубайтом, он содержит все сведения о синхронизации и гашении. P - младший полубайт (разряды D3, D2, D1, D0) служит для обнаружения и коррекции ошибок передачи старшего полубайта. Содержание старшего полубайта Q можно представить в виде таблицы:

Для формирования значений разрядов полубайта Р используют специальные таблицы, где каждому из 8 возможных сочетаний значений F, V, H предлагается такое сочетание 0 и 1 четырех разрядов полубайта Р, которое дублирует значения F, V, H.

Суммирование значений четырех разрядов полубайта Р и трех разрядов полубайта Q дает четное число единиц, а сумма значений всех разрядов байта PQ должна всегда давать нечетное число единиц, что позволяет находить ошибки передачи синхросигналов.

№ бита данных	Передаваемая информация	Обозна- чение	Варианты значений
D7	Начало полубайта	1	1 - всегда
D6	Четность поля	F	0 - нечетное поле 1 - четное поле
D5	Флаг активной ча- сти кадра	V	0 - внутри активной ча- сти двух полей 1 - внутри полевого га- сящего интервала
D4	Флаг активной ча- сти строки	H	0 - начало активной части строки (SAV) 1 - конец активной части строки (EAV)

№ п\п	F	V	H	D3	D2	D1	D0
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	1	1	0	1
2	0	1	0	1	0	1	1
3	0	1	1	0	1	1	0
4	1	0	0	0	1	1	1
5	1	0	1	1	0	1	0
6	1	1	0	1	1	0	0
7	1	1	1	0	0	0	1

Значения сигналов синхронизации для 10-разрядного кодирования можно получить сдвигом 8-разрядных слов в сторону повышения разрядности (на два разряда) и добавлением двух нулевых младших разрядов.

Введение сигналов синхронизации во все строки мультиплексированного цифрового сигнала позволяет синхронизировать строки и поля, гасить обратный ход в каждой строке и поле в любой точке приема такого сигнала. Введенные синхрослова всегда

сохраняют при последующих параллельно-последовательных и последовательно-параллельных преобразованиях цифровых сигналов.

4.4. Параллельный цифровой интерфейс

Параллельный цифровой интерфейс (PDI) предназначен для передачи мультиплексированного цифрового потока и широко применяется для внутренних соединений. В системе SDTV тактовая частота сигналов 27 МГц (или 36 МГц).

Сигналы передают по экранированному кабелю, содержащему 12 витых пар. Номинальный импеданс для каждой пары - 110 Ом. Тактовый сигнал передается по выделенной для него витой паре отдельно от импульсов данных. Кабель с круговым расположением витых пар на цилиндрическом сердечнике и общим экраном должен быть нагружен на 110 Ом. Максимальная длина кабеля - 50 м. Возможно увеличение его длины до 130 м, но в этом случае нужен корректор амплитудно-частотной характеристики для каждой пары.

На рис. 4.3 показан сигнал видеоданных PDI на выходе линейного передатчика. Уровень логической «1» составляет - 0,9 В, а уровень логического «0» составляет - 1,7 В, размах сигнала 800 мВ (± 80 мВ).

Линейный передатчик и линейный приемник сигналов PDI должны быть совместимы с технологией эмиттерно-связанной логики (emitter coupled logic - ECL).

Видеоданные передаются в коде (см. рис. 4.3) Без Возвращения к Нулю (БВН), а нарастающий фронт тактового сигнала располагается между моментами изменения данных. Необходимо, чтобы пороговый уровень линейного приемника видеоданных был 1.3 В.

Механические параметры 25-контактного соединителя должны соответствовать субминиатюрному разъему типа D (IS02110-1980). Контакты разъема используются так, как показано в таблице:

Контакт	Сигнал +	Контакт	Сигнал -
1	Тактовый импульс	14	Тактовый импульс
2	Системное заземление	15	Системное заземление
3	Бит данных 9	16	Бит данных 9
4	Бит данных 8	17	Бит данных 8
5	Бит данных 7	18	Бит данных 7
6	Бит данных 6	19	Бит данных 6
7	Бит данных 5	20	Бит данных 5
8	Бит данных 4	21	Бит данных 4
9	Бит данных 3	22	Бит данных 3
10	Бит данных 2	23	Бит данных 2
11	Бит данных 1	24	Бит данных 1
12	Бит данных 0	25	Бит данных 0
13	Общий экран кабеля		

Для системы HDTV документ SMPTE 260M регламентирует параметры 21-проводного 10-битового параллельного стыка с тактовыми частотами 74,25 МГц в каналах яркости Y и мультиплексированного сигнала C_R/C_B . При этом должен использоваться специальный многопарный кабель с отдельными экранами для каждой пары. По одной из пар передается тактовый сигнал на частоте дискретизации.

4.5. Последовательный цифровой интерфейс

Последовательный цифровой интерфейс (SDI) предназначен для передачи компонентных мультиплексированных сигналов, преобразованных в последовательную форму. Частота следования импульсов и скорость последовательного цифрового потока повышается в 10 раз в момент преобразования.

Можно рассмотреть процесс преобразования параллельных цифровых сигналов в один последовательный на примере объединения трехразрядного мультиплексированного параллельного цифрового сигнала, как это показано на рис. 4.4. В таком упрощенном случае частота следования импульсов выходного сигнала

повышается только в 3 раза, в то время как 10-разрядный сигнал дает повышение частоты в 10 раз.

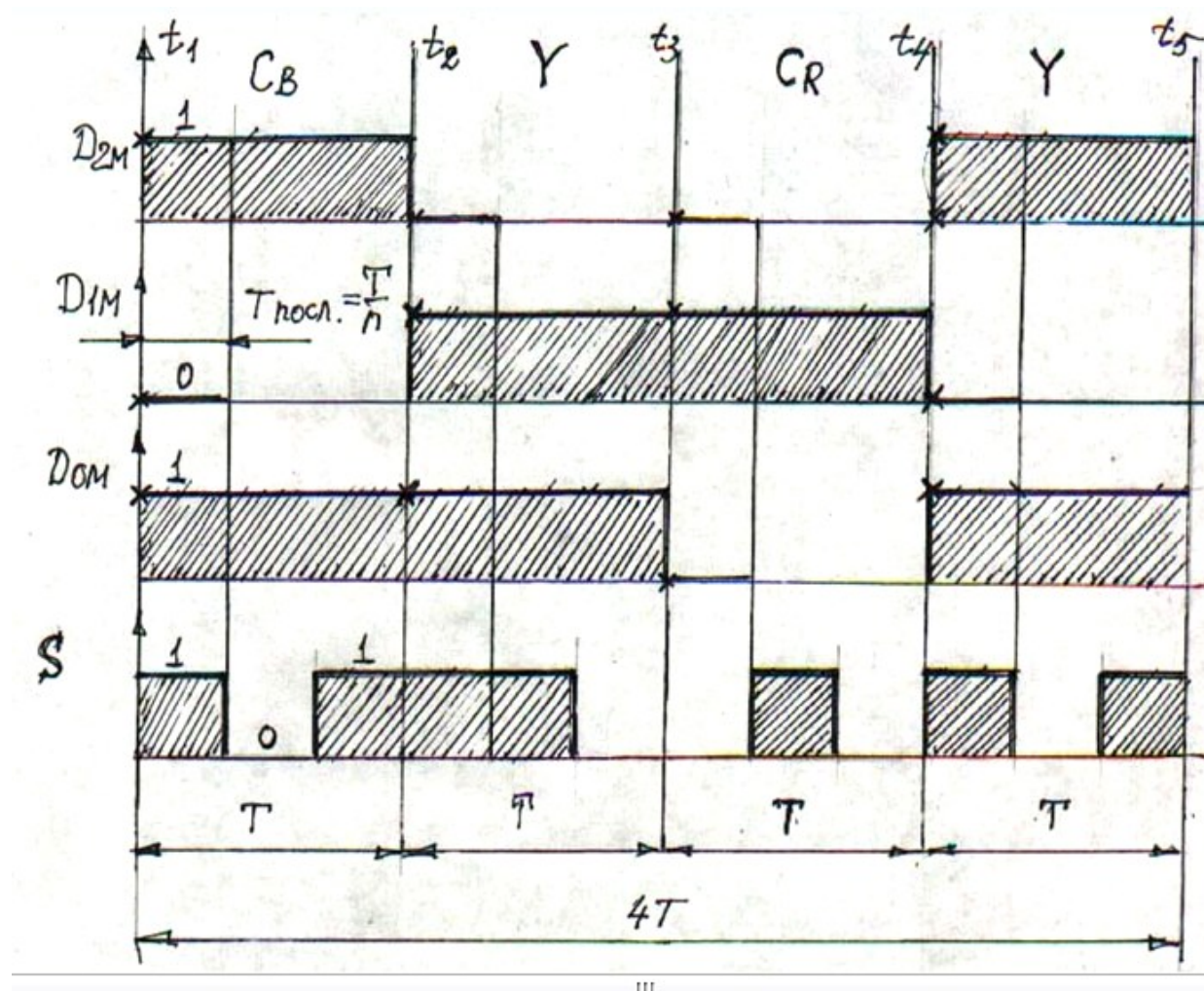


Рис. 4.4

Сигналы каждого из трех разрядов обозначены D_{2M} , D_{1M} , D_{0M} и показаны на рис. 4.4 в течение интервала времени $4T$. За это время по трем параллельным цепям передается информация о цифровых сигналах в двух соседних точках изображения [C_B Y

$C_R][Y]$. На нижнем графике показан вид объединенного последовательного сигнала. Для построения такого сигнала на оси времени каждого из параллельных сигналов разделили все такты длительностью T на 3 равные части. В начальный момент времени t_1 преобразователь «запоминает» распределение нулей и единиц на трех своих входах и начинает формирование выходного сигнала с высокой тактовой частотой $f_{\text{посл.}} = n/T$. Здесь n - число разрядов во входных сигналах. Первый импульс выходного сигнала (график S на рис. 4.4) образован прямым прохождением нуля или единицы с входной линии связи младшего разряда (D_0M), далее по порядку возрастания номеров разрядов на выходе появляются их сигналы. За время T вся информация, которая передавалась в этом такте, со входов поступает на общий выход. Аналогично формируются выходные сигналы в моменты времени t_2, t_3, t_4 . Каждое кодовое слово в последовательном сигнале передается за тот же интервал времени T , что и в параллельных сигналах, но скорость передачи потока информации возрастает за счет «уплотнения», т.е. передачи сигналов всех разрядов по одной линии связи.

В процессе преобразования участвует входной тактовый сигнал $f = 27$ МГц (или 148,5 МГц). Его подают на вход цепи автоматической подстройки фазы блока, который производит умножение тактовой частоты на 10, т.е. формирует новую тактовую частоту $f_{\text{посл.}} = 270$ МГц (или 1485 МГц). Детектор синхронизации находит сигналы TRS (SAV, EAV) и обеспечивает правильность их кодирования независимо от разрядности. Синхросигналы из потока параллельных данных переходят прямо в поток последовательных данных. Прежде чем подать сформированный поток последовательных данных на видеостык, его направляют на скремблер и цепь преобразования кода NRZ в другой код - без возвращения к нулю с инверсией (Not Return to Zero with Inversion - NRZI) - см. рис. 4.5. Скремблер производит умножение последовательного сигнала на сигнал с частотным спектром, близким к спектру случайного сигнала. Такое преобразование минимизирует составляющую постоянного тока в потоке последовательных данных, поскольку позволяет в большинстве случаев прерывать длинные последовательности нулей и единиц. Суммирование по

модулю 2 кода NRZ с псевдослучайной последовательностью приближает этот код к случайному (рандомизирует). В результате вероятность появления на выходе нуля и единицы для скремблированного сигнала становится равной (сходится к 0,5).

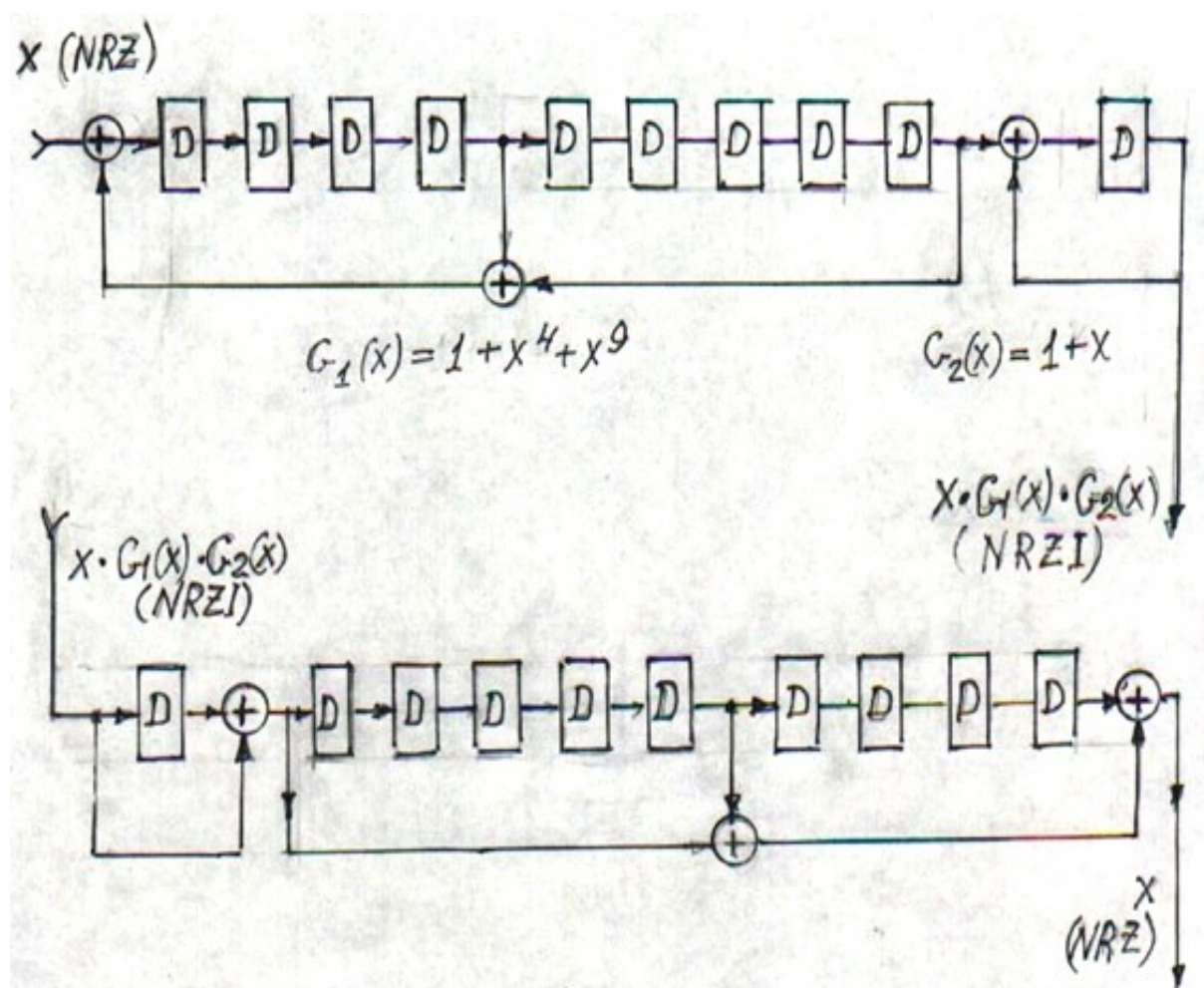


Рис. 4.5

На рис. 4.5 показан полином $G_1(x)$, который производит скремблирование кодовых слов и полином $G_2(x)$, переводящий поток в

знаконезависимый формат NRZI. Этот формат преобразует последовательность нулей и единиц в последовательность переходов с тактовой частотой. В результирующем сигнале постоянная составляющая достаточно мала. Сигнал системы SDTV можно передавать по существующим видеокабелям со скоростью 270 Мбит\с на расстояние до 200 м при условии использования 75-омных коаксиальных кабелей студийного качества, например, кабеля PSF 1\2. Подразумевается применение кабеля с затуханием 9дБ на частоте 100 МГц на каждые 100 м длины.

Кабель должен нагружаться на 75 Ом с затуханием несогласованности не менее 15 дБ в диапазоне частот 10...300 МГц. Механические параметры соединителя должны соответствовать стандартному разъему BNC 75 Ом типа 169-8.

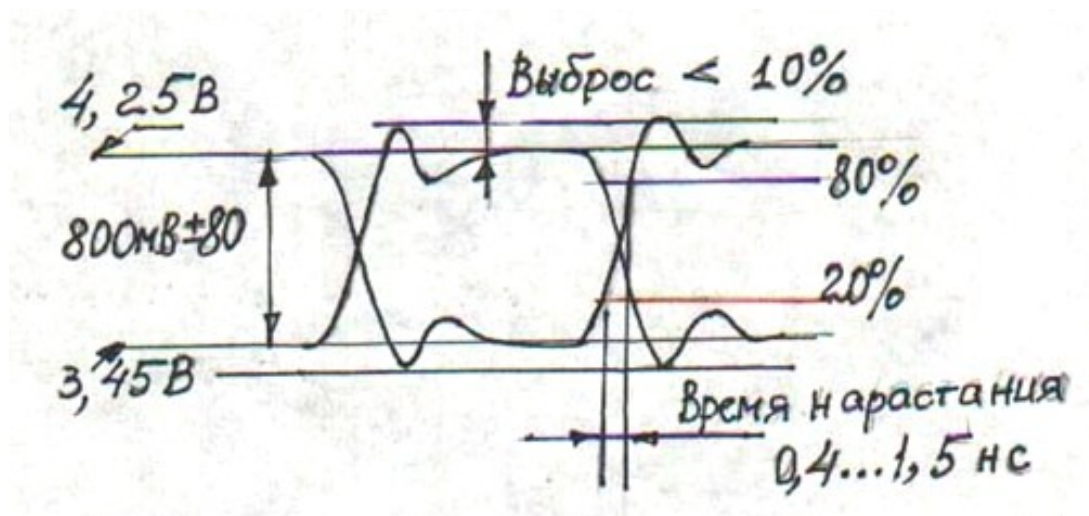


Рис. 4.6

Кодовые слова последовательного цифрового потока передаются через видеостык со скремблированием в формате кода NRZI. Первым передается младший бит. Размах сигнала на стороне источника составляет 800 мВ ($\pm 80\text{ мВ}$ см. рис. 4.6). Полярность сигнала не влияет на приемник. Это позволяет использовать оба противофазных выхода линейного передатчика, что повышает компактность устройства и эффективность его работы.

Из-за очень высоких скоростей передачи последовательные цифровые видеосигналы должны передаваться в форме ECL - сигналов (Emitter Coupled Logic). В системе SDTV длительность фронта и среза импульсов передаваемого сигнала, измеренные по

уровням 20% и 80% (от размаха сигнала), должны быть в пределах от 0,4 нс до 1,5 нс и не различаться более чем на 0,5 нс, а выбросы не превышать 10% размаха импульсов (см. рис. 4.6).

Принятый последовательный цифровой поток, как показано на рис. 4.5, вначале преобразуют на зеркальной копии преобразователя кодов, (формат кода NRZI в формат кода NRZ). Затем дескремблизируют сигнал также на зеркальной копии скремблера. После такой обработки последовательный цифровой поток можно преобразовать в сигналы компонентного параллельного стыка. Для этого достаточно использовать имеющиеся в последовательном потоке синхрослова TRS (SAV, EAV). Таким образом, в процессе последовательно-параллельного преобразования сигнал TRS прямо из последовательных данных переходит в поток параллельных.

Стандарт SMPTE 292M описывает последовательный цифровой стык системы HDTV с коаксиальными и оптическими кабелями для скоростей от 1,3 до 1,5 Гбит/с. Общий формат канального кодирования модифицируется в зависимости от конкретного

подварианта системы HDTV. Длина коаксиального кабеля ограничена величиной затухания на половине тактовой частоты. Обычно она не должна превышать 20 дБ. Оптический стык при использовании одномодового волокна позволяет передавать сигналы на расстояние до 2 км.

Контрольные вопросы по теме 4

1. Почему параллельный видеостык используется только для межплатных соединений?
2. Чем отличаются четыре уровня передачи последовательного видеостыка?
3. При каком условии можно мультиплексировать потоки трех компонентных сигналов?
4. Как влияет разрядность сигналов на процедуру мультиплексирования?
5. Как изменяется тактовая частота и скорость цифрового потока на выходах мультиплексора относительно входов?

6. Как располагаются группы мультиплексированных данных относительно фронтов аналоговых строчных синхроимпульсов?
7. Каково назначение четырех байтов двух цифровых синхросигналов?
8. Какую информацию передают в старшем полубайте четвертого байта синхросигнала?
9. Какие меры приняты для защиты информации, передаваемой в цифровом синхросигнале?
10. Как преобразуют параллельный цифровой поток в последовательный?
11. Каково назначение цепей скремблирования и преобразования формата кода на входе и выходе видеостыка SDI

Тема 5. ПРИНЦИПЫ СЖАТИЯ ВИДЕОДАНЫХ

5.1. Виды избыточности информации в ТВ изображении и видеосигнале

Цифровые потоки на входе и выходе аппаратно-студийного комплекса могут достигать скоростей порядка 200...1500 Мбит\с, что затрудняет их передачу в стандартных вещательных линиях связи, усложняет аппаратуру видеозаписи. Сокращение скоростей цифровых потоков возможно путем сжатия – компрессии сигналов за счет устранения избыточной информации в цифровом видеосигнале.

Пространственная избыточность в изображении.

Изображения, типичные для ТВ вещания, обладают заметной пространственной избыточностью. Большая часть изображения одного кадра содержит участки, имеющие постоянную или мало меняющуюся яркость и цветность. Резкие световые и цветовые переходы и детали малых размеров занимают малую долю площади изображения. Зная яркость одного элемента, можно с высокой степенью вероятности предсказать яркость соседнего,

например, полагая их просто равными. Действительно, межэлементная разность яркости, цветности вдоль строки очень мала и возрастает изредка.

Временная избыточность.

Изображения соседних кадров в телевидении очень похожи друг на друга, даже в случае съемки движущихся объектов. Переходы от сюжета к сюжету встречаются относительно редко.

Межкадровая разность уровней сигналов на значительной части площади изображения обычно близка к нулю. Зная распределение яркости в одном кадре, можно с высокой степенью уверенности предсказать распределение яркости следующего кадра.

Пространственная и временная формы избыточности связаны со статистическими свойствами ТВ изображений. Сходство сигналов соседних элементов в строках, в смежных полях позволяет применять статистические методы сжатия: вместо истинного значения информации об элементе передают только изменение этой информации, а также используют энтропийное кодирование, которое сокращает скорость передачи данных. Например, энтро-

пийное кодирование учитывает вероятность появления определенных значений и для часто повторяющихся данных применяет сокращенные кодовые слова.

Структурная избыточность видеосигнала

Сокращение цифрового потока возможно благодаря структуре видеосигнала. В цифровом канале можно передавать сигнал только активной частью изображения (без интервалов гашения). Например, в формате дискретизации 4:2:2 (10бит\отсчет) скорость передачи данных таким методом снижают с 270Мбит\сек. до 207Мбит\сек. Иногда интервалы гашения используют для передачи дополнительной информации, для звукового сопровождения, что также относят к способу устранения структурной избыточности видеосигнала.

Структура формата дискретизации видеосигнала может содержать разное число отсчетов канала цветности. В том случае, когда формат дискретизации 4:2:2 подвергают передискретизации с целью перехода к форматам 4:2:0 или 4:1:1, происходит снижение скорости цифрового потока на 20%. Но такой способ

сокращения скорости цифрового потока происходит за счет уменьшения детальности изображения.

Зрительная (психофизическая) избыточность изображения.

Эксперименты показали: шумы квантования аналогово-цифрового преобразования хорошо различимы глазом на крупных деталях изображения, на плавно меняющейся яркости и цветности в виде ложных контуров. Но те же шумы мало заметны на резких перепадах яркости, на мелких деталях, что позволяет применять более грубое квантование видеосигнала в окрестностях резких изменений уровня. Практически, это разрешает использование грубого квантования для высокочастотных компонентов спектра видеосигнала.

Следует учитывать инерционность зрительного восприятия изменений в ТВ изображении. Так, после резкой смены сюжета искажения изображения не заметны глазу в течение десятых долей секунды, что соответствует передаче 5....15 телевизионных кадров. В этих кадрах четкость изображения может быть в несколько раз ниже номинального значения.

Используя перечисленные свойства зрения, удастся значительно сокращать скорость цифрового потока, обеспечивая незаметность для наблюдателя вносимых необратимых искажений телевизионного изображения.

Все технологии сжатия цифрового сигнала в ТВ вещании осуществляются в соответствии с международными стандартами, выработанными группой международных экспертов (Motion Picture Expert Grope –MPEG). В основу стандартизованного семейства технологий сжатия положено внутрикадровое и межкадровое кодирование сигналов. Внутрикадровое сжатие производят с помощью Дискретного Косинусного Преобразования (ДКП), а Межкадровое сжатие происходит по методу Дифференциальной Импульсно –Кодовой Модуляции (ДИКМ).

5.2. Внутрикадровое сжатие методом ДКП

Цель внутрикадрового сжатия – сокращение пространственной избыточности изображения в пределах одного кадра (или поля) ТВ изображения. Поле или кадр отсчетов ТВ сигнала (пикселей) разбивают на блоки 8×8 пикселей. Каждый полученный блок

содержит 64 цифровых слова. Полученная двумерная матрица чисел может быть математически преобразована в другую матрицу того же размера (8×8), например, с помощью двумерного дискретного ортогонального преобразования Фурье, которое по сути эквивалентно нахождению пространственного спектра импульсного цифрового сигнала, записанного в блоке отсчетов.

Преобразование Фурье дает 64 коэффициента, где каждый коэффициент отображает амплитуду косинусоидальной волны с частотами колебаний от нулевых до высоких. Сложение таких гармонических колебаний (обратное преобразование Фурье) дает исходный блок отсчетов цифрового сигнала.

Большие значения коэффициентов ДКП располагают в верхнем левом углу матрицы. Они соответствуют нулевой и низким частотам спектра. По горизонтали слева на право и по вертикали с верху вниз частоты составляющих спектра повышаются, а амплитуды уменьшаются, стремясь к нулю. Абсолютные значения коэффициентов ДКП вычисляют с высокой точностью, используя 11-битное или 12-битное двоичное исчисление. Важно

отметить, что амплитуда нулевой гармоники пропорциональна средней яркости блока изображения, а высокочастотные гармоники отвечают за передачу «тонких» деталей изображения. Такие детали слабо выделены относительно средней яркости блока, поэтому амплитуды высокочастотных гармоник малы по сравнению с амплитудой нулевой гармоники.

Следующим шагом преобразования является квантование вычисленных коэффициентов ДКП, сведение их значений к диапазону -255 , $+255$. Учитывая чувствительность глаза к ошибкам передачи плавных изменений яркости и цветности изображения, следует точнее передавать низкие частоты спектра в каждом блоке. Конкретный шаг квантования каждого из 64 коэффициентов ДКП задает специальная матрица в кодере сжатия, но шаг квантования для амплитуды нулевой гармоники всегда фиксирован и минимален. По мере повышения частот гармоник растет величина шага квантования их амплитуд. Грубое квантование амплитуд высокочастотных гармоник обращает в нуль большую часть коэффициентов ДКП.

Практически нелинейное квантование выполняется путем поэлементного деления матрицы коэффициентов ДКП на матрицу квантования, значения элементов которой возрастают по мере удаления от левого верхнего угла и приближения к правому нижнему углу, например, от 8 до 83. При декодировании на приемной стороне коэффициенты матрицы ДКП умножаются на те же элементы матрицы квантования, что восстанавливает верные исходные значения коэффициентов, но с ошибками округления. Ошибка мала для низкочастотных компонентов блока отсчетов, но велика для высокочастотных компонентов. В процессе нелинейного квантования теряют высокочастотные компоненты с малыми амплитудами, что приводит к искажению мелких деталей, контуров изображения. Эти искажения не обратимы, но могут быть не заметны для глаза, если степень компрессии не слишком велика. Процедура снижения объема информации показана на рис.5.1, 5.2 и на рис.5.2 видно, что восстановленное изображение отличается от исходного.

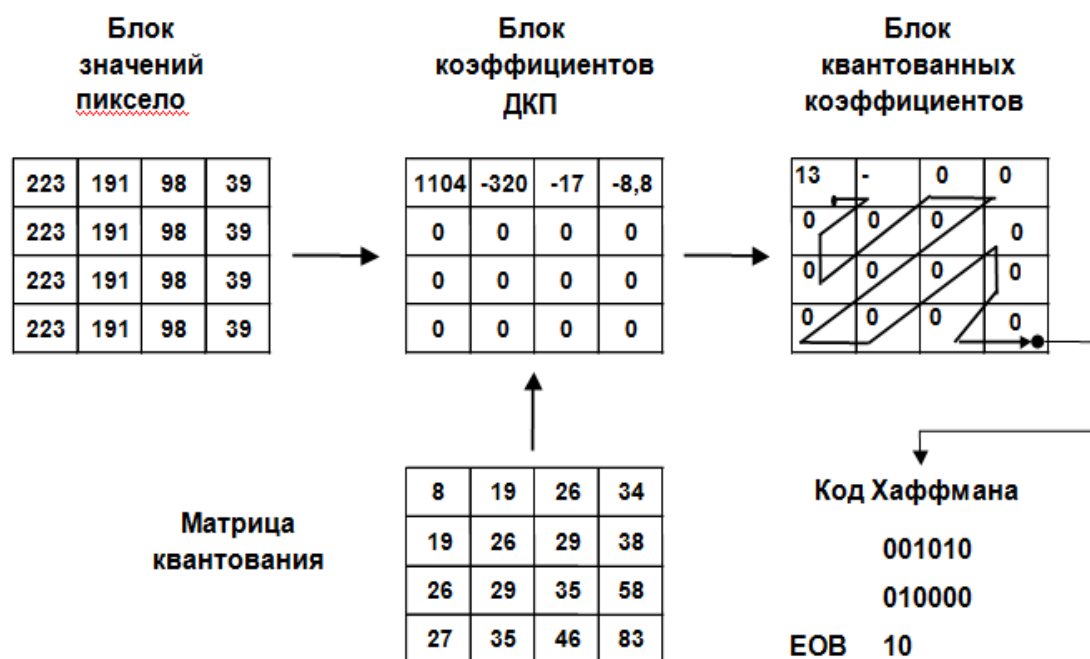


Рис. 5.1

На рис 5.1 показан следующий этап обработки блока квантованных коэффициентов, а именно: зигзагообразное сканирование матрицы, начиная с верхнего левого угла. Такой способ позволяет объединять нулевые значения в группы, а также дает возможность объединить самый большой массив нулевых коэффициентов, располагающийся в правой нижней части блока – см. рис.

5.1, 5.2.

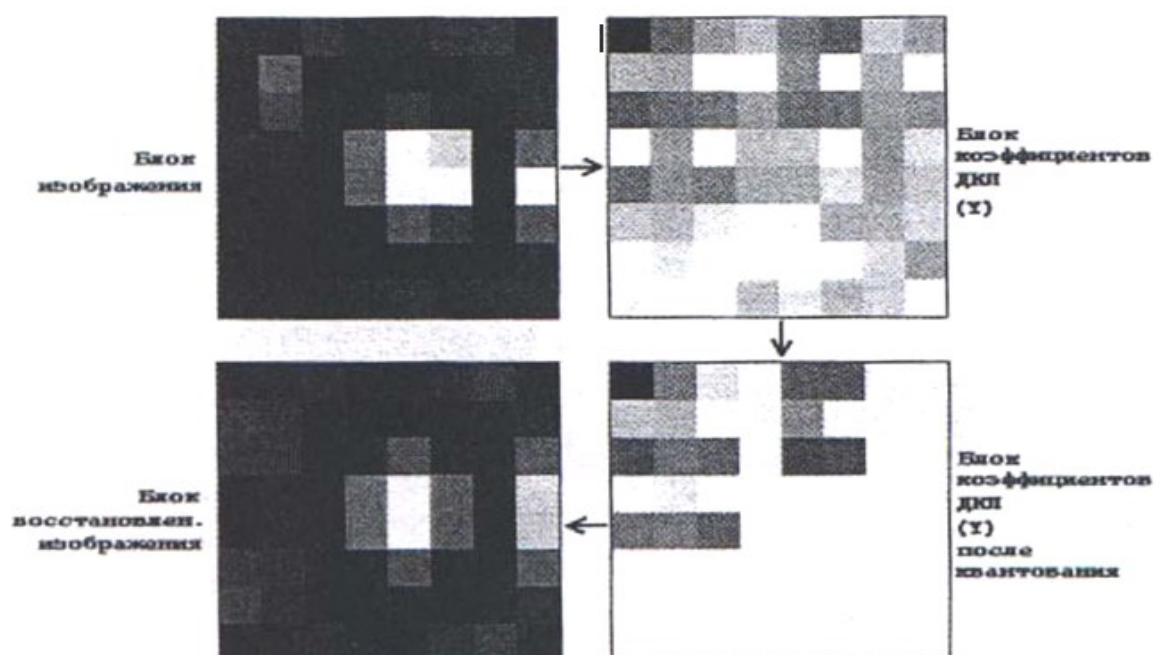


Рис. 5.2

Дальнейшее сжатие объема передаваемых данных обеспечивают методом кодирования длин серий (Run Length Coding/Variable Length Coding – RLC/VLC). Длинные последовательности нулей, а в общем случае и статистически частые последовательности (комбинации) значений заменяют самым короткими кодами. Последняя серия нулей блока передается просто как код конца этого блока (End Of Block), т.е. на передачу самой частой серии расходуется ноль бит. Рассмотренные методы сжатия объема данных основаны на правилах энтропийного кодирования Хаффмана.

Процедура обработки каждого блока пикселей (8×8) дает на выходе последовательность слов переменной длины. Но для ТВ программ, распределяемых в сети вещания, нужен цифровой поток с постоянной скоростью передачи. Поэтому в кодере (и декодере) сжатия устанавливают буфер памяти. В буфере записывают переменный поток данных, а из буфера передают поток с заданной скоростью. Чем больше объем буфера, тем большие изменения объема данных изображения относительно среднего значения допускаются. Однако кодер должен в любом случае следить за состоянием буфера, не допуская его переполнения (часть данных будет потеряна) и его опустошения (качество изображения будет неоправданно низким). Степень заполнения буфера поддерживает система обратной связи : через блок «Управление» сигнал от буфера подают на блок «Квантование» - см.рис.5.3.

В тех случаях, когда изображение содержит много мелких деталей, растет число ненулевых коэффициентов ДКП и скорость записи в буферной памяти. По сигналу от буфера квантование коэффициентов становится более грубым (вводится масштаби-

рующей множитель в матрицу квантования от 1 до 30). В результате происходит сокращение скорости передачи данных в буферную память.

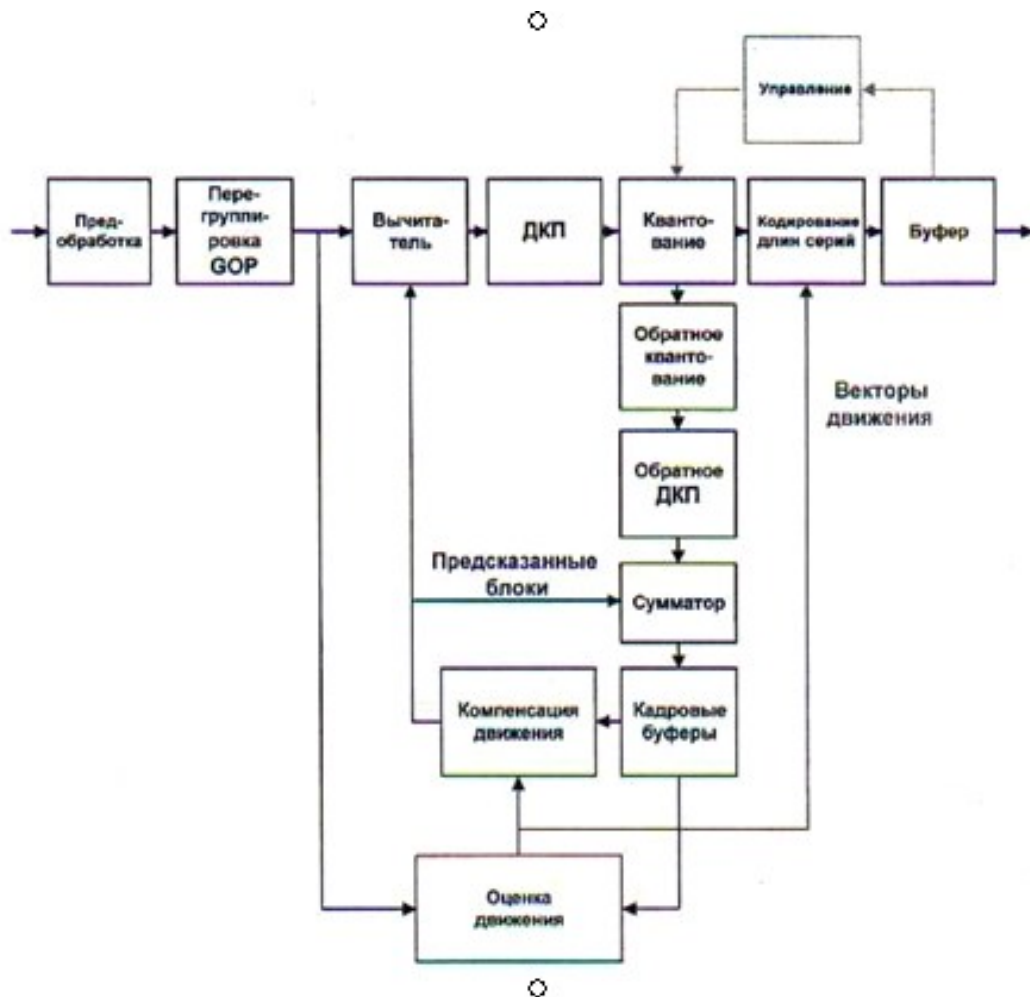


Рис. 5.3

Наоборот, в случае обработки малодетального изображения подается команда об уменьшении шага квантования. В целом, поддерживается постоянная скорость заполнения буферной па-

мости. Не допускается ее переполнение и опустошение. При большой степени компрессии, когда сильно ограничена скорость цифрового потока на выходе буфера, заметны искажения, вносимые «грубым» квантованием коэффициентов ДКП: снижение четкости участков кадра, содержащих мелкие детали, появление «блочности» на движущихся объектах.

Внутрикадровое сжатие, основанное на ДКП, используется в стандарте Motion JPEG (Joint Photographic Expert Group) и дает приемлемое качество изображения, если величина коэффициента сжатия не превышает значений 5:1 ... 3,3:1. Такое сжатие не достаточно для передачи цифрового сигнала по линиям связи. Однако этот метод будет продолжать играть свою роль в таких стандартах, как DV, DVCAM, DVC PRO, т.к. облегчает работу в студии и при монтаже.

Дискретное косинусное преобразование, квантование и кодирование длин серий – такова обработка цифрового сигнала на выходе типичного кодера сжатия видеоданных, показанного на

рис. 5.3. Но перед поступлением на схему ДКП цифровой поток подвергается дифференциальной импульсно-кодовой модуляции

5.3. Дифференциальная импульсно – кодовая модуляция.

Суть метода ДИКМ – кодирование с предсказанием. Формируют сигнал разности между истинным и предсказанным значением каждого отсчета, затем разницу квантуют по уровню. От точности предсказания зависит среднее число бит, необходимое для передачи разностной информации.

Можно экстраполировать предшествующие значения отсчетов ТВ сигнала, по ним оценивать последующие отсчеты. Это будет предсказание вперед. Если используют двунаправленное (интерполяционное) предсказание, то оценивают средний отсчет, расположенный между известными предыдущим и последующим отсчетами. Такое предсказание наиболее точное, но требует увеличение объема вычислений и объема памяти.

Межкадровое предсказание вперед – наиболее эффективный способ предсказаний для неподвижных изображений. Текущий отсчет оценивают по отсчету с теми же координатами в преды-

дущем кадре. Но, в случае движения объекта, отсчеты, принадлежащие однотипным элементам изображения, смещаются от кадра к кадру. Возникает разностная информация, которую можно уменьшить, если ввести компенсацию движения. Для этого необходимо определить векторы движущихся частей изображения при последовательном переходе от кадра к кадру. По векторам движения определяют положение кодируемого отсчета в текущем новом кадре, т.е. компенсируют перемещение отсчета, тем самым сохраняют высокую точность предсказания – см. рис.5.4.

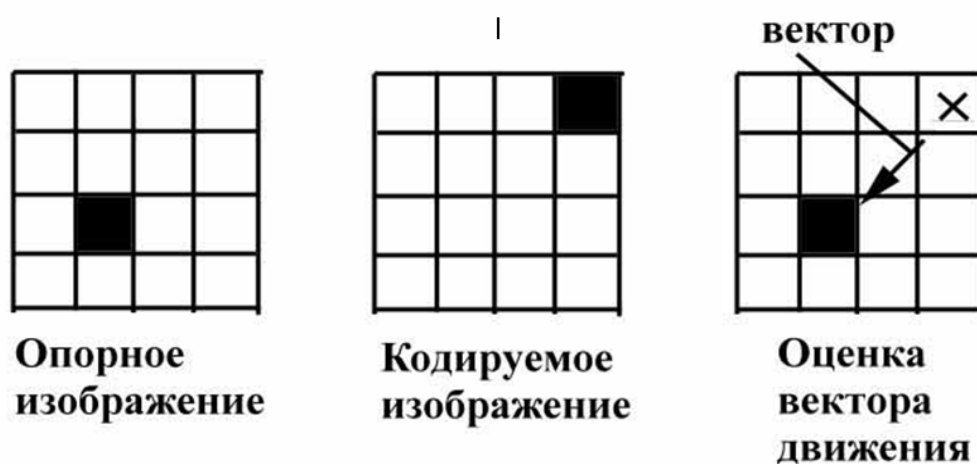


Рис. 5.4

В рамках стандарта MPEG осуществляют намеренное управление уровнем ошибок прогнозирования. В зависимости от используе-

мого алгоритма проверки сходства отсчетов, в процессе кодирования формируют кадры трех типов:

I – (intra) – опорные

P – (predicted) – предсказанные вперед

B – (bidirectional) – предсказанные двунаправленно

P – это кадры, в которых использован прогноз вперед, их восстанавливают в декодере сжатия (см. рис.5.4) на основе отсчетов предыдущего кадра, разностной информации в этом кадре и векторов движения.

B - кадры повышают эффективность сжатия, т.к. для них формируют опорный сигнал из смежных предыдущих и последующих кадров типа P или I. Остаточная ошибка в B-кадрах мала, что дает наибольшую степень компрессии. Важно отметить, что сами B-кадры, в отличие от P, I – кадров, в стандарте MPEG - 2 не используются для предсказания других кадров.

I – кадры используют в качестве опорных. На время их формирования отключается схема предсказания, и сигнал поступает пря-

мо на блоки ДКП. I – кадры играют важную роль, т.к. благодаря передаче этих кадров, ошибки предсказания локализуются.

В кодере сжатия изображения трех рассмотренных типов (I, P, B) объединяют в повторяющиеся серии, называемые группами изображений (Group Of Pictures – GOP). Такая группа – это минимальный повторяемый набор изображений. Группу можно декодировать независимо от других изображений в последовательности. На каждую группу приходится один кадр типа I, с которого начинается группа. I кадр дает опорный сигнал для предсказания остальных изображений в группе. Группу изображений нужно формировать из большого числа кадров, если необходимо добиться высокой степени компрессии. Группу принято описывать двумя числами: число N указывает общее число изображений в группе, а число M указывает увеличенное на 1 число B кадров, следующих непрерывно. Большое число M (большое число B изображений) требует использования значительного времени задержки, т.к. I или P изображения уже должны быть в декодере к моменту декодирования B –кадра. Для сокращения времени за-

держки в декодере, на входе кодера сжатия меняют порядок кодирования и передачи изображений. Нормальный порядок следования кадров восстанавливает декодер по специальным меткам времени. Группы могут быть замкнутыми (закрытыми) и открытыми. Последний кадр замкнутой группы – это изображение типа Р, предсказанное на основе I изображения этой же группы. Последним кадром открытой группы должно быть В – изображение. Для его предсказания используют, наряду с предшествующим I или Р изображениями, также I – изображение следующей группы. Преимущество закрытых групп в том, что они позволяют выполнять прямые монтажные переходы перед очередным I – изображением без декодирования цифрового потока. Это требует сложного кодера, который может обеспечить строго фиксированный интервал времени для каждой группы. Максимальная по длине группа может содержать 12...15 кадров, минимальная группа содержит один кадр (I) или два кадра (I,B). Можно оценить относительный объем (V) сжатых кадров трех типов в стандарте

MPEG -2 при сходстве исходных изображений и заданном уровне качества воспроизведения: $VI:VP:VB= 6:2:1$.

Рассмотрим процессы формирования трех видов сжатых изображений I, P, B. Непосредственно на входе кодера сжатия три цифровых сигнала Y C_B C_R объединяют в так называемые «макроблоки». В состав каждого макроблока должны быть включены отсчеты всех трех сигналов, соответствующих одному и тому же участку изображения. Участок изображения для макроблока принято нормировать количеством отсчетов яркостного сигнала по горизонтали и вертикали, а именно: макроблок должен содержать 16 отсчетов яркостного сигнала вдоль строки, взятых на 16 соседних строках кадра (поля) – см. рис.5.5. Таким способом все изображение разбивают на квадраты 16×16 пикселей. В каждом квадрате содержится 256 отсчетов яркостного сигнала, а количество макроблоков в кадре - 1620 (45 по горизонтали и 36 по вертикали для стандарта разложения 720\576).

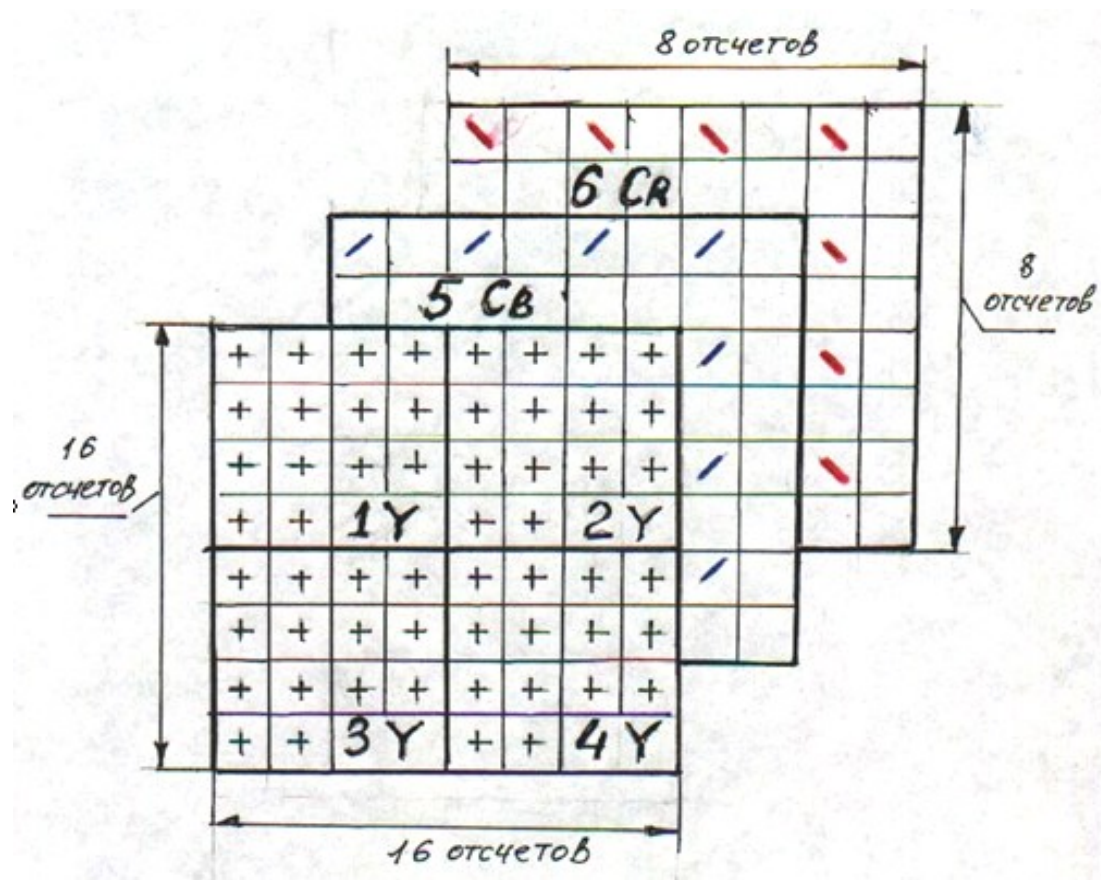


Рис. 5.5

Цветоразностные сигналы на выделенном участке изображения также содержат определенное количество отсчетов, зависящее от выбранного стандарта форматирования цифровых сигналов. В формате 4:4:4 каждый цветоразностный сигнал содержит в одном макроблоке столько же отсчетов, сколько их в яркостном сигнале, т.е. 256, а для форматов 4:2:2 и 4:2:0 количество отсчетов цветоразностных сигналов уменьшается до 128 (8×16) и 64 (8×8) соответственно. Учитывая обязательную последующую обработку

всех сигналов в схеме ДКП, удобно измерять состав макроблока количеством блоков, входящих в него. В случае использования формата 4:2:0, кроме четырех блоков яркостного сигнала, в состав макроблока войдет 1 блок сигнала C_B и 1 блок сигнала C_R – всего 6 блоков. Состав макроблока и последовательность обработки блоков в схеме ДКП показана на рис.5.5, рис. 5.6.

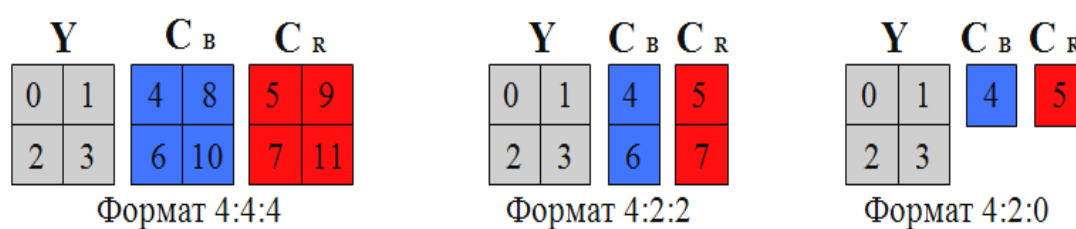


Рис. 5.6

Укрупнение обрабатываемой части кадра до макроблока на этапе ДИКМ – оправдано, т.к. в пределах такого участка кадра изменения изображения за время передачи кадра (поля) достаточно малы, а компенсация движения достигается путем нахождения нового положения макроблока в соседнем кадре. Зона поиска нового положения макроблока должна быть большой, чтобы в случае быстрого движения, макроблок не вышел из зоны поиска

в кодируемом кадре. Обычно зона поиска выбирается размером 64×64 пиксела, т.е. в 4 раза больше размера макроблока. Процедура поиска новых координат макроблока производится путем сравнения отсчетов яркостного сигнала в двух соседних кадрах.

Находят минимум суммы модулей разности величин отсчетов.

Найденные новые координаты макроблока позволяют вычислить векторы движения (по горизонтали и вертикали) для всех блоков и яркостного и цветоразностных сигналов.

Все макроблоки I кадра являются опорными. Это означает, что все блоки, входящие в I – макроблок, без всякого преобразования поступают на схему ДКП, работа которой уже рассмотрена в разделе 5.2. Макроблоки P кадров могут быть двух типов: опорные (I – intra) и предсказанные вперед (P – predicted). Если макроблок P кадра – опорный, он обрабатывается также, как макроблоки I кадра. Но для всех блоков макроблока типа P формируют разности значений отсчетов данного, текущего макроблока и значений отсчетов подобного ему макроблока предыдущего кадра. Отметим, что формирование опорных блоков обес-

печивает более высокую точность при восстановлении изображения, но требует для передачи существенно больший (в 3 раза) объем информации. Очевидно, что в Р кадре в основном будут макроблоки Р типа.

Стандарт не ограничивает методы определения векторов смещения при поиске подобных макроблоков, но ограничивает диапазон максимальных значений: ± 128 пикселей при точности задания в 1 пиксель, или ± 64 пикселя при точности задания 0,5 пикселя. Кодер может иметь и более строгие ограничения.

Однако не все найденные векторы смещения будут использованы для предсказания. Кодер оценивает величину ошибки предсказания при нулевом смещении макроблока и при смещении с учетом векторов. Если разница пренебрежимо мала, то экономят на передаче информации о векторах. Другой предельный случай: величина ошибки предсказания с использованием найденного вектора так велика, что кодирование данного макроблока по типу Р (передача разностей отсчетов) – не дает экономии по сравнению с прямой передачей данных. Такой макроблок

кодируют по типу I макроблока. Возможен случай, когда отсчеты яркостного сигнала внутри данного макроблока очень мало меняются (мала дисперсия), такой макроблок целесообразно кодировать как опорный (без поиска векторов).

Последующая обработка разностных макроблоков в схеме ДКП аналогична обработке опорных. Единственное существенное отличие заключается в том, что используют иного вида матрицу квантования, с менее выраженным подавлением высоких частот.

Разности отсчетов несут информацию о небольших изменениях фрагментов сцены, например, в процессе их перемещения. В этом случае высокие частоты спектра сигнала, создающие детализацию изображения, столь же важны, как и низкие. Конкретный вид матрицы квантования задается кодером, но по умолчанию она принимается равномерной с постоянным шагом квантования 16 для всех частот, включая нулевую частоту. На выходе схемы ДКП все коэффициенты могут оказаться равными нулю. Для передачи такого блока ставят определенную стандартом метку

(флаг) и сразу переходят к следующему блоку. Блок нулевых коэффициентов (*skipped*) дает самый короткий код описания. Аналогичная ситуация возникает с макроблоком, когда все его блоки имеют статус *skipped* и соответствующие векторы смещения также равны нулю.

Из предыдущего рассмотрения следует, что макроблоки В кадра могут быть следующих типов:

I – опорные;

P – предсказанные вперед;

P – предсказанные назад;

B – интерполируемые.

Для тех случаев, когда кодер должен использовать вариант интерполяции, ему приходится выполнять сложную программу выбора наиболее эффективного решения, реализующего компромисс между длиной кода и качеством восстановленного изображения. Задача облегчается тем, что в отличие от кадров I и P типа, ошибки в кадре типа B не накапливаются, т.е. не приводят к регулярным искажениям. Более того, за счет быстрой смены изоб-

ражений эти случайные ошибки мало заметны. В результате изображения типа В во всех своих макроблоках, в том числе опорных (I) и предсказанных (P), допускают самые короткие коды, дающие наименьший объем информации.

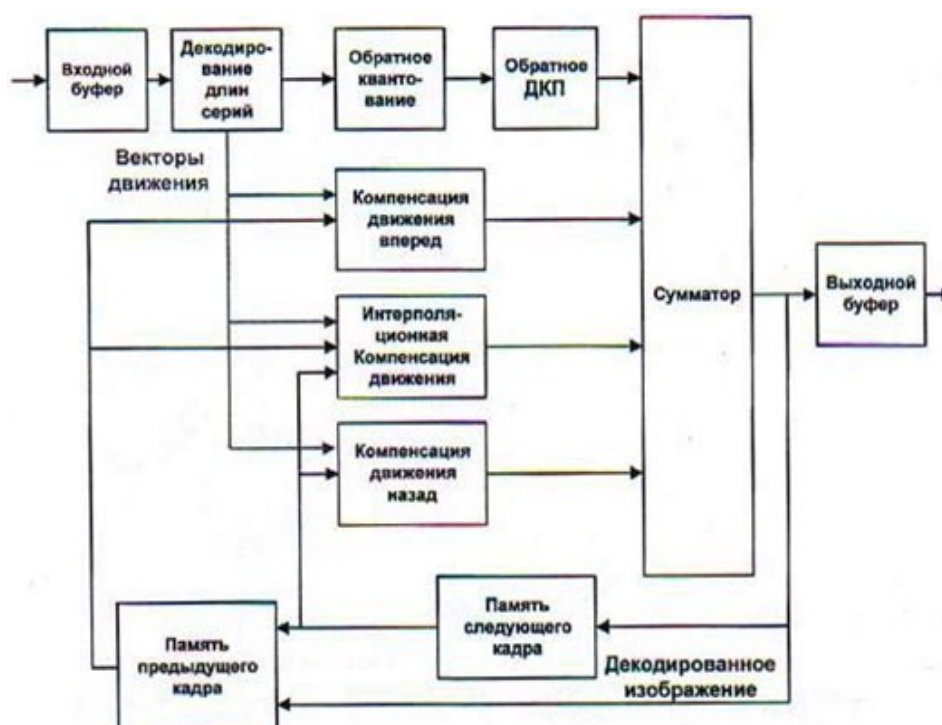


Рис. 5.7

Процедура обработки цифровых сигналов в декодере стандарта MPEG – 2 представлена на рис. 5.7.

Контрольные вопросы по теме 5

1. В чем выражается пространственная и временная избыточность ТВ изображения?

2. Как можно сжать цифровой поток за счет передискретизации?
3. Какие искажения ТВ изображения могут быть не замечены зрителем?
4. В чем преимущество передачи блока коэффициентов ДКП по сравнению с передачей блока цифровых отсчетов?
5. Какие искажения вносят в изображение за счет использования нелинейного квантования коэффициентов ДКП?
6. Для каких коэффициентов ДКП выбирают самый малый шаг квантования и почему?
7. Что произойдет с ТВ изображением в случае переполнения буфера на выходе кодера сжатия?
8. Как предотвращают накопление ошибок предсказания в схеме ДИКМ?
9. Каково назначение изображений типа I, формируемых в кодере ДИКМ?
10. Чем отличаются процессы формирования изображений типа В и типа Р?

11. Как построены открытые и закрытые группы изображений (GOP)?

12. Как влияет длина GOP на качество восстановленного ТВ изображения?

Тема 6. СТАНДАРТЫ MPEG

Первым стандартом видеокомпрессии стал стандарт MPEG-1, опубликованный в 1993 году. Он предназначен для кодирования изображения и звука при скоростях цифрового потока компрессированных данных до 1,5 Мбит/с и сделал возможным интерактивное видео на компакт – дисках. Но уже в 1994 году была опубликована первая версия стандарта MPEG – 2, предназначенная для широкого диапазона скоростей потоков кодированных данных.

Система компрессии MPEG – 2 имеет широкую область применения. Во всех системах цифрового телевизионного вещания, принятых в мире, используется компрессия, или сжатие потоков данных в соответствии с алгоритмами и процедурами, регламентированными стандартами MPEG – 2. В каждом цифровом

телевизионном приемнике или приставке есть декодер MPEG – 2, изображения аналоговых ТВ программ в процессе производства кодируют в этой системе, т.е. практически, она сделала возможным цифровое телевизионное вещание.

Следующим после MPEG – 2 проектом группы MPEG стал стандарт MPEG – 4. Первая и вторая версии этого стандарта появились уже в 1999 году, а его доработанный вариант утвержден в 2003 году и получил наименование H. 264\AVC (AVC – Advanced Video Coding – улучшенное видео кодирование).

6.1. Структура элементарного потока видеоданных по стандарту MPEG – 2.

На выходе кодера сжатия, работающего по стандарту MPEG-2 (см. предыдущий раздел 5), формируется сжатый цифровой поток, элементы которого объединяются друг с другом по определенным правилам в виде иерархической структуры. Поток видеоданных (см. рис. 6.1) содержит 6 структурных элементов:

- видеопоследовательность (sequence),
- группа изображений (Group Of Picture – GOP),

- изображение (frame),
- срез, слайс (slice),
- макроблок (macroblock),
- блок (block).

Элемент высшего уровня иерархической структуры потока видеоданных - это видеопоследовательность. Она представляет собой серию групп телевизионных изображений MPEG- 2 (см. рис.6.2). Допускаются как построчные, так и чересстрочные последовательности. Чересстрочная последовательность может содержать в себе и изображение поля, и изображение кадра.

Если в процессе компрессии поля кодируются отдельно, это дает изображение типа «поле». Два поля, кодируемые вместе, как ТВ кадр, образуют изображение типа «кадр». В последовательности с построчным разложением каждое изображение – кадр.

Серия изображений, содержащая одно I изображение, называется группой изображений – см. рис. 6.2. На этом рисунке стрелками показано направление предсказания в пределах одной группы.

Чем больше изображений в группе, тем большая степень компрессии достигается.

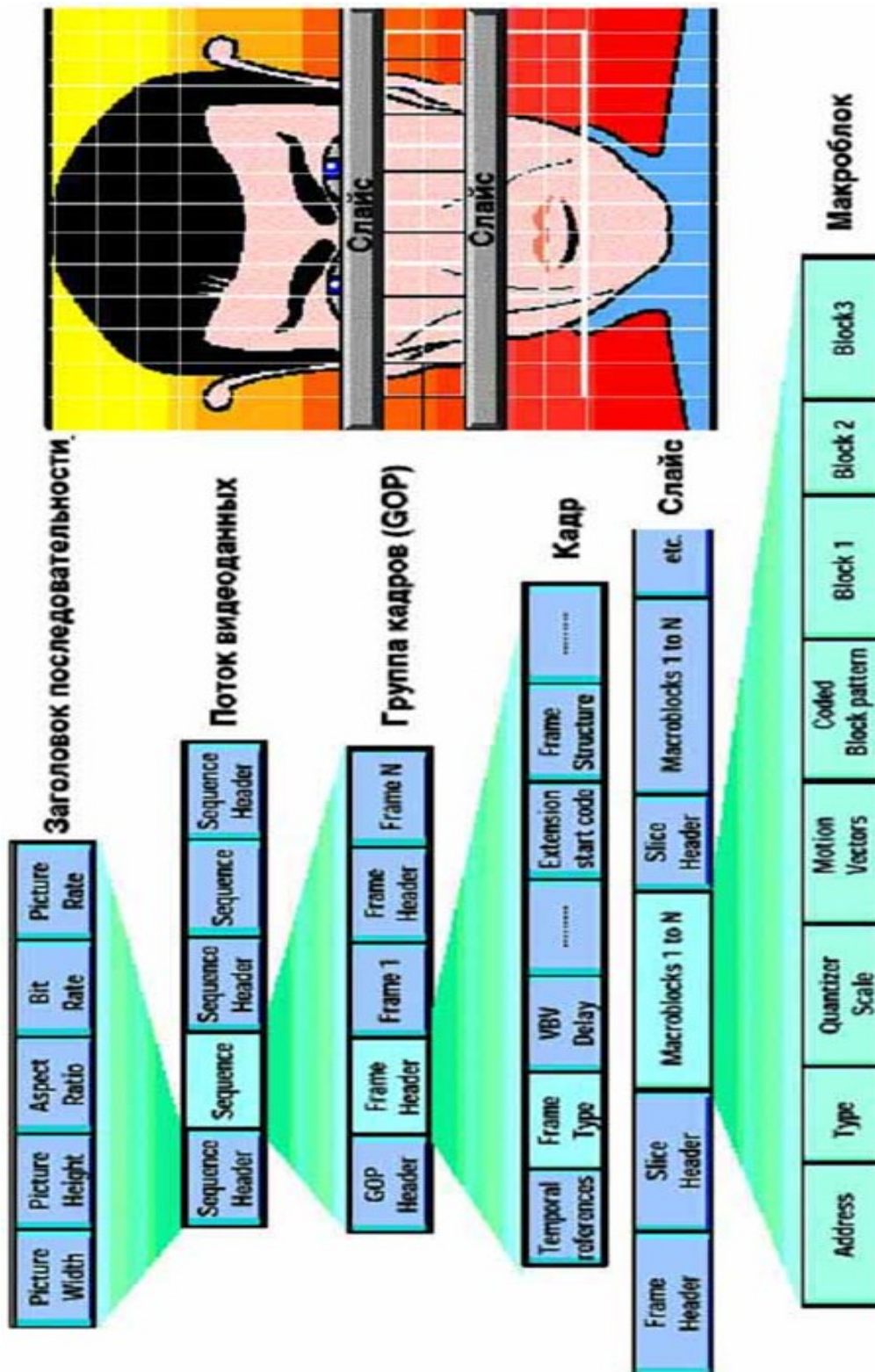
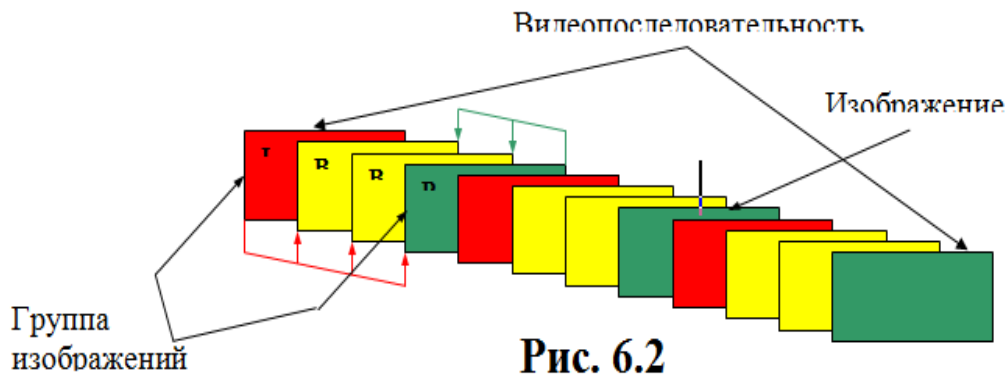


Рис. 6.1



Каждое изображение в группе, прежде чем оно было сжато, было преобразовано в три прямоугольные матрицы отсчетов: матрицу яркостного канала (Y) и две матрицы для сигналов цветности (C_R и C_B). Стандарт MPEG – 2 допускает различные структуры матриц. Соотношение между количеством отсчетов яркости и цветности определяется форматом дискретизации. В случае использования формата 4:2:0 количество отсчетов в каждой матрице сигналов C_B или C_R в 4 раза меньше, чем в матрице сигнала Y . Формат дискретизации 4:2:2 отличается тем, что по вертикали количество отсчетов одинаково для всех трех матриц, а по горизонтали матрицы сигналов цветности имеют в два раза меньшее число элементов. Формат дискретизации 4:4:4 дает одинаковое количество отсчетов во всех трех матрицах (см. рис.5.5).

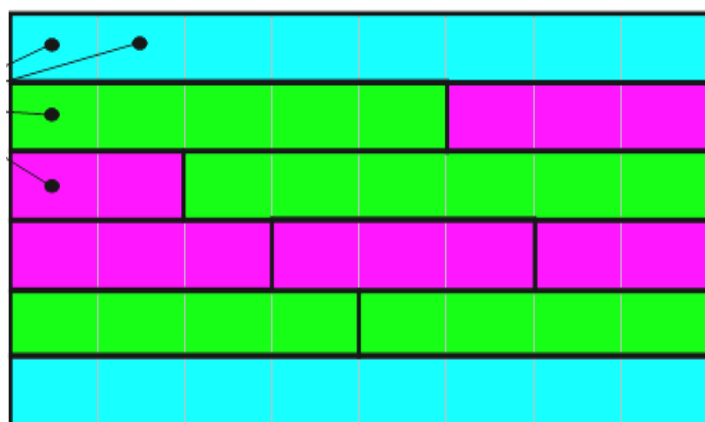


Рис. 6.3

В процессе обработки в кодере сжатия каждое изображение разделяют на срезы (slices – слайсы), а те, в свою очередь, состоят из макроблоков (см. рис. 6.3). Макроблок формируют из определенного числа блоков, содержащих одинаковое число элементов (8×8 пикселей). В макроблок всегда входит группа из четырех блоков с отсчетами яркостного сигнала, взятыми в области изображения с размерами: $16 \text{ пикселей} \times 16 \text{ строк}$, а также группа блоков с отсчетами сигналов цветности, взятыми в той же области изображения, что и отсчеты яркостного сигнала. Число блоков с отсчетами сигналов цветности (в одном макроблоке) зависит от формата дискретизации.

В изображении типа «кадр», когда используют и кадровое и полевое кодирование, возможны два варианта внутренней организации макроблоков (см. рис. 6.4). Применяя кадровое кодирование, каждый из четырех блоков канала яркости

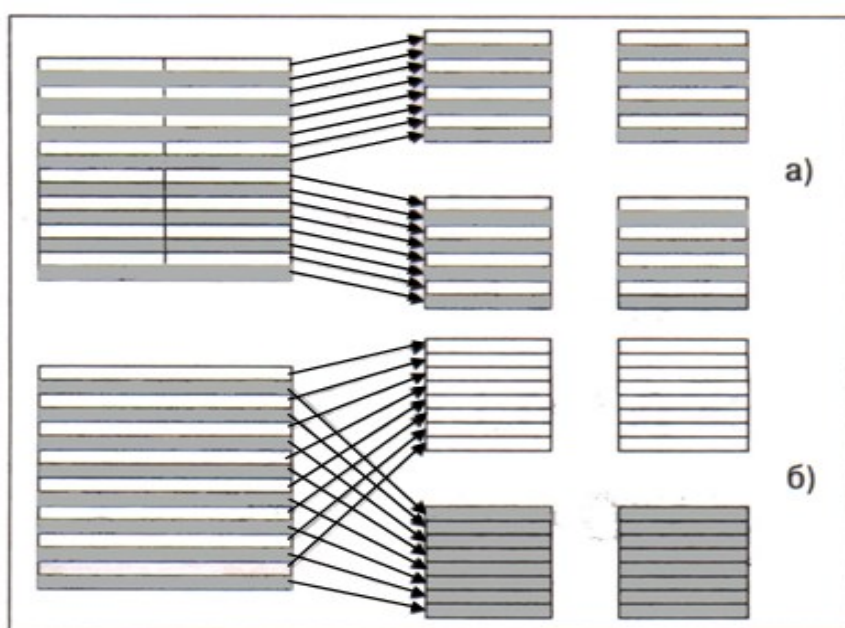


Рис. 6.4

формируют из нечетных и четных строк двух полей. При полевом кодировании каждый блок яркостного канала образован из строк только одного из двух полей. Два первых блока содержат отсчеты нечетных строк, а два вторых - из четных строк. Блоки канала цветности формируют по тем же правилам, когда используют

форматы дискретизации 4:2:2 и 4:4:4. Однако в формате дискретизации 4:2:0 блоки канала цветности организуются для выполнения ДКП в рамках кадровой структуры.

Все структурные элементы потока видеоданных (рис.6.1), кроме макроблок и блока, дополняются специальными, уникальными стартовыми кодами. Каждый элемент содержит заголовок, за которым следуют данные более низкого уровня.

В заголовок элемента высшего уровня – видеопоследовательности - включают разнообразную дополнительную информацию. Например, там указаны:

- размеры и соотношение сторон ТВ изображения,
- частота кадров,
- параметры матриц квантования,
- формат дискретизации цветности изображения,
- координаты основных цветов и белого цвета,
- параметры матриц для формирования яркостного и цветоразностных сигналов,

- параметры амплитудной характеристики (степень нелинейности– коэффициент гамма- коррекции),
- скорость потока данных,
- уровень и профиль кодирования в MPEG – 2.

Заголовок группы кадров должен включать в себя:

- временной код, необходимый для синхронизации (90кГц),
- параметры группы (числа M и N),
- информацию о редактировании группы.

Заголовок видеокадра содержит информацию:

- о типе кадра,
- о структуре кадра,
- об управлении буфером декодера,
- о рекомендованной задержке в буфере декодера.

Каждый видеокадр разделен на срезы (слайсы) - см. рис. 6.3.

Слайс – это объединение макроблоков, образующих непрерывную последовательность для сканирования вдоль строк.

Слайсы покрывают всю площадь изображения без пропусков и перехлестов. В заголовке среза записывают абсолютные значения основных параметров первого макроблока:

- пространственные координаты,
- векторы движения,
- значение коэффициента ДКП для постоянной составляющей.

Тогда в заголовках остальных макроблоков среза достаточно передавать разностные значения перечисленных параметров, которые, как правило, небольшие и допускают использование короткого кода. Наличие опорных параметров в заголовке среза обеспечивает возможность восстановления изображения вне зависимости от ошибок передачи в предыдущем срезе. Но появление ошибок передачи в пределах среза приводит к тому, что декодер игнорирует этот срез целиком и переходит к следующему срезу.

Макроблок содержит четыре блока яркостного сигнала и связанные с той же областью изображения блоки сигналов цветности. В заголовке макроблока дано:

- пространственный адрес,
- тип макроблока (I, P, B),
- применяемые матрицы квантования,
- векторы движения,
- описание режима кодирования.

Элементарный поток видеоданных на выходе кодера сжатия состоит из компрессированных изображений кадров (полей), существенно разных по объему информации в зависимости от режима работы кодера компрессии. Возможны два основных режима:

- с постоянной скоростью потока выходных данных;
- с постоянным уровнем качества декодированного изображения.

Управление степенью компрессии и скоростью потока возможно изменением параметров матрицы квантования. Чем более грубое квантование применяется, тем больше нулевых значений в матрице квантованных коэффициентов и тем меньше объем данных и скорость выходного потока. Однако, с увеличением степе-

ни компрессии растут необратимые искажения изображения из-за вносимых шумов квантования.

В режиме с постоянным качеством изображения используют фиксированные значения шагов квантования в матрице. Скорость потока компрессированных данных в этом случае становится переменной. Чем больше детальность изображения и чем быстрее перемещается объект в поле изображения, тем большее количество ненулевых значений коэффициентов в матрице ДКП, тем больше объем данных и скорость сжатого потока. Такой режим можно использовать при записи компрессированных потоков данных на дисковые накопители в условиях отсутствия ограничений на объем записанных данных. Но в этом случае возможны ограничения на скорость записываемого потока, она не может быть произвольно большой.

Режим с постоянной скоростью потока данных на выходе кодера сжатия необходим в системах передачи изображений по каналам связи с фиксированной пропускной способностью: в си-

стемах цифрового спутникового, наземного и кабельного телевизионного вещания.

6.2. Уровни и профили MPEG – 2

Стандарт MPEG – 2 можно представить в виде семейства взаимосогласованных совместимых цифровых стандартов сжатия телевизионных сигналов, причем алгоритмы сжатия обладают разной степенью сложности. В таблице 6.1 показано шесть вариантов алгоритмов сжатия (шесть профилей) для четырех уровней телевизионных сигналов, дающих разную степень детальности изображения. Самый низкий уровень (Low Level – LL), который получил именование «формат входного источника» (CIF - Source Input Format), был первоначально стандартизован как формат MPEG – 1. Выше в таблице 1 расположен основной уровень (Main Level – ML), предназначенный для стандартов телевизионного вещания обычной четкости (Standard Definition – SD). Два верхних уровня (High Level – HL, HL 14) рассчитаны на телевидение высокой четкости (High Definition – HD) и широкоформатное телевидение.

	Уровень	Simple	Main	SNR	Spatial	High	422
Профили	Изображения	I и P	I, P и B	I, P и B	I, P и B	I, P и B	I, P и B
	Формат	4:2:0	4:2:0	4:2:0	4:2:0	4:2:0, 4:2:2	4:2:2
High	Отсчетов в строке		1920			1920	
	Строк в кадре		1152			1152	
	Макс. скорость потока, Мбит/с		80			100	
High-1440	Отсчетов в строке		1440		1440	1440	
	Строк в кадре		1152		1152	1152	
	Макс. скорость потока, Мбит/с		60		60	80	
Main	Отсчетов в строке	720	720	720		720	720
	Строк в кадре	576	576	576		576	608
	Макс. скорость потока, Мбит/с	15	15	15		20	50
Low	Отсчетов в строке		352	352			
	Строк в кадре		288	288			
	Макс. скорость потока, Мбит/с		4	4			

Таб. 6.1

Входной формат низкого уровня получают путем субдискретизации сигнала цифрового ТВ сигнала основного уровня. Через кодер сжатия MPEG – 2 пропускается только одно чересстрочное поле каждого кадра. Это снижает четкость изображения по вертикали и временное разрешение. Число активных строк канала яркости в формате SIF – $576:2=288$. Для соответствующего снижения четкости по горизонтали черно-белых деталей изображения снижают в два раза число цифровых отсчетов яркостного

сигнала на строку (их становится 352). Число отсчетов на строке в каналах цветности также уменьшают до 176.

Основной уровень стандарта предназначен для передачи изображения, содержащего в яркостном канале 720 отсчетов на активной части строки и 576 активных строк.

Форматы двух высоких уровней соответствуют изображениям высокой четкости с удвоенным числом активных строк разложения в канале яркости (1152) и удвоенным числом отсчетов на строке (1440 - для формата изображения 4:3, 1920 – для формата изображения 16:9).

Профиль, в котором используется наименьшее число функциональных операций по компрессии данных, назван «простым профилем» (Simple Profile-SP) - см. Таб.6.1. В кодере сжатия этого профиля формируют только I и P кадры, а также применяют ДКП. Следующий профиль – «основной» (Main Profile-MP) содержит все операции простого профиля и одну новую: предсказание по двум направлениям – формирование В кадров. Эта новая

операция повышает качество ТВ изображения, по сравнению с простым профилем, при одинаковой скорости цифрового потока.

За основным профилем следует профиль с масштабированным отношением сигнал \ шум (Signal to Noise Ratio – SNR P) В этом профиле добавляется еще одна операция, которая повышает устойчивость цифрового сигнала, обеспечивает сохранение работоспособности системы при неблагоприятных условиях приема. Поток видеоданных в кодере третьего профиля разделяют на две части – два слоя. Один слой, в который вводят дополнительные биты мощной защиты информации, называют основным сигналом. Основной сигнал устойчиво декодируется всегда, в том числе при низкой напряженности радиополя, в случае приема на комнатную антенну. Вторая часть потока (второй слой – дополнительный сигнал) содержит менее значимую часть информации, но, когда декодируют основной и дополнительный сигнал, заметно повышается отношение сигнал \ шум. Таким способом сохраняют устойчивое декодирование цифрового ТВ сигнала при неблагоприятных условиях приема. Потеря слабо защищенного до-

полнительного сигнала приводит к возрастанию шума, т.е. помехоустойчивое кодирование, требующее введение дополнительных бит информации, обменивается на повышение шума. Дополнительный сигнал несет информацию об ошибках квантования коэффициентов ДКП, поэтому декодирования второго слоя уменьшает шумы квантования. Основной сигнал (без дополнительного) можно пропускать через низкоскоростные каналы.

Четвертый профиль назван «специальным масштабируемым профилем» (Spatial Profile – SP). В этом профиле, по сравнению с третьим, добавлена новая операция: разделение потока видеоданных по критерию четкости ТВ изображения. Видеоданные сигнала телевидения высокой четкости (HDTV) разделяют на три потока: первый – это основной значимый поток видеоданных, например, по стандарту разложения 720 отсчетов×576 строк. Второй поток несет дополнительную информацию об изображении с числом строк 1152 (1440 отсчетов × 1152 строк). Декодирование двух потоков дает изображение HDTV, но с пониженным отношением сигнал \ шум. В третьем потоке содержится менее

значимая информация, ее декодирование повышает отношение сигнал \ шум до уровня, принятого в HDTV. Указанные три потока можно оценить по величине: основной поток - 6 Мбит\с, дополняющий до HDTV – 6 Мбит\с, поток, повышающий отношение сигнал \ шум до визуально незаметного значения -12 Мбит\с.

Пятый профиль называют «высшим», а шестой - «студийным» (High Profile - HP, 422P). Оба профиля включают в себя все операции, применяемые в четвертом профиле, но число отсчетов двух сигналов цветности увеличивается и становится равным числу отсчетов яркостного сигнала, в соответствии с форматом дискретизации 4:2:2. Такое изменение позволяет сохранять цветное разрешение (по вертикали), достоверность изображения в цвете после многократного цифрового кодирования и декодирования в процессе телевизионного производства.

Шестой (студийный) профиль должен обеспечивать возможность монтажа сжатых потоков, поэтому на выходе кодера формируют короткие группы изображений (GOP). В целом, студийный профиль служит для производства видеопродукции,

окончательного монтажа и компоновки программ, поэтому его еще называют «профессиональным». Профиль 422Р стал полноценным отдельным профилем MPEG – 2, обеспечивает разрешение ТВ изображения, соответствующее рекомендациям стандарта ITU – R601, монтаж с точностью до кадра, допускает многократные перезаписи, дает приемлемое качество коммутации транспортных потоков. Основные достоинства этого профиля: формат дискретизации сигналов цветности 4:2:2 (в отличие от формата 4:2:0), увеличенное число активных строк разложения (608 вместо 576), возможность работать с повышенными скоростями цифрового потока (до 50 Мбит\с).

Следует отметить, что только часть возможных сочетаний уровней и профилей таблицы 6.1 достаточно разработаны и приняты в качестве стандарта. Большинство выпускаемых в настоящее время кодеров и декодеров в интегральном исполнении относятся к основному профилю и основному уровню (MP@ML). Однако имеются реализации систем для основного уровня студийного профиля (422Р@ML), например, системы цифровой ви-

деозаписи Betacam SX (GOP имеет два кадра, скорость потока 18Мбит\с) и IMX (GOP содержит один кадр, скорость потока 50Мбит\с).

6.2. Стандарт MPEG – 4

Стандарт H. 264\AVC (или MPEG – 4 часть 10) был разработан с целью обеспечения более высокой, чем в существующих стандартах, пропускной способности канала при сохранении высокого качества изображения. Также поставлена цель: создать гибкий стандарт, который может работать с разной скоростью передачи данных и с разной детальностью изображения, обеспечивая совместимость с разными сетевыми стандартами.

По сравнению с алгоритмом MPEG – 2 стандарт AVC имеет ряд новых характеристик и функций.

Усовершенствовано энтропийное математическое кодирование за счет применения методов, адаптированных к контексту, т.е. к содержанию изображения: CAVLC (Context Adaptiv Variable Length Coding) и CABAC (Context Adaptiv Binary Arithmetic Coding).

Уменьшены артефакты на границах блоков в изображении путем введения специального фильтра – Loop Deblocking Filter.

Введена изменяющаяся блочная структура: в качестве единиц кодирования, помимо блоков 16×16 , могут выступать блоки размерами 8×8 , 8×4 , 4×8 , 4×4 .

Добавлена возможность использования нескольких изображений в качестве опорных при построении текущего кадра (Multiple Referenc Frames), а режим предсказания и для В и для Р кадров – двунаправленный.

Высокая точность восстановленных В кадров позволяет использовать их в качестве опорных для предсказания других В и Р кадров.

Если блок или макроблок кодируют в режиме Intra, то для него формируют блок предсказания, основываясь на предварительно закодированных и восстановленных блоках (Intra Frame Prediction).

Повышена точность определения векторов компенсации перемещения Р – макроблоков (до $1/4$ пиксела яркостного канала)

за счет возможности выбора разных размеров сравниваемых макроблоков вплоть до размера 4×4 отсчета (Inter Frame Prediction).

В стандарте H.264\AVC используется пять основных уровней в каждом профиле. Каждый уровень относится к определенному максимуму скорости потока и числу макроблоков в кадре, а также к определенному разрешению в кадре. Разрешение на экране может меняться от 176×144 до 4096×2304 на уровне 5.1. Такой диапазон изменения детальности изображения перекрывает все форматы от стандартов используемых в мобильных телефонах (QCIF – Quarter Common Interchange Format) до вариантов 2K, 4K системы HDTV.

Для классификации алгоритмов сжатия и различных типов использования в стандарте H.264\AVC введены семь профилей:

Baseline Profile – базовый профиль, нацелен на случаи использования ограниченного компьютерного ресурса (для видеоконференций и мобильных устройств).

Main Profile – основной профиль. Он создавался с учетом вещательных служб, но в значительной мере заменен высоким профилем, ставшим основным для вещания и записей.

Extended Profile – расширенный профиль, предназначен в основном для цифровых видео потоков, обладает довольно высокими возможностями сжатия с хорошим сопротивлением к потере данных.

High Profile – высокий профиль. Основной профиль для вещания и записи на диски, в частности для приложений системы HDTV. В этом профиле повышена эффективность кодирования, например, за счет использования макроблоков размером 8×8 пикселей. Профиль применяют для записи на дисковые форматы HD DVD, Blu – ray.

High 10 Profile – этот профиль расширяет высокий профиль, поскольку предназначен для обработки изображений, полученных десятибитным кодированием.

High 4:2:2 Profile – это расширение профиля High 10 для применения в профессиональной телевизионной аппаратуре, в

которой используется чересстрочное разложение и формат дискретизации 4:2:2.

High 4:4:4 Profile – это расширение профиля High 4:2:2 для цифровых потоков, полученных в формате дискретизации 4:4:4 и с использованием дискретизации по уровню вплоть до 12 бит на отсчет. Профиль эффективен для снижения ошибок в цветовом RGB пространстве.

Profile	Chroma Format	Max Sample Depth	Max Bit Rate	
			Level 3	Level 5
			Mb\s	
Baseline	4:2:0	8 bits	10	135
Maine	4:2:0	8 bits	10	135
Extended	4:2:0	8 bits	10	135
High	4:2:0	8 bits	12,5	168
High 10	4:2:0	10 bits	30	405
High 4:2:2	4:2:0; 4:2:2	10 bits	40	540
High 4:4:4	4:2:0; 4:2:2; 4:4:4	12 bits	40	540

Таб. 6.2

Рассмотренные профили стандарта H.264/AVC представлены в таблице 6.2.

Контрольные вопросы по теме 6.

1. Как влияет число кадров в группе изображений на степень сжатия цифрового потока?
2. Чем определяется число блоков в одном макроблоке?
3. Какие параметры цифрового ТВ изображения указывают в заголовке видеопоследовательности?
4. Как влияет потеря заголовка макроблока или заголовка среза на получаемое изображение?
5. Какой режим работы кодера компрессии нужен для систем передачи ТВ изображений по телевизионным каналам связи?
6. Чем отличаются характеристики уровней в таблице стандартов MPEG – 2?
7. Как влияет использование кадров типа В на качество изображений, получаемых от цифровых потоков основного уровня стандарта MPEG – 2?

8. Как разделяют цифровые потоки на два, три слоя при использовании третьего и четвертого профилей MPEG – 2?
9. Каково назначение студийного профиля стандарта MPEG – 2?
10. Какие новые функции введены в процесс обработки сигналов в стандарте H.264\AVC?
11. Какой из профилей стандарта AVC предназначен для вещания и записи на диски?

ЛИТЕРАТУРА

1. Цифровое телевидение. Кривошеев М.И., Виленчик Л.С., Красносельский И.Н. и др; под ред. Кривошеева М.И. М.Связь, 1980 – 264с.
2. Телевидение. Учебник для вузов. Джакония В. Е., Гоголь А.А., Друзин Я. В. и др.; Под ред. Джакония В. Е. – М. Радио и связь, 1997. – 640с.
3. Локшин Б. А. Цифровое вещание: от студии к телезрителю. – М. Компания САЙРУС СИСТЕМС, 2001. – 446с.
4. Брайс Р.. Справочник по цифровому телевидению. Пер. с англ. – г. Жуковский: Эра, 2001. – 230с.
5. Сергеев Н.П., Вашкевич Н. П. Основы вычислительной техники. – М., Высшая школа, 1988. – 311с.
6. Смирнов А.В. Основы цифрового телевидения. – М., Горячая линия – Телеком, 2001. - 224с.
7. Смирнов А.В., Пескин А.Е. Цифровое телевидение: от теории к практике. – М., Горячая линия. Телеком.2005. - 352с.

8. Харитонов М.И. Цифровая видеозапись (учебное пособие). – М., ИПК работников ТВ и РВ, 1992. – 146с.
9. Poynton C. Digital Video and HDTV Algorithms and Interfaces. Morgan Kaufman Publishers, 2007. – 694.
10. A Guide to MPEG Fundamentals and Protocol Analysis. – Tektronix. – 2009. – 95.
11. Wiegand T., Sullivan G. J. and others. Overview of the H.264\AVC Video Coding Standard. IEEE transactions on circuits and systems for video technology, VOL.13, NO. 7, JULY 2003, p.560-576.