

Стандарты цифровых видеоинтерфейсов

Еще в 1970-е годы началось проникновение цифровой техники в телевидение, что привело к значительному совершенствованию технологии производства телевизионных программ. Цифровые студии монтажа обеспечивали наложение и совмещение изображений, введение и редактирование текстовой и графической информации, компьютерную обработку и синтез компьютерных изображений. 1970–80-е годы были отмечены широким распространением цифровых методов обработки видео- и телевизионных сигналов. На рынке в первую очередь профессиональной аппаратуры появились сотни компаний, представляющих разные страны и располагающих своей аппаратурой, которая довольно часто была несовместима как по используемым форматам цифровых данных, так и по видеоинтерфейсам. Разработка рекомендаций была направлена на унификацию форматов кодирования и передачи цифровых видеосигналов для того, чтобы обеспечить совместимость профессионального студийного оборудования телестудий, разрабатываемого разными компаниями и разными странами.

Александр САМАРИН

Унификацией и стандартизацией интерфейсов для телевизионной аппаратуры занимаются не только национальные комитеты, но и международные организации, такие как ITU-R (International Telecommunication Union-Radio), Общество инженеров кино и телевидения (SMPTE) и Европейский союз вещания (EBU).

Первый телевизионный стандарт, принятый в 1941 году Федеральной комиссией по связи США (ФКС), актуален до сих пор. В нем был определен формат телевизионного изображения — 525 строк и 60 полей в секунду. Federal Communications Commission (FCC, <http://www.fcc.gov/>) была образована в 1934 году.

Стандартизация параметров вещания систем цифрового телевидения проводится сектором радиосвязи ITU-R (<http://www.itu.int/ITU-R/>). Серия стандартов с индексом BT — Broadcasting service (Television) относится к сектору интерфейсов и методов обработки сигналов широкоэмитательного телевидения.

Стандарт BT.601 (до 1992 года CCIR-601)

Это первый стандарт, который регламентировал цифровое представление компонентного телевизионного сигнала. Стандарт был разработан комитетом CCIR и назывался, соответственно, CCIR-601. После преобразования CCIR в комитет ITU-R стандарт изменил название на BT.601. Действие стандарта распространялось на телевизионные форматы изображения как с разверткой 525 строк (60 Гц) — NTSC, так и с разверткой 625 (50 Гц) — PAL/SECAM. В стандарте определялся тип цифрового фор-

мата для цветового пространства Y'CbCr, формат кодирования 4:2:2, квантование компонент Y'CbCr, и разрешение. Разрешение активного поля изображения для видеосистем формата 525/60 было выбрано 720×486, а для формата 625/50 — 720×576. Стандарт был в первую очередь предназначен для унификации цифровых интерфейсов оборудования телевизионных студий.

В качестве частоты оцифровки видеосигнала была выбрана частота 13,5 МГц.

Ниже дано обоснование рекомендуемых в стандарте базовых параметров.

Кодирование цветового пространства

Восприятие цвета представляет собой спектральную чувствительность света сетчаткой глаза.

Зрительная система человека использует трехкомпонентную модель представления цветового пространства за счет наличия трех типов цветных фоторецепторов (колбочек). Цветовое пространство, или же цветовая модель (цветовая система), является методом, посредством которого мы можем описывать, создавать и видеть цвет. Существует множество цветовых пространств, и большинство из них описывает каждый цвет как точку в трехмерном координатном пространстве. Каждая система оптимизирована под конкретную область применения. Три наиболее популярные модели цветового пространства:

- RGB применяется в компьютерной графике;
- YIQ, YUV и Y'CbCr используется в телевизионных и видеосистемах;

- CMYK используется в полиграфии цветной печати.

Как при аналоговой, так и при цифровой передаче и записи телевизионного изображения возникают проблемы, связанные с необходимостью обеспечения большой полосы пропускания и больших информационных объемов. Сокращение объемов полезной информации и полосы пропускания удалось получить благодаря особенностям человеческого зрения. В отличие от систем технического зрения человеческий глаз не воспринимает цвет при низких уровнях яркости и малых размерах цветных объектов. То есть колбочки глаза воспринимают только низкочастотный спектр изображения. С позиции зрительной системы изображение может быть рационально представлено на базе трех плоскостей или компонент — плоскости яркости, представляющей мелкие черно-белые детали изображения, и двух плоскостей, дающих представление о цвете крупных деталей изображения. Для яркости требуется максимальная полоса пропускания, а полосы пропускания цветовых компонент могут быть урезаны без потери качества для зрительной системы. Именно эта особенность зрительной системы человека использовалась при разработке всех систем цветного телевидения.

Цветовое пространство Y'CbCr

В рекомендациях ITU-R BT.601 было предложено использовать цветовое пространство Y'CbCr в качестве базового для исходного представления сигналов изображения широкоэмитательного цифрового телевидения.

Таблица 1. Основные параметры систем передачи телевизионного изображения

Название	Сигналы	Разъемы	Достоинство	Недостатки
RGB	Три сигнала RGB + Hsync, Vsync (сигналы синхронизации могут отсутствовать)	D-sub15	Отличное качество	Большая полоса частот, большая стоимость оборудования для передачи и преобразования изображения
Компонентный	Три сигнала Y-яркость, Pb и Pr	Три RCA	Высокое качество, не требуется декодирование, отсутствие перекрестных помех цвет-яркость	Качество немного хуже, чем в системе RGB, но практически незаметно для зрительной системы
S-video	Два сигнала Y-яркость, Pb+Pr — цветность	4-контактный mini-DIN	Реализация дешевле компонентной системы. Чуть лучшее качество изображения, чем для композитного сигнала	Худшее качество изображения за счет помех при декодировании цветоразностных сигналов
Композитный	Video, один сигнал	Один RCA	Простота и дешевизна	Самое худшее качество изображения вследствие декодирования, наличие перекрестных помех цвет-яркость, сложное кодирование и декодирование

В данном сокращении Y' — сигнал яркости с гамма-коррекцией (на что указывает символ '), Cr (Chrominance Red) — цветоразностный сигнал красного, а Cb (Chrominance Blue) — цветоразностный сигнал синего. Цветоразностные сигналы определяются как Cr = R-Y и Cb = B-Y. В процессе разработки систем цветного телевидения было обнаружено, что от 60 до 70% яркости реально представлено в зеленой цветовой компоненте.

Поэтому компонента яркости должна быть удалена из сигналов Cb (синего) и Cr (красного) цветов, чтобы обеспечить максимальную независимость всех трех компонент видеосигнала.

Система Y'CbCr является версией цветового пространства YUV и отличается изменением масштаба и смещением компонент. Y представляет яркость (luminance или brightness), U представляет цвет, и V — представляет насыщенность света. Следует отметить, что цветовое пространство Y'CbCr относится к цифровому интерфейсу, а термин YPbPr используется для названия аналогового компонентного видеосигнала, например для формата компонентного выходного сигнала DVD-проигрывателя. Иногда эти два понятия ошибочно считают тождественными.

Собственно компонентная система передачи телевизионного изображения сигналами яркости и цветоразностными сигналами используется в любой из трех систем телевидения. Впервые она была применена в системе NTSC еще в 1953 году. В данном стандарте ITU-R BT.601 даны конкретные коэффициенты

для представления сигналов цветового пространства RGB в пространстве Y'CbCr независимо от типа источника NTSC/PAL/SECAM.

В настоящее время в телевизионной и видеоаппаратуре используются несколько систем представления телевизионных сигналов. Основные параметры этих систем указаны в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что оптимальными свойствами обладает компонентная система представления телевизионного сигнала. Формат RGB обеспечивает лучшее качество изображения, однако для того чтобы получить то же самое изображение в формате RGB, все три цветовых компонента должны иметь одинаковые полосы пропускания. А это требует больших объемов для хранения видеоинформации и большей суммарной полосы передачи. К тому же обработка изображения в пространстве RGB более сложная. При изменении цвета любого пикселя необходимо чтение, модификация и перезапись всех трех компонент. Если же информация будет представлена в формате Y'CbCr, то обработка изображения может проводиться значительно быстрее.

Поскольку глаз менее чувствителен к Cb и Cr, для их передачи применяется вдвое меньшая скорость, чем для сигнала яркости. Отсутствие корреляции между тремя плоскостями пространства Y'CbCr позволяет производить независимую обработку и анализ каждого канала в отдельности. Человеческое зрение более чувствительно к изменению сигналов яркости, нежели цвета, поэтому Cr- и Cb-плоскости могут быть сжаты с боль-

шим коэффициентом компрессии, чем яркостная компонента Y'.

В JPEG- и MPEG-кодеках в качестве исходной информации используется изображение, представленное в цветовом пространстве Y'CbCr.

Другое достоинство данной цветовой системы — обеспечивается возможность простая схема приема и отображения цветного изображения на черно-белом экране телевизора. Для этого достаточно использовать только сигнал яркости Y, и нет необходимости реализовывать декодер цветоразностных сигналов.

Частота дискретизации

При цифровом преобразовании видеосигнала обеспечивается последовательная «нарезка» трех компонент Y', Cb и Cr кадра видеосигнала с определенной частотой. Весь сигнал оцифровывается полностью, в том числе и поля сигналов строчной синхронизации. В результате создается три матрицы (плоскости) битовых карт, в которых представлены цифровые образы трех компонент системы. На рис. 1 представлена модель преобразования видеосигналов.

На рис. 2 показан аналоговый видеосигнал одной компоненты для одной строки.

В кадре цифрового потока, в скобках, показаны порядковые номера слов (дискретов), соответствующих указанным фазам видеосигнала.

Изображение высокого качества имеет полосу частот сигнала яркости 6 МГц. Для адекватного преобразования аналогового сигнала в цифровой код требуется частота дискретизации не менее 12 МГц. С другой стороны, частота должна быть кратна строчным частотам стандартов 15 625 Гц (625 строк) и 15 734, 26 573 Гц (525 строк). Нет смысла выбирать слишком высокую частоту, поскольку это значительно увеличит полосу пропускания канала, а также стоимость обработки и транспортировки цифрового изображения. Минимальная частота, кратная обоим числам одновременно и превышающая 12 МГц, — это частота 13,5 МГц.

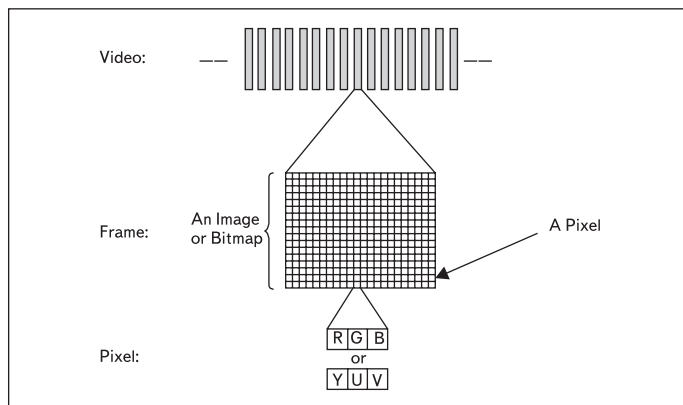


Рис. 1. Модель преобразования видеосигнала в цифровую форму

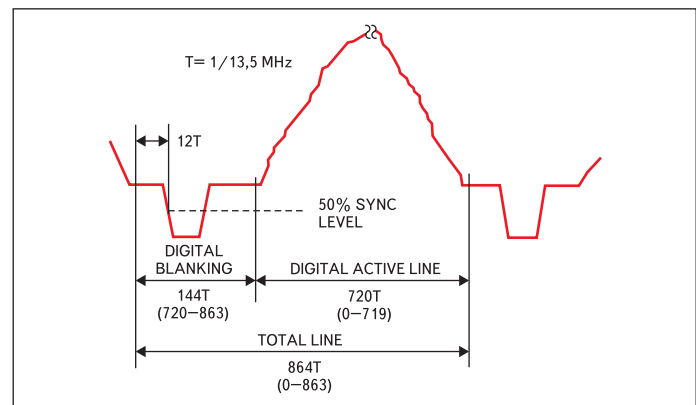


Рис. 2. Временные соотношения при цифровом кодировании видеосигнала

Человеческий глаз более чувствителен к изменению сигналов яркости, нежели цветowych сигналов. Поэтому цветковые компоненты могут сжиматься отдельно от яркости и с большим коэффициентом компрессии. Для передачи цветоразностных сигналов выбрана частота вдвое меньшая, то есть 6,75 МГц. Этот стандарт цифрового кодирования условно называется 4:2:2, что отражает соотношение частот дискретизации сигналов яркости и двух цветоразностных сигналов.

Частота квантования 13,5 МГц выбрана в соответствии с используемым уровнем разрешения и предназначена для телевизионных стандартов NTSC (525 строк) и PAL и SECAM (625 строк).

Рекомендация ITU-R BT.656

Стандарт ITU-R BT.601 не содержал спецификации цифрового интерфейса, поэтому через четыре года после его появления возникла потребность в новом стандарте, содержащем детальное описание формата представления данных и электрофизическую спецификацию интерфейса.

В 1986 году был разработан первая редакция стандарта ITU-R BT.656 (бывший CCIR-656). Стандарт BT.656 определял параллельный и последовательный интерфейсы для передачи 4:2:2 Y'CbCr цифрового потока видео между блоками студийного видеоборудования. В дальнейшем стандарт редактировался и дополнялся в 1992, 1994, 1995 и 1998 годах.

В стандарте были введены параметры синхросигналов в потоке и изменены области допустимых цифровых значений для сигналов яркости и цветоразностных сигналов.

Интерфейс BT.656 был первоначально разработан для унификации междомодульных и аппаратных интерфейсов цифрового оборудования профессиональных телевизионных студий. Сегодня интерфейс широко используется и в бытовой аппаратуре: в различных телевизионных приставках и декодерах, в цифровых камерах, аппаратуре видеонаблюдения и т. д.

Уровень интеграции в настоящее время позволил реализовать аппаратуру интерфейса как один из возможных цифровых входных и выходных интерфейсов в микросхемах телевизионной и видеоаппаратуры профессионального и бытового назначения. Данный тип широко используется в качестве цифрового интерфейса в различных микросхемах видеопроцессора, кодеках, компрессорах, конверторах, в микродисплеях, например в OLED-микродисплее eMagin.

Развитие стандартов BT.601 и BT.656 нашло детальное отражение в стандартах SMTE.

Формат передаваемых Y'CbCr видеоданных

Аналоговые данные компонентного сигнала Y'CbCr в формате 4:2:2 преобразуются в циф-

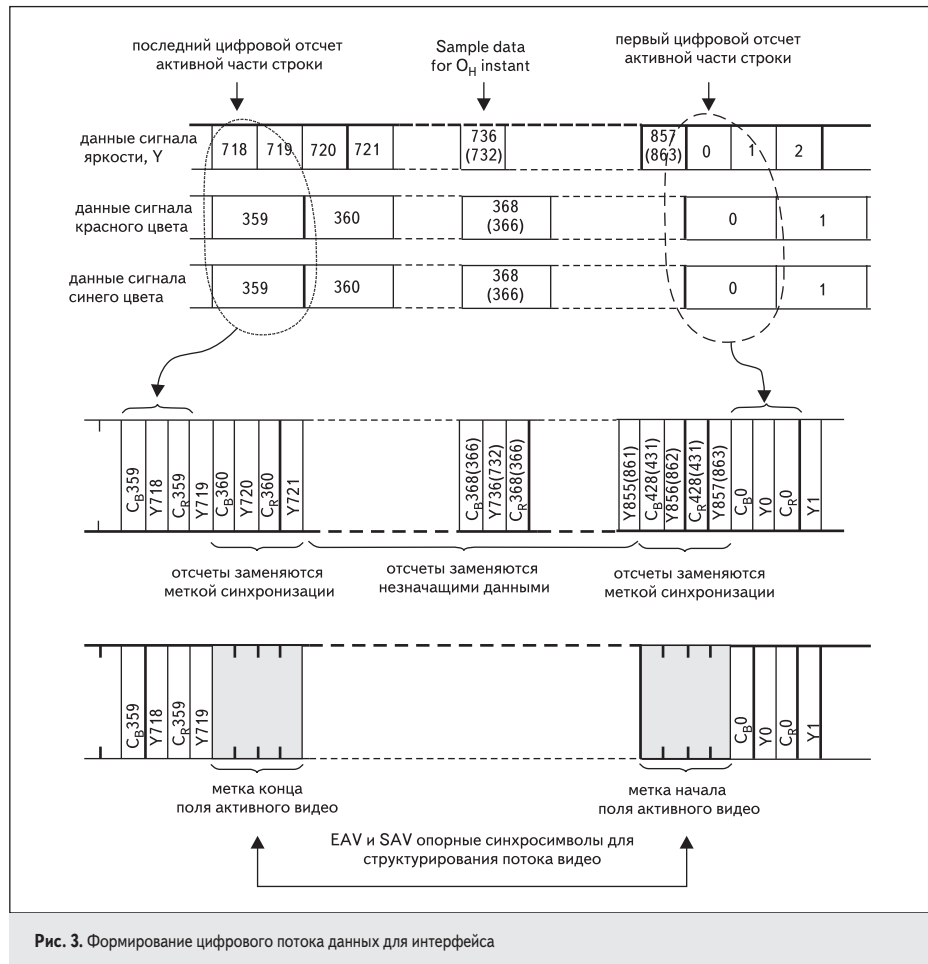


Рис. 3. Формирование цифрового потока данных для интерфейса

ровые данные Y'CbCr, которые затем мультиплексируются в поток 8-или 10-разрядной шины в следующем порядке $C_b0Y0Cr0Y1Cb2Y2Cr2$ и т. д. На рис. 3 показана диаграмма формирования сигналов цифровой шины BT.656.

В стандарте регламентируется активное разрешение 720×486 (для видеосистем 525/60, NTSC) или 720×576 (для видеосистем 625/50, PAL/SECAM).

Первому пикселю соответствует компонента яркости $Y0$ и цветковые компоненты $Cr0$ и $Cb0$. А вот для второго пикселя передается только яркостная компонента $Y1$, красная цветковая компонента для него используется та же, что и для первого пикселя $Cr0$, а синяя компонента $Cb2$ берется от третьего пикселя. Таким образом, получаем первичное сжатие полосы, занимаемой видеосигналом.

После каждого SAV-кода поток активных данных всегда начинается с кода C_b . В мультиплексируемом потоке смежные коды цветоразностных сигналов, относящихся к одному пикселю изображения, группируются как C_b , Y' , Cr . Аналоговые сигналы яркости изображения квантуются с частотой дискретизации 13,5 МГц, а цветоразностные сигналы — с частотой 6,5 МГц. Это дает в строке 720 элементов изображения с 24-разрядным представлением и форматом 4:4:4 Y'CbCr-данных. Затем эти данные конвертируются в формат 16 разрядов 4:2:2 Y'CbCr. В резуль-

тате получаем для активной части строки 720 точек сигнала яркости (Y') и по 360 точек для цветковых компонент C_b и Cr . Для поочередной передачи сигналов яркости (Y') и цветковых компонент (C_bCr) частота дискретизации должна быть увеличена вдвое, соответственно, вместо 13,5 МГц получаем 27 МГц.

Параллельный интерфейс BT.656 может использовать 8- или 10-разрядную шину для передачи Y'CbCr-данных и 27-МГц сигнал синхронизации. В первое время для передачи сигналов данных и синхронизации использовались уровни ЭСЛ-логики. Вместо обычных сигналов строчной и кадровой синхронизации (HSYNC, VSYNC), которые передавались в аналоговых интерфейсах, в BT.656 применяются уникальные временные кодовые посылки, вставленные в полезный поток данных. Это уменьшило число как проводов в шине, так и выводов микросхем кодеров/декодеров, необходимых для поддержки шины BT.656 видеоинтерфейса.

Фундаментальным положением кодирования в стандарте BT.656 является резервирование в потоке цифровых данных кодовых комбинаций со всеми единицами и всеми нулями в восьми старших разрядах. Они применяются в качестве опорных сигналов для структурирования цифрового потока. Следовательно, диапазон возможных значений для сигналов яркости и цветов становится

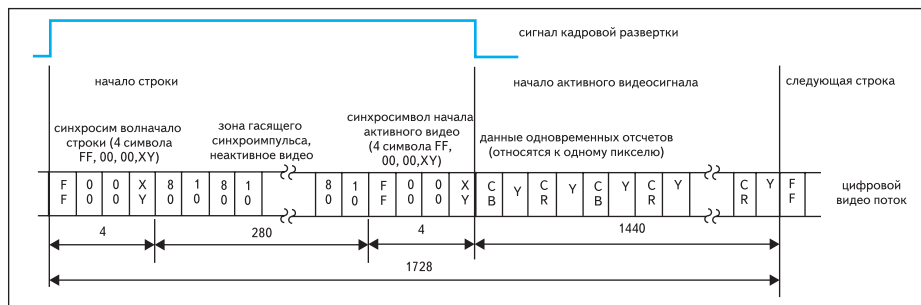


Рис. 4. Формат передачи для видеостандарта 625 строк / 50 Гц

уже 0..254, а не 0..256 для 8-разрядных слов (или 1016 из возможных 1024 разрядных 10-разрядов слов).

Данные сигналов яркости и цветовых компонент для последовательных пикселей передаются в следующем порядке:

$$C_B, Y', C_R, Y', C_B, Y', C_R, \text{ и т. д.,}$$

где тройки последовательных слов C_B, Y', C_R соответствуют сигналу яркости и цветоразностным сигналам для последовательных пикселей. То есть сигнал яркости (высокочастотная компонента изображения) передается для каждого пикселя, а цветоразностные (низкочастотные компоненты) передаются с прореживанием. На рис. 4 показан цифровой формат представления одной строки видеоизображения.

268 периодов зоны Blanking между синхрословами EAV и SAV может быть использовано для передачи служебной или дополнительной информации, такой как аудио, субтитры, телетекст. Это позволяет создать единый канал для передачи видео-, аудио- и служебной информации.

Полоса пропускания дополнительного канала: $288 \text{ (число байт дополнительного канала в строке)} \times 576 \text{ (вертикальное разрешение)} \times 50 \text{ (Гц)} = 8,2944 \text{ Мбайт/с}$. Такой полосы хватит и для передачи квадроаудиосигналов высокого качества.

Для передачи данных между микросхемами в пределах одного блока вместо ЭСЛ-сигналов могут быть использованы сигналы с TTL-уровнями.

В спецификациях ВТ.656 указаны ограничения на диапазоны представления цифровых компонент. Так, компонента Y' (яркость, 8 разрядов) должна использовать значение 16 для черного цвета и 235 — для белого. Другими словами, для яркости доступно $235 - 16 = 219$ градаций. Значения 0 и 255 используются для синхронизации, остальные значения из диапазонов 1–15 и 236–254 не являются корректными. Значения U, V также ограничены диапазоном от 16 до 239 (235 значений). А вот нулевым значением для U и V является число 128. Напомним, сигналы C_g и C_b являются цветоразностными и их значения могут быть отрицательными.

Структура кодовых посылок EAV и SAV

Специальные комбинации четырех последовательных слов обеспечивают структуризацию кадра данных и разделяют поток на зоны активного видео двух полей чересстрочной развертки, а также зону неактивного видео (Blanking), в котором могут следовать дополнительные данные пользователя. Их положение в потоке соответствует временному положению сигнала HSYNC. Начало поля Blanking или же конец поля активного видео обозначено синхросимволом EAV (end of active video), далее следует поле Blanking, которое завершается синхросимволом SAV (start of active video). Затем начинается поле активного видео, состоящего из последовательных слов $Y'CbCr$. Формат синхросимвола для представления сигналов EAV и SAV показан в таблице 2.

Правило генерации битов защиты:

- $P3 = V \oplus H$
- $P2 = F \oplus H$
- $P1 = F \oplus V$
- $P0 = F \oplus V \oplus H$

Значок \oplus представляет функцию исключения ИЛИ. Эти защитные биты позволяют обнаруживать и исправлять однократные ошибки, и даже множественные ошибки в приемнике. Хотя защитные коды и формируются в передатчиках интерфейса ВТ.656, в большинстве микросхем приемников они просто игнорируются. Причина этого проста — уровень ошибок при передаче сигналов шины очень низкий, за счет сильной избыточности видеoinформации влияние одиночных ошибок на качество изобра-

жения незначительно и малозаметно. С другой стороны, стоимость реализации аппаратуры модуля детектирования и исправления дефектов путем подмены из элементов соседних строк или соседних элементов довольно высокая — требуются корреляторы и наличие памяти.

Дополнительный канал данных

Дополнительный пакетный канал предназначен для передачи цифрового аудио, титров и телетекста.

В стандарте ВТ.656 обсуждается структура дополнительного канала в самом общем виде. А вот стандарт SMPTE 291M уже детально описывает данный канал.

Строки, которые содержат активные видеоданные, дополнительные данные, передаются в интервале между метками EAV и SAV, определяющими границу кадрового гасящего импульса. Порядок следования дополнительных данных:

- EAV — синхросимвол конца активного видео;
- DID (Data ID) — идентификатор типа данных;
- DBN (Data Block Number) — номер блока данных;
- DWC (Data Word Count) — счетчик числа слов в пакете данных;
- UDW (User Data Words) — массив слов пользовательских данных. Их число соответствует значению, переданному в поле DWC;
- Check Sum — контрольная сумма;
- SAV — синхросимвол начала активного видео.

Существует два типа форматов для служебных данных. В основном Type 1 (более старый формат), использует единственное ID-слово для указания типа дополнительных данных. Type 2 (новый формат) использует два слова для идентификации ID.

Идентификатор типа данных DID (Data ID)

Слово идентификатора ID указывает тип передаваемых данных. Назначение большинства значений Data ID определено в стандартах ITU и SMPTE для того, чтобы обеспечить совместимость оборудования от разных производителей. Новые значения кодов ID доступны для пользовательских приложений, в которых не требуется регистрация. Микро-

Таблица 2. Формат синхросимвола для представления сигналов EAV и SAV

	8-разрядные данные								10-разрядные данные	
	D9(MSB)	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
Преамбула	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Слово статуса	1	F	V	H	P3	P2	P1	P0	0	0

XY — слово состояния, которое содержит признаки для индикации следующих событий:
 F — номер поля кадра чересстрочной развертки, F = 0 поле кадра 1; F = 1 поле кадра 2
 V — признак поля гасящего кадрового импульса или поля Blanking, V = 1 поле гасящего кадрового импульса
 H — признак SAV или EAV, H = 0 для SAV, H = 1 для EAV
 P3-P0 = код защиты от ошибок

схемы видео для мультимедийных приложений применяют эти коды для совместимости с профессиональной видеоаппаратурой.

Второй идентификатор ID (SDID):
используется только для формата Type 2

Второе слово ID идентификатора применяется только для формата представления дополнительных данных Type 2. Для обеспечения аппаратной совместимости допустимые поля значений второго слова идентификатора ID определены в последующих ITU и SMPTE стандартах.

Номер блока данных Data Block Number (DBN): формат Type 1

Слово номера блока данных (Data Block Number word) используется для объединения нескольких пакетов дополнительных данных, следующих с одним и тем же идентификатором ID для того, чтобы обеспечить в приемнике правильное совместное восстановление данных. Это слово применяется, если требуется передача пакета пользовательских данных длиной более 255 слов. Номер блока данных увеличивается в каждом последовательном пакете дополнительных данных.

Счетчик числа слов Data Word Count (DWC)

Этот параметр определяет число слов в пакете пользователя.

User Data Words (UDW)

В пакете может передаваться до 255 пользовательских слов. Здесь следует учесть, что из множества принимаемых значений должны быть исключены кодовые посылки 00H и FFH; а для 10-разрядного формата — значения 000H-003H и 3FCH-3FFH.

Реализация канала приемника

При восстановлении данных из цифрового потока должны использоваться только вышеобозначенные комбинации синхрослов EAV и SAV. Естественно, приемник не сможет восстанавливать данные из обычного real time (не BT.656) цифрового потока видео. Некоторые более ранние цифровые видеосистемы использовали для «подсветки» синхросигналов в потоке видеоданных передачу в слоте Y яркости значений, меньших 16. Для того чтобы пропускать цифровой поток реального видео, а также тестовые сигналы, многие из новых микросхем кодеков имеют специальный режим, при котором допускается использование сигналов яркости с уровнями, меньшими 16, в кадре активного видео. Таким образом, в новых микросхемах кодеков не будет правильно обеспечиваться выделение синхросигналов, передаваемых только по каналу Y. Для максимальной совместимости при обработке дополнительных данных, после того как только будет считано значение Data Word Count (N), следует дезактивировать детектор преамбулы на время приема кадра из N + 1 слов. Поэтому в некоторых реализациях кодеков допускается ис-

пользование в потоке User Data при 8-разрядном кодировании значений 00H и FFH, а для 10-разрядного кодирования значений в диапазонах 000H-003H и 3FCH-3FFH.

Физический уровень параллельного интерфейса

Шина интерфейса может быть использована на различных уровнях аппаратуры, в частности как порт микросхемы, внутримодульный интерфейс, межмодульный интерфейс и, наконец, как интерфейс между различными аппаратными блоками. В стандарте определены уровни сигналов только для аппаратного уровня. Для внутримодульных интерфейсов первоначально применялись логические сигналы ЭСЛ-логики. Для моделей 1982 года при полосе 27 МГц трудно обеспечить гарантированные уровни задержки при использовании логики TTL/ТТЛШ с питанием от 5 В. В настоящее время для организации передачи сигналов параллельной шины 27 МГц внутри платы или же между модулями могут быть использованы как дифференциальные сигналы, так и обычные сигналы низковольтной логики.

8-разрядные данные передаются по 8 шинам, а сигнал тактирования передается по отдельной паре. При 10-разрядном кодировании используется 10 пар проводов для данных и одна пара для передачи сигнала синхронизации. Фиксация данных в приемнике производится по переднему фронту сигнала тактирования.

Передача сигналов интерфейса на расстояние до 50 метров может осуществляться по 9 витым парам без повторителей с фазовым выравниванием сигналов и до 200 метров с применением таких повторителей. Видеоданные представлены в NRZ-коде.

При передаче двоичной «1» сигнал на выходе А драйвера передатчика положительный по отношению к выходу В, и наоборот, отрицательный, при передаче Лог. «0».

Параметры передатчика

- Выходной импеданс: 110 Ом (макс.);
- амплитуды сигналов: от 0,8 до 2,0 В (peak-to-peak), измеренные на 110-Ом резистивную нагрузку;
- фронты сигналов: не более 5 нс, измерены в точках 20% и 80% максимальной амплитуды сигнала, нагруженного на 110-Ом резистивную нагрузку. Разность между длительностями переднего и заднего фронтов не должна быть более 2 нс.

Параметры приемника

- Входной импеданс: 110 ± 10 Ом;
- макс. уровень входного сигнала 2,0 В (peak-to-peak);
- мин. уровень входного сигнала 185 мВ (peak-to-peak);
- дифференциальная задержка сигналов: сигналы данных должны фиксироваться при относительном смещении сигналов данных и синхронизации в диапазоне ± 11 нс.

Коннектор

В качестве интерфейсного разъема применяется широко известный соединитель типа DB-25.

Цоколевка сигналов разъема приведена в таблице 3.

Таблица 3. Цоколевка разъема DB-25 для шины BT-656

Контакт	Назначение сигналов
1	Clock
2	Сигнальная Земля А
3	Data 9 (MSB)
4	Data 8
5	Data 7
6	Data 6
7	Data 5
8	Data 4
9	Data 3
10	Data 2
11	Data 1
12	Data 0
13	Экран кабеля
14	Clock return
15	Сигнальная Земля В
16	Data 9 return
17	Data 8 return
18	Data 7 return
19	Data 6 return
20	Data 5 return
21	Data 4 return
22	Data 3 return
23	Data 2 return
24	Data 1 return
25	Data 0 return

Контакт 13 экранирующей оплетки кабеля рекомендуется заземлять с корпусом на обеих сторонах кабеля или же только с одной стороны. (Подробности приведены в Рекомендации ITU-R BT.803.)

Последовательный интерфейс SDI

В стандарте BT.656 регламентируется и передача потока 8- или 10-разрядных слов по одному каналу в последовательном коде. Serial Digital Interface — последовательный цифровой интерфейс данных. Полоса последовательного канала при передаче 8-разрядных цифровых видеосигналов составит $27 \text{ МГц} \times 8 = 216 \text{ МГц}$, а для 10-разрядного — $27 \text{ МГц} \times 10 = 270 \text{ МГц}$. Перед трансляцией сигнала в линию производится преобразование параллельного кода в последовательный с использованием скремблирования. Оно позволяет оптимизировать спектр передаваемого сигнала и обеспечить лучшие условия для восстановления сигнала несущей частоты на стороне приемника. Младший бит каждого слова в последовательном потоке передается первым. Передача производится в коде NRZI, не чувствительном к полярности сигналов.

Предыдущая версия рекомендации описывала метод кодирования типа 8B9B. Вследствие возникших трудностей при реализации этого метода, он более не рекомендуется. Взамен в данной версии для скремблирования 10-разрядного потока видеоданных рекомен-

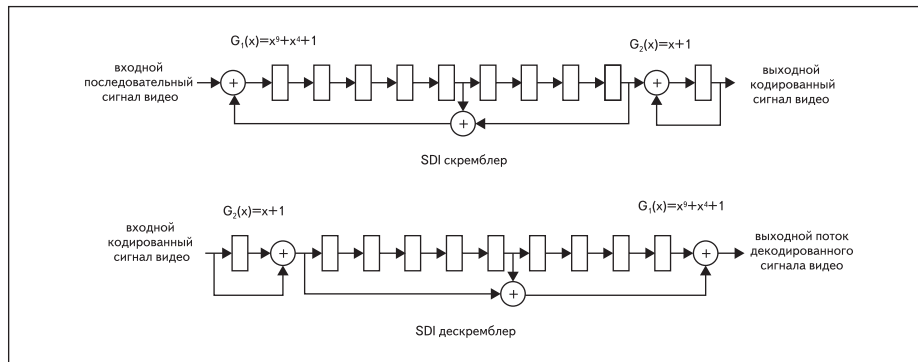


Рис. 5. Структура скремблера и дескремблера интерфейса SDI

довано применение 11-разрядного формата (10B1C), в котором одиннадцатый инвертированный бит является выходом младшего разряда скремблированного потока (LSB).

Кодирование потока производится скремблированием исходных последовательных видеоданных с использованием генератора функции полиномиальной последовательности типа $G_1(x) \times G_2(x)$, где:

- $G_1(x) = x^9 + x^4 + 1$ — модуль обеспечивает скремблированный NRZ-сигнал
- $G_2(x) = x + 1$ — модуль обеспечивает NRZI последовательность, не чувствительную к полярности сигналов.

На рис. 5 показана структура скремблера и дескремблера интерфейса SDI.

Передача последовательного потока может производиться как по коаксиальному кабелю 75 Ом, так и по оптоволоконной линии.

Полоса пропускания кабеля: 5–270 МГц.

Амплитуда сигнала: 800 мВ ±10% (peak-to-peak) на резистивной нагрузке 75 м.

Смещение сигнала: допускается смещение сигналов по постоянной составляющей на уровне от +0,5 до -0,5 В.

Тип разъемов стандартный BNC (IEC Publication 169-8), его характеристики должны обеспечивать передачу частотного сигнала с полосой пропускания до 850 МГц при 75-Ом нагрузке.

Детализация стандарта SDI SMPTE

Стандарт BT.656 подробно не регламентирует спецификацию последовательного канала. Этапеты дальнейшей детализации стандарта последовательной передачи телевизионных сигналов приняла уже другая организация — SMPTE. И ныне существующая аппаратура цифровой обработки телевизионных сигналов с использованием последовательного канала SDI как в Европе, так и в Северной Америке должна соответствовать положениям стандартов, разработанных этой организацией.

Организация SMPTE — Society of Motion Picture and Television Engineers, образована в 1916 году в США для разработки стандартов для аппаратуры регистрации изображения развивающейся киноиндустрии. В настоящее время является независимой организацией и наряду с ITU-T и ITU-R разрабатывает

стандарты для секторов обработки и передачи видеоизображений.

SMPTE создала несколько взаимосвязанных стандартов для электрических спецификаций цифровых последовательных интерфейсов (SDI и HD-SDI):

SMPTE 259M: регламентирует передачу цифрового потока видео для композитного сигнала NTSC на 143 Мбит/с (Level A) и PAL 177 Мбит/с (Level B). В нем же описаны рекомендации по передаче телевизионных сигналов форматов 525/625 со скоростями 270 Мбит/с (Level C) и 360 Мбит/с (Level D). В настоящее время в Европе доминирует применение уровня C, который иногда называют «270 Мбит SDI».

SMPTE 292M: описывает новый формат передачи HDTV со скоростью 1,458 Гбит/с.

Все эти стандарты предполагают в качестве среды передачи использование стандартного аналогового коаксиального кабеля. Поскольку стоимость внедрения новых систем передачи в основном определяется стоимостью кабельной системы, то такой выбор является разумным. То есть сохраняется возможность применять уже имеющиеся кабельные 75-Ом сети с байонетными разъемами и ускорить внедрение новых стандартов интерфейсов SDI.

Скорости передачи стандарта SDI

В стандарте SDI регламентированы скорости передачи потока видео со скоростями от 143 до 360 Мбит/с, зависящими от цифрового формата транспортируемого видеосигнала. Стандарт SDI определяет 4 типа скорости (или уровня) (табл. 4).

Нет необходимости, чтобы оборудование поддерживало обязательно все четыре формата скорости. Но если оборудование

поддерживает передачу со скоростями до 270 Мбит/с в соответствии с ANSI/SMPTE 259M-ABC, то оно обязано поддерживать уровни A, B и C.

Фреймирование потока

После декодирования видеопотока приемник должен определить кадровую метку и по отношению к ней выполнить «нарезку» последовательного потока на слова и восстановить параллельный поток данных. Этот процесс называется фреймированием. Для того чтобы сформировать структуру кадра для потока, нужно использовать уникальное синхрослово, которое бы не встречалось в поле данных изображения. Это синхрослово будет периодически передаваться в последовательном потоке, чтобы создать опорную временную метку, по отношению к которой и будет начинаться сборка 8- или же 10-разрядных слов интерфейса. Все цифровые видеоформаты, поддерживаемые SDI-оболочкой, используют один и тот же опорный синхросигнал TRS (Timing Reference Symbol). Этот символ передается во время неактивного видео. Существуют два типа TRS-сигнала, которые передаются для каждой строки кадра: первый передается в начале зоны сигнала активного видео SAV, другой — в конце зоны активного видео EAV. Синхросимвол TRS состоит из четырех последовательных слов:

3ff 000 000 XYZ

Первое передаваемое слово в шестнадцатеричном коде — 3ff, а последнее слово — XYZ. Первые три слова TRS неизменны и называются преамбулой и представляют уникальную битовую комбинацию потока. Четвертое слово, называемое XYZ, зависит от типа специфического цифрового потока видео.

Для определения границ принятого кадра дешифратор фреймера должен сначала принять подряд 10 единиц, а затем 20 подряд следующих сигналов Лог. «0».

Обнаружение ошибок

Стандарт SDI не использует механизм обнаружения ошибок. Однако в некоторых стандартах, например в SMPTE 125M, определены специальные биты для обнаружения ошибок в процессе передачи. Биты расположены в слове XYZ символа TRS. В самом стандарте SDI только рекомендуется использо-

Таблица 4. Скорости передачи SDI

Уровень	Скорость передачи, Мб/с	Видеоформат	Стандарт
Level A	143	NTSC композитный сигнал	ANSI/SMPTE 244M-1995
Level B	177	PAL композитный сигнал	IEC 61179
Level C	270	4×3 4:2:2 компонентная	ANSI/SMPTE 125M-1995 и ITU-R BT.601-5
Level D	360	16×9 4:2:2 компонентная	ANSI/SMPTE 267M-1995 и ITU-R BT.601-5

вать дополнительное кодовое слово для обнаружения ошибок со ссылкой на стандарт SMPTE RP 165-1994.

На приемном конце SDI-соединения вычисляется контрольная сумма, которая затем проверяется с принятой контрольной суммой в кадре видеоизображения. Обнаружение ошибок может производиться только после дескремблирования потока и восстановления кадра.

Реализация канала передачи SMPTE 259

На рис. 6 показаны структуры каналов приемника и передатчика шины SMPTE 259M.

Микросхемы передатчиков и приемников шины SMPTE выпускают многие производители, в частности National Semiconductor и Cypress.

SMPTE-чипсет фирмы Cypress состоит из четырех компонент:

- CY7C9235 — SMPTE/DVB Scrambler/Controller
- CY7B9234 — SMPTE HOTLink Serializer
- CY7B9334 — SMPTE HOTLink Deserializer
- CY7C9335 — SMPTE/DVB Descrambler/Framer

На рис. 7 и 8 показана реализация каналов передатчика и приемника на базе чипсета Cypress.

National Semiconductor выпускает несколько типов микросхем приемников и передатчиков для реализации шины SMTE 293M. В частности, передатчик шины — микросхема CLC016, а приемник — CLC011. На рис. 9 показана структура приемника CLC011.

Приемник состоит из:

- входных буферных повторителей;
- модуля восстановления данных (Synchronizer);
- модуля задержки тактирующего сигнала (Delay);
- дескремблера (descrambler);
- детектора кадровой метки (TRS detector);
- фреймера (Framer);
- выходного регистра преобразователя из последовательного кода в параллельный (2nd Register).

Структура кодера видеосигнала в цифровой формат BT.656

В большинстве микросхем декодеров и видеопроцессоров предусмотрено использование нескольких типов аналоговых видеинтерфейсов. Мультистандартные микросхемы конверторов телевизионных сигналов в формат BT.656 обеспечивают возможность конвертировать в цифровой формат компонентные сигналы Y'CbCr, сигналы S-Video, а также композитный сигнал, представленный в любом из форматов PAL/SECAM/NTSC, и даже RGB-сигналы. Для обеспечения аналого-цифрового преобразования могут использоваться от 2 до 3 встроенных скоростных АЦП. Разрядность АЦП 8 или 10 разрядов. Для преобразования компонентного

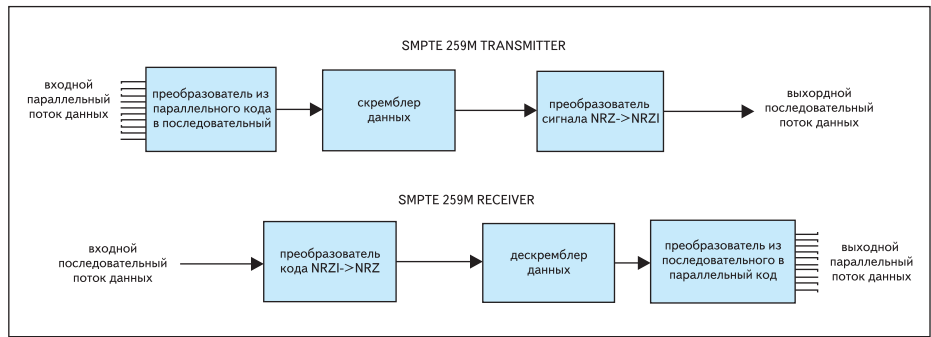


Рис. 6. Реализация каналов приемника и передатчика шины SMPTE 259M

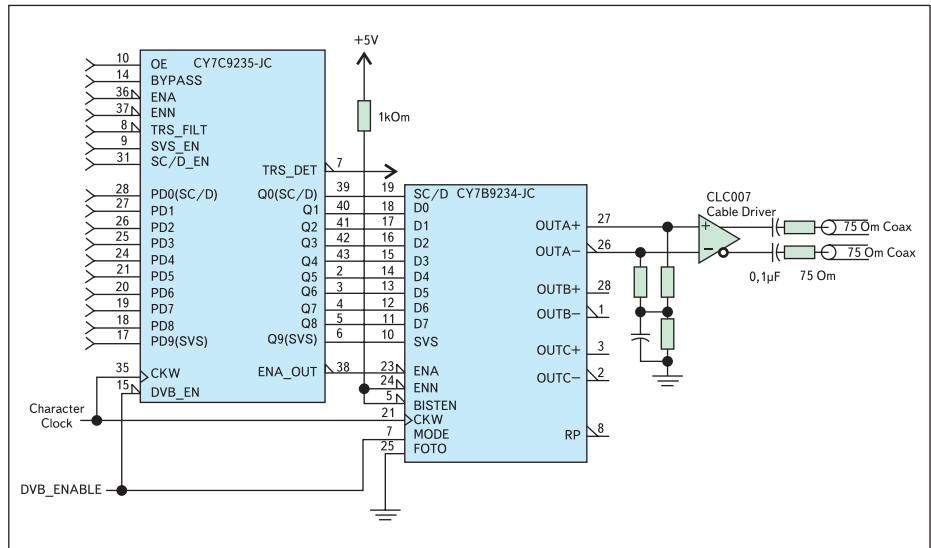


Рис. 7. Передатчик шины SMPTE 293

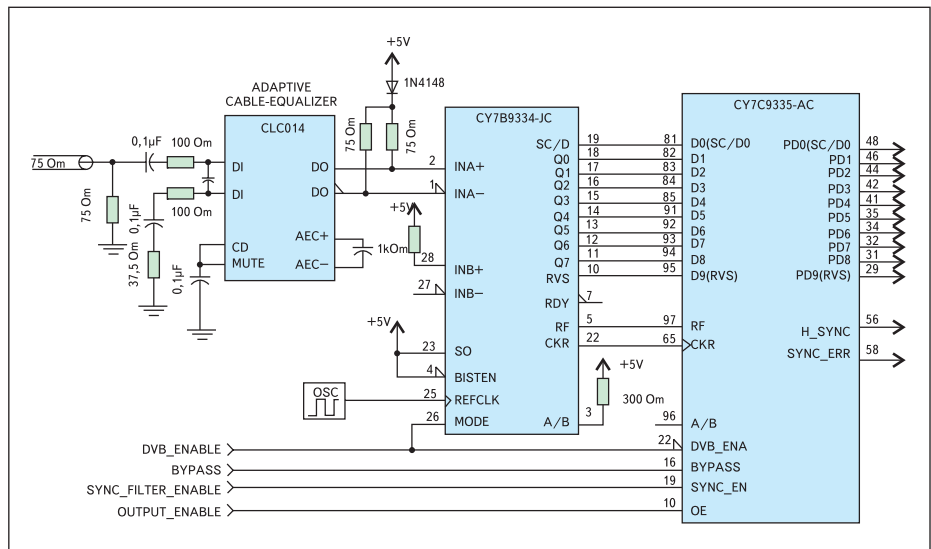


Рис. 8. Приемник SMPTE 293

и RGB-видеосигнала используется 3-канальный АЦП. Структура конвертора содержит также необходимые схемы привязки уровня черного по каждому каналу и нормирующие усилители. Выделение сигналов синхронизации из композитного сигнала обеспечивает встроенный модуль селектора синхроимпуль-

сов. В декодерах есть встроенный модуль разделения сигналов яркости и цветоразностных сигналов. В декодерах Texas Instruments эти модули называют процессорами (яркости, цветности), поскольку кроме разделения сигналов на компоненты производится дополнительная цифровая обработка с це-

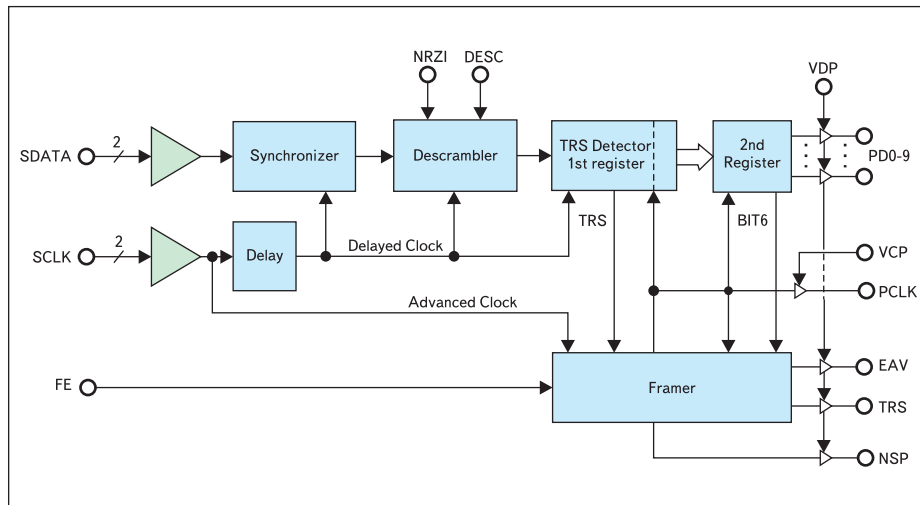


Рис. 9. Структура видеодекодера последовательной шины CLC011 фирмы National Semi

люю устранения артефактов декодирования и улучшения качества сигналов яркости и цветоразностных сигналов. При использовании в качестве входного сигнала композитного сигнала преобразование в цифровую форму производится по следующей схеме:

- 1) Фильтрация цветových компонент и сигнала яркости.
- 2) Аналого-цифровое преобразование трех компонент с частотой 27 МГц (уровень ITU-R BT.601).
- 3) Декодирование компонент (формат 4:4:4, BT.601).
- 4) Преобразование сигналов Y'Cb,Cr в формат 4:2:2, BT.656).
- 5) Транспонирование диапазонов сигналов Y, Cr, Cb в соответствии с BT.656;
- 6) Вставка кодов синхронизации SAV и EAV.
- 7) Преобразование в последовательный код (скремблирование).

Последняя процедура может применяться только при передаче оцифрованного видеосигнала в последовательном формате.

В некоторых цифровых видеосистемах этап (1) пропускается. В цифровой формат преобразуется композитный сигнал, а затем уж в цифровой форме производится выделение сигнала яркости и двух цветоразностных сигналов. Однако аналоговая фильтрация дает лучшее качество и аппаратно реализуется проще и дешевле.

Структура видеодекодера TVP5150A Texas Instruments

В качестве примера использования цифровой шины BT.656 можно привести структуру микросхемы видеодекодера TVP5150A фирмы Texas Instruments. Микросхема TVP5150A является мультистандартным NTSC/PAL/SECAM-видеодекодером с низким энергопотреблением. На рис. 10 показана структура микросхемы.

Декодер TVP5150A конвертирует аналоговые видеосигналы NTSC, PAL и SECAM

в 8-разрядные сигналы параллельной шины формата BT.656. Низкое потребление позволяет использовать микросхемы в мобильных устройствах. Типовое потребление декодера — 115 мВт и 1 мВт в режиме энергосбережения. В декодере есть встроенный управляющий интерфейс I²C. Используются два напряжения питания — 1,8 и 3,3 В.

Композитный видеосигнал или же S-Video сигналы TVP5150A-декодер конвертирует в цифровой поток Y'CbCr 4:2:2 компонентного видео. Структура декодера содержит один 9-разрядный АЦП. Частота квантования в соответствии с BT.601 27,0 МГц, формируется ФАПЧ на основе сигнала 14,31818 МГц

и привязана к частоте строчной развертки. Выходной порт может работать в формате 8 разрядов 4:2:2 с отдельными сигналами синхронизации или же как 8-разрядный BT.656 со встроенной синхронизацией. Микросхема выполнена в компактном 32-выводном корпусе TQFP.

Основные модули декодера TVP5150A:

- помехоустойчивый детектор синхроимпульсов;
- АЦП с аналоговым процессором;
- Y/C разделение, 4-линейный адаптивный комбинированный фильтр;
- процессор обработки сигналов цветности;
- процессор обработки сигнала яркости;
- процессор синхросигналов и управление режимом энергосбережения;
- выходной форматор сигнала;
- I²C-интерфейс;
- VBI-процессор;
- детектор Macrovision для композитного и S-Video-сигналов.

Декодер может быть использован в различных типах как профессионального, так и бытового телевизионного оборудования. На рис. 11 показаны примеры построения цифровой видеосистемы с использованием телевизионных видеодекодеров с цифровой шиной BT.656, в частности декодера TVP5150.

В настоящее время микросхемы кодеров, преобразующих аналоговые видеосигналы в цифровые, и видеодекодеров, преобразующих сигналы шины BT.656 в аналоговые сигналы форматов RGB, компонентный YPbPr, S-Video, композитный видеосигнал выпускают многие фирмы, такие как Texas Instruments, Analog

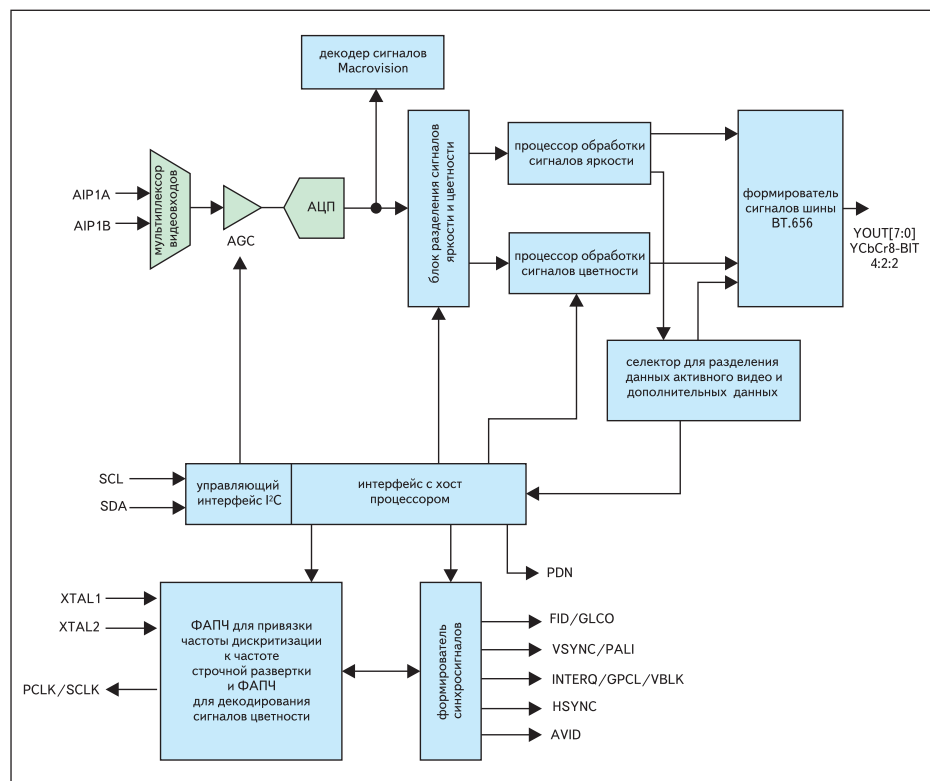


Рис. 10. Структура микросхемы декодера TVP5150A

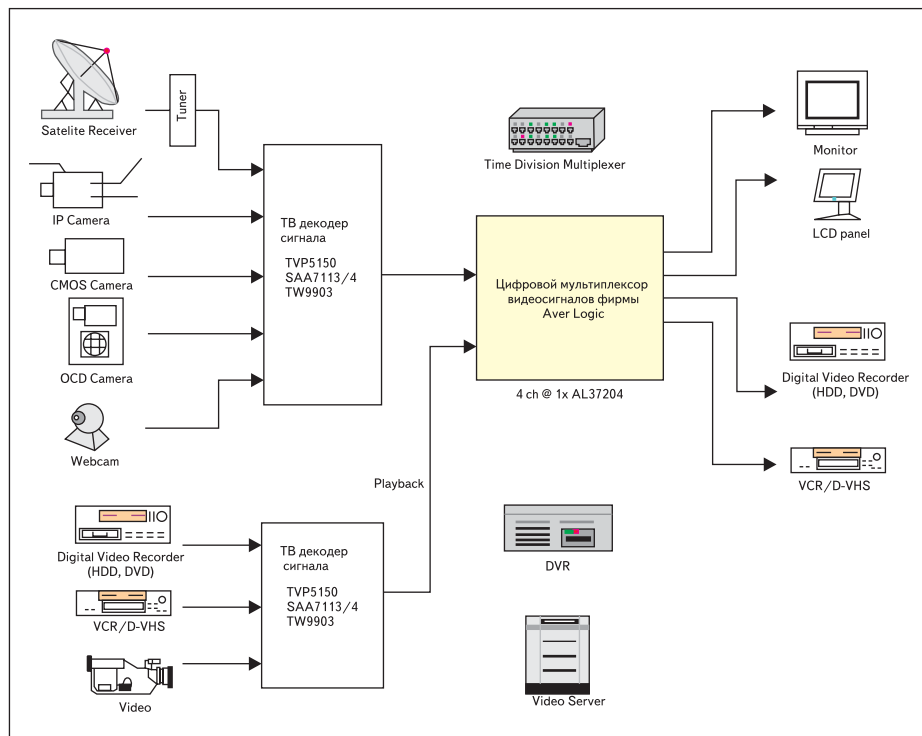


Рис. 11. Построение цифровой видеосистемы на базе телевизионных видеодекодеров с шиной BT.656

Devices, Motorola, National Semiconductor, Cirrus Logic, Conexant, Philips, Intersil, Cypress, Fairchild, Zarlink, Techwell, Xicor, Rohm, Aver Logic. Можно выбрать нужный тип декодера в соответствии с требуемым входным и выходным интерфейсом, а также дополнительными функциональными возможностями, типом канала управления, уровнем потребления и стоимости.

История создания и развития ITU

Спустя 10 лет после того, как 24 мая 1844 года Самуэль Морзе передал первое сообщение по телеграфу между Балтимором и Вашингтоном (60 км), системы телеграфной связи быстро распространились по многим странам мира. Однако процесс передачи сообщений

носил локальный характер. Аппаратные системы телеграфной аппаратуры многих производителей в разных странах были несовместимы между собой, и передача сообщений была технически затруднена не только между разными странами, но и между различными федеральными округами и штатами. Первые шаги стандартизации систем телеграфии были сделаны на государственном уровне в отдельных странах, например в Германии.

История международной стандартизации началась с возникновения первой международной организации International Telegraph Union (ITU), основанной 17 мая 1865 года в Париже.

В 1906 году было принято решение сменить название союза на International Telecommunication Union без изменения аб-

бревиатуры. Однако новое название было официально принято только в 1934 году.

В 1924 году был создан International Telephone Consultative Committee (CCIT), затем в 1925 году International Telegraph Consultative Committee (CCIT). А в 1927-м образован Международный консультативный комитет по радиосвязи (International Radio Consultative Committee — CCIR). Эти три комитета были созданы для координации изучения и исследований методов передачи информации, измерения и тестирования каналов связи в различных областях телекоммуникаций, а также для разработки международных стандартов.

В 1956 комитеты CCIT и CCIT были объединены в единый комитет CCITT (International Telephone and Telegraph Consultative Committee) для того, чтобы увеличить эффективность разработки стандартов в областях как проводной, так и радиосвязи. В 1992 году на внеочередной конференции в Женеве комитет CCITT был упразднен, а его функции переданы в соответствующие комитеты ИТУ, для более эффективного решения комплексных телекоммуникационных проблем. В результате реорганизации союз ИТУ был разделен на три сектора, соответствующих трем областям деятельности: Telecommunication Standardization (ITU-T), Radiocommunication (ITU-R) и Telecommunication Development (ITU-D).

Литература

1. Studio encoding parameters of digital television for standard 4:3 and wide-screen 16:9 aspect ratios. Recommendation ITU-R BT.601-5 (Question ITU-R 206/11) (1982-1986-1990-1992-1994-1995)
2. Recommendation ITU-R BT.656-4. Interfaces for digital component video signals in 525-line and 625-line television systems operating at the 4:2:2 level of recommendation itu-r bt.601 (part A) (Question ITU-R 65/11).
3. BT.656 Video Interface for ICs Intersil. Application Note July 2002 AN 9728.2.
4. <http://www.smpete.org>
5. XAPP288 Serial Digital Interface (SDI) Video Decoder. Xilinx April 26, 2004.