



Руководство по проведению измерений характеристик сигналов цифрового видео стандартной и высокой чёткости

Сведения об интерфейсах 3G и Dual Link и о служебных данных

Оглавление

В начале	5	Нелинейные эффекты	70
Традиционное телевидение	5	Дифференциальное усиление	71
«Новое» цифровое телевидение	6	Дифференциальная фаза	71
Числа, описывающие аналоговый мир	6	Тестирование цифровых систем	71
Компонентное цифровое видео	6	Тестирование в предельных режимах	71
Продвигаясь от аналогового видео к цифровому	7	Тестирование в предельных режимах с изменением длины кабеля	71
Компонентный RGB видеосигнал	7	Контрольное поле SDI	72
Гамма-коррекция	8	Тестирование в рабочем режиме	72
Гамма-коррекция — это больше, чем просто исправление характеристики дисплея на основе ЭЛТ	9	Тестирование с помощью глазковой диаграммы	74
Преобразование сигнала R'G'B' в сигнал яркости и цветоразностный сигнал	9	Тестирование джиттера	76
Цифровой видеointерфейс	11	Режим «SDI Status»	80
Дискретизация 601	13	Измерения длины кабеля	80
Параллельный цифровой интерфейс	15	Временные соотношения между источниками видеосигнала	81
Последовательный цифровой интерфейс (SDI)	16	Измерение межканальных временных соотношений компонентных видеосигналов	82
Видео высокой чёткости построено на принципах видео стандартной чёткости	18	Метод осциллограммы	82
Синхронизация и привязка по времени	21	Измерение временных соотношений в режиме «Lightning»	83
Синхронизация в аналоговом видео	21	Метод «Bowtie» («Бабочка»)	83
Горизонтальная синхронизация	22	Эксплуатация цифровой телевизионной системы	85
Вертикальная синхронизация	24	Осциллограммы сигналов RGB и цветоразностных сигналов	85
Параметры аналогового компонентного видео высокой чёткости	28	Баланс усиления в компонентном сигнале	85
Форматы развёртки в цифровой студии	29	Режим векторных диаграмм	85
Производственные форматы с сегментированными кадрами	30	Режим «Молния» («Lightning»)	87
Синхронизация и привязка по времени в цифровой студии	31	Режим «Ромб» («Diamond»)	88
Синхронизация при переводе кинофильмов в цифровой видеоформат	34	Режим «Клин» («Arrowhead»)	89
Форматы Dual Link и 3G	35	Как контролировать цветовую гамму	90
Цифровой звук	49	Описание пределов	92
Вложенный звук в компонентном цифровом видео	50	Заключение	93
Расширенный вложенный звук	51	Приложение А. Цвет и цветовые измерения	94
Систематизация AES/EBU аудио	52	Белый	95
Основы вложенного аудио в формате HD	53	Красный, зелёный и синий компоненты	95
Контрольный аудиопакет	55	Цветовая гамма. Разрешённые и допустимые значения	98
Как осуществлять мониторинг многоканального звука	56	Таблицы преобразования форматов	100
Аудиоканалы в системах объёмного звука 5.1	56	Приложение В. Взаимосвязь тактовых сигналов в телевизионной системе	101
Режим контроля объёмного звука ¹	57	Приложение С. Параметры аналогового композитного видеосигнала стандартной чёткости	102
Служебные данные	59	Приложение Д. Перечень стандартов и рекомендаций для телевидения	103
Измерение характеристик видеосигналов	65	Приложение Е. Библиография	105
Оборудование для контроля и измерений	65	Приложение Ф. Глоссарий	106
Мониторинг цифровых и аналоговых сигналов	66	Благодарности	111
Оценка ухудшения характеристик видеосигнала	66	Об авторах	111
Амплитуда видеосигнала	66	Отказ от ответственности	111
Амплитуда сигнала	67		
Частотная характеристика	69		
Групповое время запаздывания	69		

В начале

О цифровом телевидении принято думать, как о чём-то очень сложном. Но когда мы посмотрим на конечный результат, то обнаружим что-то очень знакомое; то, к чему инженеры-разработчики телевизионного оборудования стремились с самого начала: знания и опыт, которые становятся все обширнее и богаче, качественное видео и аудио, передающее выступление артиста зрительской аудитории. Единственное новое в цифровом телевидении — это способ, которым информация передается из одной точки в другую.

Действительно ли важно, как передается сообщение? Артисту и зрителю (а во многих странах — и рекламодателю), наверное, всё равно, каким путем проходит сигнал. Они могут получать пользу от улучшенных характеристик цифрового телевидения, не зная подробностей его функционирования. А наука — вот где происходит самое интересное. Тем из нас, кто знаком с технической стороной телевидения, не всё равно; и мы извлекаем пользу из значительного прогресса телевизионной науки на протяжении последних 60 лет, и в особенности, из достижений в области цифрового телевидения за последние 20 лет.

Сигналы программного видео, цифрового звука и сопутствующих служебных данных вместе составляют цифровой телевизионный сигнал. В мире аналогового телевидения видео и аудио следуют от источника сигналов до домашнего телевизионного приёмника полностью обособленными путями. Цифровые сигналы могут быть организованы с много большим количеством степеней свободы; видео, аудио и другие сигналы работают совместно как поток данных. Всё, что нам необходимо знать, это как организованы данные, чтобы из них можно было выбрать то, что нам нужно.

Традиционное телевидение

Мы можем назвать аналоговое видео и аналоговое аудио элементами традиционного телевидения. Но при этом важно осознавать, что мы все ещё пытаемся выполнять традиционные задачи... и, может быть, что-то большее. Цифровое телевидение построено на основе аналогового, и наше понимание цифрового телевидения зависит от того, что мы уже знаем об анало-

говом телевидении. Свет в линзах телекамеры и звук в микрофонах являются по-прежнему аналоговыми. Видимое излучение от дисплея и звук в наших ушах — тоже все ещё аналоговые явления.

Мы уже знаем, что аналоговое телевидение представляет собой «выборку» величины светового излучения. Значения яркости описываются величиной напряжения. А дополнительная информация описывает цвет выборки. С помощью системы передачи выборки синхронизируются между собой, а затем воспроизводят изображение исходной картинку на нашем дисплее. Аналоговое видео распространяется в виде «последовательного» потока значений напряжения, содержащего все данные, необходимые для создания изображения, если приёмник знает, что нужно сделать с этой информацией. Итак, вы можете видеть, что заменив всего несколько слов и кое-что сделав по-другому, чтобы воспользоваться тем, что мы узнали в течение последних пятидесяти лет, мы можем понять, что цифровое видео не слишком отличается от аналогового.

Таким образом, если мы начинаем с аналогового света и заканчиваем аналоговым светом, тогда зачем вообще нужно цифровое видео? Во многих случаях датчики видеокамер создают аналоговое видео, но в настоящее время аналоговые значения напряжения, представляющие собой мгновенные значения видео, практически сразу же преобразуются в цифровой вид без существенного ухудшения. В некоторых случаях, таких как компьютерное видео или графика, видеосигнал сразу генерируется в цифровом формате, и в новых цифровых телевизионных системах он поступает на дисплей, так никогда и не принимая аналоговый вид.

Мы по-прежнему можем передавать или принимать телевизионные сигналы по аналоговым каналам в форматах NTSC, PAL или SECAM, но мы уже используем цифровые каналы для передачи телевизионных сигналов с более высоким качеством и большей производительностью. Цифровое телевидение является доступной и полезной частью нашей повседневной жизни. Некоторые из нас будут пользоваться им и способствовать его развитию. А некоторые из нас будут пользоваться его преимуществами, не зная деталей его функционирования.

«Новое» цифровое телевидение

Цифровые сигналы являлись частью телевидения в течение многих лет. Сначала они были скрыты внутри оборудования, например, в генераторах испытательных сигналов или знакогенераторах. Позже они стали использоваться во всех системах. В этом учебном пособии для простоты мы будем рассматривать сначала только видеочасть телевизионного сигнала. Звук так же будет цифровым, и аудио сигналы займут свое место в потоке цифровых данных, чтобы быть восстановленными в телевизионном приёмнике. Цифровое аудио мы будем рассматривать в последующих главах.

Цифровое видео — это просто расширение аналогового видео. Как только мы поймем, как функционирует аналоговое видео, мы сможем легко понять, как устроено цифровое видео, как с ним обращаться, как оно работает, как оно превращается в аналоговое видео и как из аналогового видео получается цифровое. Аналоговое и цифровое видео имеют множество примерно одинаковых ограничений. Многие проблемы, которые могут встречаться в цифровой области, являются результатом некорректной работы источника аналогового видео. Следовательно, очень важно иметь стандарты, которые являлись бы отправной точкой при разработке и эксплуатации как цифровых, так и аналоговых устройств.

Числа, описывающие аналоговый мир

Первые разработки цифрового видео являлись просто цифровым описанием аналогового видеосигнала в формате NTSC или композитного аналогового видеосигнала в формате PAL. Были разработаны стандарты, в которых были описаны эксплуатационные ограничения и специфицированы числовые показатели данных, описывающие каждый уровень напряжения и то, как каждое число было генерировано или восстановлено. В связи с высокой скоростью передачи данных было принято управлять цифровыми видеоданными изнутри по восьми- или десятиразрядной шине, но первоначальные версии стандартов описывали также внешнее многопроводное соединение. Кроме того, стандарты описывали определённую служебную и вспомогательную информацию, предназначенную для синхронизации приёмника и передаваемых данных, а также для подключения дополнительных сервисов, например, вложенного (имбеддированного) звука. Позже, когда стали практически достижимы более высокие скорости обработки, был разработан стандарт для однопроводного композитного последовательного интерфейса. В своей основной разновидности цифровое видео является цифровым представлением аналогового сигнала. При этом изменение числовых данных происходит достаточно быстро, чтобы вместить изменяющиеся видеосигналы и вспомогательные данные.

Компонентное цифровое видео

Разработчики первого поколения аналоговых устройств со специальными эффектами осознали преимущество как можно более полного раздельного использования красного, зеленого и синего видеоканалов в процессе обработки данных. Процессы кодирования-декодирования в форматах NTSC и PAL не являются прозрачными, и многократное повторение процедур кодирования и декодирования приводит к постепенному ухудшению качества сигнала. Видеокамера генерирует сигнал с независимыми каналами для красного, зеленого и синего цветов. Было бы лучше обрабатывать эти сигналы в системе с как можно меньшим количеством преобразований до кодирования их в форматы NTSC или PAL для передачи в приёмник. Но оперирование с тремя раздельными согласованными каналами информации на телевизионном оборудовании представляет собой достаточно сложную логистическую проблему. С практической точки зрения эти три сигнала должны сосуществовать в одном проводе или, как правило, в одинарном коаксиальном кабеле. Как выясняется, мы можем просто преобразовать матрицу из этих трёх компонентов — красного, зеленого и синего видеоканалов — в более рациональный комплекс, состоящий из сигнала яркости и двух цветоразностных сигналов, преобразовывать каждый из них в цифровую форму и мультиплексировать данные в одинарный коаксиальный кабель. Мы можем оперировать этим сигналом данных более свободно по сравнению с традиционным композитным видеосигналом в форматах NTSC или PAL. Теперь мы можем работать с высокоскоростным потоком цифровых данных. И хотя этот информационный сигнал несёт в себе энергию, которая изменяется гораздо быстрее, чем энергия видеосигнала форматов NTSC или PAL с частотой от 5 до 6 МГц, он может передаваться без потерь и с меньшими расходами на приемлемые расстояния. Если видеосигнал преобразован в цифровой формат, мы можем легко извлечь любой из его компонентов для независимой обработки, а затем снова скомпоновать в цифровом виде без добавочных потерь или взаимного влияния между каналами.

Компонентные и цифровые технологии дают существенное преимущество при контроле качества видео, а быстрое действие цифровых устройств позволило сделать пропускную способность видео высокой чёткости реально осуществимой. Цифровая техника годится также для обработки с различными алгоритмами сжатия, необходимыми для уменьшения общего количества данных. Сейчас стало возможным передавать видео высокой чёткости и сопутствующее многоканальное аудиосопровождение в полосе, необходимой для высококачественного аналогового видео в реальном времени. Вопросы, касающиеся сжатия видеосигнала, подробно рассматриваются во многих публикациях (см. раздел «Библиография»), поэтому они не будут исследоваться в данном учебном пособии.

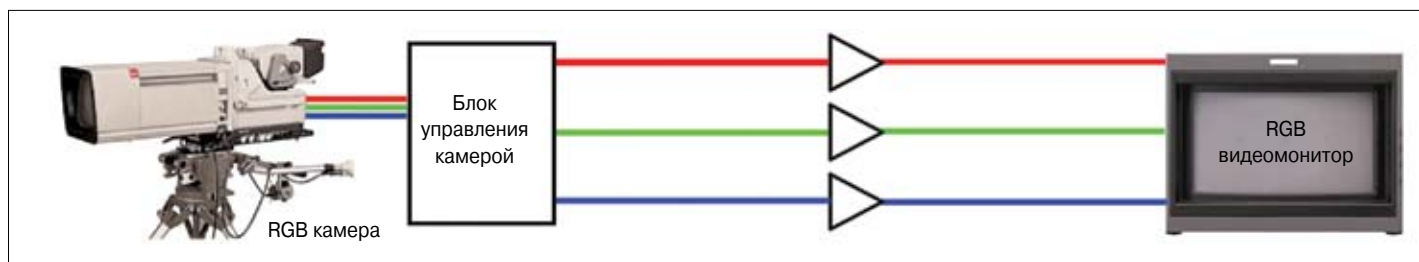


Рис. 1. RGB каналы из камеры с прямым подключением к монитору

Продвигаясь от аналогового видео к цифровому

Цифровой поток данных может быть легко разбит на составляющие его отдельные компоненты, зачастую выполняющие те же функции, что и их аналоговые прототипы. Мы будем продолжать эту аналогию при описании и сравнении аналогового и цифрового видео. Только ясно осознав сходство между аналоговым и цифровым видео, мы можем переходить к телевидению высокой чёткости (HDTV), которое часто является цифровым представлением соответствующего аналогового формата высокой чёткости.

Видеосигналы в форматах NTSC и PAL являются композитами трех каналов видеокамеры, основными цветовыми компонентами являются красный, зеленый и синий, которые матрицированы вместе с образованием канала яркости, объединенного с модуляционными составляющими подавленной поднесущей, содержащими два канала цветовой информации. Третьей системой одноканальной композитной передачи является система SECAM, в которой используется пара частотно-модулированных поднесущих для транспортирования цветовой информации. В студийных условиях нет особых требований к тому, какой сигнал — NTSC, PAL или SECAM — используется в каждой точке между RGB сенсорами телевизионной передающей камеры и RGB каналами оконечного устройства отображения. Вместе с тем, несмотря на то, что понимание форматов NTSC, PAL или SECAM является полезным, нам нет необходимости проводить новое исследование и анализ композитного видео.

Компонентный RGB видеосигнал

Видеокамера расщепляет световое изображение на три основных цвета: красный, зелёный и синий. Сенсоры в камере преобразуют эти отдельные монохромные образы в особые электрические сигналы. Для распознавания левого края и верхней границы изображения к сигналам добавляются сведения о синхронизации. Данные, необходимые для синхронизации дисплея с передающей видеокамерой, могут включаться или в канал G (Green — зелёный), или периодически добавляться в каждый из трёх каналов, или передаваться отдельно.

Простейшим способом подключения является, как это показано на рис. 1, прямое подключение каналов R, G и B от камеры к видеомонитору. В аналоговом видео стандартной чёткости (SD) и в аналоговом видео высокой чёткости (HD) используется одна и та же многопроводная система передачи. Многопроводное соединение может использоваться в небольших подсистемах с постоянной конфигурацией.

Такой метод позволяет генерировать на камере и воспроизводить на дисплее высококачественное изображение. Но перенос сигналов по трём отдельным каналам заставляет инженеров быть уверенными в том, что обработка сигналов на каждом канале осуществляется с одинаковым общим коэффициентом усиления, сдвигом постоянной составляющей, временной задержкой и частотной характеристикой. Непостоянство коэффициента усиления или ошибка сдвига постоянной составляющей между каналами может вызвать изменения цвета на дисплее. Характеристики системы также могут ухудшаться вследствие ошибок синхронизации, которые могут происходить из-за различной длины кабелей или из-за разных способов передачи каждого сигнала из камеры на дисплей. Всё это может вызвать смещение по времени между каналами, что проявляется в виде уменьшения контрастности или размытия изображения, а в особенно серьёзных случаях — множественные отдельные повторяющиеся изображения. Различия в частотных характеристиках между каналами могут вызывать кратковременные переходные эффекты, как будто каналы рекомбинировались. Очевидно, что тремя каналами необходимо манипулировать как одним.

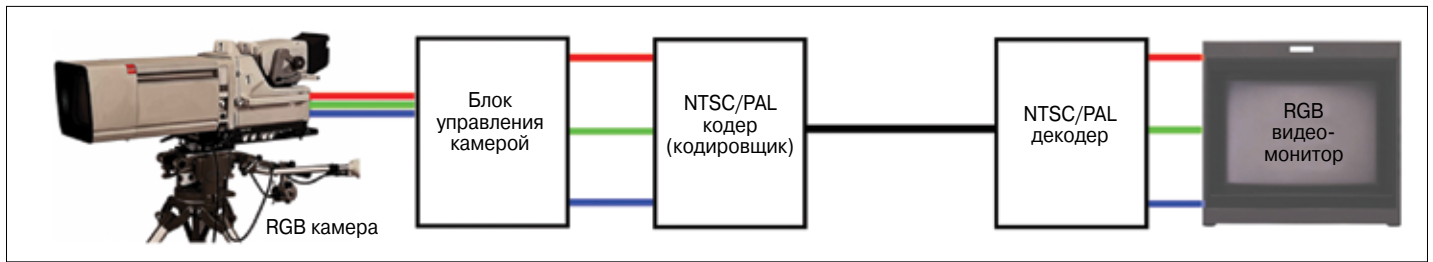


Рис. 2. Видеосигнал, закодированный в формате NTSC или PAL для передачи по одинарному коаксиальному кабелю

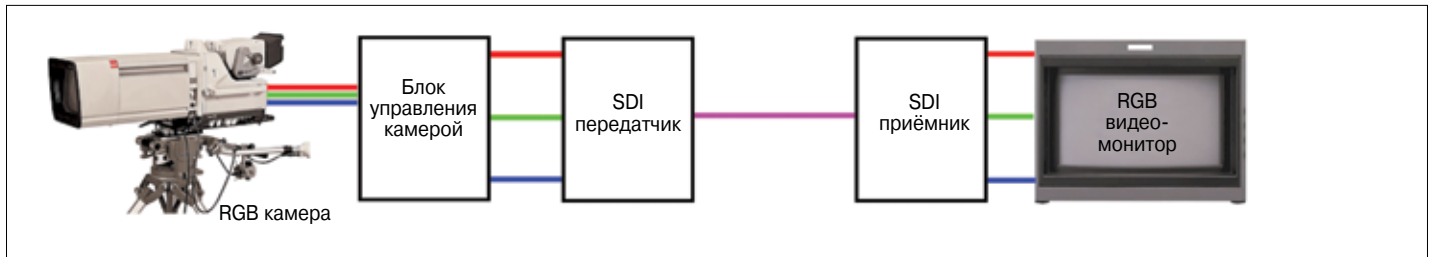


Рис. 3. Цифровая передача позволяет избежать снижения качества аналогового сигнала

Включение в систему кодера и декодера NTSC или PAL (рис. 2) никоим образом не способствует упрощению процесса передачи. Единственно, они облегчают обращение с сигналом по одному проводу в пределах телевизионной студии. Пропускная способность системы позволяет без какого-либо ущерба переносить три видеосигнала с частотой 4,2 МГц (NTSC) или 5,0...5,5 МГц (PAL). Однопроводная конфигурация делает проще процесс передачи видеосообщений, но при увеличении длины тракта необходимо принимать во внимание (учитывать) частотную характеристику и согласование сигналов во времени. Так как сигналы яркости и цветности в композитных сигналах форматов NTSC или PAL совместно используют полосы 4,2 МГц, 5,0 МГц или 5,5 МГц, то следует избегать многократных повторений процедур кодирования и декодирования.

При замене входящих в состав системы цифровых кодеров и декодеров схема соединений (рис. 3) не становится сложнее, но её производительность и эффективность при этом существенно улучшаются. Скорость передачи данных теперь составляет 270 Мбит/с для сигналов стандартной чёткости и 1,485 Гбит/с для сигналов высокой чёткости. Сигналы стандартной чёткости могут быть преобразованы в аналоговые сигналы форматов NTSC или PAL для передачи по традиционным вещательным телевизионным каналам. Сигналы высокой чёткости для передачи в эфир должны быть сжаты, чтобы уложиться в ширину полосы пропускания существующих каналов NTSC или PAL.

Гамма-коррекция

Аналоговым фактором, который должен быть принят во внимание при оперировании видеосигналом, является понимание того, что видеодисплей точно воспроизводит яркость каждого элемента изображения. Дисплей на основе электронно-лучевой трубки (ЭЛТ, CRT) в своей основе является нелинейным устройством, вследствие этого световая отдача на выходе представляет собой нелинейную зависимость от напряжения, приложенного к дисплею. Эта зависимость называется показателем гамма устройства. Для того чтобы эта зависимость имела линейный вид, в телевизионную систему должен быть внесён поправочный коэффициент. По этой причине RGB сигналы в видеокамере подвергаются гамма-коррекции с помощью обратной функции ЭЛТ. Сигналы с гамма-коррекцией обозначаются R', G' и B'. Знак «прим» («'») указывает на то, что для выравнивания передаточных характеристик телевизионной камеры и видеодисплея был использован поправочный коэффициент. И хотя использование знака «прим» может показаться несколько громоздким, вследствие чего он иногда ошибочно опускается, в данном учебном пособии мы всегда будем использовать его для сохранения взаимосвязи с нормативными документами.

Новые жидкокристаллические и плазменные дисплеи в последнее время становятся всё более распространёнными, поэтому некоторые могут подумать, что гамма-коррекция в будущем уже не потребуется. Однако человеческое зрение также имеет нелинейную характеристику восприятия интенсивности света, которая описывается степенной функцией с показателем степени приблизительно равным 1/3. Для обеспечения наилучшей контрастности изображения и соотношения сигнал/шум (S/N) кодирование видеосигнала осуществляется с использованием той же самой степенной функции. Это называется абстрактным кодированием.

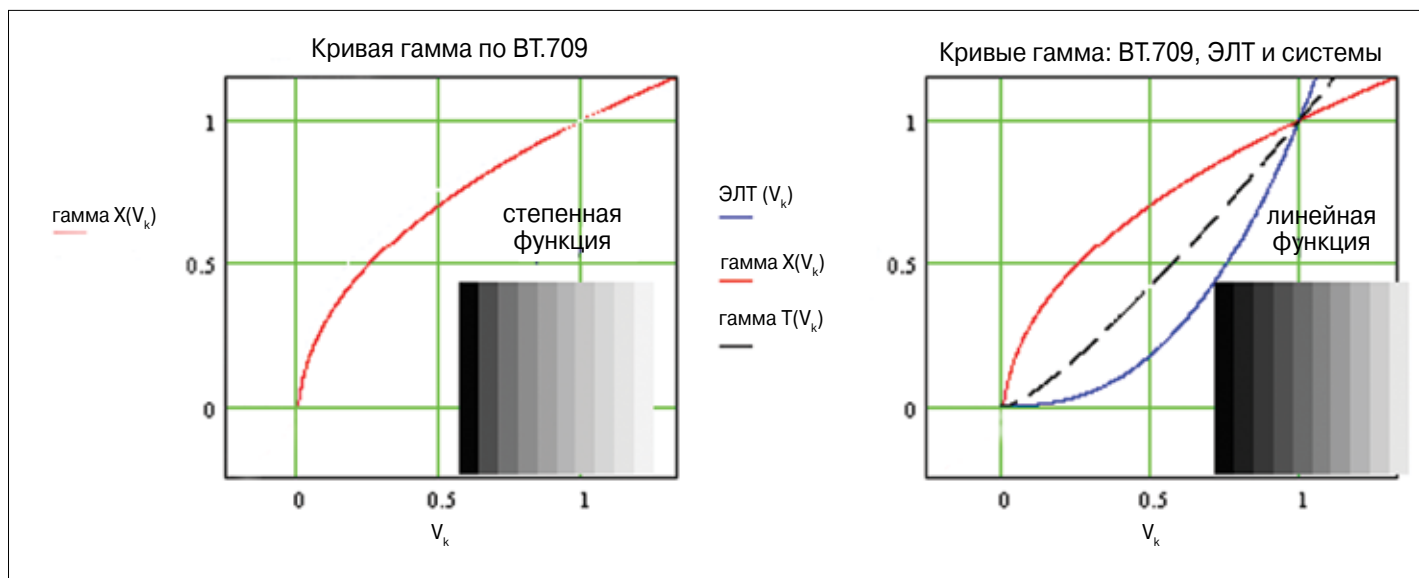


Рис. 4. Гамма-коррекция по стандарту ITU-R BT.709 дополняет характеристику дисплея на основе ЭЛТ

Гамма-коррекция — это больше, чем просто исправление характеристики дисплея на основе ЭЛТ

Гамма-коррекция, необходимая для дисплеев на основе ЭЛТ, является практически оптимальной для абстрактной коррекции. По этой причине в рамках использования методик с гамма-коррекцией необходимо особенно тщательно проводить оценку систем, в которых применяются поправочные коэффициенты.

На рисунке 4 показана гамма-коррекция, представленная в виде степенной функции с показателем степени, равным 0,45, как это определено стандартом ITU-R BT.709 — основным стандартом для цифрового видео высокой чёткости. Эта гамма-коррекция применяется в видеокамерах для устранения нелинейных искажений в дисплеях на основе ЭЛТ и для проведения абстрактного кодирования. Нелинейности в ЭЛТ дисплеях описываются степенной функцией с показателем степени, лежащим в диапазоне от 2,2 до 2,6, для большинства ЭЛТ он равен примерно 2,5. Результирующее значение гаммы для всей системы равно примерно 1,2, что практически идеально для типичных условий просмотра. Эта характеристика вводит приблизительную поправку на восприятие человеком яркости изображения, что, в свою очередь, позволяет уменьшить количество битов, обязательных при переводе видеосигнала в цифровую форму для его передачи.

Преобразование сигнала R'G'B' в сигнал яркости и цветоразностный сигнал

Красный, зелёный и синий видеоконпоненты свойственны устройствам захвата сигнала видеокамеры, и они почти всегда используются операторами при управлении цветами видеоизображения. Система цветопередачи RGB, однако, является не самым эффективным, в смысле пропускной способности, методом передачи изображения в процессе обработки видео, потому что все три компонента должны иметь одинаковую пропускную способность. Человеческое зрение более чувствительно к изменениям уровней яркости, чем к изменениям цвета. Следовательно, мы можем улучшить эффективность использования полосы пропускания путем выделения полной полосы частот яркостной информации и предоставления любой части оставшейся доступной полосы частот под информацию цветоразностного сигнала.

Преобразование компонентов видеосигналов в значения яркости и цветовой разности уменьшает количество передаваемой информации. При наличии одного канала яркости (Y') с полной полосой частот, в котором представлена информация о яркости изображения и фрагмент сигнала, два цветоразностных канала (R'-Y' и B'-Y') могут иметь полосу частот, почти в два раза меньшую, чем полоса канала яркости, и при этом всё же предоставлять достаточную информацию о цвете. Всё это позволяет с помощью простой линейной матрицы проводить преобразование R'G'B' в Y', R'-Y', B'-Y'. Ограничение полосы частот цветоразностных каналов осуществляется после матричного преобразования. Когда каналы восстанавливаются в формат R'G'B' для отображения на дисплее, элемент (фрагмент) яркости восстанавливается в полной полосе, а пространственный цветовой фрагмент ограничивается приемлемым образом. В следующих параграфах и таблицах рассматривается процесс преобразования R'G'B' в Y', R'-Y', B'-Y', который происходит в кодерах и декодерах.

Компоненты Y', R'-Y', B'-Y', обычно используемые для аналогового кодирования			
Формат	1125/60/2:1, 720/60/1:1	525/59.94/2:1, 625/50/2:1, 1250/50/2:1	
Y'	$0,2126 R' + 0,7152 G' + 0,0722 B'$	$0,299 R' + 0,587 G' + 0,114 B'$	
R'-Y'	$0,7874 R' - 0,7152 G' - 0,0722 B'$	$0,701 R' - 0,587 G' - 0,114 B'$	
B'-Y'	$-0,2126 R' - 0,7152 G' + 0,9278 B'$	$-0,299 R' - 0,587 G' + 0,886 B'$	
Аналоговые компоненты Y', P'b, P'r			
Формат	1125/60/2:1 (SMPTE 240M)	1920x1080(SMPTE 274M) 1280x720 (SMPTE 296M)	525/59.94/2:1, 625/50/2:1, 1250/50/2:1
Y'	$0,212R' + 0,701G' + 0,087B'$	$0,2126R' + 0,7152G' + 0,0722B'$	$0,299R' + 0,587G' + 0,114B'$
P'b	$(B'-Y') / 1,826$	$[0,5 / (1 - 0,0722)] (B'-Y')$	$0,564 (B'-Y')$
P'r	$(R'-Y') / 1,576$	$[0,5 / (1 - 0,2126)] (R'-Y')$	$0,713 (R'-Y')$
Компоненты Y', C'b, C'r, масштабирование и смещение для цифрового квантования			
Формат	1920x1080 (SMPTE 274M) 1280x720 (SMPTE 296M)	525/59.94/2:1, 625/50/2:1, 1250/50/2:1	
Y'	$0,2126 R' + 0,7152 G' + 0,0722 B'$	$0,299 R' + 0,587 G' + 0,114 B'$	
C'b	$0,5389 (B' - Y') + 350 \text{ mV}$	$0,564 (B' - Y') + 350 \text{ mV}$	
C'r	$0,6350 (R' - Y') + 350 \text{ mV}$	$0,713 (R' - Y') + 350 \text{ mV}$	

Таблица 1. Видеокомпоненты яркости и цветности

Компонент	Приближённое значение (SMPTE 170M и ITU-R BT.470-6)
Y	$0,299 R' + 0,587 G' + 0,114 B'$
NTSC I	$-0,2680 (B' - Y') + 0,7358 (R' - Y')$
NTSC Q	$0,4127 (B' - Y') + 0,4778 (R' - Y')$
PAL U	$0,493 (B' - Y')$
PAL V	$0,877 (R' - Y')$
SECAM Dr	$-1,902 (R' - Y')$
SECAM Db	$1,505 (B' - Y')$

Таблица 2. Значения параметров яркости и цветности для кодирования композитного видеосигнала

Подвергшиеся гамма-коррекции компоненты R'G'B' преобразуются в матрицу для формирования гамма-скорректированного компонента яркости, обозначаемого Y', и двух цветоразностных компонентов. Компонент яркости и цветоразностные компоненты образуются из R', G' и B' и имеют значения, представленные в таблице 1 (величины коэффициентов приведены в вольтах).

В таблице 1 показаны диапазоны напряжений для преобразования R'G'B' в Y', (R'-Y'), (B'-Y'). Сигнал яркости имеет динамический диапазон от 0 до 700 мВ. Цветоразностные сигналы R'-Y' и B'-Y' могут иметь различные динамические диапазоны в зависимости от значений коэффициентов масштабирования при преобразовании в разные компонентные форматы. Аналоговый компонентный формат, обозначаемый как Y'P'bP'r, масштабируется так, что оба цветоразностных сигнала имеют динамический диапазон ±350 мВ. В результате упрощается процесс обработки видеосигналов. Для получения значений в формате Y'C'bC'r, обычно используемом в цифровых стандартах, величины Y'P'bP'r имеют смещение. В результате обработки образуются видеокомпоненты: Y' или канал яркости, подобный монохромному видеосигналу, и два цветоразностных канала C'b и C'r, по которым передаётся сигнал цветности без информации о яркости. Все эти каналы соответствующим образом масштабированы для дальнейшего преобразования в цифровой вид.

Для использования в разных приложениях применяется несколько различных форматов с цветоразностными каналами. В частности, важно знать, что для композитного кодирования форматов PAL, SECAM и NTSC в настоящее время используются другие значения коэффициентов, как это показано в таблице 2.

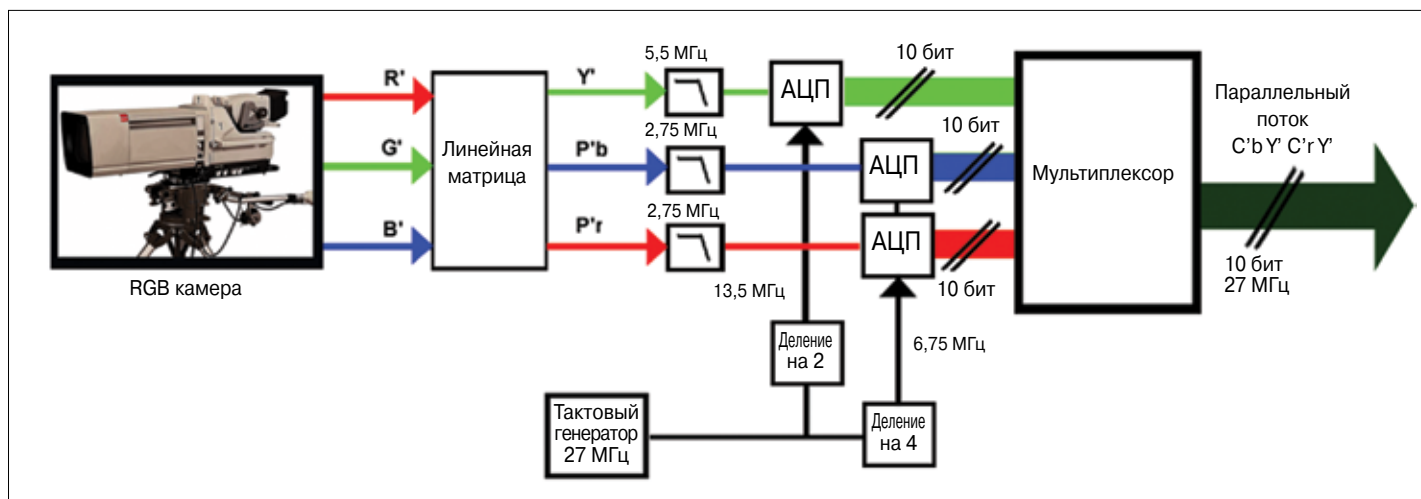


Рис. 5. Оцифровка RGB видеосигнала в ТВ-камере

Цифровой видеоинтерфейс

Здесь уместно провести общий обзор цифровых интерфейсов, используемых для подключения мира аналогового видео. Структурные схемы, приведённые на рисунках 5-8, помогают понять, как оборудование для производства видео оперирует цифровыми компонентами видеосигналов. Несмотря на то что эти структурные схемы иллюстрируют работу систем стандартной чёткости, общий принцип распространяется и на форматы высокой чёткости. В форматах высокой чёткости частота дискретизации и скорость передачи данных будут выше, а отдельные 10-битовые шины для сигналов яркости и цветности проходят через всю систему, что позволяет уменьшить количество компонентов схемы, работающих на высоких скоростях передачи данных.

Гамма-корректированный сигнал RGB (рис. 5) преобразуется с помощью линейной матрицы в компонент яркости, Y', и два масштабированных цветоразностных компонента, P'b и P'r. Чело-

веческое зрение более чувствительно к изменениям уровней яркости, чем к изменениям цвета. Так как человеческое зрение более чувствительно к изменениям уровней яркости, чем к изменениям оттенков цвета, сигнал Y' передается в более широкой полосе частот (5,5 МГц при стандартном разрешении). Сигналы яркости и цветности проходят через фильтры низких частот (ФНЧ), позволяющие подавить высокочастотные составляющие видеосигнала, которые могут вызвать искажения в процессе дискретизации сигнала. Отфильтрованный сигнал яркости оцифровывается с частотой 13,5 МГц с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП), на выходе которого формируется 10-разрядный поток данных шириной 13,5 Мбит/с. Сигналы цветности после фильтрации оцифровываются с частотой 6,75 МГц каждый своим собственным АЦП, на выходе которых формируются два потока данных шириной 6,75 Мбит/с. Три видеоканала мультиплексируются в единый 10-разрядный параллельный поток данных шириной 27 Мбит/с.

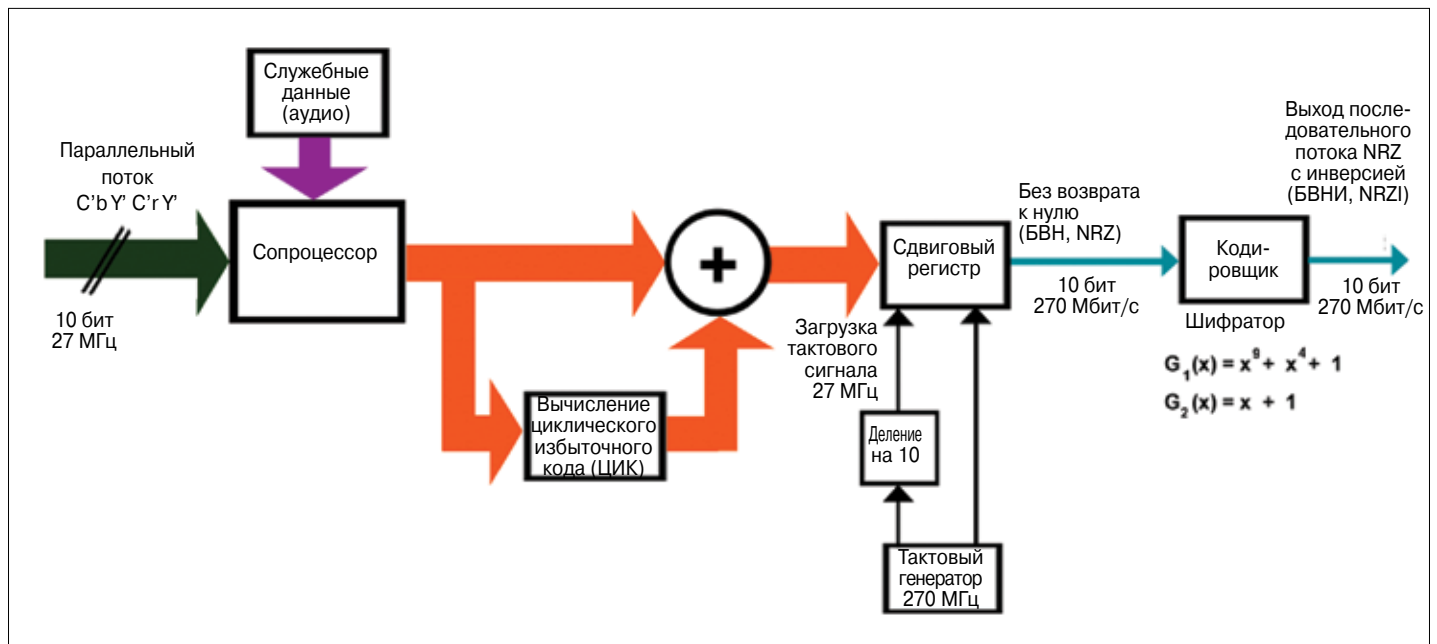


Рис. 6. Обработка и преобразование параллельного потока данных в последовательный

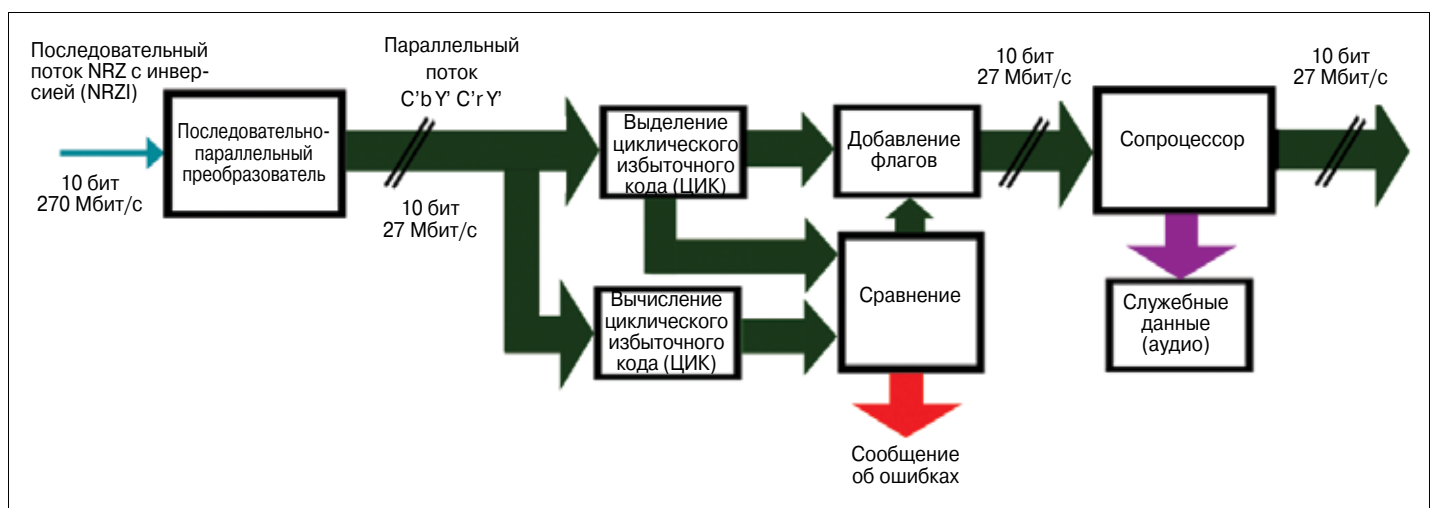


Рис. 7. Приемник последовательного цифрового интерфейса преобразует последовательный поток видеоданных в параллельный

Сопроцессор (рис. 6) используется для добавления опорных синхросигналов, цифрового аудио в формате AES/EBU и других служебных данных. Для пакета данных рассчитывается контрольная сумма и добавляется в параллельный поток данных.

10-разрядный параллельный поток данных шириной 27 Мбит/с затем загружается в сдвиговый регистр (или параллельно-последовательный преобразователь), где он синхронизируется тактовыми импульсами частотой 270 МГц и зашифровывается для передачи, совместимой, в данном примере, с форматом стандартной чёткости ITU-R.BT-656/SMPTE 259M.

Сигналы стандартной чёткости в формате ITU-R.BT-656/SMPTE 259M могут передаваться по стандартным видеокабелям на расстоянии до 300 метров, при этом обеспечивается практически 100 % целостность данных. Дальность передачи сигналов высокой чёткости в формате SMPTE 292M со скоростью 1,485 Гбит/с ограничена примерно 100 метрами.

Приёмник (рис. 7) считывает сигнал, имеющий частоту, равную половине тактовой частоты, с помощью которого затем проводится соответствующая аналоговая коррекция входящего 270 Мбит/с сигнала данных. Новый тактовый сигнал частотой 270 МГц восстанавливается из фронтов сигнала NRZI (без возвращения к нулю с инверсией). Скорректированный сигнал затем дискретизируется с целью определения его логического состояния.

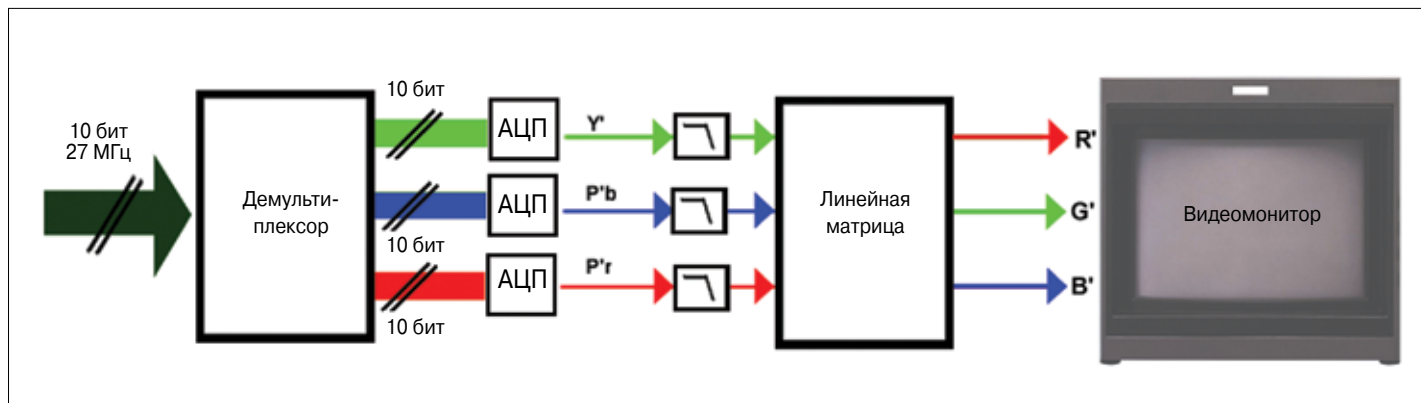


Рис. 8. Восстановление аналогового сигнала R'G'B' из параллельного потока данных

Последовательно-параллельный преобразователь расшифровывает данные с использованием алгоритма, комплементарного шифрующему алгоритму, применяемому в кодировщике. На выходе преобразователя формируется 10-битовый параллельный поток данных шириной 27 Мбит/с. Встроенная контрольная сумма извлекается приёмником и сравнивается с новым значением контрольной суммы, сгенерированным из полученных данных. В случае появления какой-либо ошибки выдаётся сообщение, а в поток данных добавляется соответствующий флаг. Сопроцессор выделяет из потока данных аудио или другие служебные данные.

Затем 10-разрядный поток данных демультимплексируется (рис. 8) с образованием цифровых потоков данных яркости и цветности. С помощью трёх цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП) цифровые сигналы превращаются в аналоговые. Для сглаживания формы сигналов они пропускаются через фильтры низких частот. И, наконец, с помощью линейной матрицы сигнал вновь преобразуется в исходный формат R'G'B' для вывода на дисплей.

Этот общий обзор системы поможет нам лучше понять, как работает система. Дополнительные сведения о цифровых интерфейсах приведены в следующих параграфах.

Дискретизация 601

Стандарт ITU-R BT.601 — это стандарт дискретизации, который был разработан совместной рабочей группой Общества инженеров кино и телевидения США (SMPTE) и Европейского телевещательного союза (EBU) с целью установления параметров для цифровых компонентов видеосигналов телевизионных систем форматов 625/50 и 525/60. Эта работа завершилась в 1981 году проведением серии испытаний, организованных SMPTE, по итогам которых появилась Рекомендация 601 Международного консультативного комитета по радиовещанию (CCIR), ныне известная как стандарт ITU-R BT.601. Этот документ точно определяет механизм дискретизации, который должен использоваться для сигналов систем с 525 и 625 строками. В нем описывается ортогональная структура дискретизации с частотой 13,5 МГц для аналогового сигнала яркости и 6,75 МГц для двух аналоговых цветоразностных сигналов. В результате процедуры получают цифровой сигнал яркости Y' и цифровые цветоразностные сигналы $C'b$ и $C'r$, которые представляют собой масштабированные модификации аналоговых гамма-корректированных сигналов $V'-Y'$ и $R'-Y'$. Частота 13,5 МГц была выбрана в качестве частоты дискретизации, потому что величина 2,25 МГц является общим множителем для систем с 525, и с 625 строками (см. Приложение В — Взаимосвязь телевизионных тактовых сигналов).

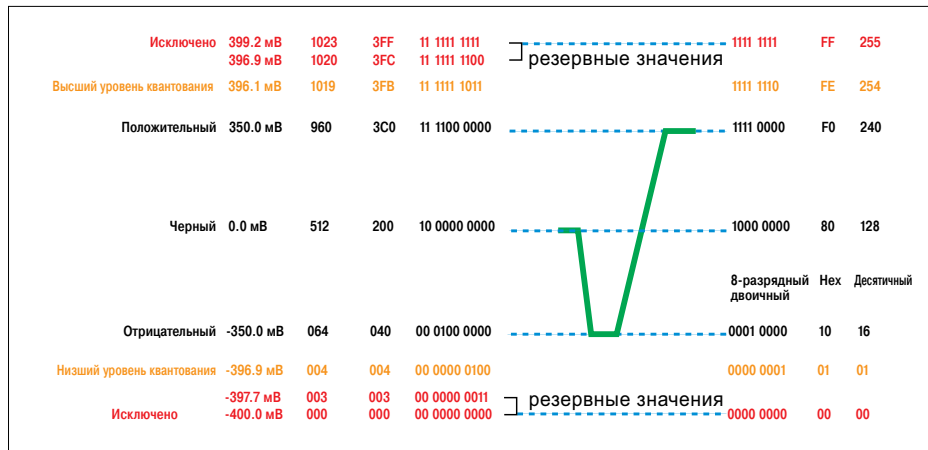


Рис. 9. Квантование цветоразностного сигнала

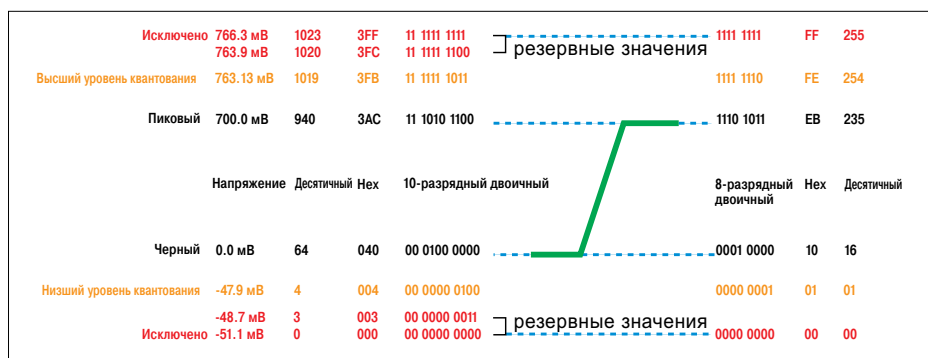


Рис. 10. Квантование сигнала яркости

Хотя в большинстве используемых в настоящее время реализаций стандарта ITU-R BT.601 применяется 10-разрядное квантование, этот стандарт позволяет осуществлять и 8-разрядное (что соответствует 256 уровням, от $00_н$ до $FF_н$), и 10-разрядное (1024 уровней, от $000_н$ до $3FF_н$) квантование. Заданные значения 8-разрядных слов могут быть напрямую конвертированы в 10-разрядные величины, а 10-разрядные, для обеспечения функциональной совместимости, могут быть округлены до 8-разрядных величин. Значения цветоразностных компонентов $C'b$ и $C'r$ в диапазоне от $040_н$ до $3C0_н$ (рис. 9) соответствуют аналоговым сигналам с амплитудой в пределах ± 350 мВ. Амплитуды сигналов могут выходить за пределы этого диапазона, при этом номинальная величина допустимого диапазона составляет ± 400 мВ. Значения компонента яркости Y' (рис. 10) лежат в диапазоне от $040_н$ до $3AC_н$, что соответствует аналоговым сигналам с амплитудой от 0,0 мВ до 700 мВ. Амплитуды этих сигналов также могут выходить за пределы диапазона, при этом номинальная величина диапазона составляет от -48 мВ до +763 мВ, чем обеспечивается большая разность напряжений при превышении уровня белого. Аналого-цифровые преобразователи сконфигурированы таким образом, чтобы никогда не генерировать 10-разрядные уровни от $000_н$ до $003_н$ и от $3FC_н$ до $3FF_н$, чем достигается функциональная совместимость с 8-разрядными системами. Уровни квантования выбираются таким образом, что 8-разрядные уровни с двумя добавленными нулями будут иметь такие же значения, как и 10-разрядные. В АЦП, предназначенных и для сигналов яркости, и для цветоразностных сигналов, значения от $000_н$ до $003_н$ и от $3FC_н$ до $3FF_н$ резервируются для целей синхронизации.

На рис. 11 показано положение выборок и цифровых слов относительно горизонтальной аналоговой линии, а на рис. 12 отображены пространственные связи с областью картинки. Поскольку информация по синхронизации переносится пакетами «Окончание активного видео» (End of Active Video, EAV) и «Начало активного видео» (Start of Active Video, SAV), то нет необходимости в использовании обычных синхронизирующих сигналов. Горизонтальный интервал гашения и полные периоды строчной развёртки в течение вертикального интервала гашения могут быть использованы для переноса аудио и иных вспомогательных данных. Синхронизирующие пакеты EAV и SAV распознаются в потоке данных при помощи заголовка, начинающегося со слов $3FF_n$, 000_n и 000_n . Четвёртое слово (*xyz*) в пакетах EAV и SAV содержит информацию о сигнале. Пакеты вспомогательных данных в компонентном цифровом видео обозначаются заголовком, начинающимся со слов 000_n , $3FF_n$, $3FF_n$.

Слово «xyz» представляет собой 10-разрядное слово с двумя младшими значащими битами, установленными на ноль, что позволяет пересылать такие слова по 8-разрядному сигнальному тракту. Содержащееся в формате видео стандартной чёткости слово «xyz» выполняет функции F, V и H, которые принимают следующие значения:

- бит 8 (бит F): «0» — для поля один, «1» — для поля два;
- бит 7 (бит V): «1» — для вертикального интервала гашения, «0» — для активных видеострок;
- бит 6 (бит H): «1» — для последовательности EAV, «0» — для последовательности SAV.

Параллельный цифровой интерфейс

Электрические интерфейсы для данных, получаемых в результате дискретизации в соответствии с Рекомендацией 601, были стандартизированы отдельно SMPTE (стандарт SMPTE 125M для формата 525/59.94) и EBU (документ EBU Tech. 3267 для формата 625/50). Оба документа были приняты CCIR (в настоящее время — Международный союз электросвязи, ИТУ) и включены в Рекомендацию 656 — документ, описывающий аппаратную часть параллельного интерфейса. В параллельном интерфейсе используется одиннадцать витых пар и 25-контактные коннекторы типа D. Параллельный интерфейс мультиплексирует слова данных в последовательность C'b, Y', C'r, Y' и т.д., в результате формируется поток данных шириной 27 Мбит/с. К каждой строке добавляются пакеты синхронизации SAV и EAV. Активная строка цифрового видео в обоих форматах — 525 и 625 — включает в себя 720 выборок сигнала яркости, а также дополнительные выборки для импульса аналогового гашения, синхронизации, а также иных данных.

Из-за жестких требований к многопроводным кабелям и коммутационным панелям студийная цифровая аппаратура с параллельным интерфейсом может применяться только в относительно небольших установках с постоянной конфигурацией.

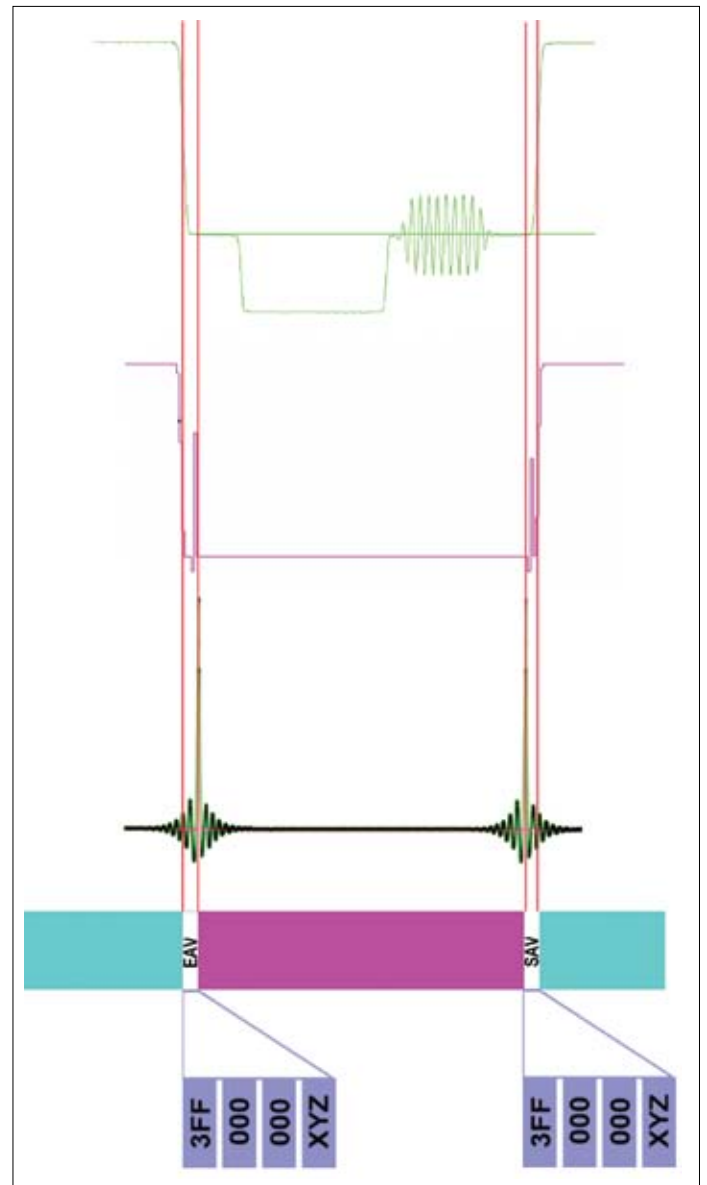


Рис. 11. Цифровой горизонтальный (строчный) интервал гашения

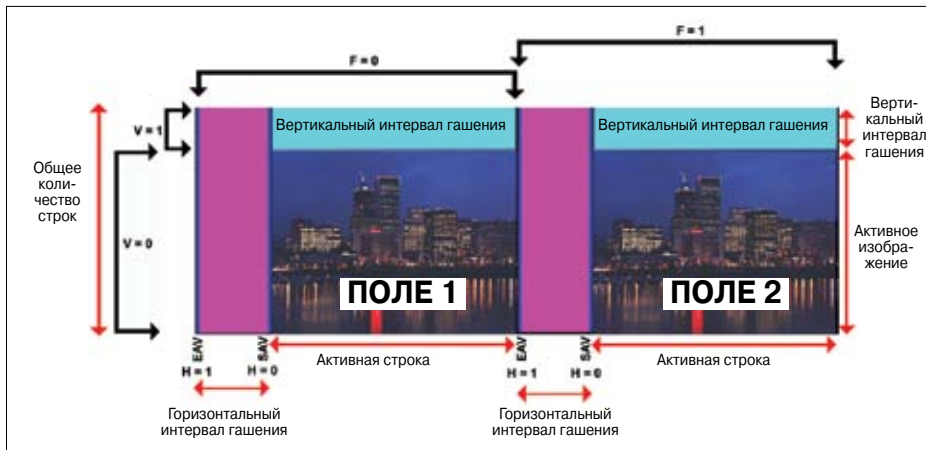


Рис. 12. Схема цифрового кадра с чересстрочной развёрткой 2:1

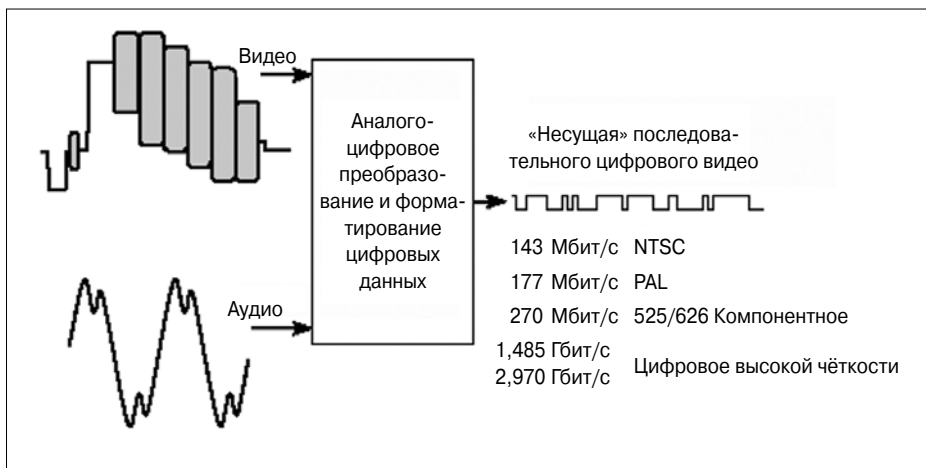


Рис. 13. Общее представление о несущей

Последовательный цифровой интерфейс (SDI)

Совершенно очевидно, что вне зависимости от формата необходимо передавать данные по одинарному коаксиальному кабелю. Это не только потому, что скорость передачи данных относительно высокая, но и потому, что если сигналы будут передаваться без модификации, то могут возникнуть трудности с их надёжным восстановлением. Сигнал перед передачей должен быть модифицирован с тем, чтобы фронты сигнала обеспечивали надёжное восстановление тактовой частоты, чтобы уменьшить низкочастотную составляющую передаваемого сигнала, а также расширить энергетический спектр таким образом, чтобы минимизировать проблемы с РЧ излучением. Последовательный цифровой интерфейс, в котором используется скремблирование и кодирование NRZI (без возвращения к нулю с инверсией), был специально разработан для того, чтобы соответствовать этим требованиям. Параметры этого интерфейса определены в стандартах ANSI/SMPTE 259M, ITU-R BT.656 и EBU Tech. 3267. Интерфейс SDI предназначен как для видеокomпонентов стандартного разрешения, так и для композитных сигналов, включая встроенное цифровое аудио. Масштабированная версия этого последовательного интерфейса конкретизирует требования к трансляции видео данных высокой чёткости.

Концептуально, последовательный цифровой интерфейс похож на систему высокочастотной связи для студийных приложений. Широкополосные видео- и аудиосигналы оцифровываются и объединяются на последовательной цифровой «несущей», как это представлено на рис. 13. Следует отметить, что данная система не является в строгом смысле системой высокочастотной связи, так как она представляет собой широкополосный сигнал, а не несущую, модулированную сигналом. Скорость потока данных (частота несущей) определяется тактовой частотой импульсов цифровых данных: 270 Мбит/с для видео стандартного разрешения и 1,485 Гбит/с или 2,97 Гбит/с для форматов высокой чёткости. Другие значения скорости передачи, включая 143 Мбит/с и 177 Мбит/с для композитных последовательных интер-

фейсов NTSC и PAL также применяются, но в этом учебном пособии подробно рассматриваться не будут.

Параллельный поток данных, который представляет собой совокупность выборок компонентов аналогового сигнала, подвергается обработке так, как это показано на рис. 14, с целью формирования последовательного потока цифровых данных. Тактовые сигналы параллельного потока используются для загрузки оцифрованных данных в сдвиговый регистр. Параллельно с помощью умноженной на 10 тактовой частоты для каждого 10-битового слова данных производится сдвиг битов, при этом младший значащий бит (МЗБ, LSB) смещается первым. Если данные состоят из 8-битовых слов, то для формирования 10-битового слова параллельно-последовательный преобразователь дополняет каждое слово двумя МЗБ, состоящими из нулей. В компонентных форматах пакеты синхронизации SAV и EAV, передаваемые с параллельного интерфейса, обеспечивают создание уникальных последовательностей, которые могут быть идентифицированы в последовательном домене для формирования кадров слов. Процедуры кодирования пакетов данных EAV и SAV описаны в разделе «Синхронизация и привязка по времени в цифровой студии» этого учебного пособия. Если в параллельную последовательность сигналов были внесены другие вспомогательные данные, например, аудиосигналы, то эти данные также будут передаваться по последовательному интерфейсу.

После преобразования параллельного потока данных в последовательный информация шифруется с помощью математического алгоритма, а затем кодируется в код NRZI путём конкатенации двух функций:

$$G_1(x) = x^9 + x^4 + 1$$

$$G_2(x) = x + 1$$

Скремблирование сигнала делает его статистически похожим на сигнал с низким уровнем постоянной составляющей, что упрощает управление им. При этом такой сигнал обладает большим количеством фронтов для облегчения восстановления тактовой частоты. Кодирование NRZI делает сигнал нечувствительным к полярности.

В приёмнике при преобразовании последовательного кода в параллельный

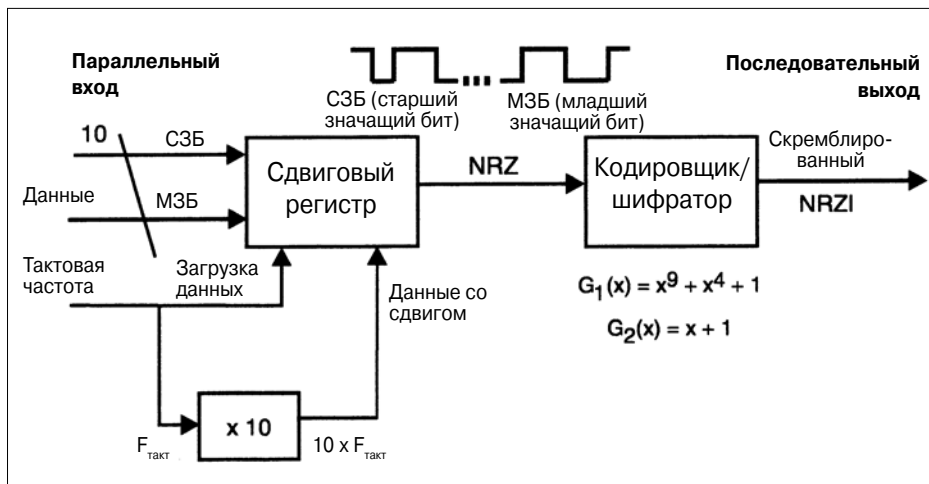


Рис. 14. Преобразование параллельного кода в последовательный

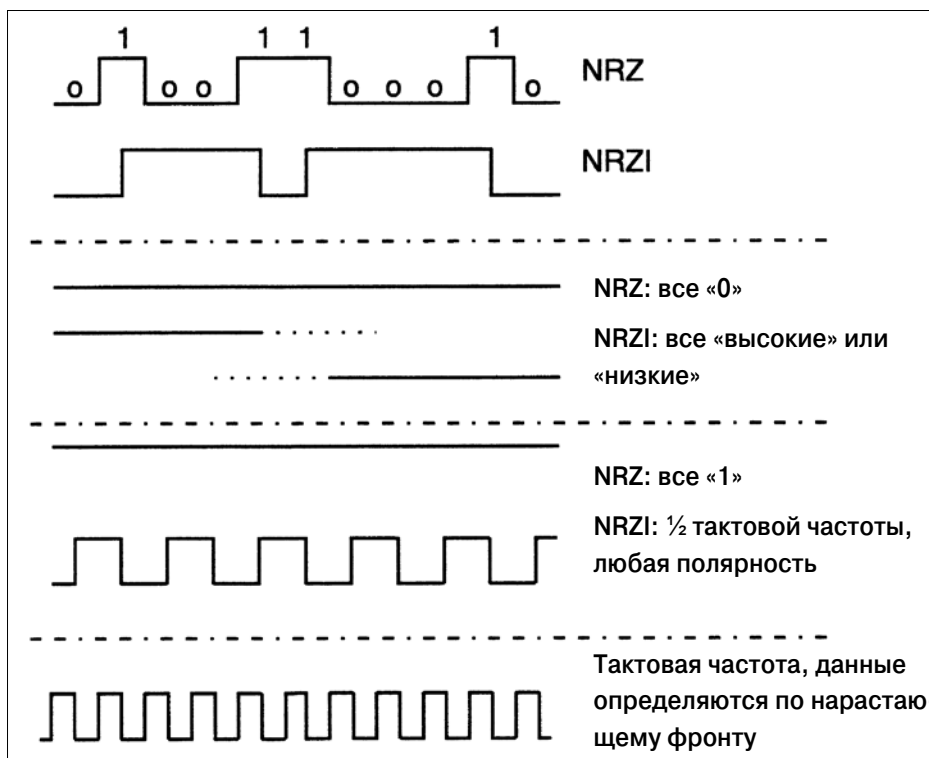


Рис. 15. Взаимосвязь NRZ и NRZI

для восстановления правильных данных используется инверсия этого алгоритма, таким образом конечный пользователь имеет возможность просматривать исходные, расшифрованные компоненты. В системе с последовательной передачей данных тактовые сигналы содержатся в самом потоке данных, в отличие от системы с параллельной передачей, в которой имеется отдельная линия для тактовых сигналов. При скремблировании данных гарантируется избыток фронтов импульсов, что необходимо для восстановления тактовой частоты.

Для тестирования системы в предельных режимах (см. раздел «Тестирование цифровой системы») генерируются специальные испытательные сигналы, формирующие последовательности с высоким уровнем постоянной составляющей и малым количеством фронтов, что необходимо для тестирования эффективности схемного решения приёмника SDI. Нормально функционирующая цифровая система с последовательной передачей данных не потеряет работоспособность даже под воздействием этих сложных сигналов.

Кодирование в формат NRZI делает последовательный поток данных нечувствительным к полярности. По сути код NRZ является знакомой логической схемой, в которой высокий уровень равен логической единице («1»), а низкий — логическому нулю («0»). Для системы передачи является очень удобным отсутствие требований к наличию определённой полярности сигнала на приёмнике. Как показано на рис. 15, для обозначения единицы информации используется изменение уровня сигнала данных, а для обозначения нуля — отсутствие изменения. В результате необходимо лишь регистрировать переходы, при этом может использоваться любая полярность сигнала. Кроме того, в результате кодирования NRZI сигнал, целиком состоящий из единиц («1»), вызывает переход в каждом тактовом интервале, в итоге получается сигнал прямоугольной формы с частотой, равной половине тактовой частоты. Вместе с тем, нули сигнала не генерируют никаких переходов, что вызывает необходимость в скремблировании. В приёмнике нарастающий фронт прямоугольного сигнала с тактовой частотой будет использоваться для регистрации данных.

Последовательный цифровой интерфейс может применяться на небольших расстояниях в хорошо спроектированной системе с обычными 75-омными видеокабелями, коннекторами и коммутационными панелями. Так, к примеру, влияние несогласованного кабеля, как это зачастую бывает при подключении через T-образные коннекторы (тройники), может быть совершенно незаметным в случае аналогового видео, но при последовательной передаче цифрового видео может вызывать существенные отражения, а также чревато возможной потерей программы.

Рассмотренные выше вопросы параллельной и последовательной передачи компонентного видео в общем случае применимы для форматов как стандартного разрешения, так и высокой чёткости. Уровни дискретизации и квантования в целом одни и те же, так же как и формат данных синхронизации. В форматах видео высокой чёткости частота дискретизации выше, кроме того, обычно большее количество выборок выделяется для вспомогательных данных. В форматах видео высокой чёткости имеется нумерация строк и используются коды контроля ошибок, кроме того, в них большее количество выборок отводится под многоканальное аудио. Вместе с тем, основные принципы одинаковы как для форматов стандартного разрешения, так и для форматов высокой чёткости. Ясное понимание одного компонентного цифрового формата поможет нам лучше понять все остальные. В этом учебном пособии по мере обсуждения мы будем обращать особое внимание на различия в форматах видео. Форматы видео стандартной и высокой чёткости будут обсуждаться и сравниваться в разделе «Синхронизация и привязка по времени».

Видео высокой чёткости построено на принципах видео стандартной чёткости

При переходе на формат видео высокой чёткости вполне можно использовать основные принципы, заложенные в видео стандартной чёткости, и распространять их на специфические требования телевидения высокой чёткости (ТВЧ, HDTV). Методы оцифровки аналогового сигнала в основном одинаковы, просто в ТВЧ используется более широкая полоса пропускания канала

и более высокая частота дискретизации. Методы обработки цифрового сигнала также в принципе одинаковы, просто в ТВЧ используются более высокие скорости передачи данных, и большее внимание обращается на качество разработки системы. Таким образом, вся линия работает с более высокой скоростью передачи данных и более высокой пропускной способностью, но при этом почти все принципы хорошо знакомы.

В системе телевидения высокой чёткости имеется широкий набор форматов, что предоставляет техническим специалистам в области теле- и радиовещания значительную гибкость в решении стоящих перед ними задач, но, вместе с тем, существенно повышает сложность вещательной системы.

Стандарты определяют формат развёртки изображения, тип аналогового интерфейса, параллельного цифрового интерфейса и последовательного цифрового интерфейса для производства и работы с видео высокой чёткости. К наиболее важным стандартам относятся:

- **ANSI/SMPTE 240M. Телевидение — Параметры сигналов — Производственная система высокой чёткости со 1125 строками.** Определяет основные характеристики аналоговых видеосигналов, связанных со студийным оборудованием, работающим в производственных системах со 1125 строками (1035 активными) при частоте обновления полей 60 Гц и 59,94 Гц.
- **SMPTE 260M. Телевидение — Цифровое представление и параллельный интерфейс — Производственная система высокой чёткости формата 1125/60.** Определяет цифровое представление параметров сигналов высокой чёткости формата 1125/60, заданных в аналоговой форме в соответствии с требованиями стандарта ANSI/SMPTE 240M.
- **ANSI/SMPTE 274M. Телевидение — Сканирующие системы с разрешением 1920 x 1080, аналоговые и параллельные цифровые интерфейсы для различных показателей изображения.** Определяет семейство сканирующих систем, имеющих активную область изображения 1920 пикселей на 1080 строк и формат кадра 16:9.
- **ANSI/SMPTE 292M. Телевидение — Последовательный цифровой интерфейс для телевизионных систем высокой чёткости.** Определяет последовательный цифровой коаксиальный и волоконно-оптический интерфейс для компонентных сигналов высокой чёткости, работающий со скоростью 1,485 Гбит/с и 1,485/1,001 Гбит/с.
- **ANSI/SMPTE 296M. Телевидение — Сканирующие системы с разрешением 1290 x 720, аналоговое и цифровое представление, аналоговый интерфейс.** Определяет семейство форматов с прогрессивной развёрткой, имеющих активную область картинки 1280 пикселей на 720 строк и формат кадра 16:9.
- **ANSI/SMPTE 372M. Телевидение — Интерфейс Dual Link 292M для изображений размером 1920 x 1080.** Определяет методы переноса форматов 1080i/p YCbCr и RGBA 1080i/p в 10- или 12-битовом представлении через двухканальный последовательный цифровой интерфейс высокой чёткости HD-SDI.

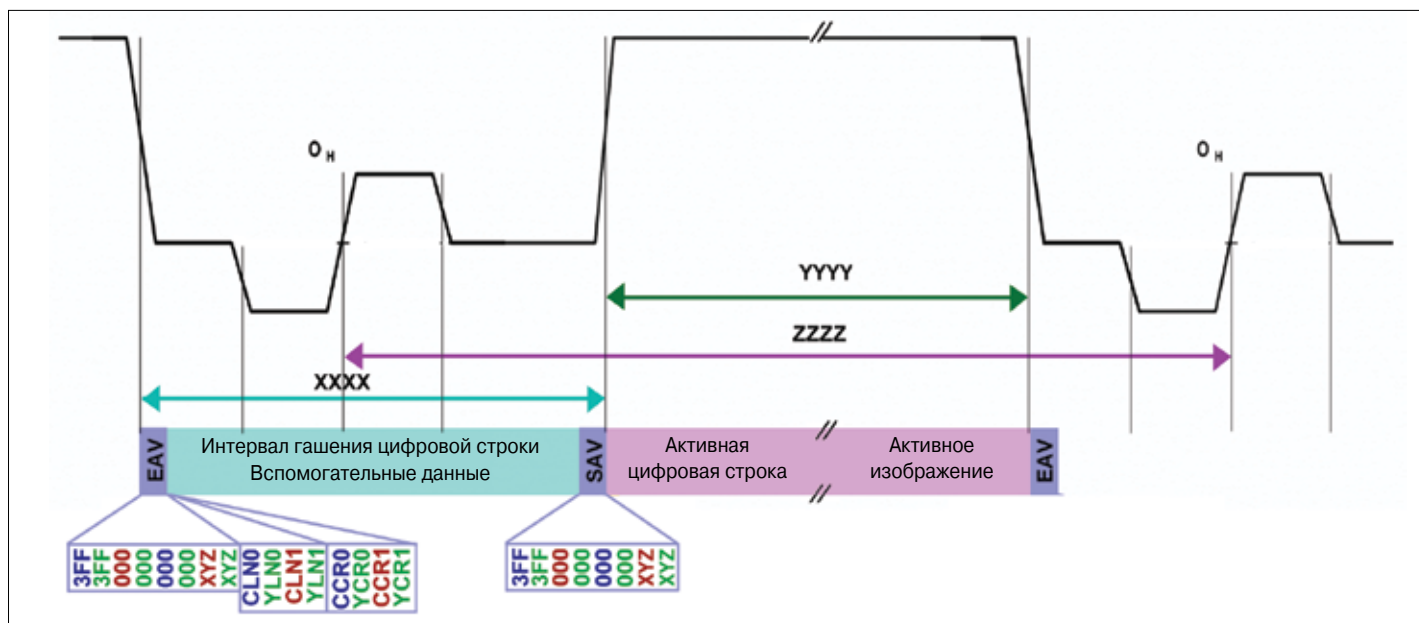


Рис. 16. Вспомогательные данные в цифровой строке в сравнении с аналоговым представлением

Слово	Биты									
	9 (СЗБ)	8	7	6	5	4	3	2	1	0 (МЗБ)
LN0	не равен биту 8	L6	L5	L4	L3	L2	L1	L0	R (0)	R (0)
LN1	не равен биту 8	R	R	R	L10	L9	L8	L7	R (0)	R (0)

Таблица 3. Распределение битов в словах номера строки
Примечание: СЗБ – старший значащий бит, МЗБ – младший значащий бит

- **ANSI/SMPTE 424M. Телевидение – Интерфейс последовательной передачи сигнала и данных со скоростью 3 Гбит/с.** Определяет методы передачи последовательного цифрового сигнала со скоростью до 3 Гбит/с через коаксиальный интерфейс.
- **ANSI/SMPTE 425M, Телевидение – Интерфейс последовательной передачи сигнала и данных со скоростью 3 Гбит/с – Преобразование формата исходного изображения.** Определяет методы передачи изображений форматов 1920 x 1080 и 2048 x 1080 по интерфейсу со скоростью до 3 Гбит/с.

Типичное значение ширины аналоговой полосы пропускания для красного, зелёного и синего компонентов видео высокой чёткости составляет 30 МГц для форматов с 1080 строками (чересстрочная и прогрессивная развертки, частота смены кадров 30; 29,97; 25; 24; 23,98 кадр/с) и форматов с 720 строками (прогрессивная развертка). Этот же показатель для форматов 1080p (прогрессивная развертка, частота смены кадров 50; 59,94; 60 кадр/с) составляет 60 МГц. В этой связи для оцифровки матрицированных сигналов яркости и цветоразностных сигналов требуется высокая частота дискретизации. Частота дискретизации для 30 МГц сигнала яркости Y составляет 74,25 МГц. Для оцифровки каждого из 15 МГц цветоразностных сигналов C'b и C'r требуется

частота дискретизации, равная половине частоты дискретизации сигнала яркости, т.е. 37,125 МГц. Сигналы оцифровываются с вертикальным разрешением 10 бит. Цветоразностные сигналы C'b и C'r матрицируются в единый поток 10-битовых параллельных данных шириной 74,25 Мбит/с, который затем соединяется с таким же потоком данных яркости. В результате образуется 10-битовый параллельный поток данных шириной 148,5 Мбит/с с порядком слов C'b, Y', C'r, Y', таким же как и в видео стандартной чёткости. Для передачи в пределах студии параллельный поток, так же как и в видео стандартной чёткости, затем преобразуется в последовательный поток шириной 1,485 Мбит/с с кодировкой, в данном случае, NRZI. Следует иметь в виду, что при дробных значениях частоты смены кадров (59,94 Гц, 29,97 Гц, 23,98 Гц) тактовая частота должна делиться на 1,001.

Квантование цветоразностных сигналов и сигналов яркости (см. рис. 9 и 10) производится одинаково как для сигналов стандартной чёткости, так и для сигналов высокой чёткости. При этом 10-битовые десятичные кодовые слова 0, 1, 2, 3, а также 1020, 1021, 1022 и 1023 не используются. Кодовые слова в пакетах EAV и SAV имеют одинаковую функциональность в видео стандартной и высокой чёткости. Добавочные слова, следующие за пакетом EAV в форматах высокой чёткости, предназначены для нумерации отдельных строк и для обеспечения построчного контроля ошибок в канале яркости и двух цветоразностных каналов.

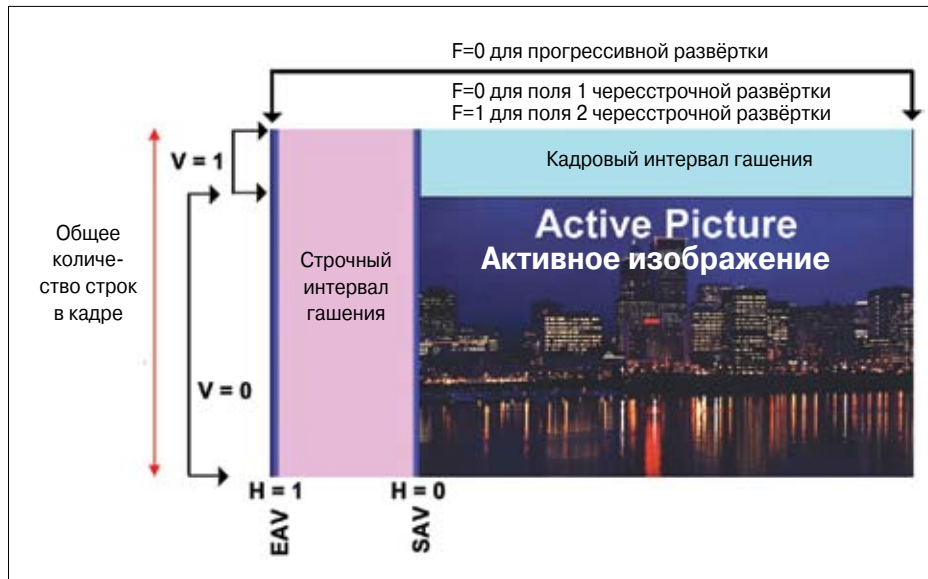


Рис. 17. Пространственная компоновка цифрового кадра со значениями V-, F- и H-битов

Слово	Биты									
	9 (СЗБ)	8	7	6	5	4	3	2	1	0 (МЗБ)
YCR0	не равен биту 8	CRC8	CRC7	CRC6	CRC5	CRC4	CRC3	CRC2	CRC1	CRC0
YCR1	не равен биту 8	CRC17	CRC16	CRC15	CRC14	CRC13	CRC12	CRC11	CRC10	CRC9
CCR0	не равен биту 8	CRC8	CRC7	CRC6	CRC5	CRC4	CRC3	CRC2	CRC1	CRC0
CCR1	не равен биту 8	CRC17	CRC16	CRC15	CRC14	CRC13	CRC12	CRC11	CRC10	CRC9

Таблица 4. Распределение битов в словах, составляющих значение ЦИК для сигналов яркости и цветности, в форматах высокой чёткости

Форматирование данных в видео строке показано на рис. 16, который также иллюстрирует временные соотношения с аналоговым видео высокой чёткости.

В форматах высокой чёткости непосредственно за последовательностью EAV, состоящей из четырёх слов, следуют два слова (LN0 и LN1), обозначающие номер строки. За ними идут два слова (YCR0 и YCR1) с циклическим избыточным кодом (ЦИК, CRC). Счётчик строк имеет 11-битный двоичный формат, его биты распределены по двум словам данных LN0 и LN1, как показано в табл. 3. Так, например, для строки 1125 два слова данных будут иметь значения в шестнадцатеричном формате LN0 = 394_h и LN1 = 220_h, а в двоичном коде — 10001100101.

Контроль циклическим избыточным кодом в форматах высокой чёткости выполняется в каждой строке отдельно для сигналов яркости и цветности и используется для обнаружения ошибок в активной цифровой строке. Величина ЦИК вычисляется с помощью полинома $CRC(x) = x^{18} + x^5 + x^4 + 1$ для всех значений, начиная с нулевого в стартовом слове первой активной строки и заканчивая последним словом номера строки. Распределение битов в словах, составляющих значение ЦИК, показано

в табл. 4. Вычисленное для сигнала яркости значение ЦИК входит в слова YCR0 и YCR1, для цветоразностных сигналов — в слова CCR0 и CCR1.

Значения ЦИК для сигналов яркости и цветности могут отображаться измерительными приборами и использоваться для определения ошибок, накапливающихся в сигнале в процессе его распространения от места до места.

В форматах стандартной чёткости пакет EAV заканчивается словом «xyz», в которое не входит нумерация строки. Контроль при помощи ЦИК для активного изображения и ЦИК для полного поля (за исключением времени, выделенного на коммутацию сигнала в полевом интервале) выполняется произвольно один раз на полукадр в течение вертикального интервала гашения, как это предписывается стандартом SMPTE RP-165.

Всем словам в области горизонтального интервала гашения между пакетами EAV и SAV (рис. 17) присваиваются значения, соответствующие чёрному цвету ($Y' = 040_{h}$, $C'b = C'r = 200_{h}$), если они не используются для передачи вспомогательных данных.

Синхронизация и привязка по времени

Стандарты содержат информацию, которая позволяет обеспечить взаимозаменяемость и функциональную совместимость различных устройств, входящих в сквозной канал передачи видеоизображения. Хорошие стандарты обеспечивают экономичное использование ресурсов и технологий. Стандарты содействуют сотрудничеству между потребителями и содействуют инновациям. Стандарты необходимы, если специалист в области видео и телезритель должны выпускать и смотреть одну и ту же программу.

Американский национальный институт стандартов (American National Standards Institute, ANSI), Общество инженеров кино и телевидения (Society of Motion Picture and Television Engineers, SMPTE), Общество инженеров-акустиков (Audio Engineering Society, AES) и Международный союз электросвязи (International Telecommunications Union, ITU) публикуют базовые стандарты и рекомендации для видео и аудио. Стандарты и рекомендации, перечисленные в приложении D «Перечень стандартов и рекомендаций для телевидения», определяют параметры сигналов, которые обеспечивают совместимость и соответствие нормативным документам. Стандарты, публикуемые этими органами, тщательно проработаны и могут быть очень полезными при описании точных характеристик каждой системы. Последующее обсуждение является интерпретацией этих стандартов, чтобы обеспечить ясное понимание многих других отдельно стандартизованных форматов.

Успешное создание, передача и восстановление видеоизображения зависит от каждого устройства в системе, работающего в строгой синхронизации с другими устройствами. Как только телевизионная камера зафиксирует положение элемента картинка на изображении, она должна каким-либо образом установить, где это значение находится, чтобы в дальнейшем правильно воспроизвести его на телевизионном дисплее. Элементы синхронизации указывают камере, как создавать картинку в согласовании с другими камерами и источниками, а также сообщают, где и как расположить картинку при её окончательном воспроизведении на экране.

Телекамера и, в конечном итоге, дисплей знают, как сканировать детектор или экран. Им только нужно знать, где начинать и как сделать это вовремя. Синхронизирующая информация обновляется с каждой горизонтальной строкой и с каждым вертикальным проходом дисплея (дважды на каждую полную картинку при чересстрочном формате 2:1). Внутри большой видеостудии синхронизирующая информация обеспечивается с помощью основного внешнего генератора синхронизирующих импульсов. В маленьких системах одна из камер может обеспечивать синхронизирующей информацией и себя, и другие видеоисточники.

Синхронизация в аналоговом видео

В настоящее время широко используются шесть композитных аналоговых видеоформатов стандартной чёткости: PAL, PAL-M, PAL-N, NTSC с установкой, NTSC без установки и SECAM. Кроме того, в некоторых странах разрешено эфирное вещание с более широкой полосой частот, что дает возможность использовать видео с более широкой полосой пропускания. Зачастую в странах, в которых применяется формат SECAM, выпуск телевизионных программ в студии осуществляется с использованием компонентного видеосигнала или в формате PAL, которые затем переводятся в формат SECAM для передачи. Видео форматы SECAM и PAL очень похожи, разница заключается, главным образом, в способе модуляции цветовой информации.

Студийное видео представляет собой поток данных, который может быть использован сразу, по мере появления, задержан для согласования с другими источниками или записан для последующего воспроизведения. Как бы этот поток данных ни перемещался, он перемещается в реальном времени, и он должен переносить всю информацию, необходимую для создания изображения в месте назначения. Видеосигнал содержит данные изображения и данные синхронизации для правильного воспроизведения картинки. Данные синхронизации включают комбинацию регулярно приходящих строчных синхронизирующих импульсов или служебных слов данных, которые позволяют распознать каждую строку видео. Комбинация строчных синхроимпульсов прерывается менее часто появляющимися данными кадровой синхронизации, которые выдают дисплею команду начать воспроизведение изображения в верхней части экрана.

В композитных видеоформатах NTSC или PAL видеоданные и информация о синхронизации могут быть легко визуализированы и измерены. Монитор видеосигналов оснащён предустановленным набором коэффициентов развёртки для отображения строк телевизионной развёртки, горизонтального (строчного) интервала гашения, развёртки всех строк изображения или только строк в вертикальном (кадровом) интервале гашения. Важно понимать, что всё это — изображения одного и того же видеосигнала, разница заключается в том, когда отображен сигнал и как долго это длится каждый раз. В современных терминах композитное аналоговое видео означает мультиплексную передачу с временным разделением сигнала яркости и данных синхронизации. В свою очередь, информация цветности представляет собой мультиплексную передачу с частотным разделением двух цветоразностных сигналов.

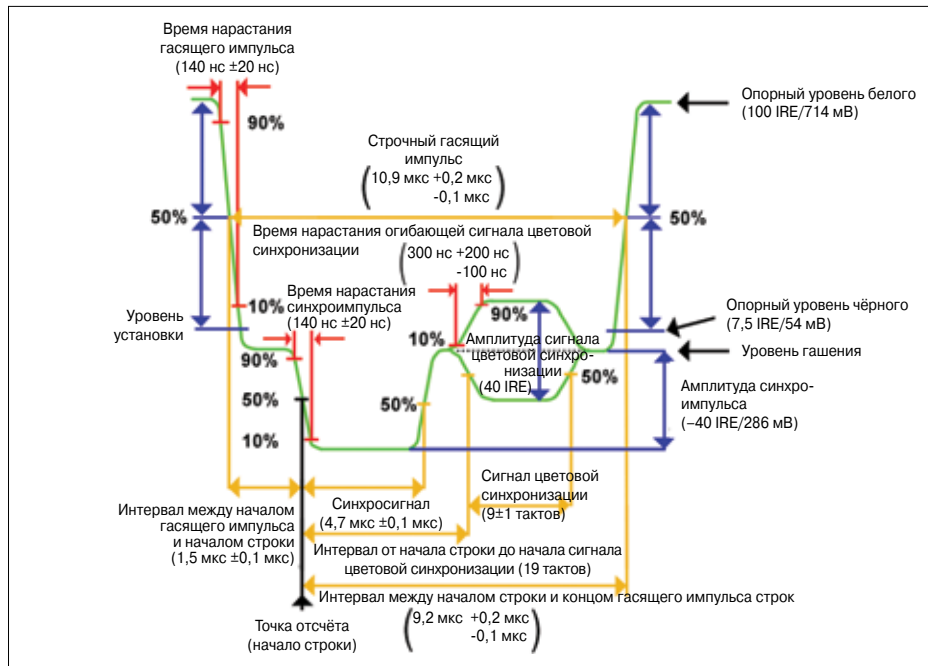


Рис. 18. Строчный интервал гашения видеосигнала NTSC

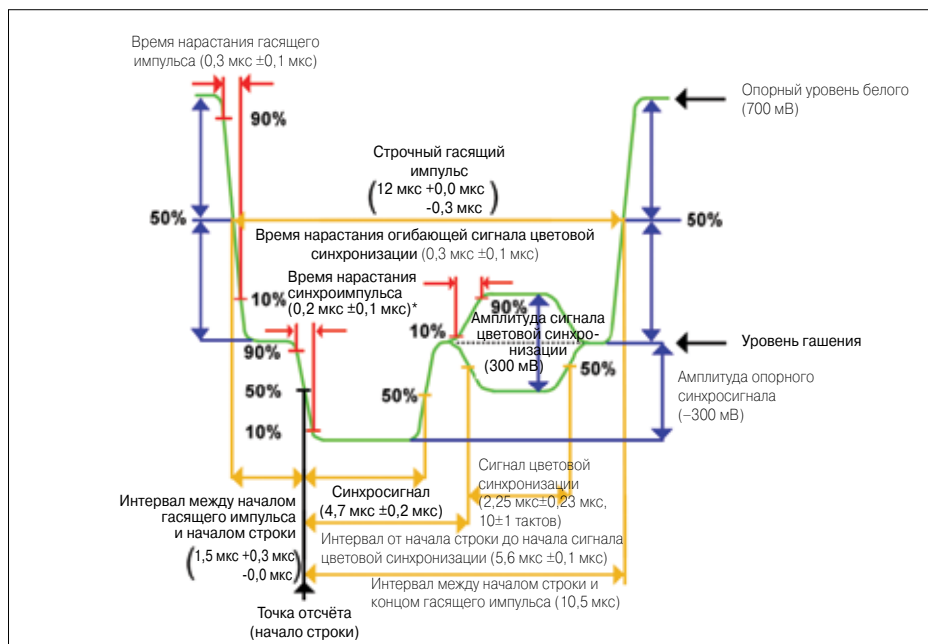


Рис. 19. Строчный интервал гашения видеосигнала PAL

Горизонтальная синхронизация

Диаграммы горизонтальной синхронизации для форматов 525/59,94 NTSC (рис. 18) и 625/50 PAL (рис. 19) в принципе похожи. Они разрабатывались в середине XX столетия с учётом ограничений, которые накладывались возможностями существовавших в то время камер и дисплеев. Строчный интервал гашения содержится в каждой строке видеоданных и изменяется для обеспечения кадрового интервала гашения.

Передняя площадка строчного гасящего импульса (FRONT PORCH) задаёт время в конце видеостроки, когда луч под-ходит к правой стороне экрана. Точка, соответствующая 50 % длительности спадающего фронта синхроимпульса, является опорной, т.е. точкой начала отсчёта времени в системе, по которой осуществляется запуск обратного хода луча кинескопа. Интервал между началом синхроимпульса и концом гасящего импульса (SYNC TO BLANKING END) гарантирует, что видеосигнал не начнёт облучать экран в период обратного хода луча. Опорный уровень белого (REFERENCE WHITE) и опорный уровень чёрного (REFERENCE BLACK) задаются таким образом, чтобы гарантировать, что любая телепрограмма будет отображаться на дисплее с одинаковой максимальной и минимальной яркостью для обеспечения стабильной контрастности изображения без регулировки зрителем. Защитный интервал (или пьедестал, разность между уровнем гашения и опорным уровнем чёрного), величина которого составляет 7,5 IRE (IRE — единица измерения размаха видеоимпульса, 140 IRE соответствует 1 В) в сигнале NTSC, являлся предметом обсуждения в течение многих лет. В некоторых странах работают без использования защитного интервала. Вспышка цветовой поднесущей (сигнал цветовой синхронизации) обеспечивает стабильный периодический опорный сигнал для синхронизации приёмника и генератора цветовой поднесущей с целью устойчивой демодуляции сигнала цветности. Хотя вспышка цветовой поднесущей содержит от восьми до десяти периодов постоянной частоты, монитор телевизионных сигналов будет синхронизироваться по опорной точке строчного синхроимпульса, и вспышка в сигнале

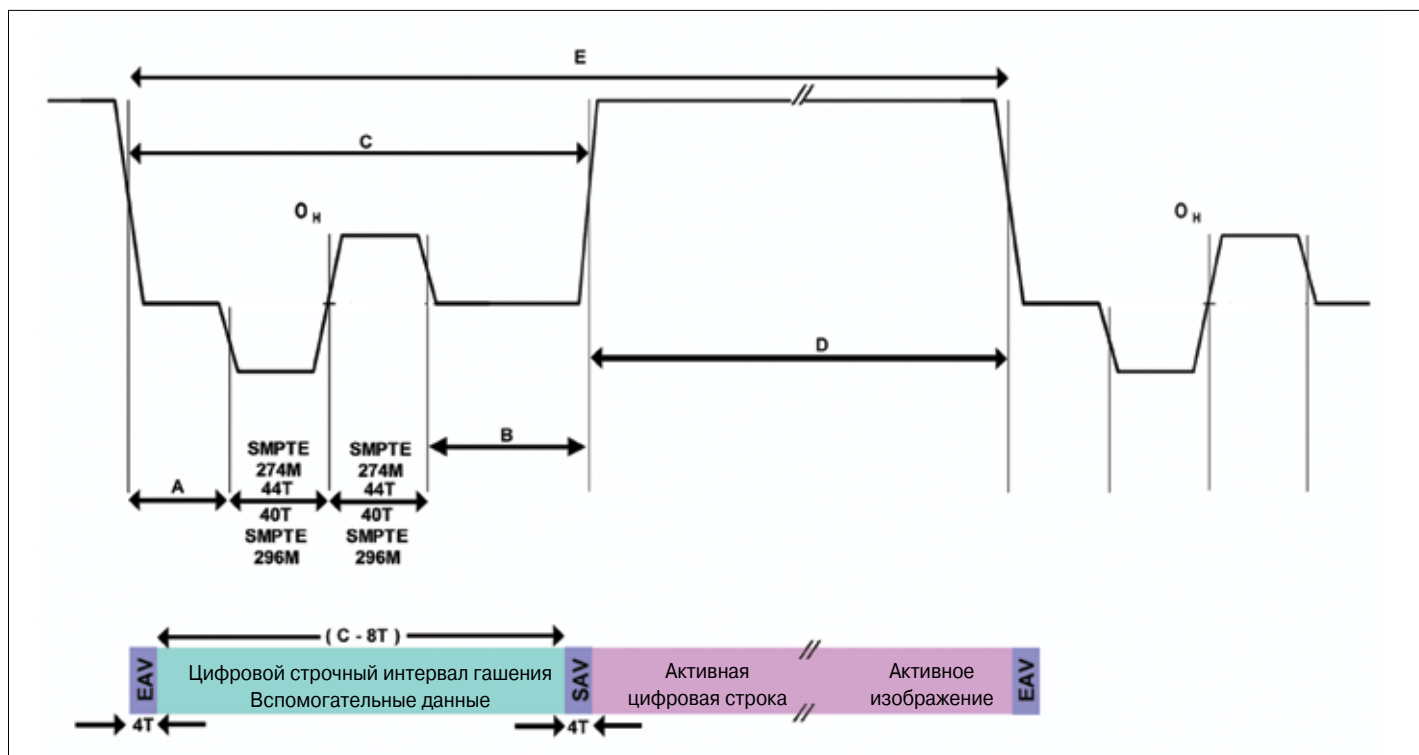


Рис. 20. Временная диаграмма строки видео высокой чёткости

NTSC будет казаться чередующейся по фазе от строки к строке. А вспышка в сигнале PAL из-за смещения в 25 Гц будет казаться постоянно изменяющейся. Фронт синхроимпульса и вспышка цветовой поднесущей имеют свою собственную постоянную фазу; они будут казаться чередующимися или изменяющимися, потому что они входят в синхронизм только периодически.

Строка аналогового видео начинается в точке, соответствующей 50 % длительности спадающего фронта двухуровневого синхроимпульса, и заканчивается в этой же точке следующей строки видеосигнала. В производственных аналоговых форматах высокой чёткости могут использоваться трёхуровневые синхронизирующие импульсы, уровень которых сначала лежит ниже уровня гасящего сигнала, а затем — выше. Точка начала временного отсчёта O_H для трёхуровневого аналогового синхроимпульса лежит на нарастающем фронте импульса синхронизации при пересечении этим фронтом уровня гашения (см. рис. 20 и табл. 5).

Пространственное представление сигналов синхронизации на временной диаграмме видеосигнала представлено на рис. 21. Для форматов с прогрессивной

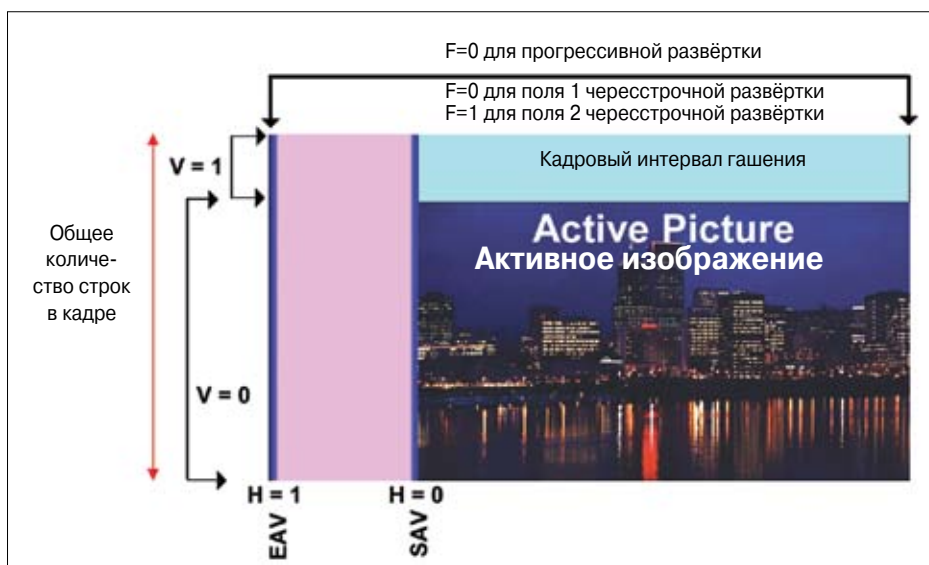


Рис. 21. Пространственная компоновка видеокадра

развёрткой 1:1 всё видеоизображение (кадр) сканируется целиком за один проход. При этом все строки изображения отображаются поочередно, одна за другой. В форматах с чересстрочной развёрткой 2:1 за один проход отображается только половина строк (все чётные), а за следующий проход — вторая половина строк (все нечётные) в новом поле, расположенном между строками предыдущего прохода, заполняя таким образом весь кадр изображения.

Формат	Частота дискретизации (МГц) (1/T)	A	B	C	D	E
1920x1080 60 1:1	148.5	44T	148T	280T	1920T	2200T
1920x1080 59.94 1:1	148.5/1.001	44T	148T	280T	1920T	2200T
1920x1080 60 2:1	74.25	44T	148T	280T	1920T	2200T
1920x1080 59.94 2:1	74.25/1.001	44T	148T	280T	1920T	2200T
1920x1080 30 1:1	74.25	44T	148T	280T	1920T	2200T
1920x1080 29.97 1:1	74.25/1.001	44T	148T	280T	1920T	2200T
1920x1080 50 1:1	148.5	484T	148T	720T	1920T	2640T
1920x1080 50 2:1	74.25	484T	148T	720T	1920T	2640T
1920x1080 25 1:1	74.25	484T	148T	720T	1920T	2640T
1920x1080 24 1:1	74.25	594T	148T	830T	1920T	2750T
1920x1080 23.98 1:1	74.25/1.001	594T	148T	830T	1920T	2750T
1280x720 60 1:1	74.25	70T	220T	370T	1280T	1650T
1280x720 59.94 1:1	74.25/1.001	70T	220T	370T	1280T	1650T
1280x720 50 1:1	74.25	400T	220T	700T	1280T	1980T
1280x720 30 1:1	74.25	1720T	220T	2020T	1280T	3300T
1280x720 29.97 1:1	74.25/1.001	1720T	220T	2020T	1280T	3300T
1280x720 25 1:1	74.25	2380T	220T	2680T	1280T	3960T
1280x720 24 1:1	74.25	2545T	220T	2845T	1280T	4125T
1280x720 23.98	74.25/1.001	2545T	220T	2845T	1280T	4125T

Таблица 5. Временные соотношения строки видео высокой чёткости в периодах тактовых импульсов

Вертикальная синхронизация

Данные вертикальной синхронизации изменяются в зависимости от вида регулярно появляющихся импульсов строчной синхронизации и добавления выравнивающих импульсов. Протяжённость кадрового интервала гашения (рис. 22 для NTSC, рис. 23 для PAL) составляет от 20 до 25 видеострок. Кадровый интервал гашения высвечивается в центральной части экрана монитора телевизионных сигналов при отображении двух полей кадра. Увеличение длительности кадрового интервала гашения позволяет уменьшить время возвращения электронного луча кинескопа в верхнюю часть экрана.

На диаграммах, приведённых выше и на следующей странице, показано, что видеострока начинается слева или в центре верхней части экрана, что позволяет использовать чересстрочную развёртку 2:1 в системах PAL или NTSC. Частоты подбираются таким образом, чтобы уменьшить влияние цветовой поднесущей, которая передаётся в полосе видеочастот. Для сигнала системы PAL требуется восемь полей, чтобы восстановить первоначальное фазовое соотношение (создать полный цветной кадр). Для сигнала NTSC для этого потребуется четыре поля.

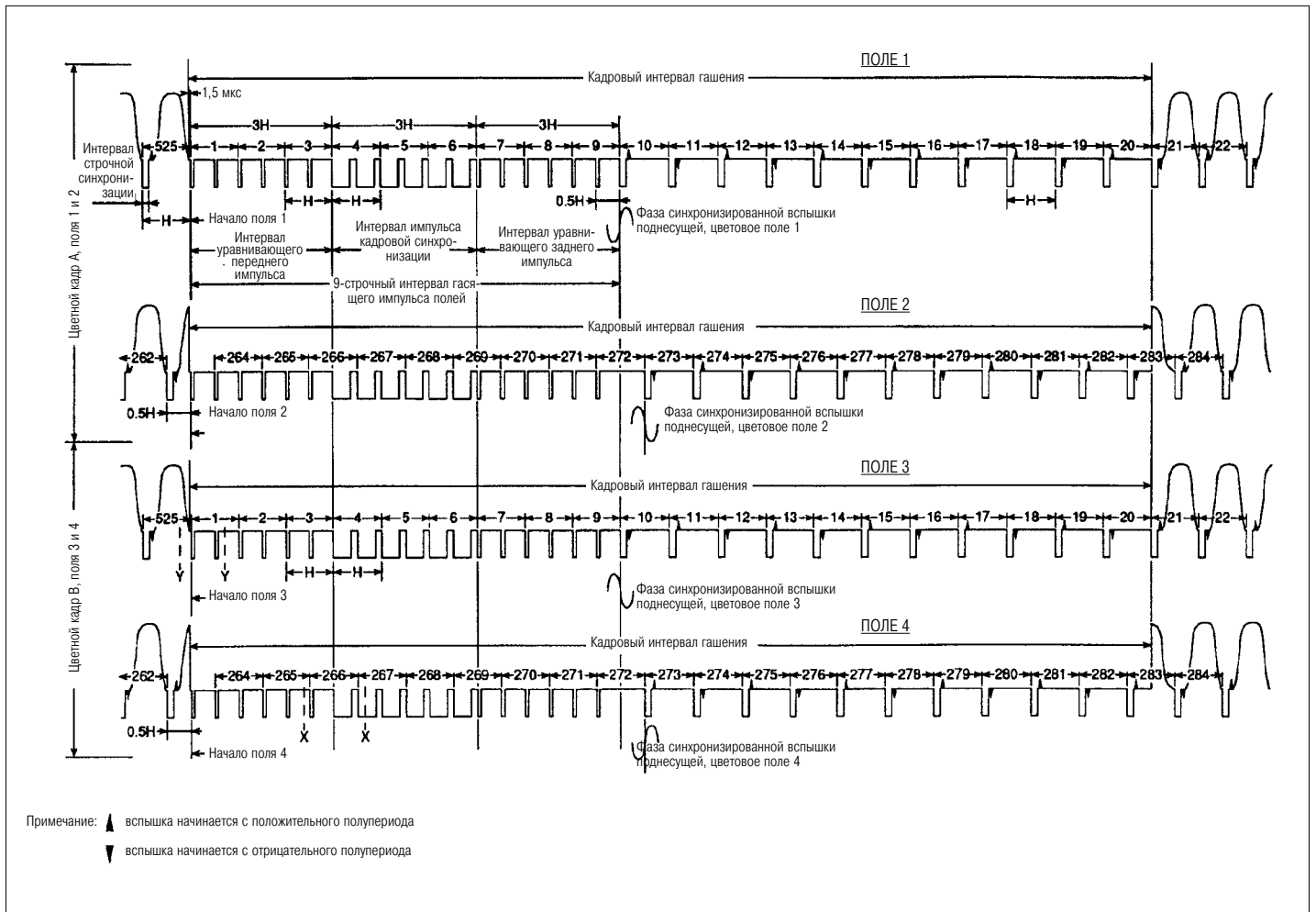


Рис. 22. Кадровый интервал гашения видеосигнала NTSC

На рис. 22 показаны чередующиеся поля и цветной кадр NTSC, состоящий из четырёх полей. Цветовая поднесущая возвращается в первоначальное фазовое соотношение с кадровым синхроимпульсом через каждые четыре поля.

Диаграмма кадрового интервала гашения видеосигнала PAL приведена на рис. 23. На диаграмме показаны две чередующихся синхропоследовательности, образующих чересстрочный кадр. Из-за сдвига частоты в 25 Гц фаза поднесущей сигнала PAL возвращается в первоначальное фазовое соотношение с кадровым синхроимпульсом через каждые восемь полей (для цветного кадра с восемью полями). Строчная и кадровая синхронизация

в системе SECAM подобна синхронизации в системе PAL, различие заключается в методах модуляции сигнала цветности и сигнала яркости.

Фазовые соотношения между сигналами кадровой синхронизации в системах PAL или NTSC, которые определяют правильный номер поля кадра и фазу цветовой поднесущей, очень важны, особенно когда один источник видеосигнала объединяется с другим или когда он мгновенно заменяется другим источником, а также когда сигнал редактируется, переключается или комбинируется с помощью оборудования для спецэффектов.

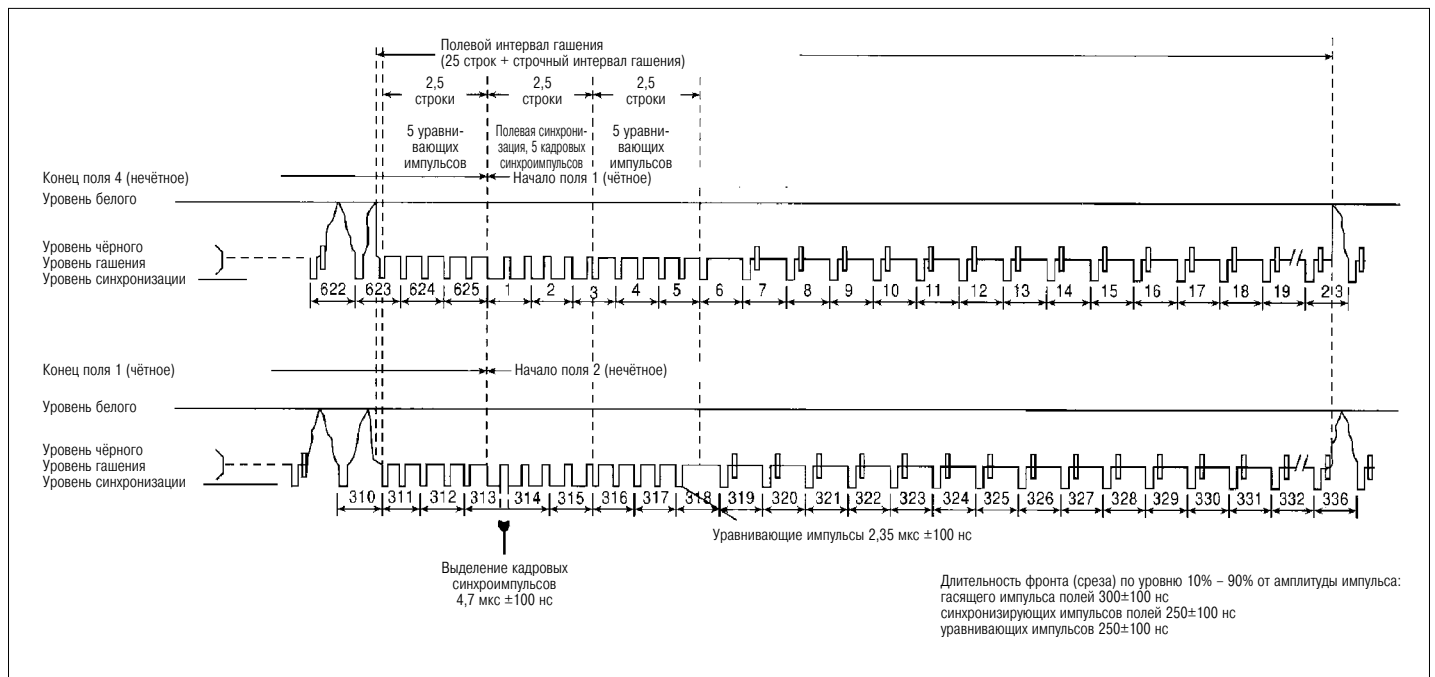


Рис. 23. Кадровый интервал гашения видеосигнала PAL

Это важное соотношение называется «фаза поднесущей относительно синхросигнала» (Subcarrier-to-Horizontal phase, SCH). Для компонентного видео нам нужно только обеспечить правильное позиционирование трёх сигналов, из которых формируется цветное изображение, так как в этом случае в сигнале цветности не используется модулированная поднесущая.

Нумерация строк в системе NTSC начинается с первого кадрового уравнивающего импульса, следующего за последней полной строкой видеосигнала и продолжается в каждом поле (263 строки для полей 1 и 3, 262 строки для полей 2 и 4). Нумерация строк в системе PAL и большинстве аналоговых форматов высокой чёткости начинается с первого кадрового синхроимпульса,

следующего за последней половинной строкой видеосигнала, и продолжается в каждом кадре (625 строк для системы PAL).

В видео высокой чёткости существуют форматы как с прогрессивной, так и с чересстрочной развёрткой (см. рис. 24). Пять строк полевого интервала гашения с импульсами кадровой синхронизации немного отличаются от аналоговых строк видео стандартной чёткости, так как в видео высокой чёткости используется трёхуровневый синхроимпульс. На рис. 24 показан полевой интервал гашения формата с прогрессивной развёрткой 1080p (SMPTE 274M) с соответствующим количеством строк. На этом же рисунке показано количество строк для форматов с чересстрочной развёрткой 1080i (SMPTE 274M) и 1035i (SMPTE 240M).

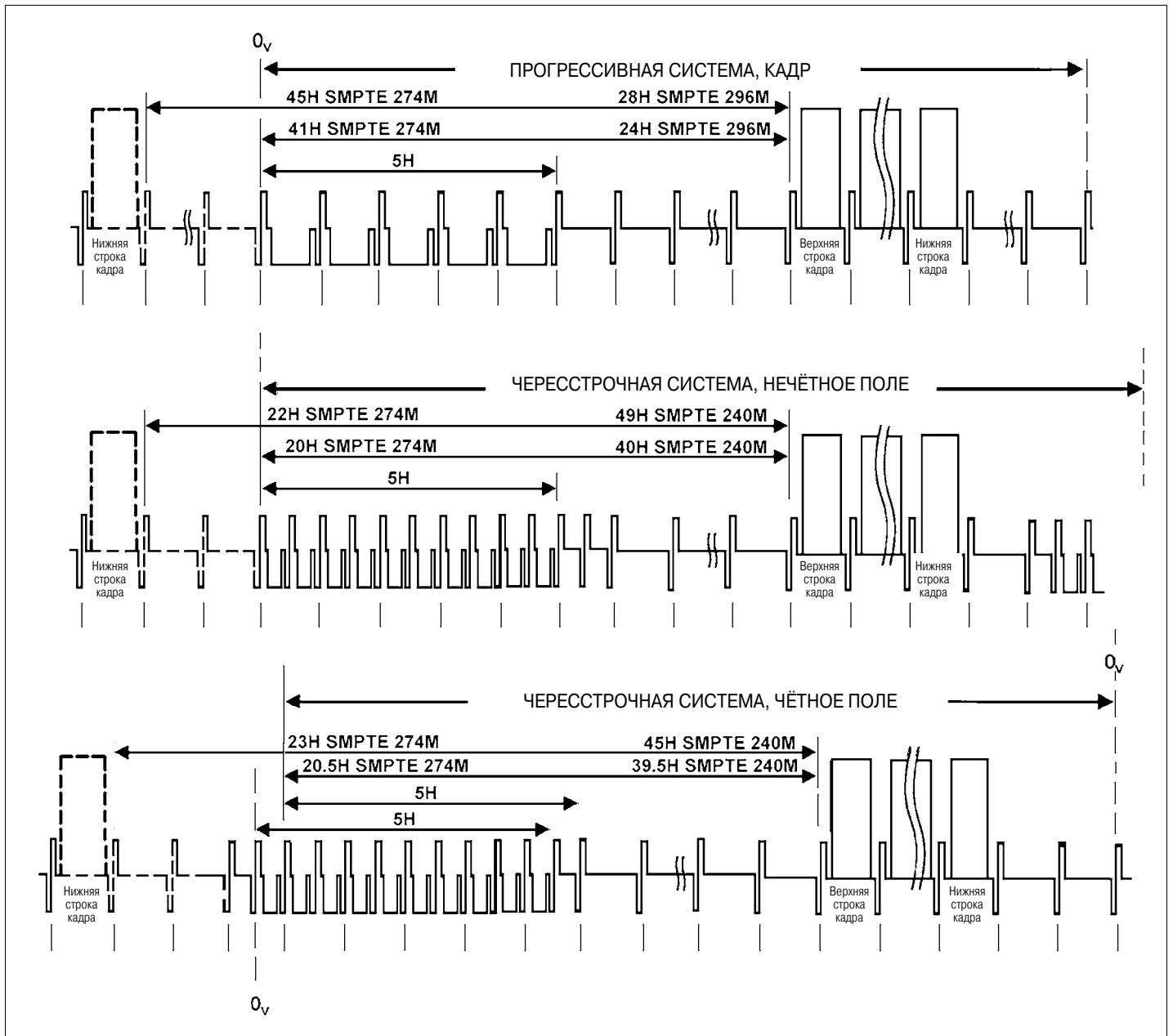


Рис. 24 Кадровый интервал гашения в аналоговом видео высокой чёткости

	1125/60/2:1 (1125/59,94/2:1)	1125/50/2:1	750/60/1:1 (750/59,94/1:1)	750/50/1:1
Тип сигнала синхронизации	трёхуровневый, полярный	трёхуровневый, полярный	трёхуровневый, полярный	трёхуровневый, полярный
Опорная точка строчной синхронизации	50% точка пересечения нарастающим фронтом нулевой линии	50% точка пересечения нарастающим фронтом нулевой линии	50% точка пересечения нарастающим фронтом нулевой линии	50% точка пересечения нарастающим фронтом нулевой линии
Общее количество строк в кадре	1125	1125	750	750
Количество строк активного видео в кадре	1080	1080	720	720
Частота полей	60 (59,94) Гц	50 Гц	60 (59,94) Гц	50 Гц
Частота строк	33,750 кГц (33,7163) кГц	28,125 кГц	45 кГц (44,955) кГц	37,5 кГц
Период строчной развёртки	29,6296 мкс (29,6593) мкс	35,556 мкс	22,222 мкс (22,244467) мкс	22,667 мкс
Строчный интервал гашения	3,771 мс (3,775) мс	9,697 мс	4,983 мс (4,988) мс	9,428 мс
Время от опорного синхросигнала до SAV	2,586 мс (2,589) мс	2,586 мс	3,502 мс (3,505) мс	3,502 мс
Время от EAV до опорного синхросигнала	1,185 мс	7,084 мс	1,481 мс	5,926 мс
Длительность отрицательной части синхроимпульса	0,593 мс	0,593 мс	0,538 мс	0,538 мс
Длительность положительной части синхроимпульса	0,593 мс	0,593 мс	0,538 мс	0,538 мс
Амплитуда синхроимпульса	±300 мВ	±300 мВ	±300 мВ	±300 мВ
Длительность фронта/среза синхроимпульса	0,054 мс	0,054 мс	0,054 мс	0,054 мс
Период полевой развёртки	16,67 (16,68) мс	20 мс	16,67 (16,68) мс	20 мс
Полевой интервал гашения	45 строк	45 строк	30 строк	30 строк
Амплитуда видеосигнала	700 мВ	700 мВ	700 мВ	700 мВ
Номинальная ширина полосы частот сигнала	30 МГц, R, G, B	30 МГц, R, G, B	30 МГц, R, G, B	30 МГц, R, G, B

Таблица 6. Параметры синхронизации аналогового видео высокой чёткости с численными соотношениями

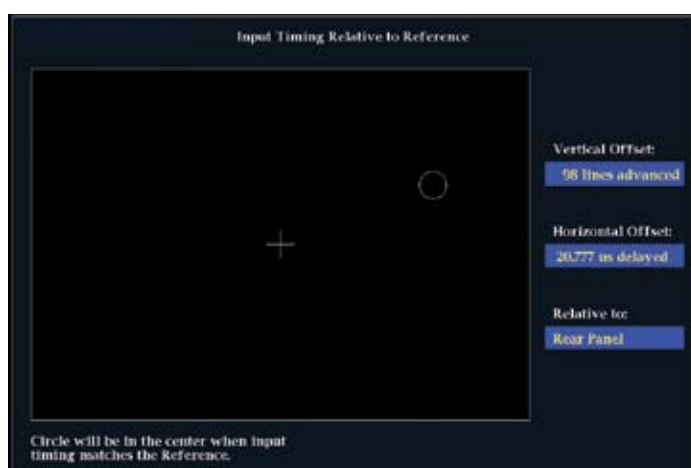


Рис. 25. Дисплей растерайзеров сигналов серии WWR7120 и мониторов сигналов серии WFM7120 в режиме отображения временных соотношений

Параметры аналогового компонентного видео высокой чёткости

В стандарте ANSI/SMPTE 240M определены параметры формата 1125/60(59,94)/2:1 аналогового видео высокой чёткости. В части 1 стандартом ITU-R BT.709 (Part 1) признаются форматы 1125/60/2:1 и 1250/50/2:1 (заметим, однако, что формат

1250/50/2:1 больше не употребляется). Номинальные значения параметров этих аналоговых форматов приведены в таблице 6 наряду с некоторыми временными показателями, относящимися к их цифровым эквивалентам.

Компания Tektronix разработала собственный простой метод для синхронизации аналогового и цифрового оборудования с помощью мониторов и растерайзеров сигналов серий WFM и WVR. Режим отображения временных соотношений обеспечивает простое графическое окно, в котором показываются временные соотношения между внешним опорным и входным сигналами. Кроме того, этот режим позволяет наблюдать результаты измерений временных сдвигов между двумя сигналами в строках (т.е. в величинах, выраженных относительно длительности одной строки) и микросекундах (см. рис. 25). На вход приборов может подаваться как аналоговый композитный сигнал, так и сигнал интерфейса последовательной передачи цифровых данных (SDI) стандартной или высокой чёткости. При этом временные характеристики входного сигнала сравниваются с уровнем аналогового чёрного поля или внешнего трёхуровневого синхроимпульса.

Прямоугольное окно представляет собой один кадр для SDI входов или цветной кадр для композитных аналоговых входов. Перекрестие в центре означает нулевое смещение, а круг соот-

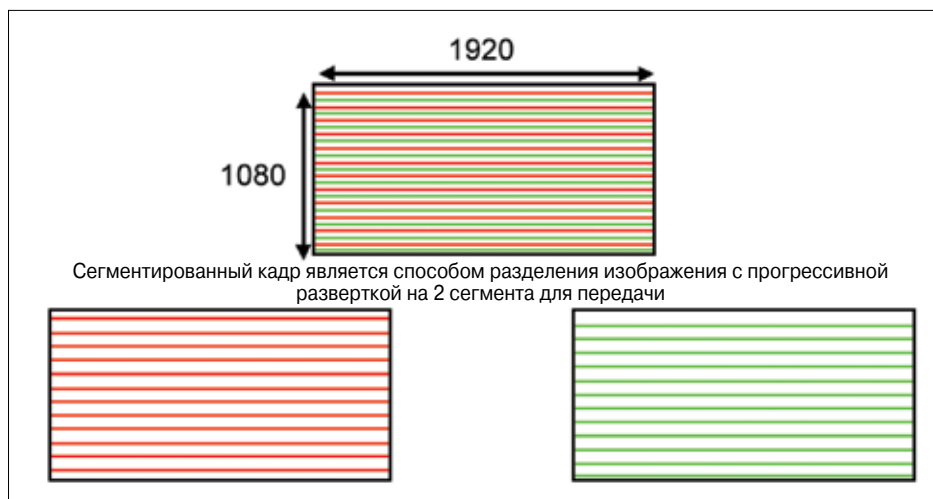


Рис. 26. Преобразование кадра с прогрессивной разверткой в сегменты

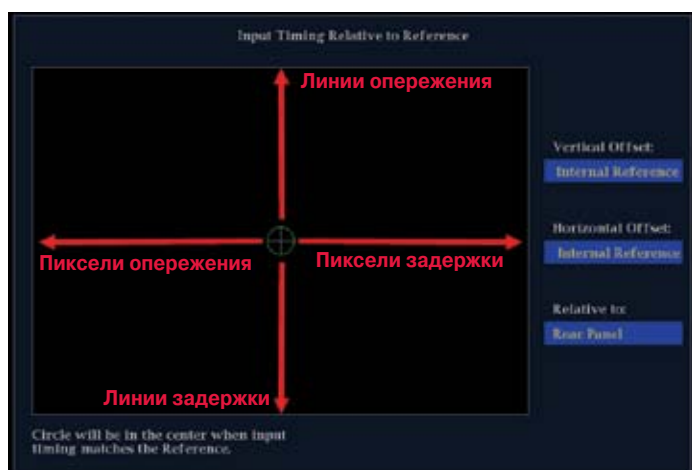


Рис. 27. Интерпретация режима отображения временных соотношений

ветствует временным характеристикам входного сигнала. Линии опережения или задержки показываются как вертикальное смещение, в то время как временные ошибки величиной меньшей, чем длительность строки, показываются как вертикальное смещение (см. рис. 27). Если входной сигнал совпадает по времени с опорным, тогда круг будет располагаться в центре и совпадёт с перекрестьем, при этом его цвет изменится с белого на зелёный.

Блок «Relative to:» («Относительно:») указывает, какая точка выбрана в качестве нулевой для режима отображения временных соотношений. По умолчанию установлен выбор задней панели («Rear panel»). В этом режиме смещение равно нулю, если входной и опорный сигналы совпадают по времени на уровне задней панели измерительного прибора. Другим вариантом является выбор сохранённого значения («Saved») смещения. В этом режиме можно сохранить временные параметры одного из входных сигналов, а затем отображать временные характеристики сигналов относительно сохранённого значения смещения.

Это особенно полезно при синхронизации входных сигналов маршрутизатора. Один из входных сигналов маршрутизатора выбирается в качестве основного и подаётся вместе с внешним опорным сигналом на вход монитора серии WFM7x20/6120 или растеризера сигналов серии WVR7x20/6120. Результат измере-

ния смещения для основного входа сохраняется и используется для проведения измерений в режиме «Relative to: Saved» («Относительно: сохранённого»). В этом случае, выбирая любой другой вход маршрутизатора, в результате измерений сигнала с него с помощью оборудования серий WVR или WFM7x20/6120, прибор покажет величину смещения между основным (опорным) сигналом и сигналом с видеовхода. Пользователю нужно путём регулировки вертикальных и горизонтальных временных характеристик входного сигнала просто добиться совмещения на экране круга и перекрестья и окрашивания круга в зелёный цвет. Точная настройка может быть произведена напрямую с помощью числовых значений в правой части экрана. В итоге каждый вход маршрутизатора будет настроен относительно основного (опорного) входного сигнала. Этот интуитивно понятный режим поможет сэкономить массу времени при настройке временных параметров видеосистемы.

Форматы развёртки в цифровой студии

Казалось бы, что стандарты видеоразвёртки могли бы быть написаны для множества форматов. На практике в стандартах описывается всё, что необходимо сделать для обеспечения совместимости по всей отрасли. В настоящее время нет ни одного универсального формата развёртки и для стандартного телевидения, и для телевидения высокой чёткости. Но при этом существует тенденция к созданию телевизионных приёмников, совместимых со всеми системами развёртки, которые могут быть доступны в данном регионе. Всё это создаёт специфическую проблему для профессионалов в области видео, которые должны производить программы для мирового рынка.

Несколько значений частоты кадров особенно хорошо подходят для преобразования стандартов. В части 2 стандарта ITU-R BT.709 (Part 2) описан цифровой квадратный пиксель — общепринятый формат изображения (common image format, CIF), в котором значения общих параметров изображения не зависят от частоты обновления картинки на экране дисплея. Этим стандартом специфицируются значения частоты смены кадров 60 Гц, 59,94 Гц, 50 Гц, 30 Гц, 29,97 Гц, 25 Гц, 24 Гц и 23,976 Гц для видео с 1080 строками активного видео по 1920 пикселей в каждой и форматом изображения 16:9. Стандарт SMPTE RP 211 распространяет требования стандарта SMPTE 274M, описывающего семейство систем 1920×1080, на производственные форматы 1920×1080 с частотой смены кадров 30 Гц, 29,97 Гц, 25 Гц, 24 Гц и 23,976 Гц. Основные показатели CIF-форматов 1920×1080 приведены в таблице 7. Стандартом ANSI/SMPTE 296M специфицируются параметры форматов 1280×720, которые также приведены в табл. 7. Стандарт SMPTE 293M устанавливает параметры форматов 720×483 с прогрессивной развёрткой. Заметим, что значения частот смены кадров и частот дискретизации, приведённые в этой таблице, округлены до двух или трёх десятичных разрядов. Для систем с нецелочисленными

Номенклатура системы	Кол-во выборок яркости или цветности на активную строку	Кол-во активных строк на кадр	Частота кадров, Гц	Формат развёртки	Частота дискретизации сигналов яркости или цветности, МГц	Кол-во выборок яркости на полную строку	Время аналоговой синхронизации, выборки	Полное кол-во строк на кадр
1920×1080/60/1:1	1920	1080	60,00	Прогрессивная	148,500	2200	2008	1125
1920×1080/59,94/1:1	1920	1080	59,94	Прогрессивная	148,352	2200	2008	1125
1920×1080/50/1:1	1920	1080	50,00	Прогрессивная	148,500	2640	2448	1125
1920×1080/60/2:1	1920	1080	30,00	2:1 чересстрочная	74,250	2200	2008	1125
1920×1080/59,94/2:1	1920	1080	29,97	2:1 чересстрочная	74,176	2200	2008	1125
1920×1080/50/2:1	1920	1080	25,00	2:1 чересстрочная	74,250	2640	2448	1125
1920×1080/30/1:1	1920	1080	30,00	Прогрессивная	74,250	2200	2008	1125
1920×1080/29,97/1:1	1920	1080	29,97	Прогрессивная	74,176	2200	2008	1125
1920×1080/25/1:1	1920	1080	25,00	Прогрессивная	74,250	2640	2448	1125
1920×1080/24/1:1	1920	1080	24,00	Прогрессивная	74,250	2750	2558	1125
1920×1080/23,98/1:1	1920	1080	23,98	Прогрессивная	74,176	2750	2558	1125
1920×1080/30/1:1sF	1920	1080	30,00	Прогрессивная, sF	74,250	2200	2008	1125
1920×1080/29,97/1:1sF	1920	1080	29,97	Прогрессивная, sF	74,176	2200	2008	1125
1920×1080/25/1:1sF	1920	1080	25,00	Прогрессивная, sF	74,250	2640	2448	1125
1920×1080/24/1:1sF	1920	1080	24,00	Прогрессивная, sF	74,250	2750	2558	1125
1920×1080/23,98/1:1sF	1920	1080	23,98	Прогрессивная, sF	74,176	2750	2558	1125
1280×720/60/1:1	1280	720	60,00	Прогрессивная	74,250	1650	1390	750
1280×720/59,94/1:1	1280	720	59,94	Прогрессивная	74,176	1650	1390	750
1280×720/50/1:1	1280	720	50,00	Прогрессивная	74,250	1980	1720	750
1280×720/30/1:1	1280	720	30,00	Прогрессивная	74,250	3300	3040	750
1280×720/29,97/1:1	1280	720	29,97	Прогрессивная	74,176	3300	3040	750
1280×720/25/1:1	1280	720	25,00	Прогрессивная	74,250	3960	3700	750
1280×720/24/1:1	1280	720	24,00	Прогрессивная	74,250	4125	3865	750
1280×720/23,98/1:1	1280	720	23,98	Прогрессивная	74,176	4125	3865	750
625/50/2:1 (BT.601)	720	581	25,00	2:1 чересстрочная	13,500	864	732	625
525/59,94/2:1 (BT.601)	720	483	29,97	2:1 чересстрочная	13,500	858	736	525
720×483/59,94/1:1/4:2:2	720	483	59,94	Прогрессивная	2×13,500	858	736	525
720×483/59,94/1:1/4:2:0	720	483	59,94	Прогрессивная	18,000	858	736	525

Таблица 7. Форматы развёртки для студийного цифрового видео

значениями частот точные значения частоты смены кадров и частоты дискретизации получаются путём деления соответствующих целых значений частоты на 1,001.

Производственные форматы с сегментированными кадрами

Некоторые форматы в таблице форматов развёртки имеют обозначение «1:1sF». Обозначение «sF», в соответствии с рекомендуемой практикой SMPTE RP211, означает «сегментированные кадры». В форматах с сегментированными кадрами изображение захватывается за один проход, как кадр в форматах с прогрессивной развёрткой. Однако передача этого изображения осуществляется как в форматах с чересстрочной

развёрткой: сначала чётные строки в одном полукадре, затем нечётные — в другом. Распределение строк происходит так же, как и в системах с чересстрочной развёрткой, но изображение для обоих полей захватывается за один проход, что позволяет исключить пространственное рассовмещение, которое появляется при передаче в системах с чересстрочной развёрткой. Это предоставляет все преимущества прогрессивной развёртки, но при этом сокращает объём необходимой обработки сигнала и удваивает скорость развёртки в аналоговой области, уменьшая до 24...30 Гц видимый фликер. Форматы с сегментированными кадрами могут использоваться «как есть» или могут быть легко преобразованы в формат с прогрессивной развёрткой, как это показано на рис. 26.



Рис. 28. Пакет опорных синхросигналов EAV (270 Мбит/с), отображаемый в виде аналогового сигнала яркости



Рис. 29. Пакет опорных синхросигналов EAV (270 Мбит/с), отображаемый в виде мультиплексированных данных

Номер бита	9 (СЗБ)	8	7	6	5	4	3	2	1	0 (МЗБ)
Функция	Фикс. «1»	F	V	H	P3	P2	P1	P0	Фикс. «0»	Фикс. «0»

Таблица 8. Формат слова «хуз» в пакете EAV/SAV

Синхронизация и привязка по времени в цифровой студии

Из проведённого обзора аналоговых форматов может показаться, что большая часть сигнала, не задействованная в передаче активной видеoinформации, предназначена только для переноса синхроданных и обеспечения простоя кинескопа во время обратного хода луча. В студийном цифровом компонентном формате синхроимпульс представляет собой короткое служебное слово, поэтому остаток времени может быть использован для передачи многоканального аудио, контрольных сумм и других дополнительных данных. На экране монитора сигналов в режиме PASS эти короткие временные цифровые пакеты выглядят как короткие импульсы в конце каждой строки декодированного видеосигнала (рис. 28, см. также рис. 11). В аналоговом представлении сигнала появляется «звон», так как слова данных проходят на тактовой частоте, которая намного превосходит полосу пропускания аналогового дисплея. Опция DAT мониторов сигналов WFM7120/6120 обеспечивает представление этих данных в виде логических сигналов DATA (рис. 29), точно распознавая каждое слово и его числовое значение.

При сравнении аналогового и цифрового видео очень важно иметь в виду несколько существенных определений, касающихся синхронизации.

1. Строка цифрового видео начинается с первого слова 3FF в пакете данных EAV («Конец активного видео»), а заканчивается последним словом видеоданных в строке. Нумерация цифровых строк начинается с первой строки кадрового интервала гашения.

2. Нумерация элементов цифровой видеостроки начинается (элемент 0) с первого слова активного видео, которое является первым словом после четырёхсловной комбинации в пакете SAV. Поэтому номер строки не меняется в тот момент, когда номер элемента становится равным нулю.
3. В отличие от цифрового видео, строка аналогового видео начинается и заканчивается в точке начала отсчёта, т. е. в точке, соответствующей 50 % длительности переднего фронта двухуровневого синхроимпульса или точке пересечения нулевого уровня нарастающим фронтом трёхуровневого синхроимпульса. Таким образом аналоговая опорная точка лежит после цифровой опорной точки, но до первого элемента цифровой строки, в промежутке времени, выделенном под дополнительные данные при оцифровке сигнала. Цифровой элемент, соответствующий аналоговой опорной точке, специфицируется цифровым стандартом.

Синхронизация в цифровом видео обеспечивается последовательностями EAV и SAV, которые начинаются уникальной трёхсловной комбинацией 3FF_n (все биты слова равны «1»), 000_n (все нули) и 000_n (все нули), которая сопровождается четвёртым словом «хуз» с форматом, описанным в таблице 8.

Слово «хуз» является 10-битовым словом, в котором два младших значащих бита равны нулю, что обеспечивает преобразование в восьмибитовый формат и наоборот. Биты слова «хуз» выполняют следующие функции:

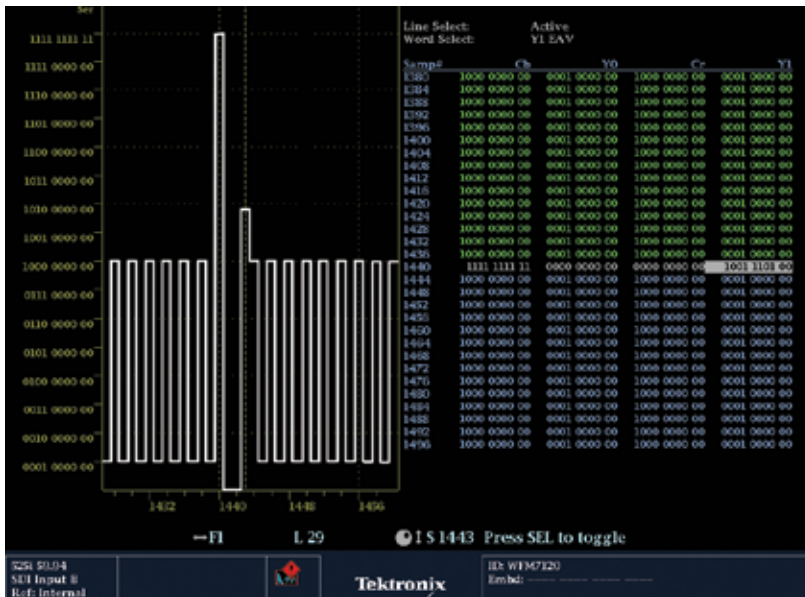


Рис. 30. Бинарное представление слова «xyz»

- **бит 9** — фиксированный бит, всегда равен единице;
- **бит 8** — F-бит, всегда равен нулю в системах с прогрессивной развёрткой; нулю — для первого полукадра и единице — для второго полукадра в системах с чересстрочной развёрткой;
- **бит 7** — V-бит, равен единице в кадровом интервале гашения; нулю — в продолжение активных видео строк;
- **бит 6** — H-бит, единица означает последовательность EAV; нуль — последовательность SAV;
- **биты 5, 4, 3, 2** — защитные биты, обеспечивают ограниченную коррекцию ошибок данных в битах F, V и H;
- **биты 1, 0** — фиксированный бит, всегда равен нулю для обеспечения одинакового значения слова в 8- и 10-битовых системах.

Формат	F = 0	F = 1	V = 1	V = 0
1920×1080p	всегда = 0	не используется	строки 1-41, 1122-1125	строки 42-1121
1280×720p	всегда = 0	не используется	строки 1-25, 746-750	строки 26-745
1920×1080i	строки 1-563	строки 564-1125	строки 1-20, 561-583, 1124-1125	строки 41-557, 603-1120
1035i	строки 1-563	строки 564-1125	строки 1-40, 558-602, 1121-1125	строки 41-557, 603-1120
525/60	строки 4-255	строки 1-3, 256-525	строки 1-19, 264-282	строки 20-263, 283-525
625/50	строки 1-312	строки 313-625	строки 1-22, 311-335, 624-625	строки 23-310, 336-623

Таблица 9. Временные данные для кадров цифрового сигнала

	Поле	525 строк	625 строк	1080p строк	1080i строк	1035i строк	720p	SAV	EAV	9	F	V	H	P3	P2	P1	PO	1	0
Активное видео	1	20-236	23-310	42-1121	21-560	41-557	26-745	200		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
									274	0	0	1	1	1	0	1	0	0	
Гашение кадровой развёртки	1	4-19, 264-265	1-22, 311-312	1-41, 1122-1125	1-20, 561-563	1-40, 558-563	1-25, 746-750	2AC		1	0	1	0	1	0	1	1	0	0
								2D8	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	
Активное видео	2	283-525	336-623	не используется	584-1123	603-1120	не используется	31C		1	1	0	0	0	1	1	1	0	0
									368	1	0	1	1	0	1	0	0	0	
Гашение кадровой развёртки	2	1-3, 266-282	624-625, 313-335	не используется	1124-1125, 564-583	1121-1125, 564-602	не используется	3B0		1	1	1	0	1	1	0	0	0	0
									3C4	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0

Таблица 10. Цифровые данные слова «xyz» для форматов стандартной (SD) и высокой (HD) чёткости

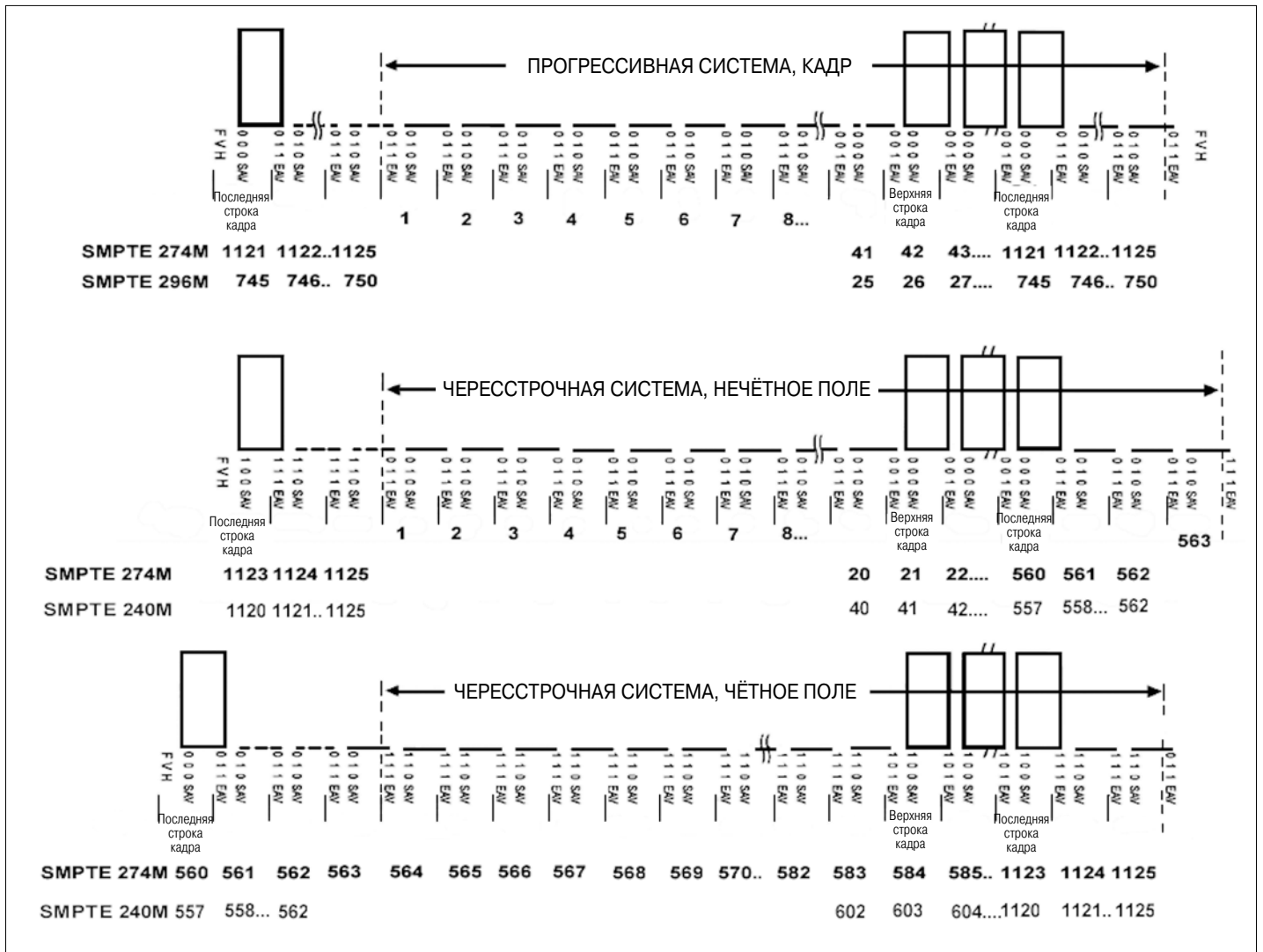


Рис. 31. Временная диаграмма кадра цифрового видео высокой чёткости

Слово «хуз», показанное на рис. 30, имеет бинарное значение 1001110100, начиная с бита 9 (старший значащий бит). В этом примере биты 8, 7 и 6 показывают, что слово «хуз» находится в нечётном поле формата с чересстрочной развёрткой, в строке активного видео, в последовательности EAV. Если на дисплее монитора сигналов будет отображено следующее поле, новое слово «хуз» будет иметь бинарное значение 1101101000, в котором бит 8 принимает значение двоичной 1. Защитные биты 5, 4, 3 и 2 также изменятся, чтобы обеспечить ограниченную коррекцию ошибок в новом бинарном слове.

Несколько примеров F-битов и V-битов в слове «хуз» приведены в таблице 9. Временная диаграмма кадра цифрового видео высокой чёткости показана на рис. 31.



Рис. 32. Процесс перевода кинофильма в цифровой видеоформат высокой чёткости

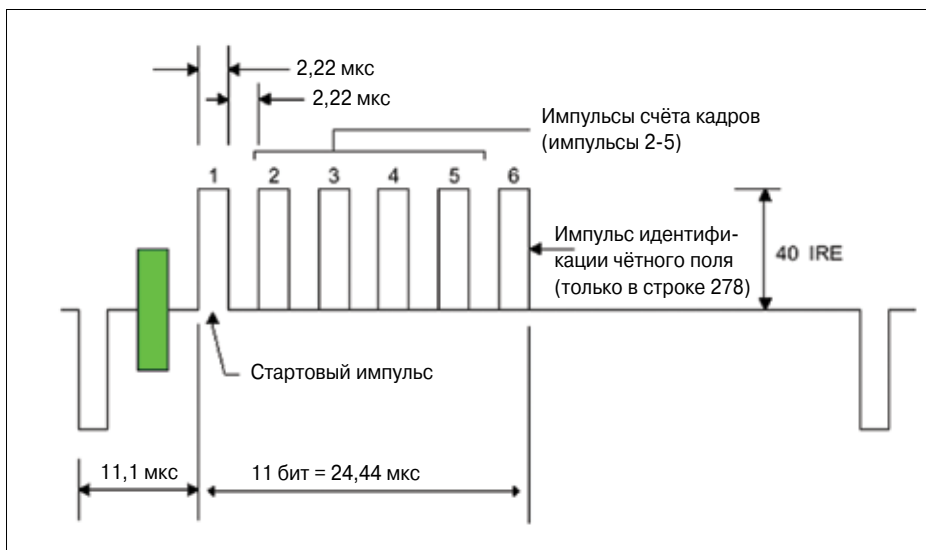


Рис. 33. Строка синхронизации по стандарту SMPTE 318M

10-полюсная последовательность	Позиция импульса						Позиция строки	
	1	2	3	4	5	6		
0	1	0	0	0	0	0	строка 15	поле 1
1	1	0	0	0	0	1	строка 278	поле 2
2	1	1	0	0	0	0	строка 15	поле 1
3	1	1	0	0	0	1	строка 278	поле 2
4	1	1	1	0	0	0	строка 15	поле 1
5	1	1	1	0	0	1	строка 278	поле 2
6	1	1	1	1	0	0	строка 15	поле 1
7	1	1	1	1	0	1	строка 278	поле 2
8	1	1	1	1	1	0	строка 15	поле 1
9	1	1	1	1	1	1	строка 278	поле 2

Таблица 11. Синхронизирующая последовательность из 10 полей по стандарту SMPTE 318M

Синхронизация при переводе кинофильмов в цифровой видеоформат

Переход на видео высокой чёткости предусматривает несколько полезных форматов для изготовления оригиналов и архивирования материалов программ. Так, к примеру, формат 1080 с прогрессивной развёрткой и частотой кадров 23,976 Гц предоставляет средства для прямого перевода кадра на плёнке в цифровые файлы. Художнику-колористу остаётся только изготовить одну мастер-копию в процессе перевода кинофильма в цифровой видеоформат. Цифровая мастер-копия затем может быть преобразована в любой другой формат.

Для того чтобы обеспечить синхронизацию этих многоформатных систем, в формате NTSC в качестве опорного сигнала используется сигнал чёрного поля с кадровой частотой 59,94 Гц. Для синхронизации с оборудованием, работающим с частотой 23,976 Гц (24/1.001) или 48 кГц, сигнал чёрного поля может нести дополнительную последовательность из 10 полей, что позволяет обеспечить идентификацию сигнала в соответствии с требованиями стандарта SMPTE 318M.

Вид строки синхронизации с опорным сигналом показан на рис. 33. Эта строка вставляется в строки 15 и 278 сигнала NTSC 525/59,94 Гц. Первый импульс (1) всегда присутствует в начале 10-полюсной идентификационной последовательности. За ним следуют импульсы 2-5, которые представляют собой импульсы счёта кадров. Последний импульс (6) всегда присутствует в строке 278, и никогда — в строке 15. Эта информация обобщена в таблице 11.

Генератор сигналов Tektronix TG700 с модулем аналогового синхрогенератора AGL7 обеспечивает возможность синхронизации видеосигналов в соответствии с требованиями стандарта SMPTE 318M. С помощью генерации сигнала чёрного поля BG7 с опцией генератора сигнала цветных полос прибор обеспечивает вывод опорных сигналов, удовлетворяющих требованиям стандарта SMPTE 318M.

Формат сигнала/структура дискретизации сигнала/разрядность пикселя	Частота кадров/полей
4:2:2, Y'C'bC'r, 10 разрядов	60 Гц, 59,94 Гц и 50 Гц, прогрессивная развёртка
4:4:4, R'G'B', 10 разрядов 4:4:4, R'G'B' + (A), 10 разрядов	
4:4:4, Y'C'bC'r, 10 разрядов 4:4:4, Y'C'bC'r + (A), 10 разрядов	30 Гц, 29,97 Гц, 25 Гц, 24 Гц, 23,98 Гц, прогрессивная развёртка, PsF;
4:4:4, R'G'B', 12 разрядов 4:4:4, Y'C'bC'r, 12 разрядов	60 Гц, 59,94 Гц и 50 Гц, чересстрочная развёртка
4:2:2, Y'C'bC'r(A), 12 разрядов	

Таблица 12. Форматы, поддерживающие технологию Dual Link, в соответствии со стандартом SMPTE 372M

Структура преобразования	Формат изображения	Формат сигнала/структура дискретизации сигнала/разрядность пикселя	Частота кадров/полей
1	1920×1080	4:2:2, Y'C'bC'r, 10 разрядов	60 Гц, 59,94 Гц и 50 Гц, прогрессивная развёртка
2	1280×720	4:4:4, R'G'B', 4:4:4:4, R'G'B' + A, 10 разрядов	60 Гц, 59,94 Гц и 50 Гц, прогрессивная развёртка
		4:4:4, Y'C'bC'r, 4:4:4:4, Y'C'bC'r + A, 10 разрядов	30 Гц, 29,97 Гц, 25 Гц, 24 Гц, 23,98 Гц, прогрессивная развёртка
	1920×1080	4:4:4, R'G'B', 4:4:4:4, R'G'B' + A, 10 разрядов	30 Гц, 29,97 Гц, 25 Гц, 24 Гц, 23,98 Гц, прогрессивная развёртка
		4:4:4, Y'C'bC'r, 4:4:4:4, Y'C'bC'r + A, 10 разрядов	
3	1920×1080	4:4:4, R'G'B', 12 разрядов 4:4:4, Y'C'bC'r, 12 разрядов	60 Гц, 59,94 Гц и 50 Гц, чересстрочная развёртка 30 Гц, 29,97 Гц, 25 Гц, 24 Гц, 23,98 Гц, прогрессивная развёртка
		2048×1080	4:4:4, X'Y'Z', 12 разрядов
4	1920×1080	4:2:2, Y'C'bC'r, 12 разрядов	30 Гц, 29,97 Гц, 25 Гц, 24 Гц, 23,98 Гц, прогрессивная развёртка 60 Гц, 59,94 Гц и 50 Гц, чересстрочная развёртка

Таблица 13. Форматы, поддерживающие скорость передачи 3 Гбит/с, в соответствии со стандартом SMPTE 425M

Форматы Dual Link и 3G

Плёнка всё ещё продолжает преобладать в качестве основного носителя информации при профессиональном производстве высококачественного видео, несмотря на прогресс в развитии методов цифровой обработки сигналов. Вместе с тем, некоторые достижения в области цифровой обработки сигналов позволяют существенно повысить разрешение изображений. Так, например, видеоформаты 2K или 4K дают возможность имитировать отображение материала «как на плёнке». При наличии цифрового оригинала для тиражирования материала наложение эффектов, цветовая коррекция, а также окончательная обработка, компоновка и редактирование могут быть значительно упрощены. При копировании окончательного варианта цифрового оригинала он может быть преобразован в самые различные форматы — от Digital Cinema (Цифровое кино) до форматов стандартной или высокой чёткости.

Для распространения этих форматов высокого разрешения необходимы разнообразные методы передачи сигнала между элементами оборудования. Одним из методов является использование последовательных цифровых интерфейсов высокой чёткости (High-Definition Serial Digital Interface, HD-SDI), как это определено стандартом SMPTE 372M для форматов Dual Link (см. табл. 12). Другим подходом является мультиплексирование двух виртуальных потоков данных в единый сигнал со скоростью 3 Гбит/с в соответствии с требованиями стандартов SMPTE 424M и 425M (см. табл. 13).



Рис. 34. Структура данных одиночной строки в последовательном цифровом интерфейсе SDI

Цифровой интерфейс	1	...	20	...	560	561	562	563	564	...	1123	1124	1125	1
Канал А	2	...	40	...	1120	1122	1124	1	3	...	1121	1123	1125	2
Канал В	3	...	41	...	1121	1123	1125	2	4	...	1122	1124	1	3

Таблица 14. Формат изображения с прогрессивной развёрткой, разделённый между каналом А и каналом В

Канал А	C'b ₀ : 0-9	Y' ₀ : 0-9	C'r ₀ : 0-9	Y' ₁ : 0-9	C'b ₂ : 0-9	Y' ₂ : 0-9	C'r ₂ : 0-9
Канал В	C'b ₀ : 0-9	Y' ₀ : 0-9	C'r ₀ : 0-9	Y' ₁ : 0-9	C'b ₂ : 0-9	Y' ₂ : 0-9	C'r ₂ : 0-9

Таблица 15. Структура данных каналов А и В для форматов с быстрой прогрессивной развёрткой

Канал А	B' ₀ : 0-9 (чётный)	G' ₀ : 0-9	R' ₀ : 0-9 (чётный)	G' ₁ : 0-9	B' ₂ : 0-9 (чётный)	G' ₂ : 0-9	R' ₂ : 0-9 (чётный)
Канал В	B' ₁ : 0-9 (нечётный)	A ₀ : 0-9	R' ₁ : 0-9 (нечётный)	A ₁ : 0-9	B' ₃ : 0-9 (нечётный)	A ₂ : 0-9	R' ₃ : 0-9 (нечётный)

Таблица 16. Структура данных для формата Dual Link R'G'B' (A), 4:4:4:4, 10 бит

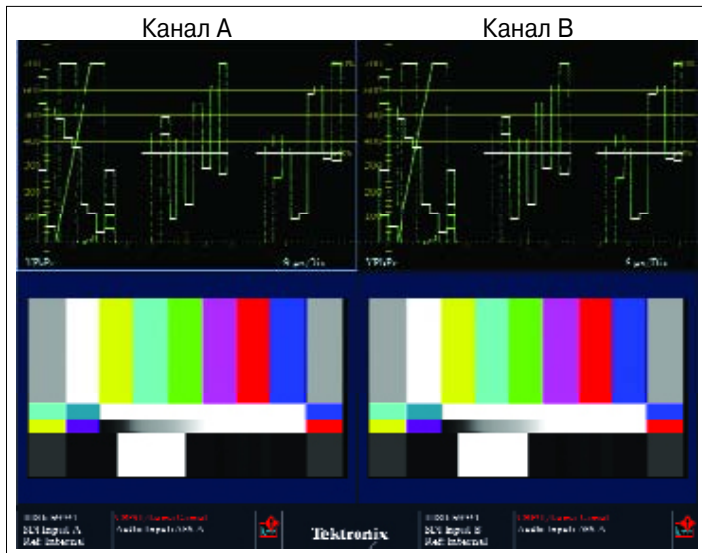


Рис. 35. Каналы А и В сигнала цветowych полос формата 4:2:2, 10 разрядов, 1920×1080, 59,94р, по стандарту SMPTE219

Чтобы получить сигналы Dual Link, сигналы различных форматов преобразуются в два сигнала HD-SDI. По этой причине разные преобразованные структуры ограничены существующим форматом HD-SDI. На рисунке 34 показано, как 10-битовые оцифрованные в формате 4:2:2 данные яркости Y и цветности C мультиплексируются в два сигнала HD-SDI.

Форматы Dual Link с быстрой прогрессивной развёрткой (1920×1080, Y'C'bC'r, 4:2:2, 10 бит; 60р, 59,94р, 50р)

Структура изображения для форматов Dual Link с быстрой прогрессивной развёрткой (60р, 59,94р и 50р) идентична структуре изображения для форматов HD-SDI. Различие заключается в том, что в формате Dual Link широкополосный сигнал должен быть разделён на два канала. Первый канал обозначается как «Канал А», второй — как «Канал В». На рисунке 35 видно, что сигналы, проходящие по каждому из каналов А или В, на мониторе сигналов выглядят точно так же, как и обычный одинарный сигнал 1920×1080 с чересстрочной развёрткой.

При рассмотрении этого формата важно понимать, что исходное изображение было получено в результате полнокадрового сканирования (изображение с прогрессивной развёрткой), а затем было разделено на два канала для облегчения его передачи по существующей инфраструктуре HD-SDI. В этой связи распределение строк между двумя каналами определяется стандартом. Отметим, что есть различие между тем, как происходит распределение строк между двумя каналами, и тем, как изображение делится на два цифровых поля сигнала HD-SDI (см. табл. 14). Для сохранения постоянной скорости передачи данных в этих трёх форматах с быстрой прогрессивной развёрткой (60р, 59,94р и 50р) был изменён интервал гашения. В форматах 60р и 59,94р используется в общей сложности по 2200 слов на каждую строку, а в формате 50р — по 2640 слов на каждую строку. В таблице 15 показано, как элементы изображения передаются по каждому из каналов.

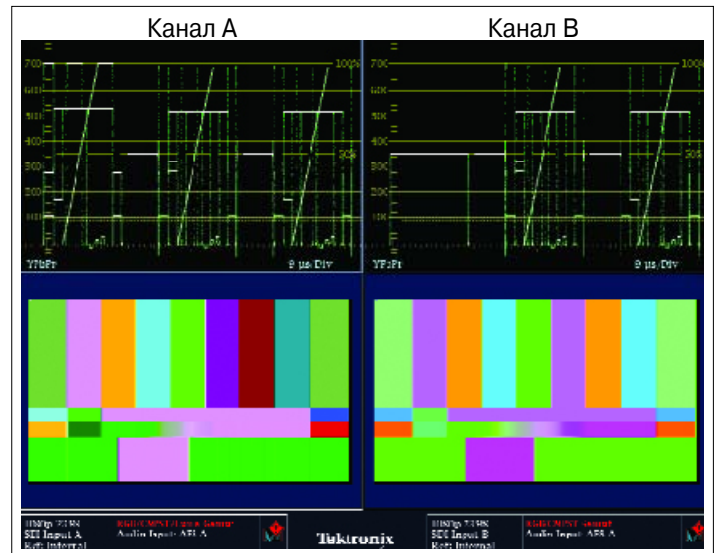


Рис. 36. Отображение формы сигналов Dual Link в каналах А и В для сигнала формата R'G'B' (A), 4:4:4:4

Форматы R'G'B', 4:4:4 и R'G'B' (A), 4:4:4:4 (10 бит, прогрессивная развёртка с сегментированными кадрами, частота кадров 30 Гц, 29,97 Гц, 25 Гц, 24 Гц и 23,98 Гц; чересстрочная развёртка, частота кадров 60 Гц, 59,94 Гц и 50 Гц)

Преимущественное использование формата Dual Link для передачи материалов в формате R'G'B', 23,98р/24р, изначально отснятых на плёнку, обусловлено необходимостью сохранения высокого качества исходного материала. В этом случае при преобразовании формата R'G'B' в цветное пространство Y'C'bC'r не происходит потери разрешающей способности. Вместе с тем, сигнал R'G'B' имеет структуру дискретизации 4:4:4, и эта структура должна быть уместна в два потока данных 4:2:2 HD-SDI. Чтобы добиться этого, в канале А пространство данных [Y] заполняется данными канала G' (зелёный), а пространство данных [C'b/C'r] заполняется чётными строками данных каналов соответственно В' и R' (синий и красный компоненты). В канале В пространство данных [Y] может быть заполнено данными альфа-канала, а пространство данных [C'b/C'r] заполняется нечётными строками данных каналов В' и R' (см. таблицу 16). Альфа-канал может использоваться для переноса потока данных или, как вариант, для переноса данных ключевого канала, которые могут использоваться в процессе компоновки видео-программы, например, для цифрового наложения изображений. Если альфа-канал в изображении отсутствует, то ему должно быть присвоено значение уровня гашения (64_n). Когда каждый из этих сигналов Dual Link отображается на экране монитора сигналов, результирующее представление (рис. 36) формируется с использованием опции SIM монитора сигналов WFM7120, позволяющей наблюдать оба канала одновременно. Заметим, что значения данных канала Y' отображаются верно, а значения данных канала C'b/C'r отображают уровень сигнала неправильно. Таким образом, для правильного представления видеосигнала оба сигнала Dual Link должны быть объединены и отображены на одном дисплее.

Канал А	$Cb'_0: 0-9$ (чётный)	$Y'_0: 0-9$	$Cr'_0: 0-9$ (чётный)	$Y'_1: 0-9$	$Cb'_2: 0-9$ (чётный)	$Y'_2: 0-9$	$Cr'_2: 0-9$ (чётный)
Канал В	$Cb'_1: 0-9$ (нечётный)	$A_0: 0-9$	$Cr'_1: 0-9$ (нечётный)	$A_1: 0-9$	$Cb'_3: 0-9$ (нечётный)	$A_2: 0-9$	$Cr'_3: 0-9$ (нечётный)

Таблица 17. Структура данных для формата Dual Link Y'C'bC'r (A), 4:4:4:4

Канал А	$B'_0: 2-11$	$G'_0: 2-11$	$R'_0: 2-11$	$G'_1: 2-11$	$B'_2: 0-9$	$G'_2: 2-11$	$R'_2: 2-11$
Канал В	$B'_1: 2-11$	$R'G'B'_0: 0-1$	$R'_1: 2-11$	$R'G'B'_1: 0-1$	$B'_3: 0-9$	$R'G'B'_2: 0-1$	$Rv_3: 2-11$

Таблица 18. Представление каналов для формата RGB, 12 бит

		Номер бита									
Слово	9 (СЗБ)	8	7	6	5	4	3	2	1	0 (МЗБ)	
	не бит	8	проверка на чётность	$G'n:1$	$G'n:0$	$B'n:1$	$B'n:0$	$R'n:1$	$R'n:0$	резервный	резервный

Таблица 19. Структура отображения данных R'G'B', 0-1

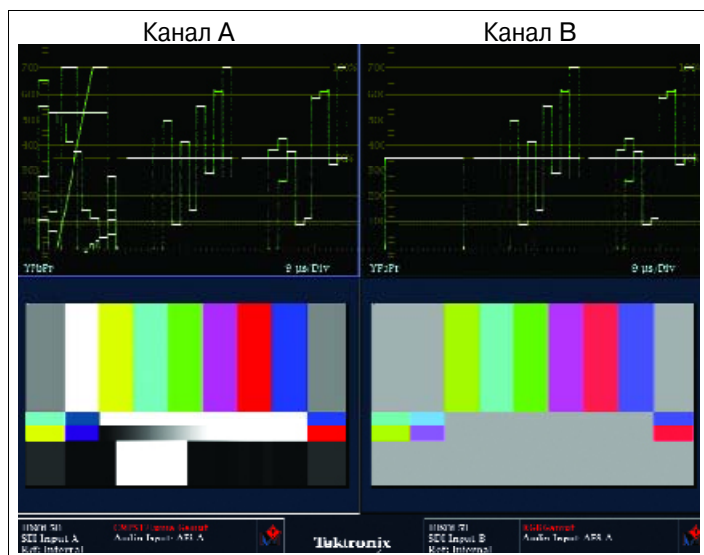


Рис. 37. Отображение формы сигналов Dual Link в каналах А и В для сигнала формата Y'C'bC'r (A), 4:4:4:4, 10 бит

Форматы Y'C'bC'r, 4:4:4 и Y'C'bC'r (A), 4:4:4:4 (10 бит, прогрессивная развёртка с сегментированными кадрами, частота кадров 30 Гц, 29,97 Гц, 25 Гц, 24 Гц и 23,98 Гц; чересстрочная развёртка, частота кадров 60 Гц, 59,94 Гц и 50 Гц)

Структура этих форматов похожа на структуру форматов R'G'B' (A), 4:4:4:4 (см. табл. 17). В канале А пространство данных [Y'] заполняется данными канала Y', а пространство данных [C'b/C'r] заполняется чётными строками данных каналов C'b и C'r соответственно. В канале В пространство данных [Y'] может быть заполнено данными альфа-канала, а пространство данных [C'b/C'r] заполняется нечётными строками данных каналов C'b и C'r. Так как этот формат соответствует потоку данных HD-SDI в формате Y'C'bC'r, сигнал канала А является в достаточной степени репрезентативным и может быть отображён с помощью монитора сигналов высокой чёткости. Как видно из рис. 37, форма

сигнала канала В зависит от значений величин, представленных в альфа-канале. Монитор сигналов позволяет наблюдать форму сигналов в альфа-канале. Для этого нужно выбрать режим просмотра содержимого альфа-канала («Alpha channel view») в меню прибора. С помощью мониторов WFM7120/7020 можно проводить преобразование сигналов формата Dual Link в сигналы формата HD-SDI. Эти сигналы можно подавать на выход монитора сигналов и использовать для контроля работы приложений, не применяя монитор изображений Dual Link.

Форматы R'G'B' (4:4:4, 12 бит, прогрессивная развёртка с сегментированными кадрами, частота кадров 30 Гц, 29,97 Гц, 25 Гц, 24 Гц и 23,98 Гц; чересстрочная развёртка 60 Гц, 59,94 Гц и 50 Гц)

Для получения более широкого динамического диапазона сигналов в рамках стандарта Dual Link может использоваться 12-битовый формат данных. Проблема состоит в том, что структура данных в каждом канале соответствует 10-разрядному формату слов. В этой связи был разработан метод, позволяющий переносить 12-разрядные данные в составе сложных 10-разрядных слов. В случае передачи 12-разрядных данных в формате R'G'B' со структурой дискретизации 4:4:4 старшие биты, со второго по одиннадцатый (MSBs 2-11), передаются как 10-разрядные слова. Два добавочных бита из каждого канала R'G'B' объединяются, образуя пространство данных [Y'] канала В (см. табл. 18). По каналу А переносятся биты 2-11 данных канала G' и биты 2-11 данных чётных строк каналов В' и R'. В канале В данные альфа-канала заменены объединёнными битами 0-1 данных канала R'G'B'. Биты 2-11 данных нечётных строк каналов В' и R' переносятся в пространстве данных [C'b/C'r]. Объединённые биты 0-1 данных канала R'G'B' преобразуются в 10-разрядные слова (см. табл. 19), где бит 8 предназначен для проверки на чётность битов 7-0, значения резервных битов 0 и 1 равны нулю, а значение бита 9 не равно значению бита 8.

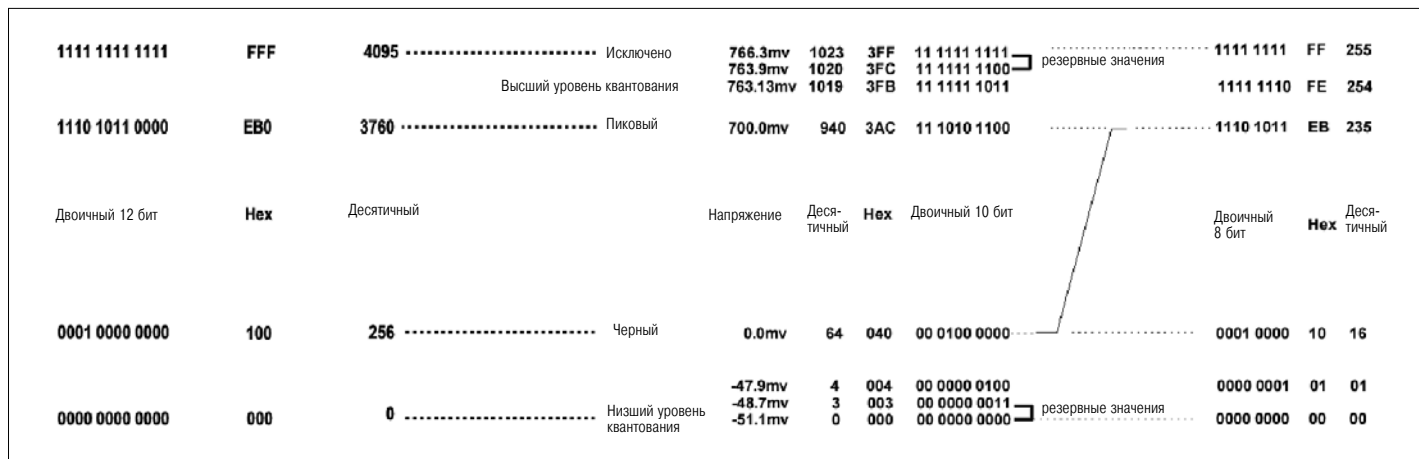


Рис. 38. Представление значений 12-разрядных и 10-разрядных данных

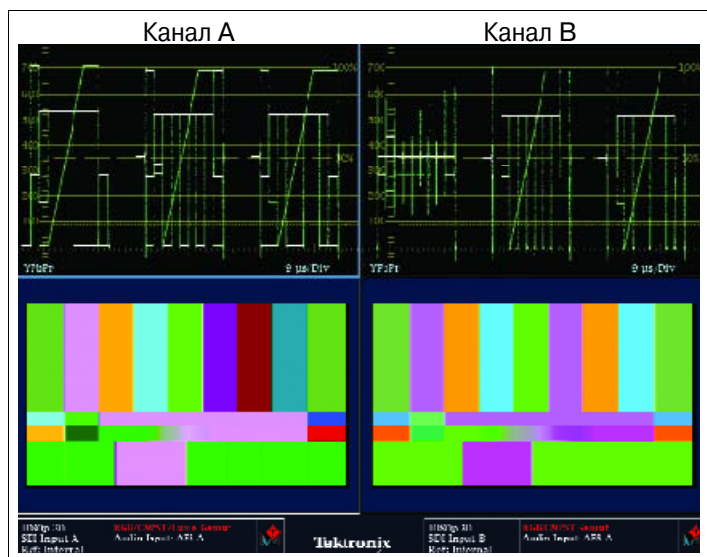


Рис. 39. Отображение формы сигналов Dual Link в каналах А и В для сигнала формата R'G'B', 4:4:4, 12 бит

На рисунке 39 показано отображение сигналов двух отдельных каналов с помощью опции SIM монитора сигналов WFM7120. Заметим, что вид данных Y' канала В не похож на отображение других сигналов, так как данные канала Y' содержат биты 0-1 данных сигналов R', G' и B'. Многие люди уже хорошо знакомы с 10-разрядным представлением данных, используемым в формате SDI, потому что этот формат в настоящее время широко применяется. Однако большинство пользователей вряд ли часто имело дело с 12-разрядными видеосигналами. Поэтому диаграмма, приведённая на рис. 38, может предоставить некоторую полезную информацию относительно разницы между значениями 10- и 12-разрядных данных.

Канал А	$C'b_0: 2-11$	$Y'_0: 2-11$	$C'r_0: 2-11$	$Y'_1: 2-11$	$C'b_2: 0-9$	$Y'_2: 2-11$	$R'_2: 2-11$
Канал В	$C'b_1: 2-11$	$Y'C'bC'r_0: 0-1$	$C'r_1: 2-11$	$Y'C'bC'r_1: 0-1$	$C'b_3: 0-9$	$Y'C'bC'r_2: 0-1$	$R'_3: 2-11$

Таблица 20. Структура данных в сигналах каналов А и В для формата Y'C'bC'r, 12 бит

Слово	Номер бита										
	9 (СЗБ)	8	7	6	5	4	3	2	1	0 (МЗБ)	
	не бит	8	проверка на чётность	$Y'n:1$	$Y'n:0$	$C'b'n:$	$C'b n:0$	$C'r n:1$	$C'r n:0$	резервный	резервный

Таблица 21. Структура отображения слов данных формата Y'C'bC'r для битов 0-1

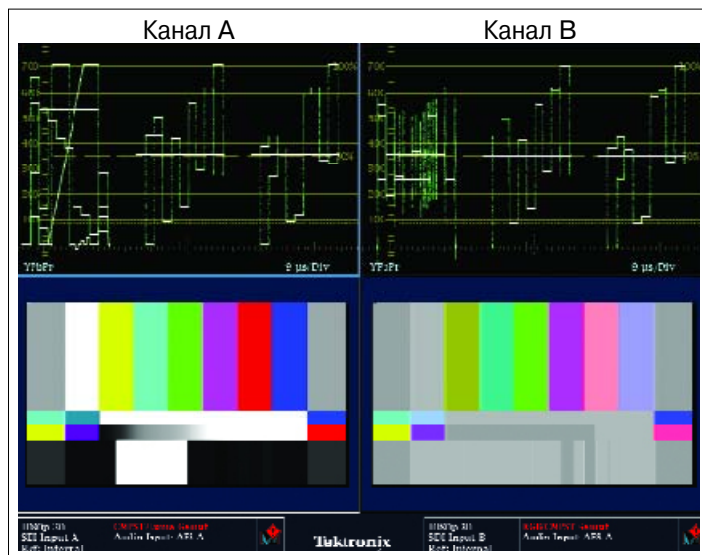


Рис. 40. Отображение формы сигналов Dual Link в каналах А и В для сигнала формата Y'C'bC'r, 4:4:4, 12 бит

Форматы Y'C'bC'r (4:4:4, 12 бит, прогрессивная развёртка с сегментированными кадрами, частота кадров 30 Гц, 29,97 Гц, 25 Гц, 24 Гц, 23,98 Гц; чересстрочная развёртка, частота кадров 60 Гц, 59,94 Гц и 50 Гц)

Структура 12-разрядных данных формата Y'C'bC'r похожа на структуру 12-разрядных данных формата G'B'R', где канал G' является эквивалентом канала Y', канал B' — эквивалентом канала C'b, а канал R' — эквивалентом канала C'r. В таблице 20 показана структура данных в сигналах каналов А и В для формата Y'C'bC'r. В таблице 21 представлена структура битов 0-1 в составе 10-разрядных слов данных формата Y'C'bC'r. На рисунке 40 показаны формы сигналов обоих каналов, полученные с использованием опции SIM монитора сигналов WFM7120.

Канал А	$C'b_0: 2-11$	$Y_0: 2-11$	$C'r_0: 2-11$	$Y'_1: 2-11$	$C'b_2: 0-9$	$Y'_2: 2-11$	$R'_2: 2-11$
Канал В	A_0	$Y'C'bC'r_0: 0-1$	A_1	$Y'_1: 0-1$	A_2	$Y'C'bC'r_2: 0-1$	A_3

Таблица 22. Структура данных в сигналах каналов А и В для формата Y'C'bC'r (А), 4:2:2:4, 12 бит

Номер бита										
Слово	9 (СЗБ)	8	7	6	5	4	3	2	1	0 (МЗБ)
	не бит 8	проверка на чётность	$Y'n:1$	$Y'n:0$	$C'b n:1$	$C'b n:0$	$C'r n:1$	$C'r n:0$	резервный	резервный

Таблица 23. Структура отображения слов данных формата Y'C'bC'r для битов 0-1

Номер бита										
Слово	9 (СЗБ)	8	7	6	5	4	3	2	1	0 (МЗБ)
	не бит 8	проверка на чётность	$Y'n:1$	$Y'n:0$	резервный	резервный	резервный	резервный	резервный	резервный

Таблица 24. Структура отображения слов данных Y' для битов 0-1

Форматы Y'C'bC'r (А) (4:2:2:4, 12 бит, прогрессивная развёртка с сегментированными кадрами, частота кадров 30 Гц, 29,97 Гц, 25 Гц, 24 Гц, 23,98 Гц; чересстрочная развёртка, частота кадров 60 Гц, 59,94 Гц и 50 Гц)

Для приложений, в которых требуется перенос данных альфа-канала и 12-разрядных данных Y'C'bC'r, был определён следующий формат для потока 12-разрядных данных с учётом ограничений, накладываемых 10-разрядной структурой SDI. Старшие

биты данных Y'C'bC'r (биты 2-11) переносятся по каналу А и соответствуют мультиплексному потоку C'bY'C'rY'* сигнала SDI. 10-разрядные данные альфа-канала, младшие биты (LSBs) данных $Y'_n C'b_n C'r_n$ и Y'_{n+1} передаются по каналу В и имеют структуру, показанную в таблице 22. Биты 0-1 данных формата Y'C'bC'r переносятся в составе 10-разрядных слов, как это показано в таблице 23. Биты 0-1 дополнительных выборок данных Y' имеют структуру, приведённую в таблице 24.

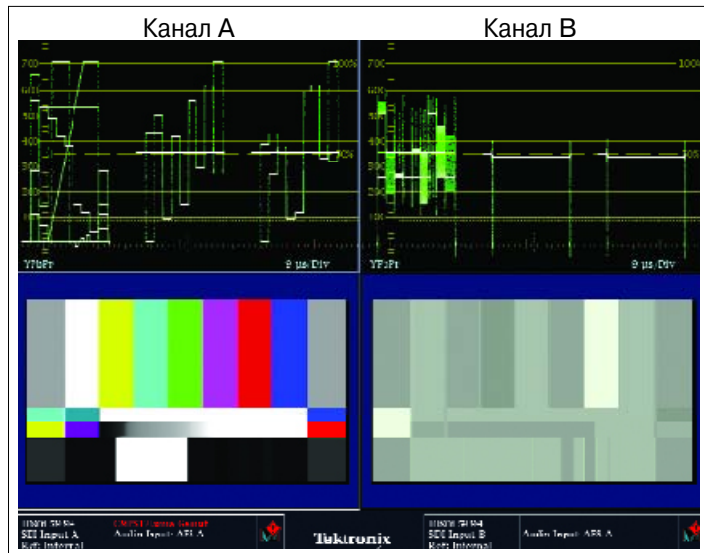


Рис. 41. Отображение формы сигналов Dual Link в каналах А и В для сигнала формата Y'C'bC'r (А), 4:2:2:4, 12 бит

На рисунке 41 показаны формы сигналов обоих каналов, полученные с использованием опции SIM монитора сигналов WFM7120. В этом случае канал А представляет собой стандартный сигнал Y'C'bC'r, тогда как поток Y' канала В содержит биты 0-1 данных Y'C'bC'r, а потоки C'b и C'r несут информацию альфа-канала.

Для сохранения постоянной скорости передачи данных в сигнале SDI общее количество слов в строках меняется в зависимости от типа формата видео. В таблице 25 показано различие в длине строк для каждого формата Dual Link.

При использовании в студийном комплексе сигналов в формате Dual Link существует ряд проблем, связанных с разделением

Частота кадров/полей, 1/с	Общее количество слов в строке	Общее количество активных слов в строке
60 или 59,94 полей 30 или 29,97 кадров	2200	1920
50 полей 25 кадров	2640	1920
24 или 23,98 кадров	2750	1920

Таблица 25. Длина строк в форматах Dual Link.

данных на два канала. В пределах видеостудии сигналы двух каналов могут быть направлены по разным маршрутам, что может привести к появлению ошибок в синхронизации между сигналами этих каналов. В стандарте SMPTE 372M определено, что допустимая временная разница между двумя каналами источника сигнала на выходе устройства может составлять 40 нс, но при этом не определена величина максимально допустимой задержки синхронизации между каналами. В этой связи на первый план выходит задача контроля характеристик каждого элемента студийного оборудования с целью обеспечения допустимого временного сдвига между сигналами на входах устройств и одинаковой электрической длины трактов, по которым передаются сигналы Dual Link. В некоторых случаях в аппаратуре могут использоваться встроенные буферы, позволяющие компенсировать любые межканальные сдвиги синхронизации. При этом следует быть очень внимательным, чтобы не выйти за пределы характеристик устройств, в противном случае сигнал Dual Link может быть скомпонован неправильно. Если величина временной разницы превысит допустимое значение, то между сигналами каналов может появиться временной сдвиг, в результате чего нарушится компоновка данных.

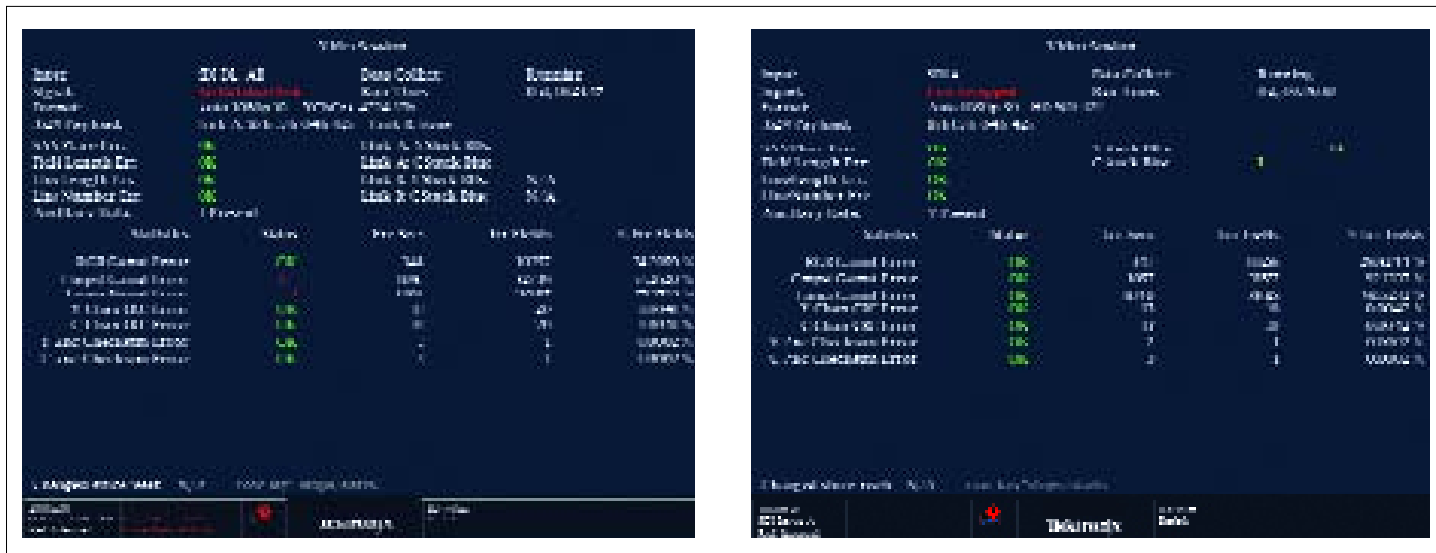


Рис. 42. Отображение неправильного подключения сигналов Dual Link в окне «Video Session» («Видеосессии»)

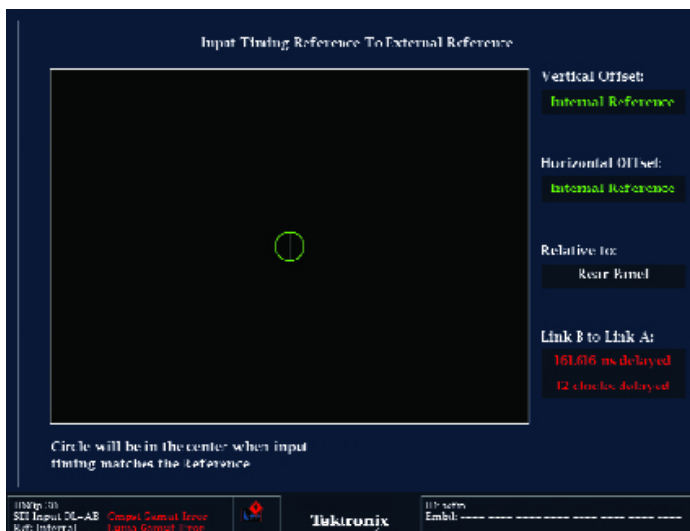


Рис. 43. Измерение временных соотношений между каналами сигнала Dual Link

В мониторах и растерайзерах сигналов серий WFM и WVR в режиме измерения временных соотношений при подключении к их входам сигнала Dual Link отображается временной сдвиг между сигналом канала В по отношению к сигналу канала А (рис. 43). В данном случае измеренное значение временной разности между сигналами каналов В и А составляет 161 нс или 12 тактов. Отметим, что при измерении межканальной временной разности измеряются именно временные соотношения между каналами, при этом не оказывается прямое воздействие на измерение временных соотношений между опорным и входным сигналами. Приборы серий WFM и WVR также позволяют задавать

порог срабатывания сигнализации в тех случаях, когда временной сдвиг между двумя каналами превышает установленное количество тактов.

Другой потенциальной проблемой при передаче сигналов в видеостудиях является возможность перепутывания каналов при их подключении к входам устройств, а также пропадание или искажение сигнала. Для проверки целостности сигнала и быстрого определения проблем может использоваться режим «Video Session» («Видеосессии») мониторов и растерайзеров сигналов серий WFM и WVR. Работа в этом режиме строится на допущении, что сигнал канала А является основным и обязан присутствовать в любом случае, иначе сигнал Dual Link не сможет быть скомпонован корректно. Если сигнал канала В имеет неправильный формат или если содержимое видеосигнала распознано неверно, то прибор обнаружит ошибку соединения. Если канал В отсутствует, будет выдано сообщение об ошибке «Partial dual link» («Неполный двойной канал»). Если каналы А и В неправильно подключены к прибору и при условии, что содержимое видеосигнала распознано, в окне «Video Session» будет выведено сообщение «Links swapped» («Каналы перепутаны», см. рис. 42).

Все эти проблемы, связанные с длиной трактов и подключением, могут быть решены путём перехода на одинарный кабель SDI. При этом для обеспечения переноса всего потока данных требуется, чтобы скорость передачи данных в сигнале была увеличена вдвое. В настоящее время успехи в развитии технологии позволяют обеспечить передачу последовательных данных со скоростью 3 Гбит/с по одинарному коаксиальному кабелю.

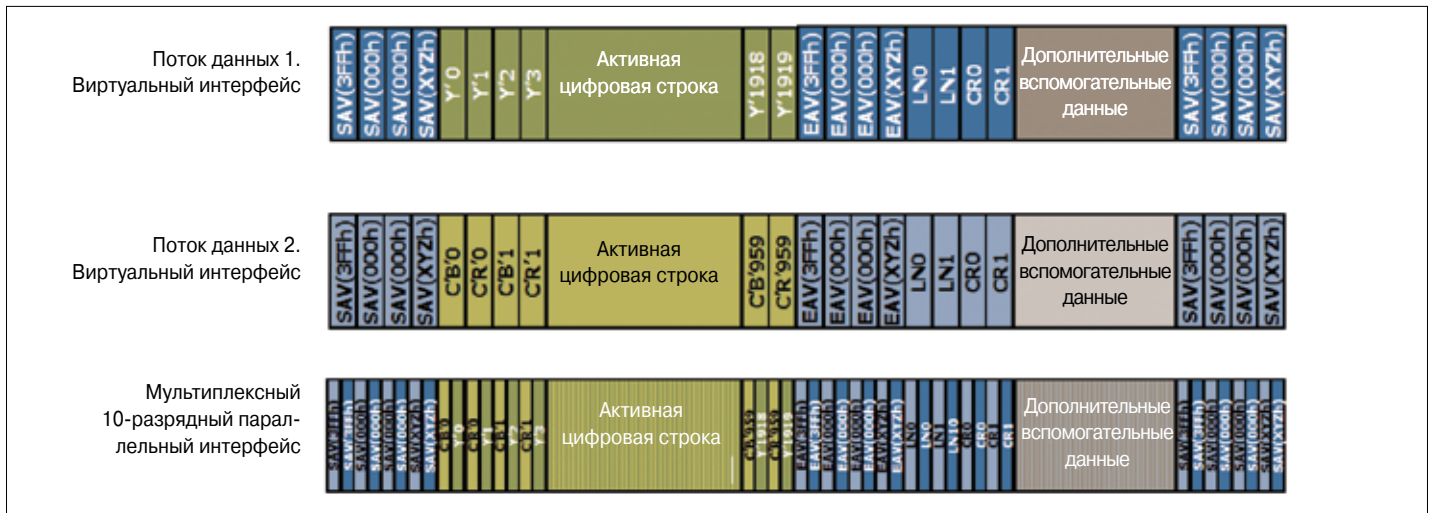


Рис. 44. Структура преобразования 1 потока данных SDI шириной 3 Гбит/с

Поток данных 1	Y'0	Y'1	Y'2	Y'3	Y'4	Y'5
Поток данных 2	C'b0	C'r0	C'b1	C'r1	C'b2	C'r2

Таблица 26. Структура преобразования 1 потока данных в виртуальных интерфейсах

Высокоскоростной поток данных SDI 3 Гбит/с

Обществом инженеров кино и телевидения (SMPTE) разработано два документа для стандартизации потока данных 3 Гбит/с (3G). Стандартом SMPTE 424M регламентируется физический уровень передачи сигналов по интерфейсу SDI со скоростью 3 Гбит/с по одинарному коаксиальному кабелю. В стандарте SMPTE 425M описывается преобразование формата исходного изображения. В таблице 14 показана структура преобразования 3G, которая несколько отличается от структуры преобразования данных Dual Link. Сигнал SDI имеет одинаковую с сигналом HD структуру и содержит два виртуальных интерфейса, в которых происходит преобразование данных. Формат данных EAV, SAV, счётчика строк (L'N0 и L'N1 в табл. 3) и контрольной суммы (C'R0 и C'R1 в табл. 4) соответствует формату данных сигнала HD-SDI.

Структура преобразования 1: форматы с быстрой прогрессивной развёрткой 4:2:2, Y'C'bC'r (10 бит, частота кадров 60 Гц, 59,94 Гц, 50 Гц)

Поток данных 1 виртуального интерфейса для форматов с быстрой прогрессивной развёрткой содержит данные яркости Y, а поток данных 2 — данные цветности C (см. табл. 26). Эти два виртуальных интерфейса мультиплексируются, превращаясь в 10-разрядный параллельный интерфейс, который, в свою очередь, затем преобразуется в последовательный сигнал, как это показано на рис. 44.

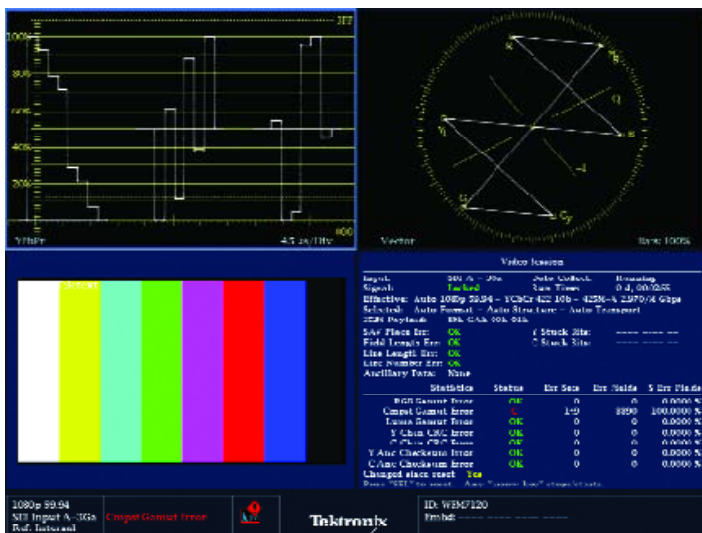


Рис. 46. Отображение на экране WFM7120 сигнала цветowych полос в формате с быстрой прогрессивной развёрткой 1080p, 59,94 Гц, 3 Гбит/с, уровень А

Монитор сигналов WFM7120, оснащённый опцией 3G, обеспечивает возможность ввода сигналов с быстрой прогрессивной развёрткой, а также отображение на экране формы сигналов в традиционном виде. Одновременно на экране может быть показано максимум две осциллограммы наряду с другими изображениями и индикаторами состояния (см. рис. 46). В окне «Video Session» отображается полезная информация о формате сигнала. Быстрое распознавание формата осуществляется с помощью содержащихся в видеоинформации идентификаторов, которые, в соответствии со стандартом SMPTE 352M, должны присутствовать в сигнале.

При использовании окна списка данных, которое доступно при включении опции DAT монитора сигналов WFM7120, пользователь может наблюдать структуру данных сигнала с быстрой прогрессивной развёрткой двумя способами. Первый способ позволяет показывать данные в формате «Data», т.е. в виде двух виртуальных интерфейсов. Второй способ отображает данные в формате «Video», в котором данные представляются в виде окончательно скомпонованного видеосигнала.

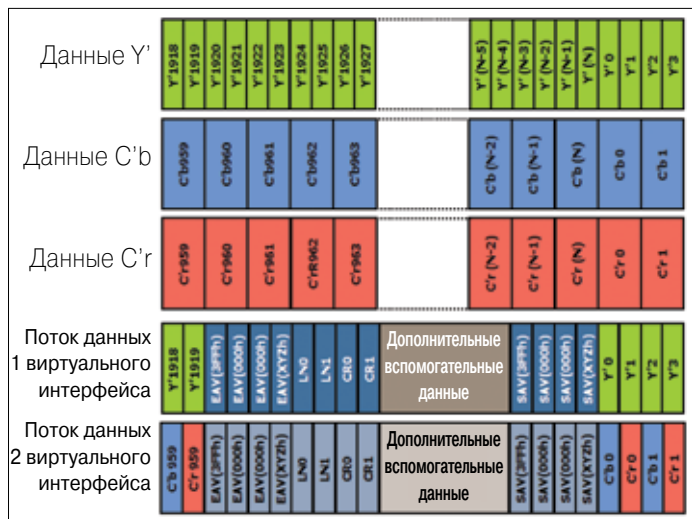


Рис. 47. Структура преобразования 1 сигналов с быстрой прогрессивной развёрткой

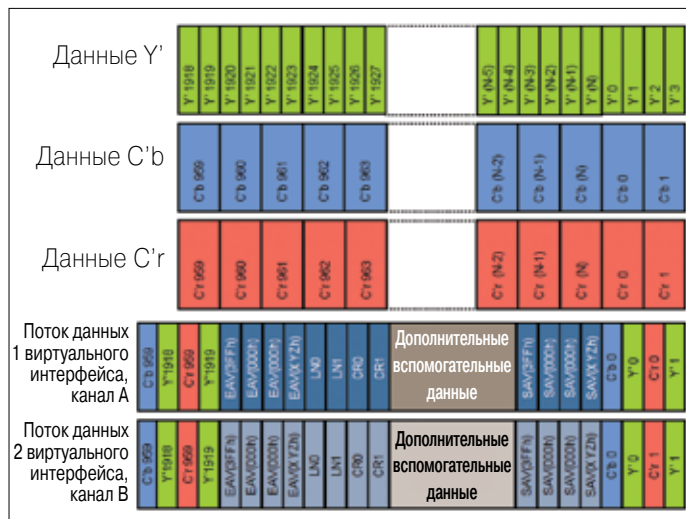


Рис. 48. Уровень В структуры преобразования сигналов Dual Link с быстрой прогрессивной развёрткой в интерфейсе 3 Гбит/с

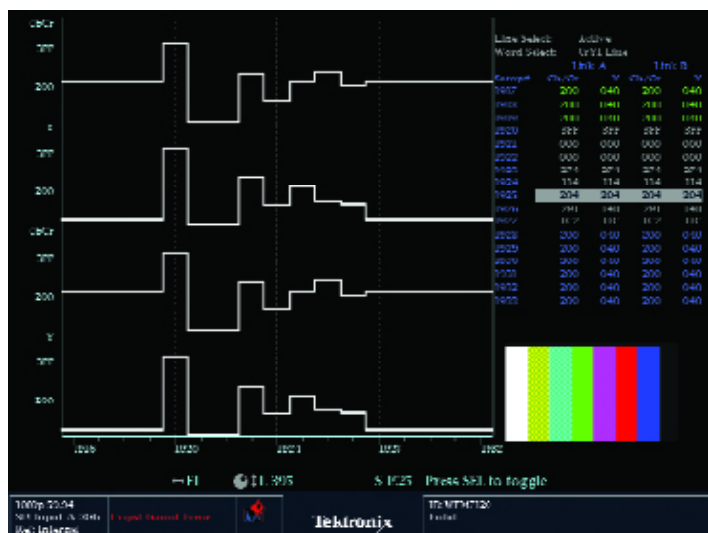


Рис. 49. Окно списка данных сигнала с быстрой прогрессивной развёрткой, уровень В

Данные Y сигнала с быстрой прогрессивной развёрткой оцифровываются с частотой 148,5 МГц или (148,5/1,001) МГц, в зависимости от формата. Цветоразностные сигналы C'b и C'r оцифровываются с частотой, равной половине этой частоты, т.е. 74,25 МГц или (74,25/1,001) МГц, формируя в результате структуру дискретизации 4:2:2. На рисунке 47 показано, как выборки Y', C'b и C'r объединяются в два виртуальных интерфейса. Активное изображение содержит всего 1920 отсчётов (с номерами 0-1919), при этом ширина интервала гашения для разных форматов меняется, чтобы сохранить постоянную скорость передачи данных. В таблице 29 приведено количество выборок в каждой строке для форматов с различной частотой кадров.

Уровень А и уровень В

В рамках стандарта SMPTE 425M Уровень А (Level А) определяет прямое преобразование формата изображений, как это ранее рассматривалось в отношении форматов с быстрой прогрессивной развёрткой. Структура преобразования отличается от определяемой стандартом SMPTE 372M структуры Dual Link. Вместе с тем, в стандарте SMPTE 425M предусмотрена возможность переноса сигналов Dual Link, преобразованных в сигнал 3 Гбит/с. Эта процедура определяется как Уровень В (Level В). В этом случае данные канала А преобразуются в виртуальный интерфейс 1, а данные канала В — в виртуальный интерфейс 2. На рисунке 48 показано, как осуществляется процесс преобразования данных Dual Link в два виртуальных интерфейса сигнала 3 Гбит/с. В окне списка данных режима «Data» монитора сигналов WFM7120 отображаются данные обоих каналов А и В, передаваемых по интерфейсу 3 Гбит/с (рис. 49).

Структура преобразования 2: сигналы форматов 4:4:4 R'G'B'/Y'C'bC'r и 4:4:4:4, R'G'B'(A)/Y'C'bC'r(A) (10 бит, прогрессивная развёртка с сегментированными кадрами, частота кадров 30 Гц, 29,97 Гц, 25 Гц, 24 Гц, 23,98 Гц; чересстрочная развёртка, частота кадров 60 Гц, 59,94 Гц и 50 Гц)

Структура преобразования 2 поддерживает перенос данных R'G'B' или Y'C'bC'r с параметрами дискретизации 4:4:4 и применяется в видеформатах с количеством строк, равным 1080 и 720. Поток данных 1 переносит все выборки зелёной G' и красной R' составляющих, а поток данных 2 переносит выборки синей B' составляющей и данные альфа-канала. Каждый из каналов оцифровывается частотой 74,25 МГц или (74,25/1,001) МГц. В случае формата YC'bC'r выборки G' заменяются значениями яркостной составляющей Y', а значения цветоразностных сигналов C'b и C'r заменяют выборки B' и R' соответственно.

	Номер бита									
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Поток данных 1 Первое слово выборки (a)/(n)	не равен биту 8	R'(a)/(n) [11:9]			G'(a)/(n) [11:9]			B'(a)/(n) [11:9]		
Поток данных 1 Второе слово выборки (a)/(n)	не равен биту 8	R'(a)/(n) [5:3]			G'(a)/(n) [5:3]			B'(a)/(n) [5:3]		
Поток данных 2 Первое слово выборки (a)/(n)	не равен биту 8	R'(a)/(n) [8:6]			G'(a)/(n) [8:6]			B'(a)/(n) [8:6]		
Поток данных 2 Второе слово выборки (a)/(n)	не равен биту 8	R'(a)/(n) [2:0]			G'(a)/(n) [2:0]			B'(a)/(n) [2:0]		

Таблица 27. Структура преобразования 12-разрядного цветового пространства R'G'B' в 10-разрядный виртуальный интерфейс

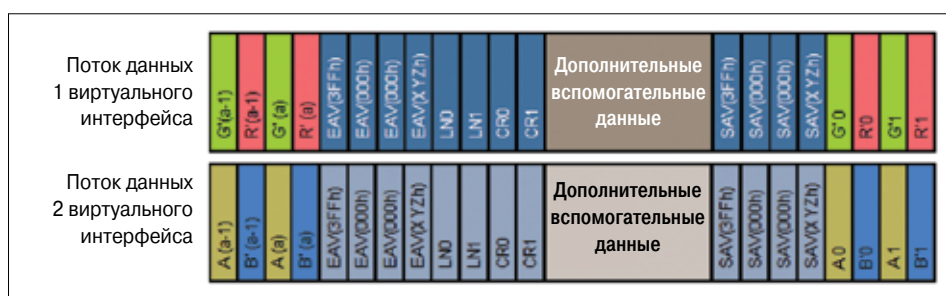


Рис. 50. Уровень А, структура преобразования 2 сигналов R'G'B'



Рис. 51. Уровень А, структура преобразования 3 сигналов R'G'B'

Структура преобразования 3: сигналы форматов 4:4:4 R'G'B'/Y'C'bC'r (12 бит, прогрессивная развёртка с сегментированными кадрами, частота кадров 30 Гц, 29,97 Гц, 25 Гц, 24 Гц, 23,98 Гц; чересстрочная развёртка, частота кадров 60 Гц, 59,94 Гц и 50 Гц) и форматов 4:4:4 X'Y'Z' (12 бит, прогрессивная развёртка с сегментированными кадрами, частота кадров 24 Гц)

Структура преобразования 3 позволяет осуществлять передачу 12-разрядных данных по интерфейсу SDI подобно форматам R'G'B', Y'C'bC'r или X'Y'Z'. Для этого 12-разрядные данные,

представленные в виде [11:0], должны быть преобразованы в 10-разрядную структуру, при этом каждая 12-разрядная выборка делится на четыре части: [11:9], [8:6], [5:3] и [2:0]. Каждое из этих значений затем объединяется в 10-разрядное слово для каждого из компонентов форматов R'G'B', Y'C'bC'r или X'Y'Z' (см. табл. 27). Далее эти слова данных распределяются по двум виртуальным интерфейсам таким образом, что биты [11:9] и [5:3] переносятся по виртуальному интерфейсу 1, а оставшиеся биты [8:6] и [2:0] — по виртуальному интерфейсу 2, как это показано на рисунке 51. В случае формата Y'C'bC'r выборки G' заменяются значениями Y', а выборки B' и R' — значениями цветоразностных сигналов C'b и C'r соответственно. В приложениях цифрового кино используется другой вид цветового пространства — X'Y'Z', которое обеспечивает более

широкий динамический диапазон представления цветов с целью точного воспроизведения глубины цвета, обеспечиваемого плёнкой. Параметры этого цветового пространства определяются стандартом SMPTE 428. В случае использования формата X'Y'Z' выборки R' заменяются значениями X', выборки G' — значениями Y', а выборки B' — значениями Z'.

Каждый из каналов оцифровывается частотой 74,25 МГц или (74,25/1,001) МГц. Для сохранения разных форматов постоянной скорости передачи данных на уровне 3 Гбит/с ширина интервала гашения меняется. В таблице 29 приведено общее количество слов в строке для каждого из форматов.

	Номер бита									
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Поток данных 1 Первое слово выборки (a)/(n)	не равен биту 8	резервный			Y'(a)/(n) [11:6]					
Поток данных 1 Второе слово выборки (a)/(n)	не равен биту 8	резервный			Y'(a)/(n) [5:0]					
Поток данных 2 Первое слово выборки (a)/(n)	не равен биту 8	резервный			C'b (a)/(n) [11:6]					
Поток данных 2 Второе слово выборки (a)/(n)	не равен биту 8	резервный			C'b (a)/(n) [5:0]					
Поток данных 2 Третье слово выборки (a)/(n)	не равен биту 8	резервный			C'r (a)/(n) [11:6]					
Поток данных 2 Четвёртое слово выборки (a)/(n)	не равен биту 8	резервный			C'r (a)/(n) [5:0]					

Таблица 28. Структура преобразования 12-разрядного цветового пространства Y'C'bC'r в 10-разрядный виртуальный интерфейс



Рис. 52. Уровень А, структура преобразования 4 сигналов Y'C'bC'r

Структура преобразования 4: сигналы форматов Y'C'bC'r (12 бит, прогрессивная развёртка с сегментированными кадрами, частота кадров 30 Гц, 29,97 Гц, 25 Гц, 24 Гц, 23,98 Гц; чересстрочная развёртка, частота кадров 60 Гц, 59,94 Гц и 50 Гц)

Для преобразования 12-разрядных данных в 10-разрядную инфраструктуру интерфейса SDI 12-разрядные данные, представляемые в виде [11:0], должны быть разделены на отдельные слова. В структуре преобразования 4 первая половина битов данных Y' [11:6] передаётся в виртуальном интерфейсе 1, а вторая последовательность битов данных Y' [5:0] переносится в следующем пакете виртуального интерфейса 1 (см. табл. 28). На рисунке 52 показано, как пакеты данных объединяются в два виртуальных интерфейса.

Данные сигнала яркости Y' оцифровываются с частотой 74,25 МГц или (74,25/1,001) МГц, а цветоразностные сигналы C'b и C'r оцифровываются с частотой, равной половине этой частоты, т.е. 37,125 МГц или (37,125/1,001) МГц.

Частота кадров	Общее количество слов в строке	Общее количество активных слов в строке
24 или 23,98	4125	1280
25	3960	1280
30 или 29,97	3300	1280
50	1980	1280
60 или 59,94	1650	1280
24 или 23,98	2750	1920
24 или 23,98	2750	1920
25	2640	1920
30 или 29,97	2200	1920
24 или 24 PsF	2750	2048

Таблица 29. Структура дискретизации видеострок для форматов с различной частотой кадров

Цифровой звук

Одним из достоинств цифрового интерфейса является возможность интегрирования (мультиплексирования) нескольких каналов цифрового аудио в поток цифрового видео. Видеосигнал со вложенным звуком особенно удобен в больших аппаратных системах, где использование отдельных трактов цифрового аудио становится экономически нецелесообразным, и на первый план выдвигается строгая синхронизация звука с соответствующим видеосигналом. В меньших системах, например, монтажных студиях, как правило, экономически более выгодно использование отдельных звуковых каналов, так как позволяет отказаться от применения многочисленных модулей мультиплексоров и демультимплексоров. Работа с цифровыми системами передачи звука для видео и цифровыми аудиосигналами определена стандартами:

ANSI/SMPTE 272M «Форматирование аудиоданных интерфейса AES/EBU и служебных данных в пространстве служебных данных цифрового видео» (для форматов 525/60 и 625/50, соответствующих ANSI/SMPTE 259M) и

ANSI/SMPTE 299M «Формат 24-разрядного аудио для последовательного интерфейса телевидения высокой чёткости» (для форматов, соответствующих ANSI/SMPTE 292M).

От двух до шестнадцати аудиоканалов AES/EBU передаются попарно и объединяются, где это необходимо, в группы по четыре канала. Каждая группа обозначается уникальным идентификатором (ID) служебных данных. Аудиосигналы оцифровываются с частотой дискретизации 48 кГц, синхронной тактовой частотой видеосигналов или, по выбору, синхронной или асинхронной частотой дискретизации от 32 кГц до 48 кГц.

Служебные данные перед мультиплексированием в поток видеоданных форматируются в пакеты, как это показано на рис. 53. Каждый блок данных содержит до 255 слов пользовательских данных, кроме того, в нём достаточно места, чтобы разместить семь (в случае компонентного видео) слов служебных данных.

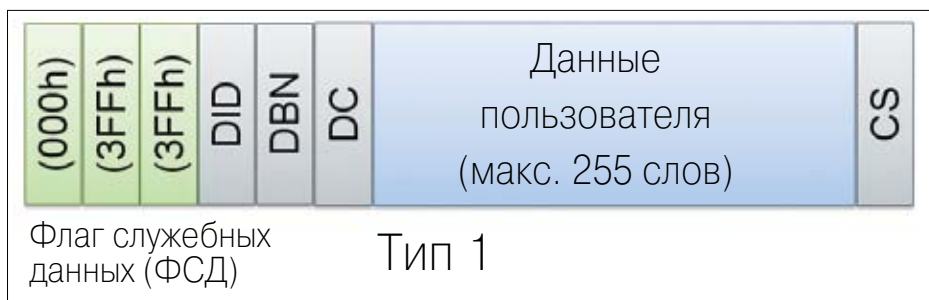


Рис. 53. Форматирование служебных данных

Для цифрового композитного сигнала только «широкие» импульсы кадровой синхронизации содержат достаточно места для включения 255 слов данных. В каждом индивидуальном пространстве служебных данных может размещаться множество пакетов данных.

В начале каждого пакета данных имеется заголовок, слова которого не включаются в состав цифровых видеоданных, а резервируются для использования в целях синхронизации. В случае компонентного видео в заголовок входит три слова: 000_n , $3FF_n$, $3FF_n$. Каждый тип пакета данных обозначается своим словом-идентификатором данных (Data ID, DID). Для создания различных пакетов данных, используемых для вложенного (имбедрованного) аудио, определено несколько различных идентификаторов данных DID. Слово, обозначающее номер блока данных (Data Block Number, DBN), является дополнительным счётчиком, который служит для обеспечения заданной последовательности передачи пакетов служебных данных и может использоваться приёмником для определения факта пропуска данных. Так, например, в случае вложенного аудио разрыв в последовательности DBN может быть использован для определения момента переключения вертикального интервала, что позволяет приёмнику обрабатывать аудиоданные с целью удаления возможных помех, в частности, щелчков и треска. Непосредственно перед блоком аудиоданных располагается слово счётчика данных (Data Count, DC), показывающее количество данных в пакете. И, наконец, за аудиоданными следует слово с контрольной суммой (Checksum, CS), которое используется для определения ошибок в пакете данных.

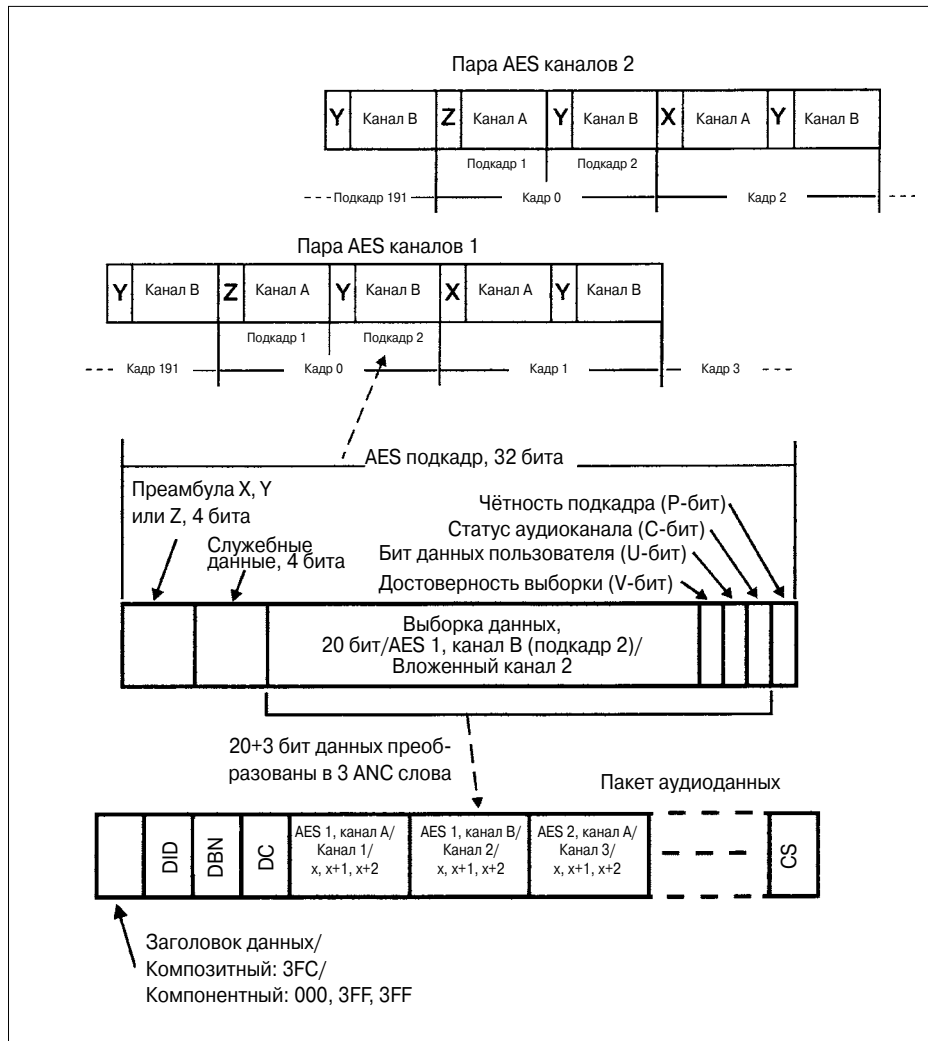


Рис. 54. Базовая конфигурация вложенного (имбеддированного) звука

Бит	X	X + 1	X + 2
9	не равен бит 8	не равен бит 8	не равен бит 8
8	AUD 5	AUD 14	чётность
7	AUD 4	AUD 13	C-бит
6	AUD 3	AUD 12	U-бит
5	AUD 2	AUD 11	V-бит
4	AUD 1	AUD 10	AUD 19 (СЗБ)
3	AUD 0	AUD 9	AUD 18
2	контр. бит-1	AUD 8	AUD 17
1	контр. бит-2	AUD 7	AUD 16
0	Z-бит	AUD 6	AUD 15

Таблица 30. Распределение битов во встроенном аудио

Вложенный (имбеддированный) звук в компонентном цифровом видео

Вложенный звук и доступные опции описаны в стандарте ANSI/SMPTE 272M для форматов видео стандартной чёткости и в стандарте ANSI/SMPTE 299M для студийных цифровых форматов видео высокой чёткости. При работе следует руководствоваться последними версиями этих документов. Базовая конфигурация вложенного аудио с двумя парами AES каналов в качестве источников приведена на рис. 54.

Пакет аудиоданных содержит один или более звуковых отсчётов из звуковых каналов, число которых может достигать четырёх. В таблице 30 показано, как 23 бита (20 битов аудио плюс биты C, U и V) из каждого подкадра AES преобразуются в три 10-разрядных слова видео (x, x+1, x+2).

В этих словах бит 9 всегда не равен бит 8. Это делается для того, чтобы гарантировать, что в них не используется ни одно из исключённых значений — с $3FF_n$ по $3FC_n$ или с 003_n по 000_n . Бит Z устанавливается равным «1», что соответствует первому кадру из 192-кадрового блока AES. Каналы вложенного звука фактически не зависят друг от друга, хотя и пере-

даются всегда парами. Поэтому бит Z всегда равен «1» в каждом канале, даже если получен из одного и того же AES источника. Биты C, U и V образуются из сигнала AES, в то время как P-бит не является битом чётности AES. Бит 8 в слове x+2 предназначен для проверки на чётность битов 0-8 во всех трёх словах.

Существует несколько ограничений относительно распространения пакетов звуковых данных. При этом в стандарт заложены специальные положения («статья о дедах»), касающиеся возможности использования устаревшего оборудования, которое не может соответствовать всем требованиям стандартов. Пакеты аудиоданных не передаются в горизонтальном интервале служебных данных, который следует непосредственно за нормальным переключением вертикального интервала, как это определено в Рекомендации RP 168. Кроме того, они не передаются в пространстве служебных данных, предназначенном для контрольных слов обнаружения ошибок в соответствии с Рекомендацией RP 165. С учётом этих ограничений данные должны быть как можно более равномерно распределены по всему видеополу. Это требование особенно важно для минимизации размера буфера приёмника при передаче 24-разрядного аудио в композитных цифровых системах. В результате каждый пакет звуковых данных содержит три или четыре аудиовыборки.

Расширенный вложенный звук

Полный спектр функций вложенного звука определён в вышеупомянутых стандартах и включает:

- перенос четырёх дополнительных AES битов, которые могут использоваться для расширения аудиовыборок до 24 разрядов;
- возможность работы в режиме асинхронного тактирования;
- возможность использования других частот дискретизации, кроме 48 кГц;
- предоставление информации о задержке между аудио- и видеосигналами для каждого канала;
- документирование идентификаторов данных с целью обеспечения до 16 аудиоканалов в цифровых компонентных системах;
- счёт «аудиокадров» для систем с 525 строками.

Для обеспечения этих функций введено два дополнительных пакета. Расширенные пакеты данных несут четыре дополнительных AES бита, форматированных так, что одно видеослово содержит служебные данные для двух аудиовыборок (см. рис. 55).

Расширенные пакеты данных должны быть расположены в том же пространстве служебных данных, что и сопутствующие пакеты аудиоданных и должны следовать за ними.

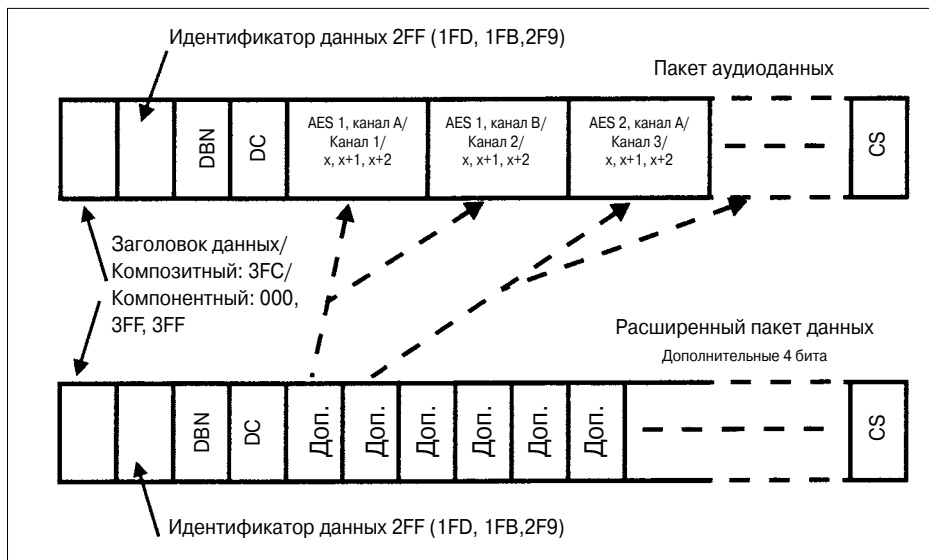


Рис. 55. Расширенный вложенный звук

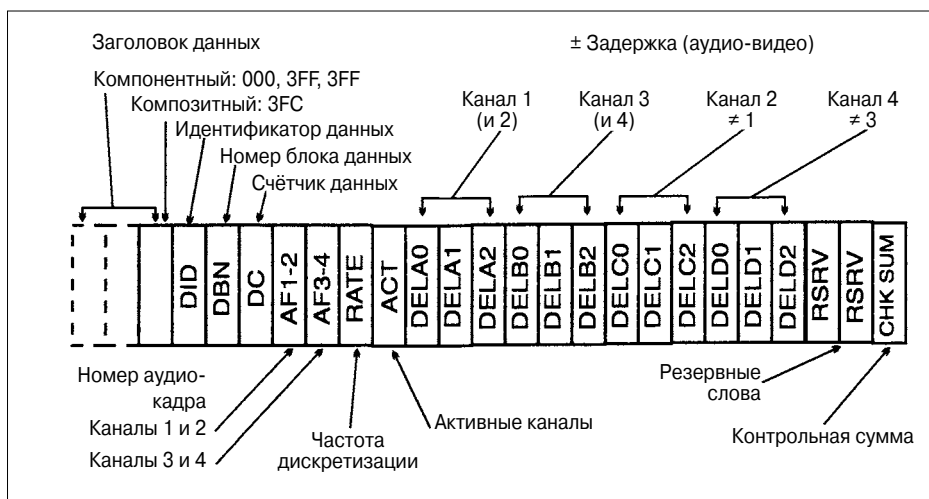


Рис. 56. Форматирование контрольного аудиопакета

Контрольный аудиопакет, показанный на рисунке 56, передаётся один раз на кадр во втором горизонтальном пространстве служебных данных после точки переключения вертикального интервала гашения. Он содержит информацию о номере аудиокадра, частоте дискретизации, активных каналах и относительной задержке между аудио- и видеосигналами для каждого канала. Передача контрольных аудиопакетов является необязательной при работе в синхронном режиме на частоте 48 кГц, но необходима при работе во всех остальных режимах, так как в пакетах содержится информация об используемом в текущий момент режиме.

Номера звуковых кадров являются искусственным признаком для видеоматрицы 525 строк/29,97 кадров/с. В пяти кадрах этого формата содержится ровно 8008 аудиовыборок, то есть в каждом кадре содержится нецелое число выборок. Последовательность аудиокадров представляет собой определённое число кадров (в данном случае, их пять), в которых содержится целое

число выборок. При этом номер аудиокадра показывает, в каком конкретно месте последовательности располагается данный кадр. Информация о номере кадра важна при переключениях между источниками, потому что некоторые виды оборудования, в частности цифровые видеоматрицы, требуют устойчивой синхронизации для предотвращения переполнения или незаполнения буфера. Там где предусмотрены частые переключения, приёмное оборудование может быть спроектировано таким образом, чтобы при нарушении последовательности в четырёх случаях из пяти было возможно добавлять или отбрасывать выборку, следующую после переключения. В таких системах основную трудность представляет своевременное выявление факта переключения. Решению этой задачи может способствовать использование номера блока данных в структуре формата служебных данных, а также путём добавления дополнительного счётчика кадров с неиспользуемыми битами в слове номера звукового кадра в контрольном аудиопакете. По умолчанию информация о задержке звука, содержащаяся

	Аудио каналы	Пакет аудио-данных	Расширенный пакет данных	Контрольный аудио пакет
Группа 1	1-4	2FFh	1FEh	1EFh
Группа 2	5-8	1FDh	2FCh	2EEh
Группа 3	9-12	1FBh	2FAh	2EDh
Группа 4	13-16	2F9h	1F8h	1ECh

Таблица 31. Идентификаторы данных для 16-канального звука, вложенного в видеосигнал формата SD

в контрольном аудиопакете, использует режим пары каналов. Это означает, что величина задержки A (DELA0-2) одинакова и для канала 1, и для канала 2 несмотря на то, что на самом деле значение задержки для канала 2 может быть не равно значению задержки для канала 1. В таком случае значение задержки для канала 2 размещается в ячейке задержки C (DELCO-2). Частота дискретизации должна быть одинаковой для каждого канала в паре, поэтому данные в слове АСТ содержат только два значения: одно для каналов 1 и 2, а второе — для каналов 3 и 4.

Для того чтобы компонентные цифровые системы могли включать до 16 каналов звукового сопровождения, встроенное аудио делится на аудиогруппы, соответствующие основным четырёхканальным процессам. Каждому из трёх типов пакетов данных присваивается по четыре идентификатора данных, как это показано в таблице 31.

В компонентном цифровом видео размер приёмного буфера в аудиодемультимплексоре не является критически важным, так как в нём под служебные данные отведено достаточно большое пространство. Но в случае композитного цифрового видео ситуация существенно другая. Это происходит из-за того, что данные не включаются в выравнивающие импульсы и, что более важно, для расширенного звука требуется распределение пакета данных. По этой причине стандартом предписывается размер приёмного буфера в 64 выборки на канал, но при этом допускается размер буфера в 48 выборок на канал в случае использования устаревшего оборудования.

Систематизация AES/EBU аудио

В последнее время последовательное цифровое видео и аудио всё чаще используются при производстве и обработке видео-программ и на телевизионных станциях. Во многих случаях видео и аудио имеют общие источники, поэтому зачастую желательно сохранять и обрабатывать их как единый поток данных. Преимуществом этого, к примеру, является возможность сохранения сигналов в цифровом виде и коммутации их воедино с помощью последовательного цифрового коммутатора-распределителя. В случаях, когда бывает необходимо выделить исходные аудио данные, цифровое аудио может быть демультимплексировано и коммутировано в отдельный поток с помощью цифрового AES/EBU аудиоконмутатора-распределителя.

После того как мультимплексированные аудио данные пройдут через последовательный цифровой коммутатор-распределитель, в приёмном устройстве может возникнуть необходимость выделить аудиосигнал из видеосигнала, в результате чего его можно отредактировать, очистить от шумов и помех или провести другую обработку. Для этого нужен демультимплексор, который отделяет AES/EBU аудио от последовательного цифрового видео. Выход типового демультимплексора имеет последовательный цифровой видеоразъём BNC, а также коннекторы для двух цифровых стереосигналов AES/EBU.

Основы вложенного аудио в формате HD

При внедрении аудиостандарта AES/EBU в среду видео высокой чёткости есть определённое сходство и некоторое отличие по сравнению обычным видео. Форматирование пакетов служебных данных одинаково и в SD, и в HD. Но содержимое пользовательских данных в формате HD отличается от SD, так как все 24 бита аудиоданных пересылаются группой, а не подразделяются на 20 битов аудиоданных и расширенный пакет данных, включающий четыре служебных бита. Поэтому общее количество используемых в формате HD битов равно 29 (по сравнению с 23 битами в формате SD). 24 бита аудиоданных размещены в четырёх словах служебных данных вместе битами C, V и U, а также Z-битом. Кроме того, в пакет добавлены слова CLK (частота дискретизации) и ECC (код корректировки ошибок). Так как все 24 бита аудиоданных входят в состав пользовательских данных, в формате HD не используется расширенный пакет данных.

Соответствие структуре пакета служебных данных означает, что флаг служебных данных (Ancillary Data Flag, ADF) имеет значение, состоящее, как это предписано стандартом SMPTE 291M, из трёх слов — 000_n , $3FF_n$ и $3FF_n$. Состоящий из одного слова идентификатор данных (DID) служит для распознавания соответствующих групп аудиоданных и принимает значения, представленные в таблице 32. Номер блока данных (DBN) и счётчик данных (DC) также содержат по одному слову, при этом значение счётчика данных всегда равно 218_n . Пользовательские данные (User Data Word, UDW) всегда содержат по 24 слова данных и имеют структуру, показанную на рис. 57. Первые два слова, UDW0 и UDW1, содержат сведения о фазе тактового сигнала и используются для восстановления тактовой частоты аудиосигнала. Данные в этих двух словах обеспечивают подсчёт количества тактовых импульсов видеосигнала между первым словом EAV (конец активного видео) и видеовыборкой, соответствующей аудиовыборке.

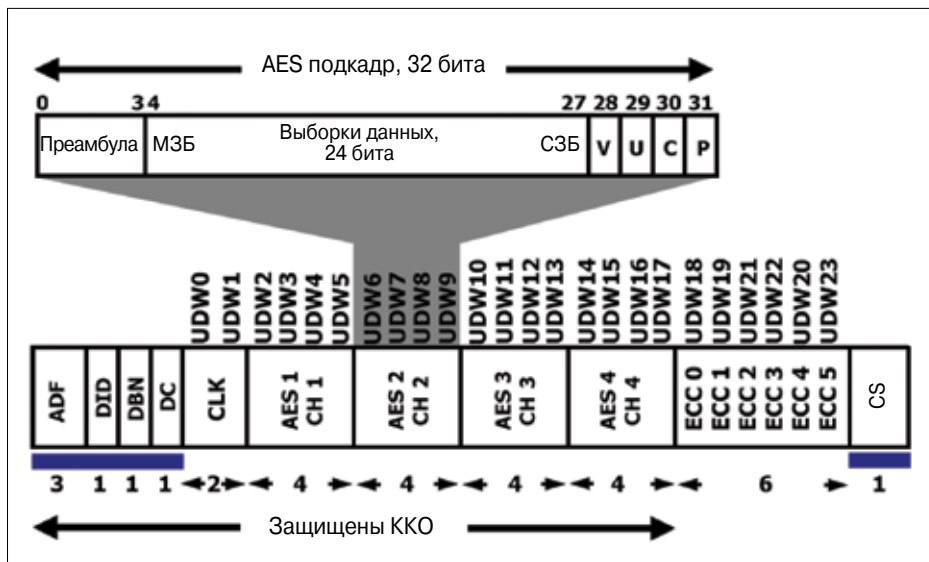


Рис. 57. Структура пакета аудиоданных высокой чёткости

	Аудио каналы	Пакет аудио-данных	Контрольный аудиопакет
Группа 1	1-4	2E7h	1E3h
Группа 2	5-8	1E6h	2E2h
Группа 3	9-12	1E5h	2E1h
Группа 4	13-16	2E4h	1E0h

Таблица 32. Идентификаторы данных для 16-канального звука, вложенного в видеосигнал формата HD

Бит	UDW2	UDW3	UDW4	UDW5
9	не равен биту 8	не равен биту 8	не равен биту 8	не равен биту 8
8	проверка на чётность	проверка на чётность	проверка на чётность	проверка на чётность
7	AUD1 3	AUD 111	AUD 119	P1
6	AUD1 2	AUD 110	AUD 118	C1
5	AUD1 1	AUD 1 9	AUD 1 17	U1
4	AUD1 0	AUD 18	AUD 116	V1
3	Z	AUD1 7	AUD1 15	AUD1 23 (C3B)
2	0	AUD1 6	AUD1 14	AUD1 22
1	0	AUD1 5	AUD1 13	AUD1 21
0	0	AUD1 4	AUD1 12	AUD1 20
Бит	UDW6	UDW7	UDW8	UDW9
9	не равен биту 8	не равен биту 8	не равен биту 8	не равен биту 8
8	проверка на чётность	проверка на чётность	проверка на чётность	проверка на чётность
7	AUD2 3	AUD 2 11	AUD 219	P2
6	AUD2 2	AUD 2 10	AUD 218	C2
5	AUD2 1	AUD 2 9	AUD 2 17	U
4	AUD2 0	AUD 2 8	AUD216	V2
3	0	AUD2 7	AUD2 15	AUD2 23 (C3B)
2	0	AUD2 6	AUD2 14	AUD2 22
1	0	AUD2 5	AUD2 13	AUD2 21
0	0	AUD2 4	AUD2 12	AUD2 20
Бит	UDW10	UDW11	UDW12	UDW13
9	не равен биту 8	не равен биту 8	не равен биту 8	не равен биту 8
8	проверка на чётность	проверка на чётность	проверка на чётность	проверка на чётность
7	AUD3 3	AUD 311	AUD 319	P3
6	AUD3 2	AUD 310	AUD 318	C3
5	AUD3 1	AUD 3 9	AUD 3 17	U3
4	AUD3 0	AUD 38	AUD 316	V3
3	Z	AUD3 7	AUD3 15	AUD3 23 (C3B)
2	0	AUD3 6	AUD3 14	AUD3 22
1	0	AUD3 5	AUD3 13	AUD3 21
0	0	AUD3 4	AUD3 12	AUD3 20
Бит	UDW14	UDW15	UDW16	UDW17
9	не равен биту 8	не равен биту 8	не равен биту 8	не равен биту 8
8	проверка на чётность	проверка на чётность	проверка на чётность	проверка на чётность
7	AUD4 3	AUD 4 11	AUD 419	P4
6	AUD4 2	AUD 410	AUD 418	C4
5	AUD4 1	AUD 4 9	AUD 4 17	U4
4	AUD4 0	AUD 4 8	AUD416	V4
3	0	AUD4 7	AUD4 15	AUD4 23 (C3B)
2	0	AUD4 6	AUD4 14	AUD4 22
1	0	AUD4 5	AUD4 13	AUD4 21
0	0	AUD4 4	AUD4 12	AUD4 20

Каждый подкадр аудиоданных распределён по выборкам четырёх слов пользовательских данных (UDW), как это показано в таблице 33.

Следует иметь в виду, что данные преамбулы не входят в состав четырёх слов, за исключением ссылки на начало 192 кадра в виде указателя — Z-бита. Кроме того, в отличие от видео стандартной чёткости, здесь используется тот же бит чётности, что и в 32-разрядном подкадре.

Коды коррективы ошибок (Error Correction Code, ECC) представляют собой набор из шести слов, которые служат для обнаружения ошибок в первых 24 словах, от ADF до UDW17. Значение ECC рассчитывается путём применения информационной структуры кода БЧХ к восьми битам данных В0-В7 всех 24 слов. В результате образуется шесть слов кода коррективы ошибок (ECC).

Информация служебных данных мультиплексируется только в пространстве данных цветоразностных сигналов Сb/Cr. В отличие от структуры стандартной чёткости, в которой служебные аудиоданные передаются в потоке СbYCrY', в формате HD пространство данных Y используется только для переноса контрольного аудиопакета, который передаётся один раз на кадр и размещается на второй строке после точки переключения данных Y. В сигнале строки, следующей непосредственно за точкой переключения, служебные данные не размещаются. Место расположения точки переключения зависит от формата сигналов высокой чёткости. Так, например, в системах 1125/60 служебные данные не размещаются в строке 8.

Таблица 33. Распределение битов аудиоданных

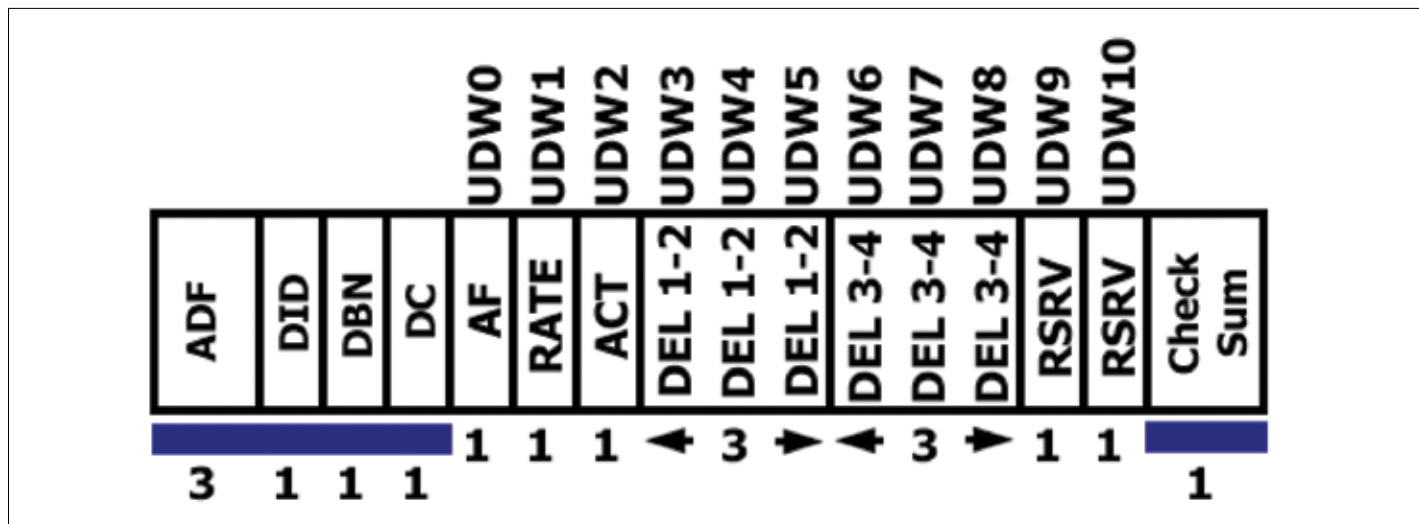


Рис. 58. Структура контрольного аудиопакета

Контрольный аудиопакет

Контрольный аудиопакет несёт вспомогательные сведения, которые используются при декодировании аудиоданных. Структура пакета данных в формате HD похожа на структуру пакета данных в формате стандартной чёткости и приведена на рис. 58. В контрольном пакете содержится следующая информация. Флаг служебных данных (ADF) имеет значение, состоящее из трёх слов — 000_n , $3FF_n$ и $3FF_n$. Состоящий из одного слова идентификатор данных (DID) служит для распознавания соответствующих групп аудиоданных и принимает значения, представленные в таблицах 31 и 32. Значение номера блока данных (DBN) всегда равно 200_n , а значение счётчика данных (DC) всегда равно $10B_n$. Пользовательские данные (UDW) содержат 11 слов, которые содержат пять различных типов данных. Номер аудиокадра (AF) обеспечивает последовательную нумерацию видеокадров, что способствует чёткой локализации аудиовыборок при использовании нецелого количества аудиовыборок в кадре. Слово RATE служит для обозначения частоты дискретизации аудиоданных и указания, являются ли эти данные синхронными или асинхронными. Слово ACT показывает количество активных каналов в группе. Значения слов DEL_{m-n} означают выраженную в аудиовыборках величину суммарной задержки аудиоканала относительно видео для каждой пары каналов 1-2 и 3-4. На рисунке 59 показано окно дисплея растрейзера сигналов серии WVR в режиме декодирования данных контрольного аудиопакета.

Формат контрольного пакета высокой чёткости немного отличается от формата пакета стандартной чёткости. Так в нем имеется два резервных слова RSRV, которые в настоящее время не применяются, а сохраняются для возможного использования в будущем.

Audio Control Packet Display				
	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
DID:	0xc3 (1ef)	0xc2 (2e2)	0xc1 (2e1)	0xc0 (1ef)
Data Block:	0x00 (200)	0x00 (200)	0x00 (200)	0x00 (200)
Data Count:	11	11	11	11
Field / Line:	11 / L9	11 / L9	11 / L9	11 / L9
Checksum:	0x2ff	0x1f5	0xc200	0x2ff
Should Be:	0x2ff	0x1f5	0xc200	0x2ff

Channel	Audio Frame	Rate (kHz)	Active Chan	Delay Samples
1-2, 3-4	2	Sync 48	1-2, 3-4	—
3-6, 7-8	3	Sync 48	3-6, —	—
9-10, 11-12	5	Sync 48	9-10, 11-12	—
13-14, 15-16	5	Sync 48	13-14, 15-16	—

Рис. 59. Окно контрольного аудиопакета растрейзера сигналов серии WVR

Как осуществлять мониторинг многоканального звука

Обычно аудиоконтроль осуществляется путём мониторинга уровня аудиосигналов с тем, чтобы можно было гарантировать, что они находятся в установленных пределах. Когда появились системы стереозвучания, на первый план вышла необходимость контроля взаимодействия каналов, что позволило бы обеспечить правильно сбалансированный пространственный звуковой образ. Для отслеживания взаимодействия двух каналов используется режим фазовых измерений (окно Лиссажу). Более подробно применение окна Лиссажу рассматривается в инструкции по использованию 21W-16463-01 «Audio Monitoring».

Развитие технологий многоканального объёмного звука позволило значительно усилить зрительные впечатления. Технологии объёмного звука возникли из технологий цифрового телевидения и цифрового видео и способствовали появлению домашних кинотеатров. Комбинация улучшенного качества изображения и объёмного звучания дала зрителям реалистичное ощущение абсолютного погружения и эффект присутствия в пространстве программы.

При производстве звукового сопровождения визуальное представление звукового образа дополняет впечатления аудитории, и, тем самым, способствует аудиоинженерам создавать требуемые звуковые комбинации или более точно настраивать аудиоконтент при монтаже. В вещательном оборудовании такое визуальное отображение помогает операторам быстрее выявлять проблемы в содержимом многоканального звука и своевременно их решать.

Аудиоканалы в системах объёмного звука 5.1

В течение нескольких лет киноиндустрия использует многоканальные аудиосистемы в качестве стандарта для звукового сопровождения фильмов в кинотеатрах. В настоящее время для воспроизведения ощущения объёмного звука в домашних условиях и предоставления потребителям эффекта пребывания в кинотеатре многоканальные аудиосистемы формата 5.1 практически полностью заменили стереозвук в бытовых системах. Сейчас практически все DVD-проигрыватели способны воспроизводить объёмный звук в формате 5.1, поэтому телевизионная индустрия начала использовать этот аудиоформат в широковещании в системах цифрового телевидения. При обычном использовании многоканальная аудиосистема 5.1 не пытается поместить звук в определённое произвольно выбранное положение. Наоборот, каждый канал играет свою собственную, специфическую роль (см. рис. 60).

- Левый (L) и правый (R) фронтальные каналы управляют двумя аудиоколонками (акустическими системами, АС), расположенными перед слушателем (основные АС). Они функционируют как обычная стереосистема, и через них передаётся большая часть музыкального сопровождения.
- Центральный (C) канал управляет аудиоколонкой, расположенной прямо перед слушателем между основными АС. По нему передаются, главным образом, диалоги.



Рис. 60. Расположение акустических колонок в многоканальной системе объёмного звука

- Левый (Ls) и правый (Rs) боковые каналы объёмного звука управляют двумя (левой и правой) аудиоколонками, расположенными по сторонам или позади слушателя (АС объёмного звучания). Эти колонки служат для манипуляции звуковыми эффектами или звуками окружающего пространства с тем, чтобы создать у слушателя акустическую иллюзию некоей специфической окружающей обстановки или пространства.
- Канал низкочастотных эффектов (L_{FE}) управляет аудиоколонкой, которая имеет самую большую мощность и ограниченный диапазон частот (сабвуфер). Сабвуфер служит для создания специальных низкочастотных звуковых эффектов и располагается, как правило, перед слушателем.

Каналы L, R, C, Ls и Rs образуют часть «5» в обозначении многоканальных аудиосистем формата 5.1. Они создают полноценное ощущение объёмного звука, транслируют речь и множество специальных эффектов. Кроме того, они используют характерные возможности аудиосистемы по локализации звука для создания надлежащим образом расположенных фантомных источников звука. На частотах менее 150 Гц эффективность определения расстояния до источников звука и их взаимного расположения в пространстве значительно снижается. В формировании этих впечатляющих ненаправленных эффектов канал L_{FE} («1» в обозначении аудиоформата 5.1) играет незначительную роль.

Несмотря на то, что аудиоколонка называется «сабвуфер», в системах объёмного звука она носит название «Канал низкочастотных эффектов», потому что в зависимости от размеров используемой зрителем акустической системы, канал L_{FE} будет иметь различные частотные характеристики в области нижних звуковых частот. Так, например, система с маленькими колонками будет иметь ограниченную характеристику, которая будет не в состоянии обеспечить звучание всех басов, поэтому они в этом случае будут перенаправляться в канал L_{FE} . У колонок большого размера, установленных в комнате, динамический диапазон может оказаться достаточно широким, чтобы удовлетворительно воспроизводить низкие частоты басовых звуков, поэтому, как правило, нет необходимости перенаправлять их в канал L_{FE} .

Многоканальные аудиосистемы продолжают развиваться. Появляются конфигурации с большим количеством каналов, в том числе системы форматов 6.1 и 7.1. В аудиосистемах формата 6.1 добавлена дополнительная аудиоколонка, которая выполняет функции тылового моноканала объёмного звука. В аудиосистемах формата 7.1 добавлены уже две колонки, которые используются в качестве левого тылового (Lb) и правого тылового (Rb) моно каналов объёмного звука. Кроме того, может возникнуть необходимость осуществлять контроль процесса понижающего микширования, т.е. преобразования многоканального звука в двухканальный стереозвук. Для стандартного стереомикширования это можно обозначить как Lo-Ro. Звуковые каналы, прошедшие процедуру понижающего стереомикширования и закодированные в формате Dolby Pro-Logic™, обозначаются как Lt и Rt (total — общий).

Режим контроля объёмного звука¹

В окне режима контроля объёмного звука (Surround Sound) связывает уровень звука с каждым из пяти основных каналов в аудиосистеме 5.1 путём определения среднеквадратичного значения (RMS) уровня сигнала в канале. Прибор может вычислить либо невзвешенное RMS значение, либо может применить фильтр для получения RMS значения, взвешенного по частоте. Использование фильтра с взвешиванием уровня звука по шкале А позволяет делать поправку на частотную характеристику органов слуха человека и получить значения уровня звука, которые наилучшим образом соответствуют воспринимаемой громкости аудиосигнала.

На дисплее отображаются уровни звука в каналах L, R, Ls и Rs по четырём шкалам, которые начинаются в центре окна и ориентированы по углам дисплея. Верхний левый, верхний правый, нижний левый и нижний правый углы дисплея соответствуют 0 дБ уровней сигнала каналов L, R, Ls и Rs соответственно. Центр экрана соответствует уровню –65 дБ от полной шкалы. По мере увеличения уровня сигнала в канале длина указателя уровня голубого цвета увеличивается от центра к углу, соответствующему данному каналу. Цена деления каждой шкалы равна 10 дБ. Кроме того, на каждой шкале размещаются маркеры, устанавливаемые на определяемом пользователем опорном уровне выравнивания, обычно это –20 дБ или –18 дБ от полной шкалы.

Концы отображаемых на дисплее указателей уровня звука соединяются и образуют многоугольник, который называется индикатором общей громкости (Total Volume Indicator, TVI). Индикатор TVI отображает баланс уровней между основными каналами (L и R) и каналами объёмного звука (Ls и Rs), а также общий баланс объёмного звука. Кроме того, индикатор общей громкости отражает корреляцию между сигналами в соседних каналах, при этом приняты следующие правила.

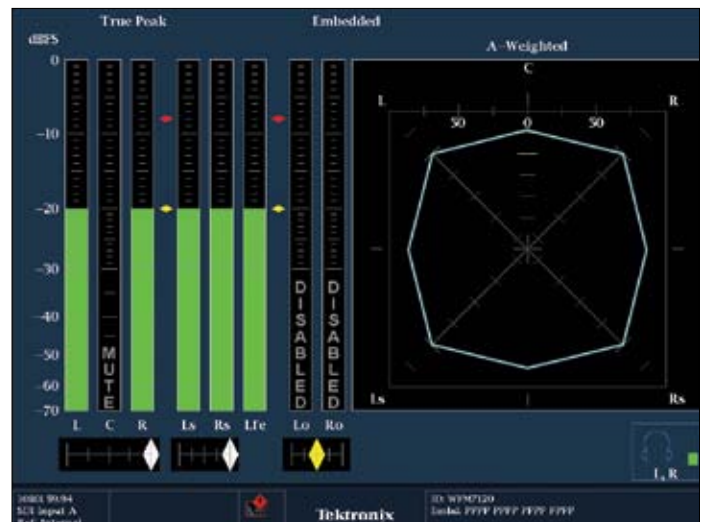


Рис. 61. Окно режима контроля параметров объёмного звука с тестовыми тонами для каналов L, R, Ls и Rs

- Прямая линия, соединяющая указатели уровней двух соседних каналов, показывает, что по этим каналам передаются некоррелированные сигналы, т.е. коэффициент корреляции равен 0,0.
- По мере возрастания коэффициента корреляции между двумя каналами до +1,0 линия, соединяющая указатели уровней, выгибается наружу, от центра по направлению к возможным фантомным источникам звука.
- По мере возрастания величины сдвига по фазе сигналов вплоть до полной расфазировки, т.е. при приближении значения коэффициента корреляции к –1,0, линия изгибается внутрь, к центру, что свидетельствует о наличии гасящей интерференции и уменьшении общей громкости звука, связанными с несинфазностью сигналов.

На рисунке 61 показаны тестовые сигналы, подаваемые на входы каждого из каналов L, R, Ls и Rs. Если сигналы имеют одинаковую амплитуду, частоту и фазу, то они образуют восьмиугольник. В результате оператор может быстро определить, правильно ли настроены и отрегулированы каналы.

Центральный канал играет особую роль в системе объёмного звука. В режиме контроля объёмного звука этот канал обрабатывается не так, как сигналы других каналов. Указатель уровня звука в центральном канале на дисплее отображается в виде жёлтой вертикальной линии, расположенной между указателями уровня звука левого и правого каналов. Соединив конец указателя уровня звука центрального (C) канала с концами указателей уровня звука левого и правого (L и R) каналов, получим на дисплее индикатор центральной громкости (Center Volume Indicator, CVI).

¹ Режим Audio Surround Sound используется по лицензии компании Radio-Technische Werkstätten GmbH & Co. KG (RTW), Кёльн, Германия.

Индикаторы TVI и CVI воздействуют на индикаторы фантомных источников (Phantom Source Indicator, PSI), которые расположены по периметру окна и обеспечивают дополнительную помощь в визуализации местоположения источников звука. Четыре индикатора PSI располагаются на каждой стороне окна режима и показывают основные свойства потенциальных фантомных источников звука, образованных парами соседних каналов L/R, L/Ls, Ls/Rs и R/Rs. Эти четыре индикатора функционируют одинаковым образом. Каждый индикатор PSI включает белую метку, которая называется «указатель положения фантомного источника». Этот указатель служит для обозначения местонахождения возможных фантомных источников звука. Линия переменной длины простирается по обе стороны этого указателя положения, обозначает способность слушателя локализовать данный источник. Если сигналы в паре соседних каналов полностью коррелированы (коэффициент корреляции равен +1), они создают фантомные источники звука точно посередине между двумя колонками. Указатель положения фантомного источника находится на той же стороне, где располагается пара соседних каналов.

Положение белой метки зависит от уровня взаимосвязи между сигналами в соседних каналах. Уменьшение корреляции между сигналами в паре соседних каналов вносит некоторую неопределённость в расположение связанного с ними фантомного источника звука.

Для обозначения положения фантомного источника индикаторы PSI принимают вид линии переменной длины, которая протягивается от белой метки к углам окна, соответствующим данной паре каналов. В качестве дополнительной визуальной помощи используется изменение цвета линии при достижении определенных пороговых значений коэффициента корреляции.

Если величина коэффициента корреляции сигналов более 0,9, индикатор PSI имеет вид очень короткой белой линии, что является признаком очень чёткой локализации фантомного источника звука. При величине коэффициента корреляции менее 0,9 линия становится зелёной. При уменьшении корреляции линия продолжает удлиняться по обе стороны от указателя положения источника, что свидетельствует об увеличении неопределённости при идентификации положения фантомного источника звука. По достижении одного из углов окна дисплея линия перестаёт удлиняться даже при дальнейшем уменьшении корреляции между сигналами. При этом указатель находится в положении, соответствующем уровню баланса между соседними каналами. Поэтому один конец линии не будет удлиняться, пока метка указателя не достигнет средней точки стороны окна.

При величине коэффициента корреляции менее 0,2 цвет линии меняется на жёлтый. Когда сигналы становятся полностью некор-

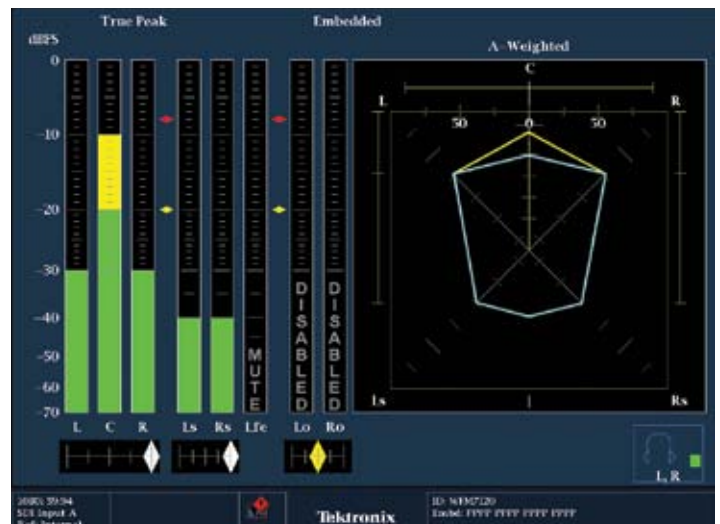


Рис. 62. Окно режима контроля параметров объёмного звука с реальным аудио сигналом

релированными, т.е. коэффициент корреляции равен нулю, линия индикатора PSI простирается вдоль всей стороны окна от одного угла до другого. Это означает, что данные смежные каналы будут создавать ощущение рассеянного, объёмного звука. Несмотря на то что в данном случае пара каналов не создаёт фантомного источника звука, белая отметка по-прежнему указывает уровень баланса между каналами. При дальнейшем уменьшении коэффициента корреляции вплоть до -1 длина линии индикатора PSI, а также положение указателя фантомного источника звука не меняется. При величине коэффициента корреляции менее $-0,3$ индикатор PSI станет красного цвета, предупреждая о возможной расфазировке между сигналами.

На рисунке 62 показан реальный сигнал, в котором звук из центрального канала преобладает по сравнению со звуком из левого и правого каналов. Указатели уровней в каналах L-R, L-Ls и R-Rs соединяются прямыми линиями, что говорит об отсутствии корреляции между сигналами этих каналов. Наблюдается некоторое доминирование звука между фронтальными каналами и боковыми каналами объёмного звука, что проявляется в виде растягивания по вертикали формы многоугольника. Кроме того, белые отметки на каждой стороне окна режима контроля объёмного звука показывают, что через фронтальные колонки L и R в настоящий момент передаётся основной звук. Линия, соединяющая указатели уровней в каналах Ls и Rs, выгнута наружу, а белая отметка индикатора PSI находится между каналами, что означает, что эти каналы коррелированы и идентичны. Таким образом, окно режима контроля объёмного звука представляет собой интуитивный интерфейс, с помощью которого демонстрируется взаимосвязь между каналами в системах объёмного звука.

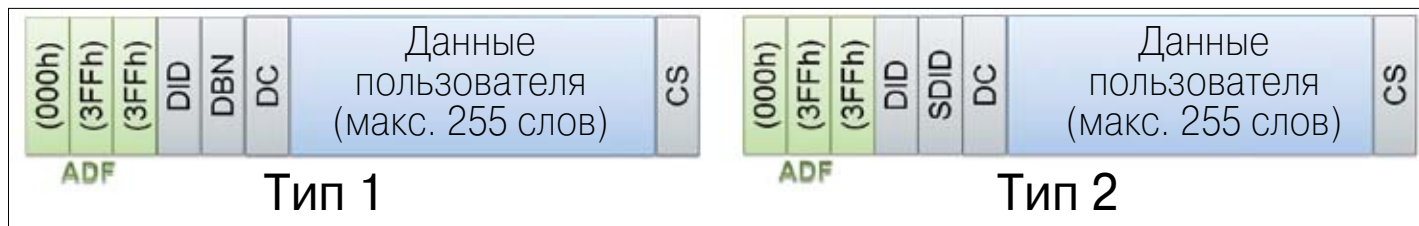


Рис. 63. Служебные данные типов 1 и 2

Служебные данные

В настоящее время есть возможность передавать множество дополнительных данных внутри интервала гашения. Добавление этих данных в сигнал SDI позволяет в одном потоке переносить видеосигнал и связанные с ним данные, причём эти данные могут быть синхронизированы с видеосигналом. Эти дополнительные данные допускают передачу до 16 каналов вложенного аудио в формате HD-SDI и до 32 каналов в форматах 3 Гбит/с и Dual Link. Внутри потока могут переноситься дополнительные метаданные, которые предоставляют добавочные сведения о видео- или аудиосигналах, такие, например, как идентификация содержимого видеосигнала (Video Payload Identification) или временной код (Timecode).

В рекомендации SMPTE 291M определены формат и расположение вспомогательных данных для сигнала SDI. На рисунке 63 показаны два типа вспомогательных данных, описанные в стандарте.

Флаг служебных данных (Ancillary Data Flag, ADF) используется для идентификации начала пакета служебных данных и содержит кодовую комбинацию, состоящую из трёх слов — 000_n , $3FF_n$ и $3FF_n$. Эти слова являются обратными кодовым словам, используемым для данных EAV и SAV. Для обозначения типа передаваемых данных служит слово-идентификатор данных (Data ID, DID), с помощью которого оборудование может быстро опознать, какого рода данные присутствуют в сигнале.

Для служебных данных типа 1 номер блока данных (Data Block Number, DBN) является счётчиком именно этих последовательностей данных. Так, например, если для данного пакета DBN равен 12, то для следующего пакета он должен быть равен 13. Если это не так, то это означает, что пакет данных был потерян. Структура данных типа 1 используется для пакетов вложенного аудио.

В служебных данных типа 2 вместо номера блока данных DBN используется дополнительный идентификатор данных (Secondary Data ID, SDID), который обеспечивает более широкий диапазон допустимых значений и подходит для применения в последовательностях данных, которые подлежат группировке. Так, к примеру, данные, передаваемые в вертикальном интервале (Vertical Ancillary Data, VANC) в формате Dolby, содержат ряд SDID, которые служат для идентификации аудиоканалов, к которым относятся эти данные.

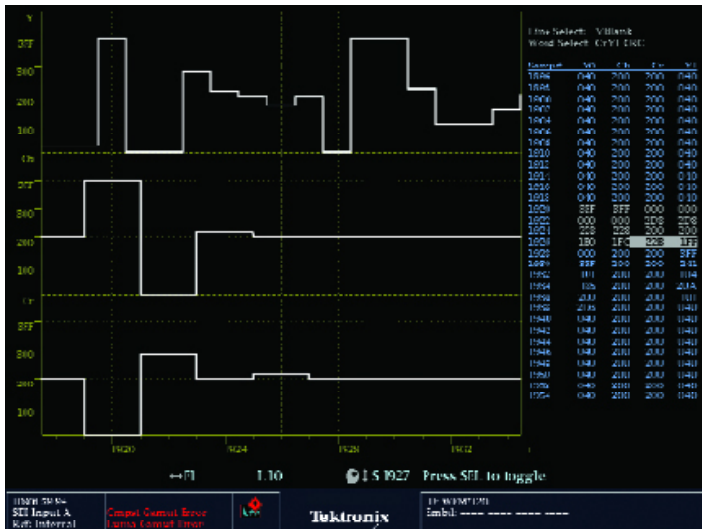


Рис. 64. Служебные данные пакета SMPTE352M в окне списка данных монитора сигналов WFM7120

Счётчик данных (Data Count, DC) показывает количество пользовательских данных (Data Words, UDW) в этом пакете служебных данных. В каждом пакете служебных данных может содержаться различное количество, но не более 255, слов пользовательских данных. В конце пакета добавляется слово с контрольной суммой (Checksum, CS), которое служит для контроля целостности данных в пакете.

Используя окно списка данных монитора сигналов WFM7120, оператор может просмотреть все данные и найти пакеты служебных данных, которые обозначены флагом ADF (000_n, 3FF_n, 3FF_n). В этом случае за флагом ADF следуют значения 241_n и 101_n, которые указывают, что это — идентификация содержимого видеосигнала в соответствии с SMPTE 352M. Существует широкое множество пакетов служебных данных, каждый из которых имеет уникальный код DID и SDID (для типа 2). В рекомендации SMPTE RP291 приведена информация по использованию всех этих идентификаторов. В таблице 34 приведены значения идентификационных кодов для типа 1, а в таблице 35 — для типа 2.

Стандарт	Описание	Идентификатор данных	Положение
S291M	Неопределённые данные	00h (200h)	—
S291M	Пакет помечен на удаление	80h (180h)	—
S291M	Стартовый пакет	88h (288h)	—
S291M	Конечный пакет	84h (284h)	—
RP165	Управление обнаружением ошибок	F4h (1F4h)	VANC
S272M	Группа 1 пакета аудиоданных SD	FFh (2FFh)	HANC
S272M	Группа 2 пакета аудиоданных SD	FDh (1FDh)	HANC
S272M	Группа 3 пакета аудиоданных SD	FBh (1FBh)	HANC
S272M	Группа 4 пакета аудиоданных SD	F9h (2F9h)	HANC
S272M	Группа 1 расширенного пакета аудиоданных SD	FEh (1FEh)	HANC
S272M	Группа 2 расширенного пакета аудиоданных SD	FCh (2FCh)	HANC
S272M	Группа 3 расширенного пакета аудиоданных SD	FAh (2FAh)	HANC
S272M	Группа 4 расширенного пакета аудиоданных SD	F8h (1F8h)	HANC
S272M	Группа 1 контрольного аудиопакета SD	EFh (1EFh)	HANC
S272M	Группа 2 контрольного аудиопакета SD	EEh (2EEh)	HANC
S272M	Группа 3 контрольного аудиопакета SD	EDh (2EDh)	HANC
S272M	Группа 4 контрольного аудиопакета SD	ECh (1ECh)	HANC
S299M	Группа 1 пакета аудиоданных HD	E7h (2E7h)	HANC
S299M	Группа 2 пакета аудиоданных HD	E6h (1E6h)	HANC
S299M	Группа 3 пакета аудиоданных HD	E5h (1E5h)	HANC
S299M	Группа 4 пакета аудиоданных HD	E4h (2E4h)	HANC
S299M	Группа 1 контрольного аудиопакета HD	E3h (1E3h)	HANC
S299M	Группа 2 контрольного аудиопакета HD	E2h (2E2h)	HANC
S299M	Группа 3 контрольного аудиопакета HD	E1h (2E1h)	HANC
S299M	Группа 4 контрольного аудиопакета HD	E0h (1E0h)	HANC
S315M	Данные о положении видеокамеры	F0h (2F0h)	HANC или VANC

Таблица 34. Идентификационные коды для служебных данных типа 1

Стандарт	Описание	Идентификатор данных	Дополнительный идентификатор данных	Счётчик данных
S291M	Неопределённые данные	00h (200h)	00h (200h)	xxx
S291M	8-разрядное приложение	04h (104h)	10h (110h)	xxx
S291M	Пакет помечен на удаление	80h (180h)	00h (200h)	xxx
S291M	Стартовый пакет	88h (288h)	00h (200h)	xxx
S291M	Конечный пакет	84h (284h)	00h (200h)	00h (200h)
S353	Запись данных MPEG	08h (108h)	08h (104h)	80h (180h)
S305M	Последовательный интерфейс передачи данных	40h (140h)	01h (101h)	2Ah (22Ah)
S348	Последовательный интерфейс передачи данных HD	40h (140h)	02h (102h)	Переменный
S	Сообщение 1 скремблирования канала	40h (140h)	04h (104h)	–
S	Сообщение 2 скремблирования канала	40h (140h)	05h (205h)	–
S	Метаданные скремблирования канала	40h (140h)	06h (206h)	–
S 352M	Идентификация содержания	41h (241h)	01h (101h)	04h (104h)
S2016-3	Описание активного формата (AFD) и запрет данных	41h (241h)	05h (205h)	08h (108h)
S2016-4	Данные автопанорамирования	41h (241h)	06h (206h)	60h (260h)
RP2010	Сообщение по ANSI/SCTE 104	41h (241h)	07h (107h)	Переменный
S2031	Данные DVB/SCTE VBI	41h (241h)	08h (108h)	Переменный
ITU-R	Межстудийные контрольные данные	43h (143h)	01h (101h)	Переменный
RDD8	Пакет рассылки субтитров	43h (143h)	02h (102h)	Переменный
RDD8	Передача пакета ANC	43h (143h)	03h (203h)	Переменный
RP214	Метаданные KLV VANC	44h (244h)	04h (104h)	Переменный
RP214	Метаданные KLV HANC	44h (244h)	14h (214h)	Переменный
RP223	Пакет данных UMID	44h (244h)	44h (144h)	Переменный
S2020-1	Метаданные сжатого аудиосигнала	45h (145h)	01h (101h)	Переменный
S2020	Метаданные сжатого аудиосигнала	45h (145h)	02h (102h)	Переменный
S2020	Метаданные сжатого аудиосигнала	45h (145h)	03h (203h)	Переменный
S2020	Метаданные сжатого аудиосигнала	45h (145h)	04h (104h)	Переменный
S2020	Метаданные сжатого аудиосигнала	45h (145h)	05h (205h)	Переменный
S2020	Метаданные сжатого аудиосигнала	45h (145h)	06h (206h)	Переменный
S2020	Метаданные сжатого аудиосигнала	45h (145h)	07h (107h)	Переменный
S2020	Метаданные сжатого аудиосигнала	45h (145h)	08h (108h)	Переменный
S2020	Метаданные сжатого аудиосигнала	45h (145h)	09h (209h)	Переменный
RDD8	Данные признака широкоэкранного изображения (WSS)	50h (250h)	01h (101h)	Переменный
RP215	Коды фильма в VANC	51h (151h)	01h (101h)	Переменный
S12M	Временные коды в VANC	60h (260h)	60h (260h)	10h (110h)
S334M	Скрытые титры (EIA-708-B)	61h (161h)	01h (101h)	Переменный
S334M	Скрытые титры (EIA 608)	61h (161h)	02h (102h)	03h (203h)
S334M	Описание программы (DTV)	62h (162h)	01h (101h)	Переменный
S334M	Передача данных (DTV) VANC	62h (162h)	02h (102h)	Переменный
RP208	Данные VBI в пространстве VANC	62h (162h)	03h (203h)	Переменный
RP196	Временной код (LTC) HANC	64h (164h)	64h (164h)	08h (108h)
RP196	Временной код (VITC) HANC	64h (164h)	7Fh (17Fh)	09h (209h)

Таблица 35. Идентификационные коды для служебных данных типа 2



Рис. 65. Служебные данные на дисплее WFM7120: инспектор служебных данных (а); конфигурация списка для наблюдения (б)

Такой обширный набор служебных данных может серьёзно затруднить поиск этих пакетов данных в сигналах HD или SD. Для облегчения этой задачи в приборе WFM7120 имеется режим инспектора служебных данных (Ancillary Data Inspector), который доступен при наличии опции DAT (рис. 65, а). В меню конфигурации прибора пользователи могут составлять собственный список для наблюдения (Watch List), с помощью которого они могут контролировать определённые типы служебных данных (рис. 65 б). В случае если пользователем ничего не выбрано, в списке для

наблюдения отображаются все служебные данные, которые присутствуют в сигнале. Пользователь может просмотреть все доступные в данный момент типы служебных данных. В окне режима инспектора служебных данных представлена информация о типе присутствующих в сигнале служебных данных, местоположение пакета, счётчик данных и контрольная сумма. Нажав клавишу «MAG» на передней панели прибора, пользователь получает возможность видеть в реальном времени слова пользовательских данных, содержащихся в пакете служебных данных.



Рис. 66. Окно накопительного буфера в режиме инспектора служебных данных

Если пользователь хочет провести дальнейший анализ данных позже, он может воспользоваться функцией CaptureVu™ для захвата полного кадра видеосигнала и сохранения его во внутренней памяти прибора. Затем, по мере необходимости, он может загрузить на экран все данные, содержащиеся в полном кадре, выбрав пункт «Накопительный

буфер» (Capture Buffer) в режиме инспектора служебных данных. Таким образом, пользователь имеет возможность просмотреть все пакеты служебных данных, которые были захвачены в буфер. На рисунке 66 представлены данные накопительного буфера в окне режима инспектора служебных данных.

Формат	525	525p	625	625p	1080i	1080p	720p
S 272M Вложенный звук SD	HANC C'bY'C'rY' не присутствует строки 9, 10, 272, 273	–	HANC C'bY'C'rY' не присутствует строки 5, 6, 318, 319	–	–	–	–
S 299M Вложенный звук HD	–	–	–	–	HANC только C'b/C'r не присутствует строки 7, 569	HANC только C'b/C'r не присутствует строки 7	HANC только C'b/C'r не присутствует строки 7
RP 165 EDH	До SAV строки 9, 272	–	До SAV строки 5, 318	–	–	–	–
S 352	После EAV строки 13, 273	После EAV строка 13	После EAV строки 9, 322	После EAV строка 9	После EAV строки 10, 572	После EAV строка 10	После EAV строка 10
S 334	Пакеты данных располагаются в части активной строки одной или нескольких строк в вертикальном пространстве служебных данных. Данные могут располагаться в любой строке участка, начиная со второй строки после строки переключения и до последней строки перед активным видео включительно.						
RP 215	Пакеты данных располагаются в части активной строки одной из строк в вертикальном пространстве служебных данных. Данные могут располагаться в любой строке участка, начиная со второй строки после строки переключения и до последней строки перед активным видео включительно. В форматах с прогрессивной развёрткой и сегментированными кадрами дескриптор перемещения плёнки пакета данных должен размещаться в вертикальном интервале в начале кадра.						
RP 188	Предпочтительное местоположение для вставки пакетов вспомогательных временных кодов (Ancillary Time Code, ATC) в поток цифрового видеосигнала должно находиться в доступной области служебного пространства вертикального интервала после точки переключения, определённой в рекомендациях RP 168, и до начала активного видео.						
RP 196	Передача пакетов временных кодов HANC должна осуществляться, по крайней мере, один раз за кадр в случае продольного временного кода (LTC). В пределах телевизионного кадра (или поля) данные кодов LTC и VITC (временной полевой код) должны передаваться в диапазоне строк 10-20 для систем с 525 строками или строк 6-22 для систем с 525 строками.						

Таблица 36. Расположение служебных данных

Формат	525	525p	625	625p	1080i	1080p	720p
Номер строки	10, 273	10	6, 319	6	7, 569	7	7

Таблица 37. Номера строк переключения вертикального интервала

Каждый пакет служебных данных имеет в рамках SDI сигнала чёткую локализацию, в пределах которой могут располагаться данные. В некоторых случаях, таких как вложенный звук, данные могут занимать большую часть пространства горизонтальных служебных данных (Horizontal Ancillary, HANC). В других форматах под них может быть отведено определённое количество строк в пространстве вертикальных служебных данных (Vertical

Ancillary, VANC). В таблице 36 обобщена некоторая информация по расположению служебных данных. Служебные данные не должны размещаться в вертикальном интервале вокруг точки переключения видеосигнала. В рекомендациях SMPTE RP 168 установлено место расположения точки переключения для каждого формата. Эта информация приведена в таблице 37.

Измерение характеристик видеосигналов

Оборудование для контроля и измерений

Мы знаем, что цифровое телевидение представляет собой поток цифр, и это может привести к ненужным опасениям. Кажется, что всё происходит слишком быстро, и нам нужна помощь, чтобы со всем этим разобраться. К счастью и видеосигнал и, в особенности, служебная информация, обеспечивающая видео, являются в достаточной мере повторяющимися, поэтому нам просто нужно оборудование, которое было бы способно преобразовать эти высокоскоростные цифровые данные во что-то такое, что мы могли бы изучить и понять. И, в конце концов, почему бы не преобразовать их во что-нибудь хорошо знакомое и привычное, например, в аналоговое видео?

Цифровое видео, будь то видео стандартной чёткости или более современные студийные форматы высокой чёткости, в значительной степени похоже на своего аналогового предшественника.

Со временем многие вещи улучшились, но мы до сих пор делаем видео с помощью камер и плёнки, а сегодня — и с помощью компьютера. Основное отличие для цифрового видео заключается в обработке сигнала в самом начале тракта, в результате чего он преобразуется в цифровые данные и в него вставляются служебные данные, в которых описывается, как использовать видеоданные. В телевизионных камерах прямой трансляции и телевизионных кинокамерах аналоговые значения света фокусируются на сенсорах, генерирующих аналоговый отклик, который на одном из этапов преобразуется в цифровой вид. Иногда мы можем получить возможность наблюдать аналоговые сигналы с помощью осциллографов (или мониторов аналоговых сигналов), но значительно чаще видео поступает в виде данных. В случае видео, созданного с помощью компьютера, сигнал, скорее всего, с самого начала является цифровым. Данные передаются от источника в точку назначения на транспортном уровне. Сам процесс передачи данных из одной точки в другую по проводным или волоконно-оптическим каналам является аналоговым. Мы можем отслеживать данные непосредственно, с помощью широкополосного осциллографа, или выделить видеoinформацию и наблюдать её в виде изображения.

С практической точки зрения контроль состояния видеосигнала представляет несомненный интерес. Для этого необходимо иметь высококачественный монитор сигналов, оборудованный совместимым со стандартами приёмником данных, который позволял бы отображать видео на привычном аналоговом дисплее. Компания Tektronix поставляет целый ряд мониторов сигналов с цифровыми входами. Растерайзеры серии WVR7120/7020/6020 (рис. 67) высотой всего 1RU (стойечный просвет) предназначены для мониторинга цифрового видео стандартной и высокой чёткости. Мониторы сигналов серии WFM6120/7020/7120 (рис. 68) могут быть сконфигурированы под любой из используемых сегодня цифровых форматов. Они имеют высоту 3RU и занимают всего половину ширины стандартной 19-дюймовой стойки.



Рис. 67. Растерайзеры цифровых сигналов видео стандартной и высокой чёткости серии WVR



Рис. 68. Мониторы цифровых сигналов видео стандартной и высокой чёткости WFM6120/7020/7120



Рис. 69. Генератор сигналов Tektronix TG700

С технической точки зрения нам важно знать, что телевизионные видео- и кинокамеры производят достоверные видеоданные и что служебные данные верны. Кроме того, нам хотелось бы оценить аналоговые характеристики транспортного уровня. Мониторы сигналов WFM6120 и WFM7120 позволяют проводить всесторонний анализ, прямое наблюдение глазковой диаграммы видеосигналов SD транспортного уровня и обеспечивают проведение оценки технических характеристик как на транспортном уровне, так и на уровне данных.

Генератор испытательных сигналов предназначен для выполнения двух основных функций. Во-первых, он обеспечивает идеальный опорный сигнал для оценки качества обработки и тракта передачи сигнала. Во-вторых, он представляет собой образец технических характеристик, которые мы можем ожидать от сегодняшних высококачественных систем. Некоторые типы генераторов, таких как, например, комплекс на основе генератора сигналов Tektronix TG700 (рис. 69), имеют опции для генерирования как аналоговых, так и цифровых сигналов форматов стандартной и высокой чёткости.

Эти приборы позволяют оператору генерировать видеосигналы, которые полностью совместимы с системами передачи, с устройствами обработки видеосигналов, и, наконец, с дисплеем конечного пользователя (зрителя). И что возможно более важно, эти приборы обеспечивают понимание функционирования самой видеосистемы, что повышает техническую уверенность и осознанность действий, помогая выполнять свою работу ещё лучше.

Мониторинг цифровых и аналоговых сигналов

Некоторые склонны представлять себе любой видеосигнал в виде традиционной зависимости изменения амплитуды во времени. В принципе это правильное представление, и оно верно как для аналоговых сигналов, так и для цифровых. Для аналогового видео осциллограф или монитор сигналов отображает график зависимости напряжения сигнала от времени. Монитор сигналов согласован во времени таким образом, чтобы отображать на дисплее значение нужного параметра сигнала каждый раз по мере его появления: по горизонтали — если в строке или по вертикали — если в поле. Цифровой монитор сигналов отображает видеoinформацию, извле-

чённую из данных входящего сигнала, таким же образом, как и аналоговый прибор.

Вы видите одну и ту же информацию, полученную сходным образом из аналоговых или цифровых сигналов. В случае аналогового — вы видите непосредственно сигнал, в случае цифрового — вы видите сигнал, описанный с помощью данных. Практически вы используете монитор для проведения одинаковых оценок видеосигнала.

Дополнительные измерения могут быть достаточно специфичными, в зависимости от контролируемой системы. Возможно у вас возникнет желание демодулировать информацию о цвете сигналов NTSC или PAL для отображения на аналоговом вектроскопе. Возможно у вас возникнет желание увидеть окно режима X-Y для цветоразностных каналов цифрового компонентного сигнала, чтобы имитировать аналоговый векторный дисплей без создания или демодулирования цветовой поднесущей. Возможно у вас возникнет желание наблюдать содержимое данных цифрового сигнала одновременно с их числовым или логическим представлением. И, наконец, у вас может возникнуть желание наблюдать цветовую гамму (палитру) аналогового или цифрового сигнала. Более подробно цветовая гамма будет рассматриваться в Приложении А, в разделе «Цветовая гамма. Разрешённые и применимые значения».

Оценка ухудшения характеристик видеосигнала

Некоторое ухудшение качества видеосигнала, которое мы можем наблюдать в аналоговых системах NTSC или PAL, имеет меньшее значение для компонентного видео стандартной чёткости. Но как только мы переходим к видео высокой чёткости, ухудшение качества сигнала в силу ряда фундаментальных причин вновь становится критически важным. Если мы рассматриваем действительно аналоговые эффекты, то они одинаковы. Во избежание ухудшения качества цветного видео, мы стараемся обеспечить целостность сигнала в аналоговых системах. Но в форматах видео высокой чёткости мы уже можем видеть сам дефект.

Амплитуда видеосигнала

Принцип обеспечения единства коэффициента усиления по всей системе является фундаментальным с момента возникновения телевидения. Стандартизация амплитуды видеосигнала позволяет проектировать каждый элемент системы с оптимальным соотношением сигнал/шум и обеспечивает свободный обмен сигналами и взаимозаменяемость сигнальных трактов. Монитор видеосигналов, фактически представляющий собой специализированный осциллограф, используется для измерения амплитуды видеосигналов. При регулировке амплитуды аналогового видеосигнала недостаточно просто настроить выходной уровень на оконечном устройстве сигнального тракта. Каждое устройство в системе должно быть настроено так, чтобы оно было способно надлежащим образом передавать сигнал от входа к выходу.

В цифровых форматах поддержание амплитуды видеосигнала представляется даже более важным. Сохранение требуемого

значения амплитуды аналогового сигнала в системе гарантирует, что в процессе оцифровки будет использоваться оптимальное число уровней квантования, позволяющее воспроизвести изображение удовлетворительного качества. Поддержание максимальных и минимальных отклонений амплитуды в установленных пределах гарантирует, что значения напряжения сигнала не выйдут за границы диапазона дигитайзера. Помимо обеспечения правильного цветового баланса, контрастности и яркости изображения, контроль амплитуды видеосигнала важен с точки зрения её соответствия разрешённым (для передачи) и применимым (для преобразования в другие видеформаты) значениям. В правильно спроектированной видеосистеме, обеспечивающей единство коэффициента усиления, настройка амплитуды будет осуществляться только в источнике сигнала, а на выходе — просто её корректировка.

В аналоговой области значения амплитуды видеосигналов различных форматов определены в стандартах. Мониторы сигналов в своей конфигурации имеют настройки для измерения параметров сигналов в соответствии с требованиями стандартов. Амплитуда сигнала формата NTSC от вершины синхроимпульса до уровня белого равна 140 единицам IRE или 1 В. Размах сигнала яркости в формате NTSC (рис. 70) составляет 100 единиц IRE (714,3 мВ), но он может быть уменьшен на величину защитного интервала (разность между уровнем гашения и уровнем чёрного), равную 7,5 единицам IRE или 53,4 мВ. В зависимости от содержания цветовой информации значения компонентов яркости и цветности могут выходить за верхний и нижний пределы этих уровней. Синхроимпульс в формате NTSC имеет амплитуду, равную -40 единицам IRE (-285,7 мВ) от уровня гашения (0 IRE, 0 мВ) до минимального значения. Уровни видеосигнала в формате NTSC обычно привязаны к уровню гашения, в то время как гашение видеомонитора установлено на уровень чёрного.

Сигналы формата PAL также имеют размах 1 В от минимального значения синхроимпульса до уровня белого, при этом размах сигнала яркости составляет 700 мВ, а защитный интервал отсутствует. Амплитуда синхроимпульса равна -300 мВ. Уровни сигнала зафиксированы, гашение видеомонитора происходит на уровне чёрного. Значения сигналов цветности могут выходить за установленные верхний и нижний пределы диапазона сигнала яркости.

Контроль амплитуды видеосигнала осуществляется поэтапно. Аналоговый испытательный сигнал, содержащий низкочастотные компоненты с заданной амплитудой (например, уровень гашения и уровень белого в испытательном сигнале вертикальных цветных полос), последовательно подаётся на вход каждого каскада. В этом каскаде осуществляются необходимые регулировки таким образом, чтобы на выходе устройства точно воспроизводились значения уровней входного сигнала.

В соответствии с международными соглашениями органы государственного регулирования в каждой стране приняли стандарты, определяющие параметры телевизионного вещания. Видеосигналы форматов NTSC, PAL и SECAM на выходе передатчика являются амплитудно-модулированным и их максимальная мощность приходится на пик синхроимпульсов, а минимум — на уровень белого. Такая схема модуляции наиболее эффективна

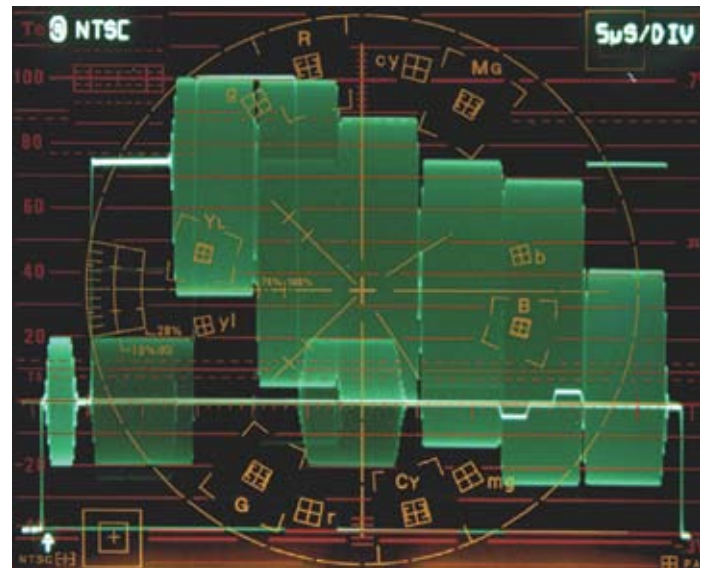


Рис. 70. Правильно настроенная амплитуда композитного видеосигнала формата NTSC, без защитного интервала

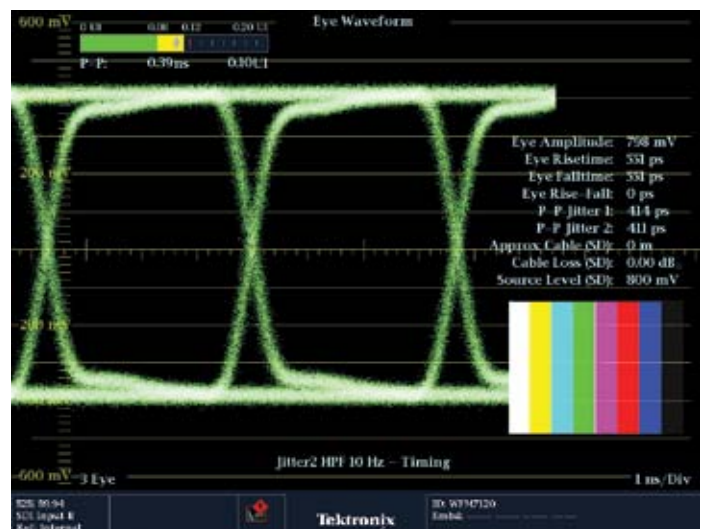


Рис. 71. Корректный сигнал данных 270 Мбит/с, отображённый на дисплее WFM7120

и позволяет уменьшить видимые шумы, но она чувствительна к линейным воздействиям. Уровни видеосигнала должны тщательно контролироваться с целью достижения баланса между полной мощностью на выходе передатчика и приемлемым искажением видеосигнала при стремлении цветных компонентов к минимуму мощности несущей. Если уровни сигнала будут слишком низкими, то соотношение сигнал/шум будет ухудшаться, а потребление энергии будет расти. Если уровни сигнала будут слишком высокими, то передатчик по мере уменьшения мощности несущей будет сильнее искажать сигнал, а производительность телевизионного аудиоприёмника будет падать.

Амплитуда сигнала

В аналоговой системе компоненты студийного оборудования изменяют напряжение сигнала, который переносит видеоизображение. Аналоговый монитор сигналов соответствующего формата облегчает наблюдение за уровнями напряжения относительно различных временных диаграмм.

В цифровых видеосистемах сигнал является «несущей» для данных на физическом уровне; поток данных переносит видеоин-

формацию. Эти данные представляют собой последовательность изменений аналогового напряжения (см. рис. 71 и 72), которые в нужные моменты времени должны достоверно определяться как высокий и низкий уровни, формируя таким образом информационное наполнение. Физический уровень представляет собой аналоговый сигнальный тракт, который предназначен для переноса в точку назначения поданного на вход содержимого. Амплитуда цифрового видеосигнала равна 800 мВ. Спектральный состав сигнала, рассчитанный на частоте, равной половине тактовой частоты, определяет характер коррекции, осуществляемой приёмником в точке назначения.

Цифровые сигналы на физическом уровне могут быть просмотрены с помощью высокочастотного осциллографа или монитора видеосигналов, таких как Tektronix WFM7120, WFM6120 или WVR7120 с опцией EYE для форматов видео стандартной или высокой чёткости. В режиме отображения глазковой диаграммы монитор сигналов работает как аналоговый стробоскопический осциллограф со скоростью развёртки, равной видеочастоте. Прибор обладает достаточно широкой эквивалентной полосой пропускания и достаточно высоким уровнем обратных потерь, его измерительные курсоры соответствующим образом откалиброваны, чтобы обеспечить высокую точность измерений параметров входного сигнала. Быстро изменяющиеся данные на физическом уровне представляют собой последовательность нулей и единиц, накладывающихся друг на друга с образованием глазковой диаграммы. Тестирование с помощью глазковой диаграммы является наиболее эффективным в случаях, когда монитор подключен к испытываемому устройству с помощью короткого кабеля, что позволяет использовать монитор без применения режима коррекции. Если используется длинный кабель, то сигнал данных теряется в шуме. В этом случае должен применяться режим коррекции. И хотя режим коррекции является полезным, например, для усиления запаса по уровню (т.е. разности между номинальным и максимальным значением без искажений), он не обеспечивает точного измерения параметров сигнала на выходе тестируемого устройства. Использование опции PHU позволяет также получить дополнительную информацию о физическом слое, например, отображение джиттера или автоматическое измерение высоты глазка, а также прямое считывание результатов измерений этих параметров.

Транспортный поток данных содержит компоненты, которые регулярно переходят из высокого состояния (уровень «1») в низкое (уровень «0») и наоборот. Эти данные передаются со скоростью от 270 Мбит/с для компонентного видео стандартной чёткости (ITU-R BT.601) до 1,485 Гбит/с для некоторых форматов высокой чёткости (SMPTE 292M). При отображении на дисплее монитора видеосигналов эти логические нули и единицы будут накладываться друг на друга (рис. 72). В результате мы можем видеть накапливающиеся данные многих слов, что позволяет обнаруживать любые ошибки или искажения, которые могут влиять на раскрытие глазка и затруднять восстановление уровней данных в приёмнике. Мониторы цифровых сигналов, такие,

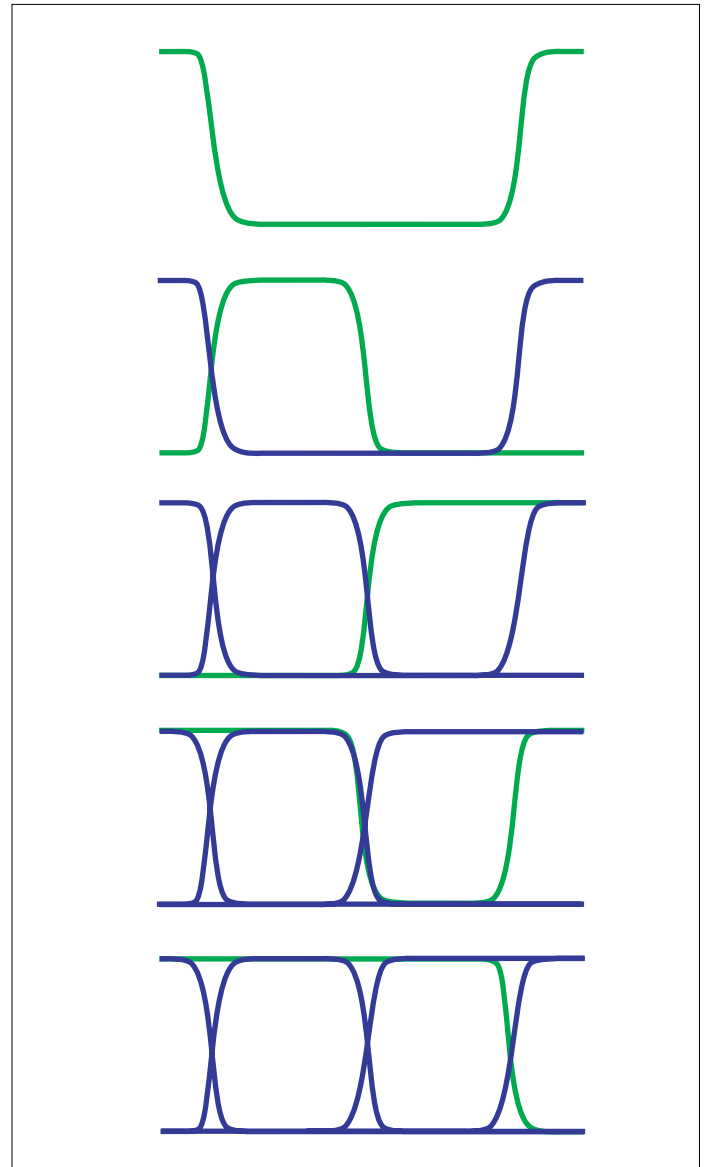


Рис. 72. Формирование глазковой диаграммы

например, как Tektronix WFM7120 и WFM6120, для множества различных форматов обеспечивают широкий выбор синхронизированных развёрток для отображения глазковых диаграмм, что позволяет выявлять нарушения данных в словах, строках и полях.

Отображенная на экране монитора форма цифрового видеосигнала выглядит так же, как и традиционный аналоговый видеосигнал. На самом деле она является аналоговым представлением цифровых данных, передаваемых в физическом слое. Цифровые данные декодированы в высококачественный аналоговый компонентный видеосигнал, который может отображаться и измеряться, как аналоговый сигнал. Вместе с тем отметим, что хотя мониторинг цифровых трактов и представляется необходимым и полезным, многие ошибки, наблюдаемые в цифровом видеосигнале, имеют свои истоки в аналоговой области.

Частотная характеристика

В аналоговой видеосистеме частотная характеристика подвергается выравниванию там, где необходимо компенсировать потери высокочастотной информации в длинных кабельных линиях. Выравнивание производится с целью сделать характеристику каждого элемента системы «плоской» с тем, чтобы все видеочастоты проходили по всей системе без усиления или потерь. Испытательный сигнал в виде пакетов синусоидальных сигналов различной частоты и равной амплитуды («мультивысшышка») (рис. 73) может использоваться для быстрого определения необходимости осуществления каких-либо регулировок. Если сигналы в частотных пакетах «мультивысшышки» на выходе элемента системы имеют разные амплитуды (рис. 74), то для коррекции видеосигнала нужно использовать выравнивающий усилитель-распределитель, восстанавливающий первоначальный вид испытательного сигнала.

В цифровых системах высокочастотные потери оказывают влияние только на энергию транспортного потока данных (физический уровень), а не на значения данных (уровень данных). В этой связи не наблюдается никакого воздействия на детали изображения или его цвет, пока высокочастотные потери не достигнут такой величины, что данные уже невозможно восстановить. Корректор в приёмнике автоматически компенсирует высокочастотные потери на входе. Разработчики цифровых систем стараются делать кабельные линии максимально короткими, чтобы достичь практически 100 % целостности данных и чтобы не было необходимости корректировки частотной характеристики. В таком случае любое ухудшение частотной характеристики видеосигнала будет обусловлено аналоговыми эффектами.

Групповое время запаздывания

Традиционные аналоговые видеосистемы стандартной чёткости имеют полосу пропускания порядка 10 МГц и обеспечивают очень плоскую частотную характеристику в диапазоне 0...6 МГц, в котором содержится большая часть энергии видеосигнала. Ошибка группового времени запаздывания, которую иногда ещё называют задержкой огибающей или частотно-зависимой фазовой ошибкой, выражается в том, что энергия на одной частоте проходит через систему быстрее или медленнее, чем энергия на других частотах. Этот эффект связан, как правило, с ограничениями полосы пропускания. Результат воздействия отображается на осциллограмме в виде выброса или закругления на верхней кромке фронта переходной характеристики между низким и высоким уровнями сигнала яркости. В комбинированных телевизионных системах сигнал цветности изображения может быть смещён влево или вправо от соответствующего сигнала яркости. Наибольший вклад в ошибку группового времени запаздывания вносят декодер NTSC/PAL, узкополосный режекторный фильтр и фильтр частичного подавления боковой полосы в мощном передатчике телевизионной станции, и, конечно, дополнительные полосовые фильтры сигналов цветности в декодере NTSC или PAL телевизионного приёмника.

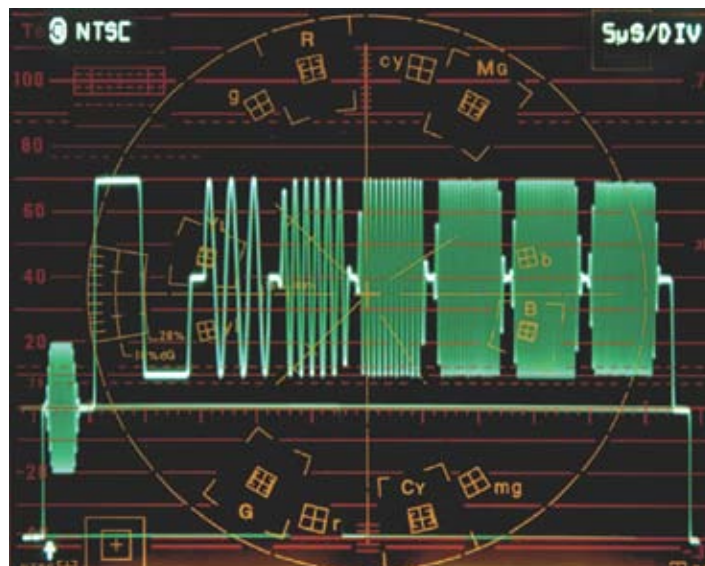


Рис. 73. Испытательный сигнал в виде пакетов синусоидальных сигналов различной частоты и равной амплитуды («мультивысшышка»), окно 1Н

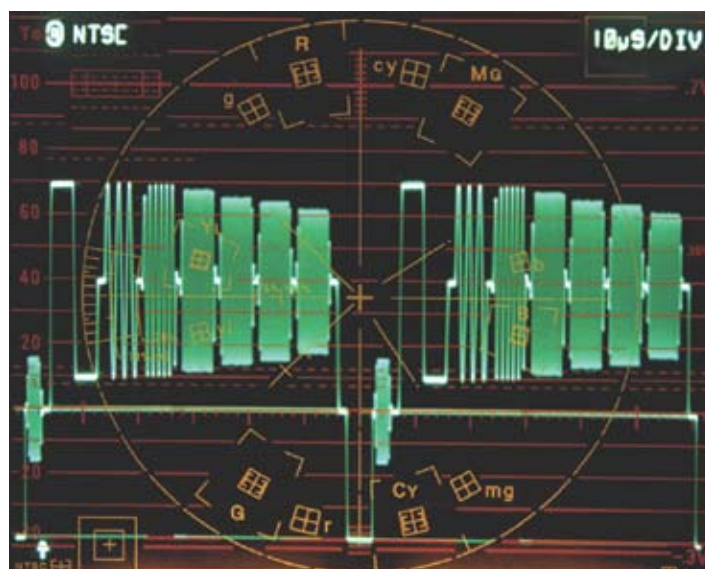


Рис. 74. «Мультивысшышка» со спадом частотного отклика, окно 2Н

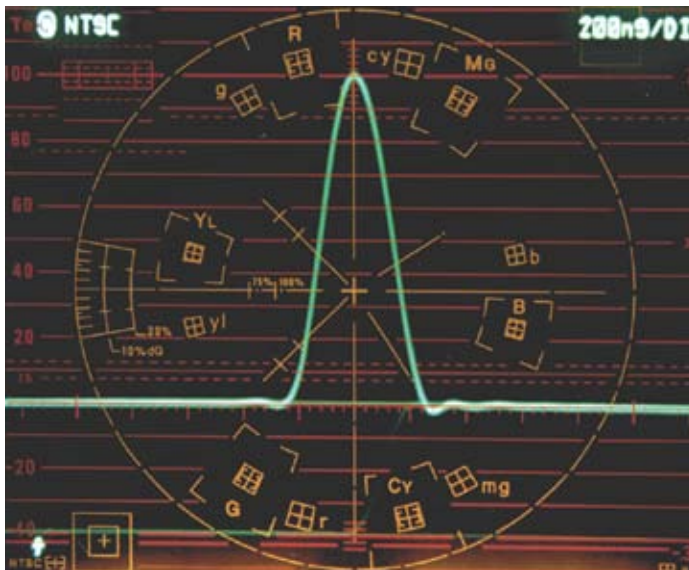


Рис. 75. Корректный измерительный импульс 2Т, окно 1Н MAG

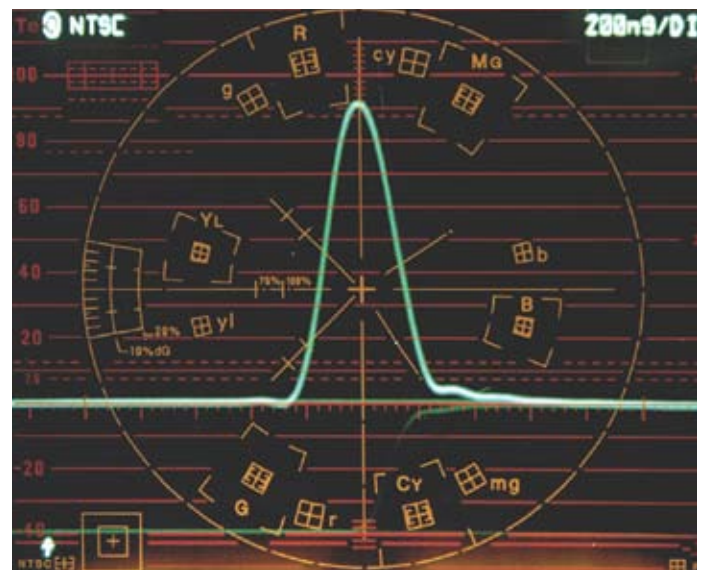


Рис. 76. Измерительный импульс 2Т и полосовой импульс, ослабленный

С практической точки зрения основные усилия по контролю характеристики группового времени запаздывания должны быть сосредоточены в аналоговых передающих центрах. Существует общепринятая практика, позволяющая контролировать групповую задержку или фазовую ошибку во всех элементах студийного оборудования с целью выявления грубых ошибок, которые могут свидетельствовать об отказе какого-либо конкретного устройства. Ошибки группового времени запаздывания в студийном оборудовании легко контролируются с помощью импульсного и прямоугольного испытательного сигнала (рис. 75). Тестовый сигнал включает полусинусоидальный (синус-квадратичный) импульс 2Т и низкочастотный прямоугольный импульс уровня белого с коротким временем нарастания и спада. Импульс 2Т с интенсивностью на половине полосы пропускания системы вызывает низкочастотные помехи («звон») малого уровня, расположенные симметрично относительно основания импульса. Если высокочастотная энергия фронта проходит через систему быстрее или медленнее, чем низкочастотная энергия, фронт будет искажаться (рис. 76). Если высокочастотная энергия запаздывает, то «звон» будет появляться позже, с правой стороны импульса 2Т.

Композитный импульс и испытательный сигнал прямоугольной формы полезны при измерении фазовой характеристики системы. При тестировании композитной системы импульс 12,5Т или 20Т, модулированный частотой поднесущей, используется для быстрой проверки задержки между сигналами яркости и цветности, а также коэффициента усиления частоты поднесущей относительно низкой частоты. Плоская базовая линия свидетельствует о том, что и усиление, и задержка находятся в установленных пределах. Изгиб базовой линии вверх указывает на низкое усиление на частоте поднесущей. Изгиб базовой линии вниз свидетельствует о повышенном усилении на частоте поднесущей. Изгиб вверх в начале базовой линии и вниз в её конце означает, что высокочастотная энергия запаздывает, и наоборот.

При тестировании компонентных видеосистем, в которых отсутствует цветная поднесущая, импульс 2Т и фронт прямоугольного сигнала представляют ещё больший интерес.

Более полные и всесторонние измерения группового времени запаздывания могут производиться с использованием многоимпульсных испытательных сигналов или импульсов $\sin(x)/x$. Такие измерения проводятся в случаях, когда в состав видеосигнала включены дополнительные данные, такие как телетекст или сигнал звукового сопровождения в интервале строчных синхроимпульсов.

В процессе кодирования/декодирования сигналов в аналоговый вид и обратно в цифровых видеосистемах используются фильтры защиты от наложения спектров и восстанавливающие фильтры. Частота среза этих внутренних фильтров для компонентных видеотрактов стандартной чёткости составляет примерно 5,75 МГц и 2,75 МГц, поэтому они могут реагировать на энергию видеосигнала, но эта энергия будет меньше, чем энергия фильтров 1 МГц и 1,25 МГц в кодировщиках форматов NTSC или PAL. Что касается цифровых форматов высокой чёткости, то в них частоты срезов фильтров составляют 30 МГц для сигнала яркости и 15 МГц для сигнала цветности. Фильтры защиты от наложения спектров и восстанавливающие фильтры в цифровом оборудовании тщательно настроены и не нуждаются в регулировке в процессе эксплуатации.

Нелинейные эффекты

При изменении напряжения видеосигнала аналоговые тракты могут подвергаться воздействию различных факторов. Коэффициент усиления усилителя может быть разным для различных рабочих уровней (дифференциальное усиление), что приводит к неправильному воспроизведению насыщенности цвета в видеоформатах NTSC или PAL. В случае компонентных аналоговых форматов может наблюдаться смещение значений сигналов яркости и цветности.

Дифференциальное усиление

Дифференциальное усиление является аналоговым эффектом, оно не возникает в цифровой области и не может быть в ней скорректировано. Вместе с тем, возможно ограничение уровня цифрового видеосигнала, если он проходит через аналого-цифровой преобразователь в диапазоне резервных значений. Такое нарушение цветовой гаммы может вызвать некорректное отображение яркости некоторых компонентов и смещение цветов. Подробнее об этом изложено в Приложении А, «Цветовая гамма. Разрешённые и применимые значения».

Дифференциальная фаза

Время запаздывания в сигнальном тракте может изменяться так же, как и различные значения уровня видеосигнала. Это явление тоже имеет аналоговую природу, и не связано с цифровой областью. В формате NTSC временная задержка вызывает изменение мгновенных значений фазы (дифференциальной фазы) цветовой поднесущей, что выражается в смещении цветового тона (оттенка) и яркости. В системах PAL такое изменение цветового тона усредняется, так как в каждой строке смещение оттенка происходит по-разному. В результате в компонентном видеосигнале — аналоговом или цифровом — может возникнуть эффект «цветной бахромы», интенсивность которого зависит от того, какие из трёх каналов подверглись воздействию. Аналогичный эффект в видеосигнале высокой чёткости может выразиться в «звоне» или выбросе на переходной характеристике сигнала яркости.

Тестирование цифровых систем

Тестирование в предельных режимах

В отличие от аналоговых систем, в которых ухудшение характеристик происходит постепенно, цифровые системы, как правило, работают без ошибок и сбоев вплоть до полного отказа. В настоящее время не существует способов тестирования, которые позволили бы измерить допустимое искажение сигнала SDI в рабочем режиме. Для определения параметров работы системы требуется проведение тестирования в предельных режимах на неработающем оборудовании. Тестирование в предельных режимах заключается в изменении одного или нескольких параметров цифрового сигнала до наступления отказа. Величина изменений, приводящая к отказу, служит количественной оценкой (или мерой) допустимого искажения сигнала. Наиболее очевидным и простым способом подвергнуть систему воздействию является постепенное увеличение длины кабеля от значения, определённого в спецификации соответствующего стандарта на последовательный цифровой видеосигнал (SMPTE 259M или SMPTE 292M), до появления ошибки. В других испытаниях изменению будут подвергаться амплитуда сигнала, время нарастания, уровень шумов или джиттера в сигнале. Каждый из этих тестов служит для оценки одного или нескольких показателей эффективности работы приёмника, в частности, диа-



Рис. 77. Отображение на дисплее WFM7120 закрытия глаза из-за чрезмерно большой длины кабеля

пазон и правильность функционирования автокомпенсатора, а также шумовую характеристику прибора. Экспериментальные результаты показывают, что тестирование с изменением длины кабеля, особенно в сочетании с описанными в следующих разделах испытательными сигналами SDI, вставленными в полевой интервал гашения, является наиболее представительным стрессовым тестированием, поскольку оно позволяет воспроизвести реальные условия работы оборудования. Тестирование в предельных режимах способности приёмника обрабатывать изменения амплитуды и вносимый джиттер полезно при оценочных и приёмных испытаниях оборудования, но оно не слишком показательно для оценки параметров работы системы. Добавление шума или изменение времени нарастания (в разумных пределах) оказывает незначительное воздействие на цифровые системы, поэтому они не имеют большого значения при испытаниях в предельных режимах.

Тестирование в предельных режимах с изменением длины кабеля

Тестирование в предельных режимах с изменением длины кабеля может проводиться с использованием реального коаксиального кабеля или имитатора кабеля. Использование коаксиального кабеля — это наиболее простой и практичный метод. Основным параметром, который должен измеряться при испытаниях, является момент появления ошибок, поскольку именно он определяет точку наступления отказа. При проведении измерений по месту установки качество измерений будет определяться остротой излома на кривой ошибок. Функциональный контроль внутростудийной кабельной сети может быть легко осуществлён с помощью монитора сигналов. В процессе контроля на дисплее прибора выводится основная информация о поведении сигнала во всём канале передачи — с момента выхода сигнала из предыдущего источника до его входа в приёмник. На рисунке 77 показан результат воздействия на сигнал добавочной длины кабеля.

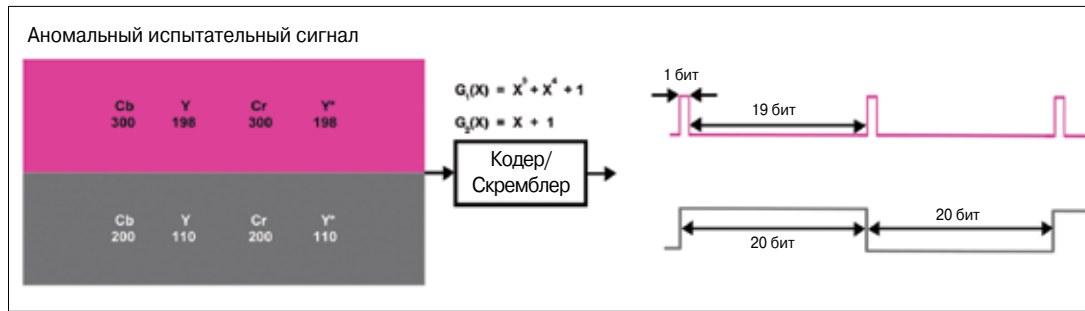


Рис. 78. Контрольное поле SDI «Аномальный испытательный сигнал»

Контрольное поле SDI

Контрольное поле SDI (известное также как «аномальный сигнал») представляет собой полнокадровый испытательный сигнал, поэтому тестирование с его использованием должно проводиться на оборудовании, выведенном из рабочего режима (off-line). Обработка этого сигнала в последовательной цифровой системе представляет определённую сложность, но вместе с тем, является очень важным тестом на работоспособность. В соответствии со спецификацией максимальное количество низкочастотной энергии контрольного поля SDI после скремблирования сосредоточено в двух отдельных частях поля. Эта низкочастотная энергия должна появляться один раз в продолжение кадра. Один из компонентов контрольного поля SDI обеспечивает тестирование работы эквалайзера путём генерирования последовательности, состоящей из 19 логических нулей и заканчивающейся логической единицей (или наоборот, 19 единиц, за которыми следует ноль). Это событие происходит примерно один раз в продолжение поля (полукадра), когда шифратор приходит в необходимое начальное состояние. Данная комбинация существует в течение полной видеостроки, которая заканчивается пакетом EAV. Эта последовательность генерирует постоянную составляющую с высоким уровнем, которая воздействует на аналоговые характеристики оборудования и канала передачи, через которые проходит сигнал. Эта часть испытательного сигнала может появляться в верхней части видеодисплея в виде оттенка пурпурного цвета, в котором сигнал яркости имеет значение 198_n , а сигналы обоих каналов цветности — 300_n . Другая часть сигнала контрольного поля SDI предназначена для проверки качества функционирования системы фазовой синхронизации (система ФАПЧ, PLL) с помощью периодического сигнала, состоящего из 20 логических нулей, за которыми следуют 20 логических единиц. Такая конфигурация обеспечивает минимальное количество переходов для выделения тактовой частоты. Эта часть тестового сигнала может появляться в нижней части видеодисплея в виде оттенка серого цвета, в котором сигнал яркости имеет значение 110_n , а сигналы обоих каналов цветности — 200_n . В некоторых генераторах испытательных сигналов используется иной порядок сигналов, в котором на дисплей выводятся оттенки зелёного цвета. Тем не менее,

результат остаётся тем же самым. Любой из компонентов сигнала (а также другие статистически сложные цвета) могут присутствовать в сгенерированных компьютером графиках, поэтому важно, чтобы система обрабатывала испытательный сигнал контрольного поля SDI законно допустим для использования при тестировании компонентных цифровых сигналов, но не допустим для композитных сигналов. Параметры сигнала контрольного поля SDI (рис. 78) определены в Рекомендациях SMPTE RP178 для видео стандартной чёткости и RP198 для видео высокой чёткости.

Тестирование в рабочем режиме

Циклический избыточный код (ЦИК, CRC) используется для оповещения оператора, в том числе и с помощью внешней звуковой сигнализации, о том, что переносимые в сигнале данные повреждены. Код ЦИК присутствует в каждой строке видео высокой чёткости, кроме того, он может быть дополнительно вставлен в каждое поле форматов видео стандартной чёткости. Циклический избыточный код вычисляется, а затем вставляется в сигнал данных для сравнения с вновь вычисляемым кодом на приёмном конце тракта. Для форматов стандартной чёткости значение циклического избыточного кода вставляется в вертикальный интервал после точки переключения. В рекомендациях SMPTE RP165 определён дополнительный метод обнаружения и обработки ошибок данных (Error Detection and Handling, EDH) в форматах видео стандартной чёткости. Проверка данных полного поля (Full Field, FF) и активного изображения (Active Picture, AP) осуществляется отдельно, при этом 16-разрядное слово кода ЦИК генерируется один раз в продолжение поля. Проверка данных полного поля охватывает все передаваемые данные, за исключением строк, зарезервированных для вертикального интервала переключения (строки 9-11 для форматов с 525 строками или строки 5-7 для форматов с 625 строками). В процессе контроля данных активного изображения выполняется проверка только слов данных активного видео между пакетами SAV и EAV, при этом сами пакеты не проверяются. Проверка данных активного изображения не охватывает также и полустроки активного видеосигнала.



Рис. 79. Отображение значений EDH сигнала SD на экране растрейзера WVR7120 в режиме «Video Session»



Рис. 80. Отображение значений CRC сигнала HD на экране монитора WFM7120 в режиме «Video Session»

Цифровые мониторы сигналов обеспечивают вывод на экран значений EDH CRC, индикацию включения сигнализации, а также отображение ошибок в ЦИК данных полного поля (рис. 79). В сигналах яркости и цветности форматов высокой чёткости коды ЦИК следуют за пакетами EAV и счётчиками строк служебных данных. В соответствии со стандартом SMPTE 292M в некоторых форматах видео высокой чёткости коды ЦИК следуют за пакетами EAV и номерами строк, поэтому проверка циклического избыточного кода осуществляется построчно, отдельно для каналов яркости (Y-CRC) и цветности (C-CRC). Таким образом, оператор имеет возможность отслеживать количество ошибок, появляющихся в процессе прохождения сигнала по каналу передачи. В идеальном случае прибор покажет нулевое количество ошибок, что указывает на отличное состояние канала передачи сигнала. Если количество ошибок начинает расти, то оператор обязательно должен обратить на это внимание. Возрастание частоты появления ошибок до одной ошибки в час или в минуту свидетельствует о том, что система приближается к «цифровой яме» (digital cliff), т. е. состоянию, при котором происходит стремительное зашум-

ление и пропадание сигнала. В этом случае канал передачи должен быть тщательно обследован с целью локализации причин появления ошибок ещё до наступления отказа, который серьёзно затруднит или сделает вообще невозможным обнаружение ошибок в тракте. На рис. 80 показан экран монитора сигналов WFM7120 в режиме «Video Session», на котором отображены накопленные ошибки для каналов Y и C для сигнала видео высокой чёткости. На дисплее показывается не только количество обнаруженных ошибок, но также и статистика ошибок относительно количества полей и продолжительности (в секундах) контролируемых временных интервалов. Переустановка времени приводит к перезапуску вычисления кодов и контроля сигнала. При обнаружении значительного количества ошибок кода ЦИК необходимо провести дополнительную диагностику сигнального тракта с использованием режимов «Глазковая диаграмма» и «Джиттер». Если на дисплее наблюдается существенный рост ошибок циклического избыточного кода, т. е. если ошибки появляются ежеминутно или даже ежесекундно, то это свидетельствует о приближении системы к критическому состоянию, за которым последует фатальный отказ.

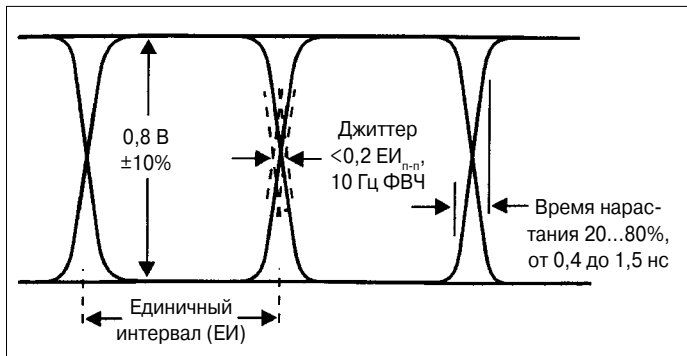


Рис. 81. Отображение глазковой диаграммы сигнала данных в аналоговом транспортном потоке

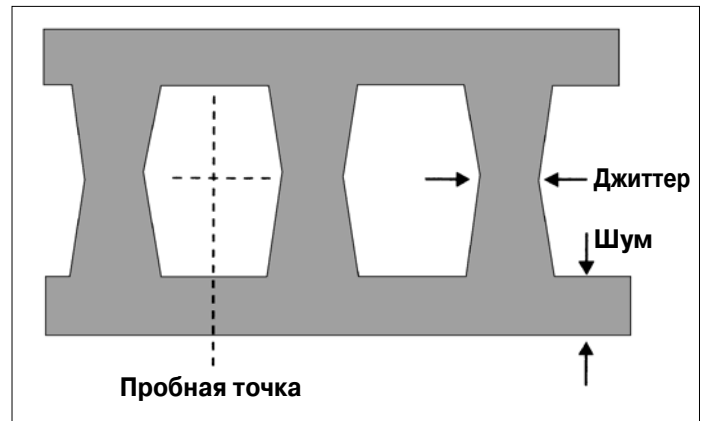


Рис. 82. Восстановление данных последовательного сигнала

Тестирование с помощью глазковой диаграммы

Глазковая диаграмма (рис. 81) является осциллографическим представлением аналогового сигнала, переносящего данные. Высокие и низкие уровни сигнала должны надёжно определяться приёмником для безошибочного получения данных в реальном времени. В режиме «Глазковая диаграмма» проводятся измерения основных параметров сигнала: амплитуды, времени нарастания, выбросов на фронте импульса. Если обеспечено точное восстановление тактового сигнала, то с помощью глазковой диаграммы возможно также измерение дрожания фазы (джиттера). Глазковая диаграмма отображается по мере её формирования, до какой бы то ни было коррекции. В этой связи большая часть измерений с использованием глазковой диаграммы должна проводиться вблизи источника, где сигнал не искажается шумом и спадом частотной характеристики. В стандартах SMPTE259M, SMPTE292 и RP184 определены наиболее важные характеристики сигнала, в том числе амплитуда, время нарастания и джиттер. Частота и период сигнала задаются генератором синхронизирующих импульсов, вырабатывающим исходный сигнал. Единичным интервалом (ЕИ, UI) называется интервал времени между двумя соседними переходами, который численно равен величине, обратной тактовой частоте сигнала. Для цифровых компонентных систем с 525 и 625 строками, в соответствии с SMPTE 259M, единичный интервал равен 3,7 нс, а для систем видео высокой чёткости, в соответствии с SMPTE 292M, он равен 673,4 пс. Приёмник определяет наличие высокого или низкого уровня сигнала в центре каждого глазка и таким образом принимает последовательные данные. Так как шум и джиттер возрастают по мере распространения сигнала в канале передачи, наиболее целесообразно брать отсчеты в центре глазка (пробная точка), где его раскрытие максимально (рис. 82). Некоторые приёмники выбирают положение пробной точки в фиксированный момент времени после точки перехода. Любые эффекты, вызывающие закрытие глазка, могут снизить полезность принимаемого сигнала. В коммуникационных системах с прямым исправлением ошибок точное восстановление данных может быть осуществлено даже при практически полностью закрытом глазке. Для корректной передачи последовательного цифрового видео требуется, чтобы коэффициент ошибок имел минимальное значение. А после коррекции приёмника глазок должен быть широко открытым и чистым. Всё

это необходимо, потому что в силу своей случайной природы процессы, вызывающие закрытие глазка, имеют статистический «шлейф», который может служить причиной появления редких, но всё равно неприемлемых ошибок. Нормативными документами определено, что допустимый уровень джиттера должен составлять не более 0,2 ЕИ. Для цифровых компонентных систем с 525 и 625 строками он не должен превышать 740 пс, а для систем видео высокой чёткости — не более 134,7 пс. Цифровые системы могут работать при уровнях джиттера, даже выходящих за указанные пределы, но рано или поздно всё равно будут выходить из строя. Основой функционирования цифровой системы является сохранение хорошего качества сигнала для поддержания системы в работоспособном состоянии и предотвращения отказов, которые могут привести к падению в «цифровую яму». Амплитуда сигнала взаимосвязана с уровнем шумов. Важно точно знать амплитуду, потому что приёмник оценивает значение требуемой высокочастотной коррекции (выравнивания), основываясь на величине оставшейся в принимаемом сигнале энергии полутактовой частоты. Если передатчик будет передавать сигнал с неправильной амплитудой, то это приведёт к тому, что в приёмнике, соответственно, будет применено некорректное выравнивание, вследствие чего сигнал будет искажён. Измерения времени нарастания производятся между точками, соответствующими 20 % и 80 % от уровня сигнала, что свойственно устройствам с эмиттерно-связанной логикой (ECL). Неправильные значения времени нарастания вызывают искажения сигнала в виде «звона» или выбросов, а излишне увеличенное время нарастания (затянутый или заваленный фронт) может привести к недопустимому уменьшению времени, доступного для проведения измерений внутри глазка. Выбросы на фронте импульса, как правило, являются следствием неоднородности импеданса или обратных потерь из-за несогласованности линии между передатчиком и приёмником. Для проведения эффективного тестирования с целью корректной оценки согласования на приёмном конце требуется, чтобы измерительный прибор был оснащён высокоэффективным проходным входом, который позволяет видеть все дефекты, вызываемые тестируемой оконечной нагрузкой. Потери в кабеле обычно уменьшают видимость отражений, особенно на скоростях передачи данных 1,485 Гбит/с и выше, которые присущи видео высокой чёткости.

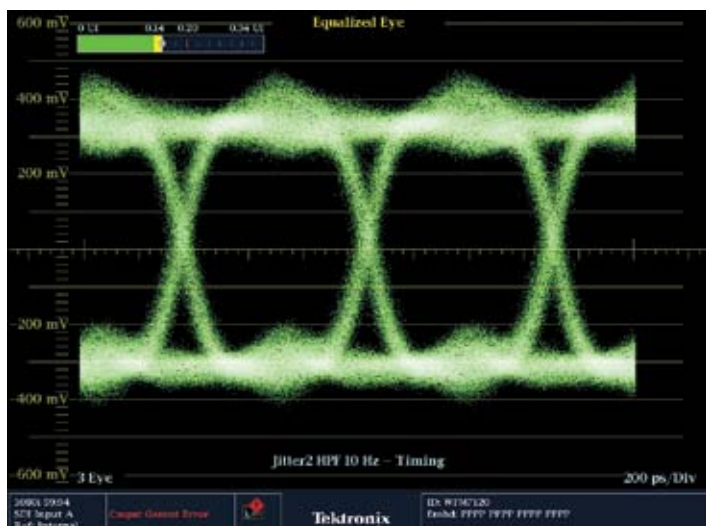


Рис. 83. Отображение глазковой диаграммы несогласованного канала на дисплее WFM7120

Цифровые входы видеоустройств высокой чёткости обычно имеют внутреннюю согласованную нагрузку, поэтому мониторинг в рабочем режиме с помощью глазковой диаграммы не позволит проводить тестирование каналов передачи (кабелей), по которым осуществляется подача сигнала в другие устройства. Тестирование оборудования в нерабочем режиме проводится путём замены источника сигналов тестовым генератором. Монитор сигналов при этом работает в режиме глазковой диаграммы и используется в качестве приёмника. Для тестирования с использованием глазковой диаграммы необходим осциллограф с известной частотной характеристикой, превышающей ширину полосы частот транспортного потока данных. Для измерений по глазковой диаграмме обычно применяются выборочные методы. Мониторы сигналов WVR7120 и WFM7120/WFM6120 обеспечивают измерения глазковой диаграммы для потоков данных видео стандартной чёткости шириной 270 Мбит/с, а мониторы WVR7120 или WFM7120 — для потоков данных видео высокой чёткости шириной 1,485 Гбит/с. Эти цифровые мониторы сигналов обеспечивают целый ряд преимуществ, поскольку дают возможность извлекать, измерять и отображать видеоданные. Глазковая диаграмма может отображаться в виде наложения друг на друга трёхбитных данных (трёхглазковый режим), что позволяет наблюдать джиттер, некоррелированный 10- и 20-разрядным словам данных. Кроме того, дисплей может быть настроен на режим наблюдения 10-разрядных коррелированных слов данных для видео стандартной чёткости или 20-разрядных слов данных для видео высокой чёткости. Используя синхронизацию развёртки монитора сигналов по видеострокам и видеополям, можно легко наблюдать в потоке данных смещение по постоянному току, коррелированное со строчными и кадровыми видеоданными.

Понимание некоторых характерных особенностей режима глазковой диаграммы способствует более эффективному выявлению неисправностей в сигнальном тракте. В связи с высокой тактовой частотой сигнала правильное согласование в системе HD-SDI приобретает особую значимость. Неправильное согласо-

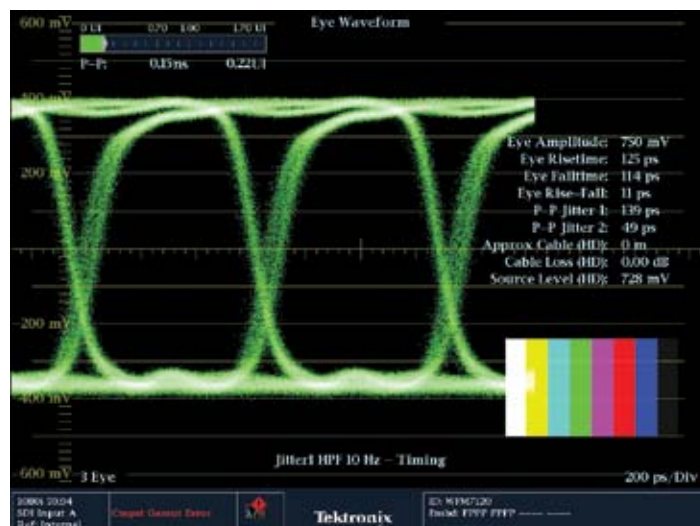


Рис. 84. Отображение глазковой диаграммы несимметричного канала на дисплее WFM7120

вание может привести к тому, что не вся энергия сигнала будет поглощена оконечной нагрузкой или приёмным устройством. Остаточная энергия будет отражаться обратно по кабелю, образуя стоячую волну. Такие отражения порождают в сигнале «звон» (низкочастотные помехи), и пользователь будет наблюдать выбросы и провалы на глазковой диаграмме (см. рис. 83). Следует обратить внимание, что такая ошибка согласования сама по себе не вызывает проблем в приёме сигнала. Вместе с тем, эффекты от этой ошибки накладываются на эффекты, вызываемые другими ошибками, что приводит к более быстрому закрытию глазка. Закрытый глазок, в свою очередь, уменьшает возможности приёмника по восстановлению тактовой частоты и данных из сигнала.

Как правило, точка пересечения фронтов сигнала находится посередине глазковой диаграммы, т.е. на уровне, соответствующем половине (50 %) амплитуды импульса. Когда время нарастания и время спада фронтов сигнала не равны между собой, происходит смещение глазковой диаграммы от середины (50 %) точки. Величина смещения зависит от степени различия между нарастающим и спадающим фронтами. Связь по переменному току внутри устройства вызывает смещение высокого уровня сигнала ближе к пробной точке, уменьшая запас помехоустойчивости. Обычно сигналы SDI имеют симметричные фронты, у которых значения времени нарастания и спада равны, но асимметричные линейные формирователи и источники оптических сигналов (например, лазеры) могут вносить искажения в симметричность фронтов, как это показано на рисунке 84. Вместе с тем, несмотря на свою важность, эти источники асимметрии не оказывают существенного влияния на переходные процессы в сигнале. Так, в частности, ослабление сигнала в кабеле вызывает гораздо более серьёзные изменения в длительности фронтов. Без соответствующей компенсации или другой корректировки асимметрии в сигналах SDI ухудшают запас помехоустойчивости относительно пробной точки, используемой при декодировании, что в итоге может привести к ошибкам декодирования.

В результате увеличения длины кабеля между источником сигнала и измерительным прибором происходит ослабление сигнала (уменьшение его амплитуды), а частотные потери в кабеле вызывают увеличение времени нарастания и спада фронтов сигнала. С увеличением длины кабеля происходит постепенное закрытие глазка, поэтому глазковая диаграмма отображается на дисплее не вполне отчётливо. Однако до определённого момента этот сигнал всё ещё может быть декодирован правильно, потому что корректирующая система в состоянии восстановить поток данных. Но если из-за увеличения длины кабеля качество сигнала SDI ухудшилось так, как это показано на рисунке 77, то раскрыть глазковую диаграмму уже не может быть виден должным образом. В таких случаях оператор может воспользоваться режимом коррекции (выравнивания) глазковой диаграммы, который имеется в приборах Tektronix WFM7120/WFM6120. С помощью встроенного эквалайзера производится коррекция сигнала, в результате чего он может быть отображён на дисплее в виде, показанном на рисунке 85. В этой связи крайне желательно, чтобы приёмник был оснащён соответствующим адаптивным компенсатором, который был бы способен восстановить искажённый сигнал. Вместе с тем, необходимо помнить, что не все приёмники имеют одинаковую конструкцию, поэтому вполне возможно, что некоторые устройства не смогут выполнять свои функции. Если эквалайзер прибора способен восстанавливать данные, скорректированная глазковая диаграмма будет иметь открытый глазок. Если глазковая диаграмма частично или полностью закрыта, восстановление тактовой частоты и данных будет представлять более сложную задачу для приёмного устройства. В этом случае резко повышается вероятность появления в принимаемом сигнале ошибок. При этом ошибки данных порождают такие эффекты, как «искрение» изображения, выпадение строк и даже замирание кадра. В этом случае на приёмном конце сигнального тракта возникают серьёзные проблемы с выделением тактовой частоты и данных из сигнала SDI. Обеспечивая исправное состояние физического уровня сигнала, можно гарантировать, что такого рода проблемы не возникнут. Режимы «Eye» и «Jitter» мониторов сигналов компании Tektronix существенно облегчают выявление таких ошибок.

Тестирование джиттера

Так как при передаче видеоданных нет отдельного тактового сигнала, тактовая частота должна быть восстановлена путём определения тактовых переходов в сигнале данных. Это достигается путём прямого восстановления энергии в окрестностях ожидаемого значения тактовой частоты. Полученная энергия служит для управления широкополосным генератором (с полосой сигнала 5 МГц и тактовой частотой 270 МГц для сигналов

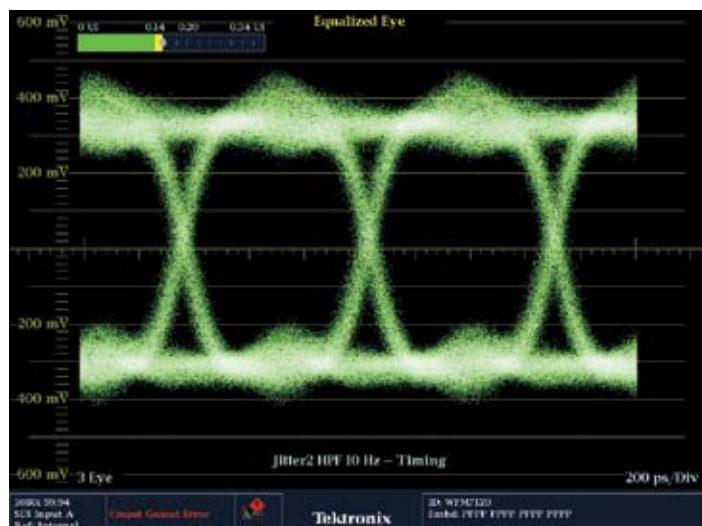


Рис. 85. Окно режима коррекции глазковой диаграммы в WFM7120

стандартной чёткости), синхронизованным с входящим сигналом в режиме, близком к реальному времени. Этот генератор, в свою очередь, управляет генератором с низкой полосой пропускания (полоса сигнала 10 Гц, тактовая частота 270 МГц для сигналов SDI). При измерении джиттера сигналы обоих генераторов затем сравниваются в фазовом детекторе (демодуляторе), который генерирует выходной сигнал, представляющий собой джиттер. Такой способ измерения джиттера называется «метод демодуляции». Временной джиттер (timing jitter, абсолютный джиттер) определяется как изменение во времени значащих моментов цифрового сигнала (например, точек пересечения нулевого уровня) относительно стабильного (свободного от джиттера) тактового сигнала на относительно низкой частоте (обычно 10 Гц). Для измерения джиттера желательно использовать исходный опорный тактовый сигнал, но он обычно недоступен. Поэтому в измерительных приборах часто используются отдельные тактовые генераторы с сильным усреднением. Джиттер выравнивания (alignment jitter, относительный джиттер) определяется как изменение во времени значащих моментов цифрового сигнала (точек пересечения нулевого уровня) относительно выделенного из сигнальной последовательности сигнала тактовой частоты. Нижняя частотная граница относительного джиттера определяется полосой пропускания фильтра в цепи ФАПЧ и обычно составляет 1 кГц для сигналов стандартной чёткости и 100 кГц для сигналов высокой чёткости. Измеренное значение джиттера выравнивания включает в себя все составляющие выше этой частоты. Относительный джиттер показывает степень ухудшения временной стабильности фронтов тактового сигнала.

Измерительные приборы Tektronix WFM6120 и WFM7120 позволяют выбирать фильтры верхних частот (ФВЧ), с помощью которых можно выделять энергию джиттера (см. рис. 86). Для отображения временного джиттера используются данные, не подвергшиеся фильтрации и занимающие всю полосу от 10 Гц до 5 МГц. Данные, прошедшие через ФВЧ со срезом 1 кГц (по уровню -3 дБ), используются для отображения джиттера выравнивания с полосой от 1 кГц до 5 МГц. Для выделения других компонентов джиттера могут использоваться дополнительные фильтры верхних частот. Мониторы сигналов Tektronix обеспечивают прямое считывание измеренного значения амплитуды, а также визуальное отображение демодулированного сигнала джиттера, что помогает более эффективно определять причины появления джиттера. Приёмникам данных в сигнальном тракте довольно часто приходится выдерживать значения джиттера, существенно превосходящие величины, определённые рекомендациями SMPTE, но нарастание дрожания фазы (увеличение джиттера) при прохождении нескольких устройств может привести к внезапному отказу. Проблемы джиттера в системах последовательной передачи данных обсуждаются в стандартах и рекомендациях SMPTE RP184, EG33 и RP192.

Явление дрожания фазы в сигнале SDI вызывает изменение времени прохождения фронтов импульсов, а также расширение области перехода в целом. Джиттер может вызвать сужение или закрытие глазковой диаграммы, и существенно затрудняет определение порога принятия решения. По глазковой диаграмме можно измерить только один единичный интервал джиттера — вручную, с использованием курсоров или путём автоматических измерений с индикацией результатов. Кроме того, обнаружение и отслеживание редко происходящих событий джиттера может представлять некоторую сложность из-за того, что интенсивность (яркость) отображения этих событий может оказаться значительно меньшей по сравнению с регулярно повторяющимися фронтами сигнала SDI.

Опция EYE в мониторах сигналов WFM7120 и WFM6120 позволяет осуществлять считывание результатов измерений джиттера с индикатора непосредственно в глазковой диаграмме. Вывод измеренных данных осуществляется либо в единичных интервалах, либо в единицах времени. Отображение результатов измерений джиттера на индикаторе в виде термометрической шкалы особенно удобно для полевых условий эксплуатации, поскольку обеспечивает очень простую форму оповещения о том, что величина джиттера сигнала SDI выходит за установленные пределы (рис. 87). Изменение цвета шкалы на красный предупреждает оператора о возможных проблемах в системе. Величина порога выбирается пользователем и может быть установлена им в заданных пределах.



Рис. 86. Окно отображения джиттера в режиме двух полей в мониторе WFM7120



Рис. 87. Термометрическая шкала измерения джиттера



Режим измерения джиттера с фильтром 10 Гц



Режим измерения джиттера с фильтром 100 Гц



Режим измерения джиттера с фильтром 1 кГц



Режим измерения джиттера с фильтром 100 кГц

Рис. 88. Режим измерения джиттера с различными фильтрами

Режим отображения формы сигнала джиттера, доступный при установке опции PNY в мониторы сигналов Tektronix WFM6120 и WFM7120, позволяет получать характеристики различных типов джиттера и предоставляет более широкие возможности по исследованию проблем джиттера в сигнале, чем режим глазковой диаграммы и режим термометрической шкалы. Сигнал джиттера может отображаться в режимах одной строки, двух строк, одного поля или двух полей относительно частоты видеосигнала. При исследовании джиттера в системе наиболее удобен режим двух полей при одновременном увеличении коэффициента усиления. В небольших количествах джиттер присутствует во всех системах, однако при этом линия сигнала должна быть горизонтальной. При увеличении коэффициента усиления в десять раз на дисплее прибора будут отображены внутренние шумы системы. Эти шумы имеют случайную природу, в противном случае, вероятно, в сигнале присутствует детерминированный (регулярный) компонент джиттера.

Для проведения измерений оператор может выбрать один из встроенных фильтров с частотой среза 10 Гц, 100 Гц, 1 кГц, 10 кГц или 100 кГц. Использование этих фильтров помогает локализовать проблемы джиттера, имеющие частотную природу. На рисунке 88 показан пример использования различных фильтров при измерении джиттера, при этом в окне одновременно отображаются индикатор состояния джиттера и осциллограмма сигнала джиттера. При использовании фильтра с частотой среза 10 Гц измеренное значение джиттера составило около 0,2 ЕИ, при этом на осциллограмме видны помехи на частоте полей. Кроме того, при отображении осциллограммы на дисплее прибора можно увидеть небольшое нерегулярное смещение по вертикали. В результате наблюдается некоторое завышение показываемых индикатором пиковых значений джиттера по сравнению с измеренными непосредственно на дисплее. Применяя для измерений фильтр с частотой среза 100 Гц, можно добиться уменьшения некоторых компонентов джиттера (в частности, низкочастотных), а также свести к минимуму вертикальное смещение осциллограммы, что в итоге даёт более стабильное изображение сигнала. Величина джиттера по индикатору в данном случае составляет 0,12 ЕИ, тем не менее, помехи на частоте полей ещё видны. Использование фильтра с частотой 1 кГц позволяет ещё больше уменьшить составляющие джиттера, хотя слабые помехи

на частоте полей всё ещё присутствуют в сигнале. Осциллограмма принимает вид более ровной линии. При использовании фильтров 100 Гц и 1 кГц величина джиттера по индикатору существенно не меняется. И только применение фильтра с частотой среза 100 кГц позволяет добиться значительного уменьшения величины джиттера — до 0,07 ЕИ. Осциллограмма на дисплее отображается в виде абсолютно ровной горизонтальной линии. В этом случае выходные параметры устройства находятся в пределах нормы, а выходной сигнал пригоден для декодирования на физическом уровне. Как правило при сокращении полосы пропускания и использовании фильтра с более высокой частотой среза наблюдается уменьшение измеренного значения джиттера, как это имело место в рассмотренном примере. Однако предположим, что был использован фильтр с более высокой частотой среза, а полоса пропускания более узкая, но значение джиттера при этом увеличилось. Что могло появиться в сигнале SDI и вызвать этот эффект?

В данном случае результаты измерений могут означать, что в сигнале присутствовал импульс джиттера, и этот импульс находился на самой границе полосы пропускания одного из выбранных фильтров. Эта составляющая не была удалена с помощью фильтра, а вместо этого была фактически продифференцирована, что послужило причиной появления «звона» на нарастающем и спадающем фронтах импульса и возрастания величины джиттера в пределах полосы пропускания выбранного фильтра.

Благодаря возможности выбора нужного фильтра, пользователь может определить, в пределах какой полосы частот присутствуют компоненты джиттера. Большая часть частотных составляющих кратны частотам строк и полей. С их помощью можно лучше понять, какие устройства вносят основной вклад в джиттер при прохождении сигнала SDI по каналу передачи. Как правило, схемы фазовой автоматической подстройки частоты (ФАПЧ) приёмников позволяют низкочастотным составляющим джиттера свободно проходить сквозь всё устройство — от входа до выхода, в то время как прибор отслеживает джиттер, присутствующий на входе в устройство. Высокочастотные составляющие джиттера представляют большую сложность для отслеживания системой ФАПЧ и могут вызвать серьёзные проблемы, связанные с блокировкой приёмника.

Режим «SDI Status» (состояние SDI сигнала)

Как показано на рисунке 89, в окне режима «SDI Status» приводится сводная информация по нескольким видам измерений физического уровня. Мониторы сигналов WFM7120/6120 и растерайзер WVR7120 с установленной опцией EYE могут быть сконфигурированы для отображения результатов измерений одновременно временного джиттера (timing jitter) и джиттера выравнивания (alignment jitter). Для этого дисплей прибора разделяется на четыре части (окна), причём окна один и два служат для отображения результатов измерений абсолютного джиттера, а окна три и четыре — относительного джиттера. При измерении джиттера выравнивания приборы могут автоматически изменять настройки фильтров со 100 кГц (сигналы высокой чёткости) на 1 кГц (сигналы стандартной чёткости), в зависимости от типа подаваемого на вход сигнала. Кроме того, в окне «SDI Status» отображается специальная шкала для оценки длины кабеля. Если в приборе установлена опция PNY, то с его помощью можно будет автоматически измерять параметры глазковой диаграммы: амплитуду, время нарастания и спада, а также разность между временем нарастания и спада фронтов сигнала на глазковой диаграмме. Эти автоматические измерения обеспечивают наиболее точные и надёжные измерения характеристик физического уровня.

Измерения длины кабеля

Измерения длины кабеля необходимы для количественной оценки резерва рабочих характеристик аппаратуры в канале передачи. Большинство производителей гарантируют работоспособность своего оборудования в указанных в спецификациях диапазонах только при использовании определённых типов кабелей. В качестве примера можно привести следующую выдержку из спецификации: «Диапазон коррекции приёмника: для сигнала SD (типично) — до 250 м с кабелем типа 8281; для сигнала HD (типично) — до 100 м с кабелем типа 8281». В данном примере специфицированным типом кабеля является кабель типа 8281. Однако в каждой конкретной студии могут использоваться разные типы кабеля. В этом случае нужно просто настроить монитор сигналов на тип кабеля, специфицированный производителем оборудования, и провести измерение длины кабеля. Если в результате измерения (применительно к рассмотренному выше примеру) будет получена величина 80 метров, а мы знаем, что данное устройство рассчитано на длину кабеля до 100 метров, то можно сделать вывод, что данный сигнальный тракт имеет запас 20 метров. Если в результате измерения получено значение более 100 метров, то это означает, что рекомендованная производителем величина для данного устройства была превышена. Как правило, производители указывают в спецификациях один из наиболее распространённых типов кабелей, но это

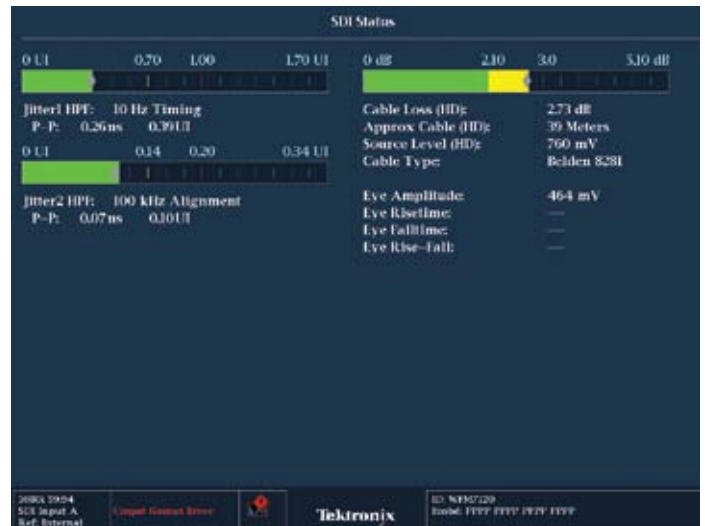


Рис. 89. Окно режима «SDI Status» монитора WFM7120

вовсе не означает, что при проведении измерений в студии нужно использовать именно его. Мониторы сигналов WFM7120 и WFM6120 обеспечивают проведение измерений со всеми типами кабелей, которые обычно приводятся в спецификациях: Belden 8281, 1505, 1695A, 1855A, Image 1000 и Canare L5-CFB. Оператору достаточно просто выбрать подходящий тип кабеля из меню конфигурации измерений физического уровня. После выбора типа кабеля нужно подать сигнал SDI на вход измерительного прибора, который проведёт измерение потерь в кабеле, длины кабеля и предполагаемого уровня сигнала на выходе из источника.

Величина «Cable Loss» («Потери в кабеле») показывает уровень ослабления сигнала в кабеле. Потери в кабеле измеряются в децибелах (дБ). Величина 0 дБ означает хороший сигнал с уровнем 800 мВ, тогда как значение -3 дБ указывает, что уровень сигнала составляет 0,707 от исходного. Если предположить, что амплитуда сигнала на входе в исследуемый тракт составляла 800 мВ, тогда уровень сигнала в точке измерений составит приблизительно 565 мВ.

Величина «Cable Length» («Длина кабеля») показывает протяжённость кабельной линии от источника сигнала до монитора сигналов. Прибор рассчитывает длину кабеля на основе измеренного значения уровня сигнала на входе и информации о типе кабеля, выбранном оператором.

Величина «Source Level» («Уровень источника») показывает расчётное значение амплитуды сигнала на выходе из источника. Вычисляется на основе предположения о непрерывности участка сигнального тракта с учётом характеристик выбранного пользователем типа кабеля.

Такого типа измерения особенно полезны при проведении сертификации системы или проверке характеристик оборудования. Зная заданные в спецификации значения параметров аппаратуры, пользователь может достоверно определить, что данное устройство функционирует в допустимых пределах. Предположим, что с помощью монитора сигналов было определено, что длина кабеля для сигнала, показанного на рисунке 89, составляет 62 метра. Тогда пользователь может сравнить этот результат измерений с величиной, приведённой в спецификации, в которой указано, что данное устройство способно осуществлять коррекцию в диапазоне до 100 м при использовании кабеля типа Belden 8281. Таким образом, сигнальный тракт имеет запас 38 метров по рабочим характеристикам данного оборудования. Вспомним, что измерения проводились с учётом предположения, что кабельная линия является непрерывной. В некоторых ситуациях необходимо проводить измерения при наличии нескольких активных устройств в сигнальном тракте. В подобных случаях желательно поочерёдно измерять каждый участок сигнального тракта, при этом к одному концу подключается источник тестового сигнала, а к другому — измерительный прибор. При использовании этого способа могут быть получены наиболее надёжные и точные результаты измерений длины кабеля на каждом участке системы. Кроме того, в этом случае обеспечивается достаточный запас рабочих характеристик между участками сигнального тракта. Если дальность передачи сигнала превышает максимальную длину кабеля, указанную производителем в спецификации, тогда для обеспечения должного качества сигнала в сигнальный тракт необходимо вставить дополнительное активное устройство.

Временные соотношения между источниками видеосигнала

Для обеспечения передачи непрерывного потока информации к средствам отображения и аппаратным средствам, обрабатывающим сигнал, необходимо, чтобы любые комбинированные или последовательно коммутируемые источники видеосигнала обеспечивали синхронность в точке объединения. Временные соотношения между последовательными цифровыми видеосигналами, которые находятся в пределах рабочего диапазона при использовании в студийном оборудовании, могут изменяться от нескольких наносекунд до нескольких телевизионных строк. Эти временные соотношения могут быть измерены путём синхронизации монитора сигналов с внешним источником сигналов и сравнения относительных позиций известных элементов изображения.



Рис. 90. Измерение межканальных временных соотношений с использованием перехода зелёный/пурпурный

Измерение временных соотношений в работающих сигнальных трактах может быть выполнено при совместном использовании испытательного сигнала временных соотношений активного изображения (Active Picture Timing Test Signal), получаемого с генератора цифровых компонентов TG700, а также временных курсоров и селектора строк мониторов сигналов WFM6120 или WFM7120. Испытательный сигнал временных соотношений активного изображения будет содержать белую полосу в яркостной составляющей в следующих строках:

- 21, 262, 284 и 525 — для форматов с 525 строками;
- 24, 310, 336 и 622 — для форматов с 625 строками;
- первая и последняя активные строки в каждом поле — для форматов с 1250, 1125 и 750 строками.

В режиме измерения временных соотношений источников сигнала, таких как видеокамеры, телекинопроекторы или видеомагнитофоны, можно отслеживать аналоговое представление опорного синхросигнала SAV, который изменяет амплитуду в момент, когда заканчивается вертикальный интервал гашения и начинается участок активного видео. Для отображения аналогового представления опорных синхросигналов монитор сигналов должен быть установлен в режим «PASS» и подключен к источнику внешнего опорного сигнала (EXT REF).

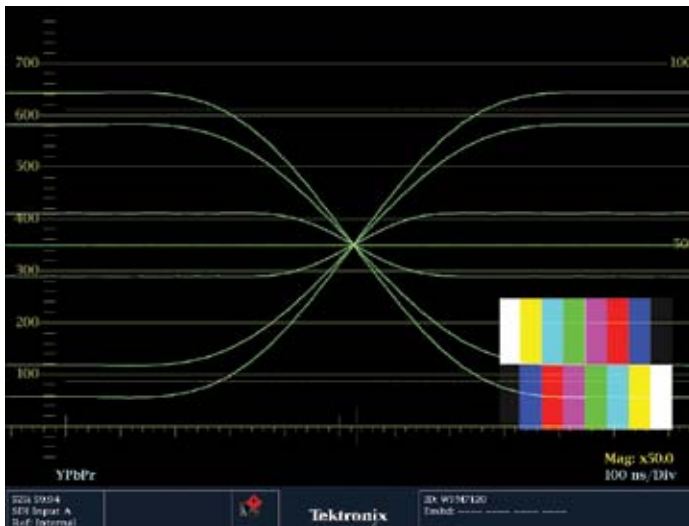


Рис. 91. Сигнал инвертированных цветных полос генератора TG700, режимы N MAG, OVERLAY

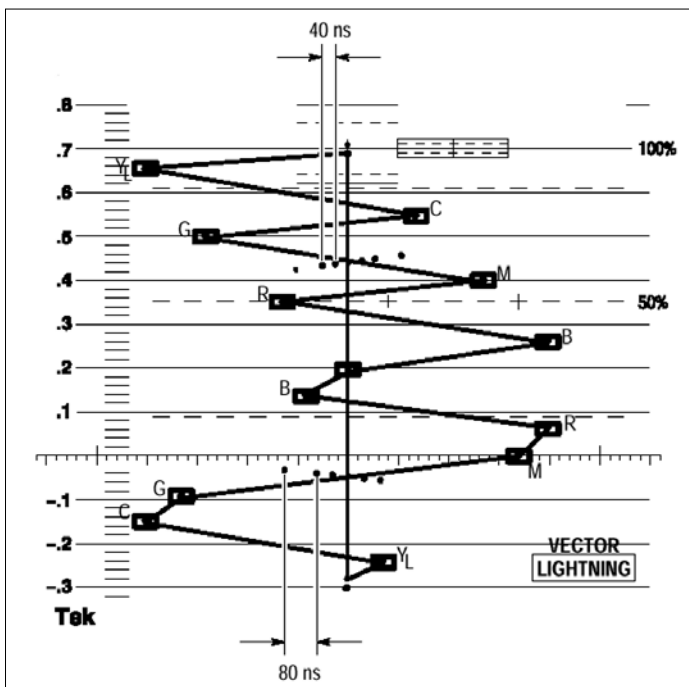


Рис. 92. Окно режима «Lightning» («Молния») для сигнала цветных полос с насыщенностью 100%

Измерение межканальных временных соотношений компонентных видеосигналов

Временные различия между каналами линии передачи компонентного видеосигнала могут вызвать серьёзные проблемы, за исключением случаев, когда ошибки очень малы. Сигналы могут отслеживаться в цифровой области, но любые временные ошибки, скорее всего, возникают в исходном аналоговом источнике. На своём пути аналоговые компоненты сигнала проходят через различные кабели, усилители в матричных видеокмутаторах и другие устройства. Временные ошибки могут появляться в том случае, если оборудование неправильно смонтировано или недостаточно тщательно отрегулировано. Существует несколько

методов для контроля межканальных временных соотношений компонентных видеосигналов. Далее будет рассмотрен один из них — метод осциллограммы с использованием переходов в испытательном сигнале цветных полос. В мониторах видеосигналов компании Tektronix в качестве альтернативы предлагаются два других более эффективных и точных метода контроля. Один из них реализован в режиме «Lightning» («Молния»), в нём используется стандартный испытательный сигнал цветных полос. Второй метод положен в основу режима «Bowtie» («Бабочка»). Для него требуется специальный испытательный сигнал, который может быть получен с помощью генераторов компонентных сигналов Tektronix.

Метод осциллограммы

Для метода осциллограммы требуется тщательно калиброванный трёхканальный монитор видеосигналов (контрольный осциллограф), который используется для проверки, насколько одновременно появляются переходы во всех трёх каналах. Так, например, сигнал цветных полос содержит одновременные переходы во всех трёх каналах на границе между зелёной и пурпурной (цвета маджента) полосами (рис. 90).

Для использования метода осциллограммы, в целях проверки, синхронизированы ли должным образом переходы между зелёной и пурпурной полосами, требуется:

1. Подать сигнал цветных полос в тестируемую систему, а затем подключить его к монитору видеосигналов.
2. Установить монитор видеосигналов в режим PARADE («Показ»), а режим развёртки — 1 LINE («1 строка»).
3. При необходимости отрегулировать вертикальное положение сигналов на дисплее таким образом, чтобы средняя точка перехода зелёный/пурпурный на канале 1 находилась на линии 350 мВ.
4. Настроить органы управления канала 2 и канала 3 таким образом, чтобы нулевой уровень канала цветоразностного сигнала находился на линии 350 мВ (так как цветоразностные сигналы имеют диапазон от -350 мВ до +350 мВ, их нулевой уровень находится в центре по вертикали).
5. Выбрать режимы WAVEFORM OVERLAY («Наложение осциллограмм») и «Horizontal MAG» («Усиление по горизонтали»).
6. Расположить осциллограммы по горизонтали так, чтобы переходы на дисплее отображались должным образом. Все три осциллограммы должны сойтись на линии 350 мВ.

Генератор испытательных сигналов Tektronix TG700 может быть запрограммирован на генерирование специальных тестовых сигналов инвертированных цветных полос, в которых порядок цветных полос изменён на прямо противоположный для половины каждого поля. Этот сигнал значительно облегчает наблюдение за временными различиями между каналами путём простой установки по линии точек пересечения трёх сигналов. Результат показан на рисунке 91.

Измерение временных соотношений в режиме «Lightning» (Молния) или «Молниевидная диаграмма»

Разработанный компанией Tektronix режим «Lightning» («Молния») обеспечивает быстрые и точные измерения межканальных временных соотношений. В режиме «Lightning» используется испытательный сигнал цветowych полос, а также отметки на координатной сетке, которые показывают все временные ошибки. Трасса каждого перехода зелёный/пурпурный должна пройти через центральную точку в серии из семи точек, пересекающих её траекторию. На рисунке 92 показаны правильные значения временных соотношений.

Расположенные на близком расстоянии друг от друга точки дают ориентиры для проверки переходов. Эти точки расположены на расстоянии 40 нс друг от друга, в то время как расстояние между широко разнесёнными точками составляет 80 нс. Электронная координатная сетка позволяет избежать эффектов нелинейности дисплея на основе электронно-лучевой трубки. Если цветоразностный сигнал не совпадает с сигналом яркости, переходы между цветовыми точками будут отклоняться. Величина этого отклонения будет соответствовать относительной задержке между цветоразностным сигналом и сигналом яркости. В верхней части дисплея отображаются результаты измерения временных соотношений между каналами Pb и Y, а в нижней — между каналами Pr и Y. Если переходы отклоняются по вертикали в сторону центра в чёрной области, то это означает задержку цветоразностного сигнала по отношению к сигналу яркости. Если переходы отклоняются по вертикали от центра в белой области, то это означает, что цветоразностный сигнал опережает сигнал яркости.

Метод «Bowtie» («Бабочка»)

Для измерений в режиме «Bowtie» («Бабочка») нужен специальный испытательный сигнал, в котором частоты сигналов каналов цветности немного отличаются от частот сигналов в канале яркости. Для форматов стандартной чёткости в канал яркости входит пакет синусоидальных сигналов с частотой 500 кГц, а в каждый из двух каналов цветности — пакеты сигналов с частотой 502 кГц (рис. 93). Для повышения чувствительности измерений с помощью этого метода могут использоваться и другие значения частот.

Для тестирования компонентов систем высокой чёткости могут быть выбраны пакеты с более высокими значениями частот. Маркеры, создаваемые в некоторых строках канала яркости, служат в качестве электронной шкалы при измерении относительных временных ошибок. При использовании пакетов с частотами 500 кГц и 502 кГц более высокий центральный маркер означает нулевую ошибку, остальные маркеры расположены на расстоянии 20 нс друг от друга. Три пакета синусоидальных сигналов генерируются таким образом, чтобы они точно совпадали по фазе в центре. Вследствие разности частот два канала цветности будут иметь значительное расхождение по фазе с каналом яркости по обе стороны от центра.



Рис. 93. Испытательный сигнал «Bowtie» («Бабочка»)

Монитор видеосигналов вычитает сигнал одного из каналов цветности из сигнала канала яркости для левой части дисплея, и сигнал второго канала цветности из сигнала канала яркости для правой части дисплея. В результате каждой операции вычитания получается нулевое значение в точке, в которой два компонента точно совпадают по фазе (в идеальном случае — в центре). Относительная временная ошибка между одним каналом цветности и каналом яркости, например, изменяет значение относительной фазы между двумя каналами, сдвигая нулевую точку соответствующего канала в сторону от центра дисплея. Сдвиг нулевой точки влево от центра означает, что канал цветоразностного сигнала опережает канал сигнала яркости. Если нулевая точка сдвигается вправо от центра, то это означает, что цветоразностный сигнал запаздывает по отношению к сигналу яркости.

Нулевая точка, вне зависимости от её положения, будет иметь амплитуду равную нулю только в том случае, если будут равны амплитуды синусоидальных сигналов в двух пакетах. Относительная ошибка амплитуды приводит к расширению нулевого интервала, что затрудняет определение численного значения промежутков времени. Для точного определения временных соотношений необходимо сначала тщательно настроить амплитуды сигналов в тестируемом оборудовании. Наличие ошибки усиления в канале яркости (CH1) будет означать, что ни одна осциллограмма не будет иметь полностью нулевой точки. Если усиление будет отсутствовать только в канале Pb (CH2), тогда в левой осциллограмме нулевая точка будет неполной, а в правой — полной. Если усиление будет отсутствовать только в канале Pr (CH3), тогда неполной будет нулевая точка в правой осциллограмме, а в левой будет полной.



Рис. 94. Сигналы каналов Y и Pb (слева) и Y и Pr (справа)



Рис. 95. Окно режима «Bowtie», сигнал Pb запаздывает на 55 нс, а сигнал Pr опережает на 50 нс сигнал Y



Рис. 96. Окно режима «Bowtie», ошибка усиления в канале Pr относительно Y

Режим измерений «Bowtie» и используемый в нём испытательный сигнал обеспечивают два важных преимущества. Во-первых, этот режим даёт возможность проводить измерения с большим разрешением и точностью, чем методы осциллограммы и молнии. Во-вторых, результаты измерений могут быть считаны даже на некотором расстоянии от экрана монитора видеосигналов.

Отметим, что испытательный сигнал «бабочка» является недействительным сигналом и допустимым только в формате цветоразностных сигналов. Он становится недопустимым при переводе в формат RGB или композитный формат и при этом может создавать нежелательные побочные эффекты в оборудовании, работающем с сигналами в формате RGB. Более подробно концепция разрешённых и применимых сигналов рассматривается в Приложении А, «Цветовая гамма. Разрешённые и допустимые значения».

Метод тестирования «Bowtie» может использоваться для оценки амплитудных и временных соотношений с помощью мониторов видеосигналов Tektronix 1765, VM700T с опцией 30, WFM601 (примечание: модели 1765, VM700T и WFM601 сняты с производства) и WFM7120/6120, в которых имеется режим измерений «Bowtie».

В левой части дисплея (рис. 94) показан результат сравнения сигналов каналов Y и Pb, а справа — каналов Y и Pr. Опережение сигналом Pr сигнала Y на 5 нс является в большинстве случаев приемлемым.

Для использования режима «Bowtie» нужно подать испытательный сигнал из генератора в тестируемую систему, а затем подключить его к монитору видеосигналов. Активировать режим «Bowtie». Если осциллограммы сигналов «бабочка» имеют отчетливо выраженную нулевую точку и если нулевая точка находится в центре каждой линии, то это означает, что относительные амплитуды и межканальные временные соотношения соответствуют норме. Искажения межканальных временных соотношений вызовут смещение нулевой точки (рис. 95). Ошибки относительной амплитуды (рис. 96) уменьшают глубину нулевой точки. Неполнота нулевой точки и её смещение относительно центра указывают на наличие проблем с амплитудными и временными соотношениями между сравниваемыми каналами.

Эксплуатация цифровой телевизионной системы



Рис. 97. Окно режима R'G'B' «Parade» («Показ») монитора WFM7120 для сигнала цветных полос с насыщенностью 100%



Рис. 98. Окно режима Y'/C'b/C'r монитора WFM7120 для сигнала цветных полос с насыщенностью 100%

Осциллограммы сигналов RGB и цветоразностных сигналов

Хотя художник-колорист осуществляет настройку оборудования в знакомом ему формате RGB (красный, зелёный, синий), у инженера может возникнуть желание увидеть аналоговое представление сигнала, подготовленного для цифрового кодирования. Цифровой сигнал обычно представляет собой результат прямого квантования и временного мультиплексирования сигнала яркости, или Y' , и двух цветных компонентов, $C'b$ и $C'r$. Эти три цифровых компонента могут быть преобразованы в аналоговую форму и напрямую отображены в форме осциллограмм цветоразностных сигналов или снова матрицированы в красный, зелёный и синий цвета для колориста. Примеры отображения этих двух форматов приведены на рисунках 97 и 98.

Баланс усиления в компонентном сигнале

В компонентном сигнале баланс усиления связан с выравниванием уровней сигналов в каналах. Если в каком-либо компоненте сигнал имеет расхождение по амплитуде по сравнению с остальными, то это может оказать отрицательное воздействие на оттенок и насыщенность цвета в изображении. В цветоразностных форматах различные цвета содержат различные амплитуды сигналов в каналах красного, зелёного и синего, однако не всегда очевидно, как должно быть настроено усиление в каждом конкретном канале. Для того чтобы помочь оператору правильно провести эти настройки, было разработано несколько методов.

Режим векторных диаграмм

Режим векторных диаграмм (рис. 99) уже долгое время используется для текущего контроля амплитуды сигналов цветности в системах NTSC или PAL. Если фаза демодуляции настроена правильно (как правило, это делает оператор), то линия, соответствующая сигналу цветовой синхронизации, направлена влево вдоль горизонтальной оси. При этом векторная диаграмма композитного сигнала представляет собой график двух декодированных цветных компонентов в декартовых (x, y) координатах. По верти-



Рис. 99. Окно режима вектороскопа сигнала NTSC

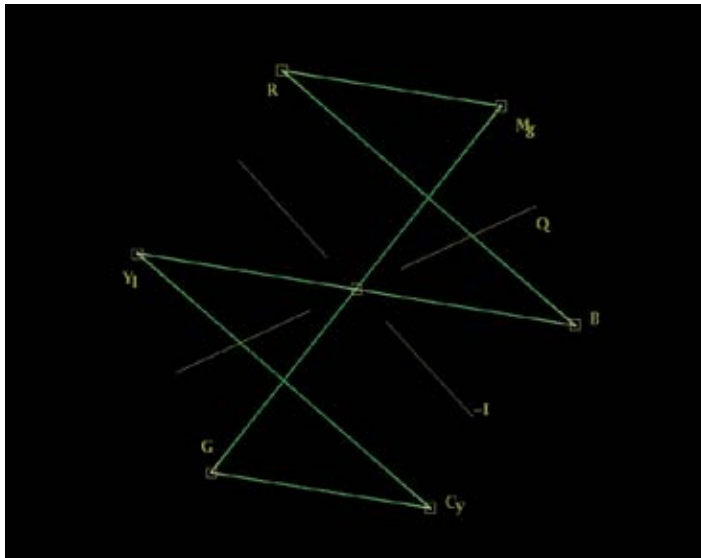


Рис. 100. Векторная диаграмма компонентного сигнала

кальной оси откладываются значения демодулированного сигнала R-Y, а по горизонтальной — сигнала B-Y.

Похожая диаграмма (рис. 100) может быть создана также для цифровых или аналоговых компонентных систем. Для этого по вертикальной оси откладываются значения P'r или C'r, а по горизонтальной — значения P'b или C'b (рис. 101). Коэффициенты усиления и положение рамок координатной сетки на экране настраиваются в конструкции измерительного прибора таким образом, чтобы блоки на графике соответствовали выбранным значениям амплитуды цветных полос. Если какие-либо компоненты будут иметь неверное значение амплитуды, тогда соответствующие им точки не попадут в рамки координатной сетки. Так, например, если величина коэффициента усиления канала P'r или C'r будет слишком большой, то точки будут располагаться выше рамок в верхней половине экрана или ниже рамок в нижней половине дисплея. Для контроля могут использоваться сигналы цветных полосы с насыщенностью как 75 %, так и 100 %. Перед проведением измерений следует убедиться, что величина амплитуды сигнала источника соответствует масштабу векторной диаграммы.

Полярная система координат позволяет проводить измерения оттенка (тона) в единицах относительной фазы сигнала цветности. Расстояние от центра диаграммы до цветовой точки соответствует амплитуде сигнала цветности. Переходы из одной точки в другую также могут дать полезную информацию по временным соотношениям. Эти различия во времени могут проявляться в виде зацикливания или изгиба переходов. Вместе с тем, следует отметить, что временные соотношения легче измерить с использованием методов «молнии» и «бабочки».

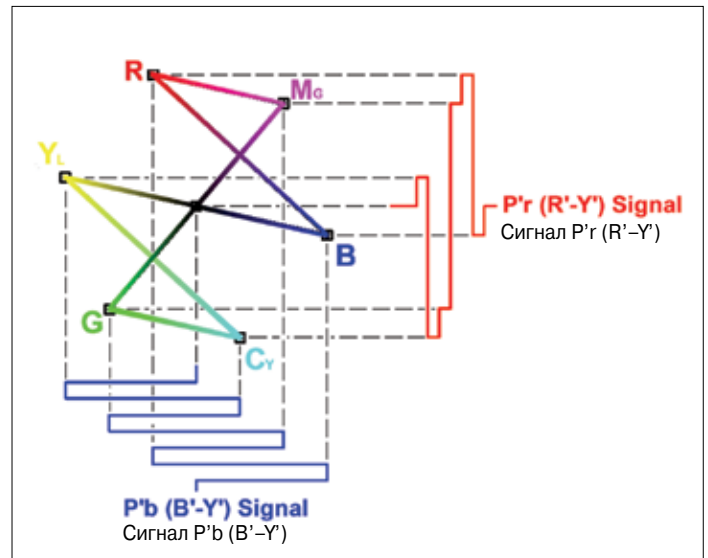


Рис. 101. Формирование векторной диаграммы компонентного сигнала

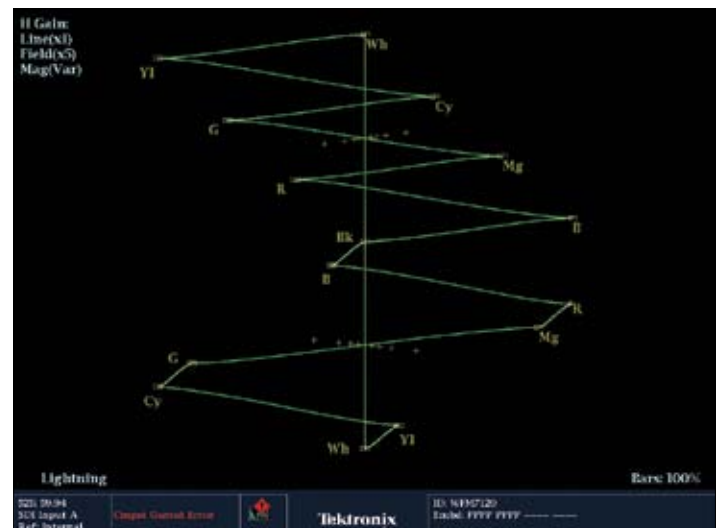


Рис. 102. Окно режима «Lightning» монитора видеосигналов Tektronix

Двухосевой векторный дисплей удобен для текущего контроля и проведения настройки двух цветоразностных компонентов, но он не позволяет проводить измерение усиления сигнала яркости, а также сравнивать коэффициенты усиления сигнала цветности по отношению к сигналу яркости. Внешний вид дисплея в режиме векторной диаграммы не изменится, если канал яркости пропадёт вообще.

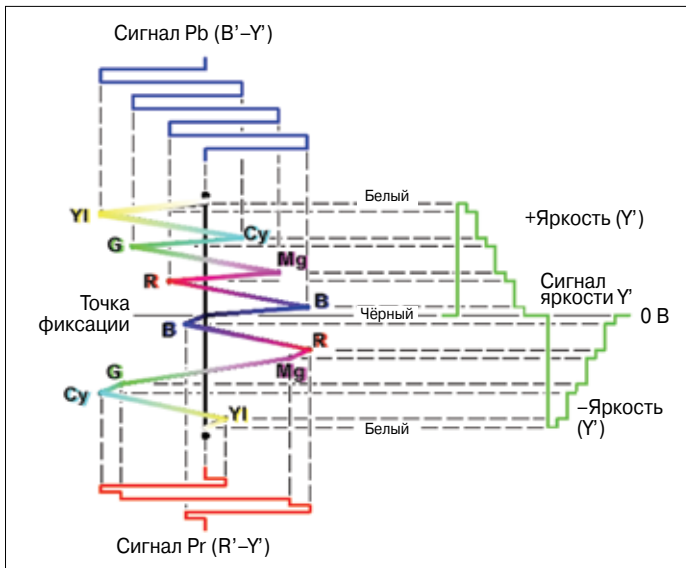


Рис. 103. Формирование диаграммы «Молния»

Режим «Молния» («Lightning») или «Молниевидная диаграмма»

Чётко осознавая тот факт, что трёхмерный метод является наиболее желательным для контроля полного набора компонентных сигналов, компания Tektronix разработала специальный метод (рис. 102), который обеспечивает представление на одном дисплее результатов измерений и амплитуды, и межканальных временных соотношений для трёх сигналов одновременно. Для проведения всего комплекса измерений требуется всего один испытательный сигнал цветных полос.

Диаграмма «Молния» («Lightning») получается путём построения графика зависимости сигнала яркости от сигналов $P'b$ или $C'b$ в верхней половине дисплея, а в нижней половине — графика зависимости инвертированного сигнала яркости от сигналов $P'r$

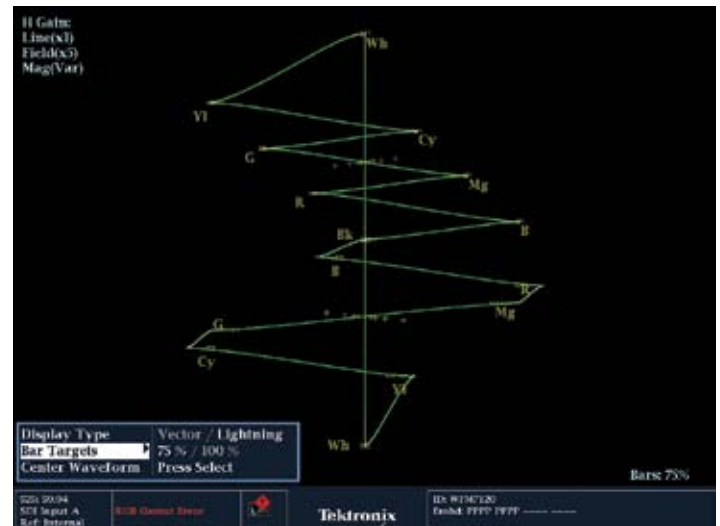


Рис. 104. Окно режима «Молния» с ошибкой усиления сигнала $P'r$

или $C'r$ (рис. 103). Этот график похож на две векторные диаграммы, отображённые на одном дисплее. Яркая точка в центре экрана соответствует уровню гашения (нулевой сигнал). Увеличение уровня сигнала яркости вызывает смещение соответствующих точек вверх в верхней части дисплея и вниз — в нижней. Если усиление сигнала яркости будет слишком большим, то график будет вытянут по вертикали. Если слишком большими будут уровни сигналов $P'b$ или $C'b$, тогда верхняя половина графика будет растянута по горизонтали. Исследуя переходы зелёный/пурпурный на диаграмме «Молния», можно получить также информацию о межканальных временных соотношениях. Если значения векторов зелёного и пурпурного цветов находятся в своих рамках, то переход должен пересечь центральную точку линии из семи временных точек.

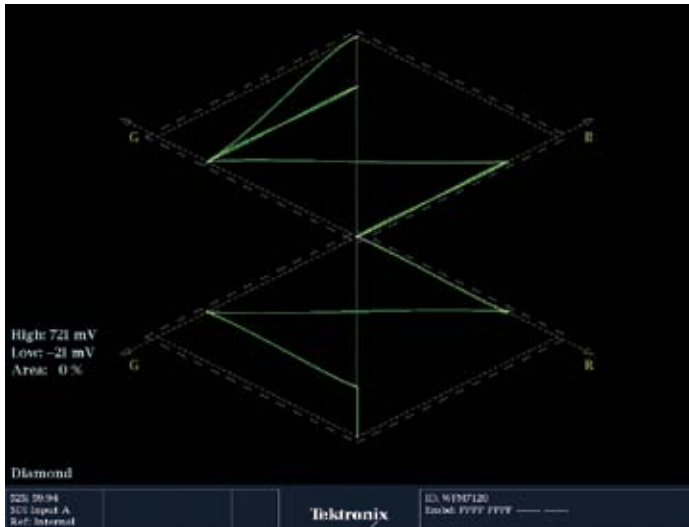


Рис. 105. Окно режима «Ромб» («Diamond») для сигнала цветных полос с насыщенностью 75%

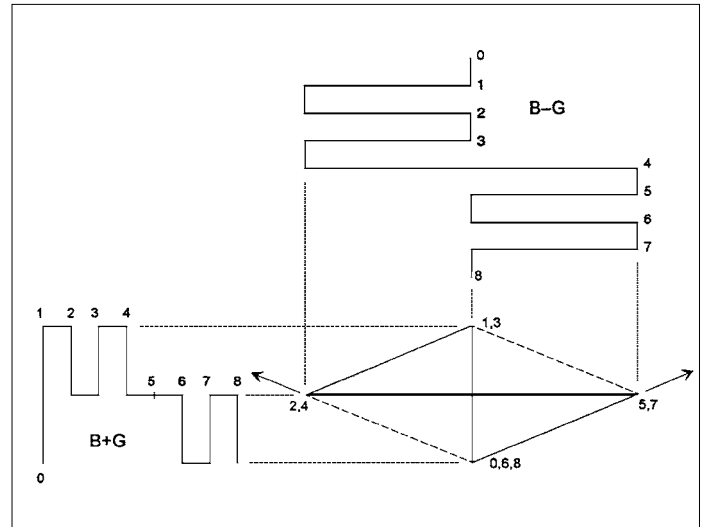


Рис. 106. Формирование диаграммы «Ромб», верхняя половина

Режим «Ромб» («Diamond») или «Ромбовидная диаграмма»

Разработанный компанией Tektronix режим «Diamond» («Ромб») обеспечивает надёжный метод определения неверных цветов ещё до того, как они появятся в окончательном видеопроducte. Как правило, цвет изначально формируется и выводится на устройство отображения в формате R'G'B'. Если он проходит через всю систему в этом формате, то контроль с целью выявления недопустимого сигнала будет достаточно простым: нужно просто убедиться, что сигнал находится в установленных пределах.

Однако в большей части студийных систем для обработки и передачи данных используется формат Y', C'b, C'r, а для эфирного вещания сигнал часто преобразуется в форматы PAL или NTSC. В конечном итоге для окончательного отображения на видеомониторе все цветные видеосигналы переводятся в формат RGB. Диаграмма «Ромб» образуется путём сложения сигналов R', G' и B'. Если видеосигнал представлен в другом формате, то компоненты сначала преобразуются в сигналы формата R', G' и B'. Эти сигналы затем могут быть конвертированы в разрешённые и допустимые сигналы в любом формате, который может оперировать сигналами цветных полос с насыщенностью 100 %. (Примечание: исключением является стандарт передачи NTSC, в котором нормативными документами уровень белого установлен слишком близко к нулевому уровню ВЧ несущей для согласования с сигналом цветных полос с насыщенностью 100 %. Подробности см. в разделе «Режим «Arrowhead»».)

Верхний ромб диаграммы (рис. 105 и 106) формируется из перекодированного сигнала путём нанесения на вертикальную ось суммы значений сигналов B' и G' ($B'+G'$), а на горизонтальную ось — их разности ($B'-G'$). Нижний ромб формируется путём

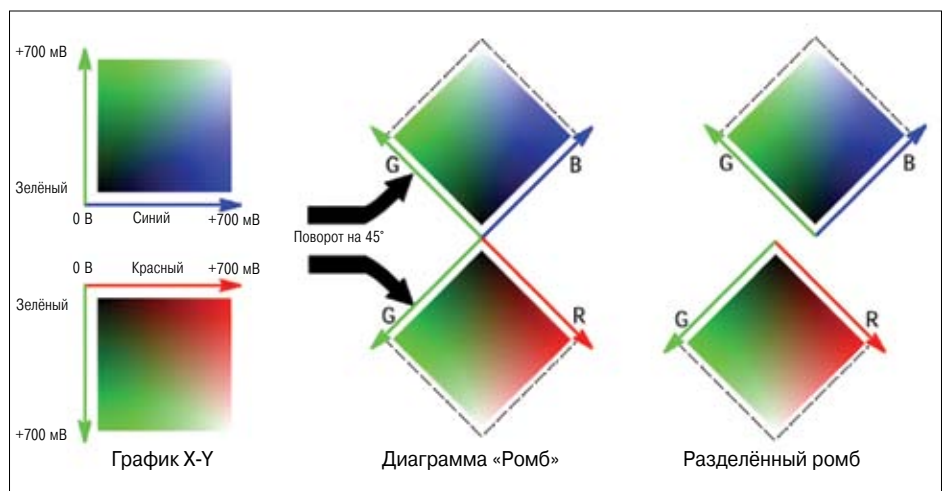


Рис. 107. Диаграмма «Ромб» для разрешённого цветового пространства

нанесения на вертикальную ось отрицательного значения суммы сигналов R' и G' ($-(R'+G')$), а на горизонтальную ось — значения их разности ($R'-G'$). Два ромба отображаются поочередно, образуя диаграмму в виде двойного ромба. Каждый сигнал пропускается через фильтр нижних частот с частотой среза 1,5 МГц (для форматов стандартной чёткости, для форматов высокой чёткости это значение выше). Это делается с целью удаления кратковременных сигналов, обычно образующихся в результате сложения сигналов с различными полосами частот в цветоразностных форматах.

Для уверенного отображения всех трёх компонентов их значения должны лежать в пределах между пиковым уровнем белого, 700 мВ, и уровнем чёрного, 0 В (рис. 107). Видеомониторы обрабатывают отклонения от стандартного диапазона (цветовой гаммы, палитры) различными способами. Для сигнала, находящегося в пределах цветовой гаммы, все вектора сигналов должны лежать внутри ромбов G-B и G-R. Если вектор выходит за пределы ромба, то это означает, что он находится вне цветовой гаммы.

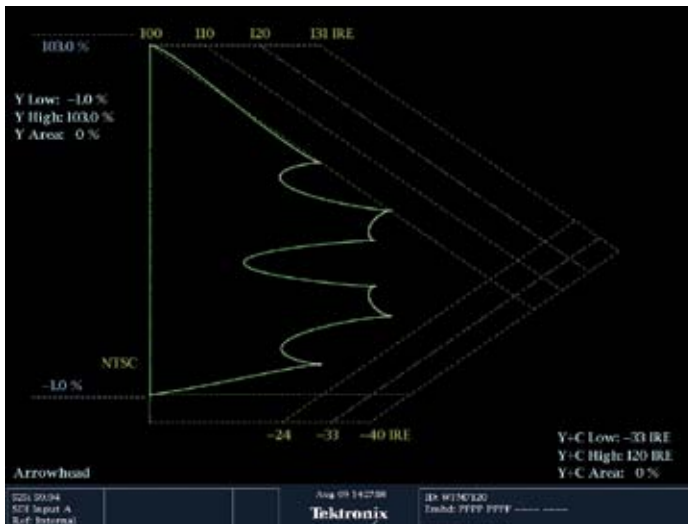


Рис. 108. Окно режима «Клин» («Arrowhead») для компонентного сигнала цветowych полос с насыщенностью 75% формата NTSC

Отклонения амплитуды сигнала зелёного цвета одинаково воздействуют на оба ромба, в то время как ошибки уровня сигнала синего цвета влияют только на верхний ромб, а ошибки красного — только на нижний. Временные ошибки можно отслеживать с помощью испытательного сигнала цветowych полос: об их наличии будут свидетельствовать изгибы переходов. На диаграмме «Ромб» монохромные сигналы отображаются в виде вертикальных линий. Следует иметь в виду, что отклонения сигнала ниже уровня чёрного иногда могут быть скрыты расположенным напротив ромбом. В этой связи может оказаться полезным разделение ромбов на две части (Split Diamond) с целью отслеживания отклонений ниже уровня чёрного в цветowych пространствах G-B или G-R.

Благодаря использованию диаграммы «Ромб», оператор может быть уверен, что контролируемые компоненты видеосигнала будут корректно преобразованы в разрешённые и допустимые сигналы в цветowym пространстве RGB. Диаграмма «Ромб» может использоваться для изучения как реальных, так и испытательных сигналов.

Режим «Клин» («Arrowhead») или «Клиновидная диаграмма»

Стандарт передачи видеосигналов NTSC не подходит для сигнала цветowych полос с насыщенностью 100 %, поэтому нет никакой гарантии, что видеосигнал, который кажется корректным в формате R', G', B', будет правильно транслирован передатчиком NTSC с амплитудной модуляцией. Обычно сигналы, кодированные в формате NTSC, контролируются с помощью монитора видеосигналов NTSC. Разработанный компанией Tektronix режим «Arrowhead» («Клин»; в некоторых источниках встречается другое название — «Стрела», но мы будем использовать термин «клин», потому что он в большей степени соответствует форме диаграммы) позволяет получить информацию о цветовой гамме композитных сигналов NTSC и PAL непосредственно из компонентных сигналов.

На диаграмме «Клин» значения яркости откладываются по вертикальной оси, при этом нижний левый угол клина соответствует

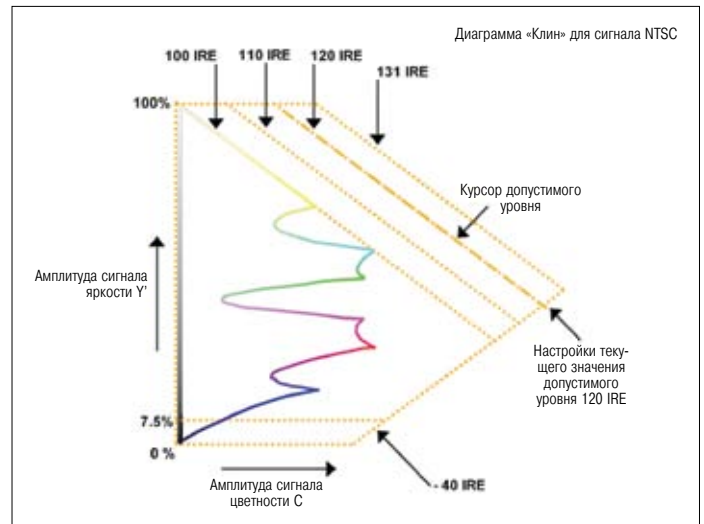


Рис. 109. Координатная сетка режима «Клин» для сигнала NTSC

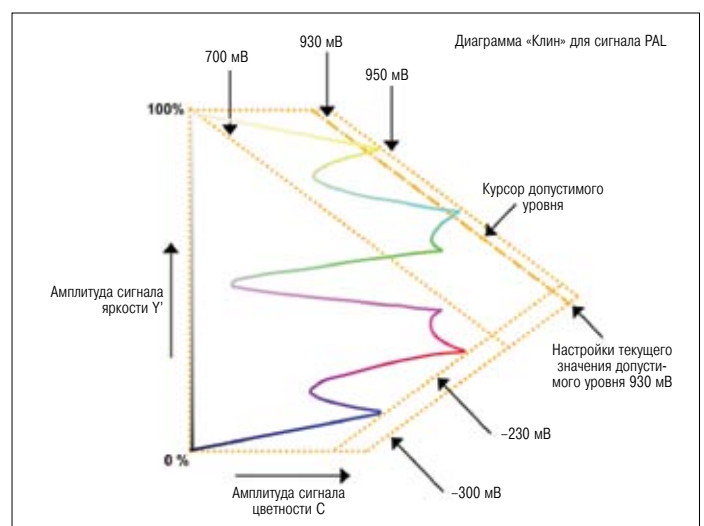


Рис. 110. Координатная сетка режима «Клин» для сигнала PAL

уровню гашения. Амплитуда цветовой поднесущей, соответствующая каждому уровню яркости, откладывается по горизонтальной оси, при этом нулевое значение поднесущей лежит на левой границе клина. Верхняя наклонная линия образует линию координатной сетки, соответствующую сумме амплитуд сигнала цветовой полосы с общей яркостью 100 % и поднесущей. Нижняя наклонная линия координатной сетки соответствует сумме амплитуд сигнала яркости и поднесущей с синхроимпульсом (т. е. максимальная мощность передатчика). Электронная координатная сетка обеспечивает надёжный базис для контроля изменений сигнала яркости и цветовой поднесущей, которые будут иметь место при последующем кодировании сигнала в формате NTSC или PAL. Функция настройки допустимого уровня коэффициента модуляции позволяет оповещать оператора о приближении уровня композитного сигнала к установленному пределу. Оператор имеет возможность отслеживать, как компонентный сигнал будет вести себя в композитной системе передачи, и произвести все необходимые исправления ещё в процессе производства.

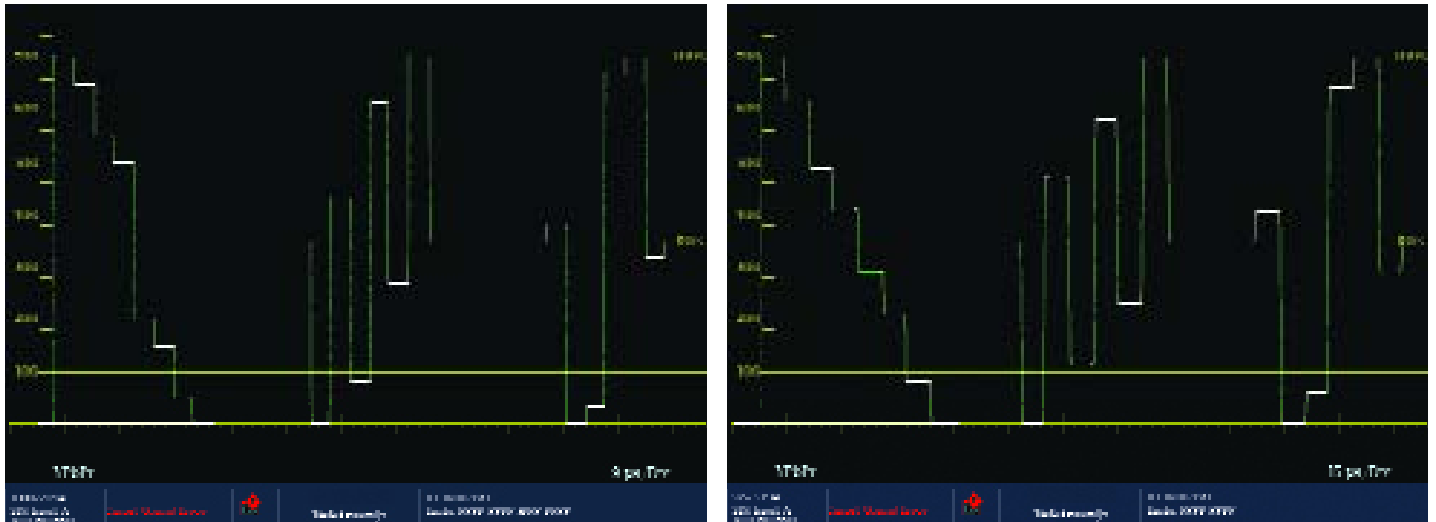


Рис. 111. Сигналы цветowych полос, цветовая модель YPbPr, насыщенность 100%: высокой чёткости (слева) и стандартной чёткости (справа)

Как контролировать цветовую гамму

Контроль цветовой гаммы (палитры) является важным этапом в процессе окончательного монтажа, а также в ходе оценки материала программы и передачи её в аппаратно-студийный блок. Исходный видеоматериал в процессе обработки может претерпеть ряд преобразований в различные форматы и цветовые пространства, например, из RGB высокой чёткости в YPbPr высокой чёткости или из YPbPr стандартной чёткости в композитный. Каждое из этих преобразований имеет различные допустимые диапазоны цветового пространства и разные разрешённые уровни напряжения сигналов. В качестве наглядного примера приведём показанные на рисунке 111 сигналы цветowych полос с насыщенностью 100 % в цветовой системе YPbPr для форматов высокой чёткости и стандартной чёткости. Отметим разницу в уровнях сигналов, особенно переход зелёный-пурпурный. Если бы вам приходилось иметь дело только с форматами стандартной чёткости, то вы могли бы полагать, что сигнал высокой чёткости требует настройки, однако это совсем не так. Различные колориметрические уравнения, как это показано в таблице 1, дают в результате разные уровни для двух видеосигналов. Оба сигнала настроены правильно. Следует помнить, что для сигналов высокой чёткости используется колориметри-

ческое уравнение, в основе которого лежит рекомендация ITU BT-R709, а для сигналов стандартной чёткости — рекомендация ITU BT-R601 (SMPTE 125M). Преобразование этих сигналов из одного видеоматриата в другой может вызвать искажения в видеоизображении.

В процессе окончательного монтажа важно добиться того, чтобы видеоизображение, графика и титры находились в пределах цветовой гаммы на протяжении всего разнообразия форматов и цветowych преобразований, которым подвергался сигнал. Важно добиться сохранения точности воспроизведения цветов в видеоматериале. Так, например, при производстве видео высокой чёткости для графики был выбран насыщенный пурпурный фон, созданный в формате RGB. В ходе послесъёмочной обработки этот сигнал может пройти несколько преобразований цветового пространства, и при этом точность воспроизведения цветов изображения может быть потеряна. Когда видео будет окончательно транслироваться в виде композитного сигнала, фон картинки может оказаться грязно-лиловым из-за того, что при обработке видеосигнала в него были внесены искажения. Преобразование из исходного цвета RGB не может быть доставлено в этом виде через видеоканал, и в результате окончательный цвет не отображает оригинальный замысел.

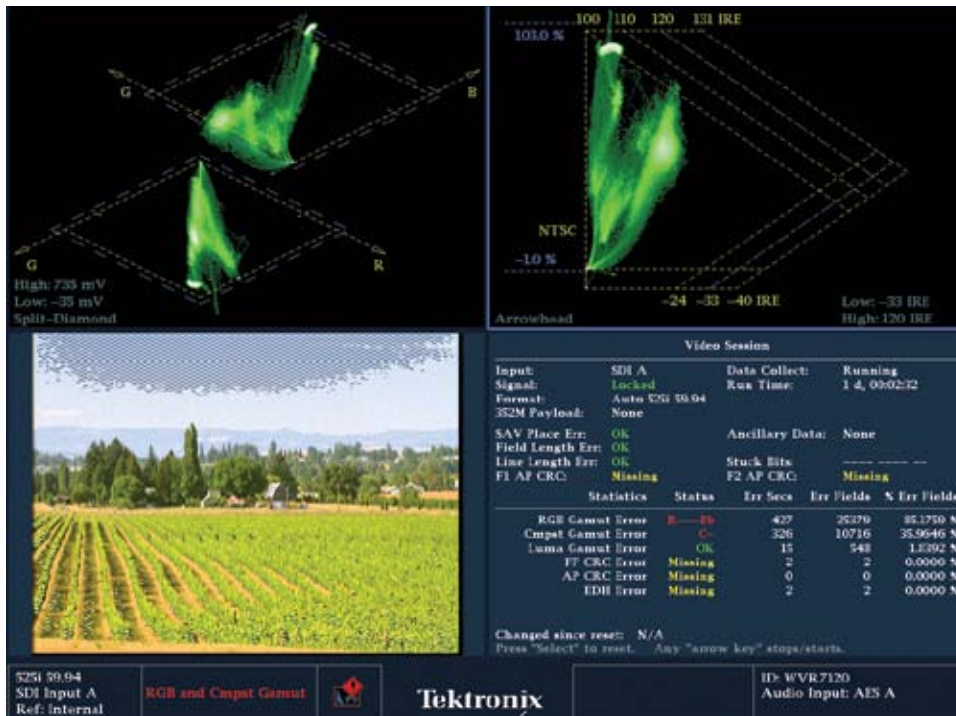


Рис. 112. Отображение ошибок цветовой гаммы на дисплее WVR7120

Для выявления ошибок цветовой гаммы в видеосигнале могут использоваться мониторы и растерайзеры сигналов. Существует несколько подходов, выбор которых зависит от способа обработки видеосигнала.

Простые индикаторы оповещения об ошибках цветовой гаммы расположены в строке состояния прибора. Тип ошибки указывается в окне «Video Session» (Видеосессии). Буквами верхнего и нижнего регистра обозначаются границы цветовой гаммы, за которые вышли значения сигналов. Так, например, на рисунке 112 показан дисплей прибора, в строке состояния которого красным цветом выделены сообщения об ошибках цветовой гаммы сигнала RGB и композитного сигнала. В окне «Video Session» ошибке цветовой гаммы сигнала RGB соответствует сообщение «R—Bb». Заглавные буквы «R—B» показывают, что верхний предел цветовой гаммы был превышен сигналами красного и синего каналов. Строчная буква «b» показывает, что, кроме того, сигналом синего канала был превышен нижний предел цветовой гаммы. Используя режим «Diamond» монитора сигналов WVR7120, пользователь может с помощью корректора цвета отрегулировать усиление красного и синего компонентов так, чтобы слишком высокие амплитуды сигналов вошли в границы диаграммы, обозначенные голубыми пунктирными линиями. Путём регулировки нижнего уровня чёрного для кана-

ла синего цвета можно настроить уровни канала синего так, что они войдут в пунктирные границы диаграммы. В ходе этого процесса пользователь должен строго контролировать проводимые им настройки, чтобы быть уверенным, что в результате в сигнал не будут внесены другие искажения цветовой гаммы. Эти ошибки также будут отображаться в строке состояния и в окне «Video Session». Кроме того, пользователь может включить окно с тестируемой картинкой, на которой будет выделена область с нарушениями цветовой гаммы. Как видно из рисунка 112, в этой области изображение будет заштриховано.

Аналогичную процедуру можно проделать и в отношении ошибок цветовой гаммы композитного сигнала. В этом случае сигнал яркости находится в установленных пределах, а заглавная буква «C» означает, что амплитуда сигнала цветности выходит за верхнюю границу. Используя режим «Arrowhead», оператор может отрегулировать уровень амплитуды таким образом, чтобы осциллограмма лежала в границах диаграммы. При этом оператор должен быть уверен, что в ходе регулировки он не вносит в сигнал другие ошибки. Возможности прибора по цифровой обработке сигналов позволяют оператору осуществлять настройки цветовой гаммы композитного сигнала без предварительного его преобразования в аналоговый композитный формат.

Обеспечение качества (Quality Assurance, QA) является важнейшей частью процесса производства видео. У телекомпаний и поставщиков видеопрограмм обычно есть спецификации, детализирующие требования, которым должны соответствовать программы. Соблюдение этих требований обеспечивает совместимость и соответствие ограничениям, устанавливаемым телекомпаниями и поставщиками программ. Эти спецификации могут содержать требования к расположению логотипов, титров и графических образов, относящихся к художественному оформлению программ. Кроме того, они могут содержать требования к уровням аудио- и видеосигналов. В настоящее время действует выпущенная Европейским союзом вещания Рекомендация EBU-R103, в которой изложены технические требования к цветовой гамме RGB и предельные значения для сигналов яркости (рис. 113). В последние модели мониторов и растерайзеров видеосигналов компании Tektronix заранее введены спецификации, соответствующие EBU-R103, которые устанавливают предельные значения параметров цветовой гаммы. Этой спецификацией, в частности, разрешены допусковые значения $\pm 5\%$ (от -35 мВ до 735 мВ)

Diamond High	735 mV /...
Diamond Low	-35 mV /...
Diamond Area	1 % /...
Reset Diamond Defaults	Press SEL
Arrowhead NTSC Min	-33 IRE /...
Arrowhead NTSC Max	120 IRE /...
Arrowhead PAL Min	-230 mV /...
Arrowhead PAL Max	930 mV /...
Arrowhead Area	0 % /...
Reset Arrowhead NTSC Defaults	Press SEL
Reset Arrowhead PAL Defaults	Press SEL
Luma Min	-1.0 % /...
Luma Max	103.0 % /...
Luma Area	1 % /...
Reset Luma Defaults	Press SEL
Reset EBU-R103 Defaults	Press SEL

Рис. 113. Окно WVR7120 с границами цветовой гаммы в соответствии с рекомендацией EBU-R103

Описание пределов

	Описание	Разрешённый диапазон	Пределы в соответствии с EBU R103	Приборы Tektronix, по умолчанию
Верхняя граница ромба (Diamond High)	Устанавливает уровень, выше которого компонент RGB считается слишком большим и вышедшим за пределы палитры.	756 мВ 630 мВ	735 мВ	721 мВ
Нижняя граница ромба (Diamond Low)	Устанавливает уровень, ниже которого компонент RGB считается слишком низким и вышедшим за пределы палитры.	+35 мВ -50 мВ	-35 мВ	-21 мВ
Область (Area)	Определяет процентную долю пикселей изображения, которые могут выпасть из палитры, но пока не считаются ошибкой цветовой гаммы.	0-10%	1%	0%
Клин, NTSC, мин. (Arrowhead NTSC Min)	Устанавливает минимальный допустимый уровень композитного сигнала NTSC, полученного из сигнала SDI.	-10 IRE -50 IRE		-24 IRE
Клин, NTSC, макс. (Arrowhead NTSC Max)	Устанавливает максимальный допустимый уровень композитного сигнала NTSC, полученного из сигнала SDI.	135 IRE 90 IRE		120 IRE
Клин, PAL, мин. Arrowhead PAL Min	Устанавливает минимальный допустимый уровень композитного сигнала PAL, полученного из сигнала SDI.	-100 мВ -400 мВ		-230 мВ
Клин, PAL, макс. Arrowhead PAL Max	Устанавливает максимальный допустимый уровень композитного сигнала PAL, полученного из сигнала SDI.	950 мВ 630 мВ		930 мВ
Клин, область (Arrowhead Area)	Определяет процентную долю пикселей изображения, которые могут выпасть из палитры, но пока не считаются ошибкой цветовой гаммы.	0-10%	0%	
Сигнал яркости, мин. (Luma Min)	Устанавливает минимальный допустимый уровень сигнала яркости входящего сигнала SDI и композитного сигнала, полученного из сигнала SDI.	+5% -6%	-1%	-1%
Сигнал яркости, макс. (Luma Max)	Устанавливает максимальный допустимый уровень сигнала яркости входящего сигнала SDI и композитного сигнала, полученного из сигнала SDI.	108% 90%	103%	103%
Сигнал яркости, область (Luma Area)	Определяет процентную долю пикселей изображения, которые могут выходить за установленные пределы сигнала яркости, но пока не считаются ошибкой.	0-10%	1%	0%

Таблица 39


VIDEO CONTENT	Screen Text/Icon	Logging	Beep	SNMP Trap	Ground Closure
RGB Gamut	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Composite Gamut	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Luma Gamut	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
					

Рис. 114. Окно конфигурирования режима оповещения об ошибках видеоконтента

для цветовой гаммы RGB, 1 % для области, 103 % и –1 % для сигнала яркости. Прибор позволяет свободно конфигурировать пороговые значения в пределах допустимых диапазонов. Чтобы соответствовать требованиям разных продюсеров и телекомпаний, пользователь может выбирать различные спецификации цветовой гаммы.

После установки значений допустимых пределов необходимо настроить соответствующие параметры оповещения об ошибках цветовой гаммы и других режимов. Сообщения об ошибках будут оповещать пользователя о проблемах в видеоматериале. При появлении ошибки система оповещения может запустить одну из следующих функций: вывод текстового сообщения и пиктограммы (Screen Text/Icon) на экран, подача звукового сигнала (Beep), запись в журнале регистрации ошибок (Logging), сообщение диспетчеру SNMP (SNMP Trap) или подача сигнала на интерфейс подключения внешнего оборудования (Ground Closure) (рис. 114). Функция записи в журнале ошибок позволяет регистрировать время появления этих ошибок в привязке к сигналам встроенного тактового генератора прибора или тайм-коду, при его наличии. Регистрация ошибок в привязке к тайм-коду облегчает локализацию ошибок в материале программы. Журнал ошибок по сетевому соединению может быть загружен в компьютер, а затем распечатан или прикреплен к отчёту.

Заключение

Целью данного учебного пособия является предоставление базовой информации по переводу телевизионных студий с аналоговых на цифровые форматы и форматы видео высокой чёткости.

В наше время специалисты в области видео сталкиваются с множеством проблем, и переход на цифровые форматы является одной из них, обещая при этом долгосрочную отдачу. Обычные телекомпании и студии производства видеопрограмм будут работать с обоими форматами стандартной и высокой чёткости. Новые цифровые форматы являются естественным продолжением привычного аналогового видео, предоставляя широчайшие возможности для творчества, более высокий уровень производительности и надёжности для инженеров, а также новые захватывающие впечатления для потребителя. Всё это стимулирует дальнейший рост и процветание отрасли.

Будущее обещает нам много перемен. Авторы надеются, что переход с аналогового на цифровое видео будет среди наиболее полезных.

Приложение А. Цвет и цветовые измерения

Технические требования к цветам в телевидении основываются на стандартах, определённых CIE (Commission Internationale de L'Éclairage — Международная комиссия по освещению, МКО) в 1931 году. Эта система основана на экспериментальных данных с группой наблюдателей, приводящих цвета в соответствие с аддитивной смесью трёх основных цветов — красного, зелёного и синего. Среднее значение результатов этих экспериментов приведено на графике, который показывает функцию согласования цветов (рис. А1) стандартного (среднего) наблюдателя. Координаты цветов RGB ограничены рамками цветовой гаммы и не могут синтезировать все цвета. Для генерирования полного диапазона цветов требуются и отрицательные значения RGB, однако это не соответствует модели телевизионной колориметрии. Документами МКО специфицирован идеализированный набор цветовых координат XYZ. Эти координаты представляют собой набор положительных значений, полученных преобразованием цветовых координат RGB. В нём величина Y пропорциональна значению яркости в аддитивной смеси. Эта спецификация используется в качестве основы цветов в современных видеостандартах.

Стандартами МКО установлена процедура нормализации цветовых координат XYZ с целью получения двумерного графика зависимости значений X и Y для относительной величины яркости, как это определено приведёнными ниже уравнениями. Значение цвета наносится на график в виде точки (x, y) на диаграмме цветности, показанной на рис. А2.

$$x = X / (X + Y + Z)$$

$$y = Y / (X + Y + Z)$$

$$z = Z / (X + Y + Z)$$

$$1 = x + y + z$$

Для различных видеоформатов определены свои значения границ, которые показывают возможные значения цветов для данного формата. Треугольники с цветовым кодированием (SMPTE = жёлтый, EBU/PAL/SECAM = синий, NTSC 1953 = зелёный) на рисунке А3 заданы координатами x, y в таблице А1.

Выбор значений координат x, y зависит от типа люминофора, используемого в электронно-лучевой трубке (ЭЛТ). Люминофоры, определённые стандартом NTSC от 1953 года, были впоследствии замещены люминофорами, описанными в стандартах EBU и SMPTE в связи с требованиями на более яркие дисплеи.

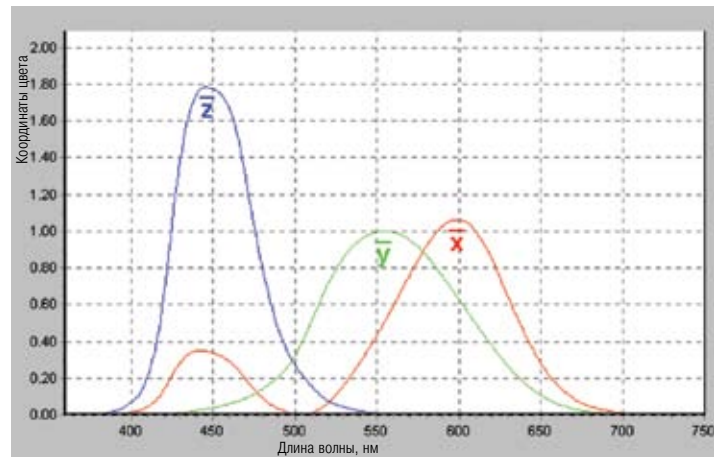


Рис. А1. Функция согласования цветов (двухуровневый наблюдатель) в соответствии с МКО 1931

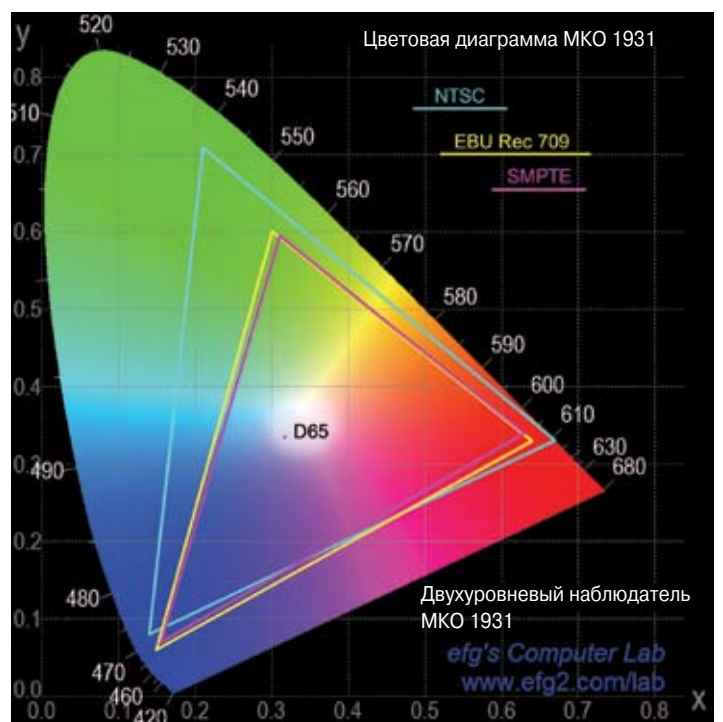


Рис. А2. Цветовая диаграмма X-Y с координатами цветности для SMPTE, EBU/PAL/SECAM и NTSC 1953

Белый

Важным фактором при описании цветов является определение белой точки системы. В каждом формате белая точка определяется как результат сложения красного, зелёного и синего в равных количествах.

Международная комиссия по освещению в 1931 году определила несколько типов стандартных источников света:

- источник типа А: лампа накаливания с вольфрамовой нитью с цветовой температурой 2854 К;
- источник типа В: модель прямого солнечного света в полдень с цветовой температурой 4800 К;
- источник типа С: модель рассеянного дневного света с цветовой температурой 6504 К.

Источник света типа С (Источник С) был использован при исходном определении стандарта NTSC. Позже МКО была определена дополнительная серия стандартных источников дневного света, которые назвали источниками дневного света серии D. Источник света типа D₆₅ с цветовой температурой 6504 К имеет немного другие цветовые координаты x, y (по сравнению с источником типа С). В современных видеостандартах используется, главным образом, источник типа D₆₅.

Каждый из источников имеет белую точку с определёнными координатами x, y на диаграмме цветности.

Источник света типа А	$x = 0,4476$	$y = 0,4075$
Источник света типа В	$x = 0,3484$	$y = 0,3516$
Источник света типа С	$x = 0,3101$	$y = 0,3162$
Источник света типа D ₆₅	$x = 0,3127$	$y = 0,3290$

В действующих на сегодняшний день стандартах принято допущение, что телевизионные студии освещаются осветительными приборами с характеристиками источника типа D₆₅. На практике освещение студии отличается от стандартного источника D₆₅, но путём регулировки уровней красного, зелёного и синего компонентов можно откорректировать баланс белого камеры.

SMPTE	КРАСНЫЙ		ЗЕЛЁНЫЙ		СИНИЙ	
	Xr	Yr	Xg	Yg	Xb	Yb
	0,630	0,340	0,310	0,595	0,155	0,070
Источник D ₆₅	$x = 0,3127$		$y = 0,3290$			
EBU (Rec 709)	КРАСНЫЙ		ЗЕЛЁНЫЙ		СИНИЙ	
	Xr	Yr	Xg	Yg	Xb	Yb
	0,640	0,330	0,300	0,600	0,150	0,060
Источник D ₆₅	$x = 0,3127$		$y = 0,3290$			
PAL/SECAM	КРАСНЫЙ		ЗЕЛЁНЫЙ		СИНИЙ	
	Xr	Yr	Xg	Yg	Xb	Yb
	0,640	0,330	0,290	0,600	0,150	0,060
Источник D ₆₅	$x = 0,3127$		$y = 0,3290$			
NTSC (1953)	КРАСНЫЙ		ЗЕЛЁНЫЙ		СИНИЙ	
	Xr	Yr	Xg	Yg	Xb	Yb
	0,670	0,330	0,210	0,710	0,140	0,080
Источник С	$x = 0,3101$		$y = 0,3162$			

Таблица А1. Координаты цветов x, y для различных форматов в соответствии со стандартами МКО

Красный, зелёный и синий компоненты

Компоненты в какой бы то ни было форме являются необходимой частью любой цветной телевизионной системы. Цветные камеры обычно разлагают свет в изображении, генерируя в результате видеосигналы трёх основных цветов: красного, зелёного и синего. Так как каждый из этих R'G'B' сигналов с гамма-коррекцией несёт только часть информации об изображении, и все они необходимы для воссоздания полной картинки, то они называются «компонентами» цветного видеосигнала. Если использовать универсальное значение этого термина, то можно сказать, что каждый компонент — это необходимая, но не достаточная часть целого. Основные компонентные R'G'B' сигналы используются ещё раз на выходе телевизионной системы для вывода изображения на экран монитора или телевизора. Вследствие этого можно сказать, что одна из главных задач телевизионной студии состоит в том, чтобы пронести эти компонентные сигналы через все процессы распределения, технической и художественной обработки и доставить их на дисплей для просмотра.

Некоторые виды оборудования, особенно в прошлом, распространяли сигналы RGB за пределы видеокамеры (или блока управления видеокамерой), при этом видеосигналы почти всегда преобразовывались или кодировались в другие форматы для записи, взаимосвязи или передачи на дальние расстояния, а затем декодировались для отображения на дисплее.

Другим способом описания основных цветов — красного, зелёного и синего — является представление с помощью трёхмерного цветового куба $R'G'B'$. Как показано на рисунке A3, все цвета могут быть отображены внутри границ цветового куба RGB.

При разработке цветных телевизионных систем особое внимание уделялось проблеме совместимости с существовавшими в то время чёрно-белыми телевизионными приёмниками. Сигнал яркости с гамма-коррекцией, Y' , создаётся из сигналов красного, зелёного и синего каналов, получаемых с видеокамеры, с целью передачи на чёрно-белые или цветные телеприёмники в виде монохромного изображения. Зная разность между монохромным сигналом или сигналом канала яркости, и сигналами

любого из двух цветовых каналов, можно легко восстановить красный, зелёный и синий компоненты для подачи на кинескоп. Поскольку чувствительность человеческого зрения к зелёному цвету в наибольшей степени соответствует восприятию яркости, большая часть информации этого цветового сигнала используется для получения сигнала яркости, а оставшиеся красный и синий цветоразностные сигналы могут быть переданы в более узкой полосе пропускания.

Сигнал яркости и два цветоразностных сигнала содержат всю информацию, необходимую для отображения любого цвета из всего спектра цветов исходного изображения. Основной набор из трёх компонентов (R' , G' и B') путём простого матричного преобразования (см. рис. A4) превращается в новый набор из трёх компонентов (Y' , $R'-Y'$, $B'-Y'$). Цветоразностная форма представления сигналов имеет два преимущества по сравнению с $R'G'B'$. Во-первых, для передачи необходимой информации требуется более узкая полоса пропускания: цветоразностной системе нужен только один широкополосный канал, потому что мелкие детали изображения переносятся сигналом яркости. В системе $R'G'B'$, с другой стороны, широкая полоса пропускания требуется для всех трёх каналов. Во-вторых, набор цветоразностных компонентов менее подвержен искажениям коэффициента усиления по сравнению с компонентами $R'G'B'$.

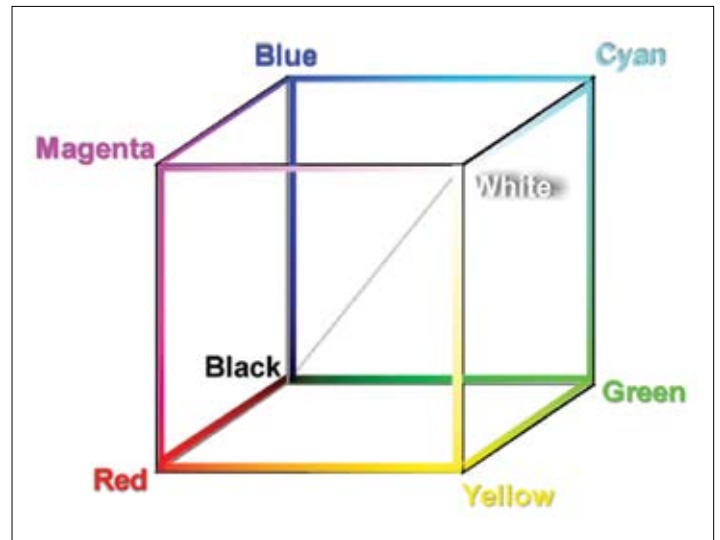


Рис. A3. Цветовой куб $R'G'B'$

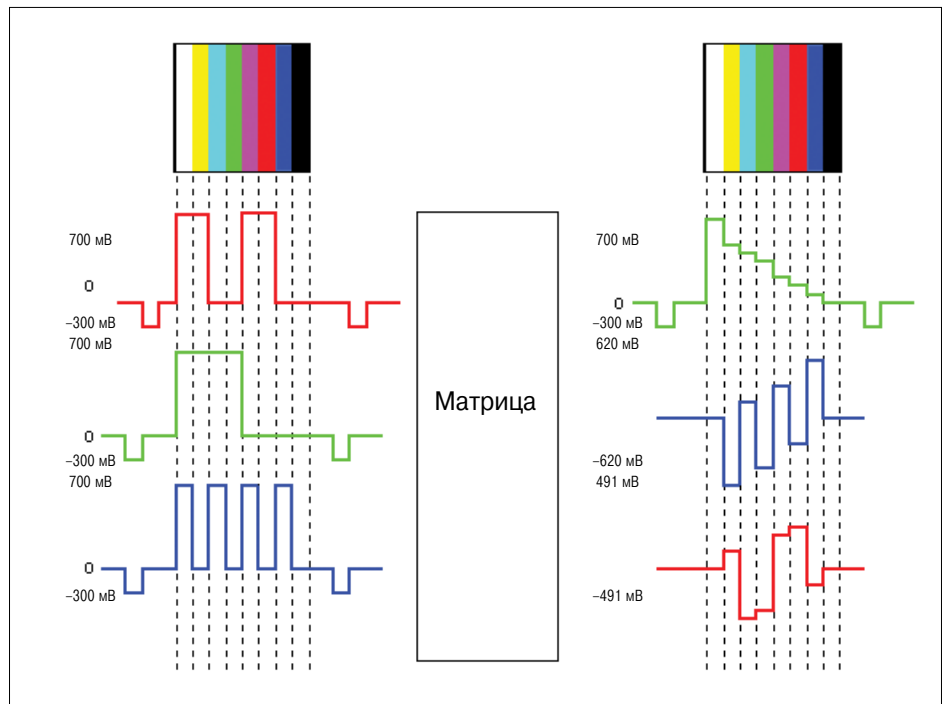


Рис. A4. Преобразование сигнала $R'G'B'$ в цветоразностный сигнал

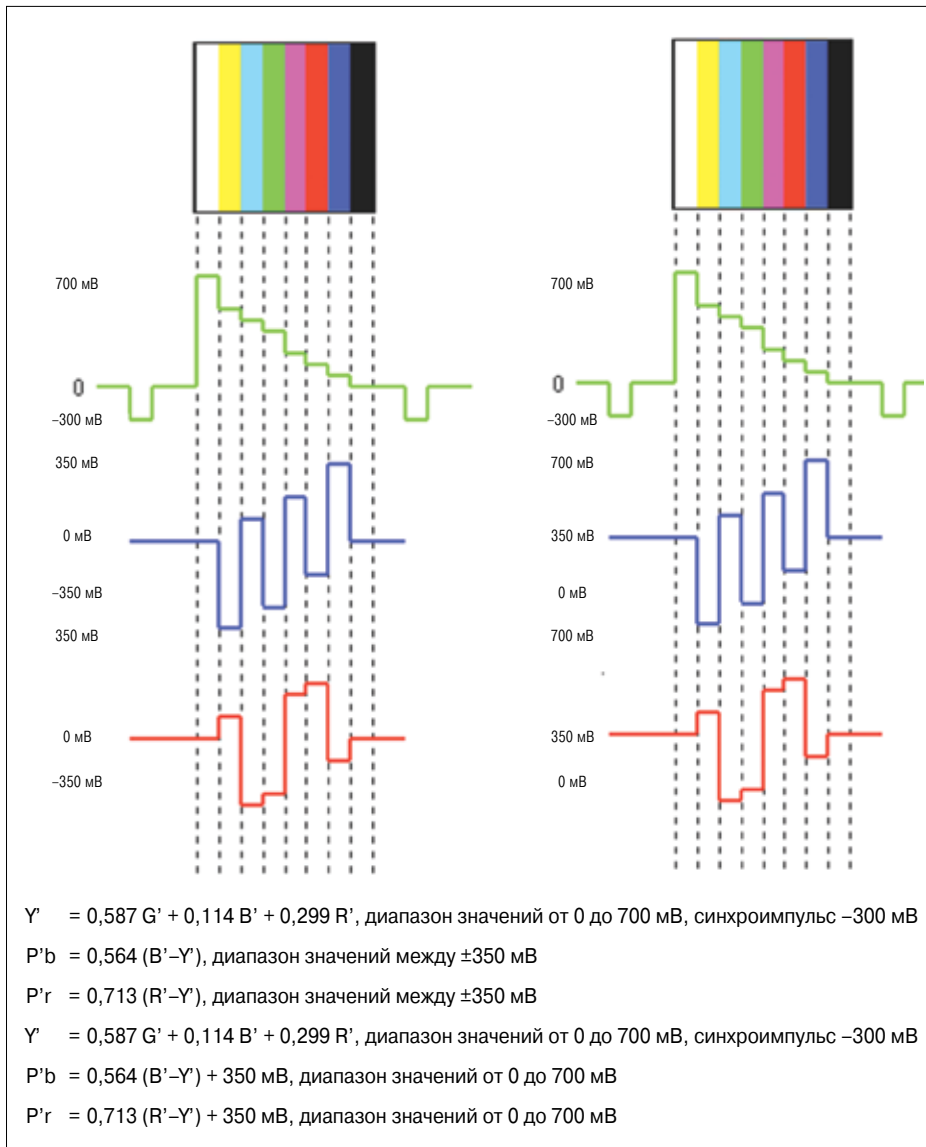


Рис. А5. Цветоразностные сигналы, масштабированные и смещённые для цифрового квантования

Низкий уровень в любом из цветоразностных каналов может вызвать лишь незначительные изменения оттенка или насыщенности цвета. А низкий уровень в каком-либо из компонентов $R'G'B'$ может привести к заметному искажению цвета изображения. Идея преобразования сигналов $R'G'B'$ в один сигнал яркости и два цветоразностных сигнала оказалась очень полезной. В настоящее время такие сигналы, с относительно небольшими изменениями, лежат в основе всех действующих компонентных видеоформатов, а также композитных вещательных стандартов во всём мире.

Для форматов стандартной чёткости (рис. А4):

- $Y' = 0,587 G' + 0,114 B' + 0,299 R'$, диапазон значений от 0 до 700 мВ, синхроимпульс -300 мВ;
- $B' - Y' = -0,587 G' + 0,866 B' - 0,299 R'$, диапазон значений между ± 620 мВ;
- $R' - Y' = -0,857 G' - 0,114 B' + 0,701 R'$, диапазон значений между ± 491 мВ.

Среди специалистов, занимающихся компонентным видео, компонентные сигналы $R'G'B'$ часто называют « $G'B'R'$ », потому что большая часть информации, переносимой сигналом яркости, состоит из информации зелёного канала. Следовательно, есть некоторая аналогия между форматами $Y'P'bP'r$ и $G'B'R'$.

Для упрощения процедуры обработки цветоразностных сигналов в различных системах их значения (рис. А5) сначала масштабируются, чтобы они имели одинаковый динамический диапазон ± 350 мВ. Такой аналоговый компонентный сигнал обозначается как $Y'P'bP'r$. В цифровой компонентной системе в цветоразностные сигналы внесено смещение, позволяющее обеспечить одинаковые диапазоны обработки для сигналов яркости Y' и цветоразностных сигналов. Такая система обозначается как $Y'C'bC'r$.

Выполнение матрицирования и масштабирования предотвращает возможное повреждение сигналов $Y'CbCr$ при обратном преобразовании этих сигналов в формат RGB. Как показано на рис. А6, только примерно 25 % всех возможных значений сигнала в области $Y'CbCr$ используются для представления полного спектра цветов в области RGB. В этой связи, при переносе сигналов в другие форматы нужно соблюдать осторожность, чтобы в процессе преобразования динамический диапазон не вышел за установленные пределы.

Цветовая гамма.

Разрешённые и допустимые значения

Термин «цветовая гамма» используется для обозначения диапазона или палитры воспроизводимых телевизионной системой цветов, когда объект съёмки освещается опорным белым (стандартным источником света D_{65} для NTSC/PAL). Цветовая гамма определяется значением цветности или координатами цветности МКО для данной системы. Этот диапазон цветов с переменной насыщенностью воспроизводится на экране видеомонитора значениями красного, зелёного и синего сигналов или сигналов $R'G'B'$. При равенстве значений компонентов (т.е., $R' = G' = B'$) изображение становится бесцветным в пределах, необходимых для отображения оттенков серого на правильно отрегулированном видеомониторе. В противном случае для ненулевых значений насыщенности проявится цветной оттенок. Все воспроизводимые цвета в палитре доступны при независимой настройке значений сигналов $R'G'B'$.

Так как значения сигналов $R'G'B'$ напрямую воплощают эти цвета, термин «цветовая гамма» часто используется для обозначения диапазона цветов, представляемых всеми комбинациями сигналов $R'G'B'$, которые лежат в разрешённых границах от 0 до 700 мВ. Сигналы $R'G'B'$, выходящие за пределы этого диапазона напряжений, могут создавать нужный цвет на данном видеомониторе, но они находятся вне допустимой цветовой гаммы. Они могут быть обрезаны или сжаты при последующей обработке сигналов, что приведёт к искажению цветов при отображении на другом видеомониторе.

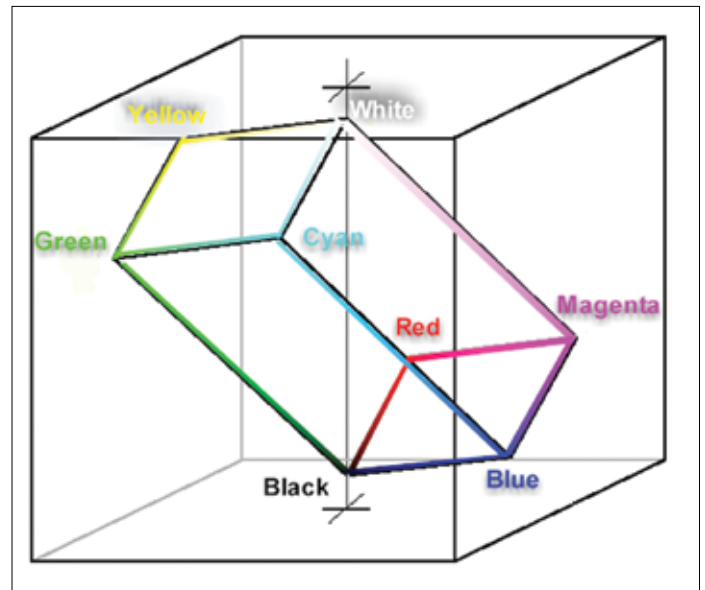


Рис. А6. Трёхмерное цветовое пространство $Y'CbCr$

То же происходит и в цветовом пространстве $R'G'B'$. Любой сигнал, выходящий за верхнюю или нижнюю границы, является недопустимым, так как цвет выпадает из допустимой цветовой гаммы. Кроме того, он является и неразрешённым, так как один или несколько компонентов превышают разрешённые пределы.

Разрешёнными сигналами считаются такие сигналы, которые не нарушают пределы напряжения сигнала, установленные для конкретного формата, т.е. сигналы, лежащие в разрешённых пределах для данного формата. Точно так же разрешённый сигнал в цветоразностном формате, таком как $Y'CbCr$, может быть недопустимым в формате, в котором он представляет сигнал, выходящий за пределы допустимой цветовой гаммы. Такой недопустимый сигнал при преобразовании в формат $R'G'B'$ будет всегда порождать неразрешённый сигнал.

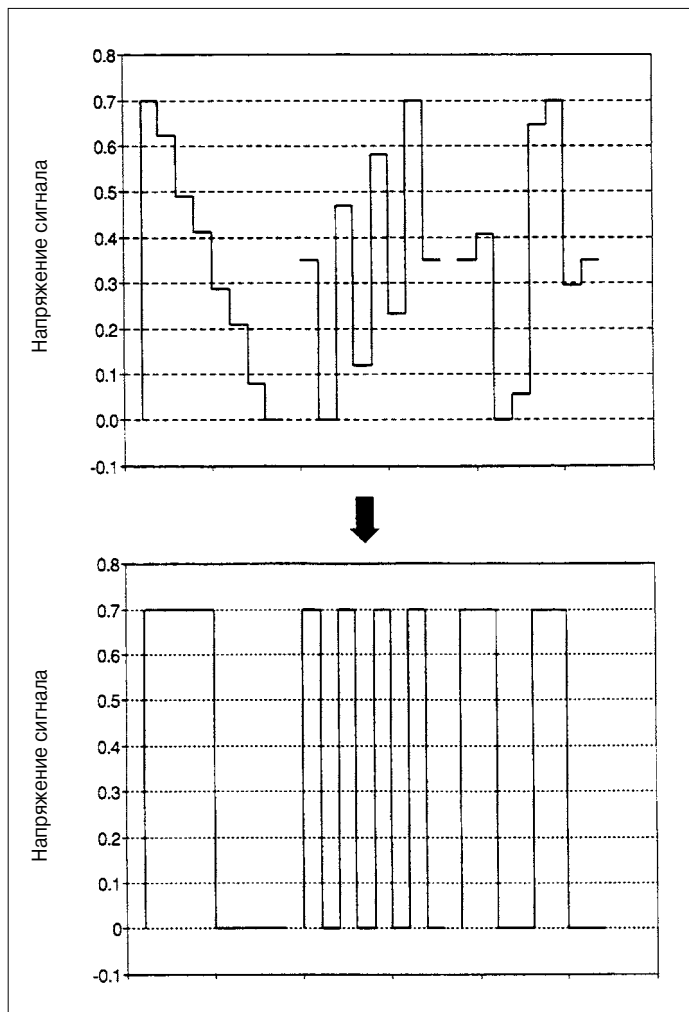


Рис. А7. Допустимый цветоразностный сигнал может быть преобразован в разрешённый сигнал RGB

Допустимым сигналом считается сигнал, который находится в пределах цветовой гаммы и остаётся разрешённым при преобразовании в любой другой формат. Допустимый сигнал будет всегда разрешённым, но разрешённый сигнал необязательно является допустимым. Последнее чаще всего случается с цветоразностными компонентными сигналами, уровни которых не являются независимыми, в отличие от систем RGB. На рисунках А7 и А8 показано, как простое искажение усиления в цветоразностном компонентном сигнале может сделать сигнал недопустимым, но при этом он, тем не менее, остаётся разрешённым.

На рисунке А7 показан разрешённый и допустимый цветоразностный сигнал (сверху), преобразованный в разрешённый сиг-

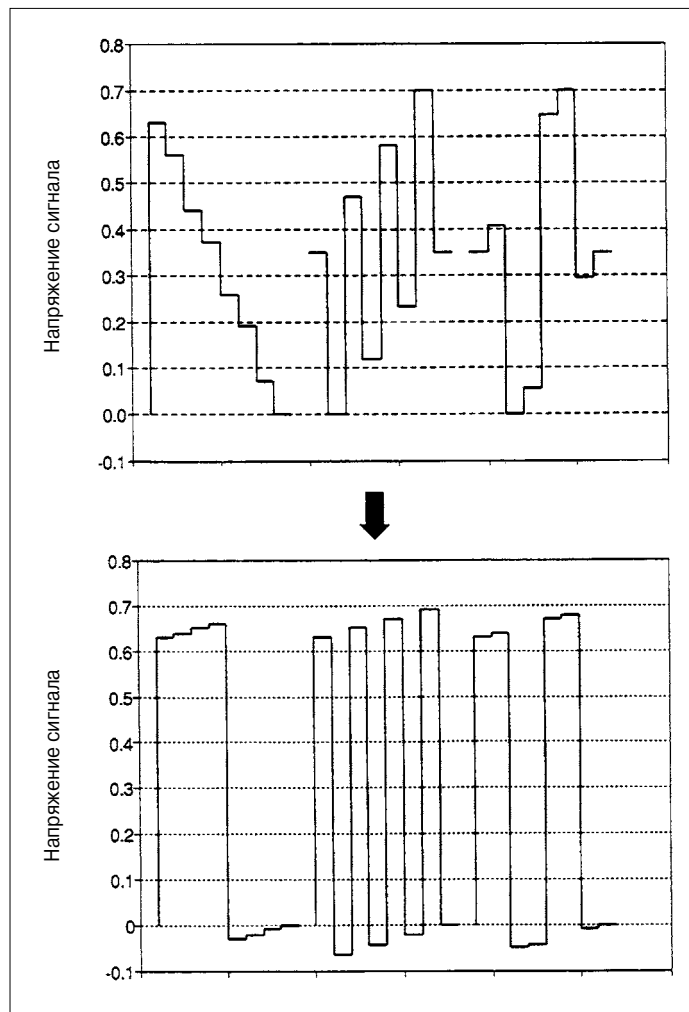


Рис. А8. Недопустимый сигнал, разрешённый в одном формате, но неразрешённый после преобразования

нал RGB (снизу). На рисунке А8 показан цветоразностный сигнал (сверху), у которого имеются искажения в канале яркости: в нём относительное усиление составляет всего 90 % от требуемого. Когда этот искажённый сигнал преобразуется в формат RGB (снизу), в результате получается неразрешённый сигнал: в нём все три компонента лежат ниже минимально допустимого уровня сигнала. Так как искажённый цветоразностный сигнал не может быть преобразован в разрешённый сигнал RGB, он является недопустимым. Отметим, что и другие виды искажений способствуют образованию недопустимых сигналов.

Допустимые сигналы могут преобразовываться, кодироваться и вводиться в любую часть видеосистемы, не вызывая проблем, связанных с амплитудой.

Таблицы преобразования форматов

В приведённых таблицах преобразования показано, как осуществляется перевод значений Y'P'bP'r в G'B'R'. В таблице A2 значения сигнала цветных полос со 100 % насыщенностью переведены из формата G'B'R' в формат Y'P'bP'r. Значения сигналов не выходят за пределы динамического диапазона R'G'B' (от 0 до 700 мВ), поэтому в результате преобразования формируются сигналы, значения которых не выходят за пределы аналогового динамического диапазона формата Y'P'bP'r (от 0 до 700 мВ для канала яркости и ±350 мВ для цветоразностных каналов). Про такой сигнал говорят, что он Разрешённый и Допустимый. Сигнал считается Разрешённым, если он лежит в пределах динамического диапазона данного формата. Сигнал считается Допустимым, если он представляет цвет, попадающий в допустимые пределы цветовой гаммы. При перекодировке такого сигнала в формат R'G'B' всегда получается разрешённый сигнал R'G'B'.

Когда сигнал выходит за пределы динамического диапазона данного формата, он становится неразрешённым. В таблице A3 показаны сигналы, которые являются разрешёнными в пространстве Y'P'bP'r. Однако когда эти сигналы преобразуются в формат G'B'R', некоторые из них выходят за пороговые значения 0-700 мВ, что означает, что эти сигналы являются недопустимыми и что описываемые ими цвета лежат за приемлемыми пределами цветовой гаммы. Искажение в сигналы может вноситься технологическим оборудованием, которое обрабатывает сигналы в рамках определённого для данного формата диапазона и может обрезать сигналы, выходящие за его пределы. Компания Tektronix для своих измерительных приборов разработала специальные режимы, которые способны помочь операторам и инженерам в поддержании разрешённых и допустимых сигналов в установленных пределах.

Цветные полосы со 100% насыщенностью						
Цвет	G' (мВ)	B' (мВ)	R' (мВ)	Y' (мВ)	P'b (мВ)	P'r (мВ)
Белый	700	700	700	700	0	0
Жёлтый	700	0	700	620,2	-350,0	56,7
Циан	700	700	0	490,7	118,3	-350,0
Зелёный	700	0	0	410,9	-231,7	-293,3
Пурпурный	0	700	700	289,1	231,7	293,3
Красный	0	0	700	209,3	-118,3	350,0
Синий	0	700	0	79,8	350,0	-56,7
Чёрный	0	0	0	0	0	0

Таблица A2. Разрешённые и допустимые значения сигналов G'B'R' и эквивалентные им разрешённые и допустимые значения сигналов Y'P'bP'r

Y' (мВ)	P'b (мВ)	P'r (мВ)	G' (мВ)	B' (мВ)	R' (мВ)	Цвет
700	350	350	330	1320	1911	Неразрешённый GBR
700	-350	-350	1070	80	160	Неразрешённый GBR
700	0	350	450	700	1191	Неразрешённый GBR
700	0	-350	950	700	160	Неразрешённый GBR
700	350	0	580	1320	700	Неразрешённый GBR
700	-350	0	820	80	700	Неразрешённый GBR
700	0	0	700	700	700	Белый
0	350	350	-370	620	491	Неразрешённый GBR
0	-350	-350	370	-620	491	Неразрешённый GBR
0	0	350	-250	0	491	Неразрешённый GBR
0	0	-350	250	0	-491	Неразрешённый GBR
0	350	0	-120	620	0	Неразрешённый GBR
0	-350	0	120	-620	0	Неразрешённый GBR
0	0	0	0	0	0	Чёрный

Таблица A3. Разрешённые, но недопустимые значения сигналов Y'P'bP'r и эквивалентные им неразрешённые значения сигналов G'B'R'

Приложение В. Взаимосвязь тактовых сигналов в телевизионной системе

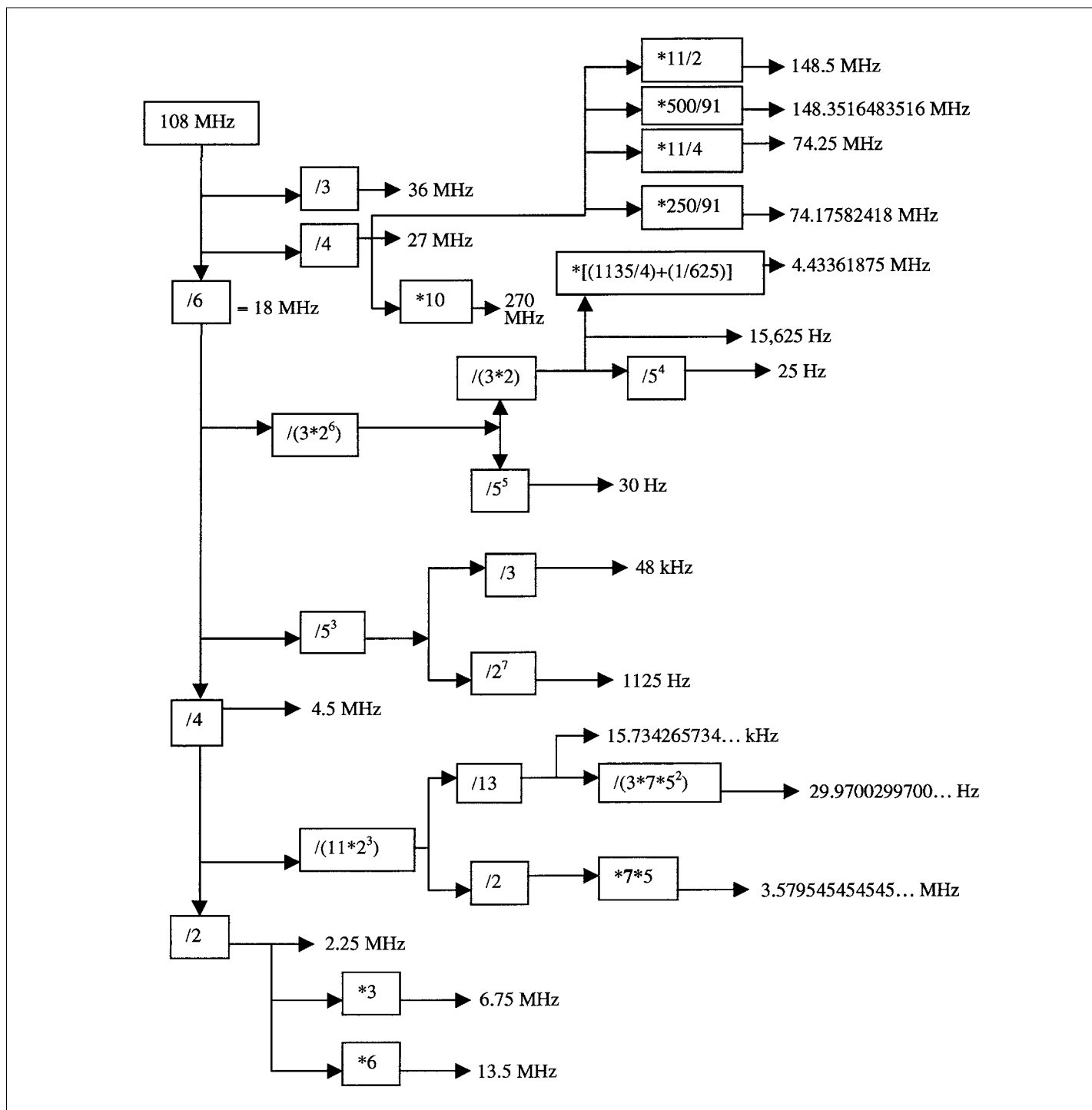


Рис. В1. Производные тактовые сигналы в видеосистеме

Приложение С. Параметры аналогового композитного видеосигнала стандартной чёткости

	PAL B/G	NTSC	SECAM	PAL-M	PAL-N
Тип синхроимпульса	отрицательный, двухуровневый	отрицательный, двухуровневый	отрицательный, двухуровневый	отрицательный, двухуровневый	отрицательный, двухуровневый
Частота поднесущей (МГц)	4,43361875	3,579545 4,250000	4,406250	3,57561149	3,58205625
Кол-во строк в кадре	625	525	625	525	625
Частота полей (Гц)	50,00	59,94	50,00	59,94	50,00
Частота строк (кГц)	15,625	15,734264	15,625	15,734264	15,625
Период строчной развертки (мкс)	64,000	63,555	64,000	63,555	64,000
Период строчного гасящего импульса (мкс)	12,05	10,90	12,05	10,90	12,05
Задняя площадка гасящего импульса (мкс)	5,8	4,7	5,8	4,7	5,8
Передняя площадка гасящего импульса (мкс)	1,55	1,50	1,55	1,50	1,55
Длительность синхроимпульса (мкс)	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
Амплитуда синхроимпульса (мВ)	-300	-286	-300	-286	-300
Амплитуда синхроимпульса (IRE)	-43	-40	-43	-40	-43
Время нарастания/спада фронта синхроимпульса (мкс)	0,200	0,250	0,200	0,250	0,200
Интервал от фронта синхроимпульса до начала цветowych поднесущих (мкс)	5,6	5,3	—	5,8	5,6
Длительность сигнала цветовой синхронизации (мкс)	2,25 ± 0,28	от 2,23 до 3,11	—	2,25 ± 0,28	2,51 ± 0,28
Длительность сигнала цветовой синхронизации (тактов поднесущей)	10 ± 1	9 ± 1	—	9 ± 1	9 ± 1
Амплитуда сигнала цветовой синхронизации (мВ)	300	286	166	286	300
Период полевой развёртки (мкс)	20	16,6833	20	16,6833	20
Период полевого интервала гашения (строк)	25	21	25	21	25

Таблица С1. Параметры композитного видеосигнала стандартной чёткости

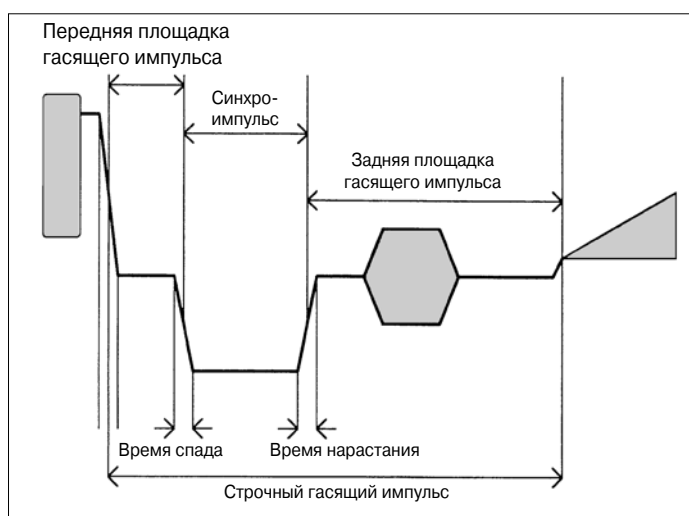


Рис. С1. Горизонтальный интервал в системах PAL и NTSC

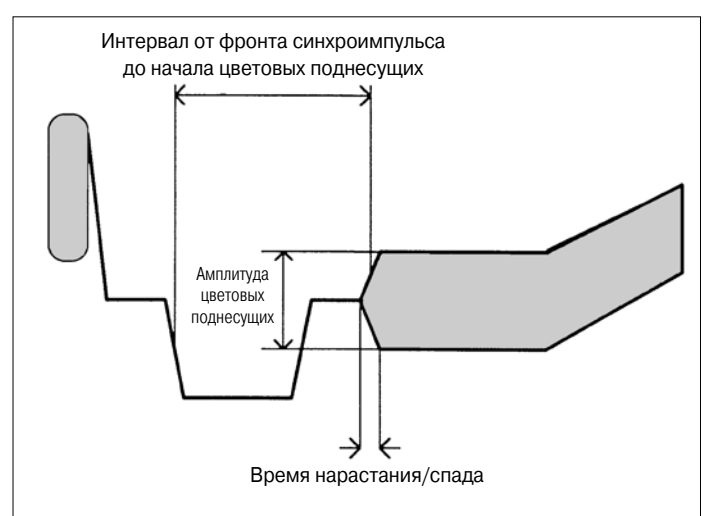


Рис. С2. Горизонтальный интервал в системе SECAM

Приложение D. Перечень стандартов и рекомендаций для телевидения

ANSI S4.40-1992/AES3, Digital Audio Engineering — Serial Transmission Format for Two-Channel Linearly Represented Digital Audio Data (Разработка цифрового аудио — Формат последовательной передачи для двухканальных линейно представленных цифровых аудиоданных).

ANSI/SMPTE 125M-1995, Television — Component Video Signal 4:2:2 — Bit-Parallel Digital Interface (Телевидение — Компонентный видеосигнал 4:2:2 — Параллельный цифровой интерфейс).

ANSI/SMPTE 170M-2004, Television — Composite Analog Video Signal — NTSC for Studio Applications (Телевидение — Композитный аналоговый видеосигнал — Формат NTSC для студийных приложений).

ANSI/SMPTE 240M-1999 (Archive 2004), Television — 1125-Line High-Definition Production Systems — Signal Parameters (Телевидение — Производственные системы для форматов высокой чёткости с 1125 строками — Параметры сигнала).

ANSI/SMPTE 259M-2008, Television — SDTV Digital Signal/Data — Serial Digital Interface (Телевидение — Цифровой сигнал/данные телевидения стандартной чёткости — Последовательный цифровой интерфейс).

SMPTE 260M-1999 (Archive 2004), Television — 1125/60 High-Definition Production System — Digital Representation and Bit-Parallel Interface (Телевидение — Производственные системы для форматов высокой чёткости 1125/60 — Цифровое представление и параллельный интерфейс).

ANSI/SMPTE 272M-2004, Television — Formatting AES/EBU Audio and Auxiliary Data into Digital Video Ancillary Data Space (Телевидение — Форматирование аудио и служебных данных в служебном пространстве цифрового видеосигнала).

ANSI/SMPTE 274M-2008, Television — 1920×1080 Image Sample Structure, Digital Representation and Digital Timing Reference Sequences for Multiple Picture Rates (Телевидение — Структура дискретизации изображения 1920×1080, цифровое представление и цифровые опорные последовательности для кратных частот кадров).

ANSI/SMPTE 291M-2006, Television — Ancillary Data Packet and Space Formatting (Телевидение — Форматирование пакета и пространства служебных данных).

ANSI/SMPTE 292M-2008, Television — 1.5 Gb/s Signal/Data Serial Interface (Телевидение — Последовательный интерфейс передачи сигналов/данных 1,5 Гбит/с).

ANSI/SMPTE 293M-2003, Television — 720×483 Active Line at 59.94-Hz Progressive Scan Production — Digital Representation (Телевидение — Производство видеформата 720×483 активных строк, с прогрессивной развёрткой и частотой кадров 59,94 Гц — Цифровое представление).

ANSI/SMPTE 294M-2001, Television — 720×483 Active Line at 59.94-Hz Progressive Scan Production — Bit-Serial Interfaces (Телевидение — Производство видеформата 720×483 активных строк, с прогрессивной развёрткой и частотой кадров 59,94 Гц — Последовательные интерфейсы).

ANSI/SMPTE 295M-1997, Television — 1920×1080 50 Hz — Scanning and Interface (Телевидение — 1920×1080 50 Гц — Развёртка и интерфейс).

ANSI/SMPTE 296M-2001, Television — 1280×720 Scanning, Analog and Digital Representation and Analog Interface (Телевидение — Развёртка 1280×720, аналоговое и цифровое представление, аналоговый интерфейс).

ANSI/SMPTE 299M-2004, Television — 24-Bit Digital Audio Format for HDTV Bit-Serial Interface (Телевидение — 24-разрядный цифровой аудиоформат для последовательного интерфейса телевидения высокой чёткости).

ANSI/SMPTE 305M-2005, Television — Serial Data Transport Interface (Телевидение — Последовательный интерфейс переноса данных).

ANSI/SMPTE 310M-2004, Television — Synchronous Serial Interface for MPEG-2 Digital Transport Stream (Телевидение — Синхронный последовательный интерфейс для цифровых транспортных потоков MPEG-2).

SMPTE 318M-1999, Television and Audio — Synchronization of 59.94 or 50 Hz Related Video and Audio Systems in Analog and Digital Areas — Reference Signals (Телевидение и аудио — Синхронизация 59,94 Гц и 50 Гц видео- и аудиосистем в аналоговой и цифровой области — Опорные сигналы).

ANSI/SMPTE 320M-1999, Television — Channel Assignments and Levels on Multichannel Audio Media (Телевидение — Распределение каналов и уровни в многоканальных аудиосредах).

ANSI/SMPTE 346M-2000 (Archive 2006), Television — Time Division Multiplexing Video Signals and Generic Data over High-Definition Television Interfaces (Телевидение — Мультиплексирование с разделением времени видеосигналов и общих данных через интерфейсы телевидения высокой чёткости).

ANSI/SMPTE 347M-2001 (Archive 2006), Television — 540 Mb/s Serial Digital Interface — Source Image Format Mapping (Телевидение — Последовательный цифровой интерфейс 540 Мбит/с — Преобразование формата исходного изображения).

ANSI/SMPTE 348M-2005 (Archive 2006), Television — High Data rate Serial Data Transport Interface (HD-SDTI) (Телевидение — Высокоскоростной последовательный интерфейс переноса данных (HD-SDTI)).

ANSI/SMPTE 349M-2001 (Archive 2006), Television — Transport of Alternate Source Image Formats through SMPTE292 (Телевидение — Перенос альтернативных форматов исходного изображения через SMPTE292).

ANSI/SMPTE 352M-2002, Television — Video Payload Identification for Digital Television Interfaces (Телевидение — Идентификация видеоконтента для цифровых телевизионных интерфейсов).

ANSI/SMPTE 372M-2002, Television — Dual Link 1.5 Gb/s Digital Interface for 1920×1080 and 2048×1080 Picture Formats (Телевидение — Цифровой интерфейс Dual Link 1,5 Гбит/с для форматов изображения 1920×1080 и 2048×1080).

ANSI/SMPTE 424M-2006, Television — 3 Gb/s Signal/Data Serial Interface (Телевидение — Последовательный интерфейс 3 Гбит/с для передачи сигналов и данных).

ANSI/SMPTE 425M-2008, Television — 3 Gb/s Signal/Data Serial Interface — Source Image Format Mapping (Телевидение — Последовательный интерфейс 3 Гбит/с для передачи сигналов и данных — Преобразование формата исходного изображения).

ANSI/SMPTE 428-1-2006, D-Cinema Distribution Master (DCDM) — Image Characteristics (Цифровое кино, оригинал для распространения — Характеристики изображения).

ANSI/SMPTE 428-9-2008, D-Cinema Distribution Master — Image Pixel Structure Level 3 — Serial Digital Interface Signal Formatting (Цифровое кино, оригинал для распространения — Структура пикселя изображения, уровень 3 — Форматирование сигнала последовательного цифрового интерфейса).

Приложение D. Перечень стандартов и рекомендаций для телевидения (продолжение)

SMPTE 2010-2008, (Revision of RP 2010-2007), Vertical Ancillary Data Mapping of ANSI/SCTE 104 Messages (Отображение вертикальных служебных данных в сообщениях ANSI/SCTE 104).

ANSI/SMPTE 2016-1-2007, Television — Format for Active Format Description and Bar Data (Телевидение — Формат для описания активного формата и панели данных).

ANSI/SMPTE 2016-2-2007, Television — Format for Pan-Scan Information (Телевидение — Формат для данных панорамирования и сканирования).

ANSI/SMPTE 2016-3-2007, Television — Vertical Ancillary Data Mapping of Active Format Description and Bar Data (Телевидение — Отображение вертикальных служебных данных описания активного формата и панели данных).

ANSI/SMPTE 2016-4-2007, Television — Vertical Ancillary Data Mapping of Pan-Scan Information (Телевидение — Отображение вертикальных служебных данных панорамирования и сканирования).

ANSI/SMPTE 2020-1-2008, Television — Format of Audio Metadata and Description of the Asynchronous Serial Bitstream Transport (Телевидение — Формат аудиометаданных и описание переноса асинхронного битового потока).

ANSI/SMPTE 2020-2-2008, Television — Vertical Ancillary Data Mapping of Audio Metadata — Method A (Телевидение — Отображение вертикальных служебных данных в случае аудиометаданных — Метод А).

ANSI/SMPTE 2020-3-2008, Television — Vertical Ancillary Data Mapping of Audio Metadata — Method B (Телевидение — Отображение вертикальных служебных данных в случае аудиометаданных — Метод В).

CIE Publication No 15.2, Colorimetry, Second Edition (1986), Central Bureau of the Commission Internationale de L'Eclairage, Vienna, Austria (Публикация МКО, № 15.2, Колориметрия, 2-е изд.).

ITU-R BT.601-6-2007 — Studio Encoding Parameters of Digital Television for Standard 4:3 and Wide-Screen 16:9 Aspect Ratios (Студийное кодирование параметров цифрового телевидения для стандартного 4:3 и широкоэкранный 16:9 форматов экрана).

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) (Интерфейсы для цифровых компонентных видеосигналов в 525- и 625-строчных телевизионных системах).

ITU-R BT.709-5-2002 — Parameter Values for the HDTV Standards for Production and International Programme Exchange (Значения параметров для стандартов ТВЧ для производства и международного обмена программами).

ITU-R BT.1120-2 — Digital Interfaces for 1125/60 and 1250/50 HDTV Studio Signals (Цифровые интерфейсы для студийных сигналов ТВЧ форматов 1125/60 и 1250/50).

SMPTE Engineering Guideline EG33-1998 — Jitter characteristics and measurements (Параметры джиттера и их измерение).

SMPTE RP160-1997 — Three-Channel Parallel Analog Component High-Definition Video Interface (Трёхканальный параллельный интерфейс аналогового компонентного видео высокой чёткости).

SMPTE RP165-1994 — Error Detection Checkwords and Status Flags for Use in Bit-Serial Digital Interfaces for Television (Контрольные слова для обнаружения ошибок и флаги состояния для использования в последовательных цифровых интерфейсах для телевидения).

SMPTE RP168-2002 — Definition of Vertical Interval Switching Point for Synchronous Video Switching (Определение точки переключения синхронных видеосигналов в вертикальном интервале гашения).

SMPTE RP177-1993 — Derivation of Basic Television Color Equations (Производные основных уравнений цветов для телевидения).

SMPTE RP178-1996 — Serial Digital Interface Checkfield for 10-Bit 4:2:2 Component and 4fsc Composite Digital Signals (Контрольное поле последовательного цифрового интерфейса для 10-разрядного компонентного и композитного цифровых сигналов).

SMPTE RP184-1996 — Specification of Jitter in Bit-Serial Digital Interfaces (Характеристики джиттера в параллельных цифровых интерфейсах).

SMPTE RP186-2008 — Video Index Information Coding for 525- and 625-Line Television Systems (Видеоиндекс информации, кодированной для 525- и 625-строчных телевизионных систем).

SMPTE RP187-1995 — Center, Aspect Ratio and Blanking of Video Images (Центральная точка, формат кадра и гашение видеоизображений).

SMPTE RP192-2003 — Jitter Measurement Procedures in Bit-Serial Digital Interfaces (Измерение джиттера в последовательных цифровых интерфейсах).

SMPTE RP198-1998 — Bit-Serial Digital Checkfield for Use in High-Definition Interfaces (Последовательное цифровое контрольное поле для использования в интерфейсах высокой чёткости).

SMPTE RP211-2000 (Archive 2006) — Implementation of 24P, 25P, and 30P Segmented Frames for 1920×1080 Production Format (Применение прогрессивной развёртки с сегментированными кадрами и частотой кадров 24 Гц, 25 Гц и 30 Гц в производственном формате 1920×1080).

SMPTE RP218-2002 — Specification for Safe Area and Safe Title Areas for Television Systems (Технические требования для безопасной зоны и безопасных зон титров для телевизионных систем).

SMPTE RP219-2002 — High Definition, Standard Definition Compatible Color Bar Signal (Сигнал цветowych полос, совместимый с системами стандартной и высокой чёткости).

SMPTE RP221-2008 — Specification for Extraction of 4×3 Areas from Digital 16×9 Images for Television Systems (Технические требования для выделения зон 4×3 из цифровых изображений 16×9 в телевизионных системах).

SMPTE RP291-2006 — Assigned Ancillary Identification Codes (Присвоение служебных идентификационных кодов).

SMPTE RP2010-2007 — Vertical Ancillary Data Mapping of ANSE/SCTE 104 Messages (Отображение вертикальных служебных данных в сообщениях ANSI/SCTE 104).

SMPTE RDD6-2008 — Television — Description and Guide to the Use of the Dolby E Audio Metadata Serial Bitstream (Телевидение — Описание и руководство по использованию аудиометаданных последовательного битового потока в формате Dolby E).

SMPTE RDD8-2008 — Storage and Distribution of Teletext Subtitles and VBI Data for High Definition Television (Хранение и распределение субтитров телетекста и данных вертикального интервала для телевидения высокой чёткости).

Приложение Е. Библиография

Margaret Craig, Television Measurements, NTSC Systems, Tektronix, 1994 (Телевизионные измерения в системах NTSC)

Margaret Craig, Television Measurements, PAL Systems, Tektronix, 1991 (Телевизионные измерения в системах PAL)

Keith Jack, Video Demystified, A Handbook for the Digital Engineer, HighText Interactive, 1996 (Видео: развеянный миф. Учебник для разработчиков цифрового видео)

David K. Fibush, A Guide to Digital Television Systems and Measurements, Tektronix, 1997 (Руководство по цифровым телевизионным системам и измерениям)

David K. Fibush, Tektronix, Video Testing in a DTV World, SMPTE Journal, 2000 (Tektronix, тестирование видеосигнала в мире цифрового телевидения)

Earl F. Glynn, efg's Computer Lab, <http://www.efg2.com/Lab>

John Horn, Solving the Component Puzzle, Tektronix, 1997 (Решение компонентной головоломки)

Charles Poynton, A Technical Introduction to Digital Video, John Wiley & Sons, 1996 (Техническое введение в цифровое видео)

Charles Poynton, Frequently Asked Questions about Color, <http://www.poynton.com/ColorFAQ.html>, 1999 (Часто задаваемые вопросы о цвете)

Charles Poynton, A Guided Tour of Color Space, 1997 (Экскурсия по цветовому пространству)

Charles Poynton, YUV and Luminance considered harmful: A plea for precise terminology in video, 2000 (YUV и яркость считаются вредными: аргументы за точную терминологию в области видео)

Guy Lewis, Applied Technology, Color and the Diamond Display, Broadcast Engineering, November, 1994 (Прикладные технологии, цвет и диаграмма «ромб»)

Michael Robin, Video Concepts, Miranda Technologies, 1999 (Принципы видео)

Michael Robin and Michel Poulin, Digital Television Fundamentals, Design and Installation of Video and Audio Systems, McGraw-Hill, 1997 (Основы цифрового телевидения, разработка и монтаж видео- и аудиосистем)

Peter D. Symes, Video Compression, Fundamental Compression Techniques and an Overview of the JPEG and MPEG Compression Systems, McGraw-Hill, 1998 (Сжатие видео, основные технологии сжатия, обзор систем сжатия JPEG и MPEG)

Jerry C. Whitaker, Television Engineering Handbook, Featuring HDTV Systems, Revised Edition by K. Blair Benson, McGraw-Hill, 1992 (Учебник по разработке телевизионных систем, особенности телевидения высокой чёткости)

Приложение F. Глоссарий

4:2:2 – Термин, широко применяемый для компонентного цифрового видеоформата. Детали формата конкретизированы в стандарте ITU-R BT.601. Цифры 4:2:2 означают соотношение частот дискретизации для одного канала яркости и двух цветоразностных каналов. На каждые четыре отсчёта канала яркости приходится по два отсчёта каждого из цветоразностных каналов. Подробнее см. стандарт ITU-R BT.601.

4Fsc – Частота дискретизации композитного цифрового видеосигнала, равная учетверенной частоте цветовой поднесущей. В системе NTSC $4F_{sc} = 14,3$ МГц, в системе PAL $4F_{sc} = 17,7$ МГц. В форматах 525/60 и 625/50 частота дискретизации компонентного видеосигнала стандартной чёткости равна 13,5 МГц для канала яркости и 6,75 МГц для каналов цветности.

AES/EBU audio – Неофициальное название стандарта на цифровой звук, разработанного совместно Обществом инженеров-акустиков (Audio Engineering Society, AES) и Европейским вещательным союзом (European Broadcasting Union, EBU, см.)

BNC – Аббревиатура «Baby N Connector». — Кабельный разъём, широко используемый в телевидении.

CCIR – Comit Consultatif International des Radiocommunications — Международный консультативный комитет по радиосвязи (МККР), комитет по разработке международных стандартов в области радиосвязи. В 1992 г. МККР был преобразован в Сектор радиосвязи Международного Союза Электросвязи (МСЭ) — International Telecommunication Union – Radio Communication (ITU-R).

CCIR-601 – см. ITU-R BT.601.

CCIR-656 – см. ITU-R BT.656.

DVTR (digital videotape recorder) – Цифровой видеомагнитофон.

EAV (end of active video) – Конец активного видео в цифровых компонентных системах. Один из двух (EAV и SAV) пакетов синхронизации.

EBU (European Broadcasting Union) – Европейский вещательный союз. Организация европейских вещателей, которая, помимо прочего, разрабатывает технические спецификации и рекомендации для телевизионных систем формата 625/50.

EBU TECH.3267-E – Рекомендация Европейского вещательного союза (EBU), определяющая параметры параллельного интерфейса для цифрового видеосигнала формата 625/50. Является пересмотренной редакцией более ранней рекомендации EBU Tech.3246-E, которая, в свою очередь, была выработана на основе стандарта CCIR-601 (в настоящее время ITU-R BT.601). Является частью стандарта CCIR-656 (ITU-R BT.656).

EDH (error detection and handling) – Обнаружение и обработка ошибок — Предложенный в рекомендации RP SMPTE 165 метод идентификации ошибок в последовательном цифровом сигнале. Может быть встроен в оборудование, оперирующее последовательными цифровыми сигналами, и может использовать простой светодиодный индикатор ошибки.

G'B'R', формат G'B'R' – Те же сигналы, что и R'G'B'. Порядок следования букв изменен, чтобы показать механическую последовательность коннекторов в стандарте SMPTE. Зачастую на дисплеях мониторов сигналов отображается именно этот порядок букв.

ITU-R (International Telecommunication Union, Radio Communication Sector) – Международный союз электросвязи, МСЭ, (см. CCIR).

ITU-R BT.601 – Международный стандарт для цифрового компонентного телевидения, на основе которого были разработаны стандарты SMPTE 125M (бывший RP-125) и EBU 3246E. Стандарт

ITU-R BT.601 определяет системы дискретизации, размеры матриц и характеристики фильтров для форматов цифрового компонентного телевидения Y, B-Y, R-Y и GBR.

ITU-R BT.656 – Стандарт, описывающий параллельный и последовательный интерфейсы для ITU-R BT.601. Стандарт ITU-R BT.656 определяет схему расположения выводов параллельного коннектора, а также параметры интервала гашения, синхронизации и мультиплексирования, которые используются в параллельном и последовательном интерфейсах. Воспроизводит определения, данные в стандартах EBU Tech 3267 (для систем с 625 строками), SMPTE 125M (параллельный интерфейс для систем с 525 строками) и SMPTE 259M (последовательный интерфейс для систем с 525 строками).

MAC (Multiplexed Analog Component video) – Мультиплексированный аналоговый компонентный видеосигнал — Средство временного мультиплексирования компонентного аналогового видеосигнала для передачи его по одному каналу, такому как коаксиальный кабель, оптоволокно или спутниковый канал. Обычно включает в себя цифровую обработку для обеспечения временного сжатия.

MPEG (Motion pictures expert group) – Экспертная группа по кинематографии — Международная группа отраслевых экспертов, основанная в целях разработки стандартов на сжатие видео- и аудиоданных.

NICAM (near instantaneous companded audio multiplex) – Мультиплексированный звуковой сигнал с почти мгновенным компандированием — Система кодирования цифрового звука, первоначально разработанная компанией BBC для двухпунктовых линий связи. Позже формат NICAM 728 стал использоваться рядом европейских стран для оснащения бытовых телевизионных приёмников функцией стереозвuka.

NRZ (Non-return to zero) – Без возвращения к нулю. Метод кодирования, который чувствителен к полярности: «0» — низкий логический уровень, «1» — высокий логический уровень.

NRZI (Non-return to zero inverse) – Без возвращения к нулю, с инверсией. Метод кодирования, который не чувствителен к полярности: «0» — логическое состояние не изменяется, «1» — переход из одного логического состояния в другое.

NTSC (National Television Systems Committee) – NTSC, Национальный комитет по телевизионным стандартам — Организация, которая разработала систему NTSC. Обычно эта аббревиатура используется для обозначения самой системы цветного телевидения NTSC или взаимосвязанных с ней стандартов. Телевизионный стандарт NTSC в настоящее время используется в США, Канаде и Японии. Изображение в формате NTSC имеет формат кадра 4:3, 525 строк, частоту кадров 60 Гц и полосу пропускания видеосигнала 4 МГц с общей шириной полосы видеоканала 6 МГц. Более подробно характеристики этого формата изложены в Приложении С.

PAL (Phase Alternate Line) – Название системы цветного телевидения, в которой фаза поднесущей компонента V от строки к строке меняется на противоположную, что позволяет минимизировать ошибки оттенка, которые могут появиться в процессе передачи цвета.

PAL-M – Вариант формата PAL — В этом формате используется частота поднесущей 3,57561149 МГц и 525 строк. Частота кадров составляет 30 Гц. Этот формат использовался, главным образом, в Бразилии. Более подробно характеристики этого формата изложены в Приложении С.

PAL-N – Вариант формата PAL — В этом формате используется частота поднесущей 3,58205625 МГц и 625 строк. Частота кадров составляет 25 Гц. Этот формат использовался, главным образом,

в Аргентине. Более подробно характеристики этого формата изложены в Приложении С.

PRBS, pseudo random binary sequence – Псевдослучайная двоичная последовательность.

Rec. 601 – см. ITU-R BT.601.

RGB, формат RGB, система RGB – Основной параллельный набор компонентов (красный, зеленый и синий), в котором сигнал используется для каждого из основных цветов. Также используется для обозначения соответствующего оборудования, взаимосвязанных форматов или стандартов. Те же сигналы могут также называться «GBR», как напоминание механической последовательности соединений, определённой в стандарте SMPTE.

SAV (Start of active video) – Начало активного видео в цифровых компонентных системах. Один из двух (EAV и SAV) пакетов синхронизации.

SECAM (см. Sequential Color and Memory) – Разработанный во Франции стандарт кодирования цветного изображения, похожий на PAL. Основное различие между двумя стандартами заключается в том, что в стандарте SECAM сигнал цветности является частотно-модулированным, а сигналы R'-Y' и B'-Y' передаются последовательно. Изображение в формате SECAM имеет формат кадра 4:3, 625 строк, частоту кадров 50 Гц и полосу пропускания видеосигнала 6 МГц с общей шириной полосы видеоканала 8 МГц. Более подробно характеристики этого формата изложены в Приложении С.

SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers) – Общество инженеров кино и телевидения — Профессиональная организация, разрабатывающая стандарты для телевидения и кинематографа.

SMPTE Format, SMPTE Standard – Формат SMPTE, стандарт SMPTE — В компонентном телевидении эти термины относятся к стандартам SMPTE для параллельного компонентного аналогового видеосигнала.

TDM (time division multiplex) – Мультиплексная передача с временным разделением — Управление несколькими сигналами на одном канале путём поочередной отправки частей каждого сигнала и прикрепления каждой части к определенному блоку времени.

Telecine – Устройство для преобразования кинофильма в цифровой видеосигнал.

Time-multiplex – Временное уплотнение — В случае цифрового видео означает способ последовательного чередования данных из трех каналов видео так, что они прибывают для декодирования и использования одновременно. В компонентных цифровых форматах последовательность может быть представлена в виде Y, Cb, Y, Cr, Y, Cb, и т.д. В этом случае сигнал яркости переносит в два раза больше данных, чем любой из цветоразностных каналов. Вспомогательные (служебные) данные будут мультиплексированы в поток данных в промежутки времени, когда не передаётся видеоизображение.

TRS (Timing reference signals) – Опорные сигналы синхронизации в композитных цифровых системах. Состоят из четырёх слов. В системах компонентного видео эту роль исполняют пакеты EAV и SAV.

TRS-ID (timing reference signal identification) – Опорный сигнал идентификации — Опорный сигнал, используемый для обеспечения синхронизации в композитных цифровых системах. Состоит из четырёх слов.

Word – Слово — см. байт.

Y, C1, C2 – Общее представление сигналов компонентного аналогового телевидения: Y — сигнал яркости, C1 — первый цветоразностный сигнал и C2 — второй цветоразностный сигнал.

Y', C'b, C'r – Набор цветоразностных сигналов с гамма-коррекцией, используемых в цифровых компонентных форматах.

Y, I, Q – Набор сигналов компонентного аналогового телевидения, определённый в 1953 году для системы NTSC. Y представляет собой сигнал яркости, I — первый цветоразностный сигнал и Q — второй цветоразностный сигнал.

Y, Pb, Pr – Вариант формата (Y, R-Y, B-Y) для аналогового компонентного стандарта SMPTE.

Y, R-Y, B-Y – Общее представление сигналов компонентного аналогового телевидения, используемое в системе PAL, а также в некоторых композитных кодировщиках и в большинстве композитных кодировщиков в системах NTSC. Y представляет собой сигнал яркости, R-Y — первый цветоразностный сигнал и B-Y — второй цветоразностный сигнал.

Y, U, V – Яркостный и цветоразностные компоненты в системе PAL. Часто используется в разговорной речи как альтернатива Y', P'b, P'r.

Алгоритм – Набор правил или процедур для решения конкретной проблемы за конечное число шагов.

Аналоговый – Прилагательное, которое используется для описания любого сигнала, который изменяется непрерывно, в отличие от цифрового сигнала, который содержит дискретные уровни представляющие двоичные цифры 0 и 1.

Аналого-цифровой преобразователь, АЦП – Устройство, которое с помощью процесса цифровой дискретизации преобразует аналоговый сигнал в цифровой вид.

Асинхронный – Процедура передачи, которая не синхронизируется тактовым генератором. Цифровой видеосигнал не может быть асинхронным, потому что для декодирования этого сигнала из переходов сигнала данных должна быть выделена тактовая частота.

Байт – Полный набор уровней квантования, содержащий все биты. Байты обычно содержат от восьми до десяти битов на каждую выборку.

Бит – Двоичное представление 0 или 1. Один из уровней оцифровки (квантования) пикселя.

Ввод/вывод, вход-выход – Обычно относится к передаче информации или сигналов данных в или из устройств.

Видеомагнитофон – Устройство, которое позволяет осуществлять запись аудио- и видеосигналов на магнитную ленту.

Видеоаппарат – Устройство для хранения определённых кадров видеоизображения.

Вложенный (имбедрированный) звук – Цифровой звук мультиплексируется в последовательный поток цифровых данных в промежутки времени, предназначенные для вспомогательных и служебных данных.

Восстановление тактовой частоты – Восстановление информации о синхронизации из входящего цифрового сигнала данных.

Временные искажения – Визуальный дефект, возникающий, когда оцифровываемое изображение движется слишком быстро для данной величины частоты дискретизации. Классический пример — колесо, которое, как кажется, вращается в обратную сторону.

Время нарастания, время установления сигнала – Время, за которое сигнал переходит из одного состояния в другое; обычно измеряется между 10 % и 90 % точками завершения перехода. Более короткое или «быстрое» время нарастания требует большей полосы пропускания канала передачи.

Глазковая диаграмма – Осциллографическое представление формы сигнала, полученное путём наложения всех битовых периодов измеряемого сигнала данных. Внешне полученная осциллограмма похожа на глаз, откуда и произошло название диаграммы. Глазковая диаграмма используется для оценки качества функционирования сигнального тракта.

Горизонтальный (строчный) интервал гашения – Интервал времени между строками активного видео.

Групповая задержка – Дефект сигнала, вызванный наличием разных частот, имеющих различную задержку распространения (например, задержка сигнала с частотой 1 МГц отличается от задержки сигнала частотой 5 МГц).

Декодер – Устройство для восстановления компонентных сигналов из композитных (кодированных) сигналов. Декодеры используются в дисплеях и различных аппаратных средствах обработки — там, где требуется использование компонентных сигналов, полученных из источника композитных сигналов, например, композитного оборудования цветовой рипроекции или коррекции цвета. Также используется в устройствах воспроизведения изображения для извлечения видео из сжатого сигнала.

Демультимплексор – Устройство, используемое для разделения двух и более сигналов, которые ранее были объединены соответствующим мультимплексором и переданы по единому каналу.

Джиттер тактового сигнала – Неопределенность синхронизации фронтов элементов данных в цифровом сигнале.

Джиттер, «дрожание» – Нежелательно случайное изменение сигнала по времени.

Диапазон частот – Разница между верхним и нижним пределами частоты, часто измеряется в мегагерцах (МГц).

Дискретизация, оцифровка, выборка – Процесс, в ходе которого производится захват (выборка) сигнала для измерения.

Дискретный, дискретный компонент – Имеющий индивидуальные особенности. Отдельный элемент схемы.

Дифференциальная фаза – Изменение фазы цветовой составляющей видеосигнала, вызванное изменением уровня яркости сигнала.

Дифференциальное усиление – Изменение амплитуды цветовой составляющей видеосигнала, вызванное изменением уровня яркости сигнала.

Допустимый сигнал – Видеосигнал, в котором все отображаемые цвета лежат в пределах допустимой цветовой гаммы. Допустимый сигнал остаётся разрешённым при переводе в формат RGB или другие форматы. Допустимый сигнал является всегда разрешённым, но разрешённый сигнал необязательно является допустимым. Сигналы, которые не являются допустимыми, будут обрабатываться без проблем в своём собственном формате, но при переводе их в другие форматы могут возникнуть трудности.

Допустимый/недопустимый – Допустимый сигнал имеет два ограничения: он является разрешённым в данном формате и он остаётся разрешённым при правильном переводе в другой формат.

Дрейф – Постепенное смещение или изменение выходного сигнала во времени вследствие изменения характеристик или старения компонентов схемы. Изменение характеристик чаще всего вызывается температурной нестабильностью компонентов.

Задержка – Время, необходимое для прохождения сигнала через устройство или проводник.

Задержка распространения сигнала – Время, необходимое сигналу на прохождение через каналы передачи, элементы оборудования, участки кабеля и т.п.

Интерполяция – В цифровом видео способ создания новых пикселей в изображении путём манипулирования значениями соседних пикселей с использованием какого-либо математического метода.

Искажение (линейное) полевой развёртки – Произвольное изменение амплитуды видеосигнала, которое происходит в период полевой развёртки (т.е. 16,66 мс при 60 Гц).

Канальное кодирование – Описывает, каким образом логические единицы («1») и нули («0») потока данных представлены в канале передачи.

Квантование – Процесс преобразования непрерывного входного аналогового сигнала в набор дискретных выходных уровней.

Коаксиальный кабель – Линия передачи, состоящая из концентрической пары проводников, по которым переносится сигнал. Кабель включает внутренний проводник и внешнюю проводящую металлическую оболочку. Оболочка представляет собой экран и способствует уменьшению эффектов воздействия внешнего излучения на сигнал, передаваемый по внутреннему проводнику, а также минимизации излучения от линии передачи в окружающую среду.

Кодирование – Представление каждого уровня видеосигнала в виде числа, как правило, в двоичной форме.

Кодировщик – Устройство, предназначенное для формирования единого (композитного) цветного сигнала из набора компонентных сигналов. Кодировщик используется везде, где необходимо получить композитный выходной сигнал из источника сигнала (или записи) в компонентном формате. Кроме того, кодировщиком называется устройство, используемое для сжатия видеосигнала.

Коммутационная панель – Метод маршрутизации сигналов с помощью панели колодок разъёмов для источников и пунктов назначения, а также кабелей для их соединения.

Композитный аналоговый сигнал – Кодированный видеосигнал, например, в форматах NTSC или PAL, который включает строчную и кадровую синхронизирующую информацию.

Композитный цифровой сигнал – Цифровой кодированный видеосигнал, например, в форматах NTSC или PAL, который включает строчную и кадровую синхронизирующую информацию.

Компонентное кодирование с подмешиванием – Небольшое расширение уровней аналогового сигнала так, чтобы сигнал контактировал с большим количеством уровней квантования. В результате получаются более гладкие переходы. Осуществляется путем добавления белого шума (который равен по амплитуде одному уровню квантования) к аналоговому сигналу непосредственно перед его оцифровкой.

Компонентные видеосигналы – Набор сигналов, каждый из которых представляет часть информации, необходимой для создания полного цветного изображения. Пример таких сигналов: R, G и B; Y, I и Q; or Y, R-Y и B-Y.

Компонентный аналоговый сигнал – Некодированный выходной сигнал из видеокамеры, видеомагнитофона и т.п., состоящий из трёх сигналов основных цветов: зелёного, синего и красного, которые вместе переносят всю необходимую информацию об изображении. В некоторых компонентных видеоматрицах эти три компонента преобразованы в сигнал яркости и два цветоразностных сигнала, например, Y, B-Y и R-Y.

Компонентный цифровой сигнал – Цифровое представление набора компонентных аналоговых сигналов, наиболее распространённый — Y'C'bC'r. Параметры кодирования определены стандартом ITU-R BT.601. Характеристики параллельного интерфейса для форматов видео стандартной чёткости определены стандартами ITU-R BT.656 и SMPTE 125M (1991).

Корректор развёртки – Устройство для коррекции временных ошибок и стабилизации синхронизации видеосигнала, выходящего из видеомагнитофона.

Коррекция ошибок – Устройство, добавляющее в данные служебную информацию, которая позволяет обнаруживать и исправлять ошибочные данные, имеющие определенный уровень.

Коррекция характеристик кабеля – Процесс изменения частотной характеристики видеоусилителя для компенсации высокочастотных потерь в коаксиальном кабеле.

Коррекция, выравнивание – Процесс изменения амплитудно-частотной характеристики видеоусилителя для компенсации высокочастотных потерь в коаксиальном кабеле.

Коэффициент усиления – Любое увеличение или уменьшение уровня электрического сигнала. Коэффициент усиления может измеряться в децибелах.

Коэффициенты – Число (часто константа), которое количественно выражает некоторое свойство физической системы.

Ложные контуры – Дефект видеоизображения, возникающий, если квантование проведено слишком грубо (мало уровней квантования).

Маскирование ошибок – Технология, используемая в тех случаях, когда процедура коррекции ошибок (см. Error correction) завершается неудачно. Ошибочные данные замещаются данными, синтезированными из окружающих пикселей.

Матричный видеоконмутатор, коммутатор-распределитель – Электронное устройство, которое направляет сигнал (аудио, видео и т.п.) с любого входа на любой выбранный пользователем выход (выходы).

Микросекунда (мкс) – Одна миллионная часть секунды: $1 \cdot 10^{-6}$ или 0,000001 с.

Многослойность – Общее обозначение для системы эффектов, которые позволяют нескольким видеоизображениям быть объединенными в одно составное изображение.

Монохромный сигнал – «Одноцветный» видеосигнал. Обычно чёрно-белый сигнал, но иногда яркостная часть композитного или компонентного цветного сигнала.

Мультиплексор – Устройство для объединения двух и более электрических сигналов в один композитный сигнал.

Наложение спектров – Дефекты изображения, которые обычно наблюдаются при недостаточно высокой частоте дискретизации или плохой фильтрации цифрового видеосигнала. Эти дефекты проявляются, как правило, в виде ступенек на диагональных линиях, а также мерцания или блеска на деталях изображения.

Наносекунда (нс) – Одна миллиардная часть секунды: $1 \cdot 10^{-9}$ или 0,000000001 с.

Нейтральные цвета – Диапазон уровней серого, от чёрного до белого, без других цветов. В нейтральных зонах изображения сигналы R'G'B' будут равны; в цветоразностных форматах цветоразностные сигналы будут равны нулю.

Нелинейное кодирование – Относительно больше уровней квантования отводится сигналам с малыми амплитудами, в то время как сигналам с большими пиками — относительно меньше.

Нелинейность – Коэффициент усиления изменяется как функция амплитуды сигнала.

Округление – Удаление младших значащих битов в цифровой системе.

Ортогональная дискретизация – Дискретизация строки повторяющегося видеосигнала таким образом, чтобы выборки в каждой строке находились в одном и том же горизонтальном положении (совпадали по времени).

Основные цвета – Цвета, обычно три, смешением которых можно воспроизвести полный спектр других цветов в пределах данной системы. Неосновные цвета являются смесью двух или более основных цветов. В телевидении основными цветами являются красный, зелёный и синий.

Осциллограмма, форма сигнала – Графическое представление зависимости напряжения или тока от времени.

Осциллограф (монитора видеосигналов) или вектроскоп – Устройство, используемое для измерения параметров телевизионных сигналов.

Параллельно-последовательный преобразователь – Устройство для преобразования параллельного потока цифровых данных в последовательный.

Параллельный (по битам) – Побайтовая передача цифрового видеосигнала по многожильному кабелю, в котором каждая пара проводов переносит один бит. Этот метод передачи определён стандартами SMPTE 125M, EBU 3267-E и ITU-R BT.656.

Параллельный кабель – Многожильный кабель для передачи параллельных потоков данных.

Передискретизация – 1) С технической точки зрения представляет собой процесс преобразования одной частоты дискретизации в другую. Частота дискретизации для компонентных форматов составляет 13,5 МГц, а для композитных — 14,3 МГц для NTSC или 17,7 МГц для PAL. 2) Часто неправильно используется для обозначения повторной оцифровки или скорости кодирования/декодирования.

Пересинхронизация – Процесс синхронизации данных с использованием восстановленной тактовой частоты.

Пиксель, элемент изображения – Наименьшая различимая и разрешимая область цифрового видеоизображения. Единичный элемент изображения. Получается из слов элемента изображения.

Показатель гамма, гамма-коррекция – Передаточная характеристика, зависимость величины выходного сигнала от величины входного. В телевизионной системе гамма-коррекция применяется к источнику, чтобы обеспечить дополнительное усиление в темных областях с целью компенсации особенностей ЭЛТ и человеческого зрения. Гамма-коррекция в источнике позволяет избежать повышения уровня шума в месте назначения и уменьшить число битов, необходимых для передачи изображения удовлетворительного качества.

Полоса пропускания – Полный диапазон частот, в пределах которого схема или электронная система может функционировать с минимальными потерями сигнала, обычно не превышающими 3 дБ.

Пропускная способность – Количественная оценка способности данного телевизионного канала переносить информацию.

Последовательный (по битам) – Побитовая передача цифрового видеосигнала по одножильному (например коаксиальному) кабелю. Может использоваться для пересылки данных по оптоволоконной линии. Определена стандартом ITU-R BT.656.

Последовательный цифровой (сигнал) – Цифровые данные, передаваемые в последовательном виде. Часто неофициально используется для названия последовательных цифровых телевизионных сигналов.

Поток битов – Непрерывная последовательность битов, пересылаемая по каналу передачи.

Преобразование стандарта развёртки – Процесс передискретизации видеосигнала с целью преобразования его формата развёртки в другой формат.

Преобразование формата – Процесс кодирования/декодирования и передискретизации цифрового сигнала.

Преобразователь последовательного кода в параллельный – Устройство, с помощью которого осуществляется преобразование последовательного цифрового сигнала в параллельный.

Прогрессивная развёртка – Формат сканирования, в котором изображение захватывается целиком снизу доверху, а все строки каждого кадра отображаются последовательно.

Проскальзывание битов – 1). Происходит, когда в последовательном сигнале нарушена структура слова так, что относительное значение бита становится неправильным. Обычно восстанавливается в следующем последовательном сигнале при получении пакетов ID TRS для композитного сигнала или EAV/SAV для компонентного. 2). Ошибочное чтение последовательного битового потока, когда дрейф фазы восстановленного тактового сигнала достаточно велик, чтобы пропустить бит. 3). Явление, происходящее в параллельных шинах цифровых данных, когда один или более битов опаздывают относительно остальных битов. В результате в данных появляется ошибка. Наиболее распространенной причиной является различие в длине кабелей.

Размах сигнала, пик-пик – Разность амплитуд (напряжений) между наибольшим положительным и наименьшим отрицательным пиком электрического сигнала.

Разрешение – Количество разрядов (четыре, восемь, десять и т.п.), определяющее степень детализации цифрового сигнала:

4 разряда — разрешение 1 из 16;

8 разрядов — разрешение 1 из 256;

10 разрядов — разрешение 1 из 1024.

Разрешённый/неразрешённый – Сигнал является разрешённым, если он находится в пределах цветовой гаммы, соответствующего данному формату. Уровень разрешённого сигнала не превышает уровни напряжения, установленные для формата каждого сигнального канала. Неразрешённым называется сигнал, который иногда может выходить за эти пределы в одном или нескольких каналах. Сигнал может быть разрешённым, но, в то же время, недопустимым.

Сглаживание цветовых переходов – Обычно случайный, низкочастотный сигнал (колебание), который может быть добавлен к аналоговому сигналу непосредственно перед его оцифровкой с целью улучшения разрешения малых уровней цифрового сигнала. Часто состоит из белого шума с размахом, равным амплитуде одного уровня квантования.

Сегментированные кадры – Формат сканирования, в котором изображение захватывается целым кадром, как в форматах с прогрессивной развёрткой, но передаются сначала чётные строки, как одно поле, а затем нечётные строки, как следующее поле, аналогично форматам с чересстрочной развёрткой.

Сигнал яркости – Видеосигнал, который характеризует количество света в каждом пикселе. Этот сигнал эквивалентен сигналу из монохромной видеокамеры. Сигнал яркости часто генерируется в виде взвешенной суммы сигналов R', G' и B'.

Сигнал яркости (Y) – Этот сигнал переносит информацию о количестве света в каждой точке изображения.

Синхронный – Процесс передачи, в котором поток битов и символов и в приёмном и передающем концах тракта управляются точно синхронизированным тактовым сигналом. В последовательном цифровом видео тактовые сигналы в синхронном приёмнике выделяются из переходов входящего сигнала данных.

Синхрослово – Синхронизирующая последовательность битов, отличающаяся от нормальной битовой последовательности данных. Используется для обозначения опорных точек в телевизионном сигнале, а также для обеспечения пословной синхронизации в последовательном приёмнике.

Скремблирование – 1) Перегруппировка или изменение порядка цифровых данных по заранее заданной схеме с целью разделения низкочастотных структур, связанных с последовательными цифровыми сигналами. 2) Перемешивание цифрового сигнала с целью улучшения его спектрального распределения.

Служебные (вспомогательные) данные – Данные, идущие в дополнение к основному видеосигналу или программе. Вставляются в видеосигнал с уплотнением по времени, в горизонтальный и/или

вертикальный интервал гашения. Служебные (вспомогательные) данные могут быть отправлены между пакетами EAV и SAV в горизонтальном интервале гашения и в виде более крупных блоков в течение вертикального интервала гашения. Служебные (вспомогательные) данные могут включать в себя контрольные суммы, многоканальный цифровой звук и другие данные.

Смещение базовой линии – Вид низкочастотного искажения, выражающегося в виде сдвига уровня постоянной составляющей сигнала.

Спад частотной характеристики – Искажение в системе передачи, когда более высокие частотные компоненты передаются не с полной исходной амплитудой, в результате чего возможна потеря насыщенности цвета.

Стандарт межсоединения – Уровни напряжения и другие параметры, которые описывают требования к входным и выходным сигналам для определенного типа оборудования. Некоторые стандарты были созданы профессиональными группами или государственными органами (например, SMPTE или EBU). Другие были установлены поставщиками оборудования и/или пользователями.

Студийный видеомикшер – Устройство, с помощью которого можно осуществлять переходы между различными видеоизображениями. Позволяет также производить рипроекцию и объединение частей изображения в единое целое.

Ступеньки – Жаргонное выражение для обозначения искажений в виде ступенчатости, которое появляется на диагональных линиях изображения. Причиной искажений могут являться неудовлетворительная фильтрация, нарушение теории Котельникова и/или плохая интерполяция.

Теорема Котельникова – Интервал между выборками должен быть меньше или равен половине периода наивысшей частоты в сигнале.

Фазовая ошибка – Дефект изображения, вызываемый рассогласованием по времени одного сигнала относительно другого.

Фазовое искажение – Дефект изображения, вызываемый неодинаковой задержкой (фазовым сдвигом) разных частотных компонентов сигнала по мере прохождения ими различных элементов канала: фильтров, усилителей, ионосферных вариаций и т.п. Дефект проявляется в виде цветной окантовки контуров изображения.

Фазовый сдвиг – Смещение времени синхронизации одного сигнала относительно другого.

Формат PAL – Формат цветного телевидения, который имеет разрешение 625 строк и частоту кадров 25 Гц. Более подробно характеристики этого формата изложены в Приложении С.

Формат, взаимосвязь – Конфигурация сигналов, используемых для обеспечения взаимосвязи оборудования в определённой системе. Разные форматы могут использовать различные композиции сигналов, опорных импульсов и т.п.

Формат, параметры развёртки – В аналоговых и цифровых форматах стандартной чёткости: общее количество строк в кадре и частота кадров, например, 625/50. В цифровых форматах высокой чёткости: количество пикселей яркости, количество активных видеострок, частота кадров, количество полей в кадре, например, 1280/720/59.94/2:1.

Цветная электронная рипроекция – Процесс управления замедленной части видеоизображения вторым изображением. Управляющий сигнал создаётся из параметров сигнала цветности видеосигнала.

Цветовая перекрёстная помеха – Ложные сигналы, которые возникают из-за присутствия высокочастотных помех в сигнале яркости и интерпретируются при расшифровке композитного сигнала как цветовая информация. Проявляется в виде радужных разводов и полос.

Цветовой компонент видеосигнала, сигнал цветности – Модулированные боковые полосы поднесущей в композитном видеосигнале. Также используется для описания цветоразностных сигналов в компонентных системах — тех, которые переносят информацию об оттенке (какой цвет) и насыщенности (сколько цвета) в пикселе.

Цветовая гамма, палитра – Диапазон цветов, разрешённых для видеосигнала. Допустимая цветовая гамма определяется как все цвета, воспроизводимые всеми возможными комбинациями разрешённых значений сигнала R'G'B'. Сигналы в других форматах могут воспроизводить цвета за пределами допустимой цветовой гаммы, но при этом оставаться в своих разрешённых пределах. Эти сигналы, при транскодировании в формат R'G'B', будут выходить за разрешённые пределы этого формата. Это может привести к обрезанию сигнала, перекрёстным помехам или другим искажениям.

Цветокоррекция – Процесс, с помощью которого цвета в телевизионном изображении изменяются или корректируются в электронном виде. При этом следует соблюдать осторожность, чтобы гарантировать, что изменённый видеосигнал не выходит за пределы последующих систем обработки или передачи.

Цветоразностные сигналы – Видеосигналы, которые переносят только цветовую информацию. Пример таких сигналов: R-Y и B-Y, I и Q, U и V, Pr и Pb и др.

Цифро-аналоговый преобразователь, ЦАП – Устройство, предназначенное для преобразования цифровых сигналов в аналоговые.

Цифровое слово – Совокупность битов, обрабатываемых системой как единый объект.

Цифровые компонентные сигналы – Компонентные сигналы, в которых значение каждого пикселя представлено в виде набора цифр.

Частота дискретизации (выборки, оцифровки) – Количество измерений дискретных значений в течение данного промежутка времени. Для видеосигналов обычно выражается в мегагерцах (МГц).

Частотная модуляция – Модуляция синусоидального сигнала или «несущей» путём изменения его частоты в соответствии с изменением амплитуды модулирующего сигнала.

Чересстрочная развёртка – Формат развёртки, в котором изображение захватывается и отображается в двух полях. Второе поле смещено на половину строки по горизонтали относительно первого поля, при этом строки каждого поля располагаются между строками другого поля.

Шум квантования – Шум (отклонение сигнала от его исходного или истинного значения), который является следствием процесса квантования. В цифровой последовательной системе зернистая структура шума проявляется только в присутствии сигнала.

Электронная рирпроекция – Процесс замещения части одного телевизионного изображения другим изображением, например, цветная электронная рирпроекция или видеовставка рирпроекции.

Яркая перекрёстная помеха – Ложные сигналы, которые возникают в канале яркости Y в результате того, что композитные сигналы цветности были интерпретированы как сигналы яркости. Проявляется в виде непрерывной последовательности сползающих точек на краях сильно насыщенных цветов.

Словарь видеотерминов и аббревиатур доступен на сайте компании Tektronix под номером 25W-15215-1.

Благодарности

Авторы выражают благодарность всем, кто внёс свой вклад в подготовку этой брошюры:

- David Fibush, Jeff Noah, Margaret Craig, Dan Baker, Ken Ainsworth, Lionel Durant и другим сотрудникам компании Tektronix, кто потратил много времени на исследование искусства хорошего видео.
- Членам комитетов по стандартизации за их деятельность по разработке стандартов, способствующих дальнейшему развитию отрасли.
- Инженерам, авторам и издателям, которые помогают в обучении каждого из нас.

Об авторах

Гай Льюис (Guy Lewis) изучал физику, математику и системы связи в Университете Бэйлора и Сельскохозяйственном и политехническом университете Техаса. Работал главным инженером телевизионной станции и директором по разработкам Группы телевидения. Поступил на работу в компании Tektronix в 1987 году после 20 лет работы в корпорации RCA. В компании Tektronix работал до 1999 года. Занимал ряд должностей, в том числе, менеджер по маркетингу продукции для телевизионных испытаний. Был ответственным за линейку продуктов, включая мониторы видеосигналов и генераторы видеосигналов.

Майкл Уэйдсон (Michael Waidson) получил степень бакалавра естественных наук в области телекоммуникаций в Кентском университете, Кентербери, Великобритания. Он начал свою карьеру в одной из компаний по производству бытовых телевизоров. Работал в группе по усовершенствованию телевизионного приёмника в отделе цифрового видео. В течение последних 12 лет работал в отрасли телевидения в Европе и США. В настоящее время занимает должность инженера по приложениям в подразделении измерительного оборудования для видео компании Tektronix.

Отказ от ответственности

В этой брошюре описаны способы и методы, на основе которых было создано цифровое телевидение. Устройства будут улучшаться, и умные инженеры изобретут новые способы сделать вещи ещё лучше и ещё экономичнее. Главное при этом — соблюдать стандарты, которые разрабатываются, чтобы поддержать высокую степень экономической совместимости. Наслаждайтесь развитием!

Эта брошюра является интерпретацией информации из источников, считающихся надёжными. Она предназначена для обеспечения понимания различных форматов, стандарты для которых разрабатывались по отдельности. Ни компания Tektronix, ни авторы не гарантируют точность и полноту информации и не несут ответственности за любые ошибки или упущения, вытекающие из использования данного документа. Для получения конкретной информации читателю рекомендуется обращаться в отраслевые организации по стандартизации.

Контактная информация:

Россия и СНГ +7 (495) 7484900

Австрия +41 52 675 3777
Ассоциация государств Юго-Восточной Азии /
Австралия (65) 6356 3900
Балканы, Израиль, Южная Африка
и другие страны ISE +41 52 675 3777
Бельгия 07 81 60166
Ближний Восток, Азия
и Северная Африка +41 52 675 3777
Бразилия и Южная Америка (55) 40669400
Великобритания и Ирландия +44 (0) 1344 392400
Германия +49 (221) 94 77 400
Гонконг (852) 2585-6688
Дания +45 80 88 1401
Индия (91) 80-22275577
Испания (+34) 901 988 054
Италия +39 (02) 25086 1
Канада 1 (800) 661-5625
Китайская Народная Республика 86 (10) 6235 1230
Люксембург +44 (0) 1344 392400
Мексика, Центральная Америка
и страны Карибского бассейна 52 (55) 54247900
Нидерланды 090 02 021797
Норвегия 800 16098
Польша +41 52 675 3777
Португалия 80 08 12370
Республика Корея 82 (2) 6917-5000
США 1 (800) 426-2200
Тайвань 886 (2) 2722-9622
Финляндия +41 52 675 3777
Франция +33 (0) 1 69 86 81 81
Центральная и Восточная Европа,
страны Балтики +41 52 675 3777
Центральная Европа и Греция +41 52 675 3777
Швейцария +41 52 675 3777
Швеция 020 08 80371
Южная Африка +27 11 206 8360
Япония 81 (3) 6714-3010
Из других стран звоните по телефону: 1 (503) 627-7111

Дополнительная информация

Компания Tektronix может предложить вам богатую, постоянно пополняемую библиотеку указаний по применению, технических описаний и других документов, которые адресованы инженерам, работающим на переднем крае технологий. Посетите сайт www.tektronix.com.



Copyright © 2010, Tektronix, Inc. Все права защищены. Продукты Tektronix защищены патентами США и иностранными патентами как действующими, так и находящимися на рассмотрении. Информация, приведенная в этой публикации, заменяет информацию, приведенную во всех ранее опубликованных материалах. Компания оставляет за собой право изменения цены и технических характеристик. TEKTRONIX и TEK являются зарегистрированными товарными знаками компании Tektronix, Inc. Все другие упомянутые торговые наименования являются знаками обслуживания, товарными знаками или зарегистрированными товарными знаками соответствующих компаний.

1 сентября 2010 г.

25U-14700-6

Tektronix[®]