Перевод документа выполнен ДТР ВГТРК

Measurements in digital component television studios

625–line systems at the 4:2:2 and 4:4:4 levels
using parallel and serial interfaces (SDI)

Tech. 3283–E December 1996

Измерения в цифровых компонентных телевизионных студиях

625-строчные системы с уровнями 4:2:2 и 4:4:4,
использующие параллельные и последовательные интерфейсы (SDI)

Tech. 3283–E Декабрь 1996 г.

Внимание!

- Данный перевод **НЕ** является аутентичным и может содержать отдельные неточности.
- Оригинал этого документа находится по адресу: http://www.ebu.ch

СОДЕРЖАНИЕ

Официальное уведомление . . . 2
Введение . . . 3
Важные замечания . . . 4
Глава 1 Представление о цифровых компонентных интерфейсах . . . 5
1.1. Формат 4:2:2 цифрового видео. . . . 5
1.2. Другие форматы цифрового компонентного сигнала . . . 8
1.3. Другие учитываемые стандарты . . . 8
1.4. Физические интерфейсы для цифровых компонентных видеосигналов . . . 10
Глава 2 Измерения в аналоговом сегменте . . . 12
2.1. Конвертеры A/D_{ser} и D_{ser}/A для видео и аудио сигналов . . . 12
2.2. Аналоговое видео до и после цифровой обработки . . . 14
Глава 3 Измерения в области данных . . . 21
3.1. Видеосигнал . . . 21
3.2. Опорные сигналы синхронизации (TRS) . . . 24
3.3. Вспомогательные данные . . . 24
3.4. Преобразование между 8- и 10-битным представлениями . . . 24
3.5. Наиболее важные измерения в области данных SDI . . . 25
Глава 4 Измерения в физической области . . . 26
4.1. Параллельный интерфейс. . . . 26
4.2. Последовательный интерфейс . . . 28

European Broadcasting Union
Case Postale 67, CH–1218 Grand–Saconnex (Geneva) Switzerland

Глава 5 Системные аспекты. 37
5.1. Относительная синхронизация между видео и звуком – Общие соображения 37
5.2. Относительная синхронизация между видео и аудио сигналами в аналоговом сегменте. 37
5.3. Синхронизация студии SDI 38
5.4. Декодирование и перекодирование сигналов PAL 40
5.5. Каскадирование ФАПЧ (reclocking) 41
5.6. Конвертеры SDI – PAL (D_{ser}/A) 41
5.7. Конвертеры PAL – SDI (A/D_{ser}) 42
5.8. Тепловые условия для цифрового оборудования 42
5.9. Разъемы 75 / 50 Ом для SDI 42
5.10. Кабели SDI 42
5.11. Пассивные проходные цепи и оконечная нагрузка 75 Ом. 42
5.12. Интеграция измерительного оборудования в цифровой студии 42
Глава 6 Тестовое и измерительное оборудование 43
6.1. Генераторы тест-сигнала 43
6.2. Анализатор SDI 44
6.3. Тест-сигналы для SDI 44
6.4. Измерения коэффициента ошибочных битов (BER) 47
6.5. Обнаружение и обработка ошибок (EDH) 49
Справочные данные и стандарты 50
Справочные данные 50
Стандарты и спецификации 76
Приложение А Джиттер в последовательном цифровом интерфейсе 80
Приложение В Компенсация и динамический диапазон в приемнике SDI. 87
Приложение С Рыночный анализ измерительного оборудования для цифровых видеосигналов (июнь 1995) . . 89
Библиография 97

Официальное уведомление

Данная публикация подготовлена специальной группой Технического комитета EBU. В ней использован коллективный опыт специалистов многих организаций – членов EBU.
EBU признателен также за ценный вклад следующим специалистам промышленности:
Г-ну Кену Эйнсуорту (Ken Ainsworth), Tektronix, США
Г-ну Дэвиду Файбушу (David Fibush), Tektronix, США
Г-ну Зигмару Грюндвальту (Sigmar Grundwalt), Rohde & Schwarz, Германия
Г-ну Джоанну Сафару (Johann Safar), Panasonic, США
Г-ну Питеру Саймсу (Peter Symes), Grass Valley Group, США

• • • • • • • •

Настоящий технический документ EBU является руководством по оценке технических характеристик телевизионных студий, сконструированных полностью на базе цифровой компонентной технологии или использующих эту технологию наряду с аналоговыми системами.

Согласование является важным соображением в таких устройствах, и, учитывая тот факт, что во многих случаях характеристики сигнала можно измерить только на входах и выходах аппаратуры, основное внимание в данном документе отводится измерениям на параллельных и последовательных интерфейсах, передающих 625-строчные цифровые компонентные видеосигналы уровня 4:2:2. Также довольно подробно рассматриваются измерения вспомогательных сигналов данных, особенно звуковых сигналов, соответствующих стандарту цифрового звука AES/EBU. Характеристики же отдельных типов оборудования, присутствующего в современной цифровой компонентной студийной среде – систем цифровых видеоэффектов, микшеров и т.п., – не затрагиваются вообще, за исключением того, что неадекватные характеристики (или ограничения, например, задержки сигнала, накладываемые типом обработки) могут влиять на суммарные характеристики всей цепи цифрового производства.

Общие принципы измерения характеристик, изложенные в документе, применимы и к конфигурации цифровых компонентных телевизионных сигналов 4:4:4. Поскольку на уровне 4:2:2 один последовательный или параллельный интерфейс несет широкополосный яркостной сигнал и два цветоразностных сигнала меньшей ширины, на уровне 4:4:4 для передачи суммы четырех широкополосных сигналов используются два интерфейса. Это могут быть первичные сигналы красного, зеленого и синего или яркостной и два цветоразностных сигнала; в любом случае, четвертый канал может использоваться для дополнительного широкополосного сигнала, например, вспомогательного ключевого сигнала.

Последовательный цифровой интерфейс (SDI) может использоваться и для передачи других форм телевизионного сигнала, таких как 525-строчный цифровой компонентный видеосигнал 4:2:2 или цифровой сигнал PAL, дискретизированный 4-х кратной частотой цветовой поднесущей.

Притом, что значительная часть материала в документе относится также к этим форматам сигнала, специальных ссылок на соответствующие значения параметров в нем нет.

Документ предназначен для инженеров, которые должны производить измерения в цифровых видео и аудио системах. Такие измерения могут понадобиться по многим причинам: проектирование и инсталляция, приемные испытания, обслуживание и проверка сигналов во время производства программ или воспроизведения.

Здесь существует множество различных технологий, и рассмотреть каждую в отдельности просто невозможно. Последовательный цифровой интерфейс (SDI), сочетающий компонентное видео 4:2:2, звук AES/EBU, тайм-код, сигнализацию и т.д. в едином потоке данных со скоростью 270 Мбит/с, является самым сложным в диапазоне конфигураций цифрового сигнала, имеющегося в телепроизводстве. Правильное функционирование этих систем требует рассмотрения определенных аспектов аналоговых видео и аудио сигналов, параметров формы сигнала и логических уровней самого сигнала цифрового интерфейса, а также ряда периферийных аспектов, например, преобразование между аналоговым и цифровым сегментами, кодирование PAL и т.д.

Формальные характеристики сигналов и интерфейсов, имеющихся в цифровом телепроизводстве, изложены в ряде документов по стандартам, обзор которых предоставлен в Главе 1. Эти стандарты определяют преобразование видеосигнала из его аналоговой формы (PAL, RGB сигналы основных цветов или аналоговые компоненты) и характеристики соответствующих цифровых сигналов, которых следует придерживаться при соблюдении совместимости. Эти стандарты сигнала и форматы параллельных и последовательных интерфейсов представляют сегодня главный акцент цифровой телевизионной технологии и, несмотря на относительную сложность и чувствительность к внешним воздействиям, последовательный цифровой интерфейс 270 Мбит/с поддерживается всем современным цифровым телевизионным оборудованием.

Глава 2 касается измерений в аналоговом сегменте и отношений между аналоговыми сигналами и их цифровыми представлениями, передаваемыми через параллельный интерфейс и SDI. Хотя в данном документе многое касается характеристик цифрового интерфейса, не следует забывать, что суммарная характеристика программной цепи будет хуже оптимальной, если, например, аналоговый исходный сигнал не соответствует спецификациям, аналогово-цифровой преобразователь не отрегулирован, а аналоговая система отображения неисправна.

Глава 3 касается данных, передаваемых через систему цифрового производства: точности передаваемых данных, синхронизации и т.п., а в Главе 4 даются подробности ряда измерительных процедур, охватывающих характеристики и параллельного, и последовательного интерфейсов: например, формы и уровни сигнала, джиттер.

Глава 5 в общем касается путей приспосабливания цифровых компонентных интерфейсов к рабочей среде современного телепроизводства. Цифровые видео интерфейсы используют очень сложные методы передачи данных и требуют специальных измерительных инструментов. В Главе 6 обсуждаются характеристики и возможности соответствующих тестовых инструментов и сигналов.

Документ включает раздел Справочные данные и стандарты, где даны все принципиальные технические параметры обсуждаемых в документе интерфейсов и список соответствующих документов по стандартам. Наконец, в ряде Приложений даются дальнейшие объяснения нескольких важных принципов измерений, касающихся последовательного цифрового интерфейса и тестовых инструментов для цифровых видеосигналов.

Важные замечания

1. В данном документе для обозначения аналоговых компонентных сигналов используется более общепринятая номенклатура сигналов $Y/C_B/C_R$, а не E'_Y, E'_{CB}, E'_{CR}, определенная в соответствующих стандартах, хотя в принципе $Y/C_B/C_R$ относится к цифровым представлениям аналоговых компонентных сигналов.
2. Для олицетворения композитных аналоговых сигналов в данном документе используется система PAL. Утверждения, касающиеся композитных сигналов PAL, в основном применимы и к системам SECAM.
3. Цифровые компонентные телевизионные системы, описанные в данном документе, могут использовать 8- или 10-битные представления уровней сигнала. Если информация относится к 10-битному представлению, то значения заключены в угловые скобки: <...>.
4. Описания цифровых видеосистем требуют использования нескольких различных числовых представлений. Все значения в шестнадцатеричной системе счисления изображаются в форме NN_{hex}. Десятичные числа показаны с индексом NN_{dec} только при необходимости во избежание неясности.
5. Текст включает перекрестные ссылки на три независимых ряда справочной информации:

Ссылка	*Форма перекрестной ссылки*	*Связь*
Справочные данные, взятые из соответствующих документов по стандартам	*Ref. n*	Раздел *Справочные данные и стандарты*
Названия официальных стандартов, спецификации и другие документы, определяющие интерфейсы, методы тестирования или соответствующие аспекты	[S.n]	
Источники общей пояснительной информации	[n]	*Библиография* (в конце книги)

••••• 1

••••••••••••• • •••••••• ••••••••••• ••••••••••

В этой главе дается общее представление о стандартах цифрового компонентного видео, включая форматы телевизионного сигнала, представления их данных и конфигурации физических интерфейсов.

1.1. Формат цифрового видео 4:2:2

Рекомендация ITU–R BT.601 [S.1] определяет параметры дискретизации сигнала, используемые в преобразовании 625-строчных видеосигналов из аналоговой сферы в цифровую. Она также определяет характеристики фильтров сглаживания, необходимых на входе процесса преобразования в целях минимизации артефактов, возникающих при пониженной частоте дискретизации.

1.1.1. Дискретизация

a) Частота дискретизации

Обозначение “4:2:2” указывает соотношение частот дискретизации для компонент яркости и цветности аналогового сигнала. Рекомендация ITU–R BT.601 определяет частоту дискретизации 13.5 МГц для компоненты яркости, Y, и 6.75 МГц для каждого сигнала цветности, C_B и C_R.

Частоты дискретизации – это целые числа, кратные частоте строки, F_h, и Рекомендация ITU-R BT.601 определяет одинаковую схему дискретизации для 625- и 525-строчного стандартов (625-строчная: 864 x F_h = 13.5 МГц; 525-строчная: 858 x F_h = 13.5 МГц).

Выбор частоты дискретизации определяется максимальной полосой частот сигнала. Согласно теориям Шеннона и Найквиста, частота дискретизации должна быть как минимум вдвое больше максимальной частоты сигнала, если необходимо избежать эффектов наложения. Это значит, что теоретически максимальная полоса частот будет 6.75 МГц для сигнала яркости и 3.375 МГц для каждого сигнала цветности.

Рекомендация ITU-R BT.601 [S.1] дает допуски для полосы пропускания входных фильтров, которые приводят к ограничению полосы ниже данных теоретических значений. Спецификация канала яркости требует, чтобы затухание было менее 0.1 dB на 5.75 МГц, более 12 dB на 6.75 МГц и более 40 dB на частотах выше 8 МГц. Для каналов цветности затухание должно быть менее 0.1 dB на 2.75 МГц, более 6 dB на 3.375 МГц и более 40 dB на частотах свыше 4 МГц.

Для охвата широкоэкранных приложений Рекомендация ITU-R BT.601 была расширена и включила частоту дискретизации 18 МГц (4/3 x 13.5 = 18). EBU не поддерживает использование двух разных частот дискретизации и заявил о предпочтении единой частоты 13.5 МГц [S.2]. Это было сделано для удобства работы и потому, что ограничения частотной полосы существующих и потенциальных систем распространения не позволяют зрителям увидеть дополнительное разрешение по горизонтали, связанное с более высокой частотой дискретизации.

b) Структура дискретизации

Рекомендация ITU-R BT.601 описывает ортогональную структуру дискретизации сигнала, а документ EBU Tech. 3267 [S.3] излагает способ мультиплексирования значений выборки в поток данных. Наиболее важные элементы этой схемы показаны в *Ref. 1* и *Ref. 2* в разделе *Справочные данные и стандарты*.

Существует 720 выборок для яркости (Y) и 360 выборок для каждого сигнала цветности (C_B, C_R), что дает в сумме 1440 выборок для каждой активной строки. Первые три выборки активной строки нумеруются C_B/Y/C_R = 0/0/0, а последние четыре имеют номера C_B/Y/C_R = 359/718/719. Первая выборка после гашения всегда является значением CB, а последняя выборка – всегда значением Y. (Это одинаково в 525- и 625-строчных системах.) Первая выборка в активном видео, выборка C_B-0, происходит через 132 периода дискретизации после переднего фронта импульса синхронизации аналоговой строки. Период цифрового гашения – 10.7 мкс, а аналоговое гашение – 12 мкс. Следовательно, цифровая активная строка на 1.3 мкс длиннее аналоговой активной строки *(Ref. 1).*

1.1.2. Квантование видеосигналов

Квантование сигналов в цифровом секторе устанавливается пятью соображениями:
- максимальное число значений, представленных шкалой квантования;
- номинальный диапазон уровней (т.е. диапазон значений, охваченный уровнями квантования);
- резервная зона уровня;
- число битов в одной выборке;

- исключенные коды, оставленные для целей синхронизации.

Максимальное число значений, определенное в Рекомендации ITU-R BT.601, это 256 <1024>[1] для компонент как яркости, так и цветности.

Ref. 7 и *Ref. 8* показывают цифровые значения компонент яркости и цветности с соответствующими значениями в двоичной, десятичной и шестнадцатеричной системе счисления. Эти диаграммы ясно показывают запрещенные значения, как указано ниже в *Разделах 1.1.2.a)* и *b)* (напр. от 00.0_{hex} до $00.C_{hex}$ и от $FF.0_{hex}$ до $FF.C_{hex}$ в 10-битном кодировании яркости).

a) Яркость (Ref. 7)

Активный сигнал яркости, Y, использует только 220 <877>уровней. Остальные 36 <147> уровней выше и ниже диапазона сигнала оставлены для резервной зоны и синхронизации.

Диапазон аналогового сигнала для Y – от 0 до 700 mV. Квантование линейное, и каждый шаг квантования соответствует разнице аналоговых уровней примерно в 3.2 mV <0.8 mV>.

Уровни квантования от 1 до 15 <от 4 до 63> и от 236 до 254 <от 941 до 1019> оставлены для нижней и верхней резервных зон соответственно.

Коды синхронизации оставлены для опорных сигналов синхронизации (TRS). Заголовки TRS таковы:

FFhex	00hex	00hex	для 8-битных систем
FF.Chex	00.0hex	00.0hex	для 10-битных систем.

b) Цветность (Ref. 8)

Номинальный диапазон значений для каждого сигнала цветности – от 16 до 240 <от 64 до 960>, позволяя использовать 225 <897>значений. Сигналы цветности расположены симметрично вокруг уровня 128, соответствующего 0 mV. Шаг квантования – около 3.1 mV (0.87 mV).

Уровни от 1 до 15 <от 4 до 63> и от 241 до 254 <от 961 до 1019> оставлены для нижней и верхней резервных зон.

1.1.3. Кодирование

Первые системы для цифрового видео использовали схему кодирования с 8 битами на выборку. Потребность в лучшем разрешении амплитуды (первоначально – для сохранения дополнительных битов, сгенерированных во время обработки, а также для улучшения коэффициента сигнал/шум) привела к внедрению 10-битных версий стандартов дискретизации и интерфейсов.

Рекомендация ITU-R 601 описывает 8- и 10-битное кодирование. Для облегчения интерпретации значений выборок 10-битные значения считаются целыми 8-битными числами с двумя дополнительными дробными битами.

Например:

	образец битов	*десятичное значение*	*шестнадцатеричное значение*
8-бит	1001 0001	145_{dec}	91_{hex}
10-бит	1001 0001.01	145.25_{dec}	91.4_{hex}

Дробная часть 10-битного кода может иметь одно из 4 значений:

00	=	$.00_{dec}$	=	$.0_{hex}$
01	=	$.25_{dec}$	=	$.4_{hex}$
10	=	$.50_{dec}$	=	$.8_{hex}$
11	=	$.75_{dec}$	=	$.C_{hex}$

Если дробной части нет, то два бита интерпретируются как ноль.

1.1.4. Опорные сигналы синхронизации (TRS - EAV, SAV)

Каждая строка цифрового кадра идентифицируется своим опорным сигналом синхронизации, включающим опорную последовательность синхронизации из трех кодовых слов и четвертое кодовое слово, которое отмечает либо *конец активного видео* (EAV), либо *начало активного видео* (SAV). Структура TRS определена в документе EBU Tech. 3267 [S.3], а принципиальные особенности показаны в *Ref. 6.*

Начало цифрового гашения отмечается вставкой кода EAV в позициях выборок 360/720/360/721, а конец цифрового гашения отмечается кодом SAV в позициях выборок 431/862/431/863 *(Ref. 2)*.

1 Если информация относится к 10-битному представлению, значения заключены в угловые скобки: <...>.

1.1.5. Вспомогательные данные

a) Общее

Кроме цифрового видеосигнала, интерфейсы имеют способность пропускать вспомогательные сигналы данных. Все данные в период от конца активного видео (EAV) до начала активного видео (SAV), за исключением опорных сигналов синхронизации (TRS) EAV и SAV, называются “горизонтальными вспомогательными данными (HANC)”. Данные в активной части строк в интервале вертикального гашения называются “вертикальными вспомогательными данными (VANC)”. Эти зоны данных могут нести цифровые аудио каналы, цифровой тайм-код (DTC) или подобную информацию.

Стандарт SMPTE 291M [S.9] определяет, что вспомогательные данные в VANC и HANC должны использовать 10-битную структуру.

Структура сообщения вспомогательных данных показана в *Ref. 9*.

Пакеты вспомогательных данных имеют заголовок, который называется флажком вспомогательных данных (ADF) и состоит из трех кодов со следующими значениями:

$00.X_{hex}$, $FF.X_{hex}$, $FF.X_{hex}$.

Три кода после ADF включают

либо: идентификацию данных (DID), номер блока данных (DBN) и отсчет данных(DC),

либо: идентификацию данных (DID), вторичную идентификацию данных (SDID) и отсчет данных (DC).

Коды в горизонтальных и вертикальных интервалах гашения, не являющиеся ни опорными сигналами синхронизации (TRS), ни активными вспомогательными данными, следует заменять следующими значениями:

80.0_{hex}, 10.0_{hex}, 80.0_{hex}, 10.0_{hex}, и т.д. ($C_B/Y/C_R/Y/...$).

Некоторые строки в интервале вертикального гашения оставляются для других целей:

строки 20, 333:	самотестирование;
строки 6, 7, 8, 319, 320, 321:	не должны содержать вспомогательных данных во избежание проблем во время коммутации видео (см. *Ref. 14*);
строки 11, 324:	не следует использовать для звука или расширенных данных.

b) Вставка цифрового звука AES/EBU в качестве вспомогательных данных

В качестве вспомогательных данных можно вставить до 16 цифровых аудиосигналов AES/EBU, каждый из которых передает одну пару аудио каналов с 20-битным (по желанию, 24-битным) кодированием. Звуковые данные дискретизируются непрерывно, но при передаче по SDI поток звуковых данных вставляется только во время интервалов горизонтального и вертикального гашения. Это подразумевает обеспечение буферной памяти для возможности непрерывного ввода и вывода потоков звуковых данных.

Полные спецификации цифровых аудио сигналов AES/EBU даны в соответствующих документах по стандартам: EBU Tech. 3250 [S.26][S.27][S.28] и AES3 [S.29]. Структура звукового кадра показана в *Ref. 10.*

Спецификации для вставки звука AES/EBU в последовательный цифровой интерфейс даны в Стандарте SMPTE 272M [S.32].

Вставка звуковых данных в пакеты вспомогательных данных SDI показана в *Ref. 11*. 20-битный код звуковой выборки плюс три последующих бита (бит достоверности, пользовательский бит и статус аудио канала) определенного аудио канала (т.е. левого или правого канала определенной пары аудио каналов) преобразуются в три последовательных кода пакета вспомогательных данных SDI, обозначенного как пакет “аудио” данных. Четыре добавочных бита, предшествующие 20-битным данным выборки в звуковом субкадре, преобразуются в коды данных во вспомогательном пакете SDI, обозначенные как пакет “расширенных” данных. Каждый код этого пакета несет добавочные биты из двух звуковых субкадров.

Измерительные процедуры для цифровых аудио сигналов изложены в AES 11 [S.41] и AES 17 [S.42].

c) Вставка цифрового тайм-кода во вспомогательные данные

Спецификация для цифрового тайм-кода (DTC) изучается сейчас в EBU и SMPTE.

d) Обнаружение и обработка ошибок (EDH)

Рекомендуемая практика SMPTE RP 165 [S.39] определяет систему обнаружения и обработки ошибок (EDH), основанную на использовании соответствующих форм контрольных кодов (напр. контроль при помощи циклического избыточного кода – CRC) и флажков состояния.

Используемый код CRC является стандартным 16-битовым CRC-CCITT многочленным кодом, имеющим функцию многочлена $x^{16} \oplus x^{12} \oplus x^5 \oplus 1$, где $\oplus$ – функция «исключающее ИЛИ».

CRC применяется во всей цифровой цепи. Предложение предусматривает непрерывное генерирование трех CRC, вычисляемых по трем различным областям потока данных:

- выборки активного изображения;
- целый полукадр;
- вспомогательные данные.

Контрольные коды и флажки состояния объединяются в “пакете состояния ошибки”, который вставляется как вспомогательные данные в строках 5 (коды Y850 – Y861 <Y1138 – Y1149>) и 318 следующего полукадра. Контрольные коды целого полукадра вычисляются по выборкам всех строк, кроме тех, где содержится пакет состояния ошибки и двух следующих строк (область коммутации в вертикальном интервале).

В приемнике SDI те же контрольные коды вычисляются из полученного потока данных при помощи тех же методов, что и в передающем оборудовании, и сравниваются с кодами, извлеченными из пакета состояния ошибки. Наличие ошибки определяется по состоянию флажка, показывающего обнаружение ошибки. Имеется три флажка ошибок (каждый соответствует одному из трех указанных выше CRC), относящихся к состоянию *предыдущего* полукадра.

1.2. Другие форматы цифрового компонентного сигнала

Документ EBU Tech. 3268 [S.4] определяет дополнительный формат с дискретизацией 4:4:4 для применения в оборудовании, требующем высококачественной обработки сигнала, и для возможности хромакея. Как говорилось во *Введении*, интерфейс 4:4:4 включает два параллельно работающих интерфейса 4:2:2, и руководство, данное в настоящем документе, во многих отношениях годится и для измерений по интерфейсам 4:4:4.

Существуют и некоторые другие обозначения, включающие четвертый параметр, такие как 4:2:2:4 или 4:4:4:4, в которых последняя цифра дает коэффициент частоты дискретизации для системы ключей (key) (13.5 МГц, если это цифра 4). В последнем случае нужны два интерфейса, так как по сравнению с системой 4:2:2 здесь вдвое больше данных.

Подмножества основного формата 4:2:2 включают форматы 4:2:1, 4:2:0.5, 4:2:0 и 4:1:1.

Последовательный цифровой интерфейс можно использовать и для передачи цифровых сигналов PAL, дискретизированных 4-х кратной частотой цветовой поднесущей ($4f_{sc}$ = 17.734475 МГц). Цифровой сигнал PAL определен в документе EBU Tech. 3280 [S.18]. Он использует 8-битное квантование, передаваемое 10-битными кодами для достижения совместимости с форматом данных SDI, а скорость передачи данных последовательного цифрового сигнала PAL – 177.34 Мбит/с.

1.3. Другие учитываемые стандарты

Хотя данный документ касается в основном измерений стандартных цифровых компонент видеоинтерфейсов, важно знать возможные эффекты обработки сигнала на оборудовании, снабженном этими интерфейсами. Системы цифровой видеозаписи и оборудование, использующее технологии снижения скорости передачи битов, могут вызвать неожиданные трудности при проведении измерений по сигналам интерфейсов.

1.3.1. Стандарты цифровой видеозаписи D1 – D6

Хотя стандарты цифровых видеомагнитофонов имеют общий последовательный цифровой интерфейс, во внутренней обработке сигнала есть различия. Они перечислены в *Таблице 1*.

Таблица 1 – Принципиальные характеристики форматов цифровой видеозаписи

Формат	Система сигнала	Биты видео-данных	BRR	Записываемые строки VBI	Частота дискрети-зации (МГц)	Стандарты	Прим.
D1	Компо-нент	8	нет	11-22 324-335	13.5/6.75/6.75	IEC 1016 [S.43] ITU-R BT.657 [S.44]	6, 7
D2	Композит	8	нет	7/8/9/10-22 320/321/322/323-335	17.72 (PAL)	IEC 1079 [S.46] SMPTE 244 M [S.8]	1
D3	Композит	8	нет	7/8-22 320/321-335	17.72 (PAL)	SMPTE 244 M [S.8]	1
DCT	Компо-нент	8	2:1	11-22 324-335	13.5/6.75/6.75		2, 7
D5	Компо-нент	10	нет	8-22 312-335	13.5/6.75/6.75 18/9/9		3, 7
Digital Betacam	Компо-нент	8/10	2:1	8-22 312-335	13.5/6.75/6.75		4, 7
D6	Компо-нент	8	нет	21-44 , 646-669 38-40 , 601-602	72/36/36 74.25/37.125/37.125	EU 95 SMPTE 240 M [S.11] SMPTE 260 M [S.12] ITU-R BT.709 [S.16]	5

Примечания:
1. 141 Мбит/с для PAL; выбор записанных строк VBI зависит от последовательности из 8 полукадров PAL.
2. Перед записью 10-битные коды видеоданных округляются до 8-бит.
3. 360 Мбит/с для 8-битного разрешения.
4. Аналоговые входы используют только 8-битные данные.
5. Рекордер HDTV (1250/50 для проекта Eureka 95, 1125/60 для США).
6. Формат сигнала определен в Рекомендации ITU-R BT.601 [S.1].
7. Интерфейс определен в Рекомендации ITU-R BT.656 [S.5].

1.3.2. Оборудование, использующее снижение скорости передачи битов

Качество изображения, полученное в системах, использующих снижение скорости передачи битов (bit–rate reduction – BRR), зависит от структуры как активного изображения, так и интервала вертикального гашения. Использование BRR может разрушить тестовые сигналы вставки (ITS) и сигналы данных в интервале вертикального гашения и некоторые специальные тестовые сигналы, передаваемые в области активного изображения.

Системы, использующие BRR, определяются в следующих документах по стандартизации:

- Рекомендация ITU-R 721 [S.13] описывает передачу цифровых компонентных телевизионных сигналов на скоростях, близких к 140 Мбит/с для целей контрибуции;
- Рекомендация ITU-R BT.723 [S.14] и Европейский стандарт связи ETS 300 174 [S.15] дают формат передачи с пониженной скоростью битов (34-45 Мбит/с) для сигналов качества контрибуции, соответствующих интерфейсу 4:2:2 SDI;
- Стандарты MPEG-2 для видеосигналов с пониженной скоростью передачи в иерархиях 1.2 – 3 Мбит/с, 5 – 10 Мбит/с, 7 – 15 Мбит/с и 20 – 40 Мбит/с. Хотя эти сигналы не могут быть синхронизированы с сигналом SDI, они дают возможность использования интерфейса 4:2:2 в качестве транспортного потока (см. *Раздел 1.3.3.*).

1.3.3. Преобразование скоростей передачи данных и форматов

Для передачи телевизионных сигналов с кодированными компонентами существует несколько систем, применяющих методы компрессии, которые используют форматы и скорости передачи данных, отличающиеся от SDI. SDI может передавать сжатые сигналы в ряде форматов при условии поддержания базовой структуры данных (TRS).

Измерительные процедуры для таких сигналов находятся в процессе обсуждения.

а) Интерфейсы ATM

Режим асинхронной передачи (ATM) используется для передачи видео, звука и данных в небольшом ряде приложений, но его применение для среды студийного вещания еще подробно не изучено. Сейчас ATM позволяет скорости передачи 45, 155, 622 и 2400 Мбит/с. Широко доступна только скорость 155 Мбит/с, поэтому сигнал SDI, имеющий скорость 270 Мбит/с, для передачи в ATM в большинстве случаев необходимо сжимать.

b) SDDI

Интерфейс последовательных цифровых данных (SDDI) является расширением существующей системы передачи SDI. Данные SDDI могут передавать видео, звук и данные в ряде форматов (напр. SX, пакетированные и сжатые данные, ...).

Теоретически SDDI физически совместим с базовым SDI, хотя ведутся дальнейшие исследования для подтверждения его применения в реальной производственной среде. SDDI позволяет только 9-битные коды данных по сравнению с 10-битным форматом кодов SDI, не допуская наличия резервных кодов в потоке данных SDDI.

1.4. Физические интерфейсы для цифровых компонентных видеосигналов

В этом *разделе* описываются принципиальные характеристики параллельных и последовательных интерфейсов, используемых для передачи цифровых компонентных видеосигналов, обсуждаемых в *Разделе 1.1.*

1.4.1. Параллельный цифровой интерфейс

Параллельный интерфейс подробно описан в документе EBU Tech. 3267 [S.3] и Рекомендации ITU-R BT-656 [S.5]. Новое оборудование, как правило, снабжено последовательными интерфейсами (*Раздел 1.4.2.*), но во многих производственных сегментах до сих пор эксплуатируется оборудование, использующее параллельный интерфейс.

Ref. 4 и *Ref. 5* показывают наиболее важные особенности интерфейса. *Ref. 4a)* показывает сигнал данных по отношению к сопровождающему его сигналу синхронизации. Интерфейс передает 8 <10> сигналов данных и отдельно синхронизирующие такты. Период тактов – 37 нс, что соответствует скорости кода 27 Мкодов/с в структуре дискретизации $C_B/Y/C_R/Y/...$, описанной в *Разделе 1.1.1.b)*.

Ref. 4b) показывает глазковую диаграмму сигнала параллельных данных. Приемник линии должен правильно опознавать двоичные данные, когда минимальные значения открывания глазковой диаграммы – 100 mV и 2 нс. Опорные переходы синхроимпульсов должны точно соответствовать центру глазка.

Ref. 4c) показывает связь между передатчиком и приемником на основе логических схем с эмиттерными связями (ECL), передающую одну из 8 <10> линий данных или синхроимпульс. Можно заметить, что сигналы передаются симметрично, поэтому они нечувствительны к синфазным помехам от внешних источников или через заземление. *Ref. 5* показывает распределение контактов 25-полюсного разъема типа D. Кабель с обоих концов имеет штепсельные разъемы, а все разъемы оборудования (входы и выходы) являются розетками.

Параллельный стандарт требует применения многожильного соединительного кабеля (25-жильный). Максимальная длина кабеля для экранированной витой пары около 50 м. Такое ограничение делается главным образом из-за емкости кабеля, “ассимметрии битов” (эффект, при котором не все биты данных синхронизированы с сигналом синхроимпульса по прибытии на приемник) и перекрестных помех.

Параметры сигнала, определенные в документах по стандартам и требующие измерения во время тестов на параллельных интерфейсах, обсуждаются в *Главе 4*.

1.4.2. Последовательный цифровой интерфейс (SDI)

Последовательный цифровой интерфейс подробно описан в Рекомендации ITU-R BT-656 [S.5], документе EBU Tech. 3267 [S.3] и Рекомендуемой практике SMPTE 259M [S.6].

Скорость передачи кодов 27 Мслов/с параллельного интерфейса переводится в последовательную скорость битов 270 Мбит/с в SDI. Длина слова последовательных данных 10 бит, даже если интерфейс передает данные только с 8-битным разрешением. Порядок передачи последовательных данных – сначала самый младший разряд (LSB).

Типичная конфигурация оборудования показана в *Ref. 15.* Передатчик SDI включает преобразователь параллельного кода в последовательный, кодер (скремблер) и кабельный драйвер. Эквалайзер в приемнике восстанавливает цифровой сигнал, имеющий искажения, связанные с затуханием в кабеле. Устройство регенерации (reclocker) извлекает тактовый сигнал, а дескремблер восстанавливает оригинальные данные.

Последовательный кодер использует скремблированное кодирование канала NRZI на основе генерации следующего полинома:

$$G1(x) \blacktriangleright G2(x)$$

где: $G1(x) = x^9 \oplus x^4 \oplus 1$ для производства скремблированного сигнала NRZ

$G2(x) = x \oplus 1$ для производства неполярной последовательности NRZI

$\oplus$ = логическая функция «исключающее ИЛИ».

Скремблер выполняет две очень важные задачи:

- помогает избежать генерации слишком низкочастотных компонентов в последовательном сигнале (хотя скремблер может производить длинные последовательности “0”, которые не будут удаляться функцией G2(x));
- увеличивает число переходов в последовательном сигнале (если в потоке данных слишком много последовательных “0”, то это приводит к избыточной нагрузке системы ФАПЧ регенерации тактовых сигналов (reclocking) приемника).

9-битный скремблер (функция G1(x)) теоретически может генерировать бесконечную последовательность “0”, если входной сигнал состоит только из “0”. Самая длинная последовательность “0” в цифровом сигнале – 39 (что соответствует продолжительности около 144 нс), как бывает, например, в контрольном полукадре SDI (см. *Раздел 6.3.2.*).

Концептуальные диаграммы функций скремблирования, кодирования NRZ-NRZI, декодирования NRZI-NRZ и дескремблирвания показаны в *Ref. 16*.

Как отмечалось в *Разделе 1.1.2.*, значения данных в диапазоне от 00.0_{hex} до $00.C_{hex}$ и от $FF.0_{hex}$ до $FF.C_{hex}$ оставлены для опорных сигналов синхронизации (TRS) и не разрешаются для пользовательских или видео данных.

Интерфейс прозрачен к сигналам, определенным в Рекомендации ITU-R BT.601, и в 8-, и в 10-битном представлении. Видеосигнал могут сопровождать до 16 встроенных цифровых аудио каналов, соответствующих стандарту цифрового аудио интерфейса AES/EBU, определенному документом EBU Tech. 3250 [S.26], AES 3 [S.29] и Рекомендуемой практикой SMPTE 272M [S.32]. Видео и вспомогательные данные передаются в единой линии связи в формате с временным мультиплексированием.

Передача на расстояния примерно до 300 м может производиться при помощи коаксиального кабеля без восстановления данных, если в приемнике SDI обеспечивается автоматическая стабилизация кабеля. Более дальние расстояния можно охватить при помощи волоконно-оптических линий связи (см. *Раздел 1.4.3.*).

1.4.3. Оптические интерфейсы

Рекомендация ITU-R BT.656 [S.5] дает предварительную спецификацию для односигнального мономодового оптического интерфейса. Дальнейшая работа в SMPTE привела к публикации Стандарта SMPTE 297M [S.10], включающего характеристики передатчиков, приемников, световодов и разъемов интерфейса для одномодовой и многомодовой оптоволоконной передачи.

В настоящее время измерения по оптическим системам SDI могут проводиться только в электрической области, перед электрооптическим преобразователем на входе системы и после оптоэлектрического преобразователя на выходе. Поэтому спецификации характеристик и измерительные процедуры аналогичны описанным в данном документе для параллельных и последовательных электрических интерфейсов.

Глава 2

Измерения в аналоговом сегменте

Во многих практических задачах цифровые компонентные видеосистемы интегрированы с аналоговыми системами, работающими с компонентными ($Y/C_B/C_R$) или композитными сигналами (напр. PAL). Эта глава касается измерений параметров сигнала в аналоговом оборудовании, работающем вместе с цифровыми компонентными системами, и в оборудовании, используемом для преобразований между аналогом и цифрой.

2.1. Конвертеры A/D_{ser} и D_{ser}/A для видео и аудио сигналов

2.1.1. Назначение и ограничения по характеристикам

Конвертер A/D_{ser} служит для преобразования аналоговых компонентных сигналов в сигнал последовательного цифрового интерфейса (SDI); он содержит предфильтры и аналого-цифровые преобразователи, за которыми следуют мультиплексор и параллельно-последовательный преобразователь.

Конвертер D_{ser}/A преобразует сигнал SDI в аналоговую компонентную область и включает последовательно-параллельный преобразователь, демультиплексор, цифро-аналоговые преобразователи и пост-фильтры.

Характеристики преобразователя зависят от двух важных аспектов: параметров проекта (помехи квантования и связанные с ними аспекты) и физической реализации.

a) Параметры проекта

Теоретические *помехи квантования* зависят от разрешения квантования:
Видео:

$$S/N_{невзвешенный} = 10 \times \log \left(\frac{s^2}{12}\right) \text{ dB}$$

где: s = 100% / число шагов квантования в номинальном диапазоне амплитуды видео.

Это равенство дает коэффициент S/N (невзвешенный) 57.64 dB для 8-битных кодов видеоданных, или 69.65 dB для 10-битного видео.

Аудио:

$$S/N_{RMS} = 6n + 2 \text{ dB}$$

где: n = число битов на выборку.

Значения RMS S/N, полученные из данного равенства, это 98 dB (16-битные аудио коды), 122 dB (20-битные) и 146 dB (24-битные).

Ошибки *статической нелинейности,* влияющие на преобразователи видео, будут порядка 0.23% для 8-битного и 0.06% для 10-битного видео.

Теоретически минимальное значение *пульсации,* воздействующее на видео или аудио сигнал, будет равно плюс/минус половине значения, соответствующего самому младшему разряду (LSB).

b) Физическая реализация

В некоторых задачах, особенно на входе видео и аудио цифро-аналоговых преобразователей, *джиттер* должен быть менее 1 нс (видео) или 0.1 нс (16-битное аудио). джиттер, превышающий эти пределы, может вызвать ошибки линейности в аналоговом сегменте (см. *Приложение А*, [2] и [3]).

Неадекватная конструкция конвертера D_{ser}/A может привести к появлению кратковременных импульсных помех на выходе. Спецификаций по этой проблеме нет, но все импульсные помехи должны быть как можно короче и меньше (т.е. с небольшой амплитудой). Короткий импульс с большой амплитудой легче устранить, чем более широкий и маленький.

В конвертерах D_{ser}/A и A/D_{ser} *нелинейность конвертера* должна поддерживаться в пределах одного LSB.

Интерференция (вмешательство) цифрового сегмента в схемы аналогового сегмента или в схемы их соединений могут уменьшать отношение сигнал/шум.

Наконец, пред- и пост-фильтры, связанные с конвертерами D_{ser}/A и A/D_{ser}, определенные в [S.1]) могут вызывать ошибки *частотной характеристики* и *групповой задержки*.

Следует заметить, что даже в конвертерах $A/D_{ser,}$ имеющих принятые характеристики предфильтра, может произойти *наложение*. Это бывает вследствие эффекта срезания уровней видеосигнала в процессоре A/D_{ser} в ситуациях, когда эти уровни превышают резервную зону. Короткое время переходов, связанное с

этим процессом срезания, который происходит уже после предфильтра, генерирует частотные компоненты, превышающие вышеупомянутый лимит Найквиста и потому на выходе получаются видеосигналы с наложением. Эту проблему можно решить, разместив перед предфильтром аналоговый ограничитель.

2.1.2. Измерения

Спецификации

Спецификации для конвертеров A/D_{ser} и D_{ser}/A даны в Рекомендации ITU-R BT. 601.

Измерительное оборудование

Характеристики конвертеров A/D_{ser} и D_{ser}/A проверены при помощи генератора тест-сигнала с аналоговыми и SDI выходами, видео анализатором SDI и аналоговым компонентным видео анализатором.

Необходимы три тестовых шаблона:

- цветные полосы;
- переменное плоское поле (variable flat field);
- пилообразный сигнал (см. Рекомендацию ITU-R BT.801 [S.33]).

Условия и процедуры измерений

Методы и параметры тестов описаны в Технической информации EBU I15 [S.36]. Базовые конфигурации измерений показаны на *Рис. 1*.

Конвертеры A/D_{ser} (Рис. 1a)

Аналоговые тест-сигналы подаются на конвертер $A/D_{ser,}$ а цифровые сигналы, произведенные конвертером, анализируются в области данных. В последовательном цифровом и в аналоговом сегментах одновременно требуются высокоточные тест-сигналы. Сопоставление между цифровым выходом генератора и цифровым выходом конвертера A/D_{ser} производится в цифровом сегменте.

Для оценки ошибок можно использовать тестовые шаблоны или программный материал.

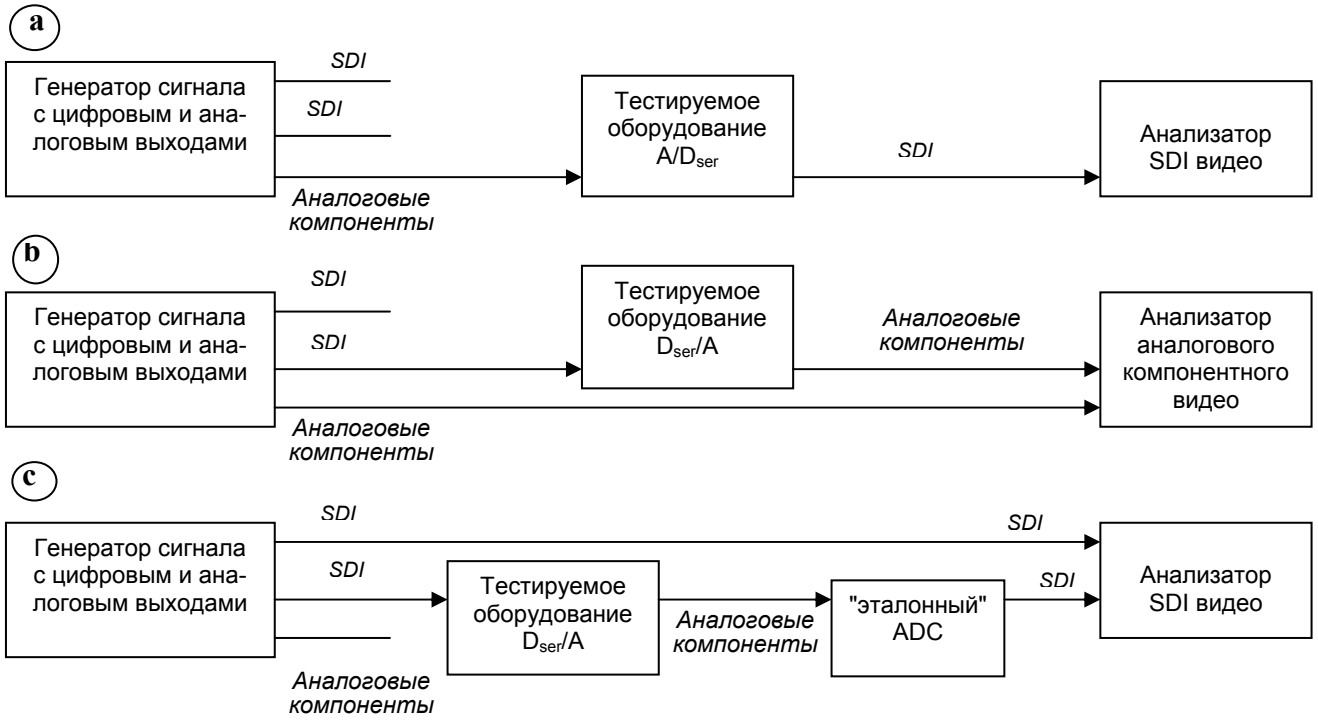


Рис. 1 – Блок-схемы измерительных конфигураций конвертеров D/A и A/D.

Конвертеры D_{ser}/A (Рис. 1b)

Сигнал SDI подается на конвертер, а сигнал на выходе анализируется в аналоговом сегменте при помощи аналогового компонентного анализатора.

Комбинация конвертеров D_{ser}/A и A/D_{ser} (Рис. 1c)

Сигнал SDI подается на первый конвертер, а сигнал, выдаваемый вторым конвертером, анализируется в цифровом сегменте.

Измерения и их методы, используемые для изолированных конвертеров D_{ser}/A и A/D_{ser}, применимы и к комбинациям конвертеров.

2.2. Аналоговое видео до и после цифровой обработки

2.2.1. Уровень аналогового видеосигнала

Спецификации

Сигнал *Y* имеет пределы 0 и 700 mV.
Сигналы C_B и C_R имеют пределы ±350 mV с центром 0 mV.
Более подробно см. [S.20], *Ref. 7* и *Ref. 8*.

2.2.2. Время нарастания и спада аналогового сигнала

Частотная полоса сигнала яркости (*Y*) – 5.75 МГц, а время нарастания (от 10% до 90% перехода 2-T Блэкмена[2]) не должно быть менее 150 нс.

Частотная полоса компонент C_B и C_R – 2.75 МГц, а время нарастания (10% - 90%) не превышает 300 нс.

Эти спецификации можно сравнить со спецификациями для области данных (*Раздел 3.1.2.*).

2.2.3. Положение изображения относительно импульса аналоговой синхронизации

Следует провести измерения для подтверждения, что соотношение синхронизации между данной точкой в сигнале изображения и аналоговой синхронизацией постоянно во всей цепи аналог-цифра-аналог.

В телевидении нужно рассматривать два типа ошибок в положении изображения:

- положение изображения относительно синхроимпульса (задержка < 64 мкс);
- вертикальное положение изображения относительно начала изображения (64 мкс ≥ задержка < двух полукадров *(так в оригинале – прим. редактора)*).

Спецификации

Начало активного аналогового изображения (уровень 50%) – 10.5 мкс после опорной синхронизации t_o (эта опора находится в точке 50% амплитуды переднего фронта синхроимпульса).

От синхроимпульса аналоговой строки до начала цифровой активной строки укладывается 132 выборки.

Частота дискретизации – 13.5 МГц, поэтому продолжительность этих 132 выборок 9.778 мкс (132 x 10^3/13.5 нс).

Измерительное оборудование

Позиция изображения проверяется при помощи аналогового видео осциллографа и генератора тестовых шаблонов. Этот генератор вырабатывает импульсы хронирования в соответствии с формами сигнала, показанными на *Рис. 2,* в каждой строке активного изображения, и с уровнем белого в строках 23, 310, 336 и 623. Импульсы хронирования – это коды уровня серого в виде выборок яркости 0, 10, 360, 711 и 719, и соответствующих выборок цветности – 0, 5 180, 355 и 309. Этот шаблон можно использовать и в аналоговом, и в цифровом сегментах.

Процедура измерения

Тестовый шаблон подается на вход тестируемого цифро-аналогового преобразователя или преобразователя SDI-PAL, и выход преобразователя отображается на осциллографе. Для качественных испытаний можно использовать видеомонитор.

Можно проверить четыре аспекта позиции изображения:

- *Вертикальное гашение:* В аналоговом сегменте должны быть половинные линии в строках 23 и 623 и сплошные линии в строках 310 и 336. В цифровом сегменте должны быть сплошные линии в строках 23, 310, 336 и 623.

[2] Импульс Блэкмена – это импульс 2-T, частотный спектр которого полностью находится в определенной полосе (в данном случае 5.75 МГц). Спектр традиционного 5 МГц импульса 2-T частично выходит за рамки полосы 5 МГц [12].

- *Горизонтальное гашение:* В аналоговом сегменте должны быть видны две вертикальные линии, одна в начале активной строки, а другая в ее конце. В цифровом сегменте должны быть видны четыре вертикальные линии, по две в каждом из концов активной строки.
- *Вертикальное положение изображения:* Если это положение правильное, то при отображении аналогового сигнала на видеомониторе сверху и снизу в ширину области активного изображения будет видна белая окантовка в полторы строки. В случае цифрового сигнала окантовка должна заполнять две строки.
  Ошибка вертикального положения изображения показывается сдвигом горизонтальных белых линий. В случае ошибки в несколько строк белая окантовка исчезнет в интервале вертикального гашения.
  Сдвиг между одним и двумя полукадрами можно обнаружить как изменение в длине области вертикального гашения.
- *Горизонтальное положение изображения:* Если это положение неправильное, то амплитуды в обоих концах строки будут разными. Вертикальная полоса в центре активной строки должны быть сдвинута на 36.49 мкс относительно переднего фронта синхроимпульса аналоговой строки.

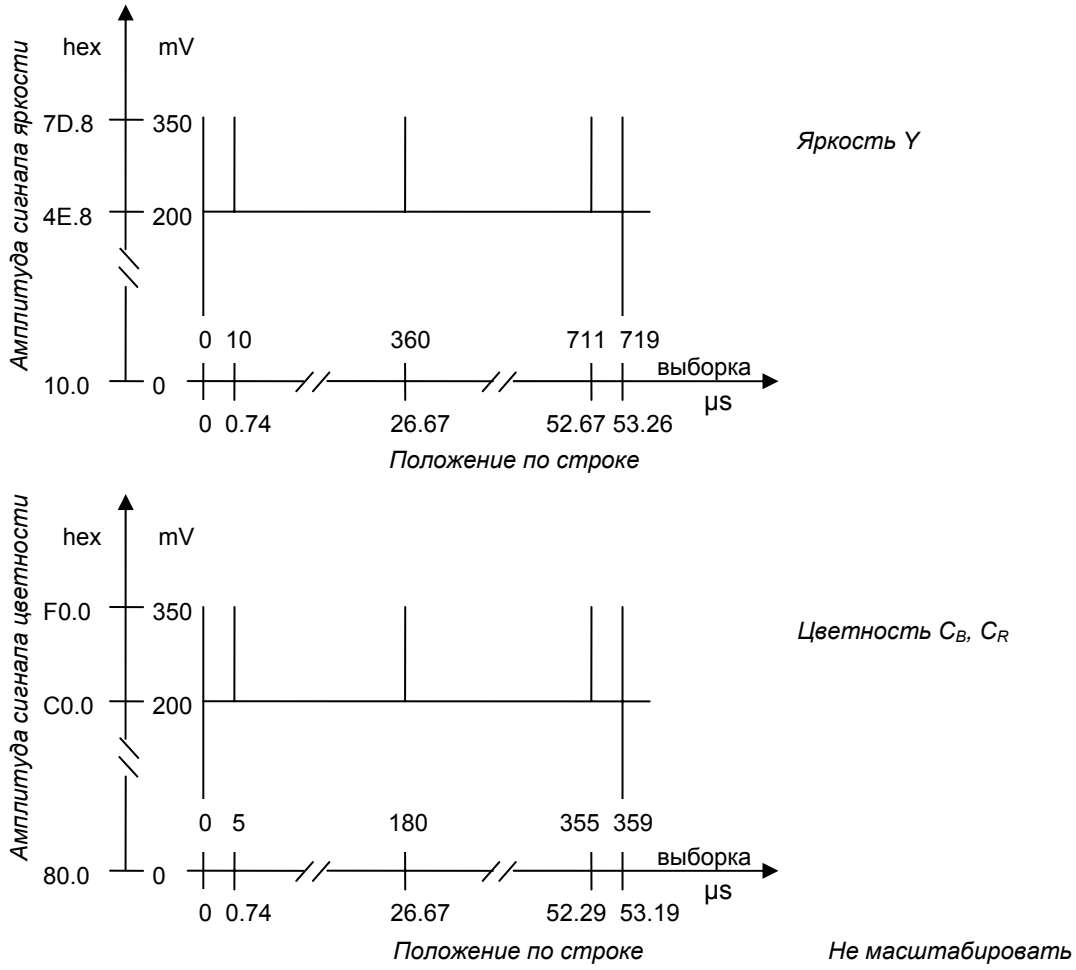


Рис. 2 – Тестовые сигналы для измерения положения изображения.

2.2.4. Измерения времени задержки видео

Измерительное оборудование

Задержки видео в аналоговом сегменте измеряются с помощью осциллографа и цифро-аналогового преобразователя.

Важно знать, что измерения времени задержки, проводимые при помощи цифро-аналогового преобразователя, могут давать ошибочные результаты. Это происходит потому, что некоторые точные ЦАП имеют дополнительный кварцованный контур с фазовой синхронизацией (ФАПЧ), работающий на частоте 27 МГц, который при определенных обстоятельствах может давать произвольное время задержки. Могут произойти ошибки в $\pm$ 74 нс.

Если, к примеру, ЦАП подсоединен после коммутационной матрицы, то разность между временем задержки переключаемых входных сигналов будет определяться тем, как запускается ЦАП. Если сигнал переключается через матрицу на преобразователь, то преобразователь «захватывается» этим сигналом. В большинстве случаев сигнал, переключенный позже, по-прежнему будет идти с опорным временем задержки, если ее сдвиг – в пределах ± 15 нс.

Если сдвиг больше, то работа ЦАП будет неопределенной. На практике наблюдались скачки в диапазоне от -111 до + 74 нс, которые будут влиять на работу последующего оборудования.

Простые ЦАП с L/C ФАПЧ, как правило, будут работать с воспроизводимым результатом.

Следовательно, перед проведением измерений временной задержки следует проверить пригодность для этого цифро-аналогового преобразователя.

a) Измерение задержки менее одной строки

Измерительное оборудование

Задержки видео менее одного периода строки измеряются при помощи осциллографа и цифро-аналогового преобразователя.

Процедура измерений

Оборудование коммутируется согласно Рис. 3.

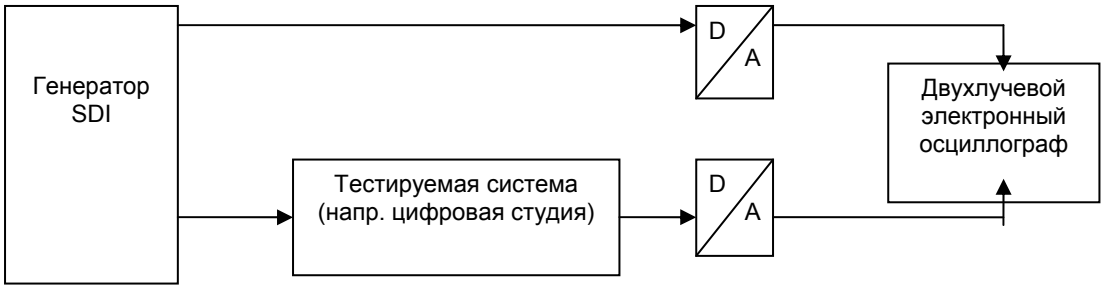


Рис. 3 – Коммутация оборудования для измерения времени задержки видео.

Представление результатов

Задержка видео записывается в микросекундах.

b) Измерение задержки более одной строки ("вертикальная" задержка)

Измерительное оборудование

Время задержки измеряется при помощи двух генераторов тест-сигнала и либо осциллографа, либо анализатора времени задержки.

Один генератор тест-сигнала выдает нормальный сигнал SDI. Другой выдает сигнал PAL, включающий последовательность идентификации полукадров. Она может быть в одной из двух форм:

- Каждый 8-й полукадр (или каждый 32-й) включает белую горизонтальную полосу, начинающуюся, например, со строки 200 и продолжающуюся до конца активного полукадра. Остальные 7 (31) полукадров черные.
- Соседние полукадры последовательности из 8 полукадров, производимые программируемым генератором тест-сигнала PAL, содержат пьедестал в формате полного полукадра, уровень пьедестала по отношению к положению полукадра в последовательности (полукадр 1 – черный; полукадр 2 – 100 mV; полукадр 3 - 200 mV; и т.д.), как показано на Рис. 4.

Анализатор времени задержки является специальным инструментом для автоматического измерения относительной синхронизации сигналов PAL, аналоговых компонентных и SDI. На него подаются сигналы из источников для сравнения, и он отображает разницу во времени в единицах полукадров и строк. Должна быть возможность измерения отрицательной задержки примерно до 100 строк.

Процедура измерений

Можно использовать два метода:

В первом методе оборудование установлено, как показано на Рис. 3, с осциллографом, синхронизированным от синхрогенератора студии, и тест-сигналом, как на Рис. 4. Задержка может быть идентифицирована посредством различия пьедесталов в каждом полукадре тест-сигнала.

Во втором методе тестовое оборудование установлено, как показано на Рис. 5. Задержка считывается непосредственно с дисплея анализатора времени задержки.

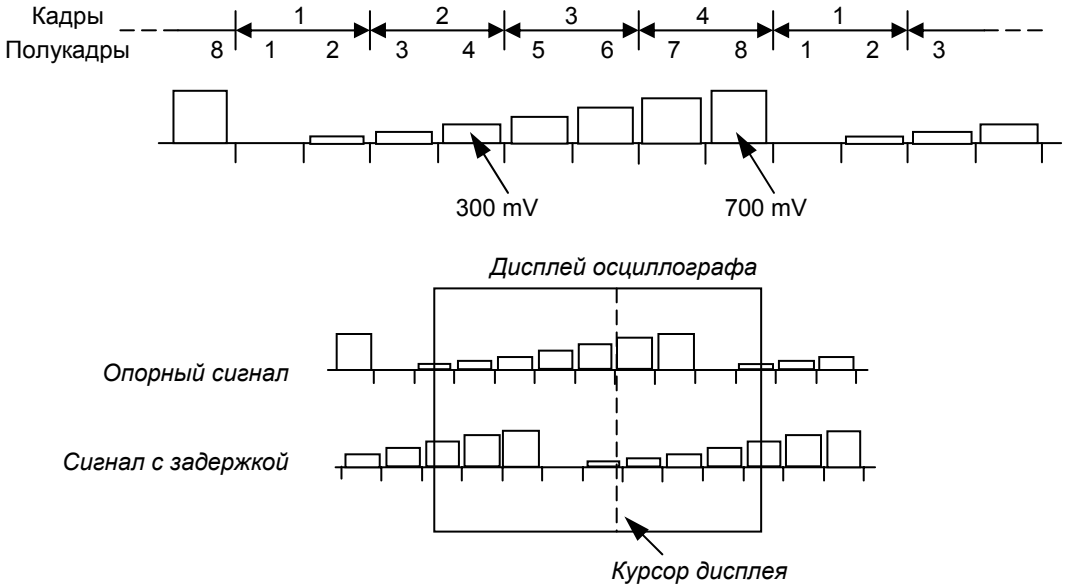


Рис. 4 – Измерение вертикальной задержки при помощи программируемого генератора тест-сигнала PAL.

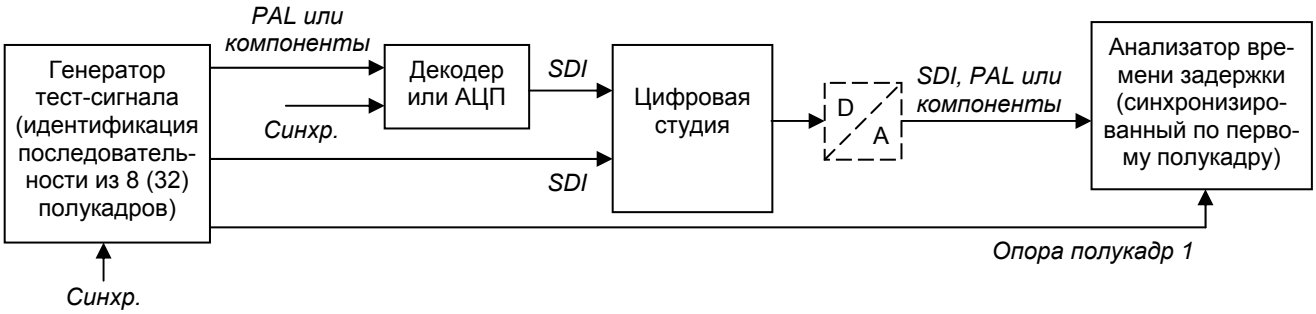


Рис. 5 – Измерение задержки видео в цифровой студии.

Примечание:

Все АЦП в студии – на выходах генераторов аналогового сигнала и источников сигналов звука и изображения – синхронизируются по единому сигналу синхронизации. АЦП, как цифровые источники, имеют рабочие характеристики, аналогичные ЦАП. Следовательно, возможна неточность во времени задержки ± 74 нс.

Это значит, например, что АЦП и ЦАП будут работать по-разному при каждом включении электропитания в студии.

2.2.5. Задержка яркость/цветность

Спецификации

Для относительной синхронизации аналоговых компонент яркости и цветности официальной спецификации нет.

В Технической информации EBU I15 [S.36] отмечается, что максимальная разница синхронизации не должна превышать ± 10 нс.

Измерительное оборудование

Задержка яркость/цветность измеряется при помощи генератора аналогового тест-сигнала, производящего цветные полосы или импульс (8T или 10T), или сигнал "bow–tie" (“бабочка”), в соединении с точным ЦАП и аналоговым компонентным видео анализатором.

Процедура измерений

Тестовый сигнал SDI подается на тестируемое оборудование, а аналоговый выход исследуется видео анализатором.

Представление результатов

В тестовом отчете должна записываться временная разница, в наносекундах, между Y и CB, Y и CR, CR и CB, вместе с примечанием об использованном тестовом сигнале.

2.2.6. Точка переключения коммутационной видео матрицы

Спецификации

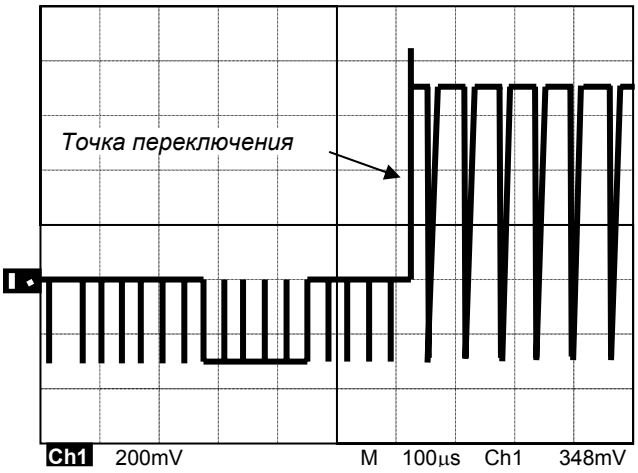
Рекомендуемая практика SMPTE RP 168 [S.24] указывает, что коммутация в видео матрице должна производиться в строке 6 или 319 в “окне” от 25 до 35 μs после синхроимпульса строки (см. Ref. 14).

Измерительное оборудование

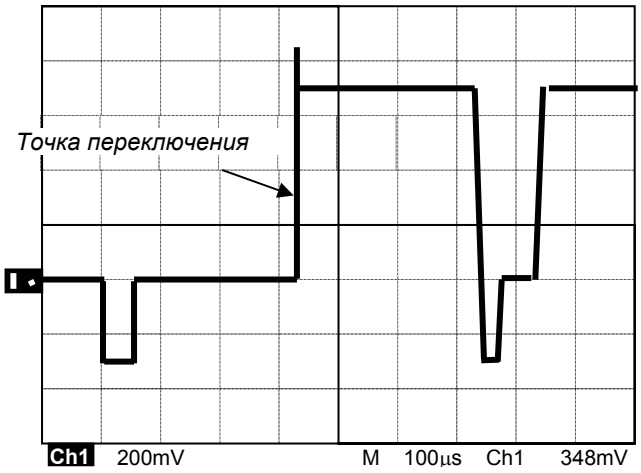
Проверка коммутации требует использования ЦАП, который прозрачен для полного интервала вертикального гашения, и цифрового осциллографа, который может хранить несколько строк и имеет режим однократного запуска.

Необходимы два тест-сигнала:

- один с уровнем черного в каждой строке;
- другой с уровнем белого в каждой строке (или хотя бы в строках 6 и 319).



Грубое измерение для определения номера строки переключения.



Точное измерение (с горизонтальным расширением) для определения синхронизации относительно синхроимпульса строки.

Рис. 6 – Примеры дисплея осциллографа при переключении видео матрицы.

Процедура измерений

Тест-сигналы подаются на два входа матрицы, а для выхода матрицы выбирается сигнал черного.

Этот сигнал подается на осциллограф через ЦАП. Триггер осциллографа устанавливается на “активный”, а его уровень – на 50% амплитуды уровня аналогового сигнала белого. Положение триггера следует передвинуть примерно на 90% горизонтальной ширины дисплея осциллографа.

Затем матрица переключается на соединение с выходом входа сигнала белого. Точка переключения идентифицируется как точка, в которой дисплей осциллографа показывает изменение уровня до уровня белого (см. Рис. 6).

Представление результатов

В результатах теста записывается номер строки и время от переднего фронта синхроимпульса аналоговой строки до точки переключения.

2.2.7. Цветовая гамма

Цветовая гамма – это диапазон цветов, которые могут отображаться в треугольнике, определенном специфическими для данной телевизионной системы первичными цветами. В терминах RGB компонент сигнала возможно отображение любого цвета, у которого каждое значение R, G и B находится между 0 и 100% пикового уровня сигнала (см. *Рис. 7a*).

Это может быть почти наверняка гарантировано, когда источником изображения является телевизионная камера или телекино независимо от того факта, что оригинальные сигналы RGB могут конвертироваться на более позднем этапе в другую компонентную систему. И напротив, когда сигналы создаются в компонентной системе, включая сигнал яркости и два сигнала цветности, очень легко возникает ситуация создания недопустимого сигнала. Это может произойти при создании графики, электронно-сгенерированных тестовых сигналов и в системах спецэффектов. Когда эти компоненты преобразуются для отображения в сигналы R, G и B, уровни сигнала могут выходить за рамки диапазона от 0 до 100%, создавая, таким образом, цвет, который не может правильно отображаться из-за того, что находится за пределами гаммы дисплея. Такая ситуация представлена объемом за пределами затененного куба на *Рис. 7 b)*, например, точка X, представляющая недопустимый цвет с координатами Y = 350 mV, C_B = 350 mV, C_R = -350 mV.

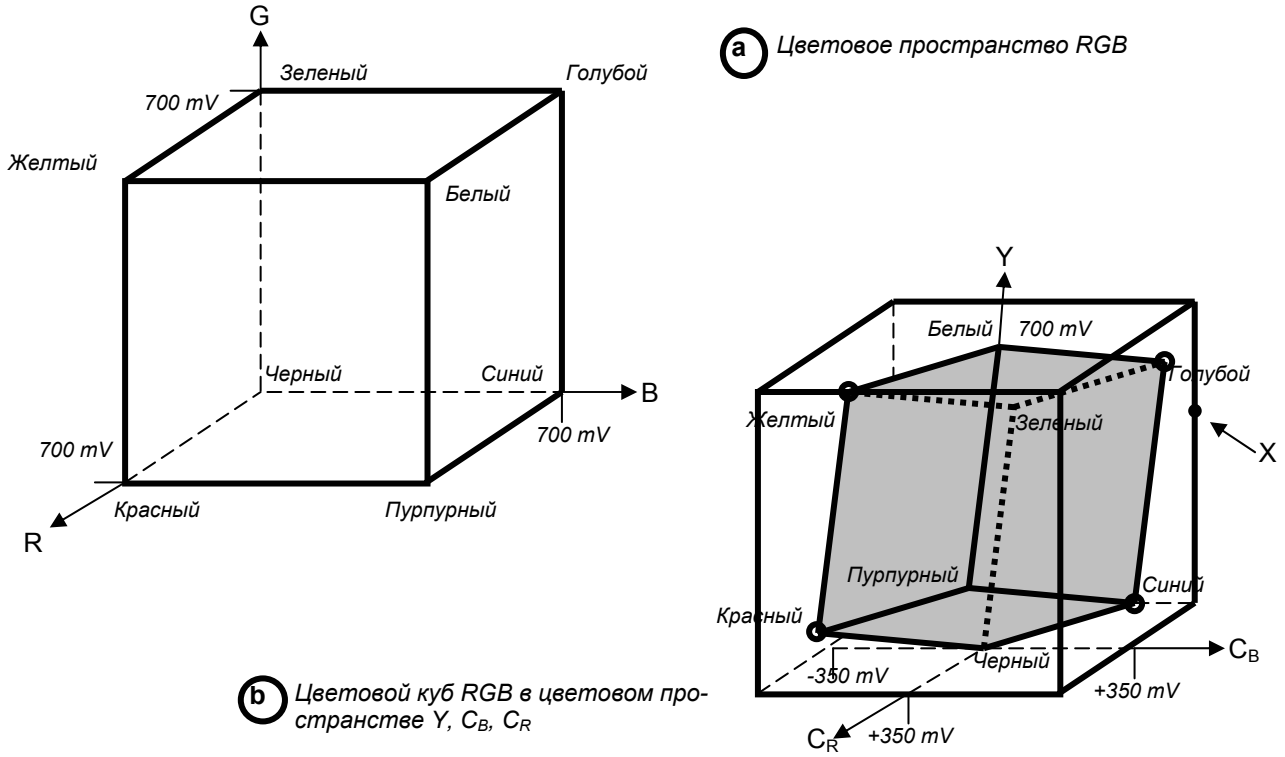


Рис. 7 – Цветовая гамма.

Определить уровни яркостных и цветоразностных сигналов, создающие недопустимый цвет в области RGB или PAL, нелегко. В реальной жизни это происходит потому, что яркость – величина независимая, и все цвета не могут существовать на всех уровнях яркости. Поэтому для адекватного управления всей цветовой гаммой необходимо контролировать сигналы в области RGB и гарантировать, что уровни не будут отрицательными и не превысят 100%.

Для этой цели есть мониторы формы сигнала. Обычно они имеют два индикатора, предупреждающие о выходе сигналов за рамки гаммы; когда один или более сигналов RGB превышают пиковый уровень, загорается лампочка “POS”, а при обнаружении отрицательного значения – лампочка “NEG”. На экране можно увидеть зоны нарушения.

Примечание: В настоящее время для использования в перспективных телевизионных системах рассматриваются методы получения более широкой цветовой гаммы. Один из них – допуск отрицательных и более 100% сигналов RGB с любым возрастанием в диапазоне, ограниченном таким образом, чтобы кодированные сигналы соответствовали каналам цветности, определенным в Рекомендации ITU-R BT.709 [S.16]. В таком случае сигнал вне гаммы создается, если в результате декодирования получаются сигналы RGB, выходящие за рамки нового диапазона уровней.

Спецификации

В течение разработки полных спецификаций для PAL, SECAM и NTSC, а также для перспективных систем, видится разумным остаться в области RGB в пределах уровня видео 0 – 103%.

Измерительное оборудование

Цветовая гамма может быть проверена осциллографом или монитором формы сигнала с индикаторами гаммы.

Процедура измерений

Сигналы RGB контролируются в интересующей точке, чтобы уровни какого-либо цвета (цвета объекта съемки или компьютерной графики) не выходили за пределы определенного диапазона.

2.2.8. Преобразования соотношений формата изображения (4:3 – 16:9 и наоборот)

Если аналоговый сигнал PAL в соотношении формата 4:3 конвертируется в сигнал SDI, а тот – в изображение формата 16:9, то при обратном преобразовании сигнала в 4:3 возможны артефакты PALplus.

Метод измерения находится в процессе изучения.

2.2.9. Аналоговый звук до и после преобразования A/D – D/A

Спецификации

Пределы характеристик для цифрового аудио интерфейса EBU/AES изложены в документе EBU Tech. 3250 [S.26][S.27].

Процедуры измерений

Ряд измерений аналогового звука, успешно применяемых уже много лет, охватывает уровень, частотную характеристику, коэффициент сигнал/шум, нелинейные искажения и разность фаз и уровней между каналами. Они действительны и в современных звуковых схемах.

Что касается цифровой части схемы между АЦП и ЦАП, то дополнительные тесты по ним полностью описаны в AES 17 [S.42]. Некоторые из них служат для определения количества артефактов, вызванных процессами дискретизации, квантования, фильтрации и числом битов. Другие включают оценку джиттера тактов, подавление наложения, внеполосные и интермодуляционные продукты, характеристики перегрузки и задержки, бездействующий канал и интермодуляционные шумы, нелинейные искажения и помехи как функции частоты или уровня.

Как показывает опыт, эти тесты не всегда дают верное измерение характеристик системы, особенно в системах, использующих кодирование или уменьшение скорости передачи битов. Был предложен новый метод измерения, включающий использование исходного материала на основе критических сегментов реальной программы [12]. Для этой работы был основан проект, одной из задач которого является создание библиотеки подходящего критического программного материала.

Глава 3
Измерения в области данных

В этой главе описываются методы проверки различных аспектов данных, передаваемых в электрической форме сигнала последовательного цифрового интерфейса.

3.1. Видеосигнал

3.1.1. Уровень видеосигнала

Спецификации

Ref. 7 показывает пределы компоненты яркости (Y) 8- и 10-битных цифровых видеосигналов. Номинальный видеосигнал содержит 220 <877> уровней квантования; уровень черного соответствует значению 16dec (64dec), а номинальный уровень белого – 235dec <940dec >. Верхняя резервная зона, выше номинального пикового уровня видео 700 mV, простирается в диапазоне 19 <79> шагов квантования. Нижняя резервная зона, ниже номинального минимального уровня видео 0 mV, охватывает 15 <60> шагов квантования.

Ref. 8 показывает пределы для каналов цветности (CB, CR). Номинальный видеосигнал содержит 225 <897> уровней квантования. Нулевой уровень сигнала соответствует значению 128dec <512dec>, максимальный положительный уровень соответствует уровню 240dec <960dec>, а максимальный отрицательный – уровню 16dec <64dec>.

Положительная резервная зона занимает 14 <59> шагов квантования, а отрицательная – 15 <60>.

Измерительное оборудование

Измерение уровней видеосигнала в области данных требует использования генератора тест-сигнала, способного генерировать и допустимые, и недопустимые 10-битные тест-сигналы и распространять их через 8- и 10-битные параллельные интерфейсы и в 10-битном формате SDI.

Измерения проводятся цифровым видео анализатором, способным отображать выборки в области данных.

3.1.2. Время нарастания и спада

Спецификация

По времени нарастания и спада в области данных спецификаций нет, хотя общая частотная полоса цифровой системы определена в Рекомендации ITU-R BT.601 [S.1].

Рекомендация ITU-R BT.801 [S.33], описывающая тестовые шаблоны для цифровых компонентных видео систем, указывает время нарастания 150 нс для компоненты яркости и 300 нс для компонент цветности; все переходы имеют характеристики Блэкмена.

В процессе написания этой Рекомендации SMPTE планировал издать следующую Рекомендуемую практику относительно времени нарастания и спада в области данных:

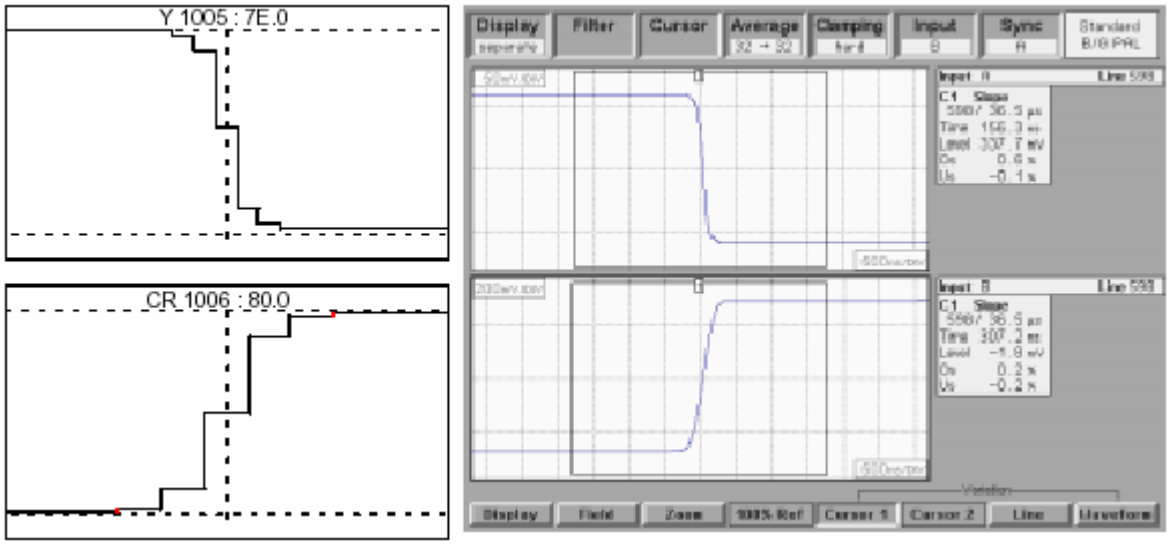
Яркость: 0 dB ширина полосы = 5.75 МГц, что соответствует минимальному времени перехода 174 нс (от 10% до 90% перехода sin2);

Цветность: 0 dB ширина полосы = 2.75 МГц, что соответствует минимальному времени перехода 364 нс (от 10% до 90% перехода sin2).

Для облегчения измерений времени перехода должна иметься возможность настройки сдвига окна осциллографа относительно середины переходов.

100% цветные полосы с временем нарастания и спада согласно стандартам.

Нефильтрованная цифровая форма сигнала *Аналоговая форма сигнала после фильтрации ITU-R 601*



100% цветные полосы с чрезмерно быстрым временем нарастания и спада

Нефильтрованная цифровая форма сигнала *Аналоговая форма сигнала после фильтрации ITU-R 601*

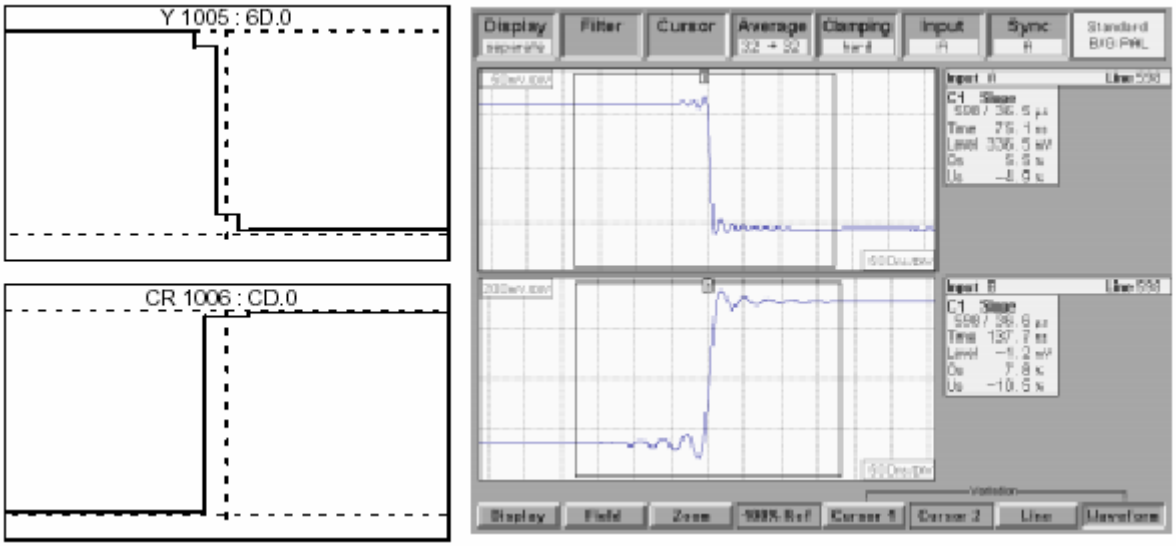


Рис. 8 – Измерение времени цифрового нарастания и спада, а также аналоговых выбросов и "звона"

Измерительное оборудование

Время нарастания и спада измеряется при помощи цифрового видео анализатора, способного к измерению параметров каждого пикселя изображения.

Условия и процедура измерений

Сигнал SDI подается на цифровой анализатор. Анализатор должен уметь вычислять из видеоданных фронт импульса эквивалентного аналогового сигнала, применяя характеристики фильтра по Рекомендации ITU-R 601, и отображать его на экране, как показано на Рис. 8.

Представление результатов

Результаты записываются в отчете об измерениях в терминах времени, в наносекундах, между точками амплитуды 10% и 90%.

Примечание:
В цифровой системе можно сгенерировать сигнал с переходом во времени от 0% до 100% между двумя соседними выборками. Это даст время перехода менее 74 нс в канале яркости (или менее 148 нс в каналах цветности); такие переходы будут вне допустимой частотной полосы стандарта и пост-фильтра, а последующий ЦАП выдаст большое перерегулирование (см. Рис. 8, внизу).

3.1.3. Положение изображения относительно опорных сигналов синхронизации (TRS)

Спецификация

SMPTE издал спецификацию, определяющую положение изображения относительно опорных сигналов синхронизации [S.25]. Должны выдерживаться временные соотношения видеоданных по отношению к TRS, как указано в *Ref. 2* и *Ref. 6.*

Измерительное оборудование

Положение изображения измеряется при помощи цифрового видео анализатора и тест-сигнала с вертикальной структурой, горизонтальное положение которого известно. Годится сигнал цветных полос, описанный в Рекомендации ITU-R BT.801 [S.33].

Процедура измерений

Сигнал подается на анализатор, и проверяются положение выборок.

3.1.4. Задержка яркость/цветность

Спецификация

По задержке яркости/цветности в области данных спецификации нет, но при сравнении со спецификацией, применяемой в аналоговом сегменте, максимальная разность синхронизации между компонентами яркости и цветности не должна превышать 10 нс. Отслеживание задержки между двумя компонентами цветности должно быть лучше 5 нс.

Измерительное оборудование

Задержка яркость/цветность измеряется при помощи генератора тест-сигнала SDI, выдающего сигнал цветных полос, соответствующий Рекомендации ITU-R BT.801, и видео анализатора SDI, снабженного идеальными программными фильтрами, дающими аналоговое отображение, соответствующее цифровой форме сигнала.

Процедура измерений

На видео анализатор с тестируемого оборудования подается сигнал SDI.

Представление результатов

Временная разница между тремя компонентами должна записываться в отчете об измерениях ($Y - C_B$, $Y - C_R$, $C_B - C_R$).

Примечания:
Задержка яркости/цветности в области данных маловероятна, хотя сигналы, созданные в аналоговом сегменте и переданные через АЦП в цифровой сегмент, могут иметь ошибки. Эти ошибки могут возникнуть в аналоговом источнике, в тракте сигнала или в процессе аналого-цифрового преобразования. Определить причину этих ошибок поможет вышеописанная процедура измерений.

Измерить задержки яркости/цветности в области данных трудно из-за периода дискретизации в 37 нс. Разница во времени, например, в 10 нс проявится как разность амплитуды в некоторой выборке. Для упрощения измерений советуем применять видео анализатор SDI в режиме, использующем идеальные программные фильтры для создания отображения эквивалентной аналоговой формы сигнала.

3.1.5. Запрещенные коды данных

Следующие коды зарезервированы для целей синхронизации (заголовки TRS и сигналов вспомогательных данных):

8-битные системы	00hex	и	FFhex
10-битные системы	00.xhex	и	FF.xhex

Коды синхронизации для 10-битных систем точно не определены. Практически используются следующие коды:

00.0_{hex}, $00.C_{hex}$ и $FF.0_{hex}$ $FF.4_{hex}$, $FF.8_{hex}$ и $FF.C_{hex}$

Измерительное оборудование и процедура

Проверка запрещенных кодов данных выполняется при помощи цифрового видео анализатора, на который подается сигнал с выхода SDI тестируемого оборудования.

3.2. Опорные сигналы синхронизации (TRS)

Спецификация

Спецификации опорных сигналов синхронизации даны в документе EBU Tech. 3267 [S.3] (см. Ref. 6).
Коды XY (4-ое кодовое слово TRS) в соседних строках сигнала SDI должны быть следующими:

Строки	SAV	EAV
23 – 310	$80.X_{hex}$	$9D.X_{hex}$
311 – 312	$AB.X_{hex}$	$B6.X_{hex}$
1 – 22	$AB.X_{hex}$	$B6.X_{hex}$
313 – 335	$EC.X_{hex}$	$F1.X_{hex}$
336 – 623	$C7.X_{hex}$	$DA.X_{hex}$
624 – 625	$EC.X_{hex}$	$F1.X_{hex}$

Измерительное оборудование

Опорные сигналы синхронизации проверяются при помощи цифрового видео анализатора.

Процедура измерений

TRS каждой строки в полном видео кадре должны быть сопоставимы со значениями в приведенной выше таблице.

Представление результатов

В отчете об измерениях должен быть записан перечень всех неверных последовательностей TRS, как показано в следующем примере:

строка 313	SAV ожидаемый:	$EC.0_{hex}$	обнаружен:	$AB.0_{hex}$
строка 1	EAV ожидаемый:	$B6.0_{hex}$	обнаружен:	$F1.0_{hex}$

3.3. Вспомогательные данные

3.3.1. Аудио сигналы AES/EBU

Полное измерение цифровых аудио сигналов не входит в объем настоящего документа. Справку см. в AES 17 [S.42].

Цифровой видео анализатор AES/EBU можно использовать для исследования групп вспомогательных данных, проверить правдоподобие передаваемых ими данных. Следует проверить разряды индикации состояния канала звуковых субкадров, чтобы они были установлены на предназначенную системную операцию и не были нечаянно изменены при прохождении по цифровой цепи. Таблица с информацией о состоянии канала приведена в *Ref. 17*.

3.4. Преобразование между 8- и 10-битным представлениями

3.4.1. Преобразование из 10-битного представления в 8-битное

SDI работает с 10-битными кодами и для поддержания высокой степени совместимости он должен правильно работать при передаче 8-битных сигналов. Документ EBU Tech. 3267 указывает, что при передаче 8-битных данных два младших разряда (LSB) устанавливаются на “0” или “1”.

Следует заметить, что 10-битное оборудование, принимающее 8-битный сигнал, не может определить, являются ли эти два LSB “случайными” битами или же достоверными битами сигнала. В 10-битной системе, передающей 8-битные данные, два LSB должны быть специально установлены на “0” или “1”. “Плавающими” их оставлять нельзя.

Если необходимо преобразование из 10-битного формата в 8-битный, без привлечения SDI, например, связанное с обработкой сигнала, то можно применить методы округления или отбрасывания.

Округление – это удаление двух LSB после примененной коррекции.

Отбрасывание – это простое удаление двух LSB.

Оба метода приводят к увеличению помех квантования до уровня, типичного для 8-битной системы. Отбрасывание вводит ошибку постоянной составляющей, равную половине уровня младшего бита 8-битного квантования. Шум переменной составляющей такой же, как и при округлении.

При соответствующих патологических сигналах можно увидеть ошибки оконтуривания в областях изображения одинаковой яркости. И при округлении, и при отбрасывании воздействие оконтуривания можно уменьшить введением перед переквантованием добавочного сигнала либо случайного, либо фиксированного характера. Он заставляет искусственно модулировать восьмой бит. Эффект медленно изменяющегося сигнала эквивалентен удвоению числа уровней квантования, и в результате приводит сильному уменьшению оконтуривания и улучшению субъективного качества.

Использование добавочного сигнала в процессах уменьшения битов известно уже много лет, но широко не применяется.

Больше всего подходит метод, описанный в [14].

Измерительное оборудование

Преобразование из 10- в 8-битный формат данных можно проверить при помощи генератора 10-битного сигнала SDI, последовательно-параллельного преобразователя и осциллографа.

Процедура измерений

Тип добавочного сигнала, используемого в процессе преобразования из 10 в 8 бит, и качество этого процесса требует применения генератора 10-битного сигнала с возможностью постоянно меняющейся опоры, с ручным и автоматическим управлением, соответствующим каждому уровню квантования.

Опорный (серый) сигнал подается на вход тестируемого оборудования. Сигнал на выходе преобразуется в параллельную форму, и поведение 8-го бита наблюдается на осциллографе по мере изменения уровня опоры.

Таким образом можно проверить следующие три особенности процесса преобразования из 10 в 8 бит:

- присутствие только отбрасывания;
- присутствие только округления;
- вставку добавочного сигнала.

Можно также увидеть, был ли уровень шума в исходном аналоговом сигнале достаточно высоким, чтобы вызвать эффект естественного добавочного сигнала.

3.4.2. Преобразование из 8-битного представления в 10-битное

Если на параллельно-последовательный преобразователь подается параллельный сигнал, несущий только 8 активных битов видеоданных, то он должен уметь идентифицировать это условие и добавлять необходимые данные для преобразования 8-битного входного сигнала в действительный последовательный 10-битный формат.

3.5. Наиболее важные измерения в области данных SDI

В *Таблице 2* перечислены наиболее важные измерения, которые должны проводиться на всем оборудовании SDI для гарантии правильного его функционирования.

Таблица 2 – Необходимые измерения в области данных (SDI).

Измерение	Описано в разделе
Опорный сигнал синхронизации (TRS)	3.2
Проверка запрещенных кодов данных (зарезервированные коды)	3.1.5
Частота появления ошибочных битов (BER) и обнаружение и обработка ошибок (EDH)	6.4
Число активных битов (8/10)	3.1.1
Уровни цифрового сигнала (hex, dec и mV)	3.1.1
Время нарастания и спада	3.1.2
Положение изображения относительно TRS	3.1.3
Вспомогательные данные (включая индикацию типа / длины)	3.3
Задержка яркость / цветность	3.1.4
Задержка на распространение сигнала по оборудованию SDI	

Глава 4
Измерения в физической области

В этой главе описаны процедуры измерений принципиальных физических характеристик параллельного и последовательного интерфейсов.

В нижеследующих разделах описание каждого измерения начинается с напоминания о соответствующих спецификациях, взятых из документов по стандартам, представленных в Главе 1.

4.1. Параллельный интерфейс

4.1.1. Уровень сигнала и сдвиг постоянного тока

a) Спецификации

Линейный драйвер

Максимальный положительный уровень на каждом из проводов симметричной линии должен быть –0.8 V
Максимальный отрицательный уровень на каждом из проводов симметричной линии должен быть –2.0 V
Максимальная амплитуда сигнала от пика до пика может быть получена путем вычитания максимальной положительной величины из максимальной отрицательной величины; она должна быть между 0.8 V и 2.0 V.
Синфазное напряжение между каждым из проводов симметричной линии и “землей”
должно быть –1.29 V ± 15%.

Приемник линии

Приемник линии должен правильно воспринимать двоичные данные, когда случайная последовательность данных создает условия, представленные идеализированной глазковой диаграммой в *Ref. 4b)* в точке обнаружения данных.

Приемник должен работать с минимальным входным сигналом 100 mVp-p и с переходами данных в пределах ± 11 нс от опорного перехода генератора тактовых импульсов.

b) Измерительное оборудование и условия

Измерения можно проводить осциллографом с частотной полосой более 150 МГц[3].
Линия с витой парой должна быть нагружена на сопротивление 110 Ом.

c) Процедура измерений

При измерении амплитуды сигнала на каждом из проводов симметричной линии максимальный положительный уровень должен быть –0.8 V относительно “земли”, а максимальный отрицательный уровень –2.0 V. Точка пересечения данных (около 50% перехода) должна быть –1.4 V.

Измерения между симметричными линиями должны проводиться с использованием двух зондов одновременно. Это также позволяет наблюдать глазковую диаграмму, если один из каналов установлен на “инвертировать” (invert) и “добавить” (add).

Следует также проверить, чтобы присутствовали все 8 <10> битов потока данных и чтобы они изменялись независимо.

4.1.2. Время нарастания и спада

a) Спецификации (линейный драйвер)

Время нарастания и спада между точками амплитуды 20% и 80%, на симметричных линиях и с нагрузкой 110 Ом, должно быть менее 5 нс.

Разность между временем нарастания и спада не должна превышать 2 нс.

b) Измерительное оборудование, условия и процедура

Время нарастания и спада можно проверить с помощью методов, представленных для измерения амплитуды сигнала в Разделе 4.1.1.

[3] Подробнее о частотной полосе осциллографа см. в *Разделе 4.2.3.b)*.

4.1.3. Синхронизация

a) Спецификации

Линейный драйвер

Период тактовых импульсов для 625-строчной системы 37 нс.
Длительность импульса 18.5 ± 3 нс.
Нарастающий фронт тактового импульса должен совпадать, с допуском ± 3 нс, с серединой импульсов сигнала данных, как показано в *Ref. 4a).*

Приемник линии

Тактовый сигнал посылается через параллельный интерфейс вместе с 8 <10> битами данных. В приемнике средняя точка глазковой диаграммы каждого потока данных должна совпадать, с допуском ± 11 нс, с переходами тактового сигнала, как показано в *Ref. 4b).*

b) Измерительное оборудование, условия и процедура

Синхронизацию сигнала можно проверить методами, представленными для измерений амплитуды сигнала в *Разделе 4.1.1*.

4.1.4. Джиттер

a) Спецификации (линейный драйвер)

Длительность импульса 18.5 ± 3 нс.
Положение отдельных нарастающих фронтов тактовых импульсов на оси времен (джиттер) должно быть в пределах ± 3 нс от среднего положения этих фронтов за период как минимум одного полукадра.
Примечание: Эта спецификация соответствует и достаточна для параллельного интерфейса, но не годится для источника тактовых импульсов параллельно-последовательного преобразователя или ЦАП из-за более строгого допуска, требуемого в последовательной области.

b) Измерительное оборудование, условия и процедура

Измерения джиттера в параллельном интерфейсе могут быть основаны на методах, описанных для последовательного интерфейса в *Разделе 4.2.5.* и *Приложении A*, где наиболее полно обсуждается проблема измерения джиттера.

4.1.5. Импеданс

a) Спецификации

Линейный драйвер

Выходной импеданс линейного драйвера должен иметь максимальное значение 110 Ом.

Приемник линии

Входной импеданс приемника должно быть 110 ± 10 Ом.

b) Процедуры измерений

Можно использовать два метода:
a) Импеданс на входе и выходе можно измерять схемным анализатором.
b) Импеданс на выходе можно измерять осциллографом. Линейный драйвер подсоединяется к высокоимпедансному входу осциллографа, и измеряется амплитуда данных. Если импеданс на концах линии с витой парой точно равен 110 Ом, то уровень сигнала должен понизиться максимум до половины ранее измеренной амплитуды данных. Следует проверить форму сигнала, чтобы открывание глазковой диаграммы не было слишком ограничено относительно требований, показанных в *Ref. 4b).*

4.1.6. Ослабление синфазных сигналов

a) Спецификация (приемник линии)

Приемник линии должен правильно принимать данные, даже если в результате интерференции на обеих линиях происходит деградация сигнала.

Максимальный синфазный сигнал между каждой линией и “землей” должен быть не более ± 0.5 Vp-p для любого мешающего сигнала в частотном диапазоне от 0 до 15 кГц.

b) Процедура измерений

Устойчивость к эффектам мешающего сигнала можно проверить на осциллографе. Мешающий сигнал можно индуцировать в линии данных посредством трансформатора.

Также рекомендуется использовать устройство контрольных сумм CRC[4] для обнаружения добавления ошибок данных при наличии интерференции.

Проблемы интерференции могут быть вызваны скорее плохим монтажем, чем неадекватной конструкцией оборудования или сбоями.

4.2. Последовательный интерфейс

4.2.1. Предосторожности при проведении физических измерений на SDI

Соединение тестового оборудования, например, осциллографа с последовательным цифровым сигналом, очень критично из-за полосы частот. При проведении измерений на SDI, работающем со скоростью 270 Мбит/с, коаксиальный кабель, используемый для таких соединений, должен быть как можно короче (максимум 2 м).

Наилучшее решение – использование осциллографа с внутренней нагрузкой 75 Ом, хотя такое оборудование трудно приобрести.

Более практичный подход – использование преобразователя импеданса 75/50 Ом, предназначенного для частот до 500 МГц. Осциллограф должен быть с внутренней нагрузкой 50 Ом. Обычно у этих преобразователей потеря амплитуды до 6 dB, поэтому результаты следует соответственно корректировать.

Можно использовать и 75 Ом нагрузку; потеря на отражение должна быть как минимум 15 dB на частотах до 500 МГц. Осциллограф должен быть переключен в “высокоимпедансный” режим.

Для критических измерений не следует соединять тестовое оборудование с последовательным сигналом при помощи Т-образного разъема с обычной нагрузкой 75 Ом.

Предпочтительный метод измерения амплитуды, времени нарастания и выбросов последовательного цифрового сигнала – использование осциллографа с полосой частот 1 ГГц или специального оборудования, предназначенного для измерений SDI. Полное входное сопротивление осциллографа должно быть 75 Ом с потерями на отражение более 20 dB на частотах до 400 МГц.

Следует использовать псевдослучайный тестовый сигнал типа цветных полос, за исключением иного, указанного в следующих разделах.

4.2.2. Выходной уровень и сдвиг постоянной составляющей

a) Спецификации

Амплитуда сигнала SDI от пика до пика должна быть 800 mV ± 10%.

Сдвиг постоянной составляющей не должен превышать ± 500 mV.

b) Измерительное оборудование и процедура

Сигнал SDI подключается к вертикальному каналу осциллографа с частотной полосой минимум 150 МГц. Результаты записываются в милливольтах.

Примечание: Амплитуда сигнала SDI, поступающего на приемник, является основой для работы автоматического кабельного эквалайзера. Если на входном конце кабеля сигнал неверный, то длина кабеля, который может правильно использоваться, будет уменьшена, так как автоматический эквалайзер в приемнике всегда предполагает, что передатчик посылает номинальный уровень 800 mVp-p. Если на выходе устройства уровень неверный, то возможна недостаточная или избыточная коррекция, что может привести к ошибкам. На практике любое повышение выходного уровня устройства выше номинального (даже в разрешенном диапазоне допуска) может вести к ошибкам (см. также *Разделы 4.2.9. и 4.2.10.*)

[4] CRC – контроль при помощи циклического избыточного кода.

4.2.3. Время нарастания и спада

a) Спецификации

Время нарастания и спада, определенное между точками амплитуды 20% и 80% и измеряемое на активной нагрузки 75 Ом, должно быть между 0.75 и 1.5 нс[5]. Время нарастания и спада показано на *Рис. 9*. Оно не должно отличаться более чем на 0.5 нс.

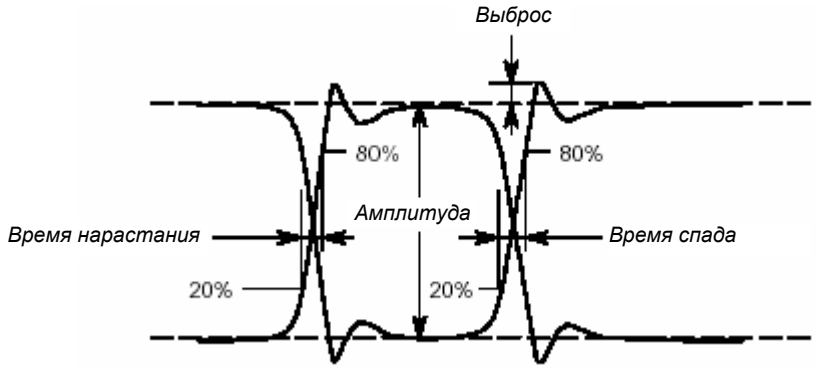


Рис. 9 – Время нарастания и выбросы в сигнале SDI.

b) Измерительное оборудование и условия

Сигнал SDI подключается при помощи кабеля не длиннее 2 м к вертикальному каналу осциллографа с частотной полосой 1 ГГц или к специальному измерителю SDI. Осциллограф запускается от самого сигнала SDI.

При измерении времени нарастания последовательного сигнала аналоговым осциллографом следует заметить, что если частотная полоса осциллографа менее 1 ГГц, измерения будут с ошибкой из-за характеристик фильтра нижних частот на входе осциллографа. Значение измерений следует откорректировать по следующей формуле:

$$T_a = (T_m^2 – 0.5\ T_s^2)^{1/2}$$

где: $T_{a(20/80)}$ = истинное время нарастания

$T_{m(20/80)}$ = измеренное время нарастания

$T_{s(10/90)}$ = время нарастания осциллографа.

Коэффициент 0.5 компенсирует тот факт, что время нарастания осциллографа дано между точками амплитуды 10% и 90%.

Примеры: Если время нарастания осциллографа (10% - 90%) 1.0 нс, то измеренное время нарастания 1.2 нс покажет реальное время нарастания формы сигнала SDI (20% - 80%) 0.97 нс; измерение 1.6 нс будет соответствовать реальному значению 1.44 нс.

Вообще, как показывает опыт, точность, повышенная вышеупомянутой формулой, теряется в неопределенности при считывании осциллограммы. Пригодность любого осциллографа можно оценить по формуле:

$$T_s = 0{,}35/bandwidth$$

где: $T_{s(10/90)}$ = время нарастания осциллографа.

4.2.4. Выбросы и их симметрия

a) Спецификация

Стандарт SMPTE 259M [S.6] определяет, что положительный и отрицательный выбросы должны быть менее 10%.

По симметрии спецификации нет.

Выброс показан на *Рис. 9.*

b) Измерительное оборудование и условия

[5] SMPTE собирается определить новые границы времени нарастания и выбросов в SDI.

Сигнал SDI соединяется при помощи кабеля не длиннее 2 м с вертикальным каналом осциллографа с частотной полосой 1 ГГц или со специальным измерителем SDI. Осциллограф запускается от самого сигнала SDI.

4.2.5. Джиттер

Для полного понимания этого раздела, касающегося измерения джиттера в SDI, необходимо ознакомиться с понятиями и принципами, описанными в *Приложении А.*

a) Спецификации

Рекомендация ITU-R BT.656 [S.5] определяет допуск на джиттер следующим образом:

"положение нарастающих фронтов сигнала данных во времени должно быть ±10% от тактового периода, определенного за период одной строки".

Это значит, что при 270 МГц с тактовым периодом 3.7 нс максимальный джиттер должен быть в пределах ± 0.37 нс (абсолютное значение 0.74 нс).

Эта спецификация пересматривается с момента написания. Рекомендуемая практика SMPTE RP 184 (версия 1995) определяет параметры для измерений джиттера, а предлагаемая новая версия Стандарта SMPTE 259M (версия янв. 1995) определяет значения для соответствия стандарту:

временной (timing) джиттер: (частоты от <10 Гц до 27 МГц) = 0.2 UIp-p

нивелируемый (alignment) джиттер: (частоты от <1 кГц до 27 МГц) = 0.2 UIp-p

Пересмотренный стандарт SMPTE определяет, что измерения должны проводиться при помощи тестового сигнала цветных полос, производящего большое количество переходов в последовательном потоке данных. В Рекомендуемой практике SMPTE говорится, что контрольный полукадр SDI, принципиально предназначенный для тестов приемника SDI, не подходит для измерений джиттера. Продолжительность измерения определена в 60 с (вместо периода одной строки, как сказано в Рекомендации ITU-R 656). В последовательном тактовом делителе не следует использовать деление на 10, чтобы не синхронизировать со скоростью слов, т.к. в этом случае эффекты, связанные со словами будут замаскированы. Наконец, хотя указанные частотные диапазоны джиттера простираются до 27 МГц, джиттер бывает и до 54 МГц с разрушительными эффектами для сигнала SDI.

b) Измерительное оборудование, условия и процедуры

В данном разделе описаны пять методов измерений, охватывающие различные формы джиттера, обсуждаемые в *Приложении А.*

1. Измерение временно́го (timing) и нивелируемого (alignment) джиттера при помощи экстрактора тактовых импульсов и осциллографа

Измерительное оборудование

Метод использует экстрактор тактовых импульсов (см. Приложение А, Раздел А5.1.) и осциллограф с полосой частот 500 МГц. Рекомендуется осциллограф с цифровой памятью и с бесконечным хранением.

Процедура измерений

Сигнал SDI присоединяется через сквозную цепь на входе экстрактора тактовых импульсов к вертикальному каналу осциллографа. Осциллограф запускается с выхода 2 экстрактора тактовых импульсов *(Приложение А, Рис. А5)*.

Временно́й (timing) джиттер измеряется при установке частотной полосы экстрактора тактовых импульсов на *В1 (Приложение А, Рис. А1)*.

Нивелируемый (alignment) джиттер измеряется при установке частотной полосы экстрактора тактовых импульсов на *В2 (Приложение А, Рис. А1)*.

Если амплитуда джиттера больше 1 UI, то следует включить делитель тактов (деление на коэффициент *n*).

Представление результатов

В записи измерений следует отметить частотную полосу восстановления тактов (В1 или В2), установку делителя тактов (*n*) и амплитуды джиттера.

Примечание: Недостаток этого метода, использующего экстрактор тактовых импульсов и осциллограф, в том, что нельзя определить отдельные частоты джиттера. Когда можно определить частоты джиттера, то легче найти его источник. Например, если преобладающая частота джиттера 50 Гц (или кратная 50 Гц), одной из возможных причин джиттера могут быть цепи электропитания.

Методы 2 и 3 позволяют определить частотный спектр джиттера.

2. Измерение спектра джиттера при помощи экстрактора тактовых импульсов и анализатора спектра

Измерительное оборудование

Метод использует экстрактор тактовых импульсов (см. *Приложение A, Раздел A5.1*.) и анализатор спектра с полосой частот 500 МГц и полосой разрешения 10 Гц.

Процедура измерений

Выход 1 экстрактора тактовых импульсов (тактовый сигнал с исходным джиттером) соединяется с анализатором спектра, установленным на полосу разрешения 10 Гц.

Если амплитуда джиттера более 1 UI, следует включить делитель тактов (деление на коэффициент *n*).

Боковые полосы тактовой частоты (фазовый шум) будут соответствовать частотам джиттера, как показано в примере на *Рис. 10*.

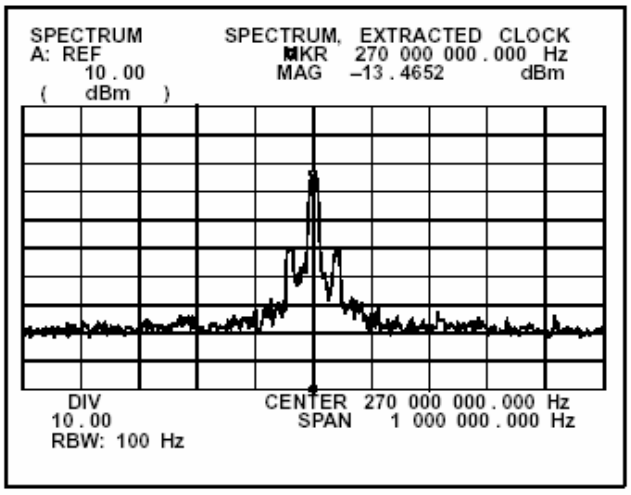


Рис. 10 – Пример дисплея анализатора спектра, показывающего частоты джиттера в виде боковых полос отображаемой тактовой частоты.

Представление результатов

В записи измерений должны быть указаны доминантные частоты джиттера и их амплитуды, вместе с установкой делителя тактов (*n*) и разрешением анализатора спектра.

3. Измерение спектра джиттера при помощи экстрактора тактовых импульсов и фазового демодулятора

Измерительное оборудование

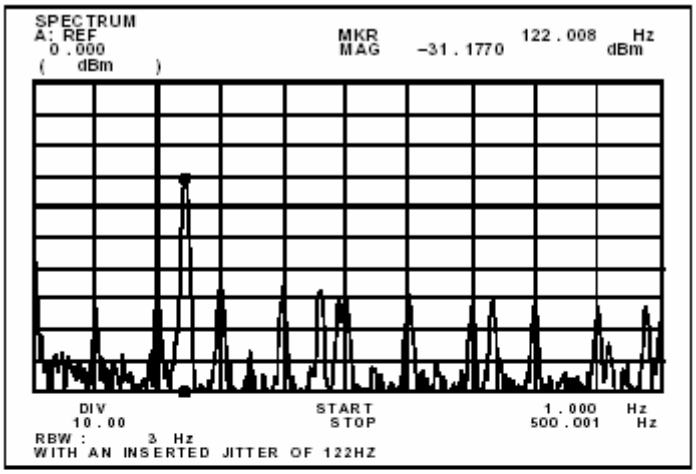
Метод использует экстрактор тактовых импульсов (см. *Приложение A, Раздел A5.1*.), фазовый демодулятор и либо анализатор спектра, либо осциллограф с опцией отображения FFT.

Процедура измерений

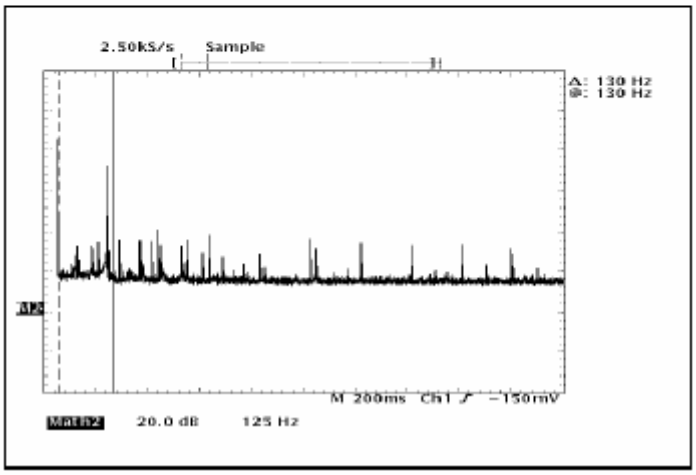
На фазовый демодулятор подается сигнал с выходов 1 и 2 экстрактора тактовых импульсов (как показано в *Приложении A, Рис. A5*).

Если амплитуда джиттера более 1 UI, следует включить делитель тактов (деление на коэффициент *n*).

Выход фазового демодулятора (выход 3) отображается осциллографом (режим FFT) или анализатором спектра, подобно примерам на *Рис. 11*. В этих примерах видна доминантная частота джиттера 122 Гц.



Изображение на экране анализатора спектра



Изображение на экране FFT осциллографа

Рис. 11 – Примеры отображения спектра джиттера, полученного при использовании фазового демодулятора.

Представление результатов

В записи измерений должны быть указаны доминантные частоты джиттера и их амплитуды вместе с полосой восстановления тактов (B1 или B2), установкой делителя тактов (*n*) и разрешением анализатора спектра (при его использовании).

Примечание: Метод фазового демодулятора охватывает частоты джиттера от 10 Гц до 5 МГц. В этот диапазон не входят все частоты до 27 МГц, как требуется в спецификациях измерений SDI (см. *Раздел 4.2.5.a*)).

4. Измерение всечастотного (all–frequency) джиттера осциллографом, запускаемым опорным сигналом

Измерительное оборудование

Метод использует осциллограф с полосой частот 500 МГц. Рекомендуется осциллограф с цифровой памятью и с бесконечным хранением.

Процедура измерений

Выходной сигнал с тестируемого устройства SDI подается на вертикальный канал осциллографа. Осциллограф должен запускаться непосредственно опорными тактами источника сигнала SDI. Рекомендуется запускающий сигнал 270 или 27 МГц.

Если амплитуда джиттера больше 1 UI, следует вставить в сигнал SDI и в тракт запуска делители тактов и установить в них деление на один и тот же коэффициент *n* (см. *Приложение A, Раздел A5.1*.).

Этот метод измеряет джиттер по всем частотам, включая частоты ниже 10 Гц (“дрейф”(“wander”)). Пример дисплея осциллографа приведен на *Рис. 12.*

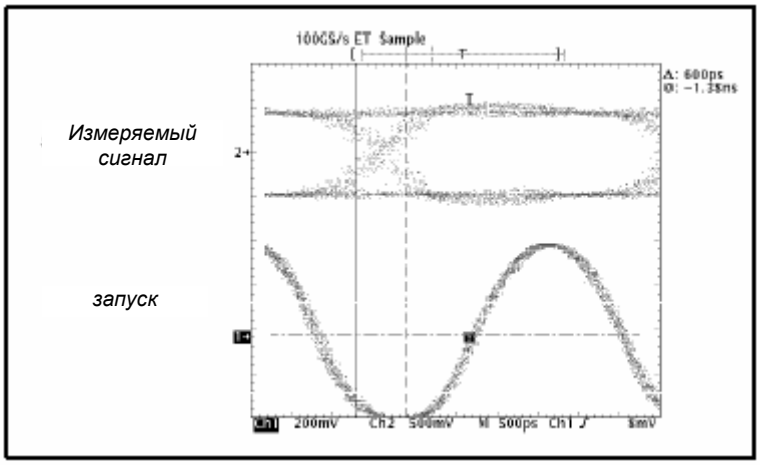


Рис. 12 – Пример джиттера по всем частотам, отображаемый на осциллографе, синхронизируемом от опорного сигнала.

Представление результатов

Измеренный всечастотный (all–frequency) джиттер должен быть указан в записи измерений.

Примечания: Результаты измерений будут в большой степени зависеть от стабильности опорного синхронизатора.

Если нет стабильных опорных тактовых сигналов (т.е. в наличии имеется только сигнал SDI), то следует применять один из вышеописанных методов с использованием экстрактора тактовых импульсов.

6. Измерение спектра джиттера при помощи анализатора спектра (частоты джиттера выше 27 МГц)

Измерительное оборудование

Метод использует анализатор спектра с полосой частот 500 МГц и полосой разрешения 10 Гц.

Процедура измерений

Сигнал SDI подается прямо на вход анализатора спектра. Центральная частота анализатора устанавливается на третью гармонику сигнала SDI (405 МГц). Этот метод гарантирует достаточно большое амплитудное соотношение между модулированным сигналом SDI и частотой джиттера, позволяя наблюдать частоты джиттера.

4.2.6. Потери на отражение

Нижнее значение потерь на отражение наиболее вероятно вызовет проблемы при использовании короткого кабеля. С длинным кабелем эффект рассогласования уменьшается благодаря большему затуханию кабеля.

Спецификация

Полное сопротивление на входе и выходе последовательного интерфейса должно быть 75 Ом. Потери на отражение должны быть минимум 15 dB на всех частотах от 10 до 270 МГц [6].

Измерительное оборудование

Потери на отражение могут измеряться сетевым (network) анализатором или анализатором спектра, 75 Ом перемычкой для измерения потерь отражения и генератором качающейся частоты (tracking generator).

[6] Стандарт SMPTE 259M [S.6] определяет частотный диапазон 5 – 270 МГц.

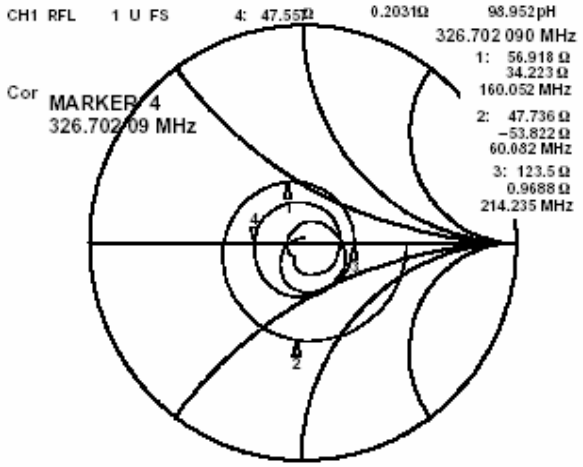
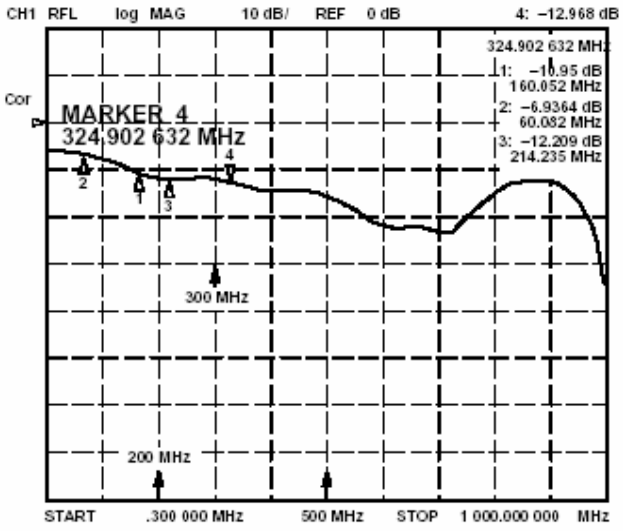


Рис. 13 – Пример измерения потерь на отражение на входе оборудования SDI.



Условия и процедура измерений

Тестируемое оборудование устанавливается в нормальный рабочий режим, и полное сопротивление на входе и выходе SDI измеряется по требуемому частотному диапазону.

При использовании анализатора спектра потери на отражение на выходе можно измерить, только если приглушить выходной сигнал; иначе сигнал на выходе передатчика SDI будет мешать отображению в анализаторе спектра.

Представление результатов

Наихудшее значение потерь на отражение, в децибелах, должно указываться в записи измерений вместе с частотой, на которой оно произошло.

Рис. 13 показывает пример измерения потерь на отражение на входе типичного оборудования SDI.

4.2.7. Перекрестные помехи между последовательными интерфейсами

Эквалайзер на входе оборудования SDI должен иметь общий размах выравнивания 40 dB на 270 МГц. Если сигнал на входе меньше требуемого, эквалайзер будет в положении “полного усиления”, и перекрестная помеха может вызвать появление на выходе искаженных – или почти не искаженных – сигналов.

Для минимизации эффектов перекрестных помех наибольшее затухание должно быть на частотах, близких к тактовой частоте.

Спецификация

По перекрестным помехам спецификации нет.

Измерительное оборудование

Перекрестные помехи можно измерить при помощи анализатора спектра с генератором качающейся частоты или сетевого анализатора с генератором качающейся частоты.

Процедура измерений

Если рассматривать, к примеру, измерение перекрестной помехи, возникшей в коммутационной матрице SDI и влияющей на канал SDI, то выходной сигнал генератора качающейся частоты подается на все входы матрицы, и перекрестные помехи измеряются на *входе* данного канала SDI. Частота генератора качающейся частоты развертывается по всему рассматриваемому частотному диапазону.

Представление результатов

Для определения перекрестной помехи используется твердая копия результатов анализатора спектра, показывающая и входной (тестовый) сигнал, и сигнал перекрестной помехи. Перекрестная помеха дается следующей формулой:

$$Cross\text{-}talk = 20\ lg\ (V_1 / V_2)$$

где: V_1 = амплитуда входного сигнала

V_2 = измеренный сигнал на входе тестируемого канала SDI.

Наихудшее значение перекрестной помехи, в децибелах, должно указываться в записи измерений вместе с частотным диапазоном, в котором проводились измерения.

4.2.8. Восстановление тактов с помощью ФАПЧ

Измерительное оборудование

Характеристики схем восстановления тактов и автоматического кабельного эквалайзера приемника SDI проверяются при помощи генератора тест-сигнала, выдающего контрольный полукадр SDI (см. *Раздел 6.3.2.*), видеомонитора и анализатора BER или EDH.

Процедура измерений

Выходной сигнал приемника SDI отображается на видеомониторе. Ухудшения делятся на две категории:

- кратковременные пятна, вызванные ошибками ФАПЧ;
- “царапины” длительностью около 50 мкс, вызванные ошибками эквалайзера (см. *Раздел 4.2.9*.).

Выход приемника можно также проверить анализатором BER или EDH.

Представление результатов

Тестовый отчет должен включать запись о любых ухудшениях, замеченных при использовании контрольного полукадра SDI.

Числовые результаты должны быть даны как среднее время между ошибками или коэффициент ошибочных битов (см. *Раздел 6.4*.).

4.2.9. Диапазон коррекции кабеля приемника SDI

Вспомогательная информация о коррекции кабеля в приемниках SDI дана в *Приложении B.*

Спецификация

Документ EBU Tech. 3267 [S.3] определяет, что кабельный эквалайзер должен уметь компенсировать 40 dB затухания кабеля на частоте 270 МГц. Стандарт SMPTE 259M [S.6] рекомендует компенсацию 30 dB на половине тактовой частоты; это соответствует примерно 42 dB на 270 МГц, если характеристика кабеля $1/ f^{1/2}$.

Измерительное оборудование

Коррекция кабеля измеряется при помощи генератора тест-сигнала, производящего сигнал цветных полос и контрольный полукадр SDI, анализатора частоты появления ошибочных битов (BER) и видеомонитора. Требуются также комплект студийного кабеля различной длины (2, 5, 10, 20, 50, 100 м) с известной характеристикой частота/затухание, или кабельный симулятор (кабельный клон).

Процедура измерений

Сигнал цветных полос с генератора тест-сигнала коммутируется на приемник SDI через кабель различной длины или через кабельный клон.

Затухание сигнала SDI на входе эквалайзера изменяется увеличением длины кабеля между генератором и тестируемым оборудованием. Скорректированный сигнал SDI на выходе измеряется анализатором BER и проверяется на видеомониторе.

Процедуру следует повторить с контрольным полукадром SDI.

Представление результатов

В записи измерений должна быть указана максимальная длина кабеля, которая может использоваться без влияния на выходной сигнал.

4.2.10. Динамический диапазон входного усилителя приемника SDI

Вспомогательная информация о динамическом диапазоне приемников SDI дана в *Приложении B.*

Спецификация

По динамическому диапазону входного усилителя приемника SDI спецификации нет.

Измерительное оборудование

Динамический диапазон измеряется при помощи генератора тест-сигнала и анализатора частоты появления ошибочных битов (BER) или осциллографа с полосой частот 500 МГц. Генератор сигнала должен уметь выдавать либо сигнал цветных полос и переменный низкочастотный сигнал (0 – 10 кГц), наложенный на выходной сигнал SDI, либо контрольный полукадр SDI.

Процедура измерений

Приемник подсоединяется к генератору коротким кабелем (менее 2 м). При использовании сигнала цветных полос амплитуда и частота наложенного низкочастотного сигнала изменяются до появления первых ошибочных битов.

Контрольный полукадр SDI является одним из наиболее критических сигналов для последовательной цифровой системы и даст приблизительное представление о характеристиках динамического диапазона.

Представление результатов

В записи измерений должна быть указана максимальная амплитуда наложенного сигнала, применимая без появления ошибочных битов, вместе с частотой, соответствующей этой амплитуде.

4.2.11. Наиболее важные измерения в физической области SDI

В *Таблице 3* перечислены наиболее важные измерения, которые должны проводиться на всем оборудовании SDI для гарантии правильного функционирования.

Таблица 3 – Необходимые измерения в физической области (SDI).

Измерение	Описано в разделе
Глазковая диаграмма	
Уровень сигнала	4.2.2
Пульсация сигнала	
Искажение уровня низкочастотного сигнала	
Сдвиг постоянной составляющей	4.2.2
Выбросы	4.2.4
Время нарастания и спада	4.2.3
Полное сопротивление	4.2.6
Потери на отражение	4.2.6
Всечастотный (all–frequency) джиттер	4.2.5
Взвешенный (weighted) джиттер (спектр джиттера)	4.2.5
Моделирование длины кабеля	4.2.9

Глава 5
Системные аспекты

Большая часть предыдущих глав касалась отдельных элементов оборудования, использующих цифровые видео интерфейсы и последовательный цифровой интерфейс (SDI) в частности. В окончательном анализе, однако, техническое качество программ, сделанных с использованием цифровых технологий, зависит не от изолированного оборудования, а от целых производственных систем. Поэтому важно понимать, как SDI и другое цифровое видео и звуковое оборудование работает в полной, практической студийной конфигурации. Ключевые вопросы в данной области – это временны́е соотношения и синхронизация, а так же физическая установка оборудования (кабели, разъемы и т.п.).

5.1. Относительная синхронизация между видео и звуком Общие соображения

Существует множество обстоятельств, например, при передаче большого спортивного события, когда звук и изображение не должны совпадать во времени. Любая программа, будь она из студии, внешнего источника или монтажной аппаратной, будет иметь определенные временные соотношения между звуком и изображением, которые должны поддерживаться во всей остальной вещательной цепи.

Были предложены методы обозначения опорной точки, совпадающей со звуковыми и видео сигналами, для указания намеченного временного соотношения в программе. Эти отметки можно проверить в точках по всей цепи, включая воспроизведение, распределение и передачу, и при обнаружении проблемы можно делать коррекцию с помощью переменных задержек. Для этой цели разрабатываются различные системы.

В тех случаях, где временная отметка не используется или неизвестны производственные требования, можно руководствоваться следующими соображениями:

- При наблюдении события на природе изображение обычно появляется раньше звука.
- Относительная синхронизация звука и изображения обычно должна находиться в диапазоне от звука, опережающего изображение на один полукадр, до звука, задержанного относительно изображения на два полукадра. Эти границы соответствуют времени от +20 до –40 мс для 625-строчных сигналов. Техническая рекомендация EBU R37 дает пределы от +40 до –60 мс [S.23]. Бóльшие разницы заметны, а субъективное влияние задержки зависит от содержания звука и изображения.

Одним из отличий между аналоговыми и цифровыми системами, кроме принципов обработки, является то, что в цифровой системе обработка занимает относительно долгое время. Задержка обработки в аналоговой системе может быть порядка нескольких микросекунд, а в цифровой – на два-три порядка больше.

В системах видеопроизводства, работающих согласно Рекомендации ITU-R BT.601, максимальная задержка видео будет 40 мс. Даже если суммарная задержка обработки для видеосигнала может быть большой (несколько кадров), большие части этой задержки могут быть фиксированными и потому являются предметом простой постоянной компенсации путем обеспечения соответствующей задержки звука. Некоторые проблемы задержки, вызванные кадровыми синхронизаторами, можно устранить, передавая звук как вставленный сигнал в канале вспомогательных данных видеосигнала (см. *Раздел 1.1.5.b)*), поскольку звук тогда будет подвержен такой же задержке, что и видео; однако некоторые синхронизаторы не передают канал вспомогательных данных.

Лучший способ компенсации переменных задержек видео – вставка автоматически управляемых задержек звука

Следует заметить, что если в производственной цепи есть системы снижения скорости передачи битов, то проблемы синхронизации видео и звука могут увеличиться. Задержки кодирования в таких системах могут доходить до нескольких сотен миллисекунд и для видео, и для звука. Пока такие методы применяются только к видеосигналу, но если задержки звука тоже станут очень велики, может потребоваться использовать и компенсирующие задержки видео.

5.2. Относительная синхронизация между видео и аудио сигналами в аналоговом сегменте

5.2.1. Общее

В аналоговой среде единственная значительная задержка обработки вводится CCD камерами.

Видеосигнал, представляющий событие в сцене, может быть задержан по отношению к соответствующему аудио сигналу максимум на 20 мс из-за времени, необходимого для считывания одного полукадра с датчиков. Некоторая часть этой задержки компенсируется временем, за которое звук идет от источника до микрофона. Расстояние около 3 м задерживает звук на 10 мс. Если цепь обработки (и видео, и звука) аналоговая, задержки в оборудовании учитывать не надо, так как они порядка микросекунд.

Дальнейшие соображения насчет задержки звука/видео можно найти в *Разделе 5.1.*

5.2.2. Синхронизация

Если есть потребность в синхронизации видеосигнала в аналоговой среде, нужно использовать цифровой синхронизатор. В зависимости от выбора аппаратуры, используемой для этой цели, задержка, появляющаяся в видео тракте, может меняться в широких пределах. Если источник – сигнал PAL, а синхронизатор 8-полукадровый, задержка может меняться от меньше, чем 20 мс до 160 мс. Единственно эффективный и безопасный метод введения необходимой задержки в звуковом тракте – использование цифровой звуковой задержки, которая автоматически отслеживает задержку видео. Здесь возникает проблема отсутствия стандартного протокола для связи между видео синхронизаторами и задержками видео. Чтобы устройство звуковой задержки работало успешно, оно должно уметь считывать и реагировать на данные задержки, производимые видео синхронизатором.

5.2.3. Использование систем цифровых видеоэффектов

В аналоговой среде часто используются системы цифровых видеоэффектов (DVE). Эти устройства обычно вводят один полный кадр (40 мс) задержки видео. Поскольку DVE можно включать и выключать из видео цепи от одной сцены к другой, задержка звука должна это отслеживать идеально. Однако может оказаться неприемлемым включение и выключение из схемы 40 мс задержки звука, поэтому задержки звука, вероятно, придется постепенно вводить и выводить по громкости.

5.2.4. Каскадные задержки

Единственным хорошим решением проблемы каскадных задержек является использование системы, которая автоматически измеряет и регистрирует объем отклонений от установленных для любой программы временных соотношений. Информация, полученная при помощи опорных меток на сигналах звука и изображения, используется по необходимости для управления компенсирующими устройствами звуковой задержки во время воспроизведения, распределения или передачи.

5.3. Синхронизация студии SDI

Аналоговый сигнал синхронизации определен в Техническом стандарте EBU N14 [S.21]. Максимально допустимое значение джиттера определено в ± 2.5 нс. Однако практический опыт показал, что лимит должен быть < ± 0.5 нс.

Генератор для синхронизации цифровой студии должен иметь несколько выходов с независимо настраиваемыми величинами времени задержки для опорного видеосигнала «черное поле» и опорного цифрового звука AES/EBU.

Если в студии SDI используются каскадное соединение синхрогенераторов, особое внимание следует уделить параметру джиттер, создаваемому этим режимом внешней синхронизации. Подробнее о джиттере см. *Раздел 4.2.5.* и *Приложение A.*

5.3.1. Синхронизация видео оборудования

Сегодня большая часть студийного оборудования имеет аналоговый вход внешней синхронизации, хотя стабильность джиттера при использовании цифрового сигнала синхронизации лучше, если он берется из высокостабильного цифрового источника.

Измерения джиттера на аналоговых синхрогенераторах показывают, что обычно больше всего джиттер бывает в области вертикального гашения. Причина такого поведения кроется в особой структуре сигнала PAL (например, 25 Гц сдвиг). Аналоговые ведомые синхрогенераторы хорошего качества должны иметь джиттер менее ± 0.5 нс для всех частот, измеряемых по нескольким полукадрам.

Для поддержания лучшей стабильности джиттера цифровое оборудование студии должно запускаться по сигналу синхронизации через сигнал цветовой поднесущей, а не через фронт импульса синхронизации строки.

Тактовые импульсы видео и звука должны браться из одного источника, так как разность частот может в конце концов привести к пропусканию или добавлению выборки в звуковом кадре.

5.3.2. Синхронизация звукового оборудования

Синхронизация цифрового звукового оборудования охвачена несколькими справочными документами, в т.ч. AES 3 [S.29] и AES 11 [S.41]. Следует отметить следующие моменты:

Рекомендуется использовать форму аналогового видео сигнала («черное поле»). Можно использовать цифровой эквивалент, если учитывать время преобразования A/D или D/A соответственно.

Если используется цифровой опорный звуковой сигнал (DARS), он должен удовлетворять спецификации, данной в AES 3. Данные выборки могут представлять либо тишину, либо звуковой сигнал.

Аудио и видео опорные сигналы при использовании должны находиться во временных соотношениях, как показано в *Ref. 12a)*. Допуск ≤ 1 μs.

Согласно AES 11, джиттер должен быть в пределах ± 20 нс. (Возможно, AES изменит этот допуск на ± 2 нс.)

Цифровые звуковые кадры должны быть в фазе с DARS с допуском ± 5% от звукового кадра в передатчике и ± 25% от звукового кадра в приемнике, как показано в *Ref. 12c).*

Стабильность частоты опорного сигнала должна быть такой:

1 период на миллион периодов используемой частоты дискретизации для оборудования *класса 1;*

10 периодов на миллион для оборудования *класса 2.*

Максимальный джиттер цифрового аудио сигнала не должно превышать ± 20 нс. Тактовые импульсы АЦП и ЦАП требуют джиттера менее 0.1 нс, поэтому необходимо использовать подавитель джиттера.

Некоторое телевизионное оборудование (особенно видеомагнитофоны) требуют, чтобы такты звука и видео были тесно увязаны известным числом звуковых выборок на кадр. Это называется изохронной работой. В 625-строчных системах на кадр приходится ровно 1920 звуковых выборок. (В 525-строчных системах ровно 8008 звуковых выборок в 5 кадрах, что означает нецелое число звуковых выборок на кадр.)

Если различные частоты вырабатываются из общих тактов, или звуковые выборки вырабатываются из видеосигнала, то соотношение их фаз остается неопределенным. Выравнивание выборок можно гарантировать путем добавления к связи частот тактовых импульсов еще и синхронизации фаз. Это называется синхронной работой.

Определены два режима синхронизации:

a) Изохронная синхронизация звука

В системах с изохронной синхронизацией звука частота выборки цифрового звука такова, что число звуковых выборок в течение целого числа видео кадров само является целым, как показано в примерах в *Таблице 4.*

Таблица 4 – Соотношение между звуковыми выборками и видео кадрами.

Частота дискретизации звука (кГц)	Звуковые выборки / видео кадры	
	625-строчное видео (25 кадр/с)	525-строчное видео (29.97 кадр/с)
48.0	1920 / 1 кадр	8008 / 5 кадров
44.4	1784 / 1 кадр	147147 / 100 кадров
32.0	1280 / 1 кадр	16016 / 15 кадров

Изохронная аудио операция используется в ситуациях, где не надо поддерживать точное звуковое фазирование полученных звуковых данных. Сюда входят почти все задачи сегодняшнего телевидения. При передаче многоканального звука (или стереозвука, где левый и правый сигналы передаются отдельными цифровыми аудио потоками AES/EBU) могут возникнуть проблемы в результате различия задержек или разных моментов синхронизации; однако проблем не будет, если для стерео использовать канальные пары AES/EBU. В изохронной операции допускается сдвиг битов и не требуется фазирование цифрового звука к опоре, внутренней или внешней. Главное требование – приемник AES/EBU, который будет буферизовать входные цифровые сигналы и восстанавливать выравнивание звуковых кадров по произвольной фазе, создавая некоторый гистерезис во избежание скачков фазирования выборок. Подобное требование относится и к приемникам в отношении синхронной операции, за исключением того, что в изохронной операции нет средней фазы, что дает дорогу сдвигу битов в выборке. Поскольку большинство телевизионного оборудования сегодня не использует цифровой звуковой опорный сигнал (DARS) или включает метод фазирования цифрового звука к видео, то широко используется изохронная операция.

Следует заметить, что синхронизация поддерживается при коммутации в микшере, но не в матрице. Рефреймер (reframer) обнаруживает отсутствие правильной синхронизации и вставляет кадры тишины пока ФАПЧ снова не захватится. Проблема проявляется в виде щелчков в прослушиваемом сигнале, которые надо удалять при дальнейшей обработке.

b) Синхронная синхронизация звука

В системах с синхронной синхронизацией звука фаза звуковых выборок имеет определенное отношение к другим звуковым выборкам и соответствующему видео. Другими словами, звук изохронный и имеет определенную фазу.

Синхронная работа аудио требуется в тех случаях, когда во всей системе надо поддерживать точное фазирование полученных звуковых данных. Примером может быть требование произвести точное позиционирование звукового образа.

В синхронной звуковой операции сдвиг битов не допускается.

Все аналоговые аудио сигналы, которые поддерживают синхронизацию каналов, должны дискретизироваться с номинально идентичными фазами синхронизации 48 кГц, связанными с видеосигналом. Заголовок X

или Z звуковых кадров AES/EBU должен удовлетворять допуску на синхронизацию выборок данных, T = ± 1.0 μs в источнике, как показано в *Ref. 12a)*.

Когда звуковой сигнал AES/EBU восстанавливается после обработки, должна воссоздаваться и относительная синхронизация выборок. Примеры восстановленного источника бывают на выходе одного или более цифровых магнитофонов или нескольких встроенных звуковых демультиплексоров. Задержка для каждого канала должна быть повторяемой, неизменной во времени и машинонезависимой. Достичь этого можно частично привязкой фазы звуковой выборки на каждом выходе к общей временной позиции в последовательности звуковых кадров.

Встроенные звуковые системы требуют использования буферов и в мультиплексирующем, и в демультиплексирующем оборудовании.

Для поддержания синхронизации каналов задержка в каждой функции системы должна быть одинаковой постоянной величиной для каждого канала [13].

5.3.3. Возможность внешней синхронизации цифровой студии

В принципе, цифровой внешний источник или студию не надо синхронизировать с аналоговым внешним источником. В настоящее время старые синхрогенераторы аналоговой студии имеют большой джиттер, что влияет на все сигналы в цифровой студии. Рекомендуется, чтобы все входные аналоговые сигналы проходили через преобразователь сигнала (PAL – SDI) с устройством синхронизации кадров.

5.4. Декодирование и повторное кодирование сигналов PAL

Сигналы, созданные в PAL и впоследствии декодированные и прошедшие через студию SDI, могут испытывать мерцание яркости 6.25 Гц при повторном кодировании сигнала в PAL на выходе студии и последующем декодировании в приемнике.

Этому эффекту есть две причины:

5.4.1. Перекрестные эффекты в демодуляторе PAL

Демодулятор PAL на входе студии SDI демодулирует часть яркости как цветность и наоборот. Когда выходной сигнал студии SDI перекодируется в PAL, эти перекрестные частоты будут модулироваться как “нормальная” яркость или цветность соответственно. В конце концов, после демодуляции в домашнем приемнике, можно увидеть мерцание 6.25 Гц. Этот механизм можно понять, рассмотрев фазу синхронизации поднесущей к строке, Sc/H:

Sc-H = 25 Гц плюс 270° на строку; это сгенерирует продукт 6.25 Гц на выходе первого демодулятора;

Sc-H = 25 Гц плюс 270° на строку; это сгенерирует продукт 6.25 Гц в модулированном сигнале кодера PAL на выходе студии SDI.

Эти два шага обычно аннулируют эффект, так что после одного каскада кодера/декодера PAL мерцания 6.25 Гц не будет. Конечный процесс демодуляции в домашнем приемнике создаст такой же эффект, который не убирается:

Sc-H = 25 Гц плюс 270° на строку; это создаст мерцание 6.25 Гц.

5.4.2. Неверная генерация сдвига 25 Гц

Разница в генерировании сдвига 25 Гц в первоначальном кодере PAL и кодере PAL на выходе студии SDI может вызвать мерцание 6.25 Гц. Когда в кодере PAL генерируется сдвиг 25 Гц, предполагается, что 25 Гц модуляция поднесущей выполняется, следуя строгой синусоидальной функции. Однако в практических кодерах PAL это не так, и потому соотношение между частотой поднесущей и частотой строк нестабильно. Между поднесущей и синхроимпульсом строки будет расхождение синхронизации, особенно в случае декодеров PAL, работающих со множеством частот дискретизации, fsc .

Разница в джиттере 25 Гц контура ФАПЧ исходного кодера PAL и кодера PAL на выходе студии SDI также может вести к мерцанию 6.25 Гц.

Эффекты мерцания 6.25 Гц можно протестировать зональной пластинкой или вспышкой частоты тестового изображения.

Подробнее о мерцании см. *Раздел 5.7*.

5.5. Каскадирование ФАПЧ (reclocking)

Если ФАПЧ идут каскадом, джиттер увеличится, но в практических ситуациях это не вызовет проблем. Число удовлетворительных каскадов ФАПЧ зависит от передаточной функции джиттера и его подавления в

каждом устройстве. Повышение амплитуды джиттера бывает, если все приемники SDI одинаковой конструкции, в этом случае передаточная функция джиттера каскадных приемников создает небольшое приращение джиттера в одних и тех же точках передаточной функции джиттера. Однако в цифровой студии оборудование обычно различных типов и от разных производителей, так что риск такой проблемы невелик.

Время запуска приемника SDI обычно около 200 нс. Если несколько ФАПЧ соединены последовательно, то общее время запуска, вероятно, будет меньше суммы отдельных интервалов запуска. Например, когда запускается второй ФАПЧ, он попробует задействовать третий ФАПЧ во время фазы запуска и т.д.

Подробнее о джиттере и запуске см. *Раздел 4.2.5*. и *Приложение А,* и *Раздел 2.2.4.*

5.6. Конвертеры SDI – PAL (D_{ser}/A)

В цифровой студии используются различные типы конвертеров PAL. Они обычно генерируют сигнал PAL из последовательного цифрового сигнала и внешней опоры (сигнала «черного поля»).

Сигнал SDI, подаваемый на эти конвертеры, в большей или меньшей степени подвержен влиянию джиттера. Этот джиттер, который может быть в несколько наносекунд, не вызовет проблем в цифровом сегменте при условии низкой частоты джиттера (см. Раздел 4.2.5.). Однако проблемы могут возникнуть в процессе преобразования D/A, а также при генерировании сигнала PAL.

Джиттер в сигнале SDI приводит к нелинейности в ЦАП. По этой причине любой джиттер перед ЦАП не должен превышать 1 нс.

Джиттер также ведет к джиттеру вектора PAL и синхроимпульса строки.

Для уменьшения фазового джиттера сигнала PAL некоторые кодеры извлекают опорный синхроимпульс строки из цифрового сигнала и поднесущую получают с помощью системы ФАПЧ. Другими словами, фаза поднесущей остается правильной, но фаза Sc/H выходного сигнала колеблется с тем же ритмом, что и джиттер последовательного сигнала.

Кодеры SDI – PAL можно классифицировать по 3 группам:

5.6.1. Прецизионные кодеры PAL для передающего (непрерывно) выхода

Кодеру, используемому для подачи выходного сигнала студии или производственного центра в сеть вещания, требуется встроенный входной буфер или, лучше, строчный или кадровый синхронизатор, который может исключить фазовый джиттер сигнала SDI.

Синхронизатор добавит в этом месте задержку, и это надо учитывать.

Кроме того, перед (или в) кодером требуется ограничитель гаммы, так как сгенерированный сигнал PAL может оказаться искаженным (см. *Раздел 2.2.7*.).

Кодер требует в качестве опоры сигнал «черного поля», и должна существовать возможность вычеркивания отдельных строк в обычно прозрачной области вертикального гашения.

Следует использовать подавитель джиттера (см. *Раздел 4.2.5.* и *Приложение А*).

5.6.2. Широкополосный кодер PAL (C_B, C_R = 2.5 МГц)

В смешанном аналого-цифровом студийном комплексе, как обычно бывает в большинстве производственных центров, может потребоваться иметь широкополосный выход PAL.

Сигналы кодера можно декодировать точным гребенчатым фильтром и передавать обратно на уровни, определенные в Техническом стандарте EBU N10 [S.20] без недопустимых потерь. Эти сигналы не годятся для эфира, но могут без проблем использоваться в студии.

Кодер требует в качестве опоры сигнал «черного поля», и должна существовать возможность вычеркивания отдельных строк в обычно прозрачной области вертикального гашения.

Следует использовать подавитель джиттера (см. *Раздел 4.2.5*. и *Приложение А*).

5.6.3. Дешевые кодеры PAL

Кодеры для мониторинга обычно используют недорогие фильтры и работают без внешней синхронизации. Их внутренняя синхронизация PAL берется непосредственно из входящего сигнала SDI. Поэтому входной джиттер SDI прямо передается в фазу поднесущей и фазу строчного синхроимпульса выходного сигнала PAL.

4-кадровая последовательность будет несовершенна по наследству, так как эта информация отсутствует в сигнале SDI.

Монитор может работать с этими сигналами без проблем.

5.7. Конвертеры PAL – SDI (A/D_{ser})

В цифровой студии входные сигналы PAL преобразуются в сигналы SDI. Конвертер PAL – SDI должен иметь встроенный кадровый синхронизатор, чтобы внешний источник можно было синхронизировать со студией.

Строки вертикального гашения должны проходить прозрачно.

В зависимости от типа декодирования задержка может быть до 40 мс.

Сейчас 8-полукадровая информация PAL не передается через интерфейс SDI. Поэтому во избежание мерцания и других эффектов в выходном сигнале PAL, полученном из SDI студии, подавление частоты поднесущей в компонентных сигналах должно быть лучше 46 dB.

Положение изображения по отношению к синхроимпульсу должно быть точным.

5.8. Тепловые условия для цифрового оборудования

Цифровое оборудование благодаря требованиям EMC очень компактно и требует принудительной вентиляции. Неисправность вентилятора обычно ведет к сбоям оборудования.

Некоторые производители делают в цифровом оборудовании аварийный выход, который дает информацию о термических условиях и других параметрах. В состав студии SDI должен входить центральный мониторинг температуры.

SMPTE сейчас стандартизирует схемы отчета о неисправностях [S.40][S.38].

5.9. Разъемы 75 / 50 Ом для SDI

Спецификации

Хотя документ EBU Tech. 3267 рекомендует разъемы с полным сопротивлением 75 Ом для выдачи последовательных цифровых сигналов, большинство оборудования по-прежнему снабжено разъемами BNC 50 Ом, потому что они более устойчивы.

Сигнал, проходящий через 50 Ом участок, сразу достигает 96% своей окончательной величины и 99% после удвоенной электрической длины кабеля 50 Ом. Это приводит лишь к небольшим искажениям. На стороне источника 50 Ом линии, однако, присутствует отражение в 20%, распространяющееся обратно по линии к передатчику.

Этот отраженный импульс ведет к уменьшению открывания глазковой диаграммы.

Если предположить, что длина входного гнезда 50 Ом 2 см, то это соответствует времени задержки распространения около 100 ps, и задержка отраженного сигнала будет 200 ps. Эффект этой задержки можно считать незначительным по сравнению с временем нарастания последовательного сигнала в 1 нс [2].
На рынке имеются устойчивые гнезда 50 Ом, и производители оборудования убеждены в их пригодности.

Смешанное использование золотых и никелированных разъемов BNC не вызывает проблем.

Разъемы должны гальванически соединяться с корпусом оборудования.

5.10. Кабели SDI

Для SDI должен использоваться кабель с медной оплеткой и экраном из фольги для уменьшения излучения частот сигналов SDI и повышения устойчивости системы к внешним полям [8].

5.11. Пассивные проходные цепи и оконечная нагрузка 75 Ом

Пассивные проходные контуры возможны и бывают в некотором тестовом оборудовании.

Следует заметить, что выходной сигнал “проходного контура” не предназначен для прохождения по всей длине кабеля линии связи SDI.

Особое внимание требуется, когда пассивный проходной контур не используется. Важно убедиться, что 75 Ом нагрузка не имеет существенных реактивных компонентов на частотах не менее частоты синхронизации SDI. Так называемые “точные” оконечные нагрузки, традиционно используемые в оборудовании PAL, не удовлетворяют этому требованию.

5.12. Интеграция измерительного оборудования в цифровой студии

В аналоговых студиях измерительное оборудование подключается к системе через коммутационную видео матрицу и/или аналоговый усилитель-распределитель. В цифровой студии измерительное оборудование должно уметь проверять качество физического сигнала, не изменяя его характеристики, такие как восстановление или выравнивание.

Поэтому должна быть возможность подключения оборудования (измерительного) прямо к источнику через панель перемычек (patch panel) без схемы выравнивания или регенерации тактов (reclocking).

Глава 6

Тестовое и измерительное оборудование

Внедрение цифровой видео технологии в оборудование телепроизводства даст многим пользователям первый практический опыт работы с широким спектром новой аппаратуры, с новыми форматами сигнала, с новыми проблемами – и новыми методами тестирования. Как и во всех областях электронных медиа, тестовые и измерительные инструменты существенно помогают в тестировании систем и диагностике проблем.

В этой главе излагаются специализированные требования к тестовому оборудованию, адаптированному к среде SDI современной телевизионной студии.

6.1. Генераторы тест-сигнала

Генераторы тест-сигнала используются во всех сигнальных средах для ввода сигналов, имеющих известные характеристики, в тестируемое оборудование или систему, а затем, на выходе оборудования, используется анализатор для оценки искажений, ошибок или других нежелательных эффектов.

Генераторы тест-сигнала для применения в цифровых телевизионных студиях должны иметь несколько выходов:

- последовательное цифровое видео (SDI);
- аналоговое компонентное видео;
- параллельные и последовательные такты (27 и 270 МГц);
- цифровое аудио (опция).

Все тестовые видео сигналы должны генерироваться с 10-битным разрешением и подаваться на цифровой и аналоговый видео выходы одновременно.

6.1.1. Видео и вспомогательные данные

Тестовые сигналы видео и вспомогательных данных должны включать следующее:

- Все тест-сигналы, описанные в Рекомендации ITU-R BT.801 [S.33] (см. также *Раздел 6.3.1*. ниже).
- Все известные патологические тест-сигналы (напр. контрольный полукадр SDI, описанный в *Разделе 6.3.2*.).
- Тест-сигналы цветовой гаммы.
- Сигналы, содержащие некорректные опорные сигналы синхронизации (TRS).
- Тест-сигналы положения изображения, показанные на *Рис. 2*.
- Тест-сигналы для вспомогательных данных (включая встроенный звук).
- Тест-сигналы времени задержки видео, показанные на *Рис. 4*.

Другие требования включают:

- Уровень видео должен быть регулируемым.
- Должна быть возможность вставки тест-сигналов в интервал вертикального гашения для тестирования прозрачности оборудования в этой области.
- Должна быть опция генерирования соответствующих вспомогательных данных, включая широкоэкранную сигнализацию (WSS) в строке 23 [S.19].
- Для стационарных тестовых шаблонов информация обработки ошибочных данных (EDH) должна распространяться так, чтобы была возможность ее оценки. Флажки должны переключаться, позволяя проводить тесты на следующем оборудовании в цепи (“ошибки получения”, и т.п.).
- Генератор должен уметь считывать специальные тест-сигналы, например, с цифрового видеомагнитофона, и хранить их для дальнейшего использования.

6.1.2. Выход SDI

Следующие требования касаются выхода SDI генератора тест-сигнала:

- Должна быть возможность добавления помех к выходному сигналу SDI.
- Должно быть обеспечено испытание кабеля в усиленном режиме (т.е. имитированной вставки кабеля калиброванной длины).
- Должна быть возможность добавления джиттера калиброванными шагами амплитуды и частоты.
- Выходной уровень сигнала SDI должен быть переменным, позволяя тестировать чувствительность к перегрузкам ФАПЧ в приемнике SDI (см. *Раздел 4.2.2*.).
- Генератор должен уметь подавать в студию несколько синхронизирующих сигналов, каждый с различной синхронизацией. Время задержки каждого сигнала должно меняться в широком диапазоне (4 кадра).

6.1.3. Аналоговый выход

Аналоговый выход генератора должен удовлетворять следующим требованиям:

- Должна быть возможность добавления джиттера калиброванными шагами амплитуды и частоты.
- Генератор должен уметь подавать в студию несколько синхронизирующих сигналов, каждый с различной синхронизацией. Время задержки каждого сигнала должно меняться в широком диапазоне (4 кадра).

6.1.4. Аудио выход

Генератор должен выдавать стандартные формы цифрового звукового опорного и тестового сигналов, как определено в соответствующей документации AES [S.42].

6.2. Анализатор SDI

Анализатор SDI требуется для оценки качества сигнала как в физической области, так и в области данных.

6.2.1. Измерения в физической области

Методы измерения, относящиеся к физической области SDI, описаны в Разделе 4.2. Вообще, необходимо измерять следующие параметры:

- Глазковую диаграмму
- Уровень сигнала
- Пульсация сигнала
- Искажение уровня низкочастотного сигнала
- Сдвиг постоянной составляющей
- Выбросы
- Время нарастания и спада
- Полное сопротивление
- Потери на отражение
- Джиттер.

Измерения в области данных описаны в *Главе 3.* Они охватывают следующие аспекты:

- Число активных битов (8 или 10)
- Уровень цифрового сигнала
- Проверка запрещенных цифровых значений
- Проверка опорного сигнала синхронизации (TRS)
- Время нарастания и спада
- Коэффициент ошибочных битов
- Контроль при помощи циклического избыточного кода (CRC)
- Задержка яркость/цветность
- Положение изображения относительно TRS
- Проверка вспомогательных данных (включая идентификацию типа и длины)
- Проверка цветовой гаммы
- Задержка распространения в оборудовании SDI.

6.3. Тест-сигналы для SDI

6.3.1. Общие тест-сигналы

Рекомендация ITU-R BT.801 [S.33] описывает стандартные тест-сигналы для измерений на SDI. В настоящее время все эти сигналы определяются при помощи 8-битных кодов видео данных, хотя для некоторых тестов требуются 10-битные сигналы.

6.3.2. Контрольный полукадр SDI

а) Описание контрольного полукадра SDI

Контрольный полукадр SDI – это тест-сигнал с полным полукадром, специально предназначенный для использования с SDI. Он определен в Рекомендуемой практике SMPTE RP 178 [S.35].

Поток данных тест-сигнала содержит отдельные последовательности логических “1” и “0”, которые служат для “нагрузки” системы вещания как средства обнаружения слабых мест в системе на ранней стадии. Хотя контрольный полукадр SDI и нагружает тестируемое оборудование или установку, это не настоящий “патологический” тест-сигнал, в том смысле, что он не содержит запрещенные последовательности битов; они могут возникать при нормальной работе, если только изредка.

Контрольный полукадр SDI имеет две специальные комбинации данных, каждая для определенной цели:

- одна комбинация проверяет характеристики восстановления тактов ФАПЧ приемника SDI, как описано в *Разделе 4.2.8*.;
- другая проверяет характеристики кабельного эквалайзера, как описано в *Разделе 4.2.9.*.

Обе комбинации данных обычно включены в один тестовый шаблон, и каждая занимает половину изображения, как говорится в *Разделе 6.3.1.b*).

b) Принципы контрольного полукадра SDI

Рассмотрим сначала характеристики схемы восстановления тактов ФАПЧ, возможно, что она потребует наличия в сигнале видео данных большого количества “1” для генерирования тактовых импульсов с высокой временной точностью.

Эти “1” представлены в коде канала, использующем формат NRZI как изменения полярности (фронты), а “0” представлены отсутствием переходов (примечание: NRZI не является кодом без постоянной составляющей). Если последовательных “0” много, восстановление синхронизации может ухудшиться; в действительности, генератор ФАПЧ слишком долго будет работать “свободно”, так как его нечем синхронизировать.

Скремблирование, применяемое к потоку данных, предназначено для уменьшения числа последовательных “0”. 9-битный скремблер (функция G1 = $x^9 \oplus x^4 \oplus 1$) может тем не менее сгенерировать бесконечно долгую последовательность “0”, если входной сигнал состоит только из “0”. Поэтому при кодировании сигнала необходимо проследить, чтобы эта ситуация никогда не возникала, и чтобы в то же время кодовая последовательность, соответствующая опорному сигналу синхронизации (TRS), никогда не происходила в активном кадре.

Самая длинная последовательность “0” в активном видео сигнале будет, если за значением 80.0hex следует 01.Xhex, как показано на *Рис. 14*. Эта комбинация дает 16 последовательных “0”.

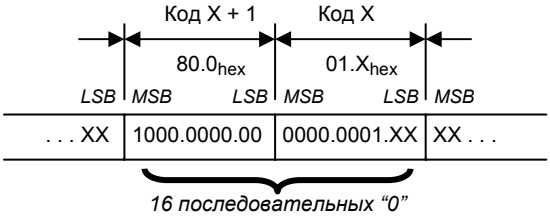


Рис. 14 – Создание самой длинной возможной последовательности “0” в кодах активных видео данных.

Как результат из определенных нулевых групп в области опорного сигнала синхронизации (TRS) могут появиться более длинные последовательности “0”. TRS для цифровых компонентных видеосигналов 4:2:2 будет FF.C/00.0/00.0/XYZhex (см. *Ref. 6*). Это всегда содержит последовательность 20 “0” и будет иметь 29, если XYZ = 200hex. Если цифровой сигнал PAL дискретизирован на 4fsc, TRS в SDI будет FF.C/00.0/00.0/00.0hex, где содержится 30 последовательных “0”.

Если эти сигналы направляются через скремблер NRZ, число “0” увеличится на 9 (число уровней в скремблере), а инверсия, связанная с преобразователем NRZI, добавит еще один “0”.

Следовательно, наибольшее возможное количество “0” – это 39 для цифровых компонентных сигналов 4:2:2 за период 144 нс (40 “0” для цифрового сигнала PAL, что соответствует периоду около 225 нс).

Тест-сигналы, разработанные для практического применения, имеют в последовательности меньшее количество “0”. Были предложены две последовательности, одна для тестов на декодере ФАПЧ, а другая для компенсации кабеля, как говорилось в *Разделе 6.3.2.a*). Тест-сигнал эквалайзера (верхняя половина контрольного полукадра SDI – см. *Рис. 15a*)) имеет кодовые значения $C0.0_{hex}/66.0_{hex}$ (*C/Y*), а тест-сигнал ФАПЧ (нижняя половина полукадра) имеет кодовые значения $80.0_{hex}/44.0_{hex}$ (*C/Y*).

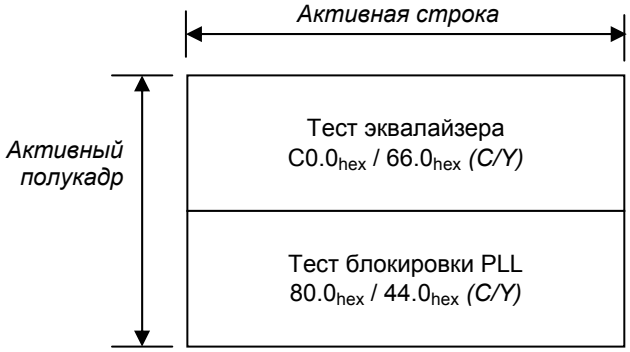
При порядке выборок яркости и цветности, показанном на рисунке, верхняя половина изображения будет тенью пурпурного цвета, а нижняя половина – тенью серого[1].

Рис. 15b) показывает тест-сигнал ФАПЧ с последовательностью 19 “0”, разделенных одной “1”, которая после инверсии $x \oplus 1$ производит постоянный поток изменений полярности каждые 20 битов (74 нс). ФАПЧ не имеет управления с временны́м интервалом фазы, и запас постоянного тока этого тест-сигнала близок к нулю.

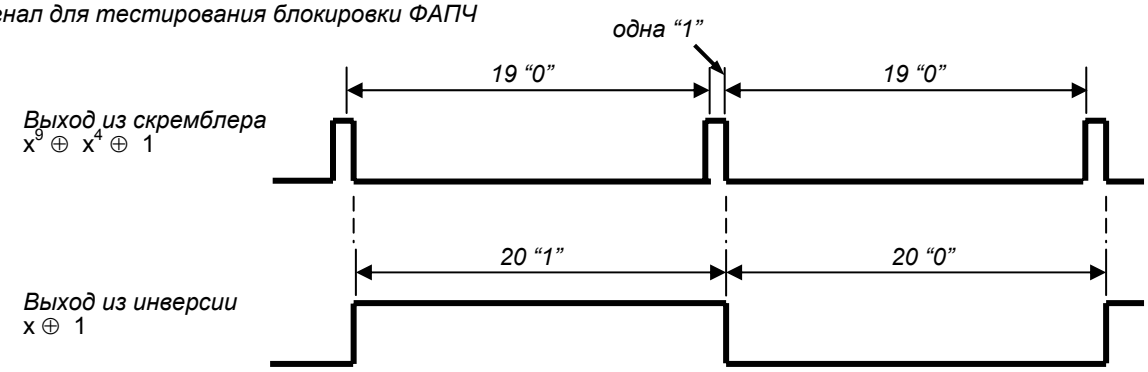
Рис. 15c) показывает тест-сигнал эквалайзера, как он выглядит до и после инверсии $x \oplus 1$. Он содержит 19 периодов низкого уровня, за которыми идет один период высокого уровня. Средний уровень постоянной составляющей уже не ноль, благодаря прерыванию 3.7 нс каждые 70.3 нс. Если в эквалайзере происходит сбой, средний уровень меняется подобно ошибке фиксации (clamping). Эквалайзер приемника принимает пиковые амплитуды сигнала за опору, поэтому, в зависимости от постоянной времени, может происходить быстрое регулирование, если передается длинная последовательность “0”.

Таблица 5 показывает типичное распространение последовательностей “1” и “0” в 100-кадровом периоде компонентного черного. *Таблица 6* показывает аналогичные данные для 100 кадров сигнала контрольного полукадра SDI. Последовательности из 19 и 20 “0” отвечают за низкочастотную нагрузку системы. Если они случаются (примерно один раз в кадр), то попадают в полный активный телевизионный кадр и вызывают значительные низкочастотные помехи. Тест-сигнал ФАПЧ является прямоугольным импульсом 20-“1”, 20-“0”, поэтому присутствует четное количество каждого типа последовательности. Тест-сигнал эквалайзера имеет последовательности из 19 “1”, за которыми идет “0”, или 19 “0”, за которыми идет “1”; из-за дополнительной “1” в каждом кадре встречаются две полярности, обе представленные в данных [5].

ⓐ *Контрольный полукадр SDI, отображаемый на видеомониторе*



ⓑ *Сигнал для тестирования блокировки ФАПЧ*



ⓒ *Сигнал для тестирования компенсации кабеля*

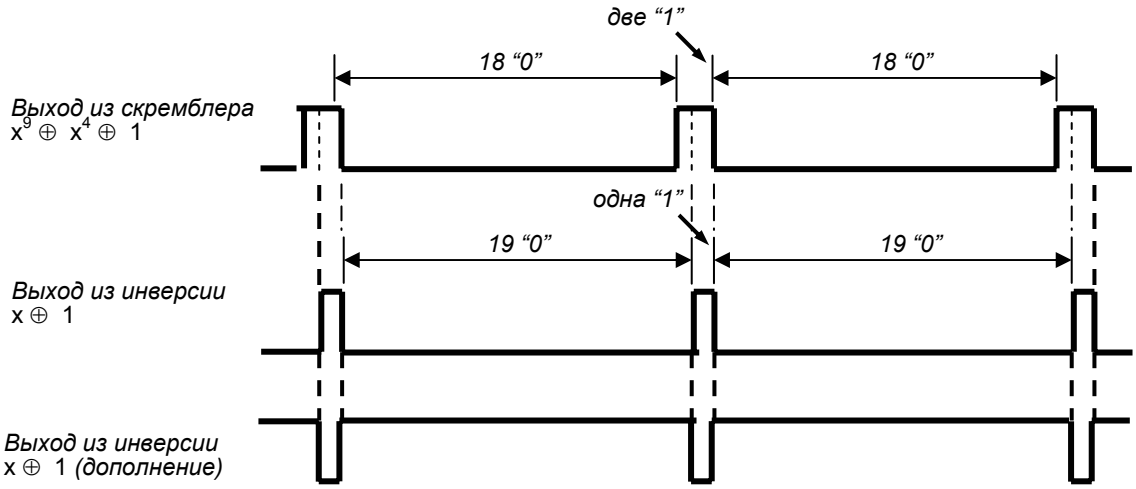


Рис. 15 – Состав контрольного полукадра SDI.

Таблица 5 – Длина последовательностей “0” и “1” в 100 кадрах компонентного черного.

Длина	"1"	"0"		Длина	"1"	"0"
1	112615438	112610564		21		13579
2	58303576	56305219		22	73759	
3	28155012	28154963		23		
4	14076558	14077338		24		
5	7037923	7038595		25		
6	3518756	3518899		26		
7	1759428	1760240		27		
8	1059392	699666		28		
9	610241	970950		29		
10	1169	1060		30		
11	14	156		31		
12	40			32	55	51
13	156	114		33	49	
14				34		3
15				35		
16	13713	73865		36		
17				37		
18				38		
19	101	94		39		50
20				40		

Таблица 5 – Длина последовательностей "0" и "1" в 100 кадрах контрольного полукадра SDI.

Длина	"1"	"0"		Длина	"1"	"0"
1	112595598	112595271		21		
2	56291947	56292583		22	9344	9425
3	28146431	28147229		23		
4	14073813	14072656		24		
5	7035240	7035841		25		
6	3518502	3518856		26		
7	1758583	1758969		27		
8	879203	879359		28		
9	706058	706029		29		
10	51596	51598		30		
11	146	154		31		
12	16858	16817		32	49	49
13	34405	34374		33	35	32
14	17445	17442		34	3	4
15				35		
16	9558	9588		36		
17				37		
18	29	27		38		
19	20944	19503		39	13	14
20	19413	19413		40		

6.4. Измерения коэффициента ошибочных битов (BER)

6.4.1. Смысл значений BER

Коэффициент ошибочных битов (BER) – это отношение числа полученных неправильных битов к сумме полученных битов. Для примера рассмотрим последовательный цифровой интерфейс SDI, имеющий скорость передачи 270 Мбит/с. Если происходит одна ошибка на кадр, то BER будет:

$$BER = 25/(270 \times 10^6) = 0.93 \times 10^{-7}$$ для 625-строчных систем

или:

$$BER = 30/(270 \times 10^6) = 1.11 \times 10^{-7}$$ для 525-строчных систем

Для иллюстрации смысла значений BER в *Таблице 7* средние временны́е интервалы между ошибками соотносятся с приблизительными значениями BER в случае с SDI.

Таблица 7 – Значения BER для выбранного среднего времени между ошибками в SDI.

Среднее время между ошибками	BER в SDI при 270 Мбит/с
1 телевизионный кадр	1×10^{-7}
1 секунда	4×10^{-9}
1 минута	6×10^{-11}
1 час	1×10^{-12}
1 день	4×10^{-14}
1 неделя	6×10^{-15}
1 месяц	1×10^{-15}
1 год	1×10^{-16}
1 десятилетие	1×10^{-17}
1 век	1×10^{-18}

BER является полезным критерием характеристик системы в ситуациях, когда коэффициент сигнал-шум в приемнике имеет такой уровень, что происходят случайные ошибки.

Скремблирование используется в SDI для уменьшения постоянной составляющей передаваемого сигнала и гарантии, что сигнал, попадающий в приемник, имеет достаточно большое количество переходов через ноль для надежного восстановления тактов.

Неотъемлемая особенность дескремблера состоит в том, что единичный бит ошибки в каждом случае вызовет ошибку в двух кодовых словах данных (выборках). Кроме того, будет 50% вероятность того, что ошибка в одном из кодовых слов будет либо в самом старшем, либо во втором старшем разряде. Поэтому коэффициент ошибки в 1 ошибку на кадр будет виден довольно терпеливому наблюдателю. Факт, что ошибка заметна, достаточен для ее недопустимости (как минимум в инженерном смысле, если не в субъективном), но она еще более недопустима из-за представлений, которые она дает о работе системы SDI.

6.4.2. Измерения BER

Измерения BER можно проводить с помощью специального оборудования. К сожалению, в правильно работающей системе с резервной зоной, например, 6 dB (что соответствует затуханию кабеля длиной около 80 м), ошибок для измерения не будет, и BER получится нулевой. Это потому, что система SDI обычно работает в среде, в которой не бывает случайных ошибок. Если ошибок не предвидится, как предполагается в *Таблице 7*, то нечего и измерять. На практике более частой проблемой будут пакеты ошибок вследствие мешающего сигнала, например, импульсной помехи, которая бывает случайной и очень редко.

Еще одной возможной причиной может быть перекрестная помеха, которая может идти в зависимости от сигналов, используемых в любое определенное время. Плохой электрический контакт интерфейса может вызвать помехи только при механическом нарушении.

Вследствие прерывистого характера пакетов ошибок инженеры записи данных и связи определили еще один принцип измерения ошибок под названием “ошибочная секунда”. Преимущества этого принципа можно проиллюстрировать примером:

Предположим, что пакет ошибок вызывает 10,000 ошибок в двух кадрах видео. Измерение BER за период одной минуты покажет BER 1×10^{-6}, а измерение за целый день покажет 8×10^{-9}. В отличие от этого, измерение “ошибочной секунды” покажет, что одна секунда содержала ошибки, и это произошло 3 часа, 10 минут и 5 секунд тому назад. В этом случае принцип “ошибочной секунды” явно более полезный метод измерения.

Явное преимущество “ошибочной секунды” по сравнению с традиционным измерением BER в том, что она дает лучшее представление о пригодности к службе каналов, подверженных пакетам ошибок. SDI входит в эту категорию систем, так как телевизионные изображения сильно страдают от мгновенной потери синхронизации. Измерение BER может дать то же значение для одного большого пакета ошибок, как и для нескольких более коротких и разбросанных. Однако, если каждый из этих коротких пакетов вызывает мгновенную потерю синхронизации, субъективный эффект больше повредит видимому изображению, чем эффект большого пакета. Поэтому для цифровых телевизионных сигналов предлагается использовать принцип “ошибочной секунды” (и обратный принцип “безошибочных секунд”) [3].

6.5. Обнаружение и обработка ошибок (EDH – Error Detection and Handling)

Системные измерения с использованием таких методов, как контрольный полукадр SDI, являются “враждебными” в том смысле, что требуют передачи специального тестового сигнала. Поэтому такие тесты могут проводиться только не в часы нормального производства. В ответ на потребность в постоянном мониторинге SDI во время обычных операций создания программ была разработана система обнаружения и обработки ошибок (EDH) [S.39]. Данные EDH вычисляются, используя программный сигнал в качестве тестового, и вставляются как вспомогательные данные в строки 5 и 318.

Система EDH вычисляет два контрольных кода CRC для каждого цифрового полукадра:

- один вычисляется по области активного изображения (исключая строки, соответствующие полустрокам в соответствующих аналоговых системах);
- другой вычисляется по полному полукадру видеосигнала (кроме строк 5 и 318, которые передают сами данные EDH, и двух следующих строк, где происходит переключение видео и последующая проверка кадровой синхронизации).

EDH также включает флажки для указания, была ли обнаруженная ошибка передана с предшествующего в цепи оборудования или же произошла в оборудовании, на котором в данный момент выполняется проверка EDH.

Пронаблюдав показания EDH с различной аппаратуры в цепи, можно изолировать устройство, вызывающее ошибки, а проверка контрольных сумм может помочь в локализации сбоя внутри оборудования.

Следует заметить, что ошибки, помеченные единицей оборудования, относятся к *предыдущему* полукадру.

Справочные данные и стандарты

Обсуждаемые в данном документе интерфейсы являются сложными и гибкими комплектами подсистем, спецификации и стандарты которых разбросаны в большом количестве справочных документов. Раздел *Справочные данные и стандарты* группирует всю информацию, необходимую в структуре измерений в оборудовании и системах интерфейсов. Если не указано иное, все справочные данные рассматривают только случай 625-строчных телевизионных систем 50 полукадров/с.

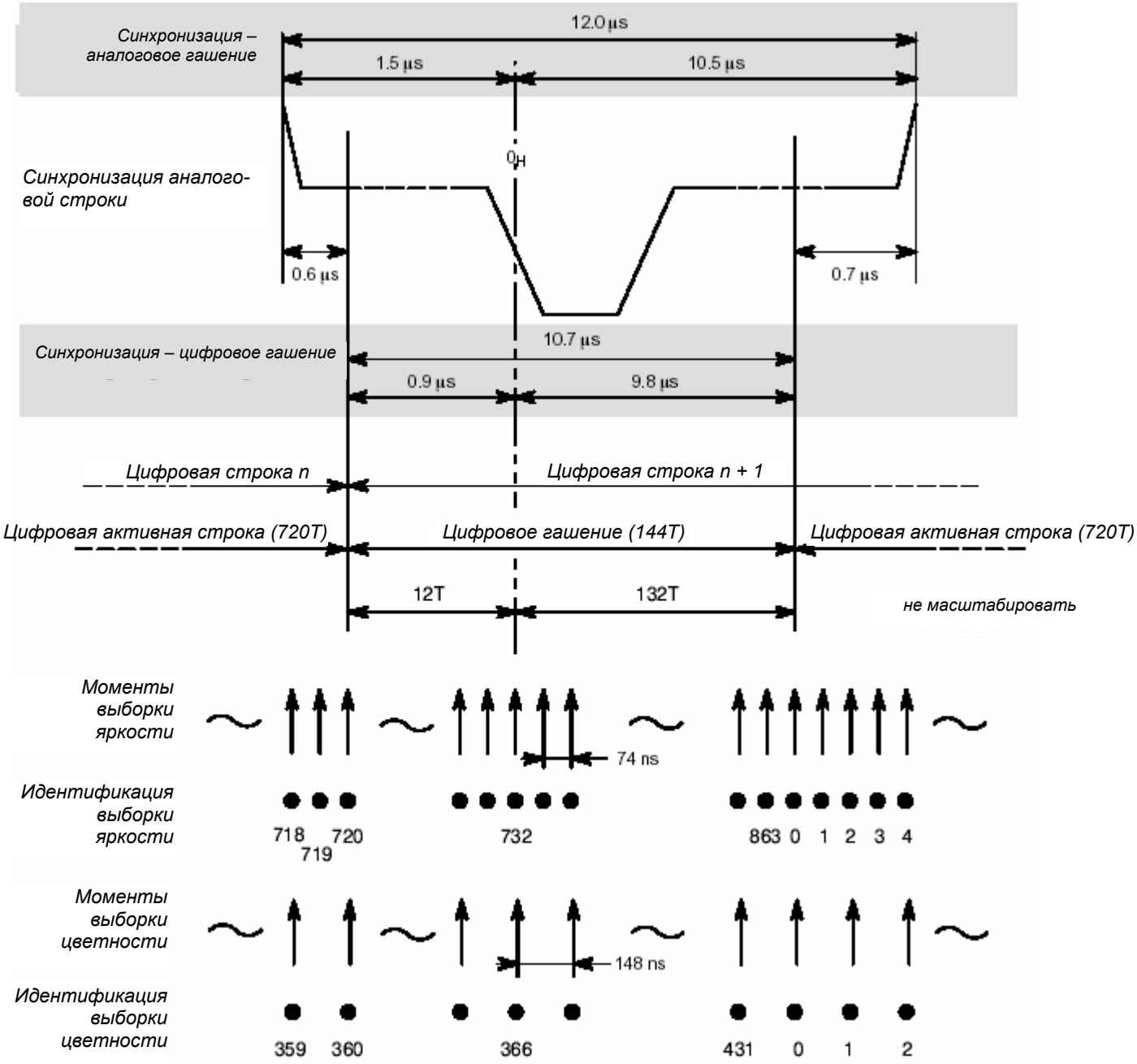
Справочные данные

Раздел воспроизводит принципиальные справочные данные для цифровых компонентных видео интерфейсов.

Диаграммы и таблицы взяты из соответствующих документов по стандартам и, где надо, адаптированы для настоящего документа. Поэтому они могут содержать дополнительную информацию, которая не является составной частью официальных стандартов.

Ref. No. *стр*

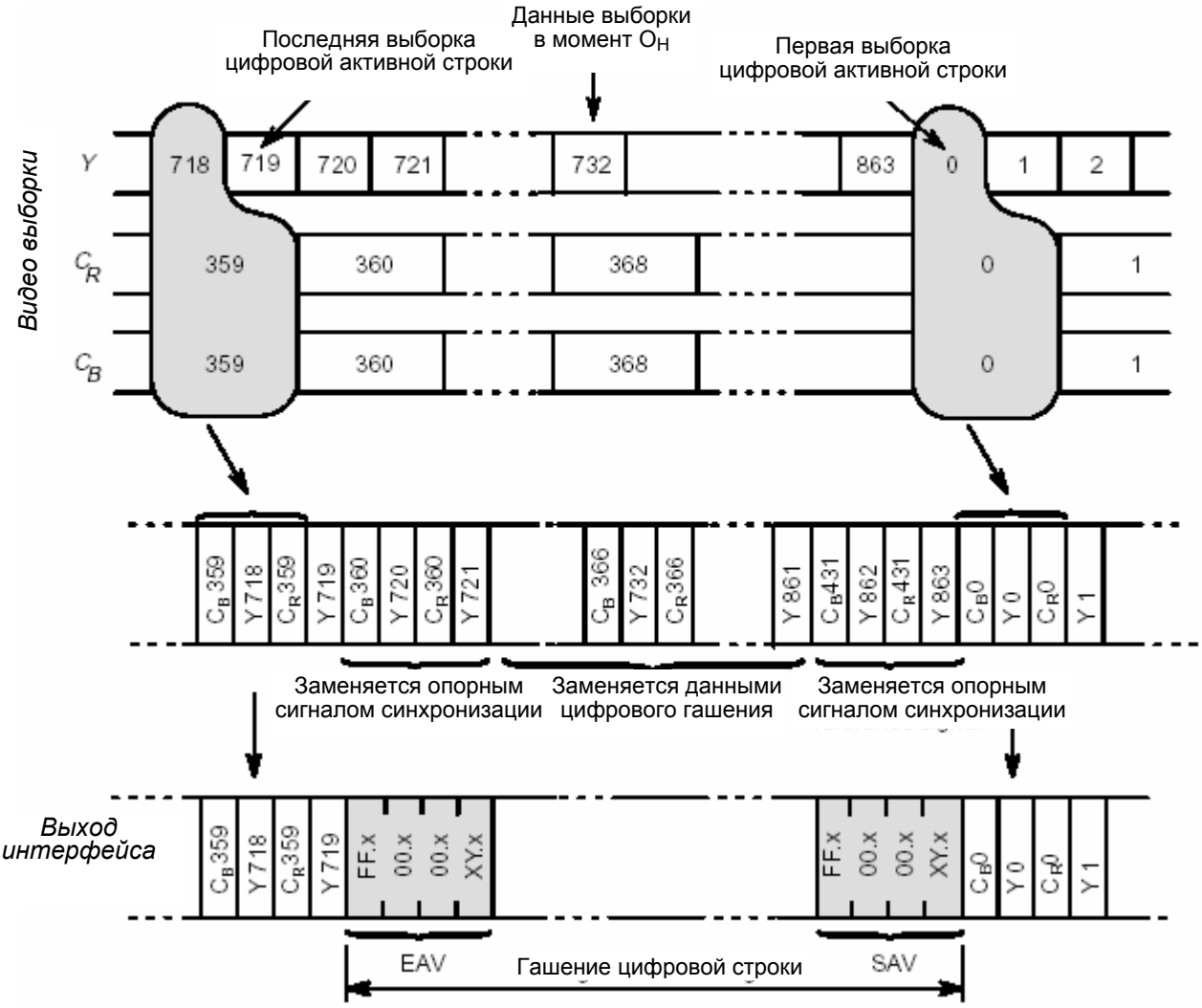
Ref. 1 Соответствие между цифровым и аналоговым интервалами гашения и синхронизация аналоговой строки . . . 51
Ref. 2 Состав мультиплексированных данных и положение опорных сигналов синхронизации, EAV и SAV. . . . 52
Ref. 3 Отношение между цифровым и аналоговым полукадрами, показывающее также положение цифровых гасящих интервалов полукадров. . . . 53
Ref. 4 Электрические характеристики параллельного интерфейса. . . . 55
Ref. 5 Механические характеристики параллельного интерфейса. . . . 56
Ref. 6 Опорный сигнал синхронизации . . . 57
Ref. 7 Уровни квантования канала яркости (Y). . . . 58
Ref. 8 Уровни квантования каналов цветности (C_B, C_R). . . . 58
Ref. 9 Структура пакета вспомогательных данных SDI. . . . 59
Ref. 10 Структура цифрового аудио сигнала AES/EBU. . . . 59
Ref. 11 Вставка звуковых кадров в пакеты вспомогательных данных SDI . . . 60
Ref. 12 Синхронизация цифровых аудио каналов EBU/AES. . . . 61
Ref. 13 Формат цифрового тайм-кода. . . . 62
Ref. 14 Окно переключения в интервале вертикального гашения. . . . 63
Ref. 15 Типичная блок-схема SDI . . . 63
Ref. 16 Скремблирование и кодирование в передатчике SDI; декодирование и дескремблирование в приемнике SDI . . . 64
Ref. 17 Таблица реализации звука AES/EBU. . . . 65
Ref. 18 8-битные значения яркости. . . . 66
Ref. 19 8-битные значения цветности. . . . 67
Ref. 20 10-битные значения яркости. . . . 68
Ref. 21 10-битные значения цветности. . . . 72



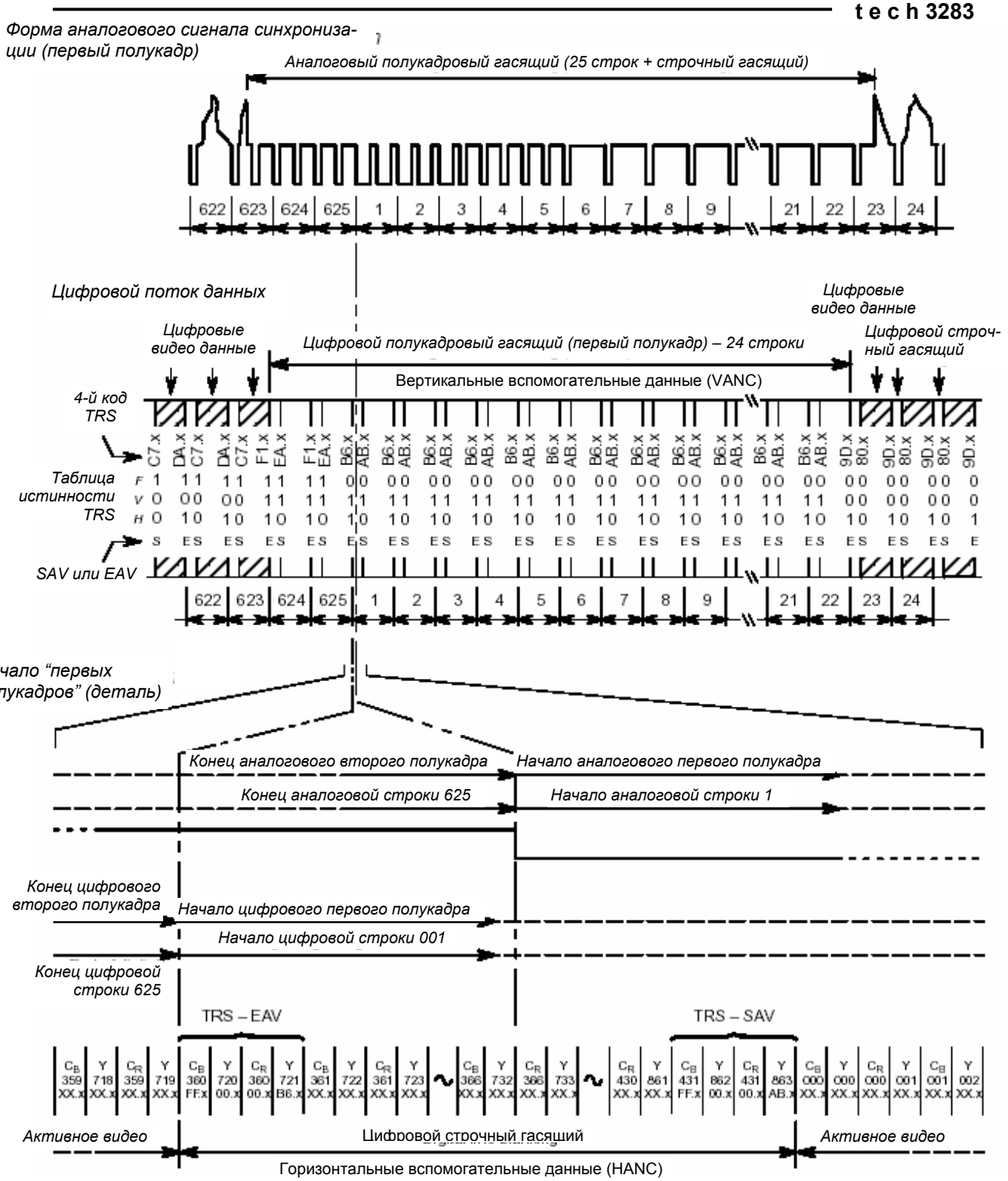
Примечания:

1. На рисунке цифровое гашение содержит 144 выборки яркости, нумерованные от 720 до 863, и 72 выборки цветности, нумерованные от 360 до 431. Цифровая активная строка содержит 720 выборок яркости, нумерованных от 0 до 719, и 360 выборок цветности, нумерованных от 0 до 359.
2. Позиция цифрового гашения, показанная на рисунке, выбрана так, что цифровая активная строка расположена симметрично в отношении допустимых отклонений, определенных относительно синхронизирующей опоры O_H, в начальном и конечном времени аналоговой активной строки.
3. В целях идентификации код “0” взят за первый код цифровой активной строки.
4. O_H – опорное время аналоговой строки, установленное в точке средней амплитуды переднего фронта синхроимпульса аналоговой строки.
5. T – период дискретизации (10^3/13.5 нс)

Ref. 1 – Соответствие между цифровым и аналоговым интервалами гашения и синхронизация аналоговой строки.



Ref. 2 – Состав мультиплексированных данных и положение опорных сигналов синхронизации, EAV и SAV.

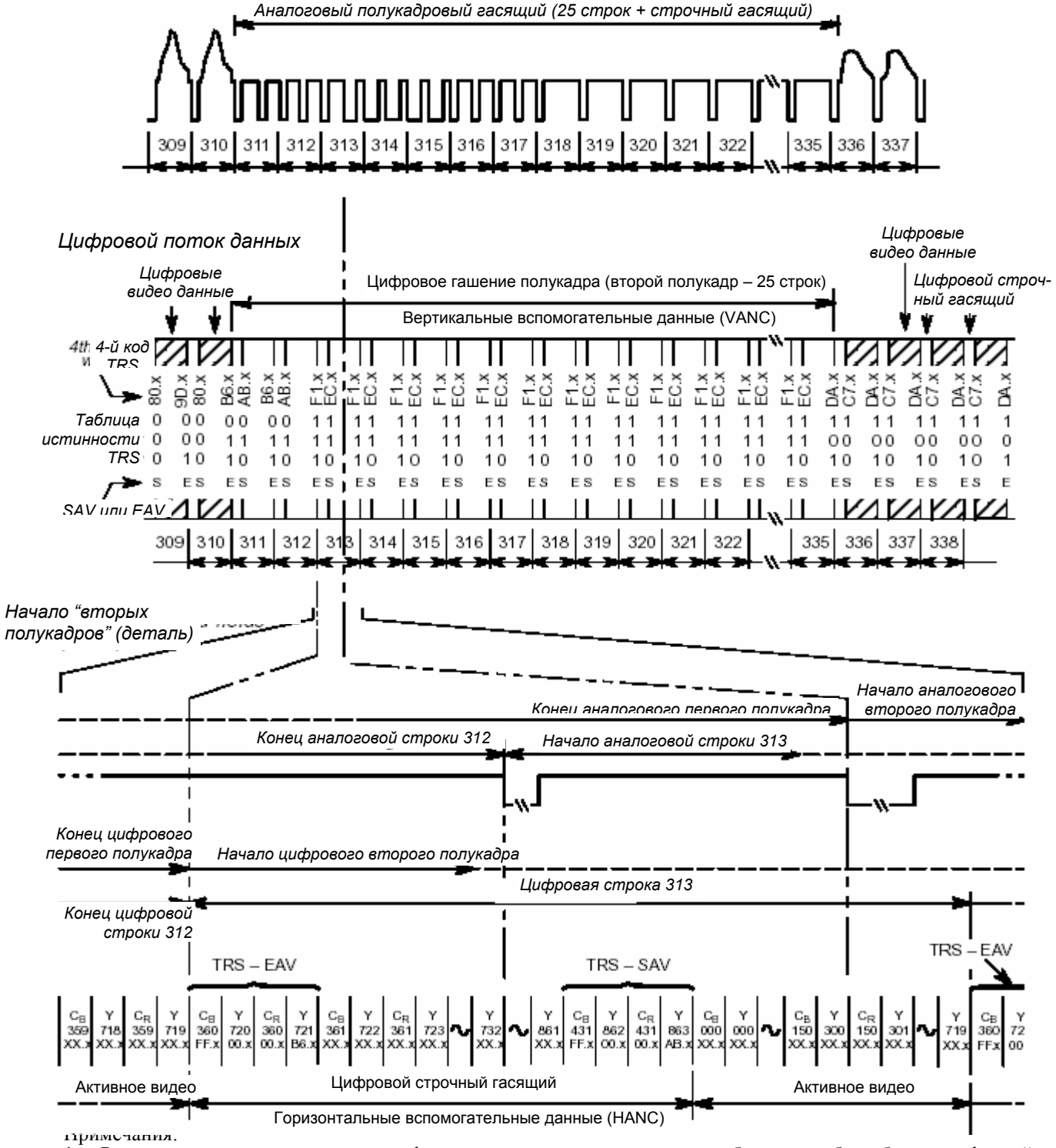


Примечания:

1. Расположение активных строк в цифровых полукадрах сделано таким образом, чтобы избежать цифровой обработки полустрок.
   Число строк активного видео – 288 в обоих полукадрах, а ширина цифрового гашения полукадра – 24 строки перед активной частью первого полукадра и 25 строк перед активной частью второго.
2. Гашение, соответствующее стандарту национального вещания, должно применяться в точке преобразования сигнала в аналоговую форму.

Ref. 3a) – Отношение между цифровым и аналоговым полукадрами, показывающее также положение цифрового гасящего интервала в первом полукадре.

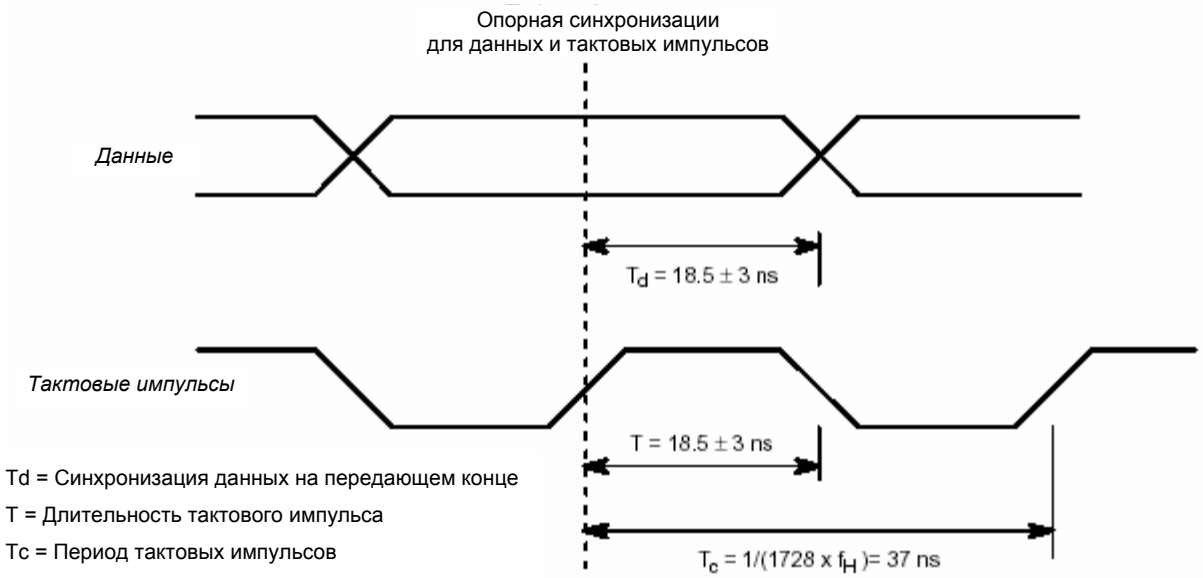
Форма аналогового сигнала синхронизации (второй полукадр)



Примечания:

1. Расположение активных строк в цифровых полукадрах сделано таким образом, чтобы избежать цифровой обработки полустрок.
   Число строк активного видео – 288 в обоих полукадрах, а ширина цифрового интервала полукадра – 24 строки перед активной частью первого полукадра и 25 строк перед активной частью второго.
2. Гашение, соответствующее стандарту национального вещания, должно применяться в точке преобразования сигнала в аналоговую форму.

Ref. 3b) – Отношение между цифровым и аналоговым полукадрами, показывающее также положение цифрового гасящего интервала во втором полукадре.



Td = Синхронизация данных на передающем конце

T = Длительность тактового импульса

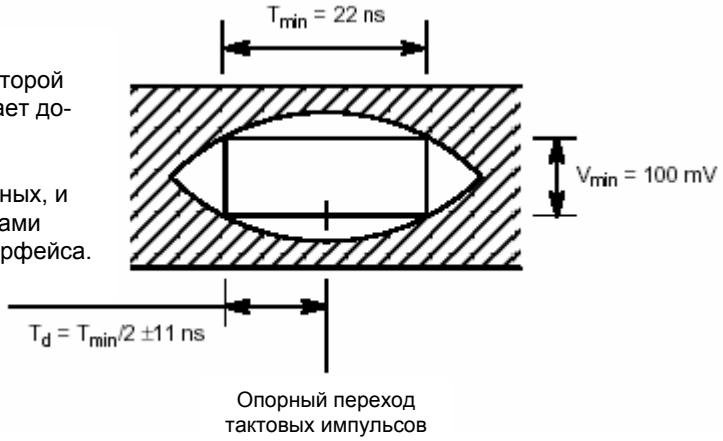
Tc = Период тактовых импульсов

f_H = Частота строки (15.625 кГц)

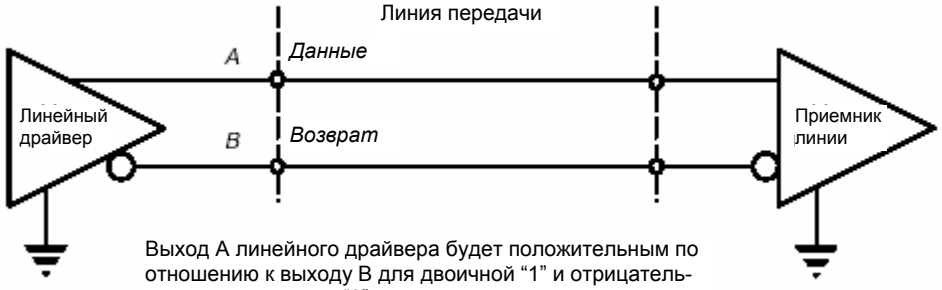
a) Временные соотношения между тактами и данными на передающей стороне

Примечание:
Ширина окна глазковой диаграммы (Td), по которой можно правильно обнаружить данные, включает допуски:

- ± 3 нс для джиттера тактовых импульсов,
- ± 3 нс для отклонений синхронизации данных, и
- ± 5 нс для разностей задержки между парами сигналов в кабеле параллельного интерфейса.



b) Идеализированная глазковая диаграмма, соответствующая минимальному уровню входного сигнала.



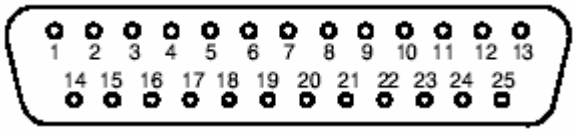
Выход A линейного драйвера будет положительным по отношению к выходу B для двоичной “1” и отрицательным для двоичного “0”.

c) Соглашение, определяющее полярность двоичного сигнала.

Ref. 4 – Электрические характеристики параллельного интерфейса.

a) Распределение контактов в разъеме.

Старая 8-битная система	Номер штекера в разъеме	Новые 8- и 10-битные системы
Тактовые импульсы	1	Тактовые импульсы
Системная земля A	2	Системная земля A
Данные 7 (MSB)	3	Данные 9 (MSB)
Данные 6	4	Данные 8
Данные 5	5	Данные 7
Данные 4	6	Данные 6
Данные 3	7	Данные 5
Данные 2	8	Данные 4
Данные 1	9	Данные 3
Данные 0	10	Данные 2
Данные A	11	Данные 1
Данные B	12	Данные 0
Кабельный экран	13	Кабельный экран
Возврат тактовых импульсов	14	Возврат тактовых импульсов
Системная земля B	15	Системная земля B
Возврат данных 7	16	Возврат данных 9
Возврат данных 6	17	Возврат данных 8
Возврат данных 5	18	Возврат данных 7
Возврат данных 4	19	Возврат данных 6
Возврат данных 3	20	Возврат данных 5
Возврат данных 2	21	Возврат данных 4
Возврат данных 1	22	Возврат данных 3
Возврат данных 0	23	Возврат данных 2
Возврат данных A	24	Возврат данных 1
Возврат данных B	25	Возврат данных 0



b) Лицевая сторона 25-штырькового разъема типа D (вилка).

Ref. 5 – Механические характеристики параллельного интерфейса.

a) Коды опорного сигнала синхронизации.

Номер бита данных	1-е слово (FF)	2-е слово (00)	3-е слово (00)	4-е слово (XY)	Комментарии
9	1	0	0	1	самый старший разряд (MSB)
8	1	0	0	F	F = 0 в полукадре 1 = 1 в полукадре 2
7	1	0	0	V	V = 0 в другом месте = 1 в интервале полукадрового гасящего
6	1	0	0	H	H = 0 в *начале активного видео* (SAV) = 1 в *конце активного видео* (EAV)
5	1	0	0	P_3	Разряды защиты
4	1	0	0	P_2	
3	1	0	0	P_1	
2	1	0	0	P_0	
1	1	0	0	0	*см. прим. 2*
0	1	0	0	0	

Примечания:
1. Показанные значения рекомендуются для 10-битных интерфейсов.
2. Для совместимости с существующими 8-битными интерфейсами значения битов D1 и D0 не определены. Эти биты должны быть установлены на постоянное значение и не “плавать”.

b) Структура четвертого слова TRS (SAV, EAV).

4-е слово (XY)	Первый полукадр				Второй полукадр			
	за пределами полукадрового гасящего (V = 0)		в интервале полукадрового гасящего (V = 1)		За пределами полукадрового гасящего (V = 0)		в интервале полукадрового гасящего (V = 1)	
	SAV	EAV	SAV	EAV	SAV	EAV	SAV	EAV
1 (MSB)	1	1	1	1	1	1	1	1
F	0	0	0	0	1	1	1	1
V	0	0	1	1	0	0	1	1
H	0	1	0	1	0	1	0	1
P_3	0	1	1	0	0	1	1	0
P_2	0	1	0	1	1	0	1	0
P_1	0	0	1	1	1	1	0	0
P_0	0	1	1	0	1	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0 (LSB)	0	0	0	0	0	0	0	0
10-битная 16-ричная нотация	80.0	9D.0	AB.0	B6.0	C7.0	DA.0	EC.0	F1.0

Ref. 6 – Опорный сигнал синхронизации.

Ref. 7 – Уровни квантования в канале яркости (Y).

10-битные системы							Содержание	8-битная система			
Форма 1			Форма 2								
dec	hex	двоичная *21 8421 8421*	двоичная *8421 8421 84*	hex.hex	dec.dec 0.25/ шаг	Напряжение (mV) 0.799 mV/шаг		Напряжение (mV) 3.196 mV/шаг	двоичная *8421 8421*	hex	dec
1023	3FF	11 1111 1111	1111 1111 11	FF.C	255.75	766.324	Запрещено в активном изображении	763.927	1111 1111	FF	255
.	.	.	.	.	.	.					
1020	3FC	11 1111 1100	1111 1111 00	FF.0	255.00	763.927					
1019	3FB	11 1111 1011	1111 1110 11	FE.C	254.75	763.128		760.731	1111 1110	FE	254
.	.	.	.	.	.	.	Резервная зона	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.		.	.	.	.
941	3AD	11 1010 1101	1110 1011 01	EB.4	235.25	700.799		703.196	1110 1100	EC	236
940	3AC	11 1010 1100	1110 1011 00	EB.0	235.00	700.000		700.000	1110 1011	EB	235
.	.	.	.	.	.	.		.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	Диапазон номинального уровня видео	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.		.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.		.	.	.	.
64	40	00 0100 0000	0001 0000 00	10.0	16.00	0.000		0.000	0001 0000	10	16
63	3F	00 0011 1111	0000 1111 11	F.C	15.75	–0.799		–3.196	0000 1111	F	15
.	.	.	.	.	.	.	Резервная зона	.	.	.	.
4	4	00 0000 0100	0000 0001 00	1.0	1.00	–47.945		–47.945	0000 0001	1	1
3	3	00 0000 0011	0000 0000 11	0.C	0.75	–48.744	Запрещено в активном изображении				
.	.	.	.	.	.	.					
0	0	00 0000 0000	0000 0000 00	0.0	0.00	–51.142		–51.124	0000 0000	0	0

Ref. 8 – Уровни квантования в каналах цветности (C_B, C_R).

10-битные системы							Содержание	8-битная система			
Форма 1			Форма 2								
dec	hex	двоичная *21 8421 8421*	двоичная *8421 8421 84*	hex.hex	dec.dec 0.25/ шаг	Напряжение (mV) 0.781 mV/шаг		Напряжение (mV) 3.125 mV/шаг	двоичная *8421 8421*	hex	dec
1023	3FF	11 1111 1111	1111 1111 11	FF.C	255.75	399.219	Запрещено в активном изображении	396.875	1111 1111	FF	255
.	.	.	.	.	.	.					
1020	3FC	11 1111 1100	1111 1111 00	FF.0	255.00	396.875					
1019	3FB	11 1111 1011	1111 1110 11	FE.C	254.75	396.094		393.750	1111 1110	FE	254
.	.	.	.	.	.	.	Резервная зона	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.		.	.	.	.
961	3C1	11 1000 0001	1111 0000 01	F0.4	240.25	350.781		353.125	1110 1100	EC	236
960	3C0	11 1000 0000	1111 0000 00	F0.0	240.00	350.000	Макс. полож.	350.000	1110 1011	EB	235
.	.	.	.	.	.	..		.	.	.	.
512	200	10 0000 0000	1000 0000 00	80.0	128.00	0.000	Нулевая цветность	0.000	1000 0000	80	128
.	.	.	.	.	.	.		.	.	.	.
64	40	00 0100 0000	0001 0000 00	10.0	16.00	–350.000	Макс. отрицат.	–350.000	0001 0000	10	16
63	3F	00 0011 1111	0000 1111 11	F.C	15.75	–350.781		–353.125	0000 1111	F	15
.	.	.	.	.	.	.	Резервная зона	.	.	.	.
4	4	00 0000 0100	0000 0001 00	1.0	1.00	–396.875		–396.875	0000 0001	1	1
3	3	00 0000 0011	0000 0000 11	0.C	0.75	–397.656	Запрещено в активном изображении				
.	.	.	.	.	.	.					
0	0	00 0000 0000	0000 0000 00	0.0	0.00	–400.000		–400.000	0000 0000	0	0

Пакет вспомогательных данных – Тип 1

Заголовок вспомогательных данных (ADH)	ID данных *Тип 1* (DID)	Номер блока данных (DBN)	Отсчет данных (DC)	Пользовательские коды данных (UDW) *(см. прим. 1)*	Контрольная сумма

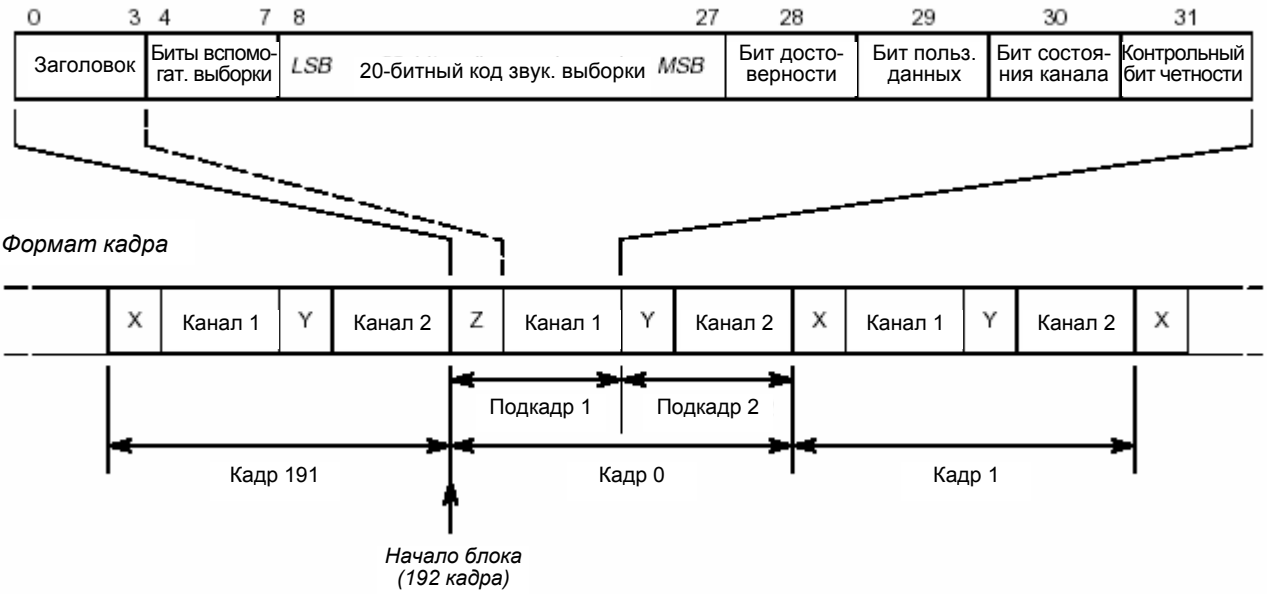
Пакет вспомогательных данных – Тип 2

Заголовок вспомогательных данных (ADH)	ID данных *Тип 2* (DID)	ID вторичных данных (DBN)	Отсчет данных (DC)	Пользовательские коды данных (UDW) *(см. прим. 1)*	Контрольная сумма

Примечания:
1. Максимальная длина пакета вспомогательных данных – 255 байт; максимальное число пользовательских слов данных – 248.
2. Вспомогательные данные определяются как 10-битные коды для поддержания совместимости с форматом сигнала и интерфейсом SDI.

Ref. 9 – Структура пакета вспомогательных данных SDI.

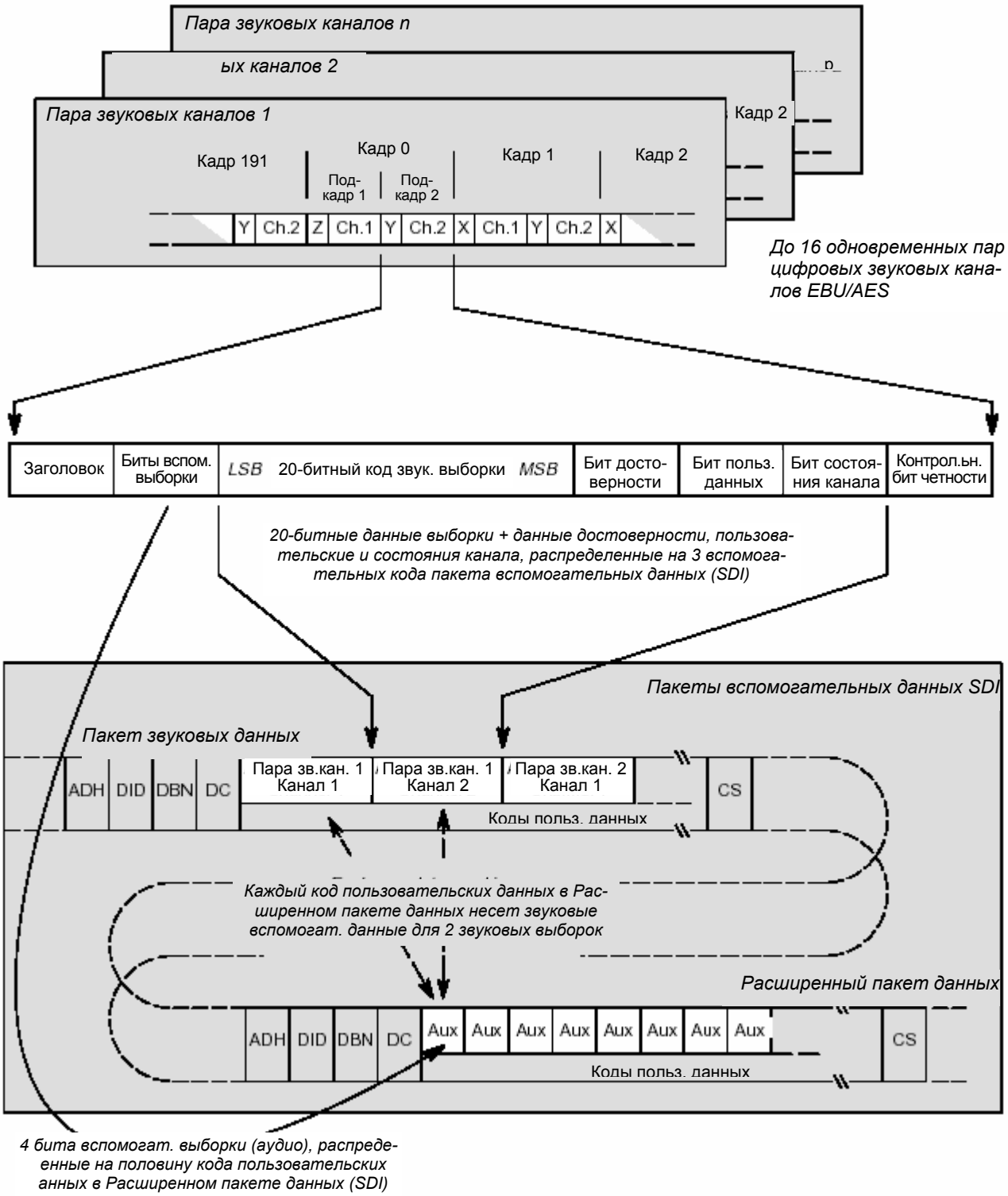
Формат подкадра для кодов звуковых выборок



Формат кадра

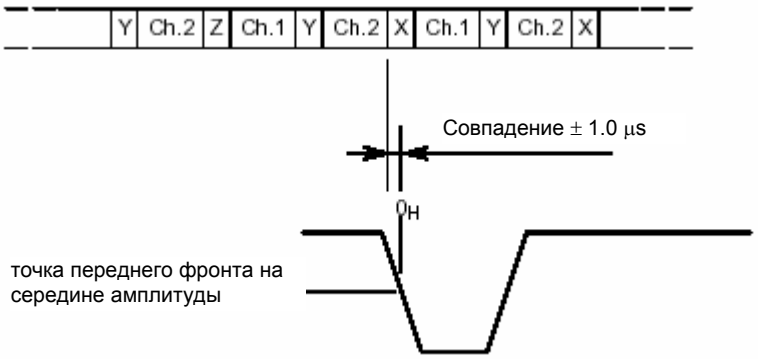
Примечание: Заголовок содержит данные синхронизации и может принимать одну из трех форм:
"X" Подкадр 1
"Y" Подкадр 2
"Z" Подкадр 1 + начало блока

Ref. 10 – Структура цифрового аудио сигнала AES/EBU.



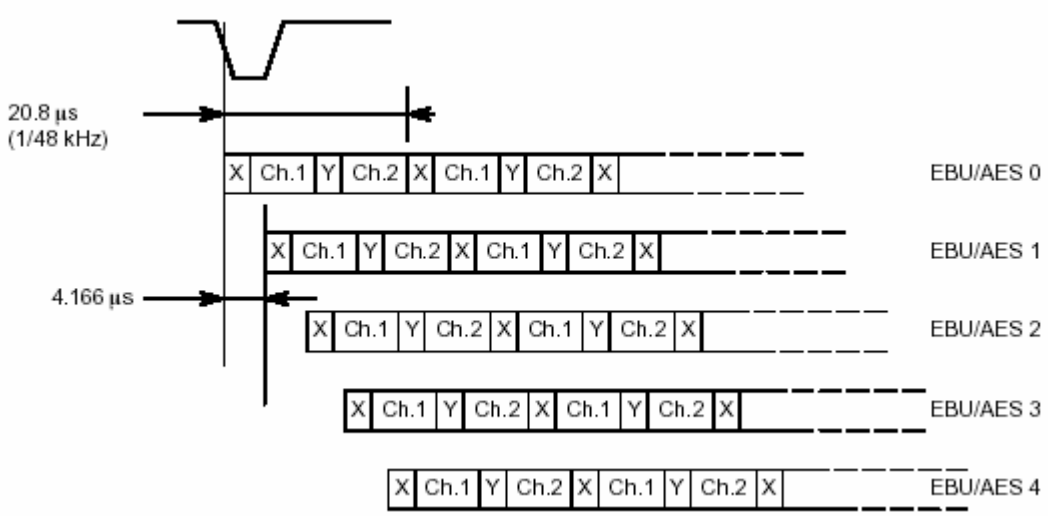
Примечание: Пакет звуковых данных предшествует Расширенному пакету данных в потоке SDI

Ref. 11 – Вставка звуковых кадров в пакеты вспомогательных данных SDI

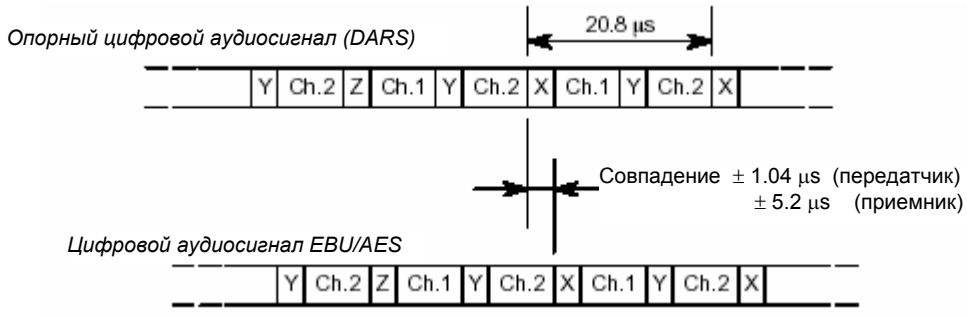


Примечание: 0_H – опорная синхронизации видео (см. Ref. 1).

a) Временные соотношения между цифровым звуком и аналоговым видео.



b) Фаза цифровой звуковой выборки в случае пяти пар аудио каналов EBU/AES.

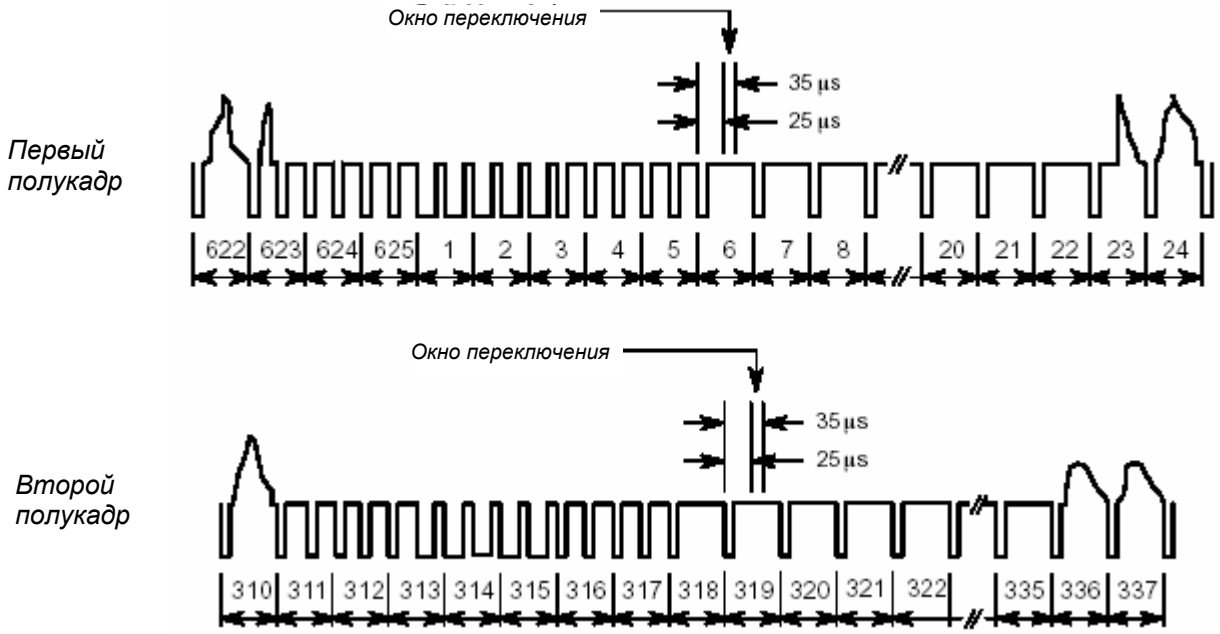


c) Синхронизация цифровых аудио каналов EBU/AES относительно опорного цифрового аудиосигнала (DARS).

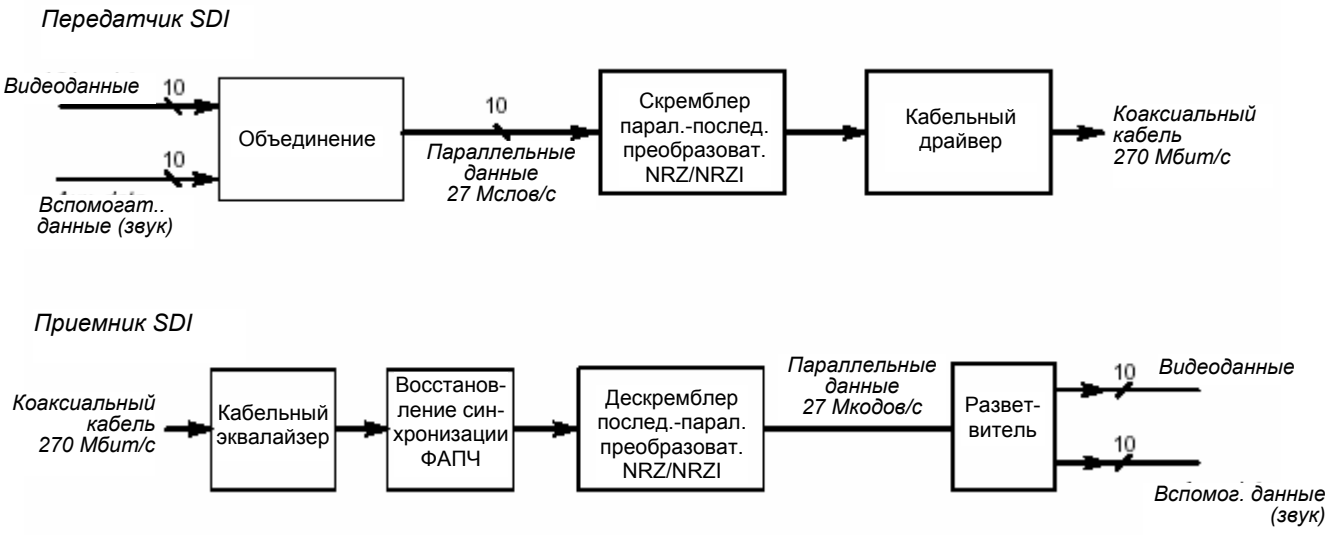
Ref. 12 – Синхронизация цифровых аудио каналов EBU/AES.

Ref. 13 – Формат цифрового тайм-кода

№ слова в сообщении из 32 слов	Информация цифрового тайм-кода
0	00.X
1	FF.X
2	FF.X
3	49.X
4	15.X
5	TT3
6	LL1
7	LL2
8	Ед. кадров
9	Первая бинарная группа
10	Десятки кадров + Незаданный бит + Бит флажка цветовой блокировки
11	Вторая бинарная группа
12	Ед. секунд
13	Третья бинарная группа
14	Десятки секунд
15	Четвертая бинарная группа
16	Ед. минут
17	Пятая бинарная группа
18	Десятки минут + Бит флажка бинарной группы
19	Шестая бинарная группа
20	Ед. часов
21	Седьмая бинарная группа
22	Десятки часов + Незаданный бит + Бит метки полукадра
23	Восьмая бинарная группа
24	Ед. месяцев (необяз.)
25	Десятки месяцев + 3 незаданных бита (необяз.)
26	Ед. дней (необяз.)
27	Десятки дней + 2 незаданных бита (необяз.)
28	Ед. лет (необяз.)
29	Проверка первой подгруппы данных
30	Десятки лет (необяз.)
31	Проверка второй подгруппы данных

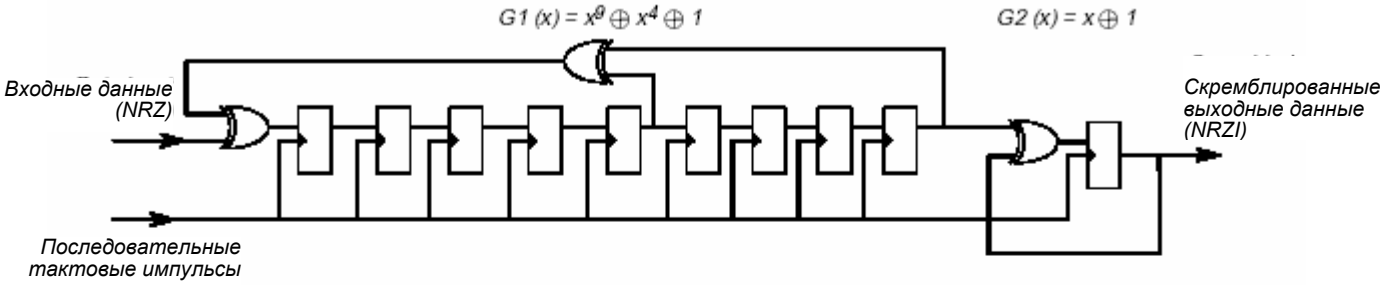


Ref. 14 – Окно переключения в интервале вертикального гашения.

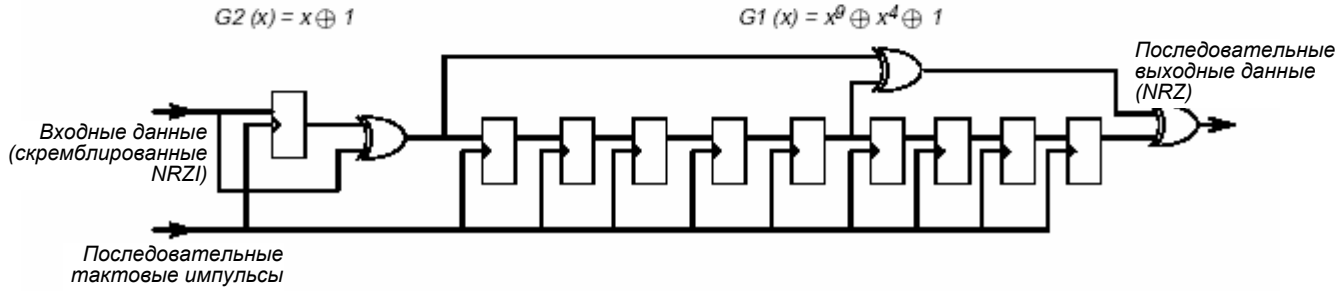


Ref. 15 – Типичная блок-схема SDI

Скремблер (NRZ – NRZI)



Дескремблер (NRZI – NRZ)



Ref. 16 – Скремблирование и кодирование в передатчике SDI; декодирование и дескремблирование в приемнике SDI

Модель			
Классификация приемника	B2	Классификация передатчика	Стандарт

Ключ: RX: X: не распознан 0: распознан S: распознан и запомнен
TX: X: не передан 0: передан

Данные состояния канала (C)					
Байт	Бит	Функция	RX	TX	Комментарии
0	0	[0] Бытовое применение	X	X	
		[1] Профессиональн. применение	0	0	
0	1	[0] Аудио	0	0	
		[1] Не аудио	0	X	Аналоговое приглушение O/P (RX)
0	2-4	[000] Не указан	0	X	RX по умолчанию без подчеркивания
	Акцент	[100] Без подчеркивания	0	0	
		[110] 50/15 μs	0	0	
		[111] CCITT J17	X	X	RX по умолчанию без подчеркивания
0	5	[0] Блокирован	X	0	
	Заблокир. частоты	[1] Разблокирован	X	X	
0	6-7	[00] Не указана	0	X	По умолчанию 48 кГц
	Частота выборки	[01] 48 кГц	0	0	
		[10] 44.1 кГц	0	0	
		[11] 32 кГц	X	X	
1	0-3	[0000] Не указан	0	X	RX по умолчанию на 2-канальный режим
	Режим канала	[0001] 2-канальный	0	0	Нормальное условие
		[0010] Моно	0	X	Ch A на обоих O/P
		[0011] Перв/сек	0	X	RX по умолчанию на 2-канальный режим
		[0100] Стерео	0	X	Как в 2-канальном
		[0101-1111] Не определен	X	X	Безразлично
1	4-7	[0000] Не указан	0	0	
	Режим пользова-	[0001] 192-битный блок	X	X	
	тельских битов	[0010] AES 18 (HDLC)	X	X	
		[0011] Определен пользователем	X	X	
		[0100-1111] Не определен	X	X	Безразлично
2	0-2	[000] Не указано	0	0	
	Использование	[001] Звуковые данные	0	X	RX перенастроен на 16 бит
	вспомогат. битов	[010] Координация	X	X	
		[011-111] Не определено	X	X	
2	3-5	[000] Не указана	0	X	По умолчанию и перенастроен на 16 бит
	Длина выборки	[100]	0	0	16 бит
		Все остальные состояния	0	X	Перенастроен на 16 бит
3	0-7	Многоканальные режимы	X	X	
4	0-1	ID источника AES 11	X	X	
5	0-7	Не используется	X	X	
6-9		ID источника ASCII	X	X	
10-13		ID адресата ASCII	X	X	
14-17		Суммирующий код локальных выборок	X	X	
18-21		Суммирующий код времени суток	X	X	
22	0-7	Флажки достоверности	X	X	
23	0-7	CRCC	0	0	
Бит достоверности (V)			S	0	
Пользовательский бит (U)			X	X	
Частота звуковой дискретизации (кГц)			44.1 / 48 (RX)		44.1 / 48 (TX)
Длина кодового слова звуковой выборки (бит)			16-24, перенастроен на 16 (RX), 16 (TX)		

Ref. 17 – Таблица реализации звука AES/EBU

Ref. 18 – 8-битные уровни яркости

шаг	hex	mV	шаг	hex	mV	шаг	hex	mV	шаг	hex	mV	шаг	hex	mV
1	01	-47.94	55	37	124.6	109	6D	297.2	163	A3	469.8	217	D9	642.4
2	02	-44.74	56	38	127.8	110	6E	300.4	164	A4	473.0	218	DA	645.6
3	03	-41.55	57	39	131.0	111	6F	303.6	165	A5	476.2	219	DB	648.8
4	04	-38.35	58	3A	134.2	112	70	306.8	166	A6	479.4	220	DC	652.0
5	05	-35.15	59	3B	137.4	113	71	310.0	167	A7	482.6	221	DD	655.2
6	06	-31.96	60	3C	140.6	114	72	313.2	168	A8	485.8	222	DE	658.4
7	07	-28.76	61	3D	143.8	115	73	316.4	169	A9	489.0	223	DF	661.6
8	08	-25.57	62	3E	147.0	116	74	319.6	170	AA	492.2	224	E0	664.8
9	09	-22.37	63	3F	150.2	117	75	322.8	171	AB	495.4	225	E1	668.0
10	0A	-19.17	64	40	153.4	118	76	326.0	172	AC	498.6	226	E2	671.2
11	0B	-15.98	65	41	156.6	119	77	329.2	173	AD	501.8	227	E3	674.4
12	0C	-12.78	66	42	159.8	120	78	332.4	174	AE	505.0	228	E4	677.6
13	0D	-9.589	67	43	163.0	121	79	335.6	175	AF	508.2	229	E5	680.8
14	0E	-6.392	68	44	166.2	122	7A	338.8	176	B0	511.4	230	E6	684.0
15	0F	-3.196	69	45	169.4	123	7B	342.0	177	B1	514.6	231	E7	687.2
16	10	0	70	46	172.6	124	7C	345.2	178	B2	517.8	232	E8	690.4
17	11	3.196	71	47	175.7	125	7D	348.4	179	B3	521.0	233	E9	693.6
18	12	6.392	72	48	178.9	126	7E	351.5	180	B4	524.2	234	EA	696.8
19	13	9.589	73	49	182.1	127	7F	354.7	181	B5	527.3	235	EB	700.0
20	14	12.78	74	4A	185.3	128	80	357.9	182	B6	530.5	236	EC	703.1
21	15	15.98	75	4B	188.5	129	81	361.1	183	B7	533.7	237	ED	706.3
22	16	19.17	76	4C	191.7	130	82	364.3	184	B8	536.9	238	EE	709.5
23	17	22.37	77	4D	194.9	131	83	367.5	185	B9	540.1	239	EF	712.7
24	18	25.57	78	4E	198.1	132	84	370.7	186	BA	543.3	240	F0	715.9
25	19	28.76	79	4F	201.3	133	85	373.9	187	BB	546.5	241	F1	719.1
26	1A	31.96	80	50	204.5	134	86	377.1	188	BC	549.7	242	F2	722.3
27	1B	35.15	81	51	207.7	135	87	380.3	189	BD	552.9	243	F3	725.5
28	1C	38.35	82	52	210.9	136	88	383.5	190	BE	556.1	244	F4	728.7
29	1D	41.55	83	53	214.1	137	89	386.7	191	BF	559.3	245	F5	731.9
30	1E	44.74	84	54	217.3	138	8A	389.9	192	C0	562.5	246	F6	735.1
31	1F	47.94	85	55	220.5	139	8B	393.1	193	C1	565.7	247	F7	738.3
32	20	51.14	86	56	223.7	140	8C	396.3	194	C2	568.9	248	F8	741.5
33	21	54.33	87	57	226.9	141	8D	399.5	195	C3	572.1	249	F9	744.7
34	22	57.53	88	58	230.1	142	8E	402.7	196	C4	575.3	250	FA	747.9
35	23	60.73	89	59	233.3	143	8F	405.9	197	C5	578.5	251	FB	751.1
36	24	63.92	90	5A	236.5	144	90	409.1	198	C6	581.7	252	FC	754.3
37	25	67.12	91	5B	239.7	145	91	412.3	199	C7	584.9	253	FD	757.5
38	26	70.31	92	5C	242.9	146	92	415.5	200	C8	588.1	254	FE	760.7
39	27	73.51	93	5D	246.1	147	93	418.7	201	C9	591.3			
40	28	76.71	94	5E	249.3	148	94	421.9	202	CA	594.5			
41	29	79.90	95	5F	252.5	149	95	425.1	203	CB	597.7			
42	2A	83.10	96	60	255.7	150	96	428.3	204	CC	600.9			
43	2B	86.30	97	61	258.9	151	97	431.5	205	CD	604.1			
44	2C	89.49	98	62	262.1	152	98	434.7	206	CE	607.3			
45	2D	92.69	99	63	265.2	153	99	437.8	207	CF	610.5			
46	2E	95.89	100	64	268.4	154	9A	441.0	208	D0	613.6			
47	2F	99.08	101	65	271.6	155	9B	444.2	209	D1	616.8			
48	30	102.2	102	66	274.8	156	9C	447.4	210	D2	620.0			
49	31	105.4	103	67	278.0	157	9D	450.6	211	D3	623.2			
50	32	108.6	104	68	281.2	158	9E	453.8	212	D4	626.4			
51	33	111.8	105	69	284.4	159	9F	457.0	213	D5	629.6			
52	34	115.0	106	6A	287.6	160	A0	460.2	214	D6	632.8			
53	35	118.2	107	6B	290.8	161	A1	463.4	215	D7	636.0			
54	36	121.4	108	6C	294.0	162	A2	466.6	216	D8	639.2			

Ref. 19 – 8-битные уровни цветности

шаг	hex	mV	шаг	hex	mV	шаг	hex	mV	шаг	hex	mV	шаг	hex	mV
1	01	-396.8	55	37	-228.1	109	6D	-59.37	163	A3	109.3	217	D9	278.1
2	02	-393.7	56	38	-225.0	110	6E	-56.25	164	A4	112.5	218	DA	281.2
3	03	-390.6	57	39	-221.8	111	6F	-53.12	165	A5	115.6	219	DB	284.3
4	04	-387.5	58	3A	-218.7	112	70	-50.00	166	A6	118.7	220	DC	287.5
5	05	-384.3	59	3B	-215.6	113	71	-46.87	167	A7	121.8	221	DD	290.6
6	06	-381.2	60	3C	-212.5	114	72	-43.75	168	A8	125.0	222	DE	293.7
7	07	-378.1	61	3D	-209.3	115	73	-40.62	169	A9	128.1	223	DF	296.8
8	08	-375.0	62	3E	-206.2	116	74	-37.50	170	AA	131.2	224	E0	300.0
9	09	-371.8	63	3F	-203.1	117	75	-34.37	171	AB	134.3	225	E1	303.1
10	0A	-368.7	64	40	-200.0	118	76	-31.25	172	AC	137.5	226	E2	306.2
11	0B	-365.6	65	41	-196.8	119	77	-28.12	173	AD	140.6	227	E3	309.3
12	0C	-362.5	66	42	-193.7	120	78	-25.00	174	AE	143.7	228	E4	312.5
13	0D	-359.3	67	43	-190.6	121	79	-21.87	175	AF	146.8	229	E5	315.6
14	0E	-356.2	68	44	-187.5	122	7A	-18.75	176	B0	150.0	230	E6	318.7
15	0F	-353.1	69	45	-184.3	123	7B	-15.62	177	B1	153.1	231	E7	321.8
16	10	-350.0	70	46	-181.2	124	7C	-12.50	178	B2	156.2	232	E8	325.0
17	11	-346.8	71	47	-178.1	125	7D	-9.375	179	B3	159.3	233	E9	328.1
18	12	-343.7	72	48	-175.0	126	7E	-6.250	180	B4	162.5	234	EA	331.2
19	13	-340.6	73	49	-171.8	127	7F	-3.125	181	B5	165.6	235	EB	334.3
20	14	-337.5	74	4A	-168.7	128	80	0.000	182	B6	168.7	236	EC	337.5
21	15	-334.3	75	4B	-165.6	129	81	3.125	183	B7	171.8	237	ED	340.6
22	16	-331.2	76	4C	-162.5	130	82	6.250	184	B8	175.0	238	EE	343.7
23	17	-328.1	77	4D	-159.3	131	83	9.375	185	B9	178.1	239	EF	346.8
24	18	-325.0	78	4E	-156.2	132	84	12.50	186	BA	181.2	240	F0	350.0
25	19	-321.8	79	4F	-153.1	133	85	15.62	187	BB	184.3	241	F1	353.1
26	1A	-318.7	80	50	-150.0	134	86	18.75	188	BC	187.5	242	F2	356.2
27	1B	-315.6	81	51	-146.8	135	87	21.87	189	BD	190.6	243	F3	359.3
28	1C	-312.5	82	52	-143.7	136	88	25.00	190	BE	193.7	244	F4	362.5
29	1D	-309.3	83	53	-140.6	137	89	28.12	191	BF	196.8	245	F5	365.6
30	1E	-306.2	84	54	-137.5	138	8A	31.25	192	C0	200.0	246	F6	368.7
31	1F	-303.1	85	55	-134.3	139	8B	34.37	193	C1	203.1	247	F7	371.8
32	20	-300.0	86	56	-131.2	140	8C	37.50	194	C2	206.2	248	F8	375.0
33	21	-296.8	87	57	-128.1	141	8D	40.62	195	C3	209.3	249	F9	378.1
34	22	-293.7	88	58	-125.0	142	8E	43.75	196	C4	212.5	250	FA	381.2
35	23	-290.6	89	59	-121.8	143	8F	46.87	197	C5	215.6	251	FB	384.3
36	24	-287.5	90	5A	-118.7	144	90	50.00	198	C6	218.7	252	FC	387.5
37	25	-284.3	91	5B	-115.6	145	91	53.12	199	C7	221.8	253	FD	390.6
38	26	-281.2	92	5C	-112.5	146	92	56.25	200	C8	225.0	254	FE	393.7
39	27	-278.1	93	5D	-109.3	147	93	59.37	201	C9	228.1			
40	28	-275.0	94	5E	-106.2	148	94	62.50	202	CA	231.2			
41	29	-271.8	95	5F	-103.1	149	95	65.62	203	CB	234.3			
42	2A	-268.7	96	60	-100.0	150	96	68.75	204	CC	237.5			
43	2B	-265.6	97	61	-96.87	151	97	71.87	205	CD	240.6			
44	2C	-262.5	98	62	-93.75	152	98	75.00	206	CE	243.7			
45	2D	-259.3	99	63	-90.62	153	99	78.12	207	CF	246.8			
46	2E	-256.2	100	64	-87.50	154	9A	81.25	208	D0	250.0			
47	2F	-253.1	101	65	-84.37	155	9B	84.37	209	D1	253.1			
48	30	-250.0	102	66	-81.25	156	9C	87.50	210	D2	256.2			
49	31	-246.8	103	67	-78.12	157	9D	90.62	211	D3	259.3			
50	32	-243.7	104	68	-75.00	158	9E	93.75	212	D4	262.5			
51	33	-240.6	105	69	-71.87	159	9F	96.87	213	D5	265.6			
52	34	-237.5	106	6A	-68.75	160	A0	100.0	214	D6	268.7			
53	35	-234.3	107	6B	-65.62	161	A1	103.1	215	D7	271.8			
54	36	-231.2	108	6C	-62.50	162	A2	106.2	216	D8	275.0			

Ref. 20 – 10-битные уровни яркости

шаг	hex	mV	шаг	hex	mV	шаг	hex	mV	шаг	hex	mV	шаг	hex	mV
1.00	01.0	-47.945	14.50	0E.8	-4.7945	28.00	1C.0	38.356	41.50	29.8	81.506	55.00	37.0	124.65
1.25	01.4	-47.146	14.75	0E.C	-3.9954	28.25	1C.4	39.155	41.75	29.C	82.305	55.25	37.4	125.45
1.50	01.8	-46.347	15.00	0F.0	-3.1963	28.50	1C.8	39.954	42.00	2A.0	83.105	55.50	37.8	126.25
1.75	01.C	-45.547	15.25	0F.4	-2.3972	28.75	1C.C	40.753	42.25	2A.4	83.904	55.75	37.C	127.05
2.00	02.0	-44.748	15.50	0F.8	-1.5981	29.00	1D.0	41.552	42.50	2A.8	84.703	56.00	38.0	127.85
2.25	02.4	-43.949	15.75	0F.C	-0.7991	29.25	1D.4	42.351	42.75	2A.C	85.502	56.25	38.4	128.65
2.50	02.8	-43.150	16.00	10.0	0	29.50	1D.8	43.150	43.00	2B.0	86.301	56.50	38.8	129.45
2.75	02.C	-42.351	16.25	10.4	0.7991	29.75	1D.C	43.949	43.25	2B.4	87.100	56.75	38.C	130.25
3.00	03.0	-41.552	16.50	10.8	1.5981	30.00	1E.0	44.748	43.50	2B.8	87.899	57.00	39.0	131.05
3.25	03.4	-40.753	16.75	10.C	2.3972	30.25	1E.4	45.547	43.75	2B.C	88.698	57.25	39.4	131.84
3.50	03.8	-39.954	17.00	11.0	3.1963	30.50	1E.8	46.347	44.00	2C.0	89.497	57.50	39.8	132.64
3.75	03.C	-39.155	17.25	11.4	3.9954	30.75	1E.C	47.146	44.25	2C.4	90.296	57.75	39.C	133.44
4.00	04.0	-38.356	17.50	11.8	4.7945	31.00	1F.0	47.945	44.50	2C.8	91.095	58.00	3A.0	134.24
4.25	04.4	-37.557	17.75	11.C	5.5936	31.25	1F.4	48.744	44.75	2C.C	91.895	58.25	3A.4	135.04
4.50	04.8	-36.758	18.00	12.0	6.3926	31.50	1F.8	49.543	45.00	2D.0	92.694	58.50	3A.8	135.84
4.75	04.C	-35.958	18.25	12.4	7.1917	31.75	1F.C	50.342	45.25	2D.4	93.493	58.75	3A.C	136.64
5.00	05.0	-35.159	18.50	12.8	7.9908	32.00	20.0	51.141	45.50	2D.8	94.292	59.00	3B.0	137.44
5.25	05.4	-34.360	18.75	12.C	8.7899	32.25	20.4	51.940	45.75	2D.C	95.091	59.25	3B.4	138.24
5.50	05.8	-33.561	19.00	13.0	9.5890	32.50	20.8	52.739	46.00	2E.0	95.890	59.50	3B.8	139.04
5.75	05.C	-32.762	19.25	13.4	10.388	32.75	20.C	53.538	46.25	2E.4	96.689	59.75	3B.C	139.84
6.00	06.0	-31.963	19.50	13.8	11.187	33.00	21.0	54.337	46.50	2E.8	97.488	60.00	3C.0	140.63
6.25	06.4	-31.164	19.75	13.C	11.986	33.25	21.4	55.137	46.75	2E.C	98.287	60.25	3C.4	141.43
6.50	06.8	-30.365	20.00	14.0	12.785	33.50	21.8	55.936	47.00	2F.0	99.086	60.50	3C.8	142.23
6.75	06.C	-29.566	20.25	14.4	13.584	33.75	21.C	56.735	47.25	2F.4	99.885	60.75	3C.C	143.03
7.00	07.0	-28.767	20.50	14.8	14.383	34.00	22.0	57.534	47.50	2F.8	100.68	61.00	3D.0	143.83
7.25	07.4	-27.968	20.75	14.C	15.182	34.25	22.4	58.333	47.75	2F.C	101.48	61.25	3D.4	144.63
7.50	07.8	-27.168	21.00	15.0	15.981	34.50	22.8	59.132	48.00	30.0	102.28	61.50	3D.8	145.43
7.75	07.C	-26.369	21.25	15.4	16.780	34.75	22.C	59.931	48.25	30.4	103.08	61.75	3D.C	146.23
8.00	08.0	-25.570	21.50	15.8	17.579	35.00	23.0	60.730	48.50	30.8	103.88	62.00	3E.0	147.03
8.25	08.4	-24.771	21.75	15.C	18.379	35.25	23.4	61.529	48.75	30.C	104.68	62.25	3E.4	147.83
8.50	08.8	-23.972	22.00	16.0	19.178	35.50	23.8	62.328	49.00	31.0	105.47	62.50	3E.8	148.63
8.75	08.C	-23.173	22.25	16.4	19.977	35.75	23.C	63.127	49.25	31.4	106.27	62.75	3E.C	149.42
9.00	09.0	-22.374	22.50	16.8	20.776	36.00	24.0	63.926	49.50	31.8	107.07	63.00	3F.0	150.22
9.25	09.4	-21.575	22.75	16.C	21.575	36.25	24.4	64.726	49.75	31.C	107.87	63.25	3F.4	151.02
9.50	09.8	-20.776	23.00	17.0	22.374	36.50	24.8	65.525	50.00	32.0	108.67	63.50	3F.8	151.82
9.75	09.C	-19.977	23.25	17.4	23.173	36.75	24.C	66.324	50.25	32.4	109.47	63.75	3F.C	152.62
10.00	0A.0	-19.178	23.50	17.8	23.972	37.00	25.0	67.123	50.50	32.8	110.27	64.00	40.0	153.42
10.25	0A.4	-18.379	23.75	17.C	24.771	37.25	25.4	67.922	50.75	32.C	111.07	64.25	40.4	154.22
10.50	0A.8	-17.579	24.00	18.0	25.570	37.50	25.8	68.721	51.00	33.0	111.87	64.50	40.8	155.02
10.75	0A.C	-16.780	24.25	18.4	26.369	37.75	25.C	69.520	51.25	33.4	112.67	64.75	40.C	155.82
11.00	0B.0	-15.981	24.50	18.8	27.168	38.00	26.0	70.319	51.50	33.8	113.47	65.00	41.0	156.62
11.25	0B.4	-15.182	24.75	18.C	27.968	38.25	26.4	71.118	51.75	33.C	114.26	65.25	41.4	157.42
11.50	0B.8	-14.383	25.00	19.0	28.767	38.50	26.8	71.917	52.00	34.0	115.06	65.50	41.8	158.21
11.75	0B.C	-13.584	25.25	19.4	29.566	38.75	26.C	72.716	52.25	34.4	115.86	65.75	41.C	159.01
12.00	0C.0	-12.785	25.50	19.8	30.365	39.00	27.0	73.516	52.50	34.8	116.66	66.00	42.0	159.81
12.25	0C.4	-11.986	25.75	19.C	31.164	39.25	27.4	74.315	52.75	34.C	117.46	66.25	42.4	160.61
12.50	0C.8	-11.187	26.00	1A.0	31.963	39.50	27.8	75.114	53.00	35.0	118.26	66.50	42.8	161.41
12.75	0C.C	-10.388	26.25	1A.4	32.762	39.75	27.C	75.913	53.25	35.4	119.06	66.75	42.C	162.21
13.00	0D.0	-9.5890	26.50	1A.8	33.561	40.00	28.0	76.712	53.50	35.8	119.86	67.00	43.0	163.01
13.25	0D.4	-8.7899	26.75	1A.C	34.360	40.25	28.4	77.511	53.75	35.C	120.66	67.25	43.4	163.81
13.50	0D.8	-7.9908	27.00	1B.0	35.159	40.50	28.8	78.310	54.00	36.0	121.46	67.50	43.8	164.61
13.75	0D.C	-7.1917	27.25	1B.4	35.958	40.75	28.C	79.109	54.25	36.4	122.26	67.75	43.C	165.41
14.00	0E.0	-6.3926	27.50	1B.8	36.758	41.00	29.0	79.908	54.50	36.8	123.05	68.00	44.0	166.21
14.25	0E.4	-5.5936	27.75	1B.C	37.557	41.25	29.4	80.707	54.75	36.C	123.85	68.25	44.4	167.00

шаг	hex	mV	шаг	hex	mV	шаг	hex	mV	шаг	hex	mV	шаг	hex	mV
68.50	44.8	167.80	82.75	52.C	213.35	97.00	61.0	258.90	111.25	6F.4	304.45	125.50	7D.8	350.00
68.75	44.C	168.60	83.00	53.0	214.15	97.25	61.4	259.70	111.50	6F.8	305.25	125.75	7D.C	350.79
69.00	45.0	169.40	83.25	53.4	214.95	97.50	61.8	260.50	111.75	6F.C	306.05	126.00	7E.0	351.59
69.25	45.4	170.20	83.50	53.8	215.75	97.75	61.C	261.30	112.00	70.0	306.84	126.25	7E.4	352.39
69.50	45.8	171.00	83.75	53.C	216.55	98.00	62.0	262.10	112.25	70.4	307.64	126.50	7E.8	353.19
69.75	45.C	171.80	84.00	54.0	217.35	98.25	62.4	262.89	112.50	70.8	308.44	126.75	7E.C	353.99
70.00	46.0	172.60	84.25	54.4	218.15	98.50	62.8	263.69	112.75	70.C	309.24	127.00	7F.0	354.79
70.25	46.4	173.40	84.50	54.8	218.94	98.75	62.C	264.49	113.00	71.0	310.04	127.25	7F.4	355.59
70.50	46.8	174.20	84.75	54.C	219.74	99.00	63.0	265.29	113.25	71.4	310.84	127.50	7F.8	356.39
70.75	46.C	175.00	85.00	55.0	220.54	99.25	63.4	266.09	113.50	71.8	311.64	127.75	7F.C	357.19
71.00	47.0	175.79	85.25	55.4	221.34	99.50	63.8	266.89	113.75	71.C	312.44	128.00	80.0	357.99
71.25	47.4	176.59	85.50	55.8	222.14	99.75	63.C	267.69	114.00	72.0	313.24	128.25	80.4	358.79
71.50	47.8	177.39	85.75	55.C	222.94	100.00	64.0	268.49	114.25	72.4	314.04	128.50	80.8	359.58
71.75	47.C	178.19	86.00	56.0	223.74	100.25	64.4	269.29	114.50	72.8	314.84	128.75	80.C	360.38
72.00	48.0	178.99	86.25	56.4	224.54	100.50	64.8	270.09	114.75	72.C	315.63	129.00	81.0	361.18
72.25	48.4	179.79	86.50	56.8	225.34	100.75	64.C	270.89	115.00	73.0	316.43	129.25	81.4	361.98
72.50	48.8	180.59	86.75	56.C	226.14	101.00	65.0	271.68	115.25	73.4	317.23	129.50	81.8	362.78
72.75	48.C	181.39	87.00	57.0	226.94	101.25	65.4	272.48	115.50	73.8	318.03	129.75	81.C	363.58
73.00	49.0	182.19	87.25	57.4	227.73	101.50	65.8	273.28	115.75	73.C	318.83	130.00	82.0	364.38
73.25	49.4	182.99	87.50	57.8	228.53	101.75	65.C	274.08	116.00	74.0	319.63	130.25	82.4	365.18
73.50	49.8	183.79	87.75	57.C	229.33	102.00	66.0	274.88	116.25	74.4	320.43	130.50	82.8	365.98
73.75	49.C	184.58	88.00	58.0	230.13	102.25	66.4	275.68	116.50	74.8	321.23	130.75	82.C	366.78
74.00	4A.0	185.38	88.25	58.4	230.93	102.50	66.8	276.48	116.75	74.C	322.03	131.00	83.0	367.58
74.25	4A.4	186.18	88.50	58.8	231.73	102.75	66.C	277.28	117.00	75.0	322.83	131.25	83.4	368.37
74.50	4A.8	186.98	88.75	58.C	232.53	103.00	67.0	278.08	117.25	75.4	323.63	131.50	83.8	369.17
74.75	4A.C	187.78	89.00	59.0	233.33	103.25	67.4	278.88	117.50	75.8	324.42	131.75	83.C	369.97
75.00	4B.0	188.58	89.25	59.4	234.13	103.50	67.8	279.68	117.75	75.C	325.22	132.00	84.0	370.77
75.25	4B.4	189.38	89.50	59.8	234.93	103.75	67.C	280.47	118.00	76.0	326.02	132.25	84.4	371.57
75.50	4B.8	190.18	89.75	59.C	235.73	104.00	68.0	281.27	118.25	76.4	326.82	132.50	84.8	372.37
75.75	4B.C	190.98	90.00	5A.0	236.52	104.25	68.4	282.07	118.50	76.8	327.62	132.75	84.C	373.17
76.00	4C.0	191.78	90.25	5A.4	237.32	104.50	68.8	282.87	118.75	76.C	328.42	133.00	85.0	373.97
76.25	4C.4	192.57	90.50	5A.8	238.12	104.75	68.C	283.67	119.00	77.0	329.22	133.25	85.4	374.77
76.50	4C.8	193.37	90.75	5A.C	238.92	105.00	69.0	284.47	119.25	77.4	330.02	133.50	85.8	375.57
76.75	4C.C	194.17	91.00	5B.0	239.72	105.25	69.4	285.27	119.50	77.8	330.82	133.75	85.C	376.36
77.00	4D.0	194.97	91.25	5B.4	240.52	105.50	69.8	286.07	119.75	77.C	331.62	134.00	86.0	377.16
77.25	4D.4	195.77	91.50	5B.8	241.32	105.75	69.C	286.87	120.00	78.0	332.42	134.25	86.4	377.96
77.50	4D.8	196.57	91.75	5B.C	242.12	106.00	6A.0	287.67	120.25	78.4	333.21	134.50	86.8	378.76
77.75	4D.C	197.37	92.00	5C.0	242.92	106.25	6A.4	288.47	120.50	78.8	334.01	134.75	86.C	379.56
78.00	4E.0	198.17	92.25	5C.4	243.72	106.50	6A.8	289.26	120.75	78.C	334.81	135.00	87.0	380.36
78.25	4E.4	198.97	92.50	5C.8	244.52	106.75	6A.C	290.06	121.00	79.0	335.61	135.25	87.4	381.16
78.50	4E.8	199.77	92.75	5C.C	245.31	107.00	6B.0	290.86	121.25	79.4	336.41	135.50	87.8	381.96
78.75	4E.C	200.57	93.00	5D.0	246.11	107.25	6B.4	291.66	121.50	79.8	337.21	135.75	87.C	382.76
79.00	4F.0	201.36	93.25	5D.4	246.91	107.50	6B.8	292.46	121.75	79.C	338.01	136.00	88.0	383.56
79.25	4F.4	202.16	93.50	5D.8	247.71	107.75	6B.C	293.26	122.00	7A.0	338.81	136.25	88.4	384.36
79.50	4F.8	202.96	93.75	5D.C	248.51	108.00	6C.0	294.06	122.25	7A.4	339.61	136.50	88.8	385.15
79.75	4F.C	203.76	94.00	5E.0	249.31	108.25	6C.4	294.86	122.50	7A.8	340.41	136.75	88.C	385.95
80.00	50.0	204.56	94.25	5E.4	250.11	108.50	6C.8	295.66	122.75	7A.C	341.21	137.00	89.0	386.75
80.25	50.4	205.36	94.50	5E.8	250.91	108.75	6C.C	296.46	123.00	7B.0	342.00	137.25	89.4	387.55
80.50	50.8	206.16	94.75	5E.C	251.71	109.00	6D.0	297.26	123.25	7B.4	342.80	137.50	89.8	388.35
80.75	50.C	206.96	95.00	5F.0	252.51	109.25	6D.4	298.05	123.50	7B.8	343.60	137.75	89.C	389.15
81.00	51.0	207.76	95.25	5F.4	253.31	109.50	6D.8	298.85	123.75	7B.C	344.40	138.00	8A.0	389.95
81.25	51.4	208.56	95.50	5F.8	254.10	109.75	6D.C	299.65	124.00	7C.0	345.20	138.25	8A.4	390.75
81.50	51.8	209.36	95.75	5F.C	254.90	110.00	6E.0	300.45	124.25	7C.4	346.00	138.50	8A.8	391.55
81.75	51.C	210.15	96.00	60.0	255.70	110.25	6E.4	301.25	124.50	7C.8	346.80	138.75	8A.C	392.35
82.00	52.0	210.95	96.25	60.4	256.50	110.50	6E.8	302.05	124.75	7C.C	347.60	139.00	8B.0	393.15
82.25	52.4	211.75	96.50	60.8	257.30	110.75	6E.C	302.85	125.00	7D.0	348.40	139.25	8B.4	393.94
82.50	52.8	212.55	96.75	60.C	258.10	111.00	6F.0	303.65	125.25	7D.4	349.20	139.50	8B.8	394.74

шаг	hex	mV	шаг	hex	mV	шаг	hex	mV	шаг	hex	mV	шаг	hex	mV
139.75	8B.C	395.54	154.00	9A.0	441.09	168.25	A8.4	486.64	182.50	B6.8	532.19	196.75	C4.C	577.73
140.00	8C.0	396.34	154.25	9A.4	441.89	168.50	A8.8	487.44	182.75	B6.C	532.99	197.00	C5.0	578.53
140.25	8C.4	397.14	154.50	9A.8	442.69	168.75	A8.C	488.24	183.00	B7.0	533.79	197.25	C5.4	579.33
140.50	8C.8	397.94	154.75	9A.C	443.49	169.00	A9.0	489.04	183.25	B7.4	534.58	197.50	C5.8	580.13
140.75	8C.C	398.74	155.00	9B.0	444.29	169.25	A9.4	489.84	183.50	B7.8	535.38	197.75	C5.C	580.93
141.00	8D.0	399.54	155.25	9B.4	445.09	169.50	A9.8	490.63	183.75	B7.C	536.18	198.00	C6.0	581.73
141.25	8D.4	400.34	155.50	9B.8	445.89	169.75	A9.C	491.43	184.00	B8.0	536.98	198.25	C6.4	582.53
141.50	8D.8	401.14	155.75	9B.C	446.68	170.00	AA.0	492.23	184.25	B8.4	537.78	198.50	C6.8	583.33
141.75	8D.C	401.94	156.00	9C.0	447.48	170.25	AA.4	493.03	184.50	B8.8	538.58	198.75	C6.C	584.13
142.00	8E.0	402.73	156.25	9C.4	448.28	170.50	AA.8	493.83	184.75	B8.C	539.38	199.00	C7.0	584.93
142.25	8E.4	403.53	156.50	9C.8	449.08	170.75	AA.C	494.63	185.00	B9.0	540.18	199.25	C7.4	585.73
142.50	8E.8	404.33	156.75	9C.C	449.88	171.00	AB.0	495.43	185.25	B9.4	540.98	199.50	C7.8	586.52
142.75	8E.C	405.13	157.00	9D.0	450.68	171.25	AB.4	496.23	185.50	B9.8	541.78	199.75	C7.C	587.32
143.00	8F.0	405.93	157.25	9D.4	451.48	171.50	AB.8	497.03	185.75	B9.C	542.58	200.00	C8.0	588.12
143.25	8F.4	406.73	157.50	9D.8	452.28	171.75	AB.C	497.83	186.00	BA.0	543.37	200.25	C8.4	588.92
143.50	8F.8	407.53	157.75	9D.C	453.08	172.00	AC.0	498.63	186.25	BA.4	544.17	200.50	C8.8	589.72
143.75	8F.C	408.33	158.00	9E.0	453.88	172.25	AC.4	499.42	186.50	BA.8	544.97	200.75	C8.C	590.52
144.00	90.0	409.13	158.25	9E.4	454.68	172.50	AC.8	500.22	186.75	BA.C	545.77	201.00	C9.0	591.32
144.25	90.4	409.93	158.50	9E.8	455.47	172.75	AC.C	501.02	187.00	BB.0	546.57	201.25	C9.4	592.12
144.50	90.8	410.73	158.75	9E.C	456.27	173.00	AD.0	501.82	187.25	BB.4	547.37	201.50	C9.8	592.92
144.75	90.C	411.52	159.00	9F.0	457.07	173.25	AD.4	502.62	187.50	BB.8	548.17	201.75	C9.C	593.72
145.00	91.0	412.32	159.25	9F.4	457.87	173.50	AD.8	503.42	187.75	BB.C	548.97	202.00	CA.0	594.52
145.25	91.4	413.12	159.50	9F.8	458.67	173.75	AD.C	504.22	188.00	BC.0	549.77	202.25	CA.4	595.31
145.50	91.8	413.92	159.75	9F.C	459.47	174.00	AE.0	505.02	188.25	BC.4	550.57	202.50	CA.8	596.11
145.75	91.C	414.72	160.00	A0.0	460.27	174.25	AE.4	505.82	188.50	BC.8	551.37	202.75	CA.C	596.91
146.00	92.0	415.52	160.25	A0.4	461.07	174.50	AE.8	506.62	188.75	BC.C	552.16	203.00	CB.0	597.71
146.25	92.4	416.32	160.50	A0.8	461.87	174.75	AE.C	507.42	189.00	BD.0	552.96	203.25	CB.4	598.51
146.50	92.8	417.12	160.75	A0.C	462.67	175.00	AF.0	508.21	189.25	BD.4	553.76	203.50	CB.8	599.31
146.75	92.C	417.92	161.00	A1.0	463.47	175.25	AF.4	509.01	189.50	BD.8	554.56	203.75	CB.C	600.11
147.00	93.0	418.72	161.25	A1.4	464.26	175.50	AF.8	509.81	189.75	BD.C	555.36	204.00	CC.0	600.91
147.25	93.4	419.52	161.50	A1.8	465.06	175.75	AF.C	510.61	190.00	BE.0	556.16	204.25	CC.4	601.71
147.50	93.8	420.31	161.75	A1.C	465.86	176.00	B0.0	511.41	190.25	BE.4	556.96	204.50	CC.8	602.51
147.75	93.C	421.11	162.00	A2.0	466.66	176.25	B0.4	512.21	190.50	BE.8	557.76	204.75	CC.C	603.31
148.00	94.0	421.91	162.25	A2.4	467.46	176.50	B0.8	513.01	190.75	BE.C	558.56	205.00	CD.0	604.10
148.25	94.4	422.71	162.50	A2.8	468.26	176.75	B0.C	513.81	191.00	BF.0	559.36	205.25	CD.4	604.90
148.50	94.8	423.51	162.75	A2.C	469.06	177.00	B1.0	514.61	191.25	BF.4	560.15	205.50	CD.8	605.70
148.75	94.C	424.31	163.00	A3.0	469.86	177.25	B1.4	515.41	191.50	BF.8	560.95	205.75	CD.C	606.50
149.00	95.0	425.11	163.25	A3.4	470.66	177.50	B1.8	516.21	191.75	BF.C	561.75	206.00	CE.0	607.30
149.25	95.4	425.91	163.50	A3.8	471.46	177.75	B1.C	517.00	192.00	C0.0	562.55	206.25	CE.4	608.10
149.50	95.8	426.71	163.75	A3.C	472.26	178.00	B2.0	517.80	192.25	C0.4	563.35	206.50	CE.8	608.90
149.75	95.C	427.51	164.00	A4.0	473.05	178.25	B2.4	518.60	192.50	C0.8	564.15	206.75	CE.C	609.70
150.00	96.0	428.31	164.25	A4.4	473.85	178.50	B2.8	519.40	192.75	C0.C	564.95	207.00	CF.0	610.50
150.25	96.4	429.10	164.50	A4.8	474.65	178.75	B2.C	520.20	193.00	C1.0	565.75	207.25	CF.4	611.30
150.50	96.8	429.90	164.75	A4.C	475.45	179.00	B3.0	521.00	193.25	C1.4	566.55	207.50	CF.8	612.10
150.75	96.C	430.70	165.00	A5.0	476.25	179.25	B3.4	521.80	193.50	C1.8	567.35	207.75	CF.C	612.89
151.00	97.0	431.50	165.25	A5.4	477.05	179.50	B3.8	522.60	193.75	C1.C	568.15	208.00	D0.0	613.69
151.25	97.4	432.30	165.50	A5.8	477.85	179.75	B3.C	523.40	194.00	C2.0	568.94	208.25	D0.4	614.49
151.50	97.8	433.10	165.75	A5.C	478.65	180.00	B4.0	524.20	194.25	C2.4	569.74	208.50	D0.8	615.29
151.75	97.C	433.90	166.00	A6.0	479.45	180.25	B4.4	525.00	194.50	C2.8	570.54	208.75	D0.C	616.09
152.00	98.0	434.70	166.25	A6.4	480.25	180.50	B4.8	525.79	194.75	C2.C	571.34	209.00	D1.0	616.89
152.25	98.4	435.50	166.50	A6.8	481.05	180.75	B4.C	526.59	195.00	C3.0	572.14	209.25	D1.4	617.69
152.50	98.8	436.30	166.75	A6.C	481.84	181.00	B5.0	527.39	195.25	C3.4	572.94	209.50	D1.8	618.49
152.75	98.C	437.10	167.00	A7.0	482.64	181.25	B5.4	528.19	195.50	C3.8	573.74	209.75	D1.C	619.29
153.00	99.0	437.89	167.25	A7.4	483.44	181.50	B5.8	528.99	195.75	C3.C	574.54	210.00	D2.0	620.09
153.25	99.4	438.69	167.50	A7.8	484.24	181.75	B5.C	529.79	196.00	C4.0	575.34	210.25	D2.4	620.89
153.50	99.8	439.49	167.75	A7.C	485.04	182.00	B6.0	530.59	196.25	C4.4	576.14	210.50	D2.8	621.68
153.75	99.C	440.29	168.00	A8.0	485.84	182.25	B6.4	531.39	196.50	C4.8	576.94	210.75	D2.C	622.48

шаг	hex	mV	шаг	hex	mV	шаг	hex	mV	шаг	hex	mV	шаг	hex	mV
211.00	D3.0	623.28	220.00	DC.0	652.05	229.00	E5.0	680.82	238.00	EE.0	709.58	247.00	F7.0	738.35
211.25	D3.4	624.08	220.25	DC.4	652.85	229.25	E5.4	681.62	238.25	EE.4	710.38	247.25	F7.4	739.15
211.50	D3.8	624.88	220.50	DC.8	653.65	229.50	E5.8	682.42	238.50	EE.8	711.18	247.50	F7.8	739.95
211.75	D3.C	625.68	220.75	DC.C	654.45	229.75	E5.C	683.21	238.75	EE.C	711.98	247.75	F7.C	740.75
212.00	D4.0	626.48	221.00	DD.0	655.25	230.00	E6.0	684.01	239.00	EF.0	712.78	248.00	F8.0	741.55
212.25	D4.4	627.28	221.25	DD.4	656.05	230.25	E6.4	684.81	239.25	EF.4	713.58	248.25	F8.4	742.35
212.50	D4.8	628.08	221.50	DD.8	656.84	230.50	E6.8	685.61	239.50	EF.8	714.38	248.50	F8.8	743.15
212.75	D4.C	628.88	221.75	DD.C	657.64	230.75	E6.C	686.41	239.75	EF.C	715.18	248.75	F8.C	743.94
213.00	D5.0	629.68	222.00	DE.0	658.44	231.00	E7.0	687.21	240.00	F0.0	715.98	249.00	F9.0	744.74
213.25	D5.4	630.47	222.25	DE.4	659.24	231.25	E7.4	688.01	240.25	F0.4	716.78	249.25	F9.4	745.54
213.50	D5.8	631.27	222.50	DE.8	660.04	231.50	E7.8	688.81	240.50	F0.8	717.58	249.50	F9.8	746.34
213.75	D5.C	632.07	222.75	DE.C	660.84	231.75	E7.C	689.61	240.75	F0.C	718.37	249.75	F9.C	747.14
214.00	D6.0	632.87	223.00	DF.0	661.64	232.00	E8.0	690.41	241.00	F1.0	719.17	250.00	FA.0	747.94
214.25	D6.4	633.67	223.25	DF.4	662.44	232.25	E8.4	691.21	241.25	F1.4	719.97	250.25	FA.4	748.74
214.50	D6.8	634.47	223.50	DF.8	663.24	232.50	E8.8	692.00	241.50	F1.8	720.77	250.50	FA.8	749.54
214.75	D6.C	635.27	223.75	DF.C	664.04	232.75	E8.C	692.80	241.75	F1.C	721.57	250.75	FA.C	750.34
215.00	D7.0	636.07	224.00	E0.0	664.84	233.00	E9.0	693.60	242.00	F2.0	722.37	251.00	FB.0	751.14
215.25	D7.4	636.87	224.25	E0.4	665.63	233.25	E9.4	694.40	242.25	F2.4	723.17	251.50	FB.8	752.73
215.50	D7.8	637.67	224.50	E0.8	666.43	233.50	E9.8	695.20	242.50	F2.8	723.97	251.75	FB.C	753.53
215.75	D7.C	638.47	224.75	E0.C	667.23	233.75	E9.C	696.00	242.75	F2.C	724.77	252.00	FC.0	754.33
216.00	D8.0	639.26	225.00	E1.0	668.03	234.00	EA.0	696.80	243.00	F3.0	725.57	252.25	FC.4	755.13
216.25	D8.4	640.06	225.25	E1.4	668.83	234.25	EA.4	697.60	243.25	F3.4	726.37	252.50	FC.8	755.93
216.50	D8.8	640.86	225.50	E1.8	669.63	234.50	EA.8	698.40	243.50	F3.8	727.16	252.75	FC.C	756.73
216.75	D8.C	641.66	225.75	E1.C	670.43	234.75	EA.C	699.20	243.75	F3.C	727.96	253.00	FD.0	757.53
217.00	D9.0	642.46	226.00	E2.0	671.23	235.00	EB.0	700.00	244.00	F4.0	728.76	253.25	FD.4	758.33
217.25	D9.4	643.26	226.25	E2.4	672.03	235.25	EB.4	700.79	244.25	F4.4	729.56	253.50	FD.8	759.13
217.50	D9.8	644.06	226.50	E2.8	672.83	235.50	EB.8	701.59	244.50	F4.8	730.36	253.75	FD.C	759.93
217.75	D9.C	644.86	226.75	E2.C	673.63	235.75	EB.C	702.39	244.75	F4.C	731.16	254.00	FE.0	760.73
218.00	DA.0	645.66	227.00	E3.0	674.42	236.00	EC.0	703.19	245.00	F5.0	731.96	254.25	FE.4	761.52
218.25	DA.4	646.46	227.25	E3.4	675.22	236.25	EC.4	703.99	245.25	F5.4	732.76	254.50	FE.8	762.32
218.50	DA.8	647.26	227.50	E3.8	676.02	236.50	EC.8	704.79	245.50	F5.8	733.56	254.75	FE.C	763.12
218.75	DA.C	648.05	227.75	E3.C	676.82	236.75	EC.C	705.59	245.75	F5.C	734.36			
219.00	DB.0	648.85	228.00	E4.0	677.62	237.00	ED.0	706.39	246.00	F6.0	735.16			
219.25	DB.4	649.65	228.25	E4.4	678.42	237.25	ED.4	707.19	246.25	F6.4	735.95			
219.50	DB.8	650.45	228.50	E4.8	679.22	237.50	ED.8	707.99	246.50	F6.8	736.75			
219.75	DB.C	651.25	228.75	E4.C	680.02	237.75	ED.C	708.79	246.75	F6.C	737.55			

Ref. 21 – 10-битные уровни цветности

шаг	hex	mV	шаг	hex	mV	шаг	hex	mV	шаг	hex	mV	шаг	hex	mV
1.00	01.0	-396.87	14.50	0E.8	-354.68	28.00	1C.0	-312.50	41.50	29.8	-270.31	55.00	37.0	-228.12
1.25	01.4	-396.09	14.75	0E.C	-353.90	28.25	1C.4	-311.71	41.75	29.C	-269.53	55.25	37.4	-227.34
1.50	01.8	-395.31	15.00	0F.0	-353.12	28.50	1C.8	-310.93	42.00	2A.0	-268.75	55.50	37.8	-226.56
1.75	01.C	-394.53	15.25	0F.4	-352.34	28.75	1C.C	-310.15	42.25	2A.4	-267.96	55.75	37.C	-225.78
2.00	02.0	-393.75	15.50	0F.8	-351.56	29.00	1D.0	-309.37	42.50	2A.8	-267.18	56.00	38.0	-225.00
2.25	02.4	-392.96	15.75	0F.C	-350.78	29.25	1D.4	-308.59	42.75	2A.C	-266.40	56.25	38.4	-224.21
2.50	02.8	-392.18	16.00	10.0	-350.00	29.50	1D.8	-307.81	43.00	2B.0	-265.62	56.50	38.8	-223.43
2.75	02.C	-391.40	16.25	10.4	-349.21	29.75	1D.C	-307.03	43.25	2B.4	-264.84	56.75	38.C	-222.65
3.00	03.0	-390.62	16.50	10.8	-348.43	30.00	1E.0	-306.25	43.50	2B.8	-264.06	57.00	39.0	-221.87
3.25	03.4	-389.84	16.75	10.C	-347.65	30.25	1E.4	-305.46	43.75	2B.C	-263.28	57.25	39.4	-221.09
3.50	03.8	-389.06	17.00	11.0	-346.87	30.50	1E.8	-304.68	44.00	2C.0	-262.50	57.50	39.8	-220.31
3.75	03.C	-388.28	17.25	11.4	-346.09	30.75	1E.C	-303.90	44.25	2C.4	-261.71	57.75	39.C	-219.53
4.00	04.0	-387.50	17.50	11.8	-345.31	31.00	1F.0	-303.12	44.50	2C.8	-260.93	58.00	3A.0	-218.75
4.25	04.4	-386.71	17.75	11.C	-344.53	31.25	1F.4	-302.34	44.75	2C.C	-260.15	58.25	3A.4	-217.96
4.50	04.8	-385.93	18.00	12.0	-343.75	31.50	1F.8	-301.56	45.00	2D.0	-259.37	58.50	3A.8	-217.18
4.75	04.C	-385.15	18.25	12.4	-342.96	31.75	1F.C	-300.78	45.25	2D.4	-258.59	58.75	3A.C	-216.40
5.00	05.0	-384.37	18.50	12.8	-342.18	32.00	20.0	-300.00	45.50	2D.8	-257.81	59.00	3B.0	-215.62
5.25	05.4	-383.59	18.75	12.C	-341.40	32.25	20.4	-299.21	45.75	2D.C	-257.03	59.25	3B.4	-214.84
5.50	05.8	-382.81	19.00	13.0	-340.62	32.50	20.8	-298.43	46.00	2E.0	-256.25	59.50	3B.8	-214.06
5.75	05.C	-382.03	19.25	13.4	-339.84	32.75	20.C	-297.65	46.25	2E.4	-255.46	59.75	3B.C	-213.28
6.00	06.0	-381.25	19.50	13.8	-339.06	33.00	21.0	-296.87	46.50	2E.8	-254.68	60.00	3C.0	-212.50
6.25	06.4	-380.46	19.75	13.C	-338.28	33.25	21.4	-296.09	46.75	2E.C	-253.90	60.25	3C.4	-211.71
6.50	06.8	-379.68	20.00	14.0	-337.50	33.50	21.8	-295.31	47.00	2F.0	-253.12	60.50	3C.8	-210.93
6.75	06.C	-378.90	20.25	14.4	-336.71	33.75	21.C	-294.53	47.25	2F.4	-252.34	60.75	3C.C	-210.15
7.00	07.0	-378.12	20.50	14.8	-335.93	34.00	22.0	-293.75	47.50	2F.8	-251.56	61.00	3D.0	-209.37
7.25	07.4	-377.34	20.75	14.C	-335.15	34.25	22.4	-292.96	47.75	2F.C	-250.78	61.25	3D.4	-208.59
7.50	07.8	-376.56	21.00	15.0	-334.37	34.50	22.8	-292.18	48.00	30.0	-250.00	61.50	3D.8	-207.81
7.75	07.C	-375.78	21.25	15.4	-333.59	34.75	22.C	-291.40	48.25	30.4	-249.21	61.75	3D.C	-207.03
8.00	08.0	-375.00	21.50	15.8	-332.81	35.00	23.0	-290.62	48.50	30.8	-248.43	62.00	3E.0	-206.25
8.25	08.4	-374.21	21.75	15.C	-332.03	35.25	23.4	-289.84	48.75	30.C	-247.65	62.25	3E.4	-205.46
8.50	08.8	-373.43	22.00	16.0	-331.25	35.50	23.8	-289.06	49.00	31.0	-246.87	62.50	3E.8	-204.68
8.75	08.C	-372.65	22.25	16.4	-330.46	35.75	23.C	-288.28	49.25	31.4	-246.09	62.75	3E.C	-203.90
9.00	09.0	-371.87	22.50	16.8	-329.68	36.00	24.0	-287.50	49.50	31.8	-245.31	63.00	3F.0	-203.12
9.25	09.4	-371.09	22.75	16.C	-328.90	36.25	24.4	-286.71	49.75	31.C	-244.53	63.25	3F.4	-202.34
9.50	09.8	-370.31	23.00	17.0	-328.12	36.50	24.8	-285.93	50.00	32.0	-243.75	63.50	3F.8	-201.56
9.75	09.C	-369.53	23.25	17.4	-327.34	36.75	24.C	-285.15	50.25	32.4	-242.96	63.75	3F.C	-200.78
10.00	0A.0	-368.75	23.50	17.8	-326.56	37.00	25.0	-284.37	50.50	32.8	-242.18	64.00	40.0	-200.00
10.25	0A.4	-367.96	23.75	17.C	-325.78	37.25	25.4	-283.59	50.75	32.C	-241.40	64.25	40.4	-199.21
10.50	0A.8	-367.18	24.00	18.0	-325.00	37.50	25.8	-282.81	51.00	33.0	-240.62	64.50	40.8	-198.43
10.75	0A.C	-366.40	24.25	18.4	–324.21	37.75	25.C	-282.03	51.25	33.4	-239.84	64.75	40.C	-197.65
11.00	0B.0	-365.62	24.50	18.8	-323.43	38.00	26.0	-281.25	51.50	33.8	-239.06	65.00	41.0	-196.87
11.25	0B.4	-364.84	24.75	18.C	-322.65	38.25	26.4	-280.46	51.75	33.C	-238.28	65.25	41.4	-196.09
11.50	0B.8	-364.06	25.00	19.0	-321.87	38.50	26.8	-279.68	52.00	34.0	-237.50	65.50	41.8	-195.31
11.75	0B.C	-363.28	25.25	19.4	-321.09	38.75	26.C	-278.90	52.25	34.4	-236.71	65.75	41.C	-194.53
12.00	0C.0	-362.50	25.50	19.8	-320.31	39.00	27.0	-278.12	52.50	34.8	-235.93	66.00	42.0	-193.75
12.25	0C.4	-361.71	25.75	19.C	-319.53	39.25	27.4	-277.34	52.75	34.C	-235.15	66.25	42.4	-192.96
12.50	0C.8	-360.93	26.00	1A.0	-318.75	39.50	27.8	-276.56	53.00	35.0	-234.37	66.50	42.8	-192.18
12.75	0C.C	-360.15	26.25	1A.4	-317.96	39.75	27.C	-275.78	53.25	35.4	-233.59	66.75	42.C	-191.40
13.00	0D.0	-359.37	26.50	1A.8	-317.18	40.00	28.0	-275.00	53.50	35.8	-232.81	67.00	43.0	-190.62
13.25	0D.4	-358.59	26.75	1A.C	-316.40	40.25	28.4	-274.21	53.75	35.C	-232.03	67.25	43.4	-189.84
13.50	0D.8	-357.81	27.00	1B.0	-315.62	40.50	28.8	-273.43	54.00	36.0	-231.25	67.50	43.8	-189.06
13.75	0D.C	-357.03	27.25	1B.4	-314.84	40.75	28.C	-272.65	54.25	36.4	-230.46	67.75	43.C	-188.28
14.00	0E.0	-356.25	27.50	1B.8	-314.06	41.00	29.0	-271.87	54.50	36.8	-229.68	68.00	44.0	-187.50
14.25	0E.4	-355.46	27.75	1B.C	-313.28	41.25	29.4	-271.09	54.75	36.C	-228.90	68.25	44.4	-186.71

шаг	hex	mV	шаг	hex	mV	шаг	hex	mV	шаг	hex	mV	шаг	hex	mV
68.50	44.8	-185.93	82.75	52.C	-141.40	97.00	61.0	-96.875	111.25	6F.4	-52.343	125.50	7D.8	-7.8125
68.75	44.C	-185.15	83.00	53.0	-140.62	97.25	61.4	-96.093	111.50	6F.8	-51.562	125.75	7D.C	-7.0312
69.00	45.0	-184.37	83.25	53.4	-139.84	97.50	61.8	-95.312	111.75	6F.C	-50.781	126.00	7E.0	-6.2500
69.25	45.4	-183.59	83.50	53.8	-139.06	97.75	61.C	-94.531	112.00	70.0	-50.000	126.25	7E.4	-5.4687
69.50	45.8	-182.81	83.75	53.C	-138.28	98.00	62.0	-93.750	112.25	70.4	-49.218	126.50	7E.8	-4.6875
69.75	45.C	-182.03	84.00	54.0	-137.50	98.25	62.4	-92.968	112.50	70.8	-48.437	126.75	7E.C	-3.9062
70.00	46.0	-181.25	84.25	54.4	-136.71	98.50	62.8	-92.187	112.75	70.C	-47.656	127.00	7F.0	-3.1250
70.25	46.4	-180.46	84.50	54.8	-135.93	98.75	62.C	-91.406	113.00	71.0	-46.875	127.25	7F.4	-2.3437
70.50	46.8	-179.68	84.75	54.C	-135.15	99.00	63.0	-90.625	113.25	71.4	-46.093	127.50	7F.8	-1.5625
70.75	46.C	-178.90	85.00	55.0	-134.37	99.25	63.4	-89.843	113.50	71.8	-45.312	127.75	7F.C	-0.7813
71.00	47.0	-178.12	85.25	55.4	-133.59	99.50	63.8	-89.062	113.75	71.C	-44.531	128.00	80.0	0
71.25	47.4	-177.34	85.50	55.8	-132.81	99.75	63.C	-88.281	114.00	72.0	-43.750	128.25	80.4	0.7813
71.50	47.8	-176.56	85.75	55.C	-132.03	100.00	64.0	-87.500	114.25	72.4	-42.968	128.50	80.8	1.5625
71.75	47.C	-175.78	86.00	56.0	-131.25	100.25	64.4	-86.718	114.50	72.8	-42.187	128.75	80.C	2.3437
72.00	48.0	-175.00	86.25	56.4	-130.46	100.50	64.8	-85.937	114.75	72.C	-41.406	129.00	81.0	3.1250
72.25	48.4	-174.21	86.50	56.8	-129.68	100.75	64.C	-85.156	115.00	73.0	-40.625	129.25	81.4	3.9062
72.50	48.8	-173.43	86.75	56.C	-128.90	101.00	65.0	-84.375	115.25	73.4	-39.843	129.50	81.8	4.6875
72.75	48.C	-172.65	87.00	57.0	-128.12	101.25	65.4	-83.593	115.50	73.8	-39.062	129.75	81.C	5.4687
73.00	49.0	-171.87	87.25	57.4	-127.34	101.50	65.8	-82.812	115.75	73.C	-38.281	130.00	82.0	6.2500
73.25	49.4	-171.09	87.50	57.8	-126.56	101.75	65.C	-82.031	116.00	74.0	-37.500	130.25	82.4	7.0312
73.50	49.8	-170.31	87.75	57.C	-125.78	102.00	66.0	-81.250	116.25	74.4	-36.718	130.50	82.8	7.8125
73.75	49.C	-169.53	88.00	58.0	-125.00	102.25	66.4	-80.468	116.50	74.8	-35.937	130.75	82.C	8.5937
74.00	4A.0	-168.75	88.25	58.4	-124.21	102.50	66.8	-79.687	116.75	74.C	-35.156	131.00	83.0	9.3750
74.25	4A.4	-167.96	88.50	58.8	-123.43	102.75	66.C	-78.906	117.00	75.0	-34.375	131.25	83.4	10.156
74.50	4A.8	-167.18	88.75	58.C	-122.65	103.00	67.0	-78.125	117.25	75.4	-33.593	131.50	83.8	10.937
74.75	4A.C	-166.40	89.00	59.0	-121.87	103.25	67.4	-77.343	117.50	75.8	-32.812	131.75	83.C	11.718
75.00	4B.0	-165.62	89.25	59.4	-121.09	103.50	67.8	-76.562	117.75	75.C	-32.031	132.00	84.0	12.500
75.25	4B.4	-164.84	89.50	59.8	-120.31	103.75	67.C	-75.781	118.00	76.0	-31.250	132.25	84.4	13.281
75.50	4B.8	-164.06	89.75	59.C	-119.53	104.00	68.0	-75.000	118.25	76.4	-30.468	132.50	84.8	14.062
75.75	4B.C	-163.28	90.00	5A.0	-118.75	104.25	68.4	-74.218	118.50	76.8	-29.687	132.75	84.C	14.843
76.00	4C.0	-162.50	90.25	5A.4	-117.96	104.50	68.8	-73.437	118.75	76.C	-28.906	133.00	85.0	15.625
76.25	4C.4	-161.71	90.50	5A.8	-117.18	104.75	68.C	-72.656	119.00	77.0	-28.125	133.25	85.4	16.406
76.50	4C.8	-160.93	90.75	5A.C	-116.40	105.00	69.0	-71.875	119.25	77.4	-27.343	133.50	85.8	17.187
76.75	4C.C	-160.15	91.00	5B.0	-115.62	105.25	69.4	-71.093	119.50	77.8	-26.562	133.75	85.C	17.968
77.00	4D.0	-159.37	91.25	5B.4	-114.84	105.50	69.8	-70.312	119.75	77.C	-25.781	134.00	86.0	18.750
77.25	4D.4	-158.59	91.50	5B.8	-114.06	105.75	69.C	-69.531	120.00	78.0	-25.000	134.25	86.4	19.531
77.50	4D.8	-157.81	91.75	5B.C	-113.28	106.00	6A.0	-68.750	120.25	78.4	-24.218	134.50	86.8	20.312
77.75	4D.C	-157.03	92.00	5C.0	-112.50	106.25	6A.4	-67.968	120.50	78.8	-23.437	134.75	86.C	21.093
78.00	4E.0	-156.25	92.25	5C.4	-111.71	106.50	6A.8	-67.187	120.75	78.C	-22.656	135.00	87.0	21.875
78.25	4E.4	-155.46	92.50	5C.8	-110.93	106.75	6A.C	-66.406	121.00	79.0	-21.875	135.25	87.4	22.656
78.50	4E.8	-154.68	92.75	5C.C	-110.15	107.00	6B.0	-65.625	121.25	79.4	-21.093	135.50	87.8	23.437
78.75	4E.C	-153.90	93.00	5D.0	-109.37	107.25	6B.4	-64.843	121.50	79.8	-20.312	135.75	87.C	24.218
79.00	4F.0	-153.12	93.25	5D.4	-108.59	107.50	6B.8	-64.062	121.75	79.C	-19.531	136.00	88.0	25.000
79.25	4F.4	-152.34	93.50	5D.8	-107.81	107.75	6B.C	-63.281	122.00	7A.0	-18.750	136.25	88.4	25.781
79.50	4F.8	-151.56	93.75	5D.C	-107.03	108.00	6C.0	-62.500	122.25	7A.4	-17.968	136.50	88.8	26.562
79.75	4F.C	-150.78	94.00	5E.0	-106.25	108.25	6C.4	-61.718	122.50	7A.8	-17.187	136.75	88.C	27.343
80.00	50.0	-150.00	94.25	5E.4	-105.46	108.50	6C.8	-60.937	122.75	7A.C	-16.406	137.00	89.0	28.125
80.25	50.4	-149.21	94.50	5E.8	-104.68	108.75	6C.C	-60.156	123.00	7B.0	-15.625	137.25	89.4	28.906
80.50	50.8	-148.43	94.75	5E.C	-103.90	109.00	6D.0	-59.375	123.25	7B.4	-14.843	137.50	89.8	29.687
80.75	50.C	-147.65	95.00	5F.0	-103.12	109.25	6D.4	-58.593	123.50	7B.8	-14.062	137.75	89.C	30.468
81.00	51.0	-146.87	95.25	5F.4	-102.34	109.50	6D.8	-57.812	123.75	7B.C	-13.281	138.00	8A.0	31.250
81.25	51.4	-146.09	95.50	5F.8	-101.56	109.75	6D.C	-57.031	124.00	7C.0	-12.500	138.25	8A.4	32.031
81.50	51.8	-145.31	95.75	5F.C	-100.78	110.00	6E.0	-56.250	124.25	7C.4	-11.718	138.50	8A.8	32.812
81.75	51.C	-144.53	96.00	60.0	-100.00	110.25	6E.4	-55.468	124.50	7C.8	-10.937	138.75	8A.C	33.593
82.00	52.0	-143.75	96.25	60.4	-99.218	110.50	6E.8	-54.687	124.75	7C.C	-10.156	139.00	8B.0	34.375
82.25	52.4	-142.96	96.50	60.8	-98.437	110.75	6E.C	–53.906	125.00	7D.0	-9.3750	139.25	8B.4	35.156
82.50	52.8	-142.18	96.75	60.C	-97.656	111.00	6F.0	-53.125	125.25	7D.4	-8.5937	139.50	8B.8	35.937

шаг	hex	mV	шаг	hex	mV	шаг	hex	mV	шаг	hex	mV	шаг	hex	mV
139.75	8B.C	36.718	154.00	9A.0	81.250	168.25	A8.4	125.78	182.50	B6.8	170.31	196.75	C4.C	214.84
140.00	8C.0	37.500	154.25	9A.4	82.031	168.50	A8.8	126.56	182.75	B6.C	171.09	197.00	C5.0	215.62
140.25	8C.4	38.281	154.50	9A.8	82.812	168.75	A8.C	127.34	183.00	B7.0	171.87	197.25	C5.4	216.40
140.50	8C.8	39.062	154.75	9A.C	83.593	169.00	A9.0	128.12	183.25	B7.4	172.65	197.50	C5.8	217.18
140.75	8C.C	39.843	155.00	9B.0	84.375	169.25	A9.4	128.90	183.50	B7.8	173.43	197.75	C5.C	217.96
141.00	8D.0	40.625	155.25	9B.4	85.156	169.50	A9.8	129.68	183.75	B7.C	174.21	198.00	C6.0	218.75
141.25	8D.4	41.406	155.50	9B.8	85.937	169.75	A9.C	130.46	184.00	B8.0	175.00	198.25	C6.4	219.53
141.50	8D.8	42.187	155.75	9B.C	86.718	170.00	AA.0	131.25	184.25	B8.4	175.78	198.50	C6.8	220.31
141.75	8D.C	42.968	156.00	9C.0	87.500	170.25	AA.4	132.03	184.50	B8.8	176.56	198.75	C6.C	221.09
142.00	8E.0	43.750	156.25	9C.4	88.281	170.50	AA.8	132.81	184.75	B8.C	177.34	199.00	C7.0	221.87
142.25	8E.4	44.531	156.50	9C.8	89.062	170.75	AA.C	133.59	185.00	B9.0	178.12	199.25	C7.4	222.65
142.50	8E.8	45.312	156.75	9C.C	89.843	171.00	AB.0	134.37	185.25	B9.4	178.90	199.50	C7.8	223.43
142.75	8E.C	46.093	157.00	9D.0	90.625	171.25	AB.4	135.15	185.50	B9.8	179.68	199.75	C7.C	224.21
143.00	8F.0	46.875	157.25	9D.4	91.406	171.50	AB.8	135.93	185.75	B9.C	180.46	200.00	C8.0	225.00
143.25	8F.4	47.656	157.50	9D.8	92.187	171.75	AB.C	136.71	186.00	BA.0	181.25	200.25	C8.4	225.78
143.50	8F.8	48.437	157.75	9D.C	92.968	172.00	AC.0	137.50	186.25	BA.4	182.03	200.50	C8.8	226.56
143.75	8F.C	49.218	158.00	9E.0	93.750	172.25	AC.4	138.28	186.50	BA.8	182.81	200.75	C8.C	227.34
144.00	90.0	50.000	158.25	9E.4	94.531	172.50	AC.8	139.06	186.75	BA.C	183.59	201.00	C9.0	228.12
144.25	90.4	50.781	158.50	9E.8	95.312	172.75	AC.C	139.84	187.00	BB.0	184.37	201.25	C9.4	228.90
144.50	90.8	51.562	158.75	9E.C	96.093	173.00	AD.0	140.62	187.25	BB.4	185.15	201.50	C9.8	229.68
144.75	90.C	52.343	159.00	9F.0	96.875	173.25	AD.4	141.40	187.50	BB.8	185.93	201.75	C9.C	230.46
145.00	91.0	53.125	159.25	9F.4	97.656	173.50	AD.8	142.18	187.75	BB.C	186.71	202.00	CA.0	231.25
145.25	91.4	53.906	159.50	9F.8	98.437	173.75	AD.C	142.96	188.00	BC.0	187.50	202.25	CA.4	232.03
145.50	91.8	54.687	159.75	9F.C	99.218	174.00	AE.0	143.75	188.25	BC.4	188.28	202.50	CA.8	232.81
145.75	91.C	55.468	160.00	A0.0	100.00	174.25	AE.4	144.53	188.50	BC.8	189.06	202.75	CA.C	233.59
146.00	92.0	56.250	160.25	A0.4	100.78	174.50	AE.8	145.31	188.75	BC.C	189.84	203.00	CB.0	234.37
146.25	92.4	57.031	160.50	A0.8	101.56	174.75	AE.C	146.09	189.00	BD.0	190.62	203.25	CB.4	235.15
146.50	92.8	57.812	160.75	A0.C	102.34	175.00	AF.0	146.87	189.25	BD.4	191.40	203.50	CB.8	235.93
146.75	92.C	58.593	161.00	A1.0	103.12	175.25	AF.4	147.65	189.50	BD.8	192.18	203.75	CB.C	236.71
147.00	93.0	59.375	161.25	A1.4	103.90	175.50	AF.8	148.43	189.75	BD.C	192.96	204.00	CC.0	237.50
147.25	93.4	60.156	161.50	A1.8	104.68	175.75	AF.C	149.21	190.00	BE.0	193.75	204.25	CC.4	238.28
147.50	93.8	60.937	161.75	A1.C	105.46	176.00	B0.0	150.00	190.25	BE.4	194.53	204.50	CC.8	239.06
147.75	93.C	61.718	162.00	A2.0	106.25	176.25	B0.4	150.78	190.50	BE.8	195.31	204.75	CC.C	239.84
148.00	94.0	62.500	162.25	A2.4	107.03	176.50	B0.8	151.56	190.75	BE.C	196.09	205.00	CD.0	240.62
148.25	94.4	63.281	162.50	A2.8	107.81	176.75	B0.C	152.34	191.00	BF.0	196.87	205.25	CD.4	241.40
148.50	94.8	64.062	162.75	A2.C	108.59	177.00	B1.0	153.12	191.25	BF.4	197.65	205.50	CD.8	242.18
148.75	94.C	64.843	163.00	A3.0	109.37	177.25	B1.4	153.90	191.50	BF.8	198.43	205.75	CD.C	242.96
149.00	95.0	65.625	163.25	A3.4	110.15	177.50	B1.8	154.68	191.75	BF.C	199.21	206.00	CE.0	243.75
149.25	95.4	66.406	163.50	A3.8	110.93	177.75	B1.C	155.46	192.00	C0.0	200.00	206.25	CE.4	244.53
149.50	95.8	67.187	163.75	A3.C	111.71	178.00	B2.0	156.25	192.25	C0.4	200.78	206.50	CE.8	245.31
149.75	95.C	67.968	164.00	A4.0	112.50	178.25	B2.4	157.03	192.50	C0.8	201.56	206.75	CE.C	246.09
150.00	96.0	68.750	164.25	A4.4	113.28	178.50	B2.8	157.81	192.75	C0.C	202.34	207.00	CF.0	246.87
150.25	96.4	69.531	164.50	A4.8	114.06	178.75	B2.C	158.59	193.00	C1.0	203.12	207.25	CF.4	247.65
150.50	96.8	70.312	164.75	A4.C	114.84	179.00	B3.0	159.37	193.25	C1.4	203.90	207.50	CF.8	248.43
150.75	96.C	71.093	165.00	A5.0	115.62	179.25	B3.4	160.15	193.50	C1.8	204.68	207.75	CF.C	249.21
151.00	97.0	71.875	165.25	A5.4	116.40	179.50	B3.8	160.93	193.75	C1.C	205.46	208.00	D0.0	250.00
151.25	97.4	72.656	165.50	A5.8	117.18	179.75	B3.C	161.71	194.00	C2.0	206.25	208.25	D0.4	250.78
151.50	97.8	73.437	165.75	A5.C	117.96	180.00	B4.0	162.50	194.25	C2.4	207.03	208.50	D0.8	251.56
151.75	97.C	74.218	166.00	A6.0	118.75	180.25	B4.4	163.28	194.50	C2.8	207.81	208.75	D0.C	252.34
152.00	98.0	75.000	166.25	A6.4	119.53	180.50	B4.8	164.06	194.75	C2.C	208.59	209.00	D1.0	253.12
152.25	98.4	75.781	166.50	A6.8	120.31	180.75	B4.C	164.84	195.00	C3.0	209.37	209.25	D1.4	253.90
152.50	98.8	76.562	166.75	A6.C	121.09	181.00	B5.0	165.62	195.25	C3.4	210.15	209.50	D1.8	254.68
152.75	98.C	77.343	167.00	A7.0	121.87	181.25	B5.4	166.40	195.50	C3.8	210.93	209.75	D1.C	255.46
153.00	99.0	78.125	167.25	A7.4	122.65	181.50	B5.8	167.18	195.75	C3.C	211.71	210.00	D2.0	256.25
153.25	99.4	78.906	167.50	A7.8	123.43	181.75	B5.C	167.96	196.00	C4.0	212.50	210.25	D2.4	257.03
153.50	99.8	79.687	167.75	A7.C	124.21	182.00	B6.0	168.75	196.25	C4.4	213.28	210.50	D2.8	257.81
153.75	99.C	80.468	168.00	A8.0	125.00	182.25	B6.4	169.53	196.50	C4.8	214.06	210.75	D2.C	258.59

шаг	hex	mV	шаг	hex	mV	шаг	hex	mV	шаг	hex	mV	шаг	hex	mV
211.00	D3.0	259.37	220.00	DC.0	287.50	229.00	E5.0	315.62	238.00	EE.0	343.75	247.00	F7.0	371.87
211.25	D3.4	260.15	220.25	DC.4	288.28	229.25	E5.4	316.40	238.25	EE.4	344.53	247.25	F7.4	372.65
211.50	D3.8	260.93	220.50	DC.8	289.06	229.50	E5.8	317.18	238.50	EE.8	345.31	247.50	F7.8	373.43
211.75	D3.C	261.71	220.75	DC.C	289.84	229.75	E5.C	317.96	238.75	EE.C	346.09	247.75	F7.C	374.21
212.00	D4.0	262.50	221.00	DD.0	290.62	230.00	E6.0	318.75	239.00	EF.0	346.87	248.00	F8.0	375.00
212.25	D4.4	263.28	221.25	DD.4	291.40	230.25	E6.4	319.53	239.25	EF.4	347.65	248.25	F8.4	375.78
212.50	D4.8	264.06	221.50	DD.8	292.18	230.50	E6.8	320.31	239.50	EF.8	348.43	248.50	F8.8	376.56
212.75	D4.C	264.84	221.75	DD.C	292.96	230.75	E6.C	321.09	239.75	EF.C	349.21	248.75	F8.C	377.34
213.00	D5.0	265.62	222.00	DE.0	293.75	231.00	E7.0	321.87	240.00	F0.0	350.00	249.00	F9.0	378.12
213.25	D5.4	266.40	222.25	DE.4	294.53	231.25	E7.4	322.65	240.25	F0.4	350.78	249.25	F9.4	378.90
213.50	D5.8	267.18	222.50	DE.8	295.31	231.50	E7.8	323.43	240.50	F0.8	351.56	249.50	F9.8	379.68
213.75	D5.C	267.96	222.75	DE.C	296.09	231.75	E7.C	324.21	240.75	F0.C	352.34	249.75	F9.C	380.46
214.00	D6.0	268.75	223.00	DF.0	296.87	232.00	E8.0	325.00	241.00	F1.0	353.12	250.00	FA.0	381.25
214.25	D6.4	269.53	223.25	DF.4	297.65	232.25	E8.4	325.78	241.25	F1.4	353.90	250.25	FA.4	382.03
214.50	D6.8	270.31	223.50	DF.8	298.43	232.50	E8.8	326.56	241.50	F1.8	354.68	250.50	FA.8	382.81
214.75	D6.C	271.09	223.75	DF.C	299.21	232.75	E8.C	327.34	241.75	F1.C	355.46	250.75	FA.C	383.59
215.00	D7.0	271.87	224.00	E0.0	300.00	233.00	E9.0	328.12	242.00	F2.0	356.25	251.00	FB.0	384.37
215.25	D7.4	272.65	224.25	E0.4	300.78	233.25	E9.4	328.90	242.25	F2.4	357.03	251.25	FB.4	385.15
215.50	D7.8	273.43	224.50	E0.8	301.56	233.50	E9.8	329.68	242.50	F2.8	357.81	251.50	FB.8	385.93
215.75	D7.C	274.21	224.75	E0.C	302.34	233.75	E9.C	330.46	242.75	F2.C	358.59	251.75	FB.C	386.71
216.00	D8.0	275.00	225.00	E1.0	303.12	234.00	EA.0	331.25	243.00	F3.0	359.37	252.00	FC.0	387.50
216.25	D8.4	275.78	225.25	E1.4	303.90	234.25	EA.4	332.03	243.25	F3.4	360.15	252.25	FC.4	388.28
216.50	D8.8	276.56	225.50	E1.8	304.68	234.50	EA.8	332.81	243.50	F3.8	360.93	252.50	FC.8	389.06
216.75	D8.C	277.34	225.75	E1.C	305.46	234.75	EA.C	333.59	243.75	F3.C	361.71	252.75	FC.C	389.84
217.00	D9.0	278.12	226.00	E2.0	306.25	235.00	EB.0	334.37	244.00	F4.0	362.50	253.00	FD.0	390.62
217.25	D9.4	278.90	226.25	E2.4	307.03	235.25	EB.4	335.15	244.25	F4.4	363.28	253.25	FD.4	391.40
217.50	D9.8	279.68	226.50	E2.8	307.81	235.50	EB.8	335.93	244.50	F4.8	364.06	253.50	FD.8	392.18
217.75	D9.C	280.46	226.75	E2.C	308.59	235.75	EB.C	336.71	244.75	F4.C	364.84	253.75	FD.C	392.96
218.00	DA.0	281.25	227.00	E3.0	309.37	236.00	EC.0	337.50	245.00	F5.0	365.62	254.00	FE.0	393.75
218.25	DA.4	282.03	227.25	E3.4	310.15	236.25	EC.4	338.28	245.25	F5.4	366.40	254.25	FE.4	394.53
218.50	DA.8	282.81	227.50	E3.8	310.93	236.50	EC.8	339.06	245.50	F5.8	367.18	254.50	FE.8	395.31
218.75	DA.C	283.59	227.75	E3.C	311.71	236.75	EC.C	339.84	245.75	F5.C	367.96	254.75	FE.C	396.09
219.00	DB.0	284.37	228.00	E4.0	312.50	237.00	ED.0	340.62	246.00	F6.0	368.75			
219.25	DB.4	285.15	228.25	E4.4	313.28	237.25	ED.4	341.40	246.25	F6.4	369.53			
219.50	DB.8	285.93	228.50	E4.8	314.06	237.50	ED.8	342.18	246.50	F6.8	370.31			
219.75	DB.C	286.71	228.75	E4.C	314.84	237.75	ED.C	342.96	246.75	F6.C	371.09			

Стандарты и спецификации

В этом разделе перечислены официальные документы по стандартам, включающие каждый интерфейс, обсуждаемый в данном документе.

Номера версий и/или даты выпуска были самыми последними на момент подготовки документа; пользователи должны убедиться, что они используют наиболее соответствующую версию для тестируемого оборудования или системы.

Стандарты цифрового видео (4:2:2 и 4:4:4)

[S.1] ITU–R Recommendation BT.601–3: *Encoding parameters of digital television for studios.*
Рекомендация ITU-R BT.601-3: *Параметры кодирования цифрового телевидения для студий.*

[S.2] EBU Technical Statement D72–1992: *Digital production standard for 16:9 television programmes*
Техническая спецификация EBU D72-1992: *Стандарт цифрового производства для телевизионных программ 16:9*

[S.3] EBU document Tech. 3267 (2nd edition, 1992): *EBU interfaces for 625–line digital video signals at the 4:2:2 level of CCIR Recommendation 601*
Документ EBU Tech. 3267 (2-е издание, 1992): *Интерфейсы EBU для 625-строчных цифровых видеосигналов на уровне 4:2:2 по Рекомендации CCIR 601*

[S.4] EBU document Tech. 3268 (2nd edition, 1992): *EBU interfaces for 625–line digital video signals at the 4:4:4 level of CCIR Recommendation 601*
Документ EBU Tech. 3268 (2-е издание, 1992): *Интерфейсы EBU для 625-строчных цифровых видеосигналов на уровне 4:4:4 Рекомендации CCIR 601*

[S.5] ITU–R Recommendation BT.656–1: *Interfaces for digital component video signals in 525–line and 625–line television systems operating at the 4:2:2 level of Recommendation 601.*
Рекомендация ITU-R BT.656-1: *Интерфейсы для цифровых компонентных видеосигналов в 525- и 625-строчных телевизионных системах, работающих на уровне 4:2:2 Рекомендации 601.*

[S.6] SMPTE Standard 259M (January 1995): *SMPTE Standard for television – 10–bit 4:2:2 component and $4f_{sc}$ PAL digital signals, serial digital interface*
Стандарт SMPTE 259M (январь 1995): *Стандарт SMPTE для телевидения – 10-битные компонентные цифровые сигналы 4:2:2 и $4f_{sc}$ PAL, последовательный цифровой интерфейс*

[S.7] SMPTE Standard 125M (December 1994): *SMPTE Standard for television – Component video signal 4:2:2 – Bit–parallel digital interface*
Стандарт SMPTE 125M (декабрь 1994): *Стандарт SMPTE для телевидения – Компонентный видеосигнал 4:2:2 – параллельный цифровой интерфейс*

[S.8] SMPTE Standard 244M (September 1994): *SMPTE Standard for television – System M/NTSC, PAL video signals – Bit–parallel interface*
Стандарт SMPTE 244M (сентябрь 1994): *Стандарт SMPTE для телевидения – Система M/NTSC, видеосигналы PAL – параллельный интерфейс*

[S.9] SMPTE Standard 291M (JUanuary 1996): *SMPTE Standard for television – Ancillary data packet and space formatting*
Стандарт SMPTE 291M (январь 1996): *Стандарт SMPTE для телевидения – Пакет вспомогательных данных и форматирование пространства*

[S.10] Proposed SMPTE Standard 297M (May 1996): *SMPTE Standard for television – Serial digital fibre transmission system for ANSI/SMPTE 259M signals*
Предложенный Стандарт SMPTE 297M (май 1996): *Стандарт SMPTE для телевидения – Система последовательной цифровой волоконной передачи для сигналов ANSI/SMPTE 259M*

Другие стандарты цифрового видео

[S.11] SMPTE Standard 240M (1995): *SMPTE Standard for television – Signal parameters – 1125–line high–definition production systems*
Стандарт SMPTE 240M (1995): *Стандарт SMPTE для телевидения – Параметры сигнала – 1125-строчные производственные системы с высокой четкостью*

[S.12] SMPTE Standard 260M (1992): *SMPTE Standard for television – Digital representation and bit–parallel interface – 1125/60 high–definition production system*
Стандарт SMPTE 260M (1992): *Стандарт SMPTE для телевидения – Цифровая представление и параллельный интерфейс – производственная система высокой четкости 1125/60*

[S.13] CCIR Recommendation 721: *Transmission of component–coded digital television signals for contribution–quality applications at bit–rates near 140 Mbit/s*
Рекомендация CCIR 721: *Передача компонентно-кодированных цифровых телевизионных сигналов для приложений с качеством contribution (сбора) со скоростью около 140 Мбит/с*

[S.14] CCIR Recommendation 723: *Transmission of component–coded digital television signals for contribution–quality applications at the third hierarchical level of CCITT Recommendation G.702*
Рекомендация CCIR 723: *Передача компонентно-кодированных цифровых телевизионных сигналов для приложений с качеством contribution (сбора) на третьем иерархическом уровне по Рекомендации CCITT G.702*

[S.15] European Telecommunication Standard ETS 300 174: *Network aspects: Digital coding of component televi-sion signals for contribution quality applications in the range 34–45 Mbit/s*
Европейский стандарт связи ETS 300 174: *Сетевые аспекты: Цифровое кодирование компонентных телевизионных сигналов для приложений с качеством contribution (сбора) в диапазоне 34-45 Мбит/с*

[S.16] ITU–R Recommendation BT.709–1: *Basic parameter values for the HDTV standard for the studio and for international programme exchange.*
Рекомендация ITU-R BT.709-1: *Значения базовых параметров для стандарта HDTV для студии и международного программного обмена.*

[S.17] ISO/IEC IS 13818–1 (1995): Coding of moving pictures and associated audio – Part 1: "Systems"
ISO/IEC IS 13818–1 (1995): Coding of moving pictures and associated audio – Part 2: "Video"
ISO/IEC IS 13818–1 (1995): Coding of moving pictures and associated audio – Part 3: "Audio"
ISO/IEC IS 13818-1 (1995): Кодирование подвижных изображений и связанного с ними звука – Часть 1: "Системы"
ISO/IEC IS 13818-1 (1995): Кодирование подвижных изображений и связанного с ними звука – Часть 2: "Видео"
ISO/IEC IS 13818-1 (1995): Кодирование подвижных изображений и связанного с ними звука – Часть 3: "Аудио"

[S.18] EBU document Tech. 3280 (1995): *Specification of interfaces for 625–line digital PAL signals*
Документ EBU Tech. 3280 (1995): *Спецификация интерфейсов для 625-строчных цифровых сигналов PAL*

[S.19] European Telecommunication Standard ETS 300 294: *Television systems; 625–line television: Wide Screen Signalling (WSS)*
Европейский стандарт связи ETS 300 294: *Телевизионные системы; 625-строчное телевидение: Широкоэкранная сигналинг (WSS)*

Стандарты аналогового звука

[S.20] EBU Technical Standard N10–1989: *Parallel interface for analogue component video signals*
Synchronization, timing
[S.20] Технический стандарт EBU N10-1989: *Параллельный интерфейс для аналоговых компонентных видеосигналов.* **Синхронизация**

[S.21] EBU Technical Standard N14–1988: *Specification of a reference signal for the synchronization of 625–line component digital equipment*
Технический стандарт EBU N14-1988: *Спецификация опорного сигнала для синхронизации 625-строчного компонентного цифрового оборудования*

[S.22] ITU–R Recommendation BT.711–1: *Synchronizing reference signals for the component digital studio.*
(See also draft revision in ITU document 11/BL/39 – May 1992)
Рекомендация ITU-R BT.711-1: *Синхронизирующие опорные сигналы для компонентной цифровой студии.* (См. также проект пересмотра документа ITU 11/BL/39 – май 1992)

[S.23] EBU Technical Recommendation R37–1986: *The relative timing of the sound and vision components of a television signal*
Техническая рекомендация EBU R37-1986: *Относительная синхронизация звуковых и видео компонен тов телевизионного сигнала*

[S.24] SMPTE Recommended Practice 168 (April 1993): *Definition of vertical interval switching point for synchro-nous video switching*
Рекомендуемая практика SMPTE 168 (апрель 1993): *Определение точки переключения вертикального интервала для синхронной коммутации видео*

[S.25] SMPTE Recommended Practice RP187 (1995): *Center, aspect ratio and blanking of video images*
Digital audio standards (including integration within digital video signals)
Рекомендуемая практика SMPTE RP187 (1995): *Центр, форматное соотношение и гашение видео изображений.* **Стандарты цифрового звука (в т.ч. интеграция внутри цифровых видеосигналов)**

[S.26] EBU document Tech. 3250 (2nd edition, 1992): *Specification of the digital audio interface (The AES/EBU interface)*
Документ EBU Tech. 3250 (2-е издание, 1992): С*пецификация цифрового аудио интерфейса (Интерфейс AES/EBU)*
[S.27] EBU document Tech. 3250, Supplement 1 (1992): *Format for the user data channel*
Документ EBU Tech. 3250, Дополнение 1 (1992): *Формат канала пользовательских данных*
[S.28] EBU Technical Recommendation R69: *Format for ancillary data with digital audio signals*
Техническая рекомендация EBU R69: *Формат вспомогательных данных с цифровыми аудио сигналами*
[S.29] AES 3–1992: *AES Recommended Practice for digital audio engineering – Serial transmission format for two–channel linearly represented digital audio data*
AES 3-1992: *Рекомендуемая практика AES для проектирования цифрового звука – Формат последовательной передачи для 2-канальных линейно представленных цифровых аудио данных*
[S.30] ITU–R Recommendation BS.647–2: *A digital audio interface for broadcasting studios.*
Рекомендация ITU-R BS.647-2: *Цифровой аудио интерфейс для вещательных студий.*
[S.31] IEC Publication 958: *Digital audio interface*
Публикация IEC 958: *Цифровой аудио интерфейс*
[S.32] SMPTE Recommended Practice 272M (April 1994): *Proposed SMPTE standard for television – Formatting AES/EBU audio and auxiliary data into digital video ancillary data space*
Test signals, measurement, diagnostics, error processing
Рекомендуемая практика SMPTE 272M (апрель 1994): *Предложенный стандарт SMPTE для телевидения – Форматирование звуковых AES/EBU и вспомогательных данных в пространстве вспомогательных цифровых видео данных*
Тест-сигналы, измерения, диагностика, обработка ошибок
[S.33] ITU–R Recommendation BT.801: *Test signals for digitally encoded colour television signals conforming with Recommendations 601 and 656.*
Рекомендация ITU-R BT.801: *Тест-сигналы для цветных телевизионных сигналов с цифровым кодированием, удовлетворяющие Рекомендациям 601 и 656.*
[S.34] ARD/ZDF Messrichtlinien Pflichtenheft 8/1.1,, Kap. 1.14 (April 1995): *Messtechnik für digitale Video-signale* (Measurement guidelines for serial digital television)
ARD/ZDF Messrichtlinien Pflichtenheft 8/1.1,, Kap. 1.14 (апрель 1995): *Messtechnik für digitale Videosignale* (Руководство по измерению для последовательного цифрового телевидения)
[S.35] SMPTE Recommended Practice 178 (April 1996): *Serial digital interface check field for 10–bit 4:2:2 component and $4f_{sc}$ composite digital signals*
Рекомендуемая практика SMPTE 178 (апрель 1996): *Контрольный полукадр последовательного цифрового интерфейса для 10-битных компонентных 4:2:2 и композитных $4f_{sc}$ цифровых сигналов*
[S.36] EBU Technical Information I15–1989: *Testing for conformity with ITU–R Recommendations BT.601 and BT.656*
Техническая информация EBU I15-1989: *Тестирование на соответствие Рекомендациям ITU-R BT.601 и BT.656*
[S.37] SMPTE Recommended Practice 184 (1995): *Measurement of jitter in bit–serial digital interfaces*
Рекомендуемая практика SMPTE 184 (1995): *Измерение джиттеря в последовательных по битам цифровых интерфейсах*
[S.38] SMPTE Standard 273M (1995): *SMPTE Standard for television – Status, monitoring and diagnostic protocol*
Стандарт SMPTE 273M (1995): *Стандарт SMPTE для телевидения – Протокол состояния, мониторинга и диагностики*
[S.39] SMPTE Recommended Practice 165 (July 1994): *Error detection check words and status flags for use in bit serial digital interfaces for television*
Рекомендуемая практика SMPTE 165 (июль 1994): *Контрольные коды и флажки состояния обнаружения ошибок для применения в последовательных по битам цифровых интерфейсах для телевидения*
[S.40] SMPTE Standard 269M (October 1993): *SMPTE standard for television – Fault reporting in television systems*
Стандарт SMPTE 269M (октябрь 1993): *Стандарт SMPTE для телевидения – Оповещение о повреждениях в телевизионных системах*
[S.41] AES 11–1991: *AES Recommended Practice for digital audio engineering – Synchronization of digital audio equipment in studio operations*
AES 11-1991: *Рекомендуемая практика AES для проектирования цифрового звука – Синхронизация цифрового звукового оборудования в студийных операциях*
[S.42] AES 17–1991: *AES Standard method for digital audio engineering – Measurement of audio equipment*
AES 17-1991: *Стандартный метод AES для проектирования цифрового звука – Измерение звукового оборудования*

Стандарты цифровой телевизионной записи

Формат D1

[S.43] IEC Publication 1016: *Helical–scan digital component video cassette recording system using 19–mm magnetic tape (format D–1)*
Публикация IEC 1016: *Система записи на цифровые композитные видеокассеты со спиральной разверткой, использующая 19-мм магнитную ленту (формат D-1)*

[S.44] ITU–R Recommendation BT.657: *Digital television tape recording. Standards for the international ex-change of television programmes on magnetic tape.*
ITU-R Рекомендация BT.657: *Цифровая телевизионная запись на ленту. Стандарты международного обмена телевизионными программами на магнитной ленте.*

[S.45] SMPTE Recommended Practice 181 (April 1994): *Audio sector time code and equipment type information for 19–mm Type D–1 digital component recording*
Рекомендуемая практика SMPTE 181 (апрель 1994): *Тайм-код аудио сектора и информация о типе оборудования для цифровой компонентной записи 19-мм тип D-1*

Формат D2

[S.46] IEC Publication 1079: *Helical–scan digital composite video cassette recording system using 19–mm magnetic tape, format D–2 (NTSC, PAL, PAL–M)*
Публикация IEC 1079: *Система записи на цифровые композитные видеокассеты со спиральной разверткой, использующая 19-мм магнитную ленту, формат D-2 (NTSC, PAL, PAL-M)*

[S.47] SMPTE Recommended Practice 245M (December 1993): *SMPTE Standard for television digital recording – 19–mm Type D–2 PAL format – Tape record*
Рекомендуемая практика SMPTE 245M (декабрь 1993): *Стандарт SMPTE для телевизионной цифровой записи – 19-мм тип D-2 формат PAL – Запись на ленту*

[S.48] SMPTE Recommended Practice 246M (August 1993): *SMPTE Standard for television digital recording – 19–mm Type D–2 PAL format – Magnetic tape*
Рекомендуемая практика SMPTE 246M (август 1993): *Стандарт SMPTE для телевизионной цифровой записи – 19-мм тип D-2 формат PAL – Магнитная лента*

[S.49] SMPTE Recommended Practice 247M (December 1993): *SMPTE Standard for television digital recording – 19–mm Type D–2 PAL format – Helical data and control records*
Рекомендуемая практика SMPTE 247M (декабрь 1993): *Стандарт SMPTE для телевизионной цифровой записи – 19-мм тип D-2 формат PAL – Запись спиральных данных и управления*

[S.50] SMPTE Recommended Practice 248M (August 1993): *SMPTE Standard for television digital recording – 19–mm Type D–2 PAL format – Cue record and time and control code record*
Рекомендуемая практика SMPTE 248M (август 1993): *Стандарт SMPTE для телевизионной цифровой записи – 19-мм тип D-2 формат PAL – Запись точек монтажа и запись временного и управляющего кода*

Формат D3

[S.51] SMPTE Recommended Practice 263M (June 1993): *SMPTE Standard for television digital recording – 1/2–in. Type D–3 PAL format – Tape cassette*
Рекомендуемая практика SMPTE 263M (июнь 1993): *Стандарт SMPTE для телевизионной цифровой записи – 1/2" тип D-3 формат PAL – Кассета магнитной ленты*

[S.52] SMPTE Recommended Practice 264M (June 1993): *SMPTE Standard for television digital recording – 1/2–in. Type D–3 PAL format – 525/60*
Рекомендуемая практика SMPTE 264M (июнь 1993): *Стандарт SMPTE для телевизионной цифровой записи – 1/2" тип D-3 формат PAL – 525/60*

Формат D5

[S.53] SMPTE Standard 279M (May 1995): *SMPTE Standard for digital television recording – 1/2–in Type D–5 component format – 525/60 and 625/50*

Стандарт SMPTE 279M (май 1995): *Стандарт SMPTE для телевизионной цифровой записи – 1/2" тип D-5 компонентный формат – 525/60 и 625/50*

Приложение А

Джиттер в последовательном цифровом интерфейсе

Измерение джиттера в последовательном цифровом интерфейсе (SDI) на скорости 270 Мбит/с является, вероятно, наиболее трудным измерением во всей технологии телевизионных интерфейсов.

В этом Приложении рассматривается терминология, используемая для обсуждения феномена джиттера, методы для его устранения и влияние джиттера на характеристики цифровых систем.

А1. Определения джиттера и родственные понятия

В идеальной системе цифровой передачи отдельные биты потока данных будут иметь точно такую же фазу, что и соответствующий тактовый сигнал. В любой реальной системе биты данных, поступающие в приемник данных, отличаются от тактовых. Эта нежелательная фазово-импульсная модуляция и называется джиттером.

Количественно джиттер определяется частотой и амплитудой.

А1.1. Частота джиттера

Частоты джиттера удобно классифицировать в соответствии с их спектральным положением относительно характеристик фильтров в оборудовании SDI. *Рис. А1* показывает идеализированные характеристики фильтра для измерения джиттера и соответствующие передаточные функции экстрактора тактовых импульсов, обсуждаемого в *Разделе А5.1.*

a) Дрейф (Wander)

Дрейф – термин, используемый для описания полного джиттера на частотах менее 10 Гц (ниже *B1* на *Рис. А1*).

Эта форма джиттера в данном документе не рассматривается[7].

b) Временной джиттер (Timing jitter) (абсолютный джиттер)

Временной (timing) джиттер определяется как отклонение во времени значащих моментов цифрового сигнала *относительно соответствующих опорных тактовых импульсов, для отклонений, происходящих на частоте более 10 Гц.*

c) Нивелируемый джиттер (Alignment jitter) (относительный джиттер)

Нивелируемый (a*lignment*) джиттер определяется как отклонение во времени значащих моментов цифрового сигнала *относительно соответствующих восстановленных тактовых импульсов.*

d) Абсолютный или “всечастотный” джиттер (Absolute or "all–frequency" jitter) (включая дрейф)

Абсолютный джиттер определяется как отклонение во времени значащих моментов цифрового сигнала *относительно соответствующих опорных тактовых импульсов*.

А1.2. Амплитуда джиттера

Амплитуду джиттера удобно определять в термине “единичный интервал” ("unit intervals" – UI). Один UI – это номинальная продолжительность одного тактового периода. В области 270 МГц 1 UI соответствует продолжительности 3.7 нс.

Преимущество этой единицы измерения в том, что для разных скоростей передачи битов данная амплитуда джиттера, выраженная в UI, будет независима от скорости передачи данных.

[7] Однако метод измерения джиттера, рассматриваемый в *Разделе 4.2.5., Метод 4*, будет иметь эффекты дрейфа (wander).

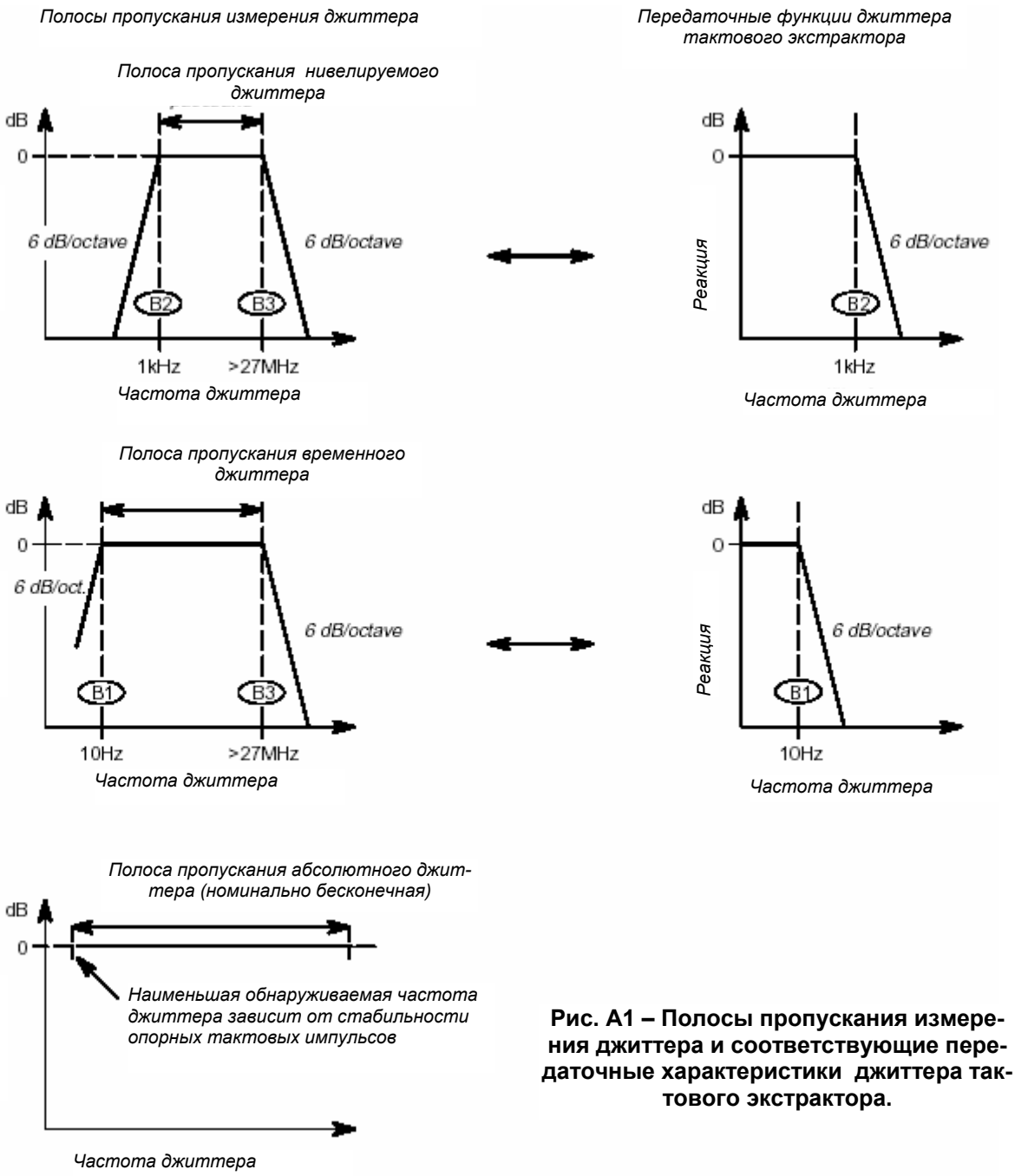


Рис. А1 – Полосы пропускания измерения джиттера и соответствующие передаточные характеристики джиттера тактового экстрактора.

А1.3. Передаточная функция джиттера

В устройстве, вырабатывающем последовательный выходной сигнал из последовательного входного, передаточная функция джиттера – это отношение джиттера выходного сигнала к приложенному ко входу джиттеру входного сигнала. Она измеряется как функция частоты.

Рис. А2 показывает воображаемую передаточную функцию джиттера регенератора данных с контуром фазовой АПЧ (ФАПЧ) с критическим перерегулированием. В диапазоне перерегулирования амплитуда джиттера приходящего сигнала будет увеличена. Если имеется каскад из ряда устройств ФАПЧ с идентичными характеристиками восстановления тактовых импульсов, то джиттер в диапазоне перерегулирования будет накапливаться пропорционально числу регенераторов в каскаде.

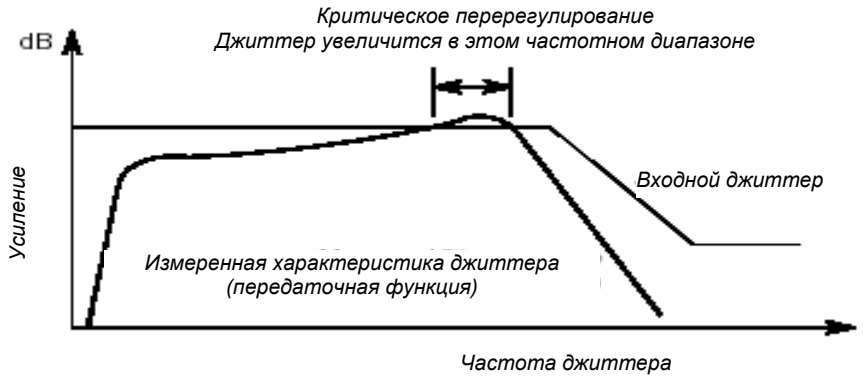


Рис. А2 – Передаточная функция джиттера регенератора данных с критическим перерегулированием.

А2. Подавление джиттера

В некоторых случаях, особенно на входе цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП), джиттер должен поддерживаться ниже 1 нс для видеосигналов и 0.1 нс для 16-битных аудио. Джиттер, превышающий эти пределы, может приводить к нелинейности и другим ошибкам в аналоговом сегменте[2][3].

Подавитель джиттера – это прибор, который принимает сигнал SDI с джиттером и выдает на выходе сигнал, который гораздо стабильнее и почти без джиттера. Блок-схема этого процесса показана на *Рис. А3*. Она состоит в основном из двух контуров с фазовой синхронизацией (ФАПЧ) и буфера обратного магазинного типа (FIFO).

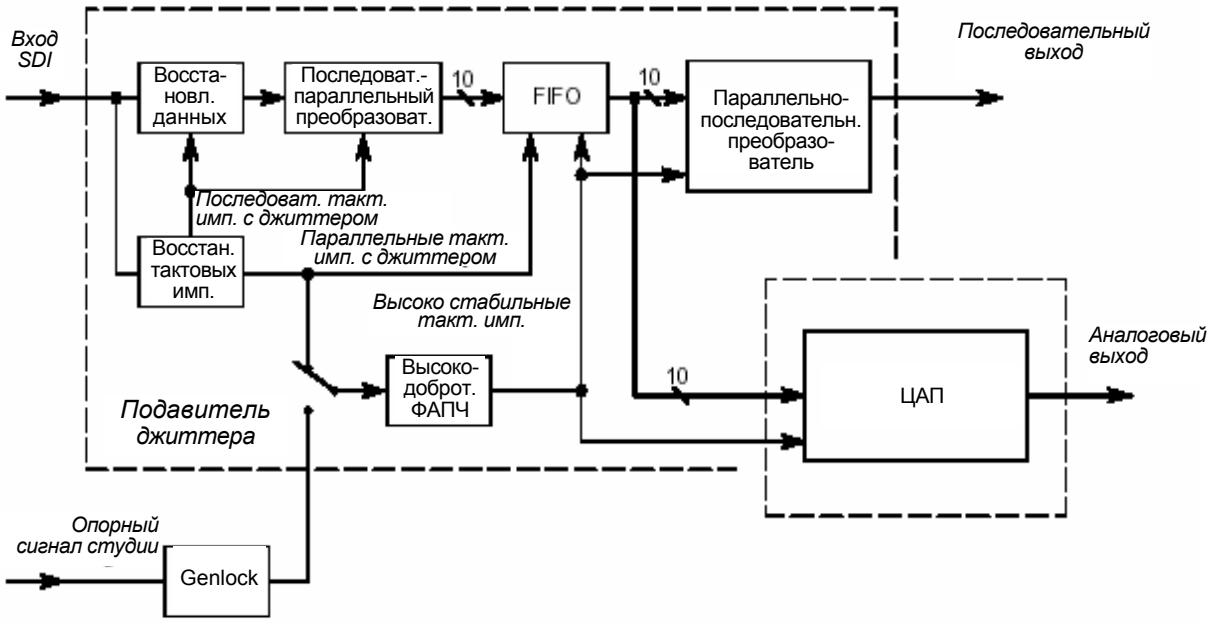


Рис. А3 – Блок-схема подавителя джиттера

Первая ФАПЧ имеет большую полосу частот и используется для извлечения тактовых импульсов из входного сигнала SDI и для его последовательно-параллельного преобразования. Тактовые импульсы делятся до скорости параллельной передачи данных, и эти новые импульсы используются для фиксации кодов данных в буфере FIFO.

Коды данных считываются из буфера FIFO при помощи вторых тактовых импульсов, обеспечиваемых стабилизированной кварцем высокодобротной ФАПЧ с узкой полосой частот. Результирующий выходной сигнал SDI почти не имеет джиттера.

Рис. А3 показывает пример ЦАП, на который подается выходной сигнал SDI, и сигнал тактовых импульсов, выдаваемый высокодобротной ФАПЧ подавителя джиттера.

Если в систему подается опорный сигнал студии в ведомом режиме (genlock), любой джиттер в опорном сигнале должен быть устранен перед обработкой в высокодобротной ФАПЧ; в противном случае джиттер передастся в выходной сигнал.

A3. Характеристики джиттера приемника SDI

Благодаря свойству самосинхронизации кода NRZI, используемого в SDI, приемник SDI может извлекать тактовые импульсы из входного последовательного потока данных для возможности восстановления данных. Соотношение синхронизации между данными и тактовым сигналом должно поддерживаться во всем тракте сигнала. Другими словами, если последовательный поток данных имеет тактовые импульсы, то они должны следовать тем же изменениями во времени, что и входные данные, чтобы синхронизация была без искажений.

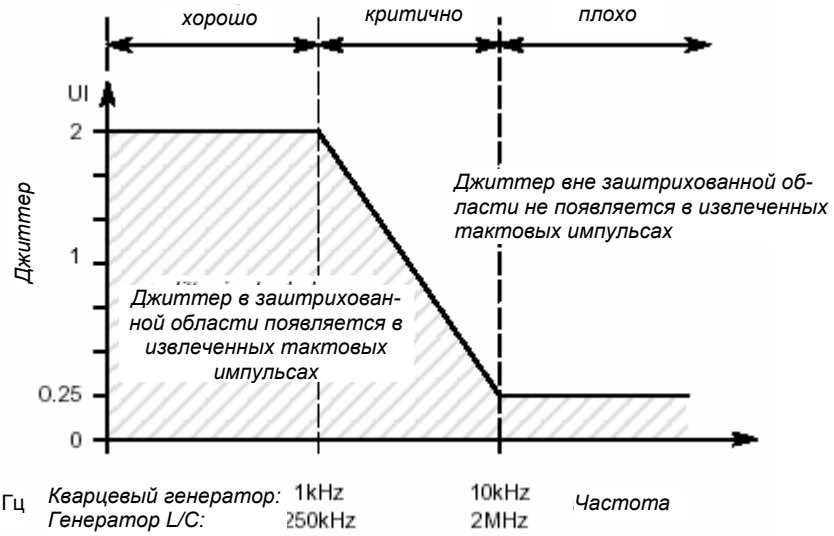
Точность, с которой приемник ФАПЧ может захватываться входным сигналом и отслеживать входной джиттер, зависит от полосы частот ФАПЧ – и определяет работу системы SDI. В приемнике ФАПЧ с полосой 10 МГц входной джиттер на частотах до 10 МГц будет передаваться в извлеченные тактовые импульсы. В этом случае будет поддерживаться синхронизация между данными и извлеченными тактовыми импульсами.

Если джиттер выше 10 МГц, он не будет передаваться в извлеченные тактовые импульсы. Синхронизация между данными и извлеченными тактовыми импульсами будет искажена, и возможны ошибки при тактировании данных.

Стандартный приемник ФАПЧ на основе L/C контура может легко захватываться по частоте несколькими частотами тактовых импульсов и в силу большого диапазона захвата может в принципе автоматически настраиваться на различные цифровые стандарты со скоростями передачи между 270 и 140 Мбит/с.

Ясно, что поскольку ФАПЧ способна следовать за джиттером до пределов своей частотной полосы (зависит от передаточной функции джиттера ФАПЧ), то любой низкочастотный джиттер должен быть существенно большим, чтобы это привело к ошибкам в процессе регенерации тактовых импульсов (reclocking). В случае использования ФАПЧ с L/C контуром максимальная частота джиттера и его амплитуда могут быть очень большими.

Высокоточное оборудование, такое как точный ЦАП, кроме обычной ФАПЧ 270 Мбит/с, имеет второй контур ФАПЧ, стабилизированный кварцем и работающий на 27 МГц. Второй ФАПЧ имеет узкую передаточную функцию джиттера – всего в несколько килогерц (см. *Рис. A4*).



Примечание: 1 UI = 3.7 нс при 270 МГц

Рис. A4 – Характеристика джиттера приемника SDI.

Когда измерения проводятся на приемниках, следует идентифицировать тип джиттера (на низких, средних или высоких частотах) и сделать запись о типе используемой ФАПЧ.

Джиттер в каждом из трех частотных диапазонов имеет абсолютно разные эффекты в устройстве восстановления синхронизации в зависимости от своей амплитуды [4][10]:

“Хороший” джиттер

Частоты джиттера, находящиеся в диапазоне восстановления тактовых импульсов системой ФАПЧ, будут полностью передаваться в восстановленный тактовый сигнал. Поэтому временные соотношения между данными и сигналом извлеченных тактовых импульсов будут такими же, как в исходном сигнале. Могут быть допустимы большие амплитуды джиттера.

“Критический” джиттер

Джиттер в среднечастотном диапазоне вблизи границ частотной полосы ФАПЧ (примерно 1-10 МГц для L/C ФАПЧ, 1-10 кГц для кварцованной ФАПЧ) будет частично передаваться в восстановленный тактовый сигнал. Это значит, что временные соотношения между сигналом данных и тактовым сигналом частично изменятся. Амплитуды джиттера, превышающие примерно 0.25 UI, могут вести к ошибкам *(Рис. A4)*.

“Плохой” джиттер

Частоты джиттера, выпадающие из частотной полосы ФАПЧ (выше примерно 10 или 15 МГц для L/C ФАПЧ, или выше 100 кГц для кварцованной ФАПЧ), не будут передаваться в восстановленные тактовые импульсы. Соотношение синхронизации между сигналом данных и извлеченными тактовыми импульсами поэтому исказится. Даже небольшие амплитуды джиттера могут вызвать в этом случае ошибки при тактировании данных.

A4. Эффекты джиттера в среде SDI

Низкочастотный джиттер

Возможны проблемы с устройствами, расположенными на периферии цифровой студии, такими как ЦАП и кодеры PAL. Определенные трудности могут случиться в системах, где цифровой звук встроен в SDI, или если SDI используется для извлечения аудио опоры.

Высокочастотный джиттер

Высокочастотный джиттер может вызывать ошибочные биты.

A4.1. Проблемы на периферии студии SDI

Цифро-аналоговые преобразователи

Джиттер будет генерировать ошибки линейности в ЦАП. Допуск для джиттера должен быть менее 1 нс для видеосигнала и менее 0.1 нс для 16-битного аудиосигнала. Это значит, что если сигнал SDI используется для извлечения тактовых импульсов для звукового ЦАП, следует уделить особое внимание устранению джиттера. Метод устранения джиттера рассмотрен в *Разделе A2*.

Кодеры PAL

В кодере PAL джиттер может вызвать отклонение фазы поднесущей относительно синхроимпульса строки (ScH) или джиттер строчных импульсов (H-джиттер). Амплитуда джиттера 0.7 нс в сигнале SDI вызовет джиттер фазы PAL 1°.

Интерфейс с сетями телекоммуникаций

Если используется транспортный уровень телекоммуникационных систем, в которых скорости передачи данных выше или ниже скорости SDI, возможны проблемы вследствие вставки битов и подобных процессов.

A4.2. Джиттер в сигнале SDI, вызванный опорным сигналом студии или сигналом внешней синхронизации

В большинстве цифровых студий сигнал 270 Мбит/с вырабатывается из частоты строк (сигнал H) аналогового опорного сигнала. Сигнал “черного поля” ("black burst"), используемый в качестве опоры и имеющий джиттер 4 нс, может генерировать джиттер в 4 нс на частоте 270 Мбит/с. Это соответствует более чем одному периоду (1 UI) сигнала 270 Мбит/с и находится за пределами допуска по спецификации SDI. Приемник, использующий устройство регенерации тактовых импульсов (reclocking) на основе L/C ФАПЧ, легко может отследить этот джиттер, если его частота низкая.

В параллельном интерфейсе допускается джиттер ± 3 нс. Если параллельный сигнал с погранично приемлемым джиттером преобразуется в скорость передачи последовательных данных посредством параллельно-последовательного преобразователя, параллельный джиттер также будет передан в последовательный сигнал.

Однако он выйдет за рамки допуска для SDI и может вызвать ошибки в последующем оборудовании. Приемник ФАПЧ опять-таки может отследить этот джиттер, если его частота достаточно низкая.

Подробнее по этой теме см. *Раздел 5.3.1.* и [2][6][7][10].

A5. Измерение джиттера

A5.1. Экстрактор тактовых импульсов

Несколько методов измерения джиттера, описанных в *Главе 4*, требуют использования “экстрактора тактовых импульсов”.

Это устройство, способное извлекать тактовые импульсы из входного последовательного цифрового потока и выдавать их в ряде форм, пригодных в качестве входного сигнала для измерительных инструментов.

Экстрактор тактовых импульсов включает три сегмента, каждый с отдельным выходом. Блок-схема показана на *Рис. A5.*

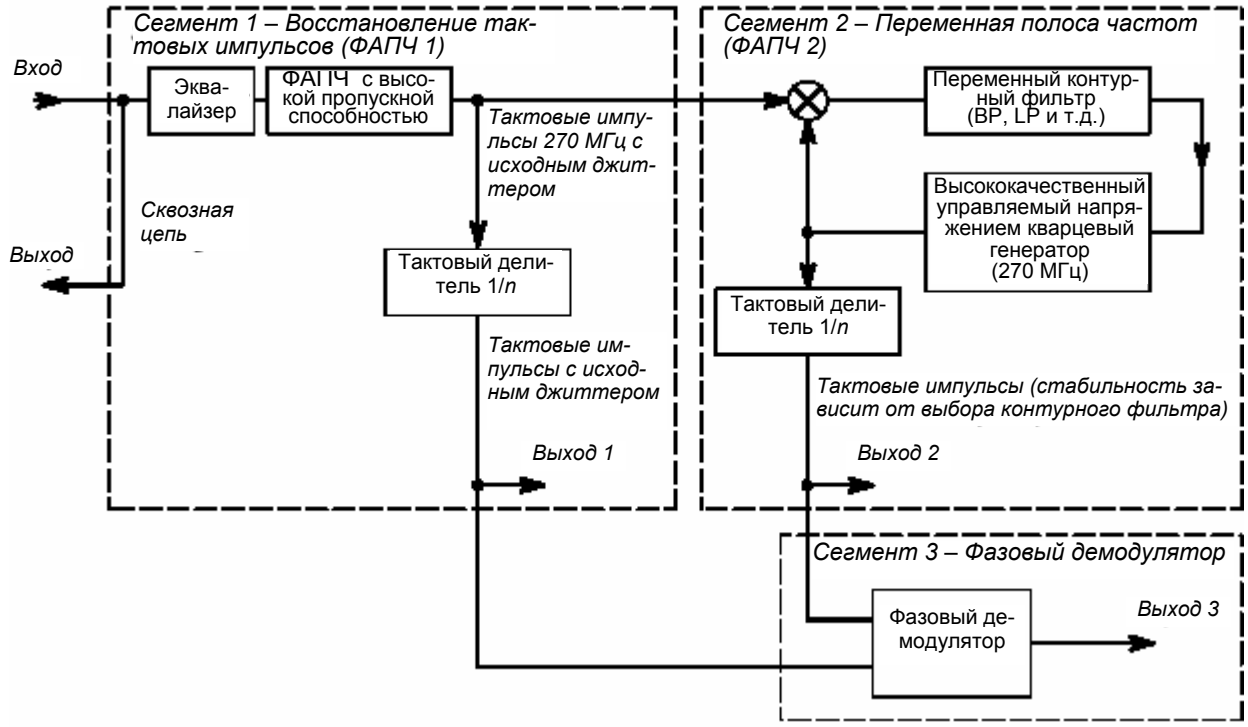


Рис. A5 – Блок-схема экстрактора тактовых импульсов с фазовым демодулятором.

Сегмент 1 – выход на анализатор спектра

Тракт высокой частоты этого сегмента имеет сквозную цепь для последовательного цифрового сигнала, обеспечивающую связь с сигналом с немодифицированным входным джиттером.

Остальные схемы этого сегмента состоят в основном из широкополосной схемы восстановления тактовых импульсов, которая подает на выход 1 тактовый сигнал несущей SDI примерно с теми же характеристиками джиттера, что и входной сигнал SDI.

Эта несущая SDI не модулирована сигналом, а боковые полосы содержат только частоты джиттера. Выход 1 может использоваться для подачи на анализатор спектра.

Когда надо измерить джиттер свыше 1 UI, в работу включается последовательный тактовый делитель для получения измеряемых фронтов с джиттером на дисплее осциллографа. Значение *n* выбирается согласно величине измеряемого джиттера и может влиять на измерения. Следует использовать минимально возможное значение *n*.

Например, если значение джиттера близко к 1 UI, то следует выбрать *n* = 3. Если джиттер больше 1 UI, то *n* следует увеличить. Обычно приемлемо значение *n* = 10, хотя оно может маскировать компоненты джиттера, коррелированные с кодом.

Значение делителя *n* должно быть записано наряду с результатами измерений джиттера в тестовом отчете.

Выходная частота – 270 МГц для нормальной операции и 270/*n* МГц при измерении джиттера более 1 UI, где *n* – коэффициент деления последовательного тактового делителя.

Сегмент 2 – выход для запуска осциллографа

Этот сегмент включает контур фазовой синхронизацией (ФАПЧ) с двумя выбираемыми частотными полосами. Они позволяют выбор двух разных передаточных функций джиттера.

Наклоны характеристик полосы пропускания должны быть 6 dB/октава или выше, а затухание вне полосы пропускания должно быть минимум 20 dB. Неравномерность в полосе пропускания должна быть менее ± 1dB.

При адекватном выборе контурного фильтра извлеченные тактовые импульсы будут отслеживать джиттер последовательного цифрового сигнала. Следует заметить, что система измеряет частоты джиттера, которые находятся вне частотной полосы ФАПЧ. Например, если полоса восстановления тактовых импульсов установлена на частоту отсечки 1 кГц, извлеченные тактовые импульсы будут отслеживать джиттер в последовательном цифровом сигнале до частоты 1 кГц.

Джиттер на частотах выше 1 кГц можно измерить, если этот извлеченный сигнал тактовых импульсов используется для запуска осциллографа, а наблюдается входящий последовательный цифровой сигнал.

Выходная частота – 270 МГц для нормальной операции и 270/*n* МГц при измерении джиттера более 1 UI, где *n* – коэффициент деления последовательного тактового делителя.

Сегмент 3 – выход фазового демодулятора для подачи на анализатор спектра или осциллограф FFT

Метод измерения фазовым демодулятором широко используется в телекоммуникационной индустрии для измерения джиттера и очень полезен, особенно в частотном диапазоне до 5 МГц. Однако он не охватывает частоты до 27 МГц, определенные для проверки характеристик SDI.

На фазовый демодулятор подается сигнал с выходов сегментов 1 и 2 экстрактора тактовых импульсов.

Выход фазового демодулятора соединяется с анализатором спектра или с осциллографом с возможностью отображения быстрого преобразования Фурье (FFT). Тогда можно наблюдать спектр джиттера с его частотами [10].

Приложение B

Компенсация и динамический диапазон в приемниках SDI

В этом Приложении дается вспомогательная информация по нескольким темам, связанным с характеристиками приемников данных, используемых в системах SDI.

Важно проводить четкое различие между автоматической операцией эквалайзера и динамическим диапазоном входного усилителя приемника SDI. Работа эквалайзера существенно зависит от амплитуды сигнала и длины кабеля, а динамический диапазон связан с низкочастотными ограничениями.

B1. Компенсация кабеля

В любой студийной реализации рекомендуется резервировать запас надежности в 6 dB, соответствующий примерно 80 м длины кабеля, относительно максимальной способности компенсации используемых приемников SDI.

Во время установки и последующего тестирования следует проводить “утяжеленные” испытания путем вставки кабеля на дополнительную длину и проверки, не ухудшились ли характеристики.

Если обнаруживается, что максимальная длина кабеля, допустимая системой, отличается в существенной степени в соответствии с типом используемого тестового сигнала (например, разница в 5 или 10 м между сигналом цветных полос и контрольным полукадром SDI), то это может указывать на проблему проекта.

Теоретически характеристика компенсации приемника должна быть точно противоположна характеристике кабеля, но практически эквалайзеры могут иметь несколько другие характеристики. Поэтому отслеживание характеристики кабеля $1/ f^{1/2}$ противоположной характеристикой эквалайзера не будет равносильным. Для выявления каких-либо недостатков эквалайзера следует провести тесты с кабелем в диапазоне между минимальной и максимальной длиной, для которой предназначен эквалайзер.

Рис. B1 показывает графики коэффициента ошибок как функции уровня сигнала SDI и длины кабеля для двух тест-сигналов. С сигналом цветных полос система постоянно работает хорошо, но при тест-сигнале контрольного полукадра SDI система сбоит при длине кабеля в диапазоне от 80 до 140 м, если уровень сигнала SDI 850 mV.

Следует заметить, что этот уровень находится *в пределах* допуска 800 mV ± 10%. Эта проблема встречается в оборудовании, использующем определенные наборы микросхем приемника.

B2. Динамический диапазон

Контрольный полукадр SDI имеет длинные последовательности логических “0”, повторяющихся вдоль полной горизонтальной строки.

Эти последовательности выявляют низкочастотные эффекты двух типов:

- Первый тип подобен изменению среднего уровня изображения (average picture level -- APL) в аналоговых видеосистемах и может потребовать гораздо больший динамический диапазон в усилителях после определенных форм цепочки связи. Если связь емкостная, то характеристики обычно можно улучшить использованием конденсатора большей емкости, но при индуктивной связи простого решения нет.

  Если система отказывается правильно работать при передаче контрольного полукадра SDI, это может быть вызвано проблемой эквалайзера. Или же причиной может быть комбинация недостаточного динамического диапазона усилителя и искажения формы сигнала, вызванные цепочкой связи.
- Вторая часть контрольного полукадра SDI производит только низкочастотную энергию без сдвига уровня постоянной составляющей; она тестирует эквалайзер, а также контур с фазовой синхронизацией (ФАПЧ).

Сдвиг постоянной составляющей тест-генератора и схема выходного усилителя передатчика SDI могут увеличить этот эффект (см. *Рис. B2*).

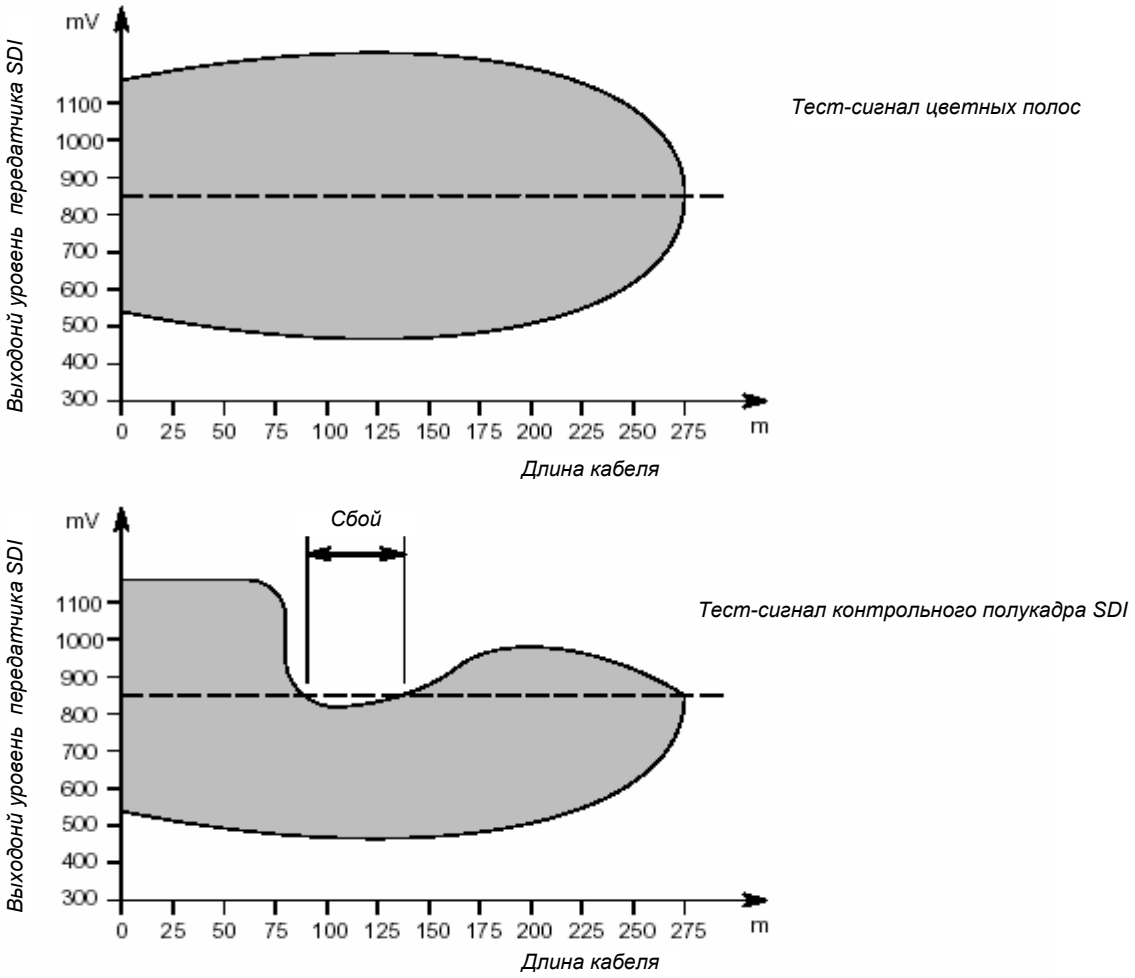


Рис. B1 – Примеры диапазона компенсации кабеля, показывающие зависимость от содержания тест-сигнала.

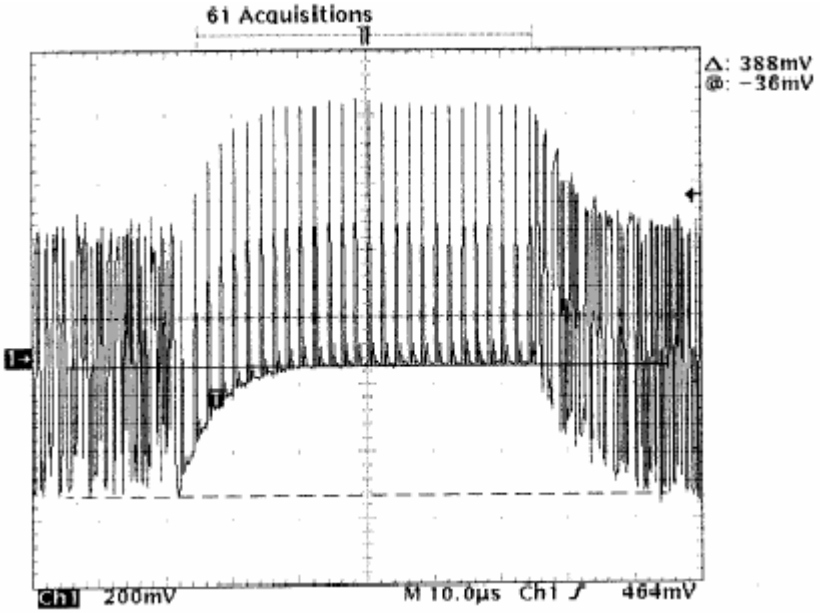


Рис. B2 – Пример сдвига постоянной составляющей в сигнале SDI.

Приложение С

Рыночный анализ измерительного оборудования для цифровых видеосигналов

(Июнь 1995)

Многие методы измерения, описанные в данном документе, требуют использования сложных тестовых и измерительных инструментов. Чтобы помочь читателям в выборе оборудования, удовлетворяющего их требованиям, EBU провел исследование тестовых инструментов, имеющихся на европейском рынке в июне 1995 г. В этом Приложении дается краткое описание оборудования, основанное, по существу, на рекламных материалах производителей и/или руководствах по оборудованию. В таблицах в *Разделе С9.* приводится сравнительное резюме вариантов измерений присутствующих здесь инструментов.

Упоминание определенных изготовителей или продукции не означает, что не существует пригодного оборудования других источников, и не подразумевает предпочтения со стороны Европейского Вещательного Союза какой-либо определенной продукции и изготовителей. EBU благодарит производителей за вклад в данное исследование.

С1. AAVS модель DSA 309

Производитель: AAVS
222-226 rue de Rosny
F-93100 Montreuil
France (Франция)

DSA 309 – анализатор цифрового видео всех форматов для тестирования компонентных и композитных цифровых видеосигналов в 525- и 625-строчных форматах.

Непрерывное измерение в реальном времени “on-line” всех ключевых параметров позволяет “живой” мониторинг следующих характеристик:

- последовательный джиттер;
- цветовые уровни;
- ошибки EDH;
- активность битов;
- амплитуда сигнала;
- ошибки битов четности;
- ошибки опорного сигнала синхронизации (TRS);
- ошибки зарезервированных кодов;
- ошибки не рекомендуемых кодовых значений.

Мониторинг цветового уровня в реальном времени позволяет обнаружение “недопустимых” цветов.

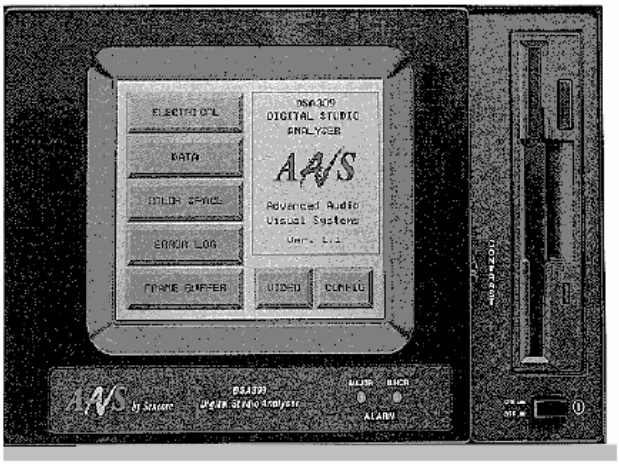


Рис. 16 – Измерительный комплект AAVS модель DSA 309

Регистрация ошибок позволяет мониторинг и документацию системных характеристик или хранение на встроенном жидкокристаллическом индикаторе, внешнем принтере или встроенном 3 1/2” флоппи-дисководе.

Сбой в пользовательском интерфейсе дает оповещение, когда превышены определенные пользователем пороги.

Комплексные цифровые дисплеи, дополненные имитированными эквивалентами аналоговой формы сигнала, помогают перекинуть мост между аналоговым и цифровым тестированием, создавая удобный интерфейс и для операторов, и для инженеров.

Операция и управление оборудованием происходит посредством сенсорного дисплея.

C2. AAVS модель S310

Производитель: AAVS
222-226 rue de Rosny
F-93100 Montreuil
France (Франция)

S310 – модульный комплект для тестовых измерений для последовательных и параллельных видеосигналов. Имеются четыре модуля:

Эксплуатационный модуль (S310-3)

Это сервисный модуль для проведения обслуживания цифрового видео оборудования. Имеет пять выходов BNC для следующих сигналов:

- импульсы полукадров (F);
- вертикальный импульсы (V);
- горизонтальные импульсы (H);
- сервисный синхроимпульс;
- выход

Сигнал, выдаваемый на “выходном” разъеме, выбирается при помощи клавиатуры в зависимости от типа проводимого теста.

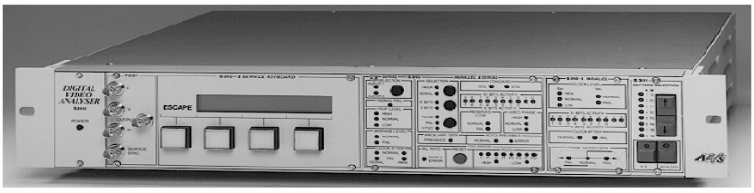


Рис. 17 – AAVS модель S 310 с интегрированным генератором шаблонов S 311

Параллельный и последовательный модуль (S310)

Это контрольный модуль характеристик параллельных и последовательных сигналов. Он может быть установлен пользователем на контроль параллельных или последовательных потоков битов в 8- или 10-битном режиме, передавая Y,C_R,C_B, PAL или NTSC. Светодиоды на лицевой панели дают следующие показания:

пиковая амплитуда сигнала	высоко, нормально, низко
средний уровень	нормально, сбой
джиттер тактовых импульсов	нормально, сбой
стандарт	625 / 525
активность битов	0 ... 9
заголовок	нормально, сбой
зарезервированный код	нормально, сбой
вспомогательные данные	наличие
ошибка TRS	высоко, низко, 0 ... 7 (с кнопкой сброса)
диапазон видео	высоко, нормально, низко
ошибка четности	

Параллельный модуль (S310-1)

Этот модуль дает дополнительные показания по следующим характеристикам сигнала параллельного интерфейса:

амплитуда (пиковая)	высоко, нормально, низко
амплитуда (средняя)	нормально, сбой
уровень битов	0 ... 9
джиттер тактовых импульсов	нормально, сбой
фаза тактовые импульсы/данные	сбой – нормально – сбой

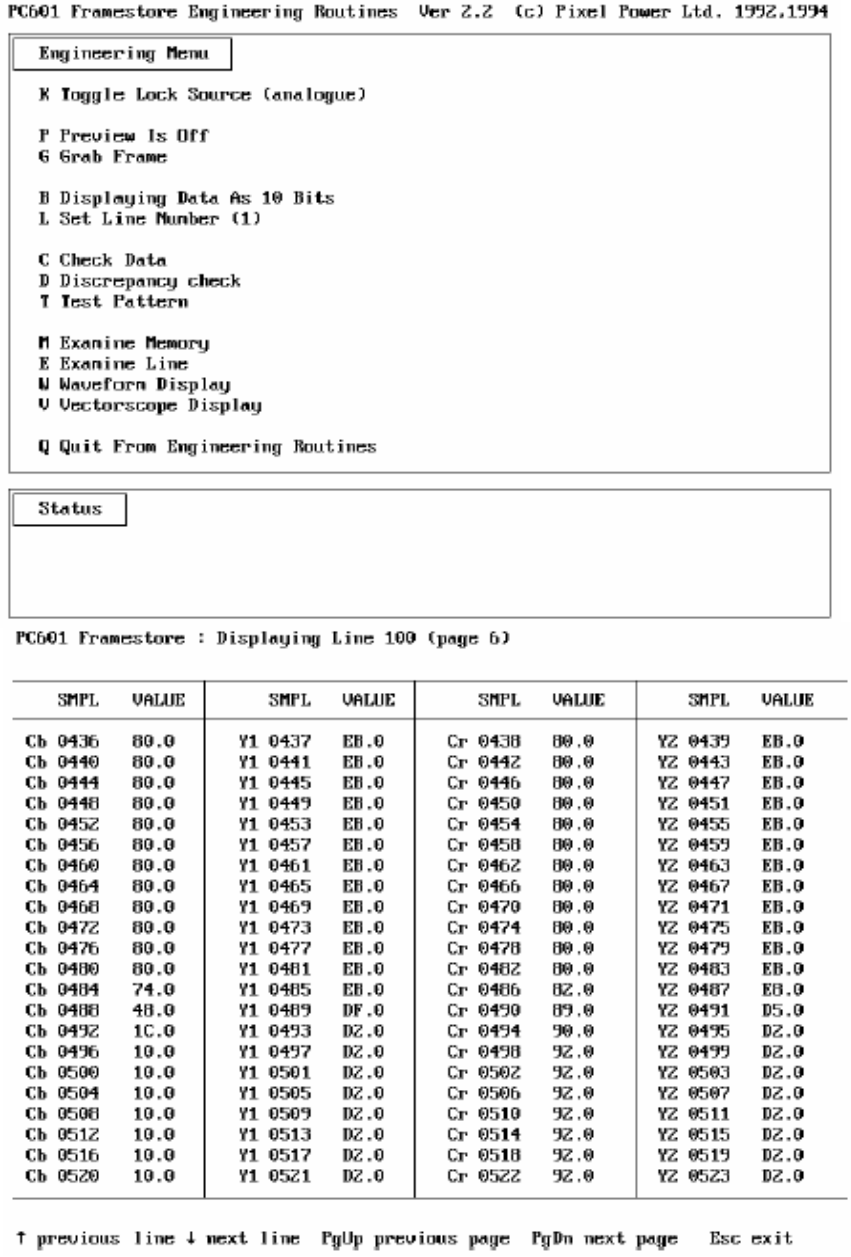
Генератор шаблонов (S311)

Этот модуль дает выбор из 15 встроенных тестовых шаблонов и возможность загрузки 16-го шаблона, созданного на персональном компьютере. Модуль шаблонов можно синхронизировать с аналоговым сигналом черного поля или с цифровым видеосигналом.

C3. Кадровый накопитель Pixel Power модель PC601

Производитель: Pixel Power Ltd.
Nuffield Road
Cambridge, CB4 1TG
United Kingdom (Великобритания)

PC601 – цифровой кадровый накопитель на базе PC с программным обеспечением для отображения формы сигнала и векторов, шестнадцатеричного вывода и проверки данных. Функции и дисплеи этой системы проиллюстрированы на *Рис. 18.*



Главное меню

Шестнадцатеричный вывод выбранной строки

Рис. 18 – Дисплеи программного обеспечения Pixel Power PC 601

Отображение формы сигнала

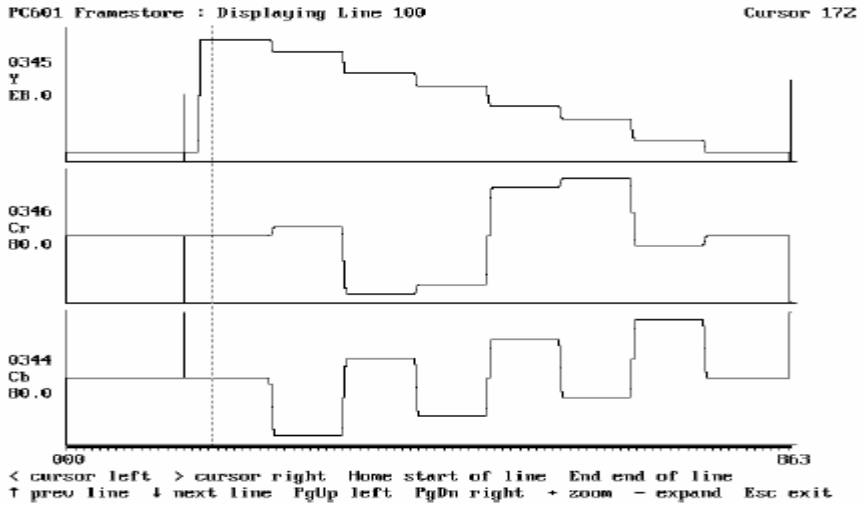


Рис. 18 (продолжение) – Дисплеи программного обеспечения Pixel Power PC 601

C4. Rohde & Schwarz модель VCA

Производитель: Rohde & Schwarz
Postfach 80 14 69
D-81671 München
Germany (Германия)

Анализатор цифрового компонентного видео модели VCA предназначен для параллельных и последовательных сигналов. Он дает квазианалоговое отображение и табличное отображение данных в видеосигнале при помощи встроенного жидкокристаллического индикатора.

Характеристики включают возможность измерения джиттера, анализ спектра, потери на отражение и задержку (с использованием устройства внешней синхронизации).

Функции анализатора VCA делятся на три группы:

Функции осциллографа:
- отображение наложенных форм сигнала нескольких строк из разных полукадров;
- форма сигнала с селектором строки;
- отображение шестнадцатеричного вывода всех видео данных.

Измерительные функции:
- ошибки TRS;
- ошибки зарезервированного кода;
- ошибки видео диапазона;
- ошибки CRC;
- ошибки задержки усиления;
- спектр джиттера;
- время джиттера;
- спектр амплитуды;
- потери на отражение;
- задержка сигнала.

Прибор предлагает несколько других возможностей, в том числе:
- ошибки формата могут быть показаны как коэффициент ошибок или дисплей истории;
- усреднение;
- теоретическая фильтрация формы сигнала согласно Рекомендации ITU-R BT.601;
- дистанционное управление через интерфейс RS 422 (конфигурируемый для операции RS 232);
- опции распечатки экрана на внешнем строчном принтере через интерфейс RS 232.

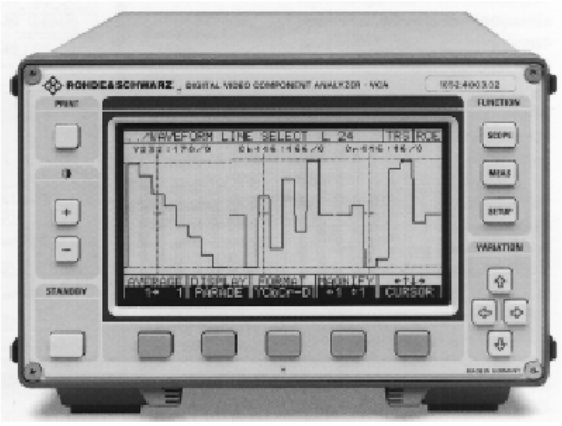
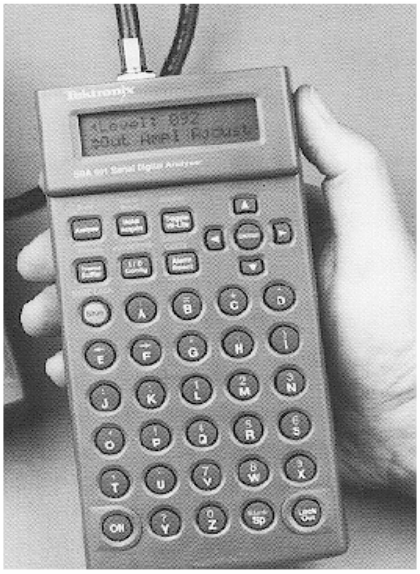


Рис. 19 – Анализатор видео Rohde & Schwarz модель VCA

C5. Tektronix модель SDA 601



Производитель: Tektronik Inc, USA
PO Box 500M/S 50-439
Beaverton, OR 97077
USA (США)

Последовательный цифровой анализатор Tektronix SDA 601 дает быстрый обзор цифрового видеосигнала. Он обнаруживает и идентифицирует формат данных и ошибки видео формата, показывает состояние EDH (Рекомендуемая практика SMPTE RP165) и сообщает о любых других вспомогательных данных.

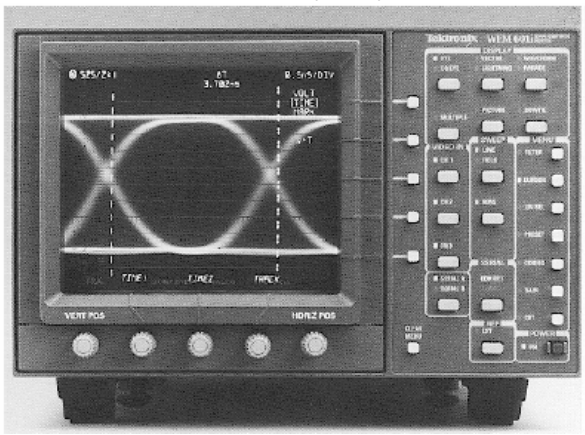
Информация отображается на встроенном дисплее или на внешнем видеомониторе; она также может передаваться прямо в компьютер или принтер через интерфейс RS 232.

Анализатор SDA 601 может проверять, чтобы компоненты сигнала Y, C_B, C_R были в системных пределах. Он также может хранить опорные сигналы и видеокадр после обнаружения ошибки.

Рис. 20 – Анализатор последовательного цифрового видео Tektronix SDA 601

C6. Tektronix модели WFM 601 и WFM 601i

Производитель: Tektronik Inc, USA
PO Box 500M/S 50-439
Beaverton, OR 97077
USA (США)



Tektronix 601i – автономный монитор компонентной формы сигнала/вектора. Он отображает последовательные цифровые цветоразностные сигналы после внутреннего преобразования D/A, в одной из нескольких форм: вектор, подсветка, ромб, режим “бабочка” или режим парад/форма сигнала в формате RGB или Y, C_B, C_R.

В физической области версия 601i также отображает (дискретизированную) глазковую диаграмму последовательного цифрового видеосигнала.

Рис. 21 – Монитор формы последовательного цифрового сигнала Tektronix WFM 601i

Другие характеристики:

- курсоры синхронизации и уровня;
- селектор строки;
- видеомонитор;
- система обнаружения и управления вспомогательными данными и EDH;
- аналоговый выход монитора RGB или Y, C_B, C_R с выбираемой индикацией гаммы;
- индикация на лицевой панели (LED) ошибок передачи или формата;
- возможность синхронизации к внешней аналоговой опоре черного импульса.

C7. Строчный накопитель Viewtronix с программным обеспечением Digiview

Производитель: Viewtronix Ltd.
Butts Road
Woking
GB-Surrey GU21 1JU
United Kingdom (Великобритания)

Система Digiview состоит из цифрового строчного накопителя на базе PC и программного обеспечения для проверки строки цифровых данных. Имеет параллельный вход, последовательный вход – опция.

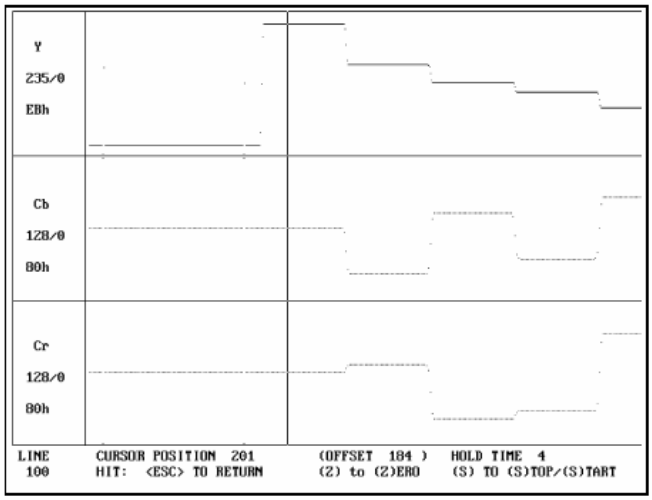


Рис. 22 – Дисплей формы сигнала программного обеспечения Digiview

Система отображает данные в позиции курсора, в шестнадцатеричной (8- или 10-битных значениях) и десятичной системе.

Каждая выборка может отображаться индивидуально. Устройство проверки TRS не в реальном времени может запускаться извне и дает выход на аналоговый монитор с высвечиванием текущей позиции курсором.

Опции меню включают следующие функции:

- системная конфигурация: 8 или 10 бит, режим запуска (случайный, ошибка строки,
  - внешний), циклический режим
- запуск захвата данных
- просмотр и измерение текущих данных: табличное отображение данных:
  - отображение формы сигнала (демультиплексированные
  - компоненты)
  - отображение полностроочной компоненты
  - отображение формы сигнала одной компоненты
  - обзор (все данные, не демультиплексированные)
  - прямое отображение (не демультиплексированное)
  - векторное отображение
  - активность битов
- сравнение данных — сравнение с данными, хранящимися на жестком диске
- управление файлами — сохранение/загрузка данных на/с жесткого диска
- автопроверка TRS — проверка опорного сигнала синхронизации не в реальном времени
- вспомогательные данные — отображение всех данных после заголовка ANC

- поиск последовательности — запускается при предопределенной последовательности
- производственный тест с хранимыми данными — проверка TRS и сравнение нескольких строк данных

C8. Строчный накопитель Viewtronix с программным обеспечением RBT

Производители:

накопитель:
Viewtronix Ltd.
Butts Road
Woking
GB-Surrey GU21 1JU
United Kingdom (Великобритания)

программное обеспечение:
Rundfunk Betriebstechnik GmbH (RBT)
Videotechnik
Wallenstein stasse 119
D-90431 Nürnberg
Germany (Германия)

Система Viewtronik/RBT состоит из цифрового строчного накопителя на базе PC и программного обеспечения для проверки строки цифровых данных. Имеет параллельный вход, последовательный вход – опция.

Отличается отображением шестнадцатеричных и десятичных значений данных в позиции курсора и соответствующих аналоговых уровней (mV). Есть 8- и 10-битное отображение и нотация согласно [S.5]. Отображает отдельные выборки или использует линейный сплайн. Имеет курсор синхронизации и использует структуру дискретизации, определенную в [S.3].

Опорные сигналы синхронизации можно проверять не в реальном времени. Для связи монитора обеспечивается аналоговый сигнал; имеется курсор строки.

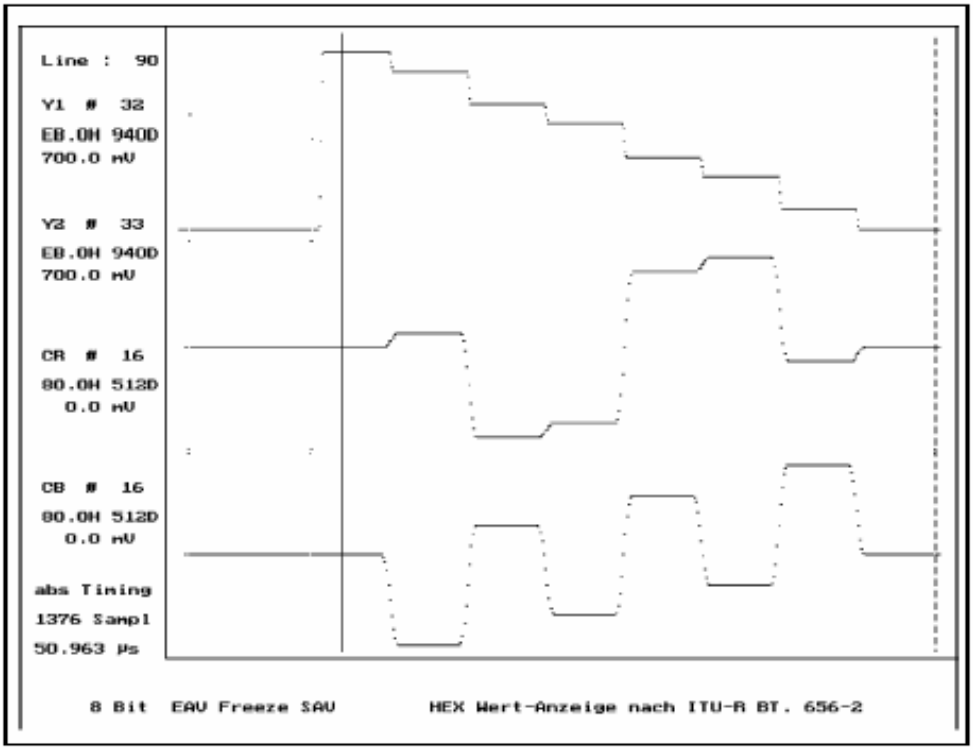


Рис. 23 – Отображение формы сигнала программного обеспечения RBT.

C9. Сводка характеристик тестового оборудования

Таблица 8 – Измерения в физической области

	DSA 309	S 310	PC 601	VCA	SDA 601	WFM601i	Digiview	RBT
Глазковая диаграмма						да		
Уровень сигнала	да	да		прим. 1	да	да		
Пульсация сигнала	да	да						
Искажение уровня НЧ сигнала	да	да						
Сдвиг постоянной составляющей	да	да				да		
Выброс						да		
Время нарастания и спада						да		
Потери отражения				прим. 2				
джиттер по всем частотам	да	да		да		да		
Взвешенный джиттер (упрощенное)	да			прим. 3		да		
Взвешенный джиттер (спектр джиттера)				прим. 3				
Моделирование длины кабеля				прим. 4				

Примечания:
1 с опцией “амплитудного спектра”
2 с опцией “ потери отражения” и внешней перемычкой
3 с опцией “спектра джиттера”
4 включено в модернизацию программного обеспечения, июль 1995

Таблица 9 – Измерения в области данных

	DSA 309	S 310	PC 601	VCA	SDA 601	WFM601i	Digiview	RBT
Активные биты (8/10)	да	да	да	да	да	да	да	да
Нотация ITU-R 656-1			да					
Уровни цифрового сигнала:								
двоичные	да			да				
шестнадцатеричные	да	прим. 1	да	да	да		да	да
десятичные	да	прим. 1		да			да	да
mV				да		прим. 2		да
Проверка зарезервированных кодов	да	да	да	да	да	да	да	да
Проверка TRS	да	да	да	да	да	да	да	да
Время нарастания и спада						прим. 3		
Проверка CRC				да	да	да		
Сравнение текущих и переданных кодов CRC (EDH)	да				да	да		
Задержка яркость/цветность				да		прим. 4		
Положение изображения относительно TRS				да				
Вспомогательные данные	да	да	да	да	да	да	да	да
Идентификация типа/длины	да				да	да		
Видео диапазон	да	да	да	да	да	да		
Проверка цветовой гаммы	да		да			да		
Задержка в оборудовании SDI				прим. 5		да		

Примечания:
1 шестнадцатеричные или десятичные, в зависимости от версии программного обеспечения
2 посредством курсоров уровня
3 посредством курсоров синхронизации; зависит от внутреннего преобразования D/A и фильтрации
4 с сигналом “бабочка”
5 с опцией “задержки сигнала”

Таблица 10 – Измерения в физической области

	DSA 309	S 310	PC 601	VCA	SDA 601	WFM601i	Digiview	RBT
Аналоговый мониторинг	да					да	прим. 1	прим. 1
Внешний аварийный сигнал (напр. сбой EDH)	да				да	да		

Примечания:
1 только яркость (Y)

Библиография

[1] Eguchi, T.: *Pathological check codes for serial digital interface systems*
Эгучи, Т.: *Патологические контрольные коды для систем последовательных цифровых интерфейсов*
133-я Телевизионная конференция SMPTE, Детройт, февраль1991.

[2] Fibush, D.: *Jitter effects and measurements in serial digital television signals*
Файбуш, Д.*: Эффекты и измерения джиттеря в последовательных цифровых телевизионных сигналах*
26-я Телевизионная конференция SMPTE, февраль 1993.

[3] Fibush, D., Elkind, B., Ainsworth, K.: *A guide to digital television systems and measurements*
Файбуш, Д.*,* Элкайнд, Б., Эйнсуорт, К.: *Руководство по цифровым телевизионным системам и измерениям*
Tektronix, США, февраль 1994.

[4] Fibush, D.: *Test and measurement of serial digital signals – error detection and jitter*
Файбуш, Д.: *Тесты и измерения последовательных цифровых сигналов – обнаружение ошибок и джиттера*
Съезд SBE, США, октябрь 1992.

[5] Dänicke, H.: *Measurement of parallel and serial video interfaces*
Дэнике, Г.*: Измерения параллельных и последовательных видео интерфейсов*
ZDF, Германия, октябрь1993.

[6] Lippold, H.: *Measurements of equipment for digital TV systems at ZDF*
Липпольд, Г.*: Измерения оборудования для цифровых ТВ систем в ZDF*
Технический отчет ZDF 100B/93, Немецкое телевидение ZDF.

[7] Robin, M., Poulin, M.: *Performance evaluation and acceptance testing of bit-serial digital video equipment and systems at the CBC*
Робин, М.*,* Пулин, М.: *Оценка работоспособности и приемные испытания цифрового видео оборудования с последовательным кодом в CBC*
134-я Конференция SMPTE, 1992.

[8] Dittrich, I., Frey, M.: *Characteristics of a digital serial video transmission path with an externally coupled interface pulse and the significance of shield effectiveness of various cable types*
Диттрих, И., Фрей, М.: *Характеристики тракта передачи цифрового последовательного видео с внешне связанным импульсом интерфейса и значение эффективности экранирования различных типов кабеля*
RBT, Германия.

[9] Dittrich, I.: *Electromagnetic compatibility for outside broadcast units with serial and parallel digital video technology (Parts 1 and 2)*
Диттрих, И.: *Электромагнитная совместимость внешнего вещательного оборудования с последовательной и параллельной цифровой видео технологией (Части 1 и 2)*
RBT, Германия.

[10] Heilemenn: *Influence of jitter in digital transmission systems*
Хайлеменн: *Влияние джиттера в системах цифровой передачи*
Wandel & Goltermann, Германия.

[11] Emmett, J., Girdwood, C.: *An audio K-factor – Is it possible?*
Proceedings of International Broadcasting Convention IBC'94, Amsterdam, 1994.
Эмметт, Дж.*,* Гердвуд, К.: *Звуковой К-фактор – возможно ли это?*
Протоколы Международной Вещательной Конвенции IBC'94, Амстердам, 1994.

[12] Baker, D., Fibush, D.: *Digital to analog conversion - Data and filter requirements*
Бейкер, Д., Файбуш, Д.: *Преобразование из аналога в цифру – Требования к данным и фильтрам*
Tektronix, сентябрь 1994.

[13] Fibush, D.: *Synchronisation of digital audio and video equipment*
Файбуш, Д.: *Синхронизация цифрового звукового и видео оборудования*
Tektronix, сентябрь 1994.

[14] BBC Research Department Report 1971/40: *Pulse code modulation of video signals: subjective study of coding parameters*
Отчет Исследовательского департамента BBC 1971/40: *Модуляция видеосигналом импульсного кода: субъективное изучение параметров кодирования*