



# Современные системы цифрового телевидения

Старт 2-клик  
Стоп - 1 клик

## Лекция 2

### Цифровое представление ТВ сигналов

ФИО преподавателя: Смирнов

Александр Витальевич

e-mail: [av\\_smirnov@mirea.ru](mailto:av_smirnov@mirea.ru)





## Дискретизация в телевидении

Дискретизация по вертикали была всегда вследствие разложения кадров на строки.

Дискретизация по горизонтали осуществляется путем дискретизации во времени телевизионных сигналов. Обратная операция - **интерполяция**.

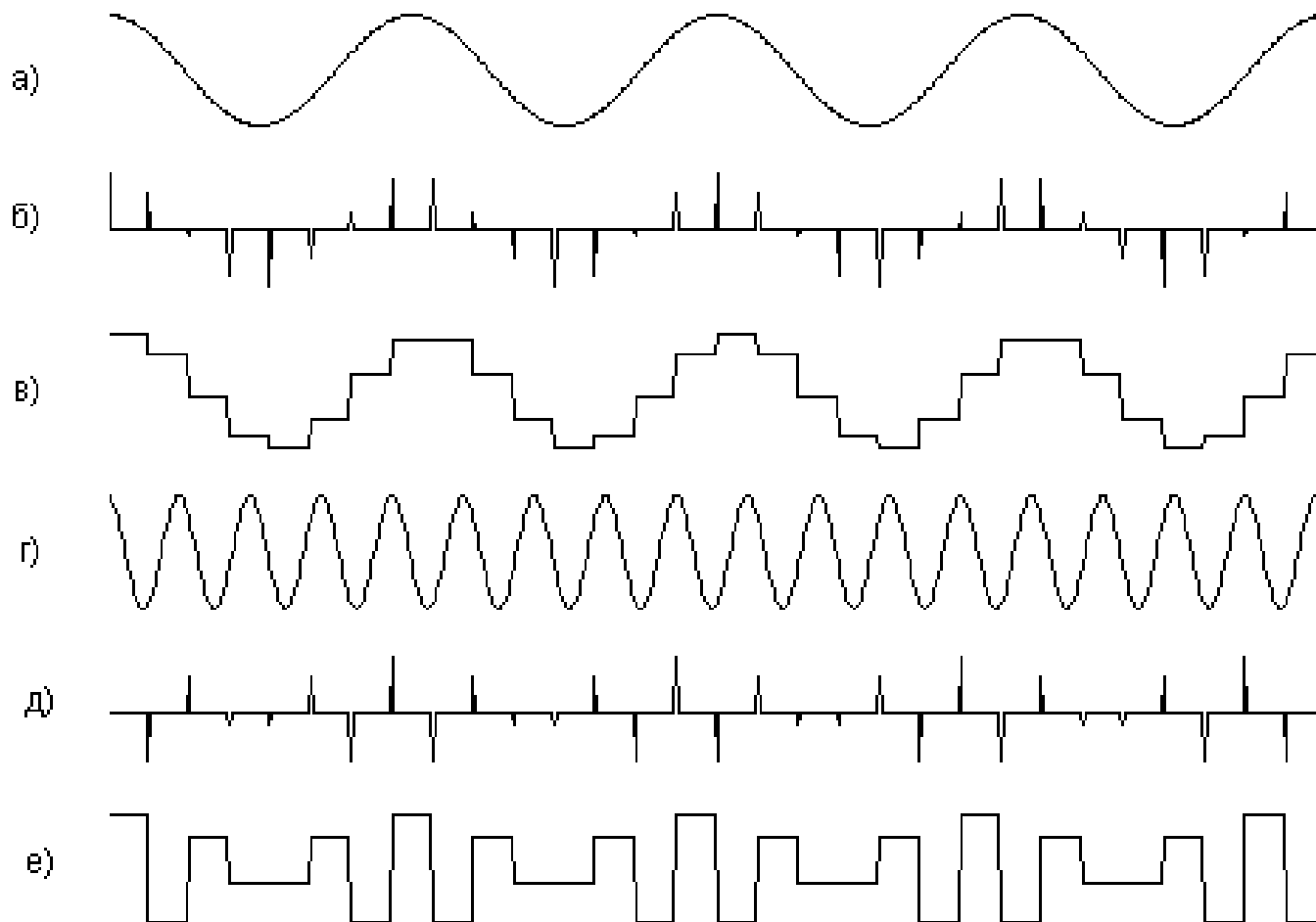
Условие Котельникова-Найквиста:

$$f_{\text{д}} \geq 2 f_{\text{в}} .$$

Если это условие не выполнено, то в сигнале возникают ложные частотные составляющие. Это явление называется **aliasing**. Для его устранения при заданной частоте дискретизации необходимо ограничивать спектр сигнала сверху.

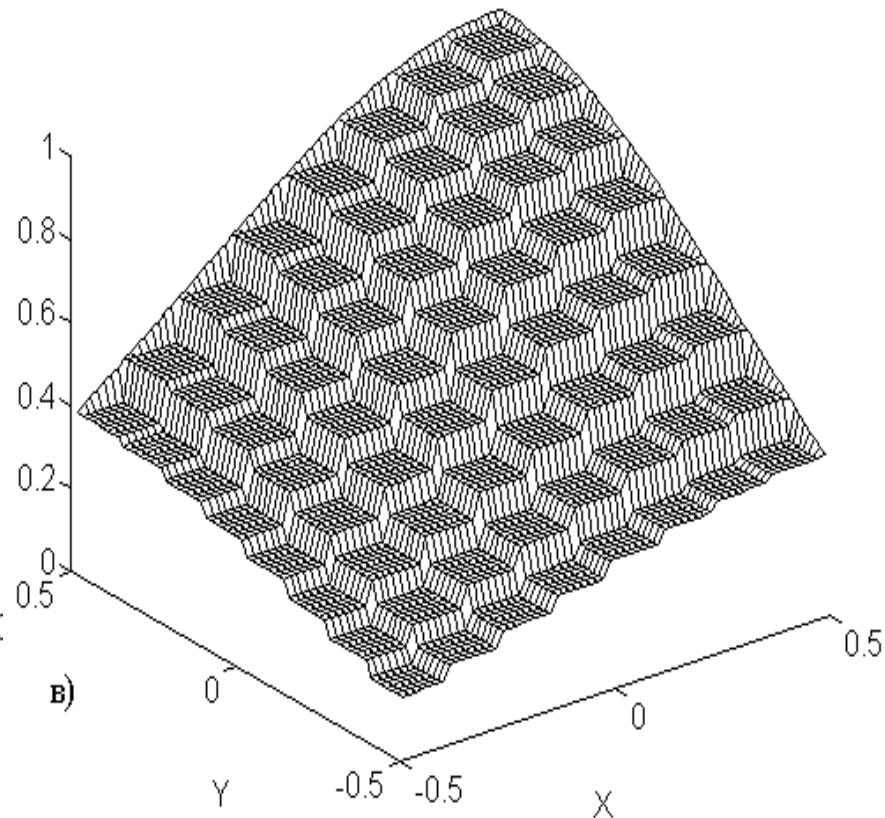
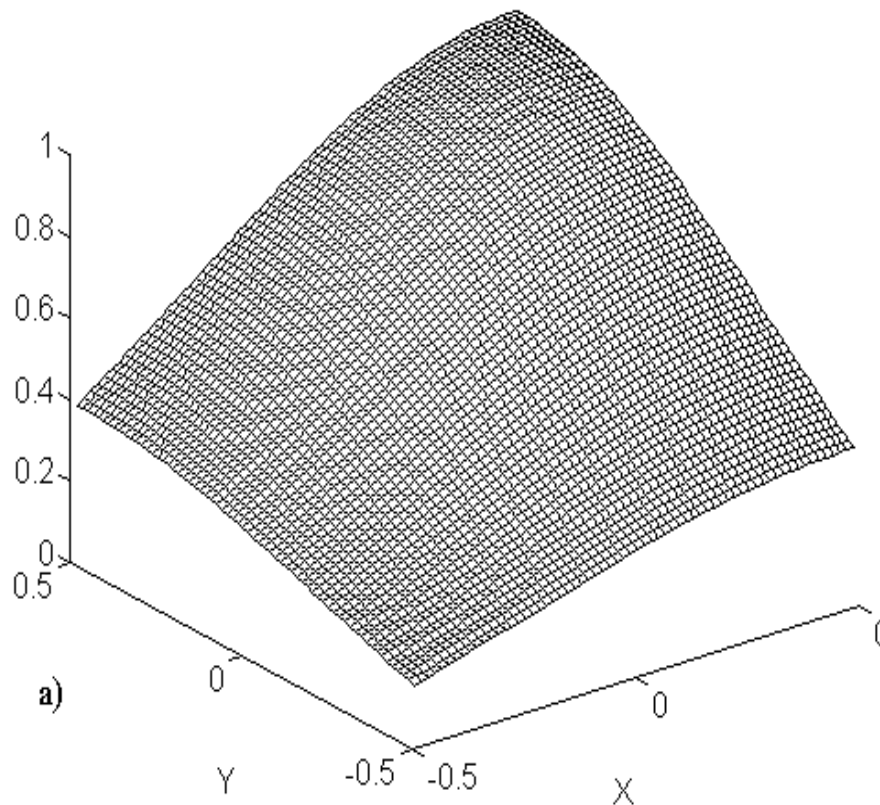


## Дискретизация и интерполяция сигнала





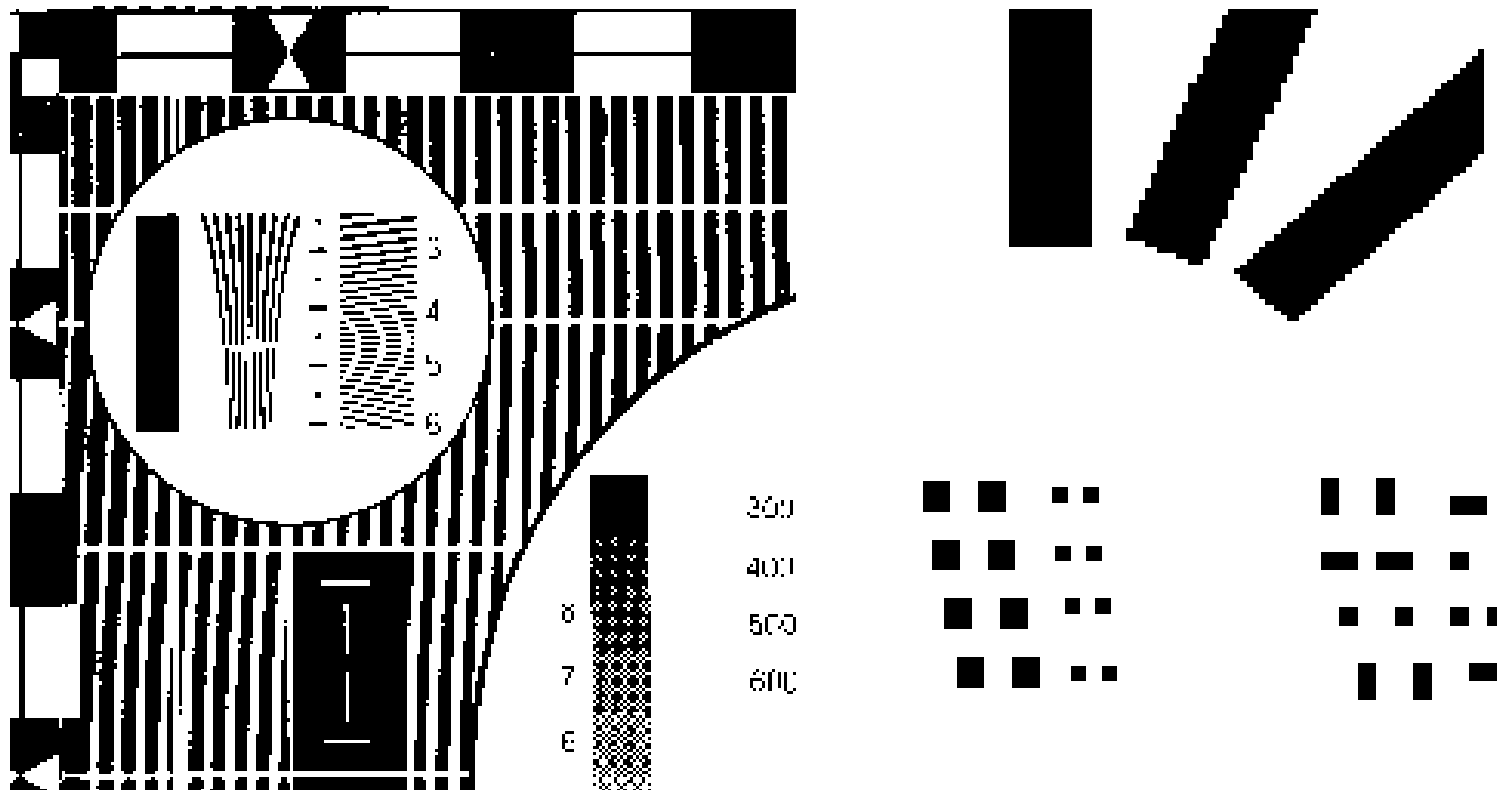
## Дискретизация и интерполяция изображения



Сглаживание пикселей осуществляется  
зрительным аппаратом человека.



## Возникновение муаров и других искажений



Для ограничения спектра пространственных частот в ТВ камерах применяют антиэлайзинговые оптические фильтры.



## Искажения в реальном изображении



256x256



128x128



## Квантование сигналов

Квантование сигнала - округление значений отсчетов сигнала до ближайших уровней квантования. Количество уровней квантования  $N_{\text{кв}}$  связано с числом двоичных разрядов АЦП  $b$  соотношением

$$N_{\text{кв}} = 2^b .$$

Среднеквадратическое значение шума квантования

$$\sigma_{\text{кв}} = \frac{h}{\sqrt{12}} , h - \text{значение шага квантования.}$$

Отношение сигнал / шум квантования

$$C / Ш_{\text{кв}} = 20 \lg(U_m / \sigma_{\text{кв}}) = 20 \lg(2^b h / (h / \sqrt{12})) \approx (6,02b + 10,8) \text{ дБ.}$$

При квантовании  $b = 10$  получаем  $C/Ш_{\text{кв}} = 71$  дБ.  
Для сравнения в аналоговом ТВ  $C/Ш = 46$  дБ.



## Ложные контуры



На мелких деталях влияние квантования малозаметно



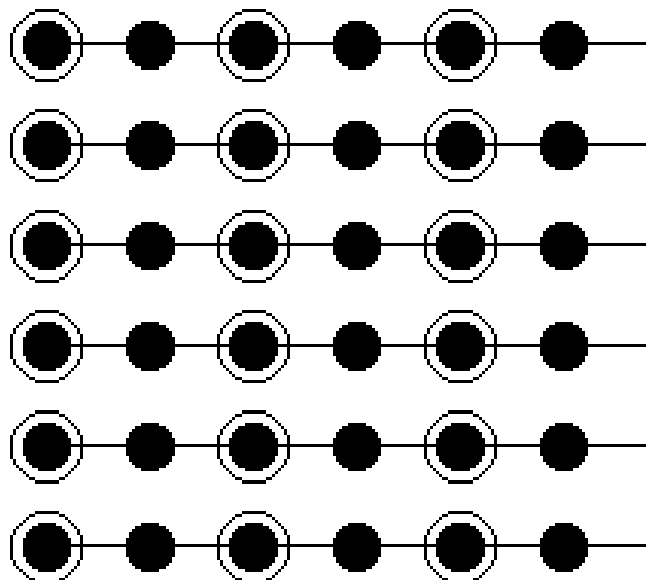


## Рекомендация ITU-R BT 601-5

- Число элементов в строке - 720.
- Число видимых строк - 576 или 480.
- Частота кадров 25 или 30 Гц - чересстрочн. развертка.
- Частота дискретизации сигнала яркости 13,5 МГц.
- Частота дискретизации цветоразностных сигналов в два раза меньше - 6,75 МГц.
- Используются форматы 4:4:4, 4:2:2, 4:2:0.
- Число разрядов квантования 8 или 10 на отсчет.
- Количество пикселей равно 414720.
- Формат пикселя (576 строк) 1,067:1.



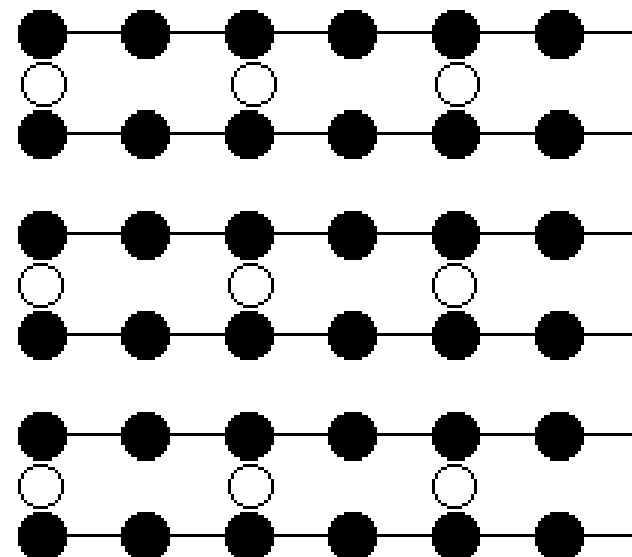
## Форматы дискретизации



4:2:2 (360x576)

● - Отсчеты сигналов яркости

○ - Отсчеты цветоразностных сигналов



4:2:0 (360x288)



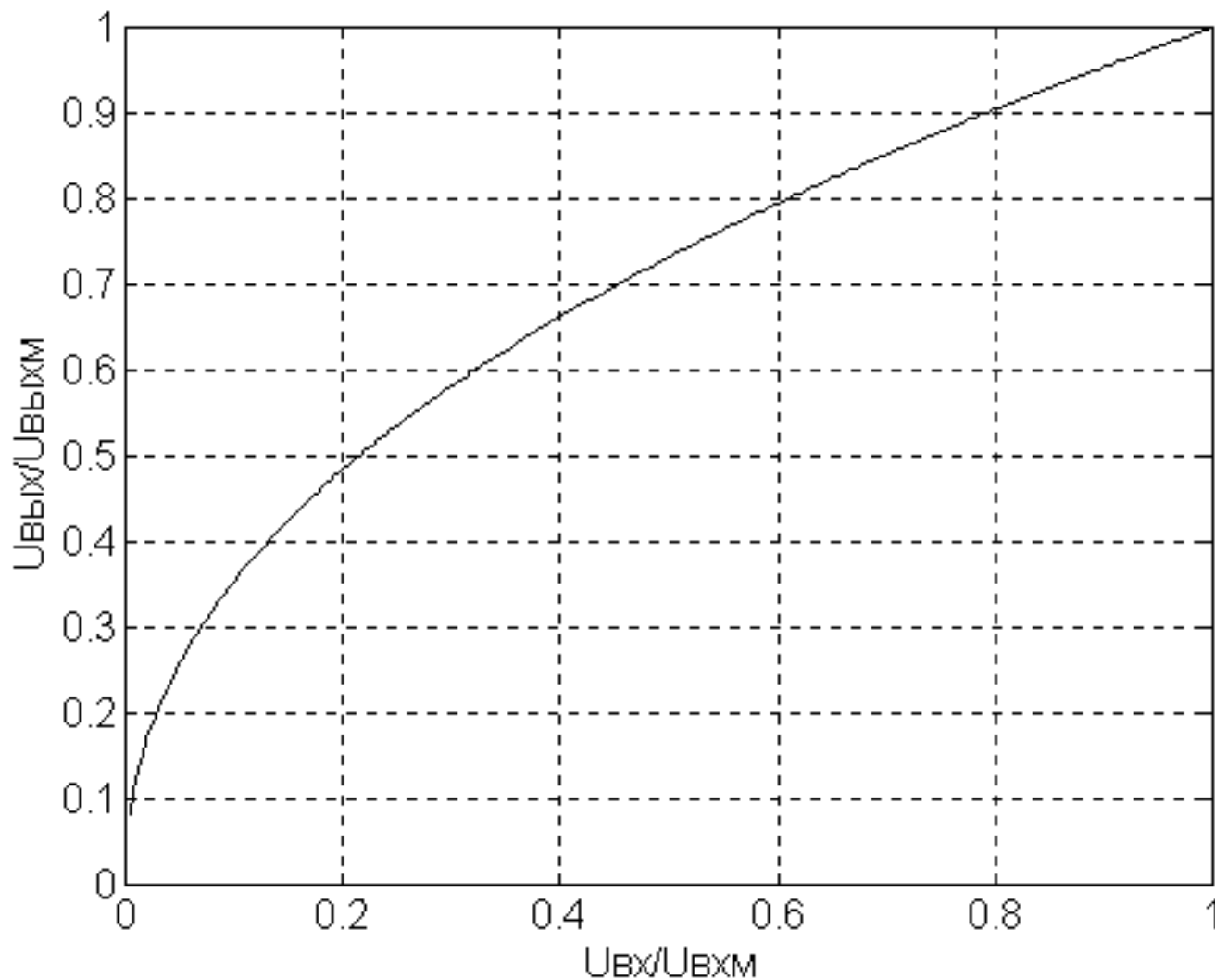
## Формат 4:4:4

Еще один формат – 4:4:4. Частота дискретизации всех трех сигналов равна 13,5 МГц.

Такой формат дискретизации применяется и для передачи в цифровой форме сигналов основных цветов R, G, B.



## Гамма-коррекция перед квантованием



$$Y = X^\gamma,$$

где  $\gamma \approx 0,45$ .



## Квантование ТВ сигналов

Цветоразностные сигналы ренормализуются, чтобы обеспечить одинаковый с сигналом яркости размах:

$$E'_{CR} = 0,713 \cdot E'_{R-Y}, \quad E'_{CB} = 0,564 \cdot E'_{B-Y}.$$

Преобразование напряжения сигнала в номер уровня квантования, описывается соотношениями

$$Y = \text{Round}(((219 E'_Y) + 16) \cdot 2^{b-8}),$$

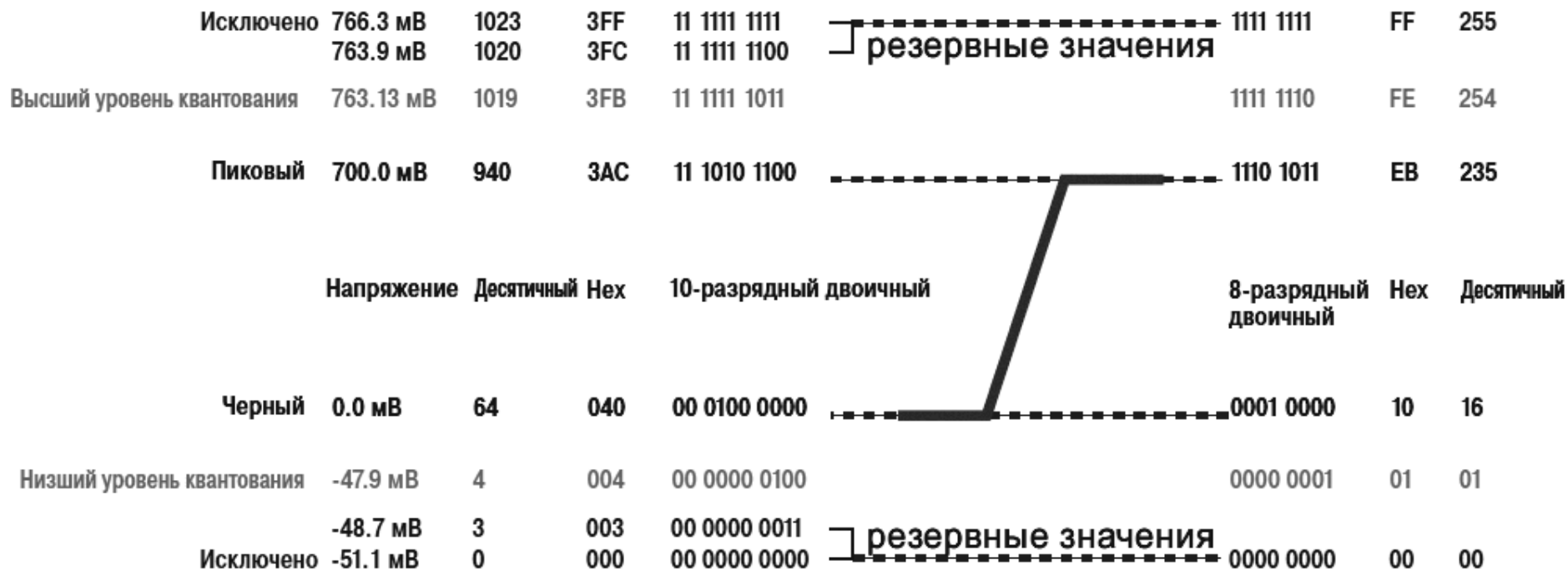
$$C_R = \text{Round}(((224 E'_{CR}) + 128) \cdot 2^{b-8}),$$

$$C_B = \text{Round}(((224 E'_{CB}) + 128) \cdot 2^{b-8})$$

где  $\text{Round}(x)$  - операция округления до ближайшего целого.



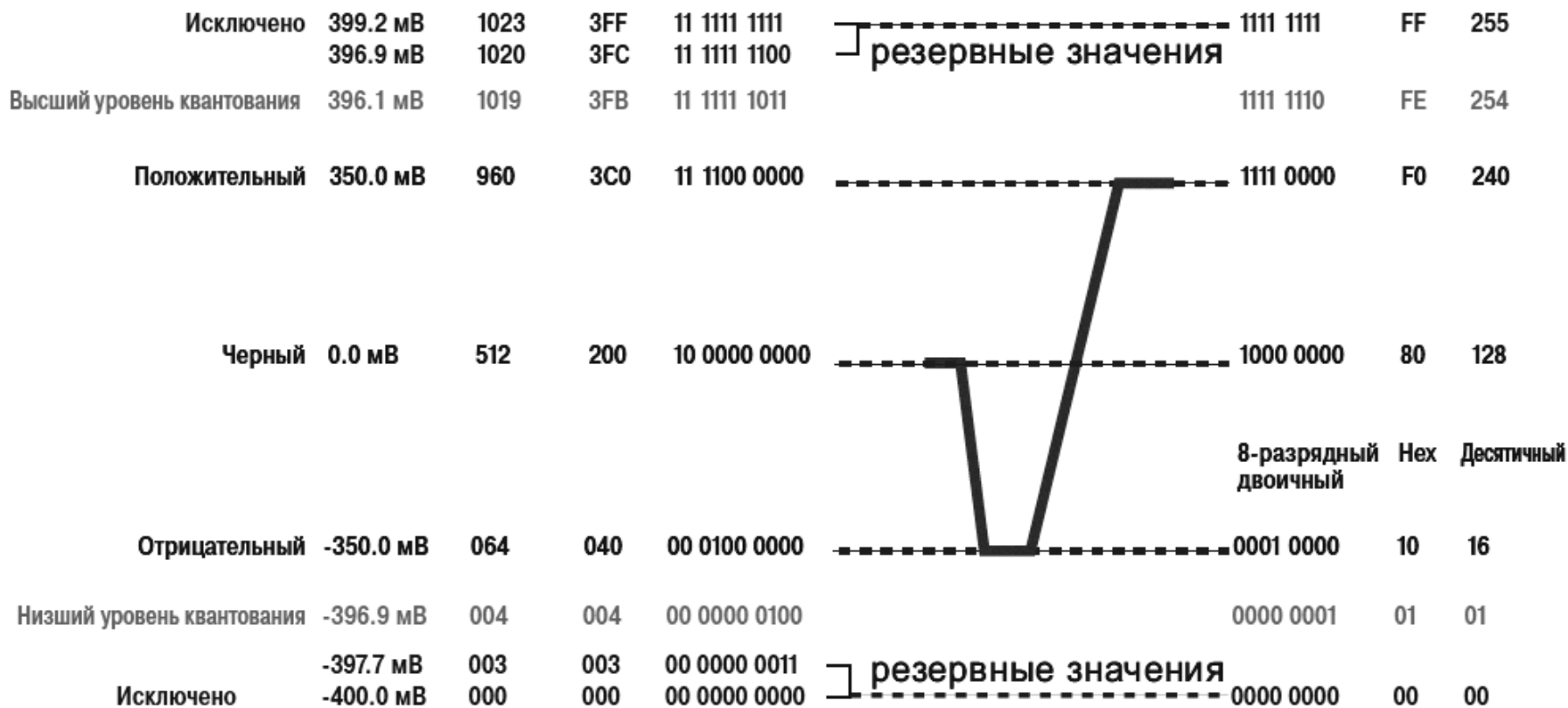
## Квантование сигнала яркости



Уровни 00000000(00) и 11111111(11) выделены для передачи синхросигналов



## Квантование цветоразностных сигналов





## Рекомендация ITU-R BT 709-3

- Число элементов в строке - 1920.
- Число видимых строк - 1080.
- Частота кадров 24, 25, 30 Гц - чересстрочн. развертка;  
50, 60 Гц - прогрессивная развертка.
- Частота дискретизации сигнала яркости Y:  
74,25 МГц при частотах кадров 24, 25 и 30 Гц;  
148,5 МГц при частотах кадров 50 и 60 Гц.
- Частота дискретизации цветоразностных сигналов  
в два раза меньше.
- Используют форматы 4:4:4, 4:2:2, 4:2:0.
- Число разрядов квантования 8 или 10 на отсчет.





## Рекомендация ITU-R BT 2020

- формат изображения 16:9;
- количество пикселей 3840x2160 и 7680x4320;
- квадратный формат пикселя;
- варианты дискретизации 4:4:4, 4:2:2 4:2:0;
- прогрессивный (построчный) закон развертки;
- набор значений частоты кадров 120; 120/1,001; 100; 60; 60/1,001; 50; 30; 30/1,001; 25; 24; 24/1,001 Гц.



## Расчет скорости цифрового потока

$$V_B = f_d \cdot b \text{ (бит/с)},$$

где  $f_d$  - частота дискретизации,

$b$  - число двоичных разрядов квантования.

Например, для формата дискретизации 4:2:2 при  $b = 10$

$$V_B = 13,5 \cdot 106 \cdot 10 + 2 \cdot 6,75 \cdot 106 \cdot 10 = \mathbf{270 \text{ Мбит/с}}.$$

Если учитывать только видеоинформацию, то

$$V_B = N_{\text{пикс}} n b \text{ (бит/с)}$$

где  $N_{\text{пикс}}$  – число отсчетов этого сигнала в кадре,  $n$  – частота кадров. Для того же формата получается

$$V_B = 720 \cdot 576 \cdot 25 \cdot 10 + 2 \cdot 360 \cdot 576 \cdot 50 \cdot 10 \approx \mathbf{207,4 \text{ Мбит/с}}.$$



## Интерфейсы в цифровом ТВ

Цифровые сигналы видео и звука без сжатия не передают по радиоканалам, так как они имеют слишком большие битрейты.

Методы передачи таких сигналов по проводным линиям, включая оптические, определяются стандартами интерфейсов.

Стандарт интерфейса содержит электрические, конструктивные и логические параметры.

В студийной аппаратуре применяются интерфейсы по стандартам ITU-R BT 656, ITU-R BT 1120 и другим.

В аппаратуре широкого применения для передачи цифровых сигналов видео и звука применяется интерфейс HDMI.



## Рекомендация ITU-R BT 656

Определяет параметры параллельного и последовательного интерфейсов для передачи цифровых ТВ сигналов обычной четкости в соответствии с Рекомендацией ITU-R BT 601.



## Параллельный интерфейс

Во время активного участка строки передаются:

$$C_B, Y, C_R, Y, C_B, \dots$$

Частота тактовых импульсов

$$f_T = 13.5 + 6.75 + 6.75 = 27 \text{ МГц.}$$

10 дв. разрядов и тактовые импульсы передаются по витым парам проводов балансным методом. В случае 8-битового представления два мл. разряда равны нулю.

Кодирование NRZ (без возврата к нулю).

Передача по положительному фронту.

Размах импульсов до 2 В на 110 Ом.

Длительности фронтов 2 - 5 нс.

Кабель содержит также 2 провода «земли» и экран – всего 25 контактов на разъеме.



## Синхронизация в цифровом ТВ

В конце каждого строчного гасящего импульса - синхросигнал начала активной строки НАС (SAV – Start Active Video), а в начале строчного гасящего импульса – синхросигнал конца активной строки КАС (EAV – End Active Video).

Сигналы НАС и КАС содержат по 4 байта. Первый байт равен 255 (0xFF). Следующие два байта равны 0 (0x00). Четвертый байт определяется по таблице:

№	Обознач.	Назначение
0 - 3	P0 – P3	Проверочные биты
4	H	H=0 для НАС (SAV), H=1 для КАС (EAV)
5	V	V=1 в строках с 624 по 23 и с 311 по 336, V=0 в др. строках
6	F	F=0 в первом поле, F=1 во втором поле
7	1	1 всегда



# Последовательный интерфейс SDI

## ***SDI (Serial Digital Interface)***

Тактовая частота 270 МГц.

Размах сигнала на выходе передатчика  $800 \text{ мВ} \pm 10\%$ .

Длительность фронтов в пределах от 0,75 до 1,50 нс.

Передача по коаксиальному кабелю 75 Ом.

### ***Операции при передаче:***

1. Преобразование в последовательную форму младшим битом вперед.
2. Скремблирование.
3. Преобразование в формат NRZI - Без Возврата к Нулю с Инверсией.

### ***Операции при приеме:***

1. В приемнике восстанавливается тактовая частота.
2. Сигнал декодируется из NRZI в NRZ.
3. Дескремблирование.
4. Обнаружение сигналов НАС и КАС.
5. Преобразование из последовательной формы в параллельную.



## Рекомендация ITU-R BT 1120

Определяет параметры параллельного и последовательного интерфейсов для передачи цифровых ТВ сигналов HDTV в соответствии с Рекомендацией ITU-R BT 709. Так же, как в Рекомендации 656, передаются сигналы НАС и КАС.

### ***Последовательный интерфейс HD SDI***

Преобразование в последовательную форму, скремблирование и преобразование в формат NRZI аналогично Рекомендации 656. Передаются дополнительные слова для защиты от ошибок.

Тактовая частота при чересстрочной развертке 1,485 ГГц.

Передача по коаксиальным кабелям с волновым сопротивлением 75 Ом на расстояние до 100 м.





## Интерфейс HDMI

High Definition Multimedia Interface (HDMI)

Позволяет передавать цифровые видеоданные высокого разрешения и многоканальные цифровые аудиоданные с защитой от копирования.

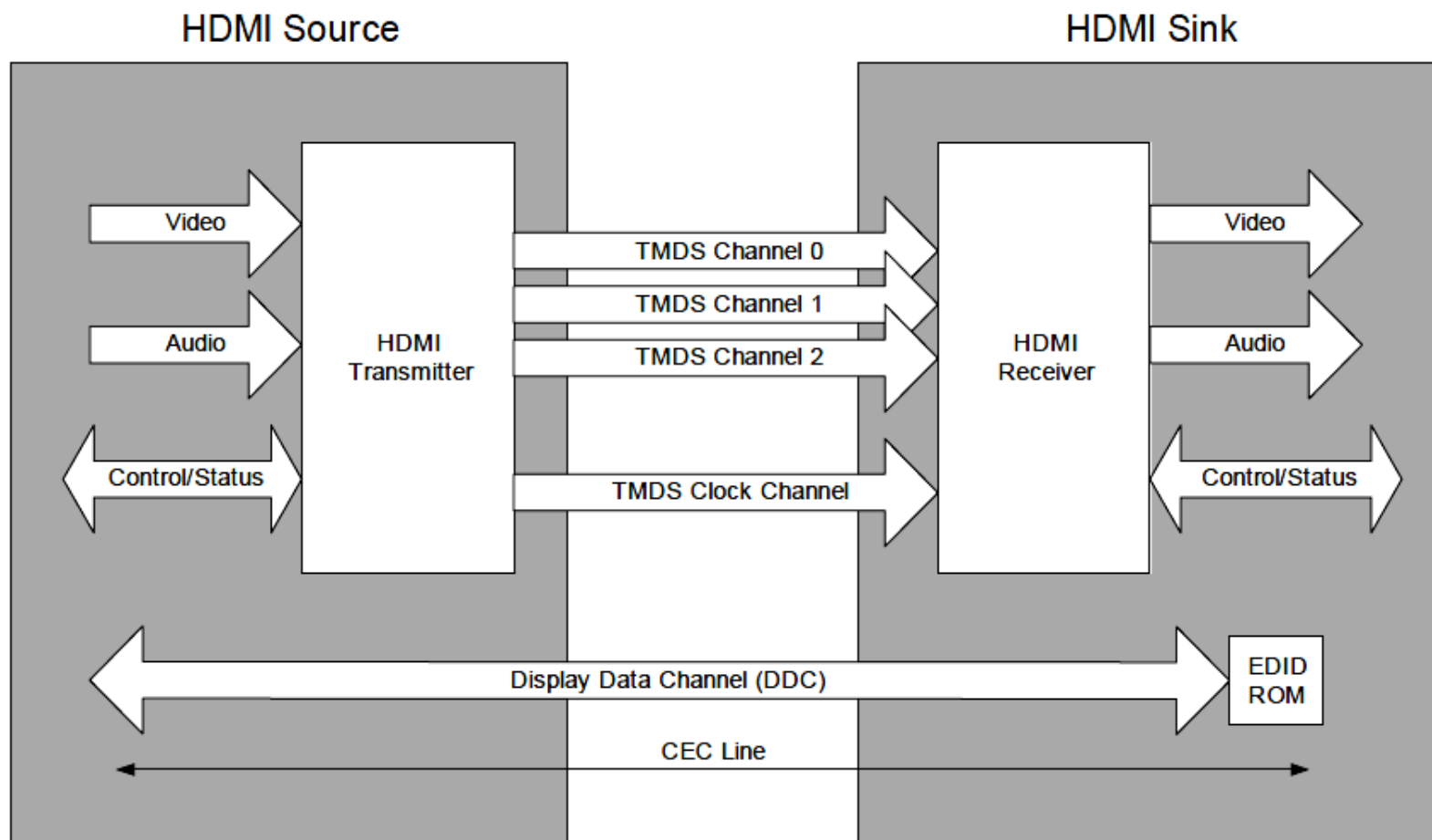
HDMI имеет пропускную способность в пределах от 4,9 (HDMI 1.0) до 48 (HDMI 2.1) Гбит/с.

Длина кабеля до 10 м.





# Структура HDMI





## Линии передачи данных HDMI

Информация передается по трем экранированным витым парам проводов TMDS – Transition minimizes differential signaling, дифференциальная сигнализация с минимизированными переходными процессами.

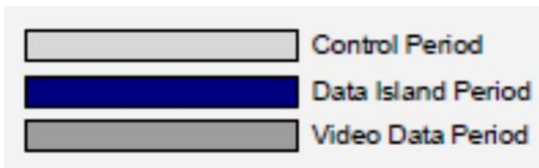
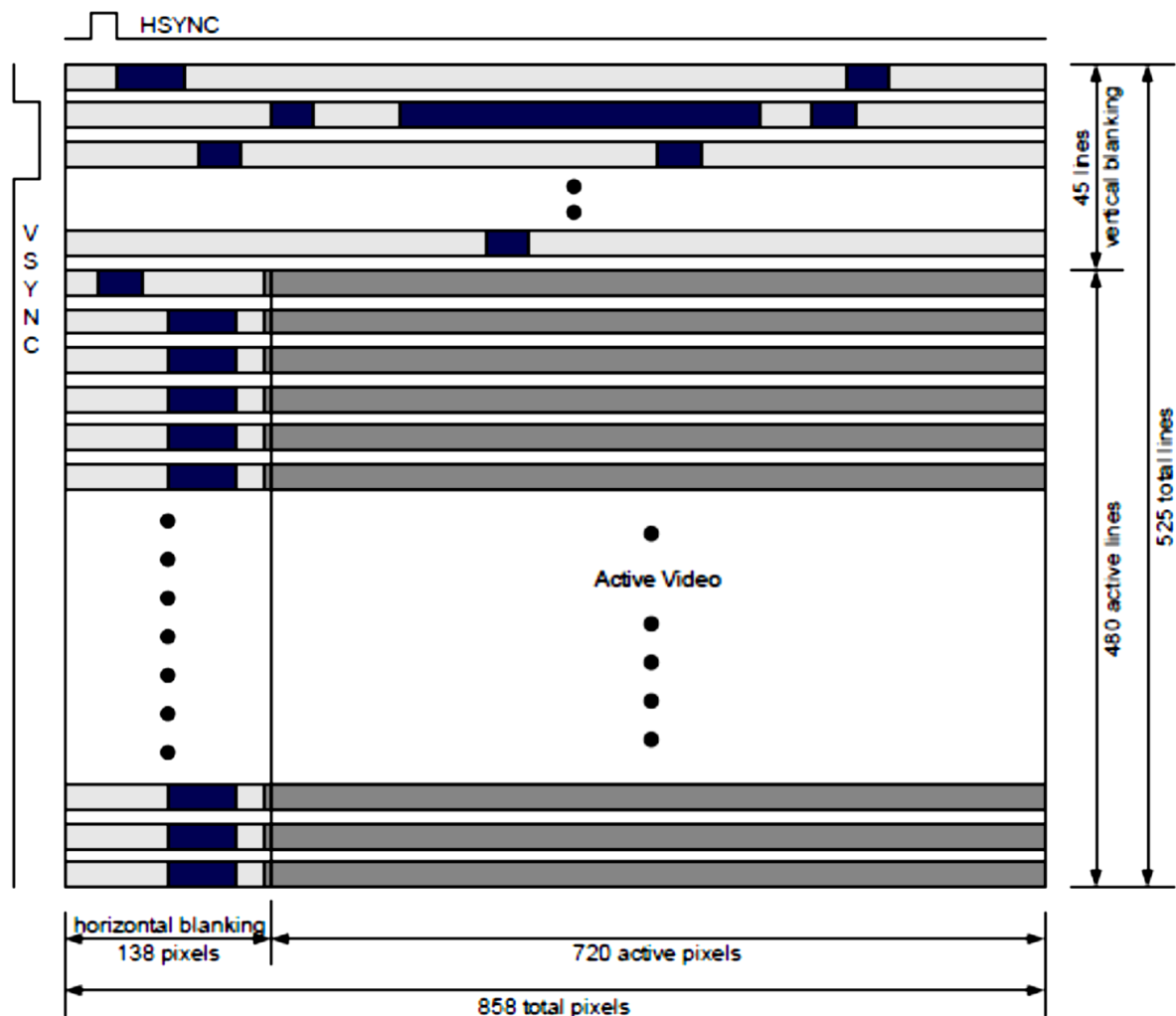
Еще одна линия TMDS предназначена для передачи тактовых импульсов общих для информационных каналов.

Канал передачи параметров информации DDC (Display Data Channel) содержит три линии: тактовые импульсы SCL, данные SDA и общий провод, как в I<sup>2</sup>C.

Канал управления аппаратурой CEC (Consumer Electronics Control) содержит один провод.



# Порядок передачи информации в HDMI



**Data Island Period** – передача звуковых и дополнительных данных в виде последовательности пакетов данных.

**Control Period** – передача управляющих данных. Должен быть между любыми двумя периодами, которые им не являются



Спасибо за внимание!