



# Современные системы цифрового телевидения

Старт 2-клик  
Стоп - 1 клик

## Лекция 1

### Принципы передачи видеоинформации

ФИО преподавателя: Смирнов

Александр Витальевич

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





## Введение

- Программой первого семестра предусмотрено 8 лекций
- В течение семестра необходимо выполнить 4 лабораторных работы и 8 практических заданий
- Форма промежуточной аттестации - зачет
- К зачету допускаются студенты, выполнившие все работы и задания



## Литература

1. Смирнов А.В. Современные системы цифрового телевидения [Электронный ресурс]: Учебное пособие. – М.: МИРЭА – Российский технологический университет. 2022.
2. Смирнов А.В. Основы телевидения и видеотехники. Учебное пособие. М.: Горячая линия - Телеком. 2018.- 358 с.\*

*(На кафедре есть электронная версия этого пособия)*



## Типы систем передачи видеоинформации

- 1. Системы ТВ вещания**
- 2. Системы прикладного ТВ**
- 3. Системы видеосвязи**
- 4. Системы интерактивного ТВ**

**Все эти системы в настоящее время  
перешли на цифровые технологии**



## Физическая природа света

**Свет** – электромагнитные волны, воспринимаемые зрением человека. Диапазон длин волн света от 0,38 до 0,77 мкм (или от 380 до 770 нм).

**Свет** с разными длинами волн создает ощущение разных *цветов*.

	0,4			0,52				0,7 мкм
УФ	Ф	С	Г	З	Ж	О	К	ИК

УФ – ультрафиолетовое излучение

ИК – инфракрасное излучение



## Светотехнические величины

*Световой поток*  $\Phi$  – мощность излучения, оцениваемая по воздействию на глаз.

При  $\lambda = 550$  нм  $P = 1$  Вт дает световой поток  $\Phi = 120$  лм (люмен).

*Сила света*  $\Delta I = \Delta \Phi / \Delta \omega$ , т.е. световой поток  $\Delta \Phi$ , излучаемый в телесный угол  $\Delta \omega$ .

Измеряется в канделах (кд). Кандела – основная единица по СИ.

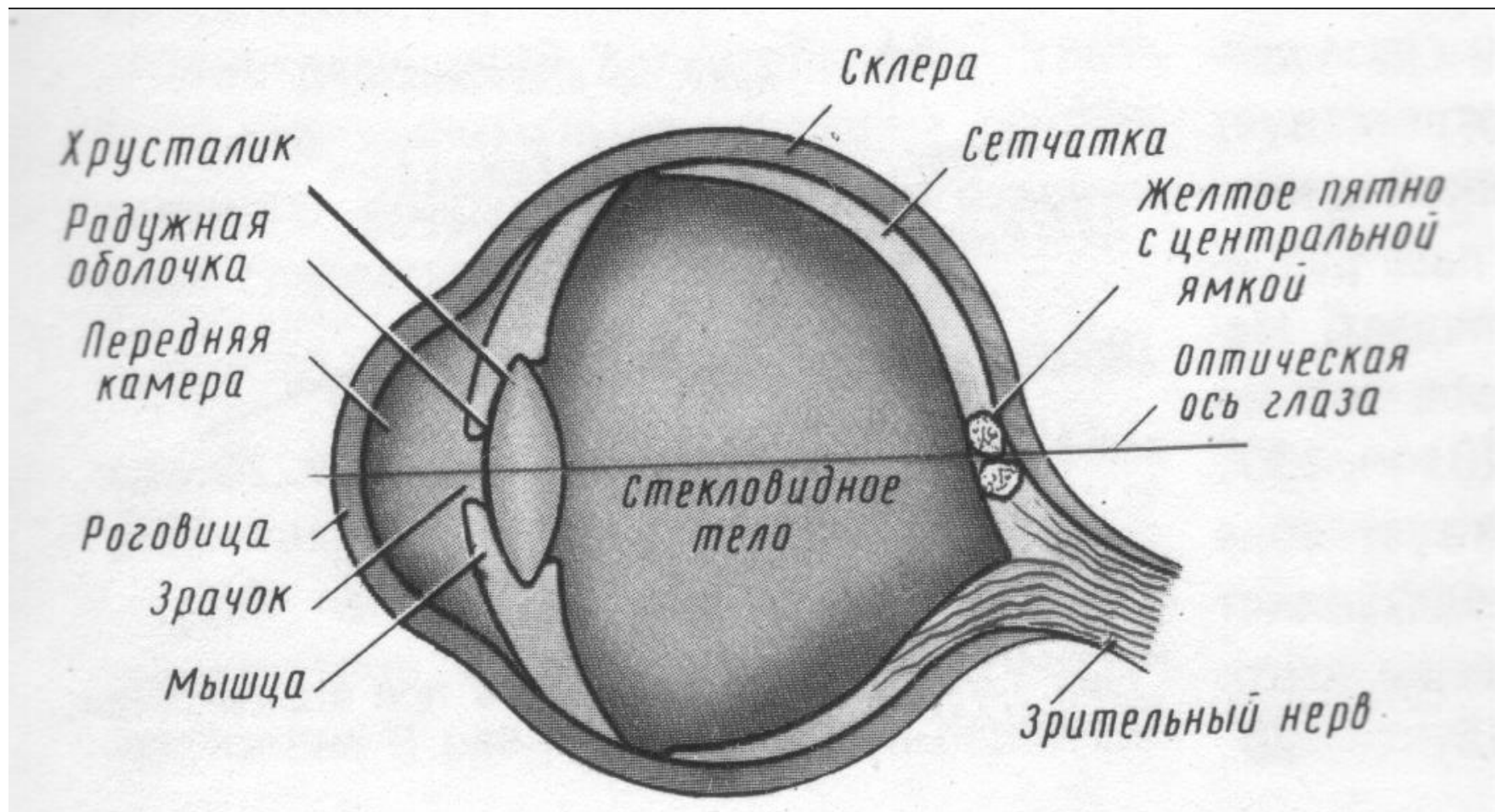
*Яркость*  $B = I / S \cos \alpha$ , кд / м<sup>2</sup>, где  $S$  – площадь излучающей поверхности;  $I$  – сила света;  $\alpha$  – угол между направлением света и нормалью к поверхности.

Для экранов ТВ  $B = 100 \dots 1000$  кд/м<sup>2</sup>.

*Освещенность*  $E = \Phi / S$ , люкс (лк), где  $\Phi$  – падающий свет. поток;  $S$  – площадь освещаемой поверхности.



## Устройство глаза





## Функции частей глаза

*Фокусировка* изображения на сетчатку выполняется с помощью роговицы, передней камеры и, в первую очередь, хрусталика.

*Регулировка светового потока* производится посредством зрачка.

*Преобразование света в нервные импульсы* – сетчатка, содержащая около 7 млн. колбочек и 130 млн. палочек.

Колбочки есть трех видов, чувствительные в красной, зеленой и синей частях спектра. Суммированием этих трех цветов можно получить другие цвета

Дальнейшая обработка изображения – в зрительной коре головного мозга. Процессы здесь адаптивны. При недостаточной яркости суммируются сигналы от нескольких рецепторов, что ухудшает пространственное разрешение.





## Характеристики зрения

**Поле ясного зрения** – примерно  $16 \times 12^\circ$ . Для восприятия более широких полей необходимо менять направление зрения.

**Разрешающая способность** – минимальный разрешаемый угол, приблизительно 1 минута.

**Инерционность** – глаз сохраняет ощущение света некоторое время после прекращения действия света. Есть два параметра:

*Слитность движения* – 15 – 16 кадров/с.

*Критическая частота мельканий* – зависит от яркости.

Примерно равна 46 – 48 Гц, но для больших экранов больше.

**Порог заметности изменений яркости** – в соответствии с Законом Вебера – Фехнера

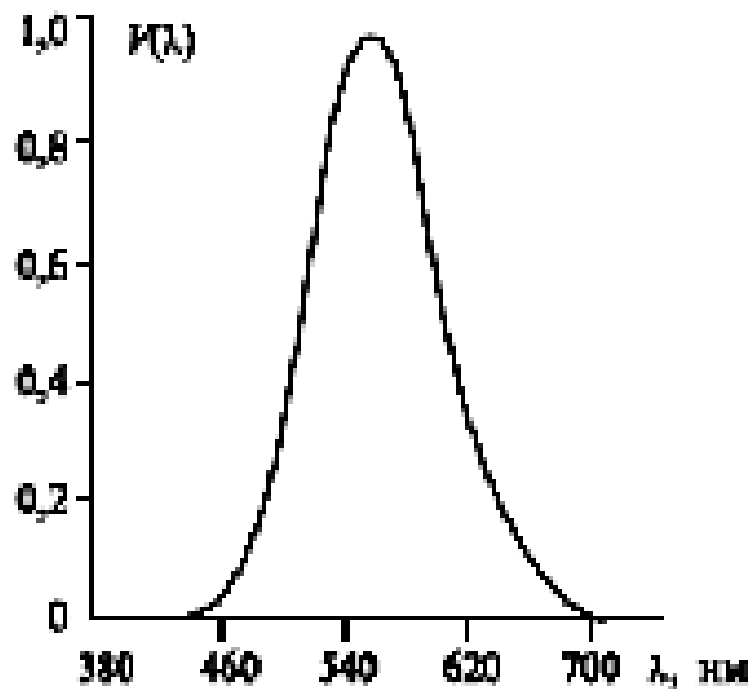
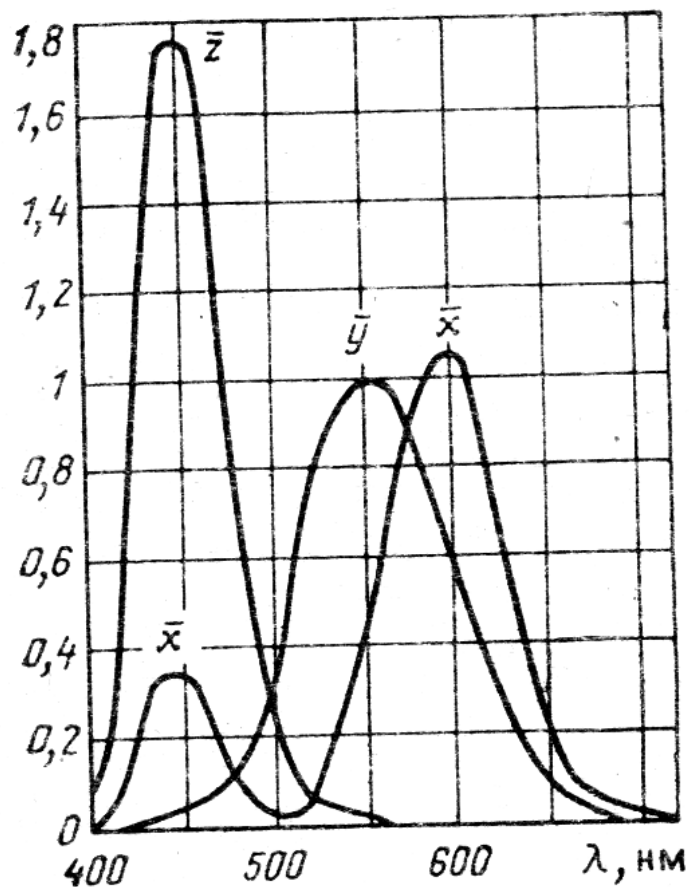
$$\Delta B_{\text{пор}} = k B_{\text{фон}},$$

где  $B_{\text{фон}}$  – яркость фона,  $k \approx 0,02 - 0,05$  - коэффициент,

$\Delta B_{\text{пор}}$  - пороговое отличие яркости объекта от фона.

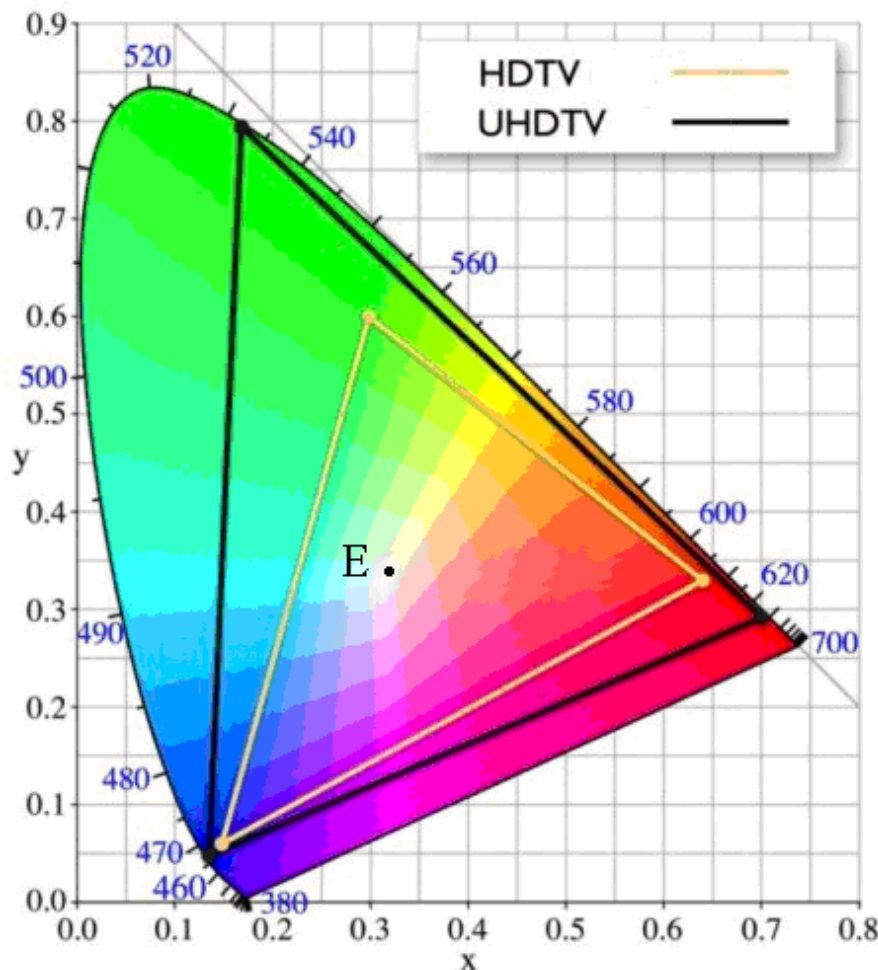


## Кривая видности





## Диаграмма цветности



Характеристики цвета:

1. Светлота
2. Цветовой тон
3. Насыщенность

Опорный белый:

$x = 0,3127$ ;  $y = 0,3290$

Стандартные цвета:

R:  $x = 0,640$ ;  $y = 0,330$

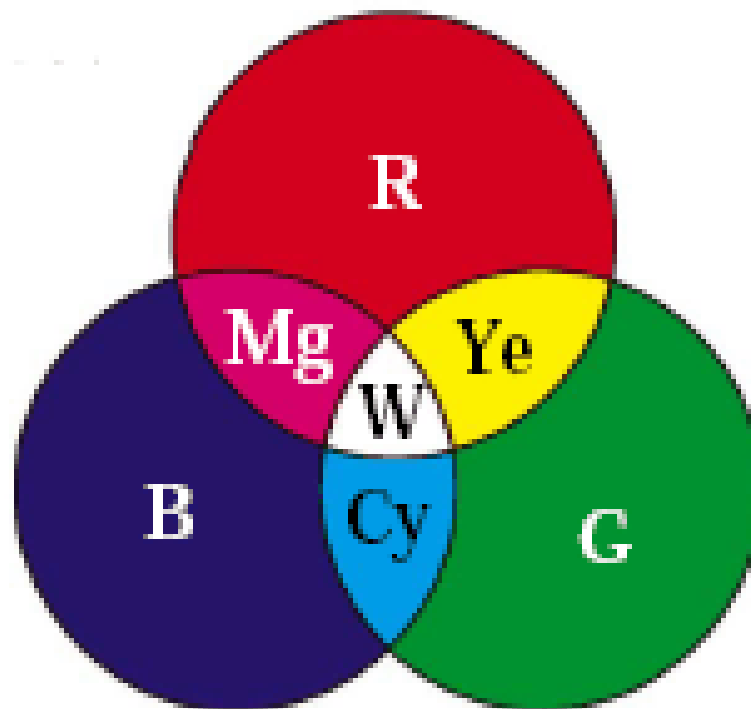
G:  $x = 0,290$ ;  $y = 0,600$

B:  $x = 0,150$ ;  $y = 0,050$



## Способы сложения цветов

1. Одновременный
2. Поочередный
3. Пространственный
4. Бинокулярный





## Развертка

Изменяющееся во времени изображение представляется  
Последовательностью неподвижных картинок - **кадров**.

Каждый кадр посредством **развертки** элемент за элементом, строка за строкой преобразуется в электрический сигнал и передается по каналу связи. В приемнике кадр воспроизводится на экране также с применением развертки.

При построчной или прогрессивной развертке строки передаются одна за другой. В случае чересстрочной развертки сначала передаются нечетные строки, образующие первое поле, а затем – четные строки, составляющие второе поле. Чересстрочная развертка применяется для устранения мерцаний экрана при частоте кадров 25 или 30 Гц.



## Способы реализации развертки

1. Оптико-механическая развертка  
(до 30-х годов XX века)
2. Электронно-лучевая развертка  
(с 30-х годов до конца XX века)
3. Развертка посредством электронной коммутации элементов  
(с 90-х годов XX века по настоящее время)



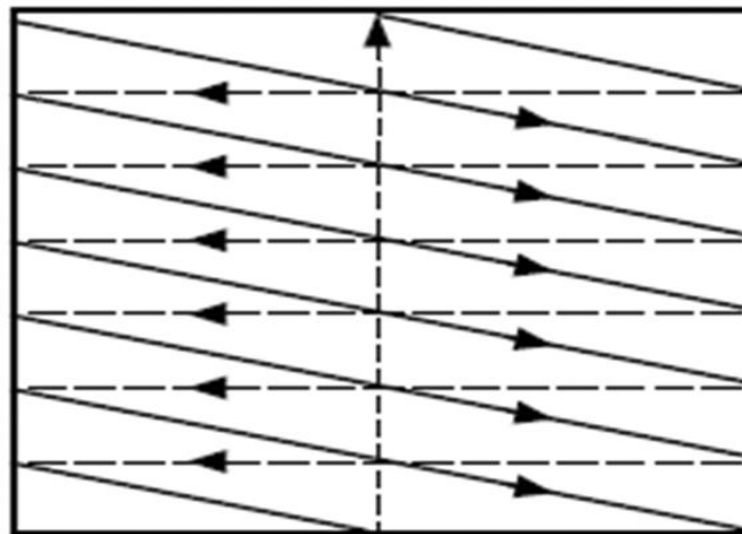
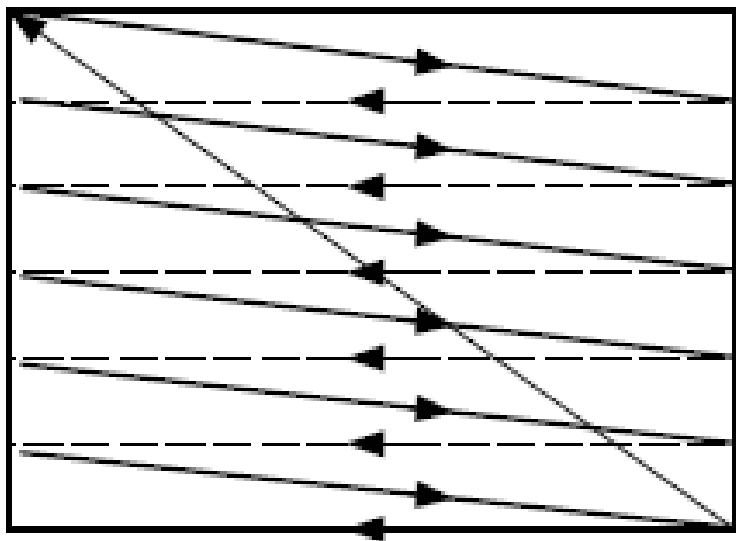
## Последовательность кадров







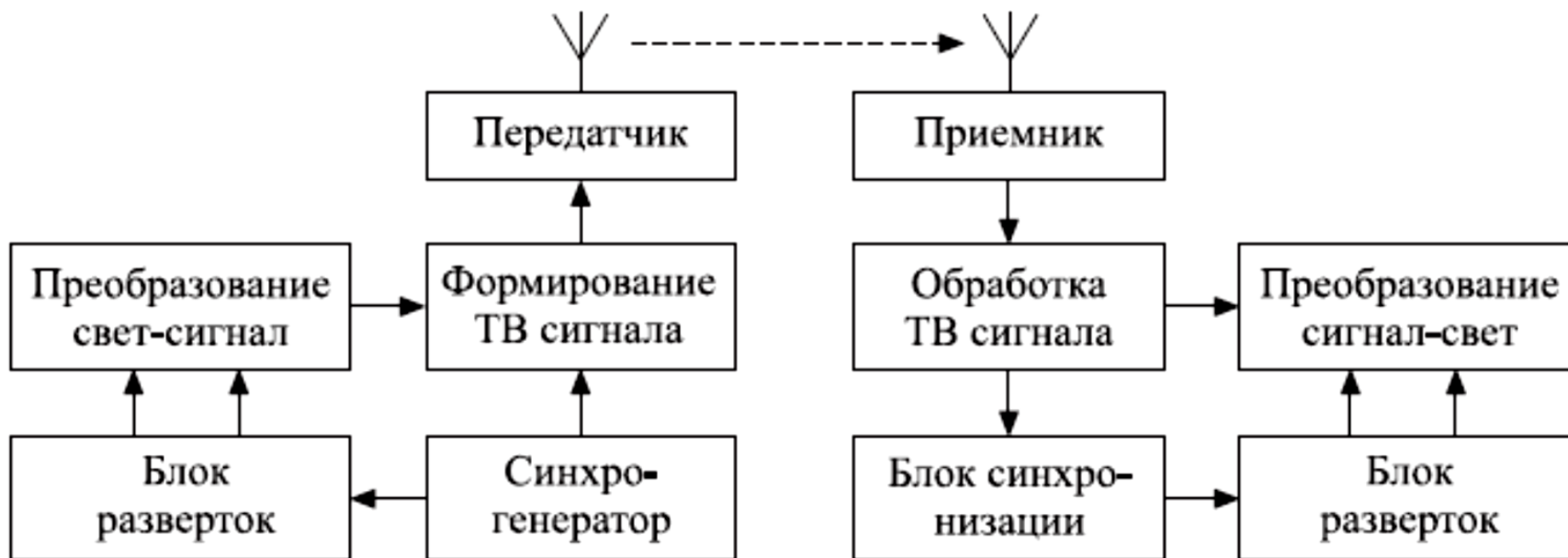
## Построчная и чересстрочная развертка







## Структура ТВ системы





## Стандарты изображения в цифровом ТВ

Стандарт	Формат	Число пикселей	Макс.част. кадров Гц	Тип развертки	Бит на отсчет	Битрейт Мбит/с
SDTV	4:3	720x576	25, 30	чс	8 или 10	198
HDTV	16:9	1920x1080	50, 60	чс и пр	8 или 10	989 или 1978
UHDTV	16:9	3840x2160	50, 60	пр	10 или 12	7910
UHDTV-1	16:9	3840x2160	100, 120	пр	10 или 12	15820
UHDTV-2	16:9	7680x4320	100, 120	пр	10 или 12	63281

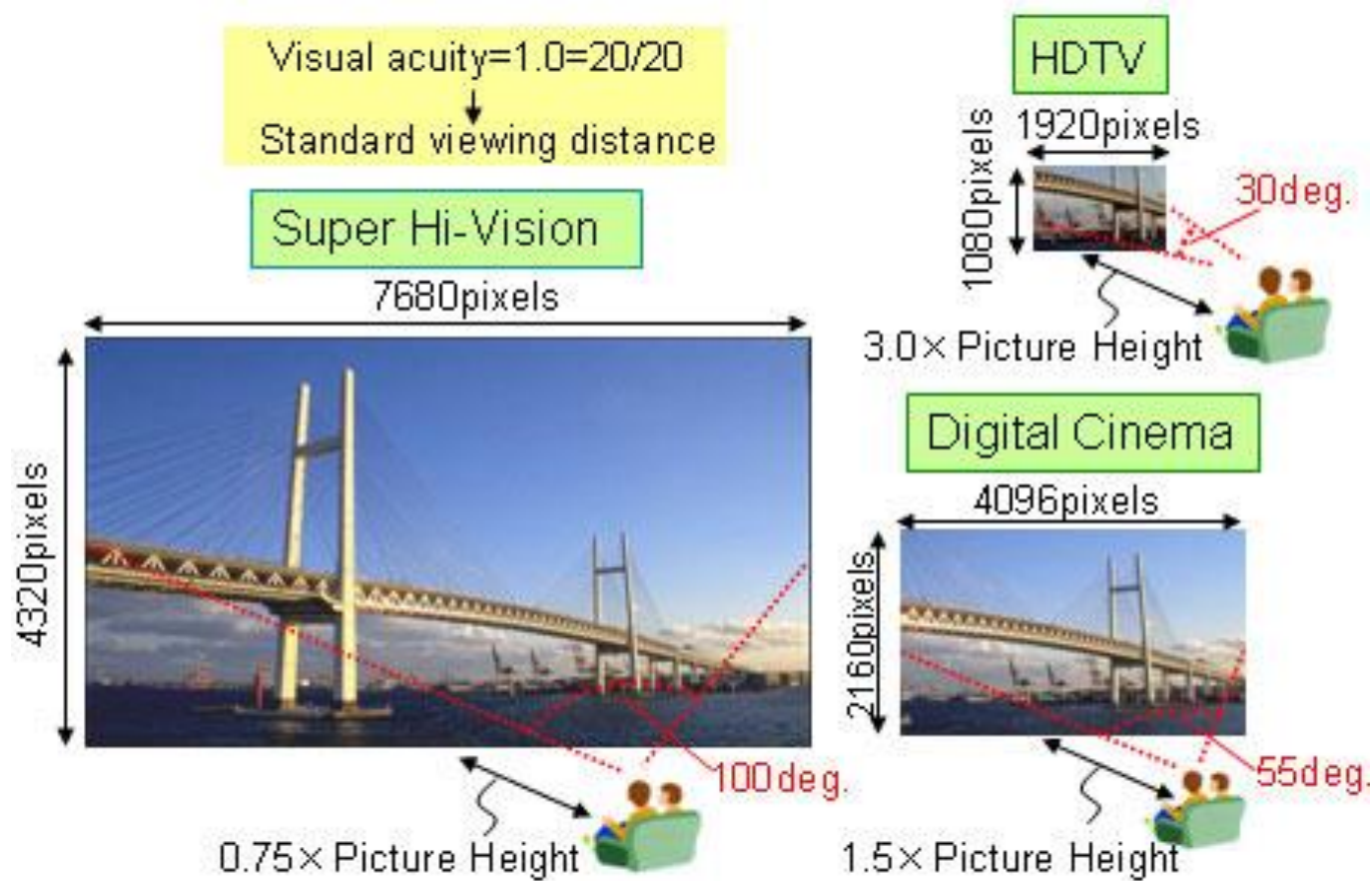
Частоты кадров, кратные 25 Гц относятся к европейским стандартам, а кратные 30 Гц - к американским.

Значения битрейта даны для формата 4:2:2 при максимальной частоте кадров и только для видеоинформации.

Применяется также стандарт 720p с форматом 16:9, прогрессивной разверткой с частотой кадров 60 Гц, число пикселей 1280x720.



## Форматы изображения



ТВ обычной четкости - 16x12 град., расстояние 5 высот экрана.



## ТВ сигналы

В системах ТВ вещания передаются яркостной сигнал  $E'_Y$  и два цветоразностных сигнала  $E'_{R-Y}$  и  $E'_{B-Y}$ :

$$\begin{aligned} E'_Y &= 0,299E'_R + 0,587E'_G + 0,114E'_B, \\ E'_{R-Y} &= E'_R - E'_Y, \\ E'_{B-Y} &= E'_B - E'_Y. \end{aligned} \tag{1}$$

Эти равенства справедливы для систем SDTV и HDTV. В системах UHDTV выражение для яркостного сигнала имеет вид

$$E'_Y = 0,2627E'_R + 0,6780E'_G + 0,0593E'_B. \tag{2}$$

Сигналы основных цветов формируются в приемнике из яркостного и цветоразностных сигналов на основе равенств (1).

После преобразования в цифровую форму сигнал яркости обозначается  $Y$ , а цветоразностные сигналы -  $C_R$  и  $C_B$ .



## Свойства ТВ сигналов

Для неокрашенных участков изображения:

$$E_R = E_G = E_B \text{ (баланс белого);}$$

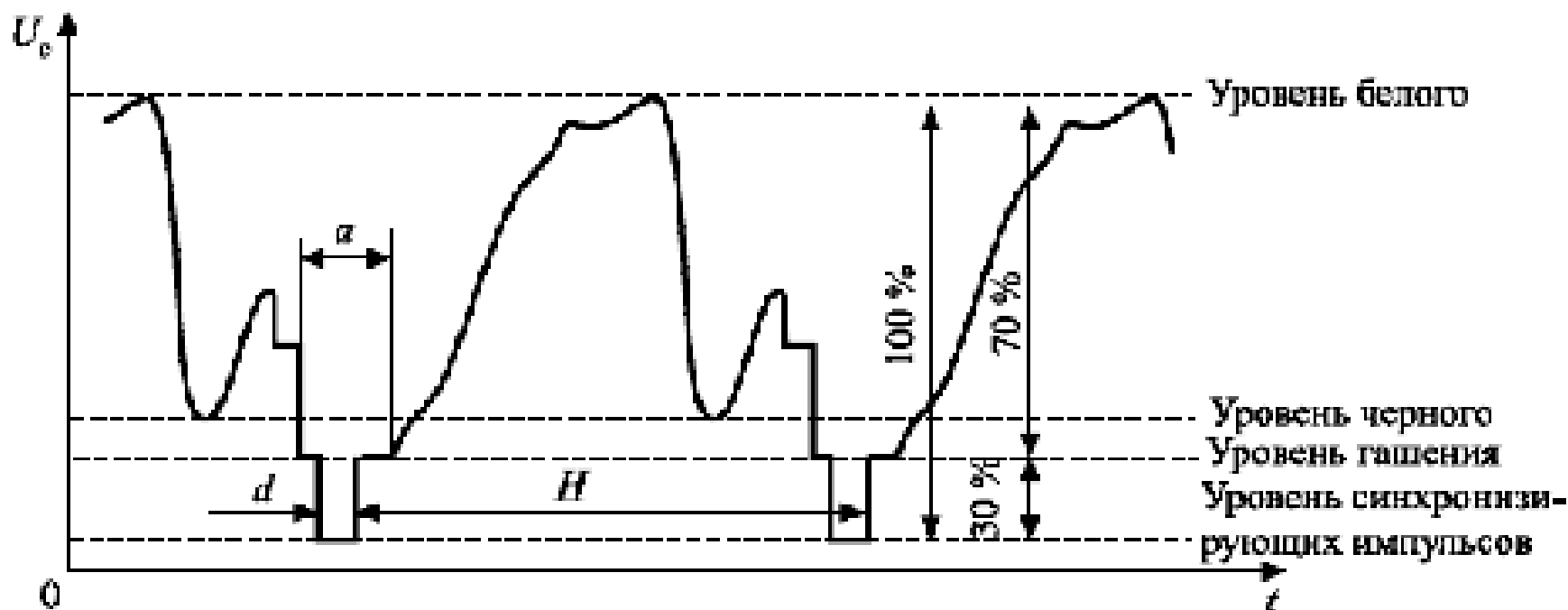
$$E'_{R-Y} = E'_{G-Y} = E'_{B-Y} = 0.$$

Для любого участка изображения:

$$0,299E'_{R-Y} + 0,587E'_{G-Y} + 0,114E'_{B-Y} = 0.$$



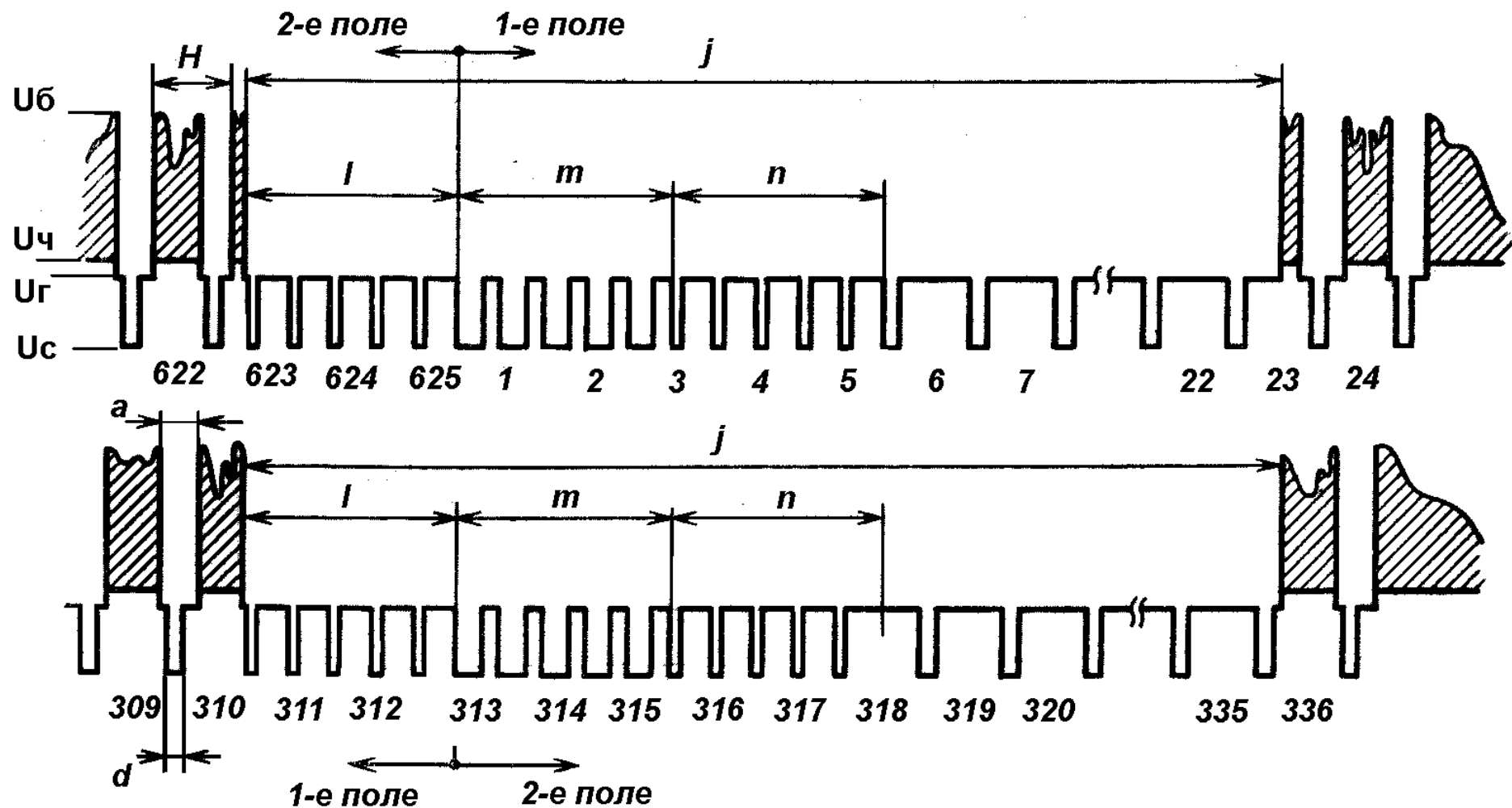
## Форма сигнала яркости и синхроимпульсов одной строки



$H$  - длительность строки, т.е. период строчной развертки,  
 $a$  - длительность обратного хода строки,  
 $d$  - длительность строчного синхроимпульса.

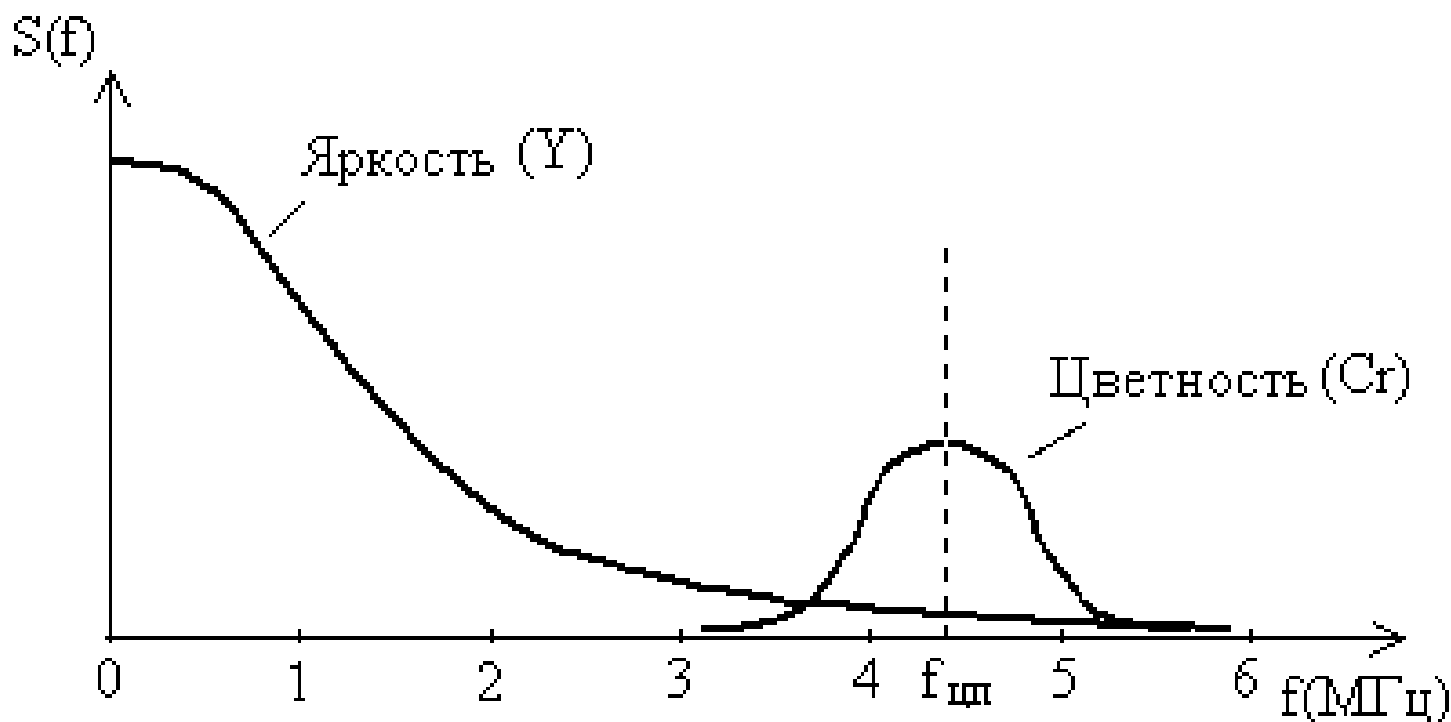


## ТВ сигнал при чересстрочной развертке





## Спектр аналогового ТВ сигнала



Верхняя граничная частота сигнала яркости 5 - 6 МГц.  
В видеозаписи VHS была снижена до 3 МГц.





## Система SECAM

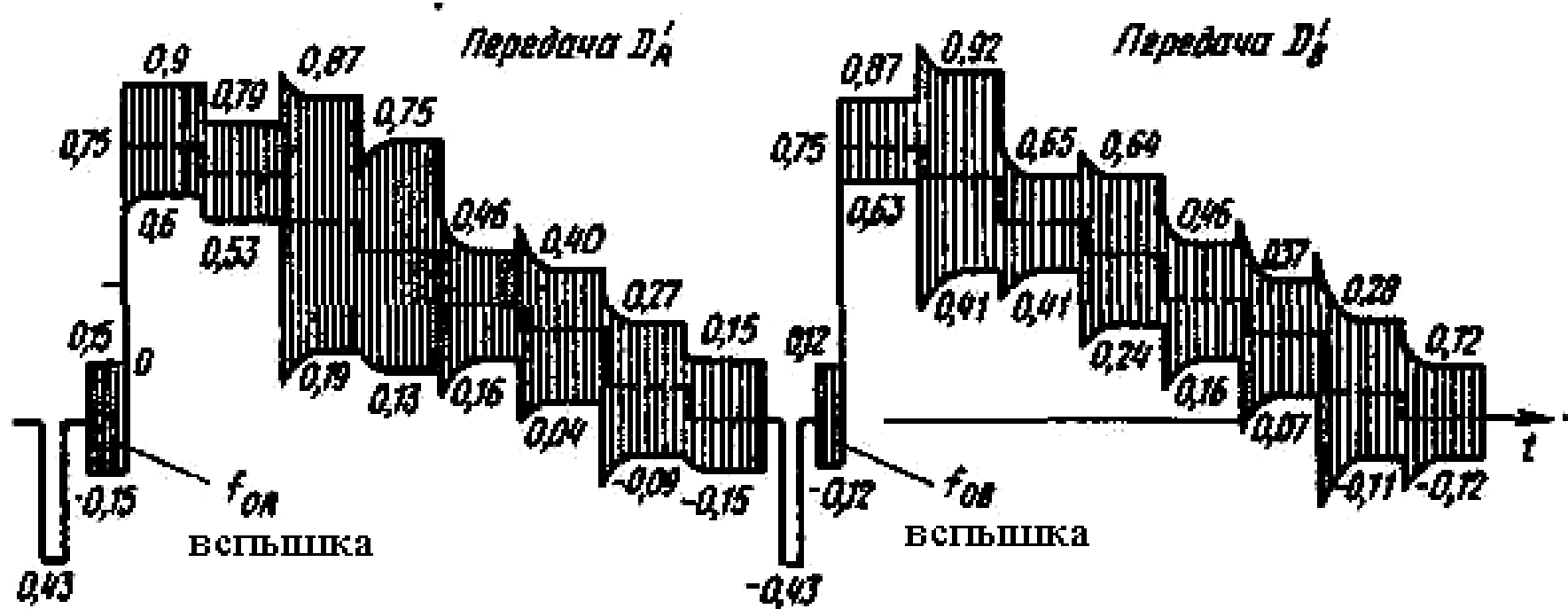
Sequentiel de Couleurs Avec Memoire (франц.) – «поочередность цветов и память».

Цветоразностные сигналы («красный» и «синий») передаются **поочередно** (через строку) с частотной модуляцией цветových поднесущих (у каждого сигнала своя поднесущая).

В приемнике для того, чтобы получить одновременно оба цветоразностных сигнала, используют **память** – линию задержки на 64 мкс.



## Сигнал системы SECAM





## Система PAL

В PAL одновременно передаются два цветоразностных сигнала  $U$  и  $V$  с применением квадратурной модуляции:

$E_p = U \cos \omega_s t \pm V \sin \omega_s t$ , где  $\omega_s = 2\pi f_s$ ,  
 $f_s = 4,43$  МГц – частота цветовой поднесущей.

При этом  $f_s = 283,75 f_{cmp}$ .

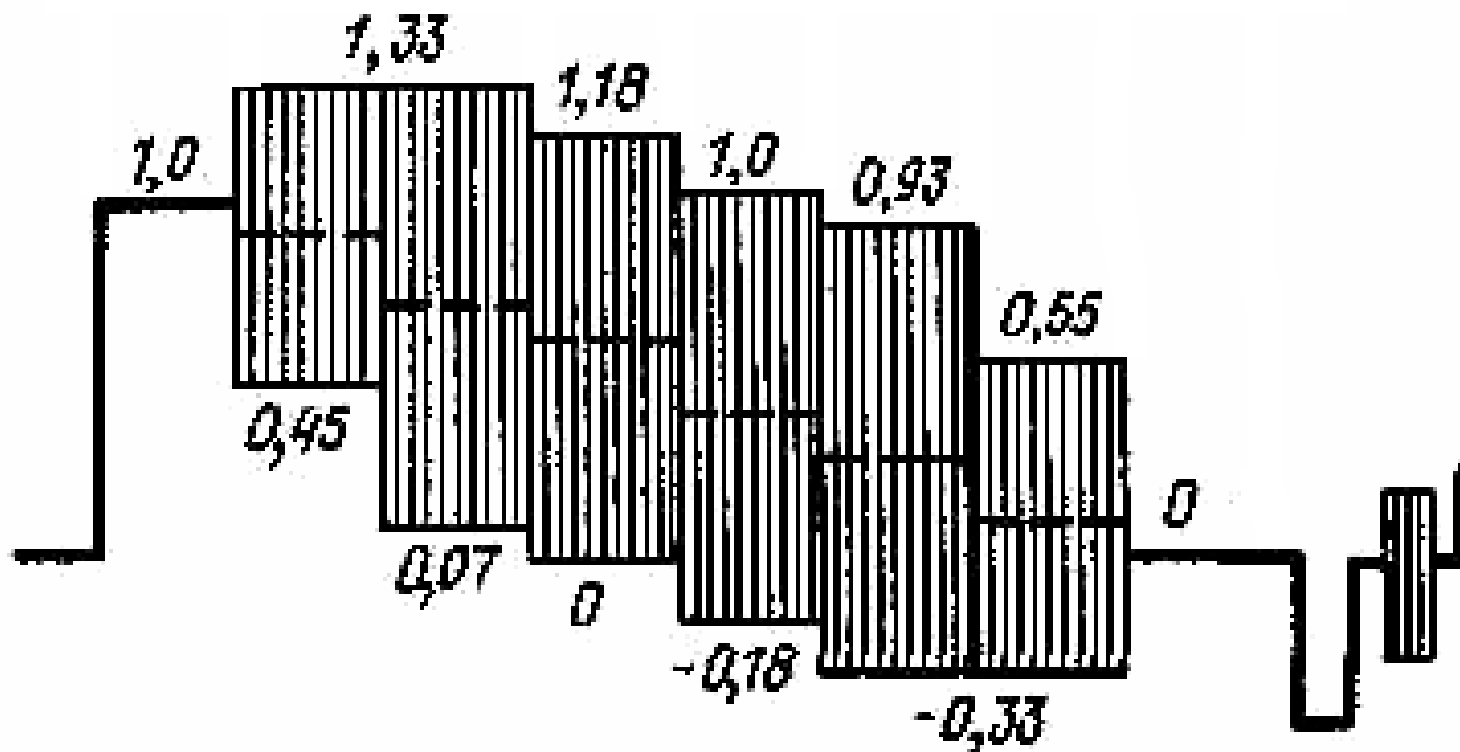
$$U = 0,493 E'_{B-Y}; \quad V = 0,877 E'_{R-Y}.$$

« $\pm$ » означает, что фаза сигнала  $V$  меняется на  $180^\circ$  в каждой второй строке.

В декодере PAL сигналы цветности двух соседних строк усредняются.



## Сигнал системы PAL





## Частотные диапазоны аналогового ТВ вещания

- I диапазон – 48,5...66 МГц (каналы 1 и 2);
- II диапазон – 76...100 МГц (каналы 3...5);
- III диапазон – 174...230 МГц (каналы 6...12);
- IV диапазон – 470...582 МГц (каналы 21...34);
- V диапазон – 582...790 МГц (каналы 35...60).
- I, II и III диапазоны – МВ (ОВЧ или VHF);
- IV и V диапазоны – ДМВ (УВЧ или UHF).

В кабельном ТВ используют также диапазоны 100...174 МГц (мезодиапазон) и 230...470 МГц (гипердиапазон)



## Модуляция в аналоговом ТВ вещании

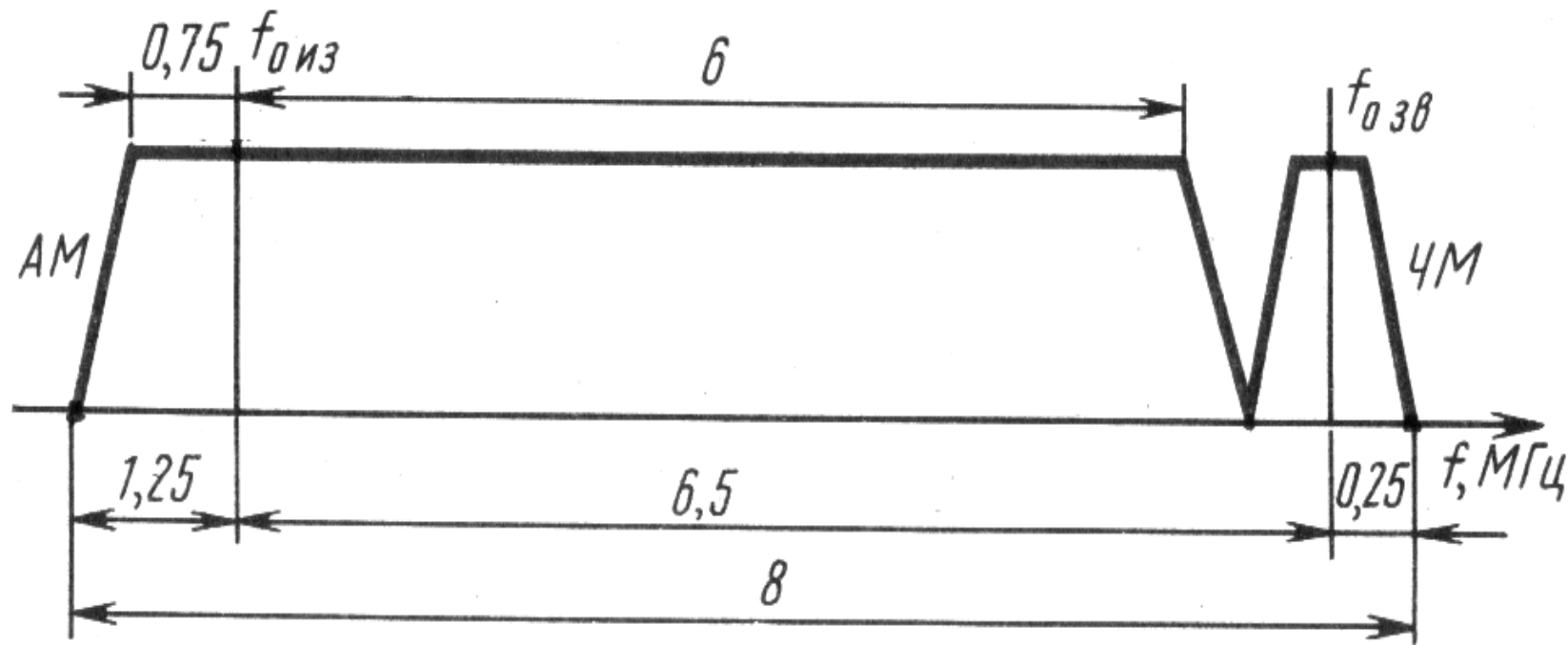
В наземном и кабельном ТВ для передачи ПЦТС применяется АМ с частично подавленной нижней боковой полосой.

Звуковое сопровождение передается с ЧМ на отдельной несущей.

Аналоговое ТВ вещание в эфире в России прекратилось в 2019 году. Но в кабельных сетях оно еще работает.



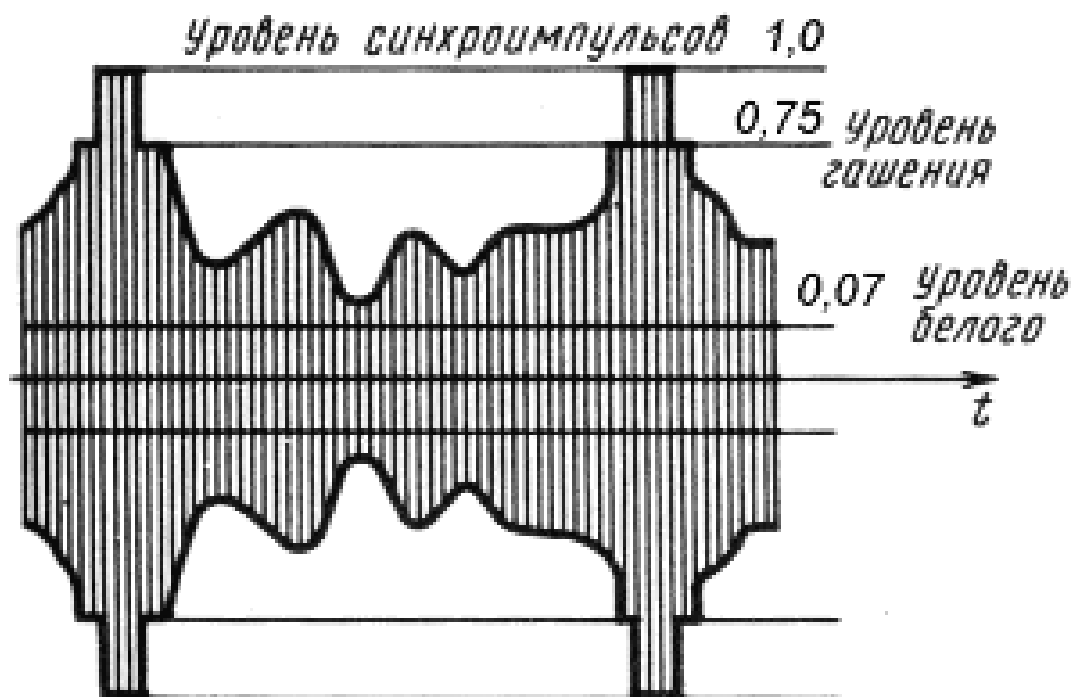
## Спектр сигнала аналогового ТВ вещания



Параметры показаны для принятых в России стандартов D (для МВ) и К (для ДМВ). В Зап. Европе действуют стандарты В и G, в которых ширина полосы ПЦТС 5 МГц, расстояние между несущими звука и изображения 5,5 МГц.



## Радиосигнал аналогового ТВ вещания







Спасибо за внимание!