

# Интеллектуальная роботроника

Курс лекций, семинаров и лабораторных работ  
“Сенсорные и управляющие системы роботов”

МГТУ “СТАНКИН”, кафедра «Сенсорные и  
управляющие системы» (СиУС) при Институте  
прикладной математики им.М.В.Келдыша РАН

Андреев Виктор Павлович, профессор, д.т.н.

Москва, 2022г.

## «Интеллектуальная роботроника»

Наука и практика разработки, производства и применения человеко-машинных, робототехнических систем (промышленных и сервисных), функционирование которых базируется на сенсорных и управляющих системах с элементами искусственного интеллекта и на распределённых микроэлектронных программно-аппаратных средствах

### Участники:

Российская Инженерная Академия

Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН

Московский государственный технологический университет «Станкин»  
(кафедра «Сенсорные и управляющие системы» при ИПМ им.Келдыша РАН)

Международная лаборатория «Сенсорика»

Международный институт новых образовательных технологий РГГУ

# **“ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ РОБОТРОНИКА”**

Сенсорные и управляющие системы роботов

Тема 4b (Лекция 8)

## **Технические средства формирования и обработки видеосигналов (получение цифровых изображений)**

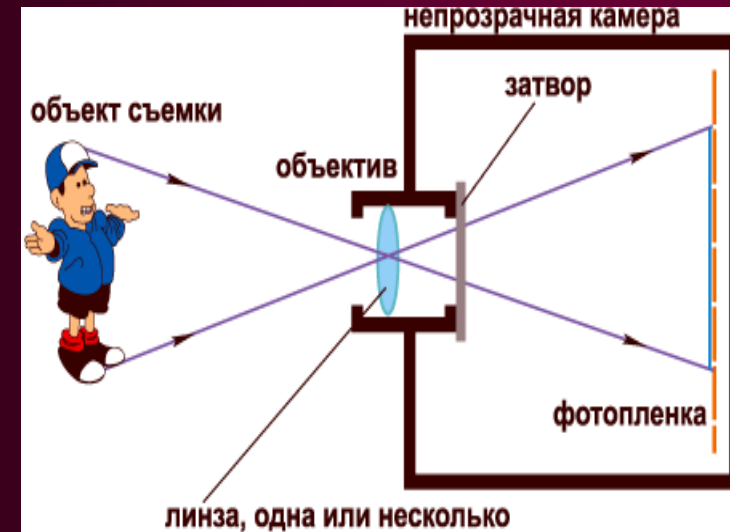
Рекомендуемая литература

1. Андреев В.П., Ким В.Л., Кувшинов С.В. и др. Интеллектуальная роботроника. Проектно-исследовательская деятельность учащихся и студентов с использованием модульных коллаборативных робототехнических систем // Учебно-методическое пособие для организации дополнительного образования. – М. : Изд-во «ОнтоПринт», 2020. – 424 с. (Библ. СТАНКИН).
2. <http://proxy.uniar.ru/RGGU/Files/Data/69ad8073-3e2a-47e7-8ce8-6370b4d3ccf0/index.htm>.

# Технические средства формирования и обработки видеосигналов

## Фото и телекамеры. Принцип работы:

Световой поток от объекта съёмки преобразуется объективом в действительное изображение на светочувствительной поверхности; регулируется по интенсивности (диафрагмой объектива) и времени воздействия (выдержкой); при необходимости обрабатывается установленными на его пути светофильтрами.



В плёночном фотоаппарате запоминание изображения происходит на фотоплёнке, фотопластинке и т. п. — образуется скрытое изображение, фотоматериал после съёмки проходит химическую или физическую обработку.

В цифровом фотоаппарате изображение воспринимается матрицей фотодатчиков; сигнал с фотоматрицы оцифровывается, запоминание происходит в буферном ОЗУ и затем сохраняется на каком-либо цифровом носителе.

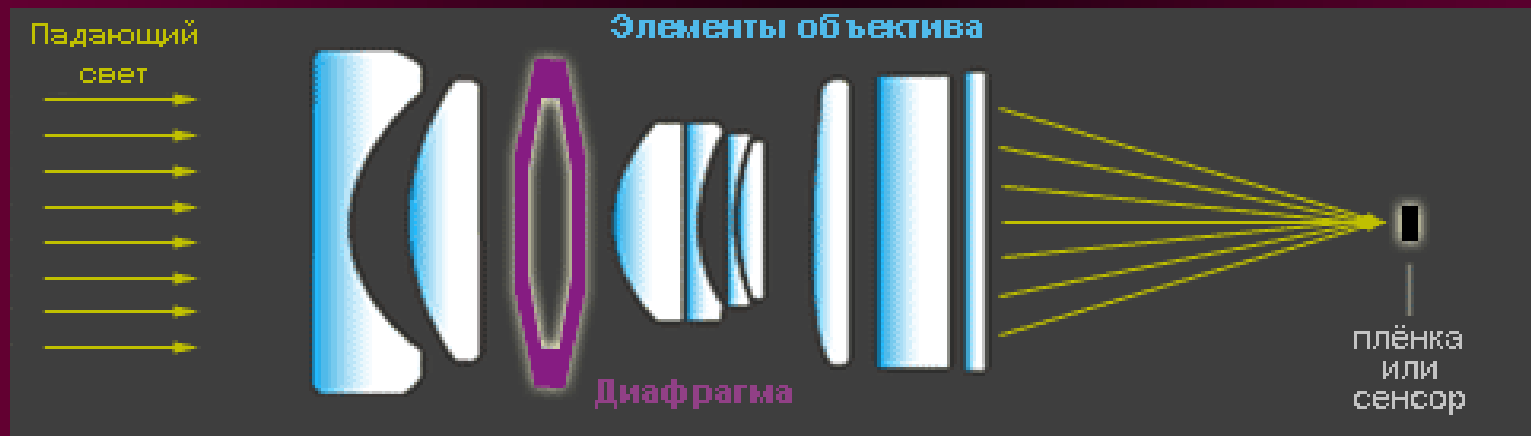
Состоит из:

- 1 — светонепроницаемой камеры, которая защищает светочувствительный материал от засветки посторонним светом в процессе съёмки;
- 2 — светочувствительного материала (фотоплёнка, фотоматрица или электронно-оптический датчик с сопутствующим оборудованием);
- 3 — объектива, который проецирует изображение на чувствительный элемент;
- 4 — затвора, управляющего временем проецирования изображения.

# Технические средства формирования и обработки видеосигналов

## Фото и телекамеры. Объектив:

**Объектив** — оптическое устройство, предназначенное для создания действительного оптического изображения. Световой поток от объекта съёмки преобразуется объективом в действительное изображение на светочувствительной поверхности; регулируется по интенсивности (диафрагмой объектива) и по времени воздействия (выдержкой); при необходимости световой поток обрабатывается светофильтрами.



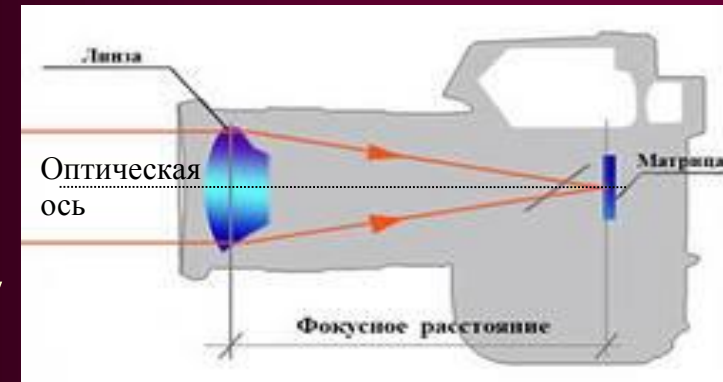
Обычно объектив состоит из набора линз (в некоторых объективах — из зеркал), рассчитанных для взаимной компенсации аберраций, и собранных в единую систему внутри оправы.

В конструкцию объектива могут входить вспомогательные элементы: диафрагма, для управления количеством проходящего света, система фокусировки, фотографический затвор, внутренние и встроенные бленды.

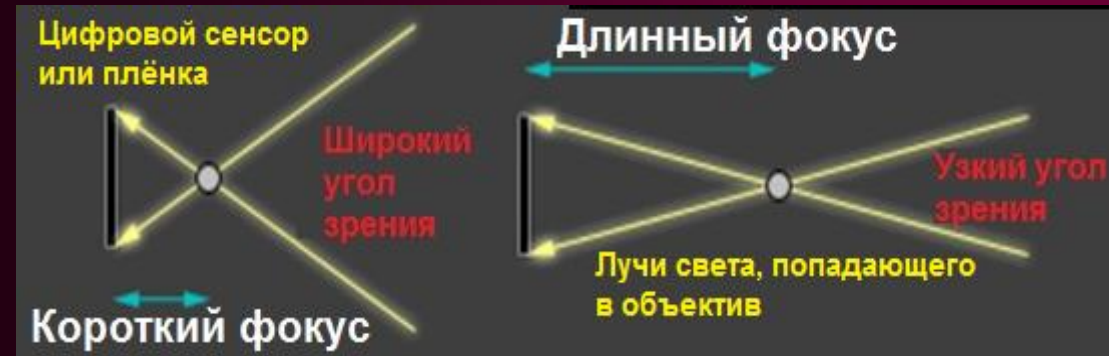
# Технические средства формирования и обработки видеосигналов

**Объектив — основные характеристики:**

**Фокусное расстояние** — физическая характеристика оптической системы. Для центрированной оптической системы, состоящей из сферических поверхностей, описывает способность собирать лучи в одну точку при условии, что эти лучи идут из бесконечности параллельным пучком параллельно оптической оси.



**Угол поля зрения объектива** — угол в пространстве предметов между двумя внеосевыми лучами, проходящими через объектив и ограниченный диагональю кадрового окна (полевой диафрагмой).



Расчёт угла поля зрения в зависимости от фокусного расстояния и типа матрицы

$$f = v \times \frac{S}{V};$$
$$f = h \times \frac{S}{H};$$

$f$  — фокусное расстояние  
 $v$  — вертикальный размер матрицы  
 $V$  — вертикальный размер объекта  
 $S$  — расстояние до объекта  
 $h$  — горизонтальный размер матрицы  
 $H$  — горизонтальный размер объекта

Формат матрицы	$1/3''$	$1/4''$
Вертикальный размер ( $v$ ), мм	3,6	2,4
Горизонтальный размер ( $h$ ), мм	4,8	3,2



# Технические средства формирования и обработки видеосигналов

Ориентировочные углы обзора 1/3" видеокамер:

Объектив (фокусное расстояние), мм	Угол обзора по вертикали, град	Угол обзора по горизонтали, град
2,5	90	120
2,9	78	104
3,4	70	94
3,5	63	79
3,6	54	72
3,7	52	70
4,0	48	75
5,5	40	55
6,0	32	42
8,0	24	32
12,0	17	22
16,0	12	17
50	4	5,5

# Технические средства формирования и обработки видеосигналов

**Объектив — основные характеристики:**

**Светосила** объектива — величина, характеризующая степень ослабления объективом светового потока.

Геометрическая светосила  $J$  пропорциональна площади

$$J = \frac{\pi}{4} \times \left( \frac{d}{f} \right)^2; \quad J = \frac{\pi}{4} \times \frac{1}{k^2}$$

действующего отверстия объектива ( $f$  — фокусное расстояние;

$d$  — диаметр действующего отверстия;  $k$  — диафрагменное число).

$$\frac{d}{f'} = \frac{1}{k};$$

**Относительное отверстие** объектива — отношение диаметра выходного зрачка объектива  $d$  к его заднему фокусному расстоянию  $f'$ . Его величину выражают в виде дроби, когда числитель приведён к единице. Знаменатель относительного отверстия  $k$  называют «диафрагменным числом».

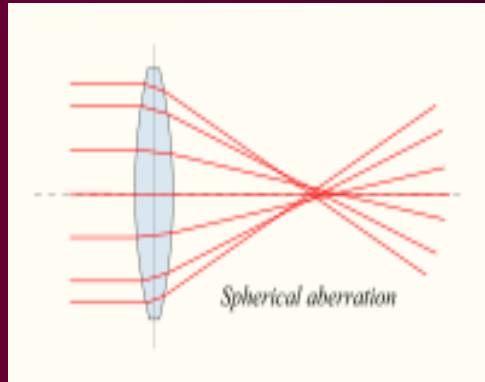
**Разрешающая сила** объектива — характеристики фотографического объектива, отображающие его свойства по передаче чёткого изображения. Разрешающая способность объектива оценивается по количеству воспроизводимых штрихов на 1 мм изображения, которое тот способен спроецировать на фоточувствительный элемент. При этом снимаемый объект находится в фокусе, а не в зоне резкого изображения для данного объектива. Измерения разрешающей способности проводят с помощью специальных мир.



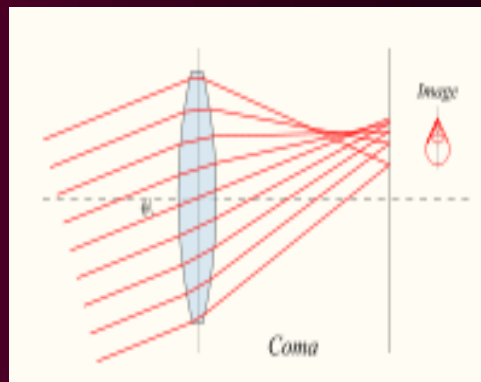
# Технические средства формирования и обработки видеосигналов

## Объектив — искажения оптики:

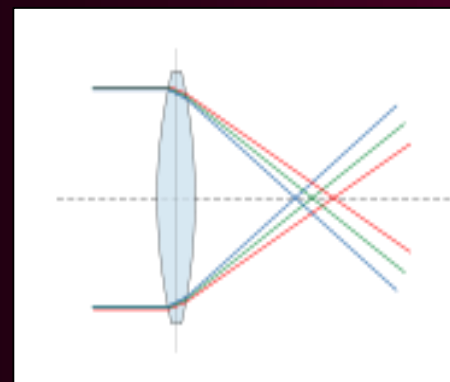
**Аберрация оптической системы** — ошибка или погрешность изображения в оптической системе, вызываемая отклонением луча от того направления, по которому он должен был бы идти в идеальной оптической системе.



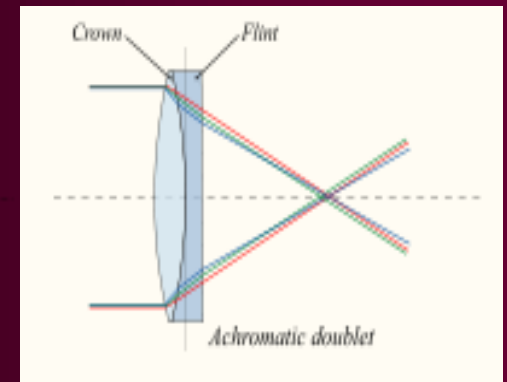
Сферическая  
абберация



Кома



Хроматическая  
абберация



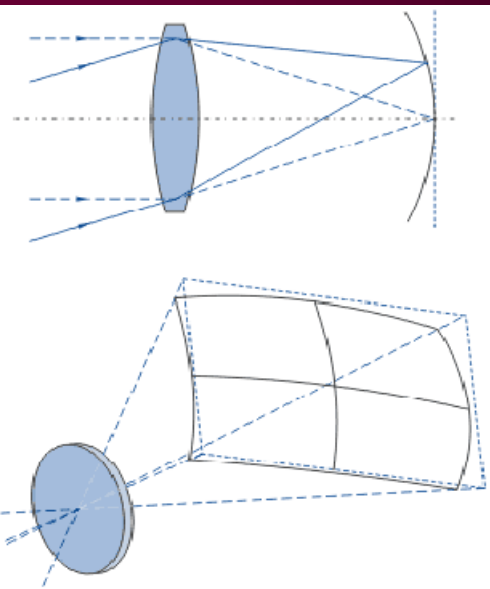
Ахроматическая  
абберация

**Аберрации** можно разделить на **монохроматические**, т.е. присущие монохромным пучкам лучей, и **хроматические**. Такие погрешности изображений присущи всякой реальной оптической системе, и принципиально неустранимы. Их возникновение объясняется тем, что преломляющие поверхности неспособны собрать в точку сколько-нибудь широкие пучки лучей, падающие на них под большими углами. Эти аберрации приводят к тому, что изображением точки является некоторая размытая фигура, а не точка, что, в свою очередь, отрицательно влияет на чёткость изображения и нарушает подобие изображения и предмета.

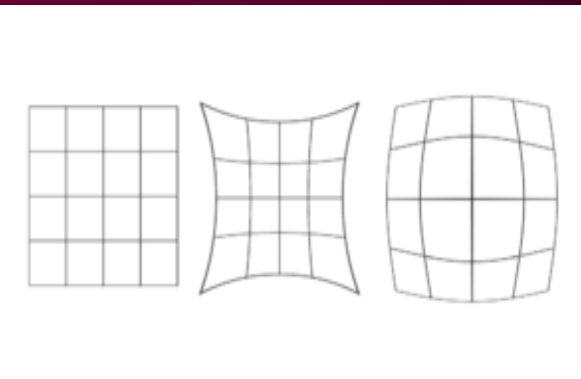
# Технические средства формирования и обработки видеосигналов

**Объектив — геометрические искажения оптики:**

**Аберрация оптической системы** — ошибка или погрешность изображения в оптической системе, вызываемая отклонением луча от того направления, по которому он должен был бы идти в идеальной оптической системе.



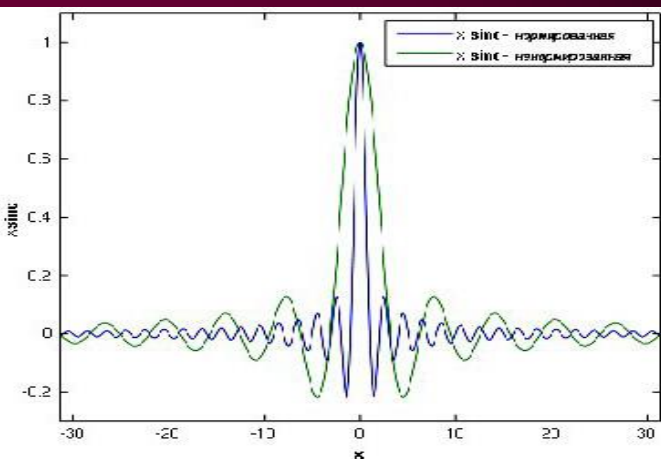
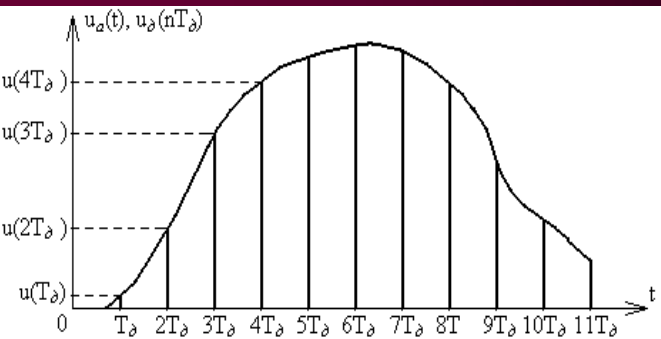
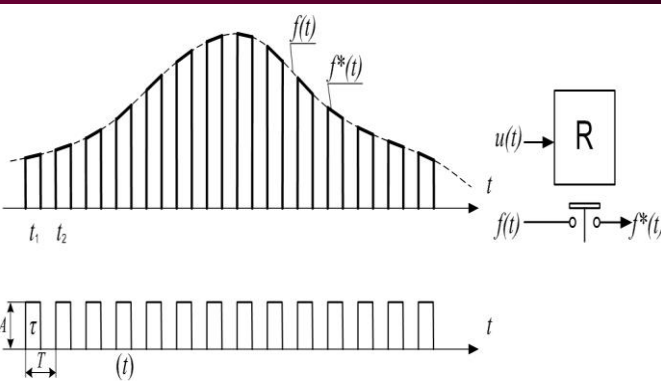
**Кривизна поля изображения** — аберрация, в результате которой изображение плоского объекта, перпендикулярного к оптической оси объектива, лежит на поверхности, вогнутой либо выпуклой к объективу. Эта аберрация вызывает неравномерную резкость по полю изображения. Поэтому, когда центральная часть изображения сфокусирована резко, то его края будут лежать не в фокусе и изобразятся не резко. Если установку на резкость производить по краям изображения, то его центральная часть будет нерезкой.



**Дисторсия** (от лат. *distorsio*, *distortio* — искривление) — аберрация оптических систем, при которой линейное увеличение изменяется по полю зрения. При этом нарушается подобие между объектом и его изображением. Исправляется подбором линз и других элементов оптической системы. Если присутствует в цифровом изображении, может быть исправлена программно.

# Технические средства формирования и обработки видеосигналов

## Дискретизация и квантование:



**Аналоговый сигнал** — сигнал, непрерывный как по величине, так и по времени.

**Дискретизация по времени** — преобразование непрерывной функции  $f(t)$  в дискретную (в отсчёты функции в заданные моменты времени); при этом исключается из рассмотрения множество её значений в течение некоторых заданных интервалов времени.

**Теорема Котельникова** (теорема Найквиста — Шеннона или теорема отсчётов): если аналоговый сигнал  $f(t)$  имеет ограниченный по ширине ( $f_c$ ) спектр частот, то он может быть восстановлен однозначно и без потерь по своим отсчётам, взятым с частотой, строго большей удвоенной верхней частоты  $f > 2f_c$ .

В общем виде, теорема Котельникова утверждает, что непрерывный сигнал  $x(t)$  можно представить в виде интерполяционного ряда, где  $Sinc(x) = Sin(x)/x$  ;  
 $0 < \Delta \leq 1/2f_c$

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k\Delta) \text{sinc} \left[ \frac{\pi}{\Delta} (t - k\Delta) \right];$$

# Технические средства формирования и обработки видеосигналов

## Дискретизация и квантование:

**Аналоговый сигнал** — сигнал, непрерывный как по величине, так и по времени.

**Квантование** — дискретизация по амплитуде или разбиение диапазона значений непрерывной или дискретной величины на конечное число интервалов. Это нелинейная операция, поскольку на выходе устройства квантования возникает последовательность дискретных импульсов из непрерывной величины на входе. Квантование: а) с постоянным шагом; б) с переменным ш.; в) ошибка квантования.

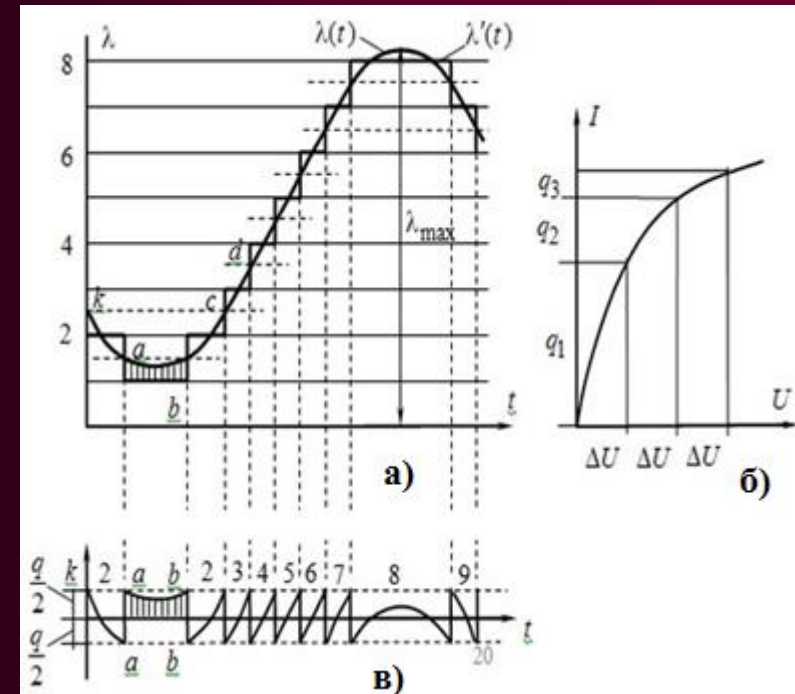
**Однородное** (линейное) **квантование** — разбиение диапазона значений на отрезки равной длины: целое от деления

$U_q = [(U - U_0)/q]$ , где  $q$  — шаг квантования.

Для квантования в двоичном коде диапазон напряжения сигнала от  $U_{\min}$  до  $U_{\max}$  делится на  $2^n$  интервалов:

шаг квантования  $q = (U_{\max} - U_{\min})/2^n$ .

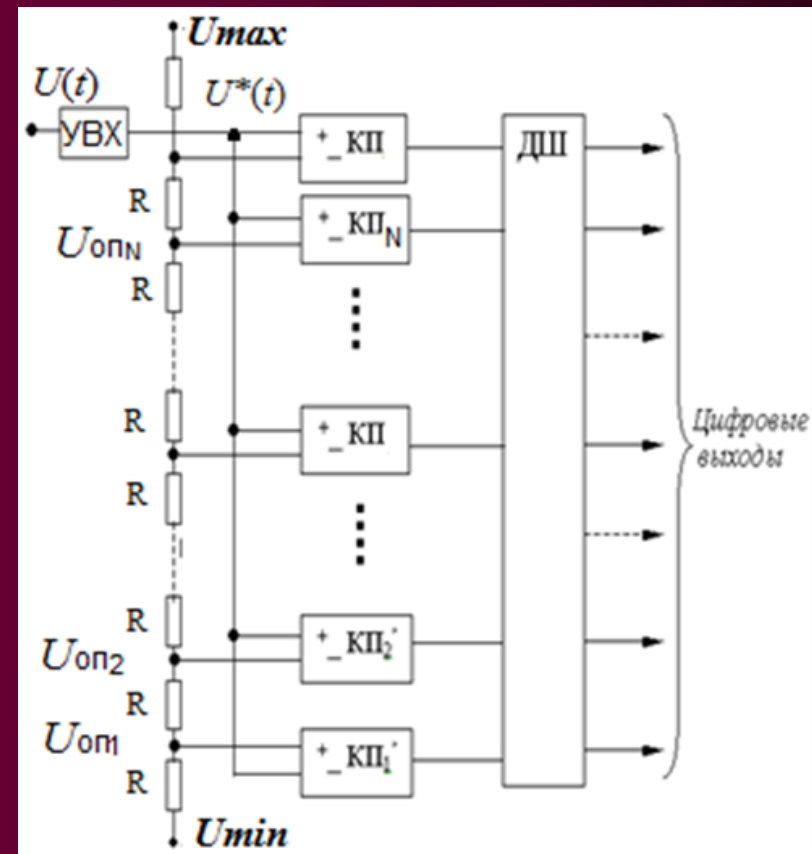
**Ошибка квантования**  $\varepsilon(t)$  — есть функция элементарных уровней квантования  $q$  и входной величины  $\lambda(t)$ :  $0 \leq \varepsilon \leq q$ ; её среднеквадратичное значение:



$$\bar{\varepsilon}^2 = \frac{\alpha}{q} \int_{-q/2\alpha}^{+q/2\alpha} (\alpha t) dt = \frac{q^2}{12}$$

# Технические средства формирования и обработки видеосигналов

Дискретизацию и квантование обычно выполняет аналого-цифровой преобразователь (АЦП), обратное преобразование — цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП).



АЦП состоит из устройства выборки и хранения (УВХ), выполняющего дискретизацию аналогового сигнала  $U(t)$ , формирователя стабилизированных опорных напряжения  $U_{опN}$ , представляющего собой резистивный делитель напряжения, компараторов КП и дешифратора ДШ.

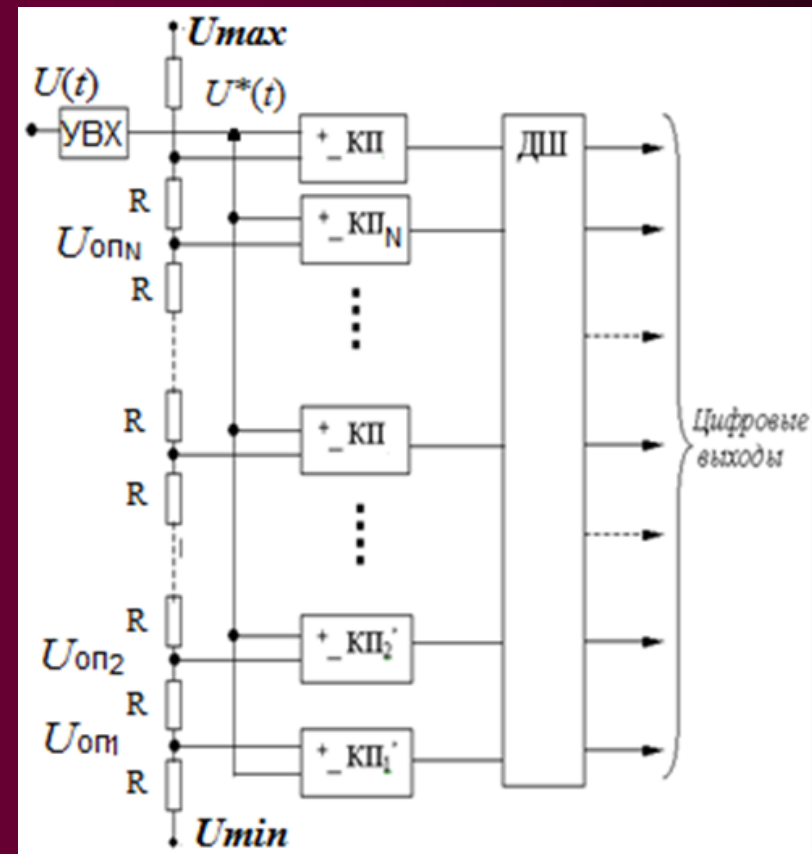
Электронный ключ УВХ с тактовой частотой  $f > 2f_c$  замыкает цепь на время  $\tau = 0.5T$  (где  $T$  — период тактовой частоты,  $f_c$  — максимальная частотная составляющая входного сигнала) и входной сигнал  $U(t)$  поступает на интегратор, который выполняет роль НЧ-фильтра. Затем электронный ключ размыкается и на входы всех

КП подаётся среднее за время  $\tau$  значение дискретного отсчёта сигнала  $U^*(t)$ . За второй полупериод тактовой частоты значение отсчёта удерживается неизменным (выполняется хранение) с тем, чтобы компараторы успели сопоставить это значение с опорными напряжениями  $U_{опN}$ .



# Технические средства формирования и обработки видеосигналов

Дискретизацию и квантование обычно выполняет аналого-цифровой преобразователь (АЦП), обратное преобразование — цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП).



Каждый из компараторов сравнивает значение дискретного отсчёта с соответствующим опорным напряжением и формирует на выходе значение 0 (ноль), если входное значение меньше опорного напряжения, или 1 (единица) в противном случае. Таким образом формируется цифровой код, соответствующий количеству сработавших компараторов. С помощью дешифратора ДШ этот код преобразуется в обычный цифровой двоичный код.

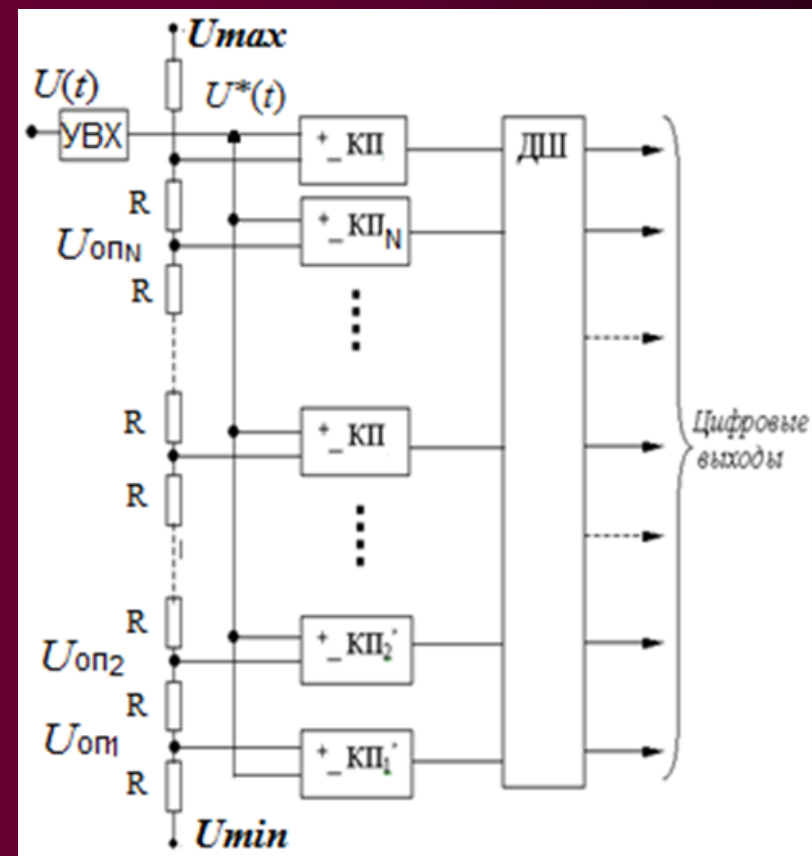
Разрядность кода определяется количеством уровней квантования входного сигнала, диапазон значений которого должен находиться в пределах  $U_{max} \div U_{min}$ . Так 256 уровням квантования

входного сигнала соответствует 8 разрядов цифрового кода (0 – 255). В этом случае АЦП должен содержать 255 компараторов. Обычно такие устройства изготавливаются в виде микросхемы.



# Технические средства формирования и обработки видеосигналов

Дискретизацию и квантование обычно выполняет аналого-цифровой преобразователь (АЦП), обратное преобразование — цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП).



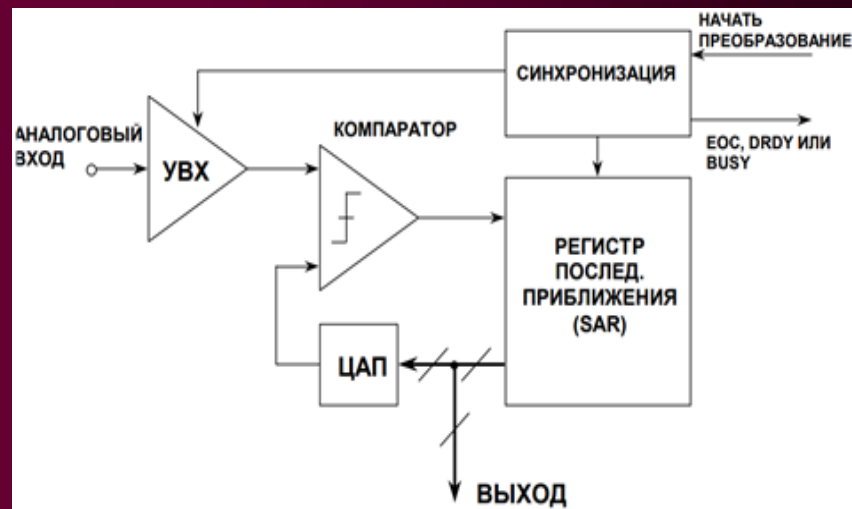
**Разрешение АЦП** — минимальное изменение величины аналогового сигнала, которое может быть преобразовано данным АЦП — связано с его разрядностью. Разрешение ограничено отношением сигнал/шум входного сигнала.

Есть линейные и нелинейные АЦП. Логарифмические АЦП часто применяются для увеличения динамического диапазона передаваемых значений без изменения качества передачи сигнала в области малых амплитуд (учёт закона Вебера-Фехнера). Время преобразования определяется устройством выборки и хранения (УВХ) и временем срабатывания компараторов (КП).

Параллельные АЦП прямого преобразования — это самые скоростные, но и самые дорогие приборы.

# Технические средства формирования и обработки видеосигналов

Существует другой класс АЦП – аналого-цифровые преобразователи последовательного приближения.



В устройстве происходит преобразование аналогового сигнала в цифровой код за  $N$  шагов, где  $N$  – разрядность АЦП.

Обычно АЦП содержит УВХ, один компаратор, вспомогательный цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) и регистр последовательного приближения. УВХ должно обеспечивать постоянное значение входного сигнала за всё время его преобразования в цифровой код. За  $N$  шагов вспомогательный ЦАП последовательно (метод дихотомии) преобразует цифровой код в аналоговый сигнал в регистре последовательного приближения.

Компаратор выполняет сравнение входного сигнала с формируемым с помощью ЦАП аналоговым сигналом. По окончании сравнения, когда значение входного сигнала сравнивается с значением аналогового сигнала на выходе вспомогательного ЦАП, в регистре последовательного приближения будет сформирован двоичный код, соответствующий значению входного сигнала.

# Технические средства формирования и обработки видеосигналов

Дискретизацию и квантование обычно выполняет аналого-цифровой преобразователь (АЦП), обратное преобразование — цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП).

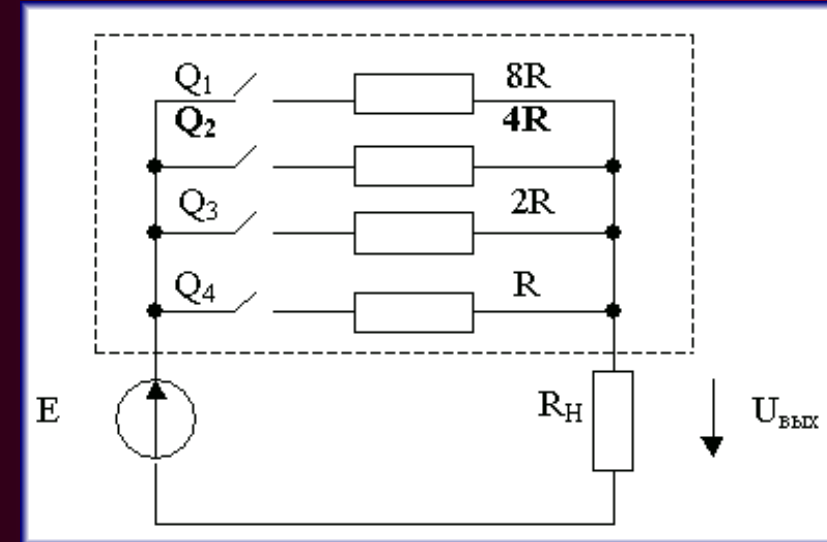
**Принцип работы ЦАП** — суммирование аналоговых сигналов — токов (согласно закона Кирхгофа), пропорциональных весам разрядов входного цифрового кода, с коэффициентами, равными нулю или единице в зависимости от значения соответствующего разряда кода. ЦАП преобразует цифровой двоичный код  $Q_4Q_3Q_2Q_1$  в аналоговую величину:

$$U_{\text{ВЫХ}} = e \cdot (Q_1 \cdot 1 + Q_2 \cdot 2 + Q_3 \cdot 4 + Q_4 \cdot 8 + \dots),$$

где  $Q_i$  — значение  $i$ -го разряда двоичного кода.

$e$  — напряжение, соответствующее весу младшего разряда.

Электронные ключи ( $ЭК_i$ ) управляются разрядами кода. Если в  $i$ -м разряде 1 (единица), то замыкается соответствующий  $ЭК_i$ , и в цепь суммирования токов добавляется ток, определяемый величиной сопротивления  $R_i$ . Для минимизации ошибки преобразования необходимо соблюдать условие  $R_H \ll R_{\text{ВЫХ}}$ , что достигается за счёт использования в цепи суммирования источников тока, которые характеризуются бесконечно большим выходным сопротивлением.



# Технические средства формирования и обработки видеосигналов

## Частота кадров телевизионного сигнала и в кино

Частота смены кадров в телевидении является частью стандарта разложения изображения и при его создании выбиралась исходя из уже существующей частоты смены кадров кинематографа (24 к/с), физиологических критериев, а также была привязана к частоте промышленного переменного тока. Физиологическим пределом заметности мерцания изображения при средних значениях его яркости считается частота в **48 Гц**.

В кинематографе для сдвига частоты слияния мельканий выше физиологического предела (КЧСМ) с 1902 года применяется обтюратор кинопроектора. В телевидении для этих же целей при сохранении близкой к кинематографу кадровой частоты (25 к/с или 50 пк/с) применяется чересстрочная развёртка. Изображение целого кадра строится дважды сначала нечётными строками, а затем чётными. Кроме того, для синхронизации передатчика и множества телевизионных приёмников кадрковая частота телевидения изначально привязывалась к частоте местных электросетей:

Европейский стандарт разложения **625/50** передаёт **50** полукадров в секунду (1 полукадр — 20 мсек), соответствуя промышленному току с частотой **50 Гц**.

Американский стандарт **525/60** — **60** полукадров в секунду, совпадает по частоте с электросетями Северной Америки.

# Технические средства формирования и обработки видеосигналов

## Частота кадров телевизионного сигнала и в кино

Частота смены кадров в телевидении является частью стандарта разложения изображения и при его создании выбиралась исходя из уже существующей частоты смены кадров кинематографа (24 к/с), физиологических критериев, а также была привязана к частоте промышленного переменного тока. Физиологическим пределом заметности мерцания изображения при средних значениях его яркости, считается частота в **48 Гц**.

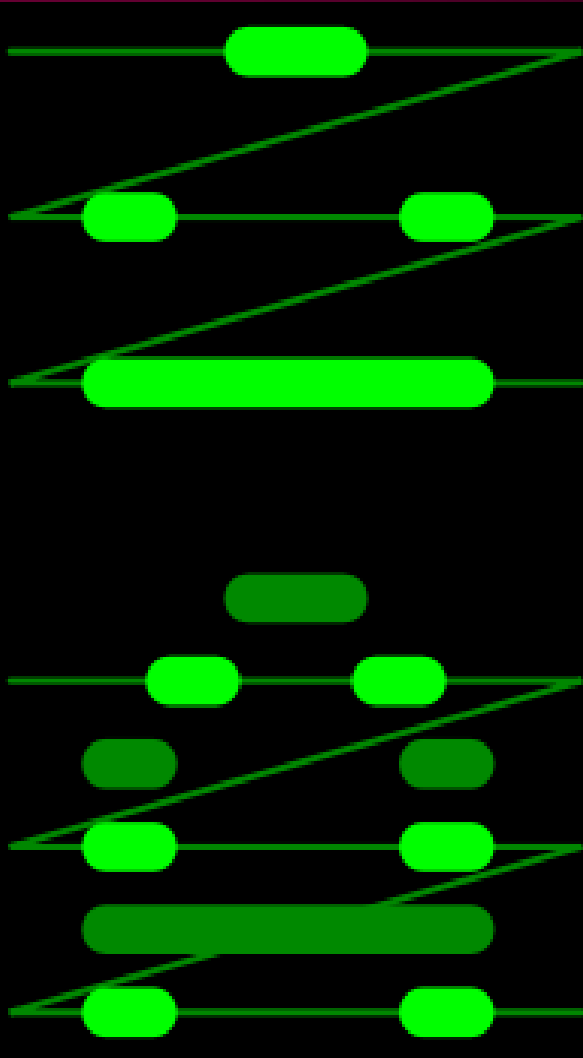
В разных телевизионных стандартах HDTV применяются чересстрочная и прогрессивная (построчная) развёртки.

При появлении в телесигнале специальных управляющих синхроимпульсов, равенство кадровой частоты и частоты питающего напряжения стало вредным, оно приводило к появлению медленно плывущих по экрану участков разной яркости.

Минимальная кадровая частота для создания ощущения плавности движения составляет  $\sim 12 \div 18$  кадров в секунду. Эта цифра установлена экспериментально на заре кинематографа для экранов маленьких размеров. С ростом размеров экранов эти значения увеличиваются.

# Технические средства формирования и обработки видеосигналов

## Чересстрочная развёртка



Это метод телевизионной развёртки, при котором каждый кадр разбивается на два полукадра (или поля), составленные из нечётных и чётных строк полного кадра.

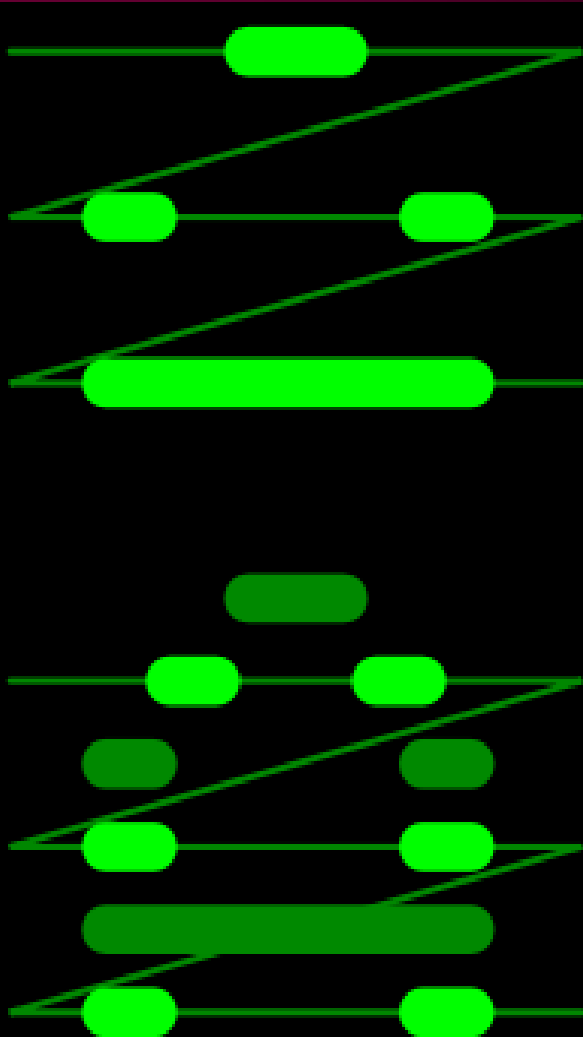
В первом поле воспроизводятся нечётные строки, во втором — чётные строки, располагающиеся в промежутках между строками первого поля. После окончания развёртки второго поля луч возвращается в точку, соответствующую началу развёртки первого поля, и т. д.

**Чересстрочная развёртка** является компромиссом между критической частотой слияния мельканий (КЧСМ) и шириной полосы частот, занимаемой видеосигналом.



# Технические средства формирования и обработки видеосигналов

## Чересстрочная развёртка



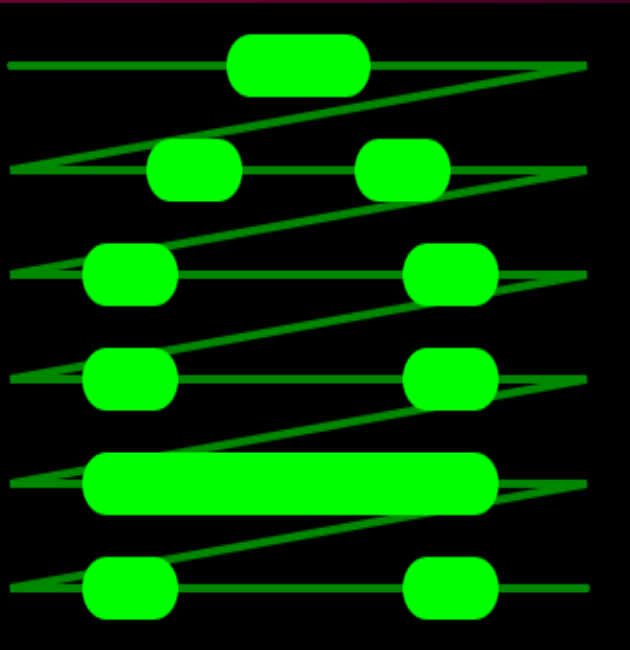
Это метод телевизионной развёртки, при котором каждый кадр разбивается на два полукадра (или поля), составленные из нечётных и чётных строк полного кадра.

**Чересстрочная развёртка** имеет один существенный недостаток: из-за последовательной передачи полукадров (полей) при выводе телевизионного изображения на устройства отображения с прогрессивной развёрткой, такие как жидкокристаллические телевизоры, мультимедийные проекторы, на движущихся объектах появляется эффект «гребёнки» или мерцание изображения. Чтобы избавиться от этого неприятного эффекта, применяются процесс конвертации видео в прогрессивный формат, который называется деинтерлейсинг (англ. Deinterlacing – устранение чересстрочности).

# Технические средства формирования и обработки видеосигналов

## Прогрессивная (построчная) развёртка

Это метод телевизионной развёртки, при котором для отображения, передачи или хранения движущихся изображений все строки каждого кадра отображаются последовательно.



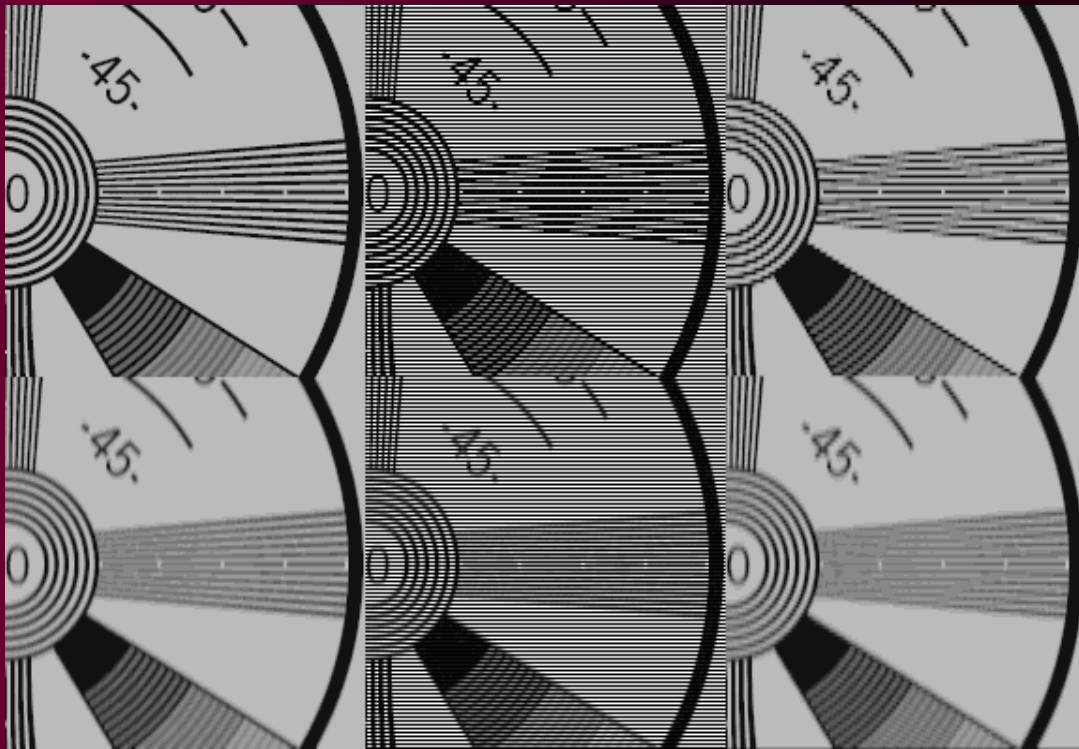
### Достоинства

- Отсутствие визуальных искажений, в виде мерцаний на движущихся объектах, часто называемых «гребенкой» или «стробом», обычно связанных с чересстрочной разверткой. Поэтому нет необходимости применять сглаживание видеоизображения для устранения мерцаний и гребенки, тем самым вносить искажения.
- Видеоизображение можно масштабировать до большего разрешения быстрее и качественнее, в сравнении с таким же видео с чересстрочной развёрткой.
- Кадр не имеет разбиения на два поля, поэтому может быть сохранен как отдельная фотография.

# Технические средства формирования и обработки видеосигналов

## Прогрессивная (построчная) развёртка

Это метод телевизионной развёртки, при котором для отображения, передачи или хранения движущихся изображений все строки каждого кадра отображаются последовательно.



**Эффект «гребёнки» на тестовом изображении** (обработка видеосигнала встроенным микро-процессором):

**Слева** два кадра с прогрессивной развёрткой.

**В центре** два кадра с чересстрочной развёрткой.

**Справа** два кадра с удвоением строк.

**Сверху** — с оригинальным разрешением,

**Снизу** — с применением сглаживания.

# “ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ РОБОТРОНИКА”

Сенсорные и управляющие системы роботов

Тема 4b

Технические средства формирования и  
обработки видеосигналов  
(получение цифровых изображений)

ВОПРОСЫ?

Андреев Виктор Павлович, профессор, д.т.н.

*andreevvipa@yandex.ru*

Москва, 2022г.