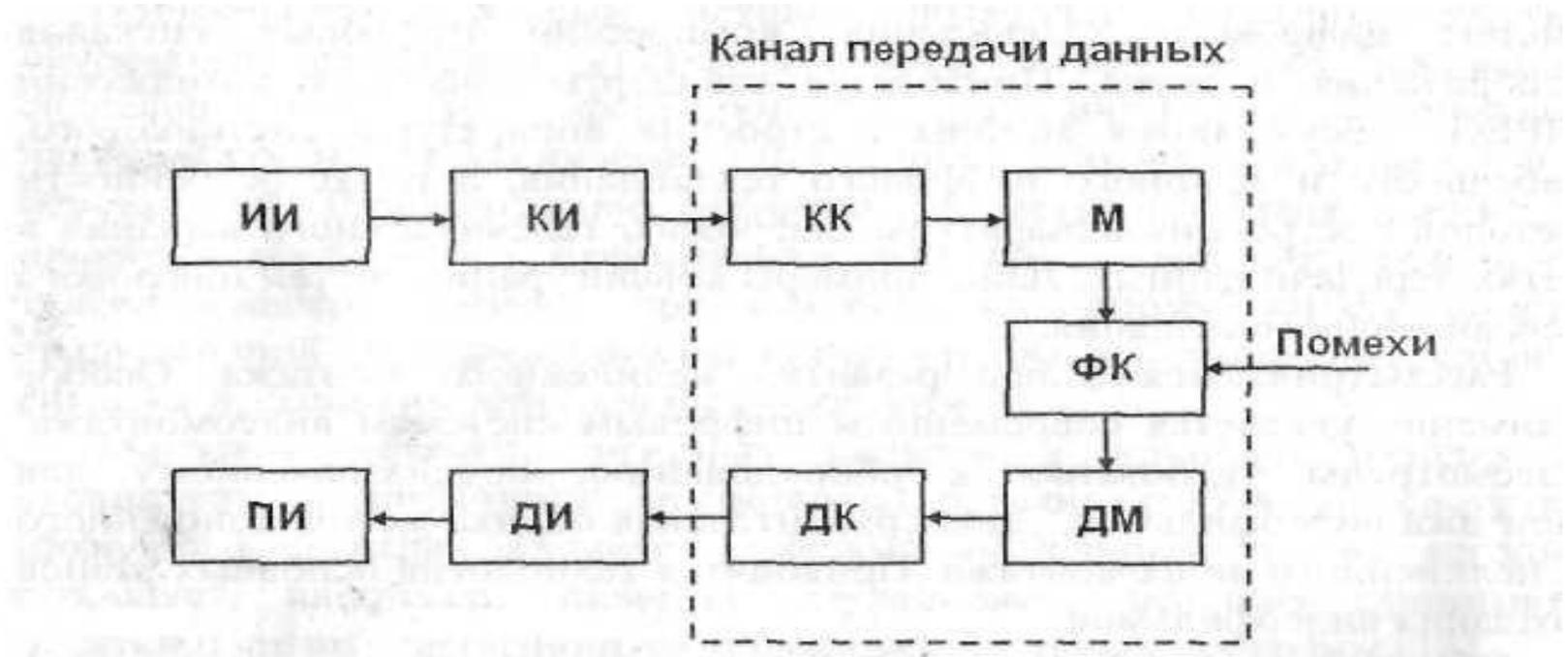


Лекция 3. ЦИФРОВОЙ ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ СИГНАЛ

Общие принципы построения систем цифрового телевидения



Обобщенная структурная схема системы цифрового телевидения

Три фундаментальных процесса:

кодирование-декодирование источника информации,
кодирование-декодирование в канале передачи данных,
модуляция-демодуляция на входе и выходе физического канала

- На передающей стороне все виды обработки Инф сообщ. служат цели преобразования их в сигналы , наиболее подходящие для передачи по физическому каналу конкретного типа.
- На приемной стороне проводятся обратные операции, направленные на восстановление информации в исходном виде с минимально возможными ее искажениями.
- Искажения информации могут быть обусловлены
 - неидеальностью процессов ее прямого и обратного преобразования
 - результатом воздействия помех на передаваемую информацию в физическом канале.

Виды помех и способы их описания

При измерениях и обработке и преобразованиях физических сигналов наряду с полезной составляющей в отсчете всегда присутствуют:

- преобразование неэлектрической величины в электрическую форму**
- преобразование сигнала в цифровую форму;**
- линейные и нелинейные вторичные преобразования для получения необходимого вида передаваемой величины;**
- флуктуация самого сигнала, в его неэлектрической форме, зависящей от физического состояния оборудования**

Все преобразования сигнала при передаче осуществляются преимущественно аппаратным способом, и каждое из них вносит свою долю в погрешность. Кроме того, передаваемый сигнал, как правило, взаимодействует с другими сигналами и подвергается их влиянию.

- **В информационно- измерительных системах (ИИС), принцип действия которых основан на взаимодействии электронных измерительных и управляющих устройств, основным источником помех являются электромагнитные процессы, протекающие в самих устройствах и передающих линиях.**
- **Уровень помех, реально существующий в ИИС, — один из основных показателей ее качества. Некоторые виды помех, например помехи в виде колебаний на радиочастоте, могут быть уменьшены или исключены с помощью различных приемов, включая фильтрацию, а также тщательное продумывание расположения линий связи и электронных устройств.**
- **Действие помех не всегда может быть скомпенсировано аппаратными средствами и методическими приемами в процессе измерения.**

Существуют помехи принципиально неустранимые, такие как флуктуации самой измеряемой величины в зависимости от изменения внешних условий измерения.

Поэтому для анализа характера помехи при обработке измеренной реализации всегда необходим этап предварительного анализа, на котором применяются дополнительные методы для выделения полезной составляющей и учета действия помех

В цифровых системах измерения все сигналы представлены в виде отдельных временных отсчетов, зафиксированных в регистрах с ограниченной разрядностью.

Полученная реализация измерений представляет собой дискретный во времени и квантованный по уровню сигнал.

Погрешности цифрового представления информации являются неизменной составной частью общего сигнала помехи,

Таким образом, в фиксируемой реализации физического сигнала среди его компонентов выделяют два: полезная составляющая и помеха

****, полезная составляющая может быть отнесена к некоторым типовым сигналам.**

Основной задачей любого измерения является получение реализации полезного сигнала с требуемой точностью.

Представление помехи в виде некоторого типового сигнала позволяет теоретически обосновывать и анализировать способы ее устранения, применяя известные теоретические положения

Например, основные теоретические результаты по оценке точности цифровых измерений случайной составляющей получены для нормального закона распределения вероятности. Анализ закона распределения или его параметров и подтверждение предположения о нормальности дают возможность применить эти результаты на практике.

Помеха, так же как и полезный сигнал, может быть многокомпонентным сигналом и сочетать в себе различные типы процессов.

Обычно помеху в виде детерминированной монотонной или медленно изменяющейся функции времени называют временным дрейфом или трендом, а случайную составляющую помехи — шумом

Представление помехи в виде некоторого типового сигнала позволяет теоретически обосновывать и анализировать способы ее устранения, применяя известные теоретические положения

Например, основные теоретические результаты по оценке точности цифровых измерений случайной составляющей получены для нормального закона распределения вероятности. Анализ закона распределения или его параметров и подтверждение предположения о нормальности дают возможность применить эти результаты на практике.

Помеха, так же как и полезный сигнал, может быть многокомпонентным сигналом и сочетать в себе различные типы процессов.

Обычно помеху в виде детерминированной монотонной или медленно изменяющейся функции времени называют временным дрейфом или трендом, а случайную составляющую помехи — шумом

Тренд

В качестве помехи могут рассматриваться также детерминированные периодические процессы

Тренд— сигнал, описываемый медленно или монотонно изменяющейся детерминированной функцией времени.

Это низкочастотные процессы, для описания которых часто используются полиномы не выше 4-го порядка или специальные нелинейные приближения

Получить представление о виде тренда можно, применив любой метод **сглаживания процесса, например метод скользящего среднего.**

Возникновение трендов связано с накоплением результата влияния постоянно действующих факторов, например температуры окружающей среды или методических погрешностей в измерительных устройствах.

Обобщающим понятием «паразитных» напряжений, возникающих в информационно-измерительных системах, является понятие «помеха». Помеха создается физической величиной, не измеряемой данной ИИС, но влияющей на результат измерения интересующей физической величины.



Случайная составляющая помехи (шум)

ШУМ -случайный процесс с некоторым законом распределения вероятности ординат и частотным спектром.

Частный случай —это идеальный случайный процесс с нормальным распределением независимых ординат.

Помеху такого вида называют «белым» шумом, ее СПМ имеет приближенно равномерный характер в широком диапазоне частот.

Помеху с СПМ, отличной от равномерной, часто называют «цветным» или «окрашенным» шумом.

Описание помехи в виде случайного процесса принято для анализа помехи, возникающей в результате действия целого ряда известных причин, а также для описания неучтенных, неустраняемых или неизвестных исследователю факторов, действующих во время измерений.

Если сигнал помехи можно описать как типовой, то для его анализа можно применить как экспериментальные, так и теоретические методы анализа.

Всякому электронному устройству присущи:

шумы — «паразитные» напряжения, возникающие вследствие физических процессов, происходящих в его комплектующих элементах и характеризующиеся сложной временной и спектральной зависимостями; такой сигнал имеет, как правило, случайный характер;

наводки — «паразитные» напряжения, возникающие вследствие «паразитных» эл. связей между различными приборами, объединенными общим источником питания, общей энергетической сетью, общими измерительными, приемопередающими линиями связи и характеризующиеся определенной временной и спектральной зависимостями; наводки могут иметь вид постоянно действующих, медленно меняющихся или колебательных сигналов;

помехи — «паразитные» напряжения, возникающие при воздействии физических полей различных внешних источников и характеризующиеся как случайные функции времени.

Полученная реализация измерений представляет собой дискретный во времени и квантованный по уровню сигнал.

Погрешности цифрового представления информации являются неизменной составной частью общего сигнала помехи,

Таким образом, в фиксируемой реализации физического сигнала среди его компонентов выделяют два: полезная составляющая и помеха

****, полезная составляющая может быть отнесена к некоторым типовым сигналам.**

Основной задачей любого измерения является получение реализации полезного сигнала с требуемой точностью.

- .
- **Процесс кодирования источника** 
сокращение объема передаваемой информации,
снижение требований к



времени передачи

полосе пропускания

объему памяти при
обработке или при
хранении

информации.

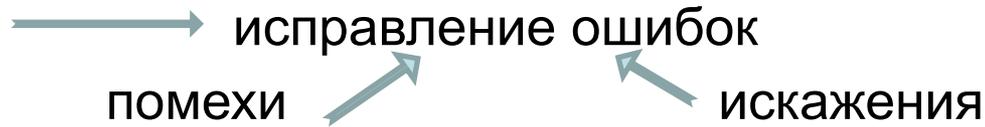
Если информация имеет аналоговую природу, то кодирование источника предусматривает:

во-первых, аналого-цифровое преобразование

во-вторых, собственно сжатие данных.

Кодирование в канале

**Назначение
кодирования
Реализуется**



при использовании дополнительных запросов
искаженных блоков информации,

путем прямой коррекции ошибок при
использовании специальных кодов.

Увеличивается объем передаваемых данных

- алгоритмы обнаружения и исправления ошибок требуют добавления специальных служебных символов,
- повторы перезапрошенных блоков непосредственно увеличивают время передачи

Модуляция

- Преобразование сигналов, представленных в основной (исходной) полосе частот, в радиосигналы заданной полосы частот, что обеспечивает возможность их передачи по конкретному физическому каналу.
- Дополнительным свойством сложных видов модуляции является более плотная упаковка данных в частотной области, когда на единицу полосы приходится больше передаваемой информации

Поиск оптимального варианта построения цифровой системы передачи данных

критерии

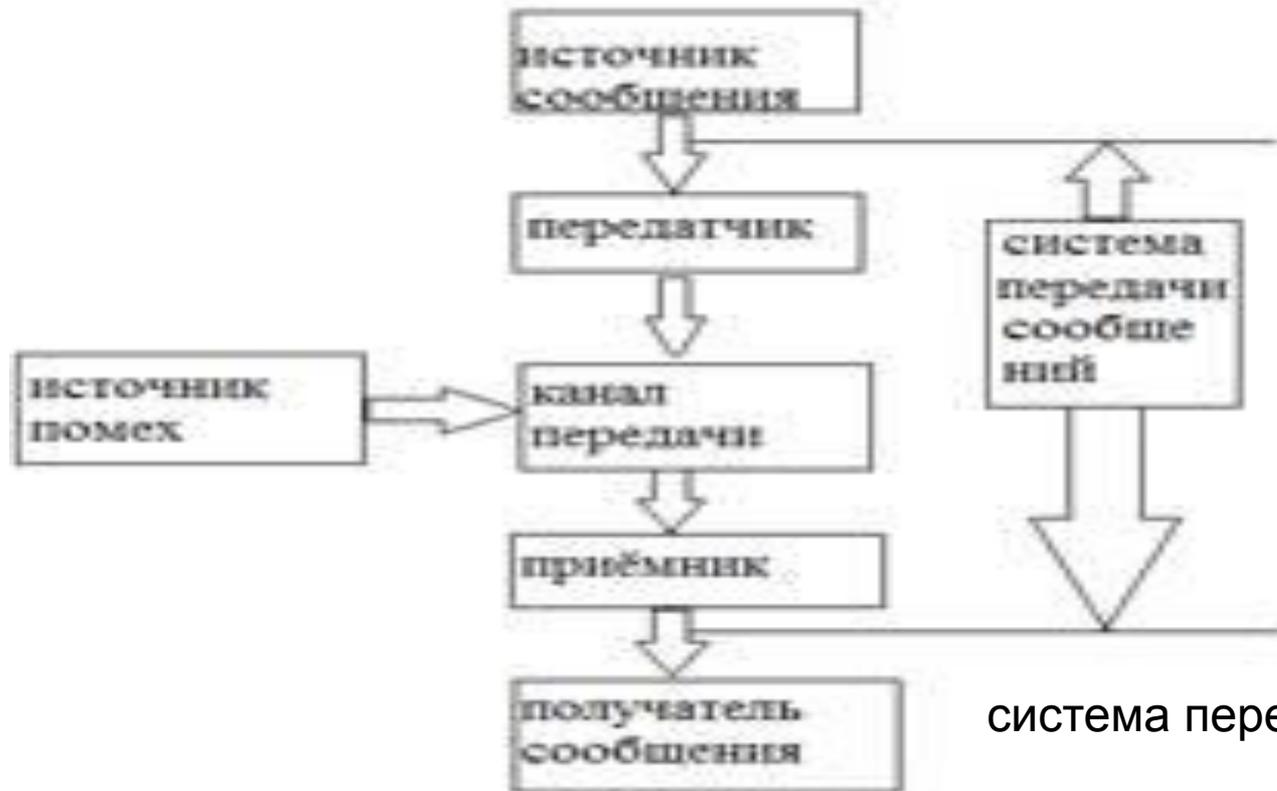
- высокая *спектральная эффективность*, т.е. передача с высокой скоростью в узкой полосе;
- высокая *энергетическая эффективность*, т.е. передача с низким отношением несущая/шум и с максимальным занятием всей доступной полосы.

- Раньше Интернет рассматривался как одно из средств общения или даже как развлечение, то сейчас – это один из самых мощных механизмов **связи, работы и получения информации**. Не удивительно, что рост Всемирной паутины просто катастрофически велик.
- Весьма актуальным становится вопрос о создании скоростных и надежных каналов связи.
- Распространенным до сегодняшнего дня является проводное соединение: витая пара, оптоволокно или телефонная линия.
- Весьма реальным становится использования радиосигнала для передачи информации.
- Это актуально на «последней миле»,

- Однако поскольку радиоволны распространяются в воздушной среде имеет место затухание, связанное с сопротивлением воздуха. Более того, как известно на примере видимого света, который преломляется в призме или в каплях воды, возможно преломление излучения. Плюс к тому в городах и населенных пунктах имеет место отражение от предметов, например домов.
- Кроме того:
- Это дифракция и интерференция радиоволн.
- Первое – это просто огибание волной препятствий.
- Второе – это наложение радиоволн. Последнее наиболее неприятно.
- Для того чтобы решить эти технические проблемы, разрабатываются специальные способы модуляции сигнала, то есть кодирования в нем информации.
- Если при передаче по кабелю применяют модуляцию напряжения, то есть изменение амплитуды сигнала, то при радиосвязи чаще используют модуляцию частоты или фазы.

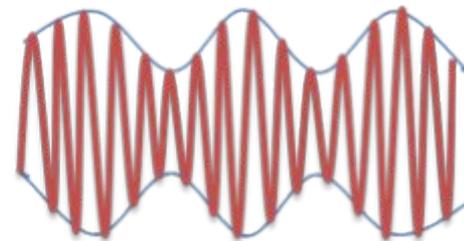
- Под **модуляцией** в радиоэлектронике и теории информации понимается процесс, при котором один или несколько параметров несущего колебания изменяются по закону передаваемого сообщения. процесс изменения одного или нескольких параметров высокочастотного несущего колебания по закону низкочастотного информационного сигнала (сообщения).
- процесс обратный модуляции, и называется он демодуляцией

- Система связи, она же система передачи информации, в неё входят передатчик, канал и приёмник. Передатчик – средство для передачи сообщений. Канал передачи – это технические устройства и физическая среда, в которой сигналы распространяются от передатчика к приёмнику. А приёмник – это средство для приема сообщений и сигналов.

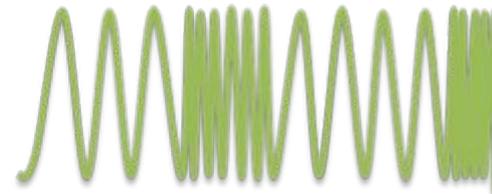


система передачи сообщений.

Амплитудная
модуляция

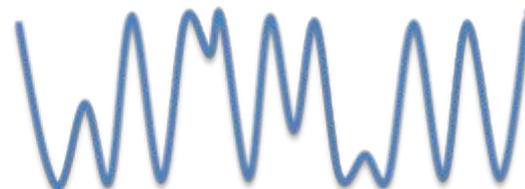


Частотная
модуляция



или

Фазовая
модуляция



При помощи модуляции можно достичь следующих целей:

сделать сигнал более устойчивым к помехам; соизмерить параметры линии и параметры сигнала; передавать сигналы на более дальние расстояния; создавать системы передачи, которые содержат в себе несколько каналов.

- Выделяют несколько основных видов модуляции в зависимости от параметров изменения:
- частотно-импульсная – изменяются частоты передачи импульсов данного сигнала;
- амплитудно-импульсная – модуляция параметров амплитуды передаваемых импульсов данного сигнала;
- широтно-импульсная – изменение продолжительности импульсных потоков сигнала;
- фазово-импульсная – изменение фаз данного импульса сигнала

Радиоинтернет

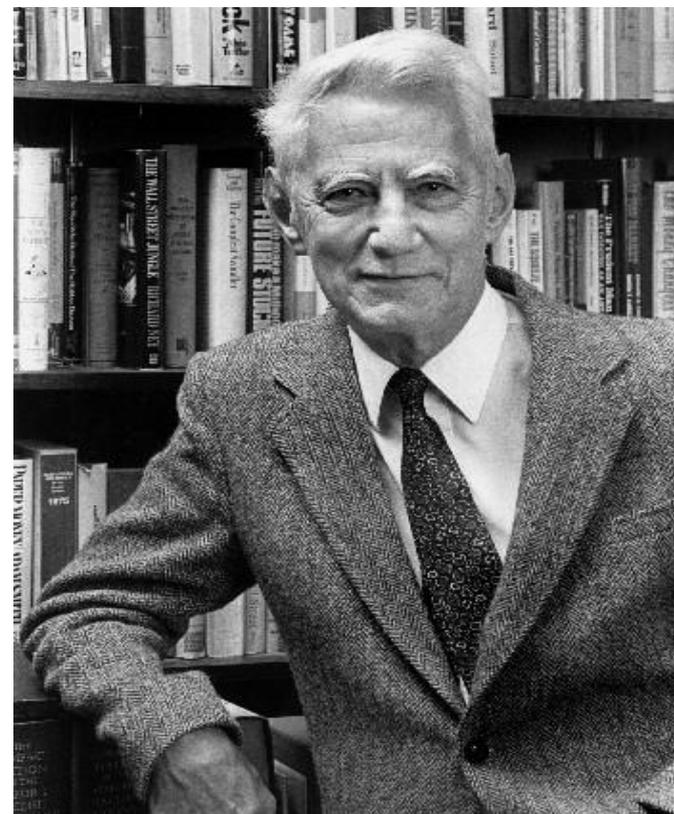
- MMDS = 2,500-2,690 ГГц (Multichannel Multipoint Distribution Systems);
- UNII = 5,725-5,825 ГГц (Unlicensed National Information Infrastructure);
- LMDS = 27,500-28,350 ГГц, 29,100-29,250 ГГц, 31,000-31,300 ГГц (Local Multipoint Distribution Services).

МОДУЛЯЦИЯ

- **QAM** Самый простой вариант основан на системе phase shift keying (PSK). Существует две разновидности этой системы: бинарная и квадратичная (BPSK и QPSK). В первом случае за счет использования сдвига фазы на величину f передается один бит за цикл, во втором случае – два, с использованием сдвига фаз на $1/2f$, f и $3/2f$. Если сочетать сдвиг фаз и модуляцию амплитуды, то получится так называемая технология 16-QAM, способная передавать 4 бита за цикл.
- Технология **DFE** предназначена для того, чтобы устранять помехи, которые вызваны интерференцией соседних символов. Это связано с возможной большой задержкой (до 4 мкс), когда сигнал предыдущего символа накладывается на принимаемый в данный момент

- Технология **DSSS** базируется на методе QPSK. Но помимо этого передаваемый сигнал помещается в более широкую полосу, причем ширина последней определяется исходя из значения SNR для данной линии (SN – это отношение уровня сигнала к уровню шума). Более точно ширину можно представить формулой $10^{(SNR/10)}$ (изначальную ширину). Видно, что этот метод просто экспоненциально неустойчив к помехам.
- В технологии **OFDM** сигнал также делится на несколько несущих, которые рассматриваются как независимые. Следовательно, нет необходимости использовать защитный тон, что повышает пропускную способность канала. Чтобы избежать проблем интерференции, вызванных задержками сигналов, данные передаются порционно (волновыми пакетами), причем каждую такую порцию начинает и заканчивает специальный сигнал.

- Всякий зашумленный канал связи характеризуется своей предельной скоростью передачи информации, называемой пределом Шеннона.
- При скоростях передачи выше этого предела неизбежны ошибки в передаваемой информации. Зато снизу к этому пределу можно подойти сколь угодно близко, обеспечивая соответствующим кодированием информации сколь угодно малую вероятность ошибки при любой зашумленности канала.



Формирование цифровых сигналов изображения

- **Процесс аналого-цифрового преобразования состоит из трех этапов:**
- дискретизации, квантования, кодирования квантованных отсчетов
- **В телевизионном изображении**
- дискретизация производится в два этапа:
- сначала благодаря развертке плоскость изображения дискретизируется в вертикальном направлении,
- затем полученный одномерный сигнал дискретизируется во времени, давая последовательность отсчетов, соответствующих отдельным элементам изображения.
- **Элемент изображения имеет конечные размеры**
- значение отсчета определяется путем взвешивающего усреднения уровня сигнала в малой окрестности точки (x,y) . *Этот процесс эквивалентен предфильтрации*
- При восстановлении изображения осуществляется интерполяция значения отсчета, что эквивалентно *постфильтрации*.

Дискретизация сигналов

Представить сигналы изображения можно как во временном, так и в пространственном базисах.

Переход $(is = \varepsilon E, x = vxt, y = vyt).$

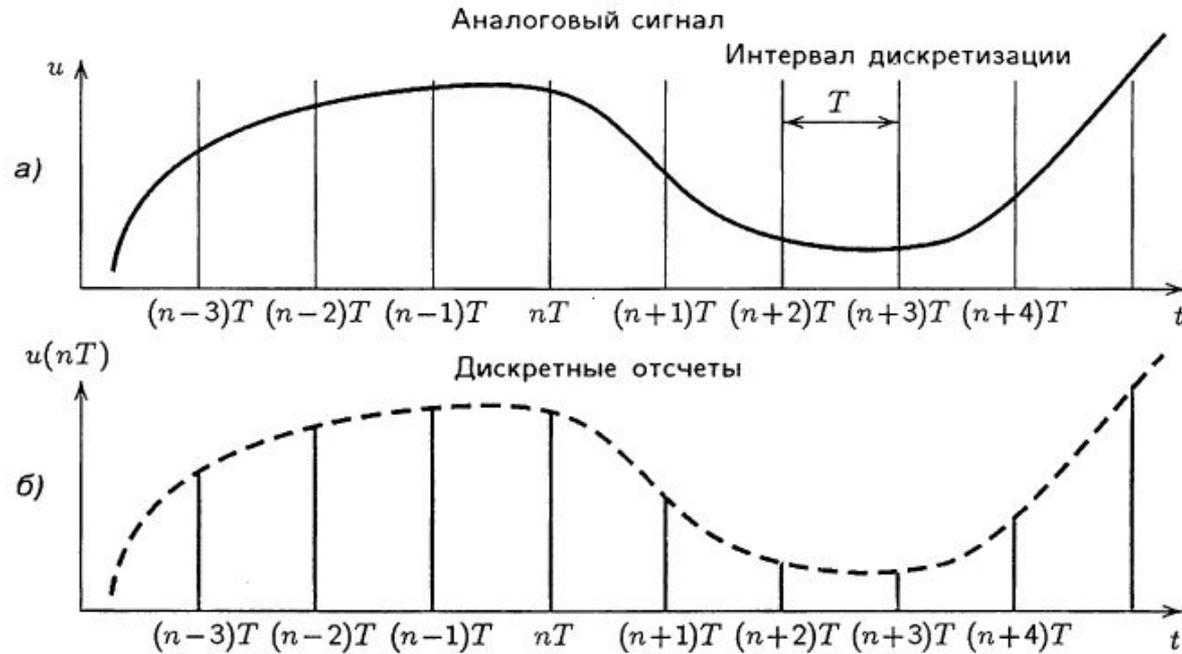
Дискретизация сигнала во времени - это преобразование непрерывного аналогового сигнала в последовательность его значений в дискретные моменты времени - отсчеты

f_d

$f_d > 2f_v$

Обратное преобразование дискретного сигнала в непрерывный, осуществляется с помощью операции, **называемой интерполяцией.**

ДИСКРЕТИЗАЦИЯ ЛИНЕЙНОГО СИГНАЛА



Преобразование непрерывного сигнала в дискретный

Теорема отсчётов Уиттакера — Найквиста — Котельникова

— Шеннона (теорема Котельникова) — об однозначном восстановлении сигнала по своим дискретным отсчётам.

Теорема Котельникова В.А. $x(t)$ $x(k\Delta t)$

в точках, отстоящих друг от друга на интервалы

$$\Delta t = \frac{\pi}{\omega_g}$$



Теорема Котельникова) гласит, что, если аналоговый сигнал $x(t)$ имеет ограниченный спектр, то он может быть восстановлен однозначно и без потерь по своим дискретным отсчётам, взятым с частотой превышающей удвоенную максимальную частоту спектра - **$2F_{\max} < f_{\text{дискр}}$** где F_{\max} — верхняя частота в спектре, или (формулируя по-другому) по отсчётам, взятым с периодом чаще полупериода максимальной частоты спектра F_{\max} :

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k \Delta t) \frac{\sin \omega_B (t - k \Delta t)}{\omega_B (t - k \Delta t)}.$$

Из ортогонального разложения следует

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_k \psi_k(t)$$

$$\psi_k(t) = \frac{\sin \omega_B (t - k \Delta t)}{\omega_B (t - k \Delta t)}$$

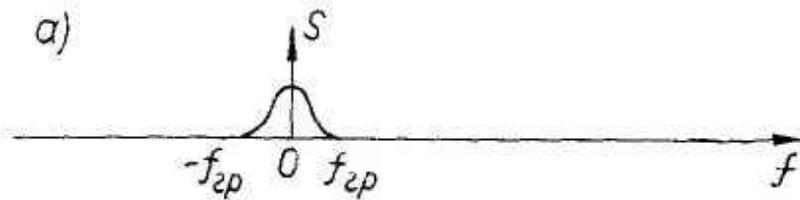
Функции отсчетов.

- Дискретизация представляет собой, по сути, умножение аналогового сигнала на дискретизирующую функцию, т.е. модуляцию, в результате которой возникают многократно повторяющиеся боковые полосы частот.
- Частота дискретизации должна не менее чем вдвое превышать высшую частоту спектра видеосигнала. Если соотношение не выполняется, возникают значительные искажения сигнала в процессе преобразований.
- Необходимо, чтобы частота дискретизации была целым кратным частоте строк. В этом случае на периоде строки помещается целое число отсчетов сигнала.

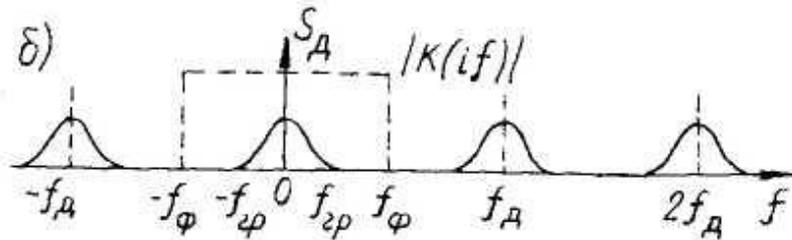
Спектр сигнала (или, более строго, спектральная плотность) - это функция, показывающая соотношение уровней частотных составляющих сигнала

$$S(f)$$

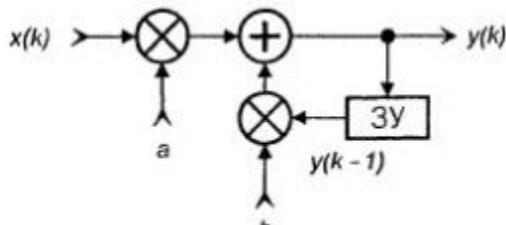
$$S_D(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} S(f - n f_D),$$



$$f_D = k 2 f_{2p} \quad k > 1 \quad k = 1, 1.5$$



Спектральное представление сигнала



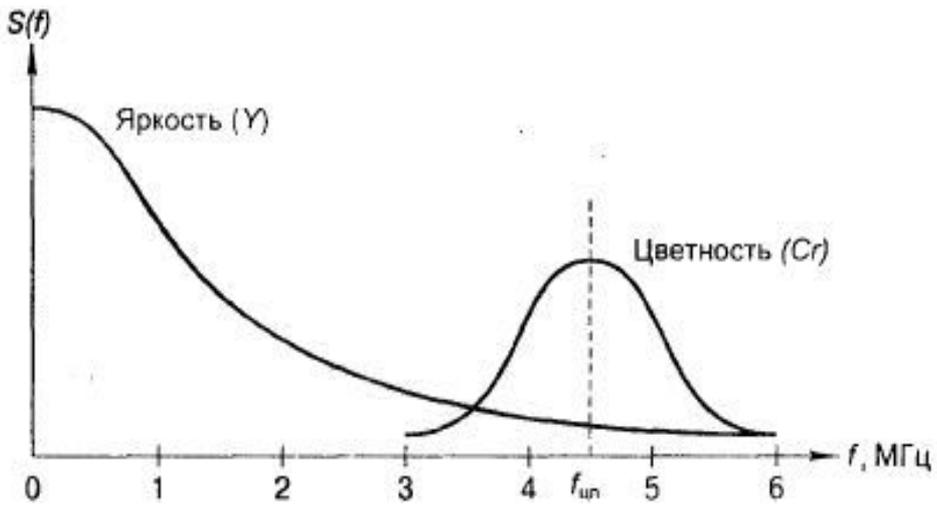
$y(k)$

$x(k)$

$$y(k) = a x(k) + b y(k-1)$$

$y(k-1)$

Простейший фильтр нижних частот ФНЧ

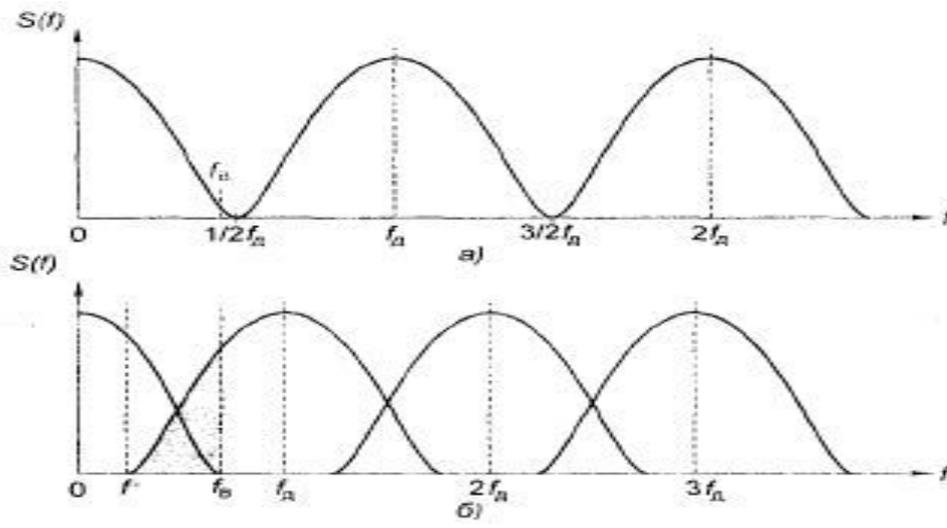
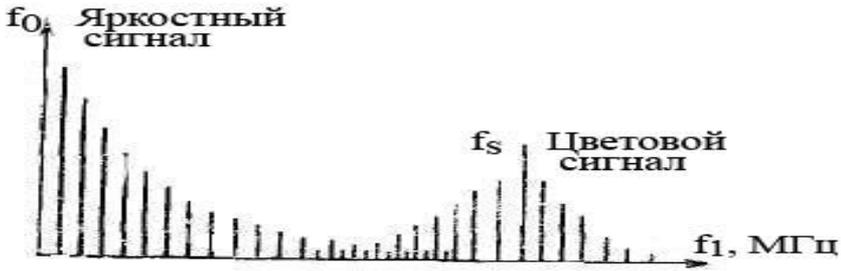


с 0 Гц до 5...6 МГц

$f_d > 2f_b$

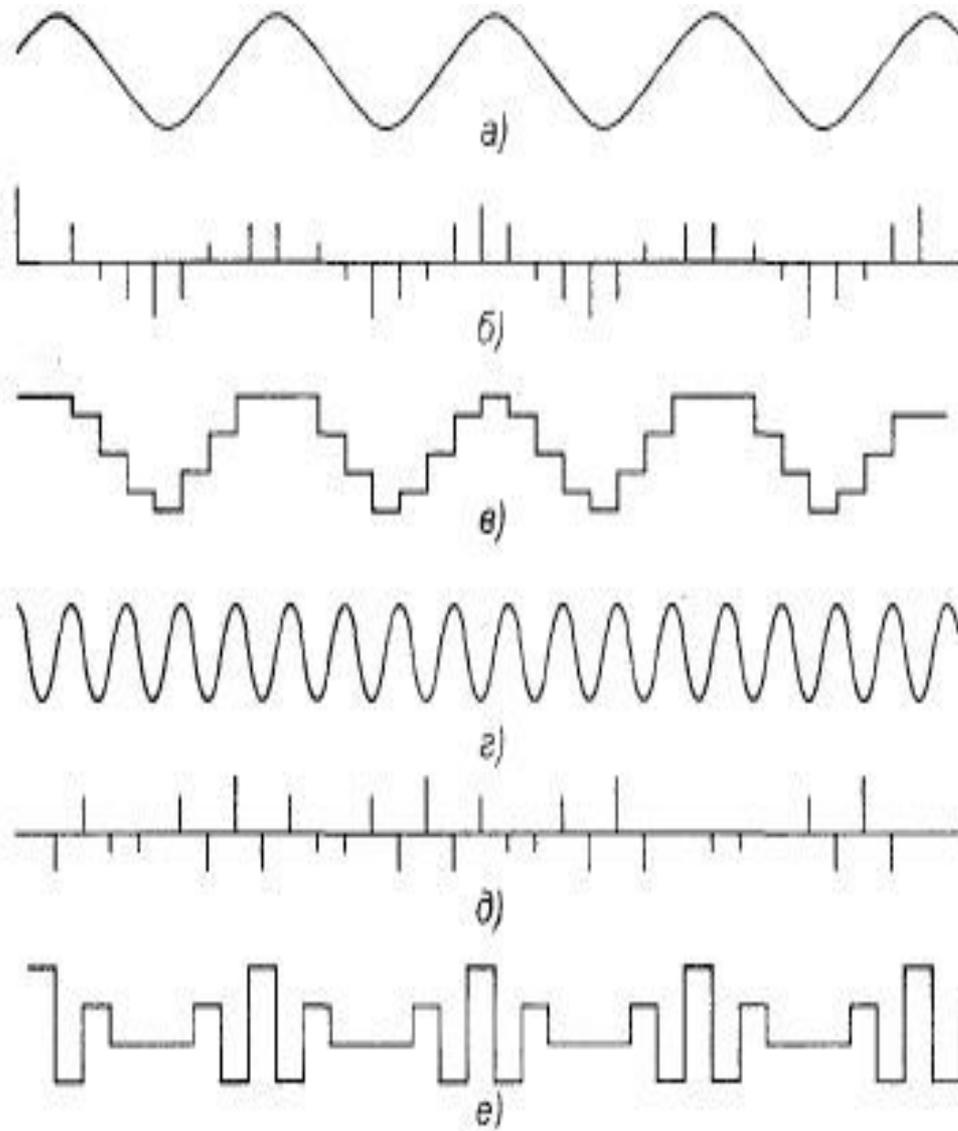
не менее 12 МГц

Спектр полного цветного телевизионного сигнала



Спектры сигналов при дискретизации

$f_d < 2f_b$



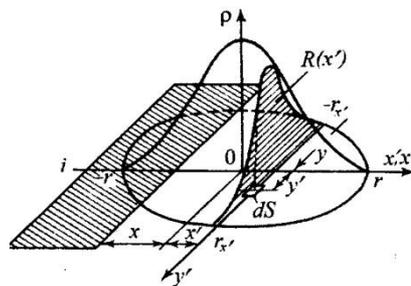
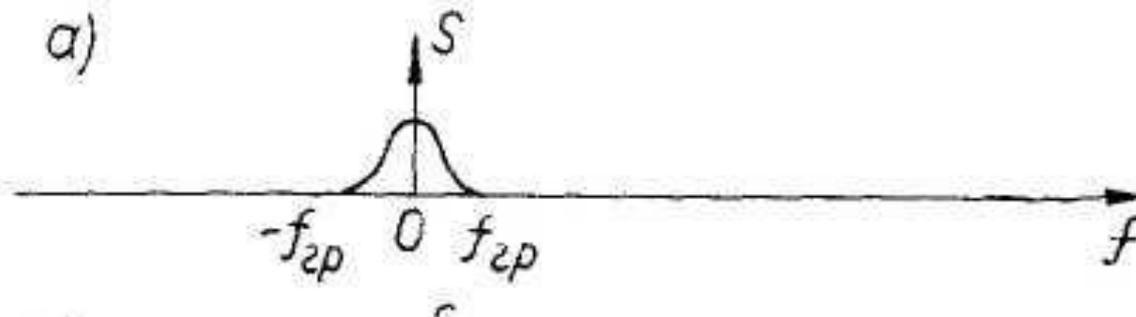
$f_d > 2f_v$

Ступенчатая интерполяция

$f_d < 2f_v$

Дискретизация и интерполяция сигнала

ПЛОСКОЕ ДВУМЕРНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ

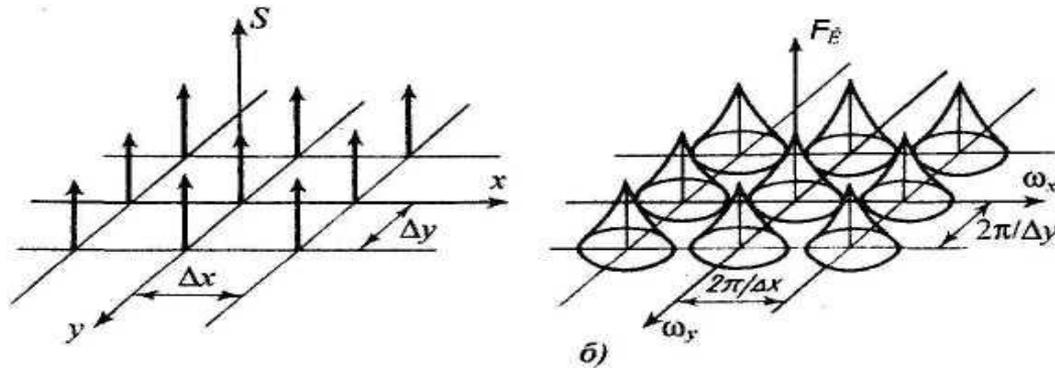


Спектральное представление двумерного сигнала

$$E(x, y) \quad s(x, y) = \sum_{k_1=-\infty}^{\infty} \sum_{k_2=-\infty}^{\infty} \delta(x - k_1 \Delta x, y - k_2 \Delta y),$$

$$\begin{aligned} \widehat{E}(x, y) &= E(x, y)s(x, y) = \\ &= \sum_{k_1=-\infty}^{\infty} \sum_{k_2=-\infty}^{\infty} E(k_1 \Delta x, k_2 \Delta y) \delta(x - k_1 \Delta x, y - k_2 \Delta y). \end{aligned}$$

δ - функции задаются в узлах решетки с шагом $\Delta x, \Delta y$



Пространственно-дискретизирующая функция (а) и спектр дискретизированного изображения (б)

$$E(x, y) \quad K_1 \Delta x, K_2 \Delta y$$

$$F_E(\omega_x, \omega_y) \text{ и } F_s(\omega_x, \omega_y)$$

$$F_{\hat{E}}(\omega_x, \omega_y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \hat{E}(x, y) \exp[-j(\omega_x x + \omega_y y)] dx, dy.$$

δ -функций

с шагом

$$\underline{\omega_{xs} = 2\pi/\Delta x},$$

$$\underline{\omega_{ys} = 2\pi/\Delta y}:$$

$$F_s(\omega_x, \omega_y) = (4\pi^2/\Delta x \Delta y) \sum_{k_1=-\infty}^{\infty} \sum_{k_2=-\infty}^{\infty} \delta(\omega_x - k_1 \omega_{xs}, \omega_y - k_2 \omega_{ys}).$$

$$F_{\hat{E}}(\omega_x, \omega_y) = [1/(\Delta x \Delta y)] \sum_{k_1=-\infty}^{\infty} \sum_{k_2=-\infty}^{\infty} F_E(\omega_x - k_1 \omega_{xs}, \omega_y - k_2 \omega_{ys}).$$

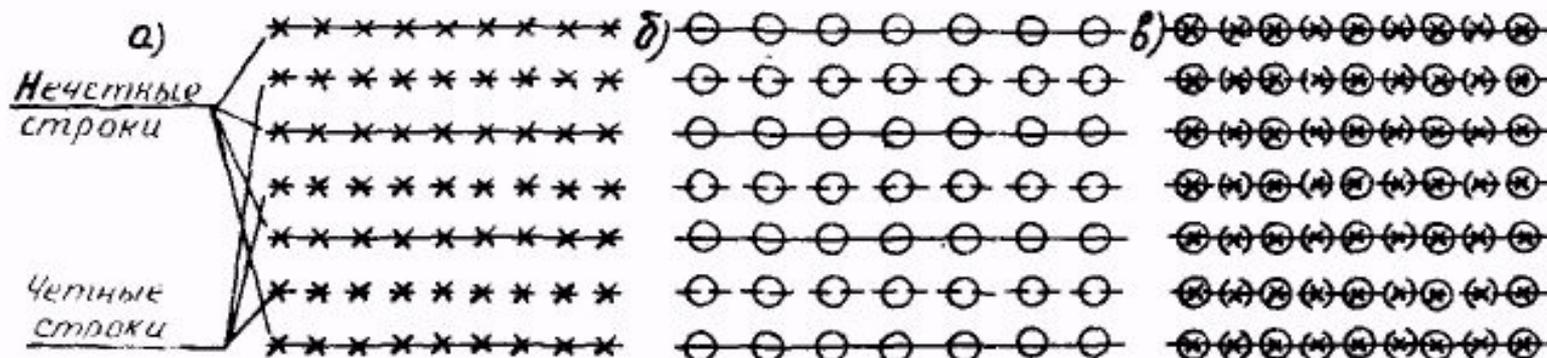
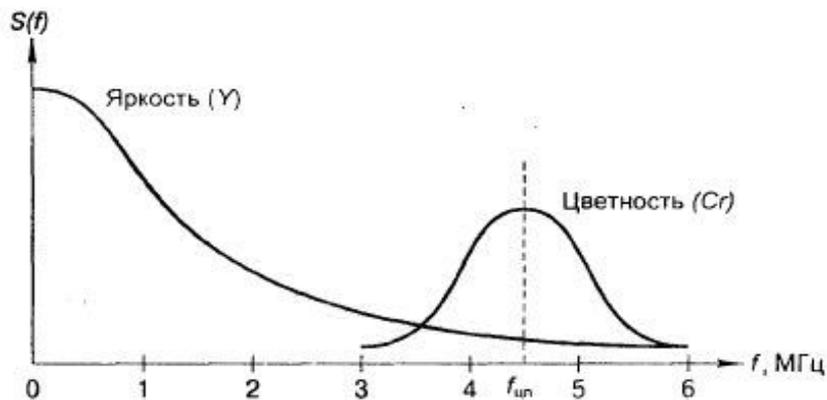
По осям ω_x , ω_y

шаг сдвига $2\pi/\Delta x$

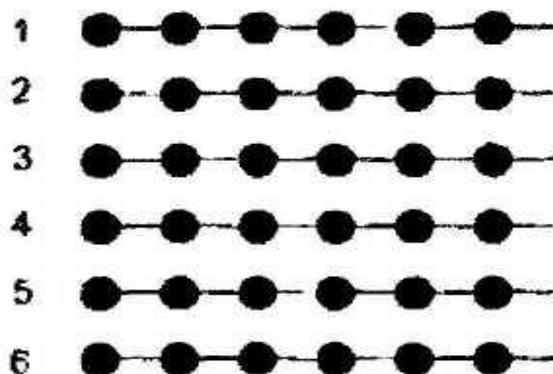
$2\pi/\Delta y$

ТЕЛЕВИЗИОННОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ

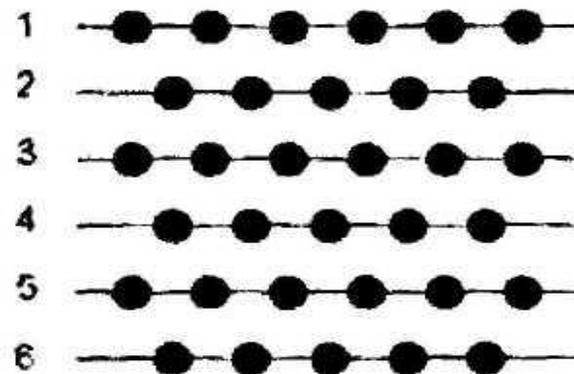
Телевизионное изображение по вертикальной координате уже является дискретным вследствие разложения на строки



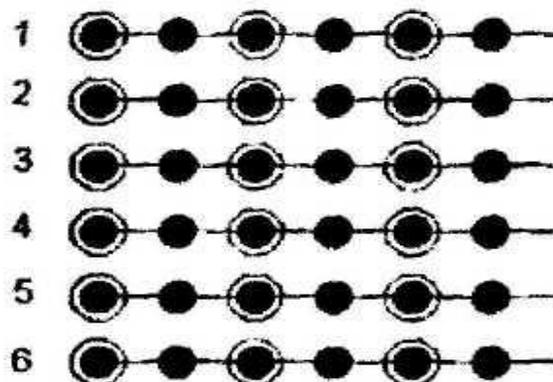
ТЕЛЕВИЗИОННОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ



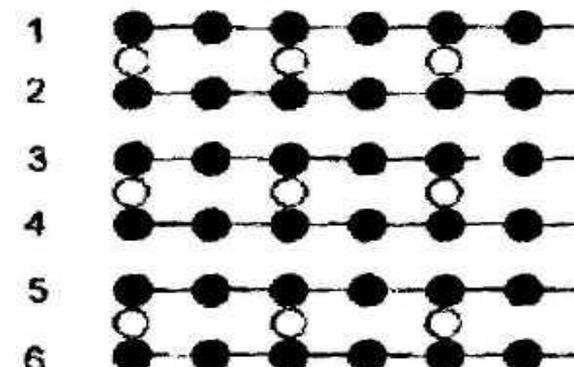
а)



б)



в)



г)

● - отсчеты сигнала яркости

○ - отсчеты цветоразностных сигналов

Расположение отсчетов при дискретизации изображения

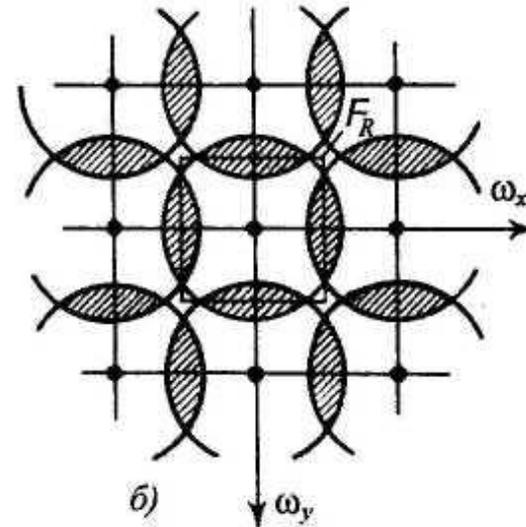
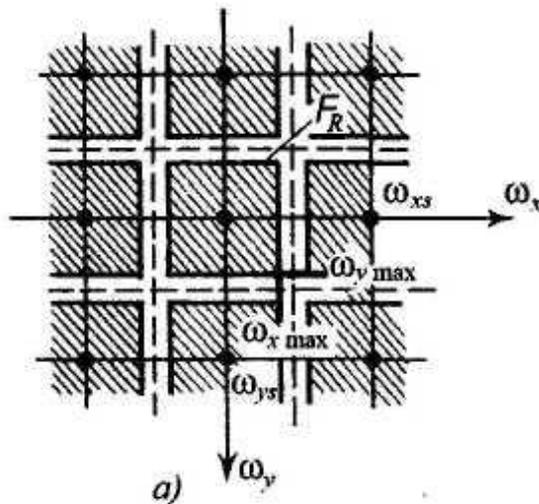
$$L_R(x, y) = \hat{E}(x, y) * R(x, y).$$

$$L_R(x, y) = \sum_{k_1=-\infty}^{\infty} \sum_{k_2=-\infty}^{\infty} E(k_1\Delta x, k_2\Delta y) R(x - k_1\Delta x, y - k_2\Delta y).$$

$$F_L(\omega_x, \omega_y) = F_{\hat{E}}(\omega_x, \omega_y) =$$

$$= [1/(\Delta x \Delta y)] F_R(\omega_x, \omega_y) \sum_{k_1=-\infty}^{\infty} \sum_{k_2=-\infty}^{\infty} F_{\hat{E}}(\omega_x - k_1\omega_{xs}, \omega_y - k_2\omega_{ys}).$$

$$\omega_{x \max} \leq \omega_{xs}/2, \quad \omega_{y \max} \leq \omega_{ys}/2.$$



Шаг дискретизации Δx и Δy не должен превышать половины периода пространственной гармоник, соответствующей самым мелким деталям изображения:

$$\Delta x \leq \pi / \omega_{x \max}, \quad \Delta y \leq \pi / \omega_{y \max}$$

Частотная характеристика пространственных фильтров,

$$F_R(\omega_x, \omega_y) = \begin{cases} \text{const при } |\omega_x| \leq \omega_{xR} \text{ и } |\omega_y| \leq \omega_{yR}, \\ 0 \text{ в остальных случаях.} \end{cases}$$

$$\omega_{xR} > \omega_{x \max} \quad \text{и} \quad \omega_{yR} > \omega_{y \max}$$

ДП1

Сигнал $f(t)$, спектр которого ограничен по частоте значением f_{\max}

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \exp(-j\omega t) dt.$$

ЛЗ -19

$$F_d(\omega) = \frac{1}{2\pi} F(\omega) * \frac{2\pi}{T_d} \sum_{-\infty}^{\infty} \delta(\omega - k\omega_d) =$$

$$= \frac{1}{T_d} \sum_{-\infty}^{\infty} F[j(\omega - k\omega_d)],$$

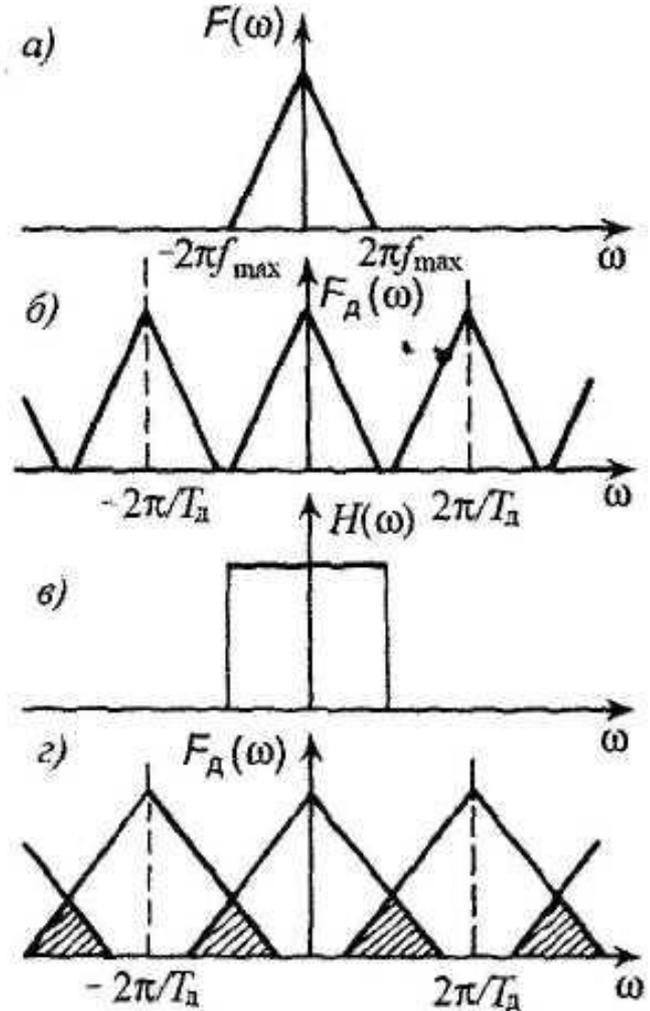
$$T_d = 1/2 f_{\max}$$

$$\omega_d = 2\pi / T_d$$

$$H(\omega) = \text{const для } |\omega| \leq 2\pi / f_{\max}$$

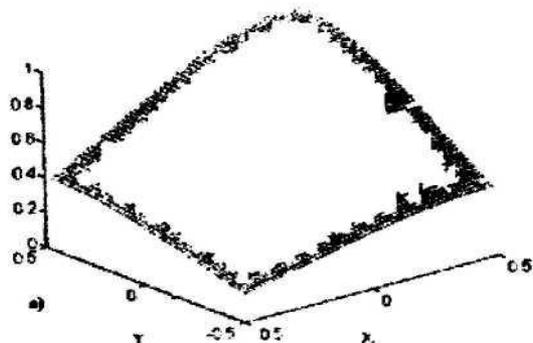
$$H(\omega) = 0 \text{ для } |\omega| > 2\pi / f_{\max}$$

$$F_d = \frac{1}{T_d} F(\omega) H(\omega),$$

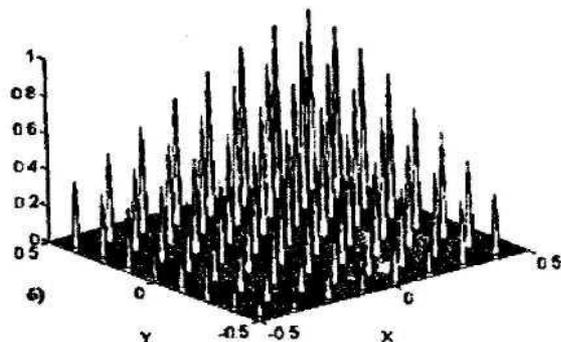


Спектры исходного (а), дискретизированного (б, г) сигналов и низкочастотного фильтра (в)

Особенности шумов дискретизации

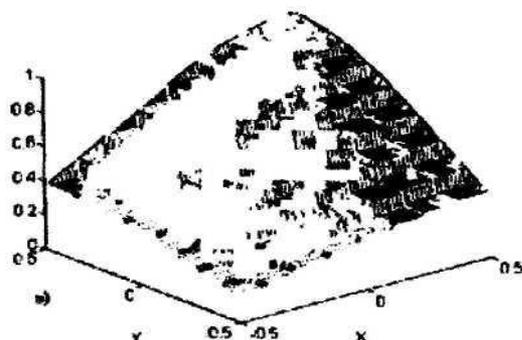


Исходное изображение (а),



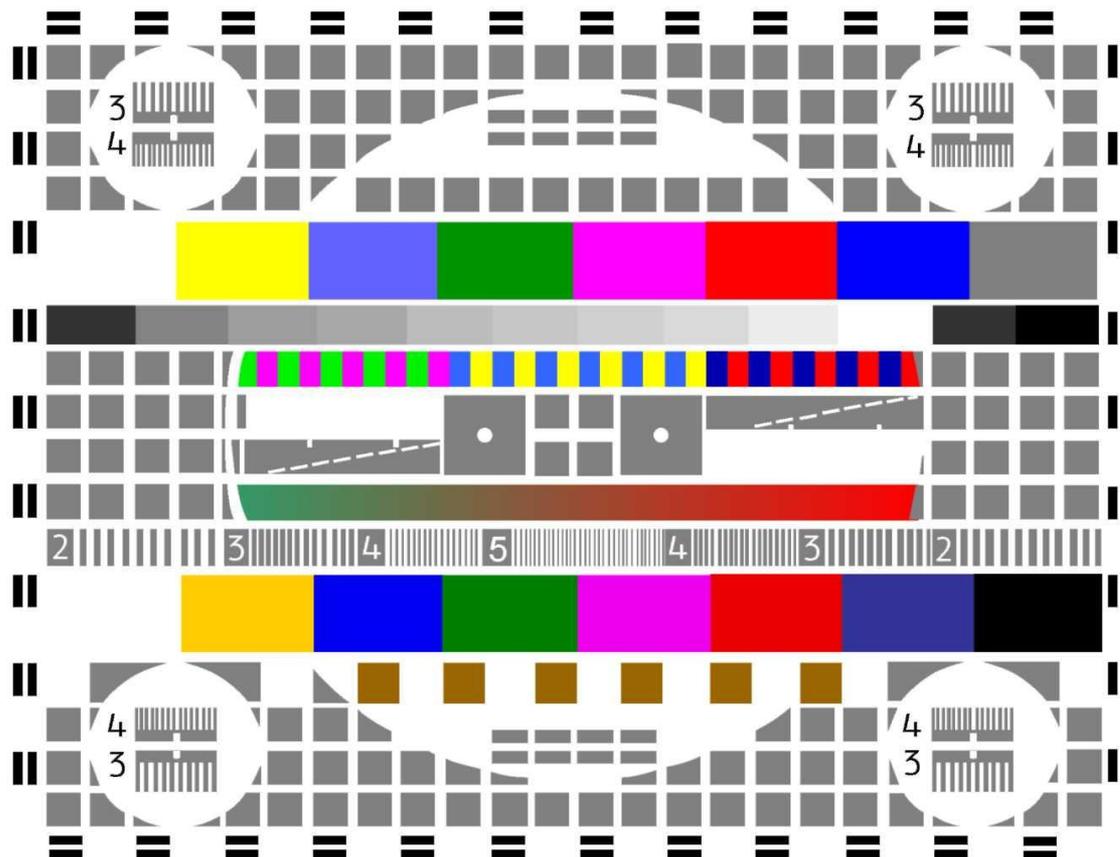
Дискретизация изображения (б)

$$f_x = 1/T_x.$$

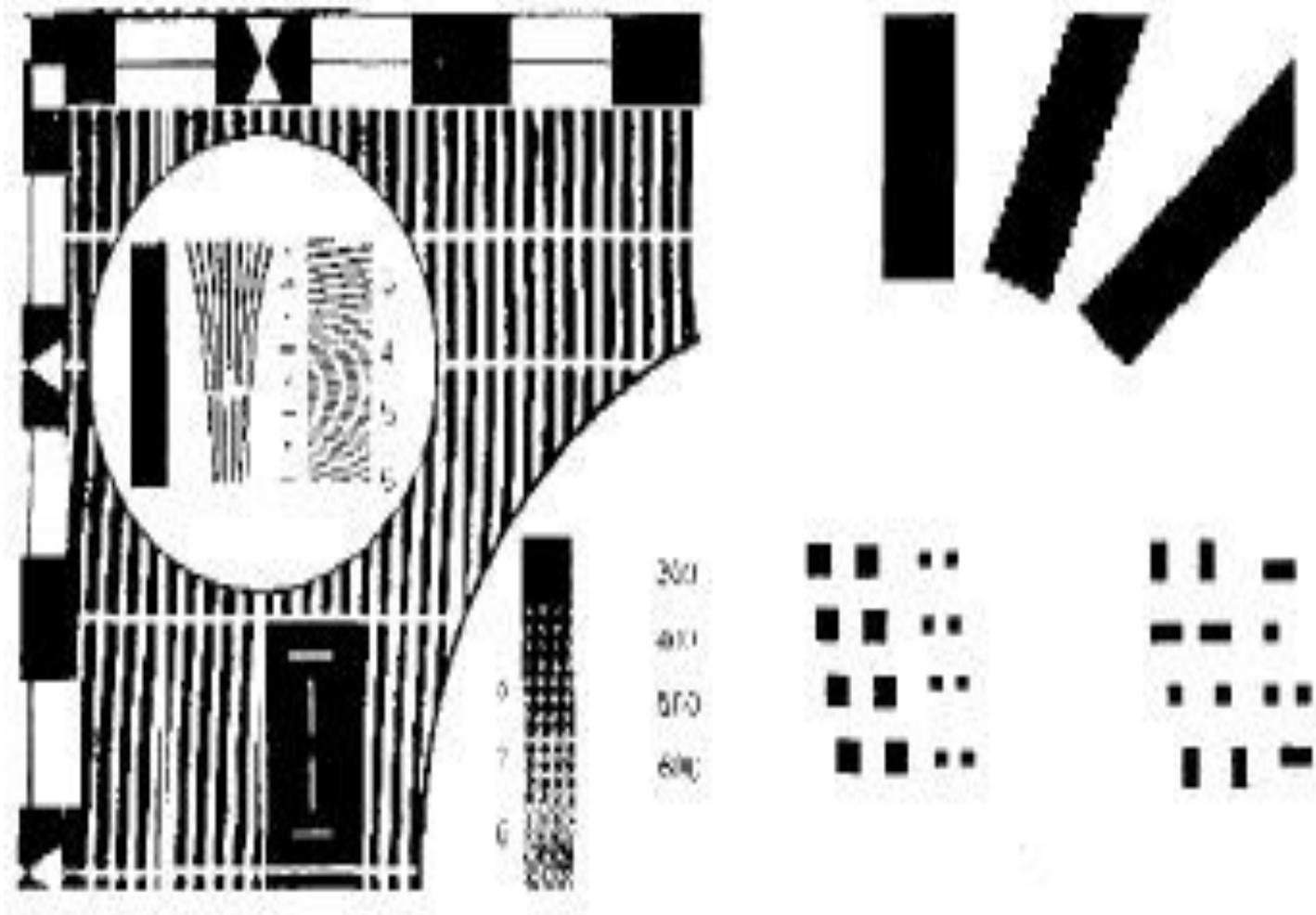


Результат интерполяции (в)

Дискретизация изображения



Универсальная испытательная таблица



Искажения при дискретизации изображения

ДП2



Рис.. 3.10. Тестовое изображение «Лена» 256x256 пикселей (а) и 128x128 пикселей (б)

В телевидении пространственные частоты фактически предопределены параметрами, задаваемыми в используемом стандарте разложения, т. е. количеством строк и количеством элементов в каждой строке.

$$f_{\text{в}} = p \frac{kz^2 n(1 - \beta)}{2(1 - \alpha)},$$

p экспериментально определяемый коэффициент равный 0,75.. .0,85.



Закат





Вечер в Чикаго





