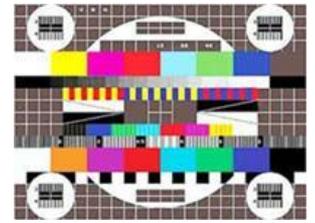


Цифровые телевизионные системы,

- **Доц. Брюховецкий Александр Павлович.**
- **Проф. Дворкович Александр Викторович**



Цифровые телевизионные системы, применение микропроцессоров и ПЛИС в телевидении

Доц. Брюховецкий Александр Павлович.

Проф. Дворкович Александр Викторович

•ЛИТЕРАТУРА (1)

1. Смирнов А.В. Основы цифрового телевидения.-М.:Горячая линия –Телеком,2001.- 224с.

2. Мамчев Г.В. Основы цифрового телевидения/ Сиб. гос. Ун-т телекоммуникаций и информатики. – Новосибирск, 2003. – 248 с.

3. Губанов Д.А., Стешенко В.Б., Храпов В.Ю., Шипулин С.Н. Перспективы реализации алгоритмов цифровой фильтрации на основе ПЛИС фирмы ALTERA. // Chip News, № 9-10, 1997, с. 26 - 33.

4. Губанов Д.А., Стешенко В.Б. Методология реализации алгоритмов цифровой фильтрации на основе программируемых логических интегральных схем. // Сборник докладов 1-й Международной конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применения» 30.06-3.07.1998, Москва, МЦНТИ, том 4, с. 9 - 19

5. D.Gubanov, V.Steshenko Metho-dology Of Digital Filters Design For Programmable Logic Devices Implemen-tation // Proceedings DSPA'98, 30.06-3.07.1998, Moscow, ICSTI, Vol. 4-E

6. Щербаков М.А., Стешенко В.Б., Губанов Д.А. Цифровая полиномиальная фильтрация: алгоритмы и реализация на ПЛИС // Инженерная микроэлектроника, №1 (3), март 1999, с.12-17.

7.Карякин В.Л Цифровое телевидение/ М.Солон Пресс,2008,221с.

8.Смирнов А.В., Пескин А.Е. Цифровое телевидение. От теории к практике. / М. :Горячая линия,2005,, 271 с.

9.Видеоинформатика. уч. пособие // М.ТУСИ , 2007,36 с.

10.Бабич И.П. , Жучков И.Л. Основы цифровой схемотехники/ М.Изд.дом Додека ХХ1, 2007, 481 с

•ЛИТЕРАТУРА (2)

11. Телевидение под ред Гоголя А.А. Лабораторный практикум/ С.Пб.Линк, 2009, 189 с.
12. Цифровая обработка телевизионных и компьютерных изображений под ред. Зубарева, М ,1997 г. 212 с.
13. Красильников Н.Н. Цифровая обработка изображений/ М. Вузовская книга ,2001, 319 с.
14. Мамаев Н.С. Мамаев Ю.Н. Системы цифрового телевидения и радиовещания. / М. :Горячая линия, 2007,, 253 с.
15. Быков Р.Е. Основы телевидения и видеотехники. Уч. пособ. М. : Горячая линия – Телеком, 2008. – 399 м. МЭИ
16. Матюшин О.Т., Архитектура и функционирование ПЛИС. 2003 г.
17. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. Т.1. -М.: Мир.-1982, 478 с.
18. Бибило П.Н. , Авдеев Н.А. VHDL Эффективное использование при 12 проектировании цифровых систем// М.Солон Пресс- 2008. 344 с.
19. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов М, С.Пб. 2007, 751 с.
20. A Bryuhoveckij, J. Bugaev, A. Suetenko Lidar complex for remote parameter measurement of soiling an organic origin and their identifications. (SHERNA-LIDAR) Proc. SPIE, Vol. 6594, 65940I (2007); DOI:10.1117/12.725599.
21. Nauional Instruments , Каталог, 2008
22. Колин К.Т., Аксентов Ю.В. Колпенская Е.Ю. , Основы телевидения, М., Связь, 1982, 464 с.
23. Москатов Е.А. Основы телевидения, Таганрог , Уч. пособ., 2005, 26 с
24. Кривошеев М.И. Цифровое телевидение,- Уч. пособ., М., ВЗЭИС,1989, 93 с.
25. Дворкович А. В., Дворкович В.П, Макаров Д. Г., Новинский Н.Б, Соколов А.Ю. Испытательные таблицы для измерения качества цифрового и аналогового телевизионного вещания, М. "625", № 8, 1999, стр. 36-42.

- **17 декабря 1996 года Генеральная Ассамблея ООН провозгласила 21 ноября Всемирным днём телевидения**

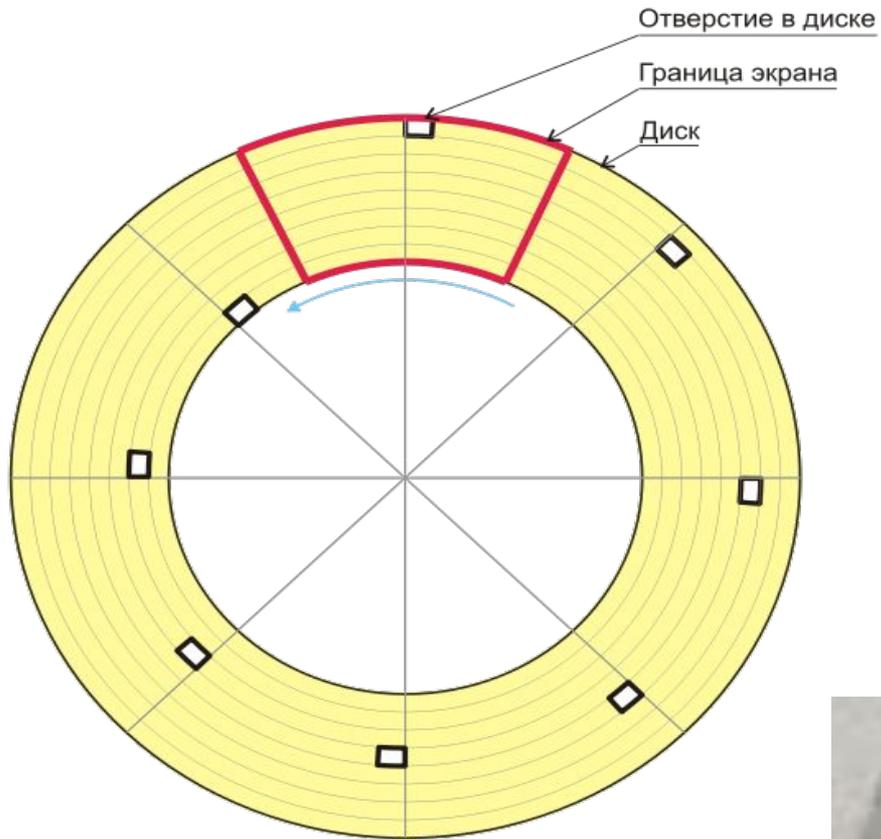
ПРИНЦИПЫ

Последовательная во времени передача и воспроизведение информации о яркости и цвете отдельных элементов изображения

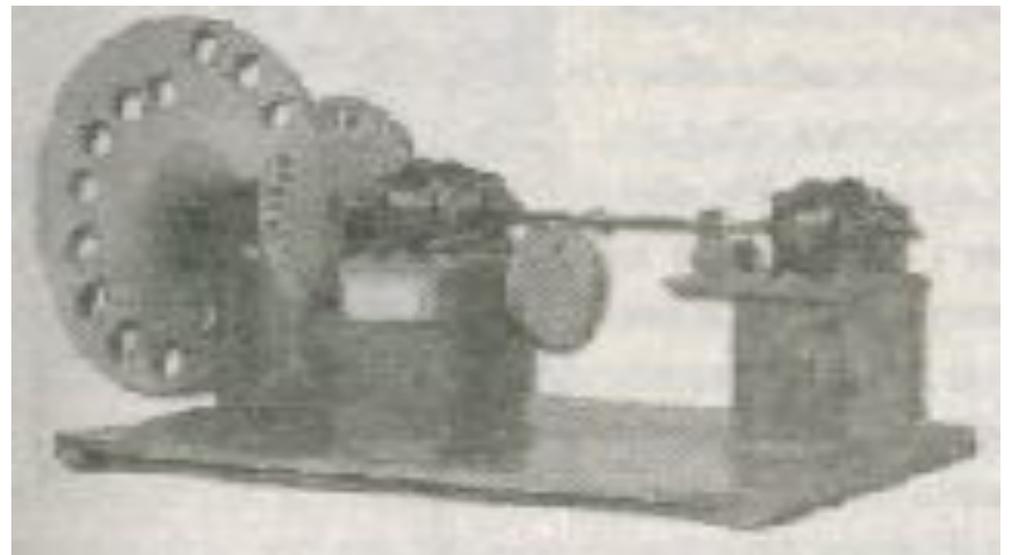
Разбиение изображения на отдельные элементы и поэлементная передача всего изображения.

Быстрая смена кадров , чтобы не было мерцаний

Диск Нипкова

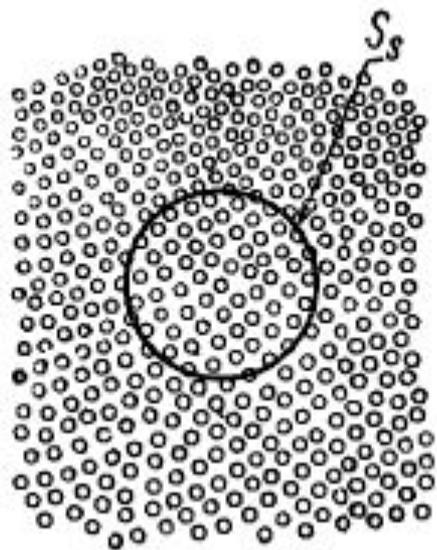
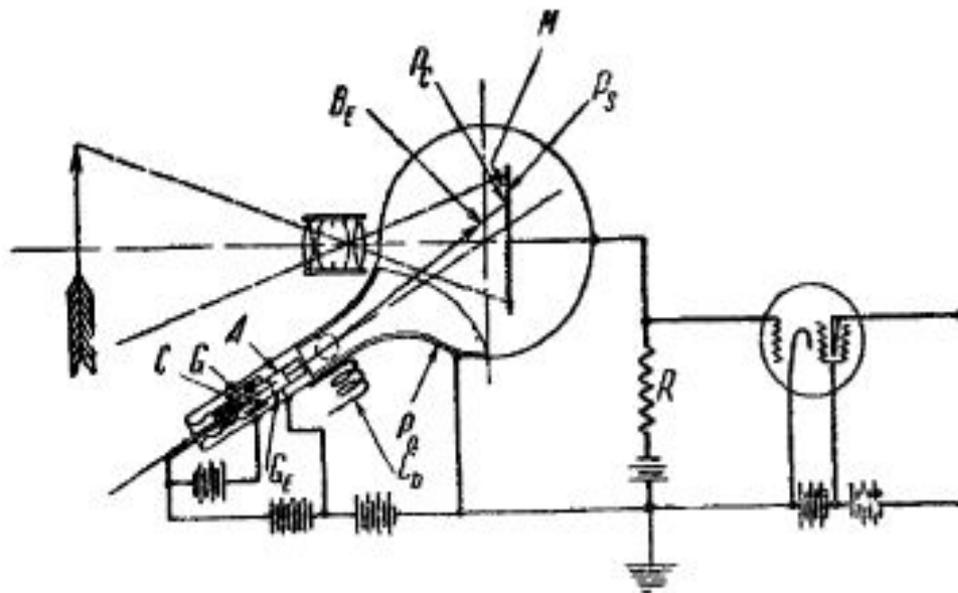


Пауль Нипков





Владимир Кузьмич Зворыкин



Полная схема иконоскопа

B_e – электронный луч; M – мозаика;
 P_s – сигнальная пластина; G_e – электронный
прожектор; C_D – отклоняющие катушки.

Фотоэлемент мозаики S_s - Разлагающий пучок (пятно)

Цифровое ТВ

В истории развития телевидения и цифрового видео можно выделить следующие крупные этапы:

1--Черно-белое ТВ-- передается яркость изображения

2--Цветное ТВ, системы цветного ТВ -- передается яркость и цветовые составляющие. С точки зрения объема данных, добавление цвета -- это количественный переход. С точки зрения наблюдателя -- качественный.

PAL

SECAM

NTSC

3 -- Появление цифрового видео (Video CD, DVD) -- качественный переход с точки зрения формата данных.

4 -- Цифровое видео и телевидение высокого разрешения (Blu-Ray, HDTV)-- количественный переход с точки зрения объема данных. Однако передаются все те же составляющие: яркость и цвет.

5--Появление объемного телевидения

ИСТОРИЯ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

- Особенности

Системы ЦТ могут быть двух типов .

В первом случае ТВ сигнал преобразуется в цифровую форму только для цифровой обработки сигнала в АСК, в корректоре искажений, для консервации ТВ программ или передачи их по каналам связи, а затем, снова преобразуется в аналоговую форму. При этом используются существующие телевизионные радиостанции и парк телевизоров.

Во втором - начиная с преобразования изображения свет - сигнал в цифровую форму, все этапы фильтрации, сжатия, кодирования, передачи, декодирования и т. д. до обратного преобразования в приемном тракте сигнал – изображение, проводятся в цифровой форме

ЭТАПЫ.

Первый этап ЦТВ– разработка стандартов

Второй этап развития ЦТВ – создание гибридных аналого-цифровых телевизионных систем с параметрами, отличающимися от принятых в обычных стандартах телевидения

Третьим этапом развития

можно считать создание полностью цифровых телевизионных систем

ЭТАПЫ ЦТВ

- **ISO – (International Standard Organization -Международная организация по стандартизации)**, Главный в мировом масштабе орган, принимающий и утверждающий стандарты в различных областях
- **IEC – (International Electrotechnical Commission - Международная Электротехническая Комиссия)**
- **ITU- (International Telecommunication Union- Международный Союз Электросвязи)**. международный орган, занимающийся стандартизацией в области телекоммуникаций,
- **CCIR - МККР (Международный Консультативный Комитет по радио)** до 1993 года
- **ITU-R** - сектор радио, занимается Стандартизацией в телевидении
- **JPEG (Joint Picture Expert Group - объединенная группа экспертов по изображениям)**, рабочая группа ISO
- **MPEG (Motion Picture Expert Group) - группа экспертов по движущимся изображениям)**

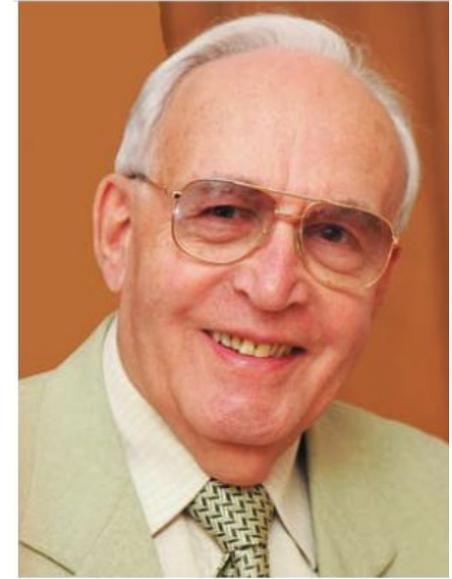
Концепция 1998 г

- В основе. лежит принцип создания в сетях вещания интегрированного транспортного потока для передачи, как вещательных программ, так и мультимедийной и другой информации
- 1998 г. Концепция внедрения цифрового ТВ вещания
- ТВ рассматривается, как **многоцелевая информационная система.**
- Ее задача при переходе к ЦТВ обеспечить:
 - - комплексное решение **проблемы многопрограммного ТВ** вещания;
 - - базирование на постепенном, **эволюционном переходе** от аналогового телевидения к цифровому;
 - - передачу **больших объемов данных**, массовой интерактивности;
 - - передачу ряда задач мультимедиа и других информационных служб;
 - - **адресный и ограниченный доступ** к ТВ программам;
 - - **максимальную стандартизацию** ТВ высокой и сверхвысокой четкости, интерактивности;
 - - **использование компьютерных технологий** в ТВ-вещании

КОНЦЕПЦИЯ ЦТВ на 2010-2025 г.

- основывается на глобальном подходе к интеграции ряда новых сфер и компонент информатизации;
- на внедрении повсеместно: **Объемного (трехмерное – 3D) ТВ-вещания;**
- в дальнейшем внедрение систем 3DTV-NO, обеспечивающих **восприятие ряда (N) дополнительных ощущений (O)**. Например, прикосновений (тактильные чувства), температуры,- сопряжение комплексов создания ТВ программ и других источников информации с наземными и спутниковыми сетями распределения и вещания, включая KTB, LMDS, MVDS, MWS, MMDS;
- максимально учитывать **прогрессивные цифровые технологии** приводящие к интеграции различных служб;
- **повсеместном внедрении Видеоинформационных систем (ВИС)**
- Максимальной стандартизации ТВ высокой и сверхвысокой четкости, интерактивности,
- использования компьютерных технологий в ТВ-вещании и др.
- **единство международных стандартов** на интерактивные каналы, организуемые в различных средствах телекоммуникаций

КОНЦЕПЦИЯ ЦТВ



профессор М. И. Кривошеев

. Концепция внедрения цифрового ТВ вещания

ТВ рассматривается, как многоцелевая информационная система.

Ее задача при переходе к ЦТВ обеспечить

- комплексное решение проблемы многопрограммного ТВ вещания;
- базирование на постепенном, эволюционном переходе от аналогового телевидения к цифровому.
- передачу больших объемов данных, массовой интерактивности;
- передачу ряда задач мультимедиа и других информационных служб.
- адресный и ограниченный доступ к ТВ программам

Видеоинформационные системы

- **Видеоинформационные системы (ВИС) – это многофункциональные интерактивные системы, обеспечивающие высококачественное воспроизведение видеоинформации на экранах различных размеров в многолюдных местах как на открытом пространстве (площади, улицы, стадионы и т. п.), так и в закрытых помещениях (залы, торговые центры, метро и т.п.).**

ВИС

- **Внедрение видеоинформационных систем различного назначения решает проблемы:**
- — создания высококачественных систем интерактивного цифрового телевизионного вещания при удовлетворении постоянно возрастающих запросов на частотные присвоения систем связи без пересмотра частотных планов;
- — разработки и внедрения принципиально новых систем мобильного телевидения;
- — создания принципиально новых интерактивных систем опроса общественного мнения;
- — обеспечения деятельности органов государственной власти;
- — создания мобильной видеоконференцсвязи между центральными учреждениями и удаленными районами, а также удаленных районов между собой;
- — обеспечения сбора и распространения информации различного экономического и политического характера, распространяемой органами власти среди населения, популяризации проводимых властями программ, акций, мероприятий;

- реализации оперативного контроля объектов и дистанционного управления при устранении аварий и чрезвычайных ситуаций;
- оптимизации лечебной и профилактической деятельности, созданию систем мобильной телемедицины;
- создания систем дистанционного обучения на базе ведущих ВУЗов, расширения системы подготовки абитуриентов и пр.;
- поддержки малого бизнеса, проведения рекламных мероприятий и др.

• **Требования замены** морально и физически устаревших основных технических средств вещания вызывают необходимость внедрения новых прогрессивных комплексов и систем.

В этих обстоятельствах, учитывая присоединение России к европейской DVB системе цифрового телевизионного вещания, целесообразен и экономически выгоден переход к цифровым системам обработки.

- **Внедрение видеоинформационных систем в России связано с решением пяти наиболее важных проблем:**
 - — эффективного использования мирового опыта по созданию и применению систем цифровой обработки и передачи информации;
 - — разработки стандартов России, касающихся систем формирования и передачи по каналам связи различных видов цифровой информации;
 - — разработки и внедрения собственных видеоинформационных систем и соответствующей аппаратуры;
 - — обучения студентов и специалистов для обеспечения разработок, производства и эффективной эксплуатации таких систем;
 - — создания средств метрологии видеоинформационных систем.

- Особое значение приобрело создание новых систем распределения цифрового телевидения и, в частности, многопрограммного цифрового ТВ вещания в Европе.
- Система DVB, внедрение которой проводится в России и которая охватывает спутниковые (DVBS/S2),
- кабельные (DVBC/C2),
- наземные (DVBT/T2) средства передачи.
- В стандарте реализован принцип использования при различных способах передачи одинаковых методов кодирования сигналов, мультиплексирования, системы коррекции ошибок на первом этапе передачи, что обеспечивает максимальную совместимость разных систем.
- Международными стандартами охвачены также такие системы распределения телевизионных программ, как MMDS, LMDS, MVDS.

- Важнейшим вопросом является разработка **отечественных стандартов** формирования, передачи и приема цифровой информации с учетом особенностей построения мультимедийных систем в России.
- Новые стандарты должны разрабатываться с перспективой, а не фиксировать и, тем более, не закреплять нашу техническую отсталость.
- **Метрологическая безопасность** России — залог создания высококачественной видеоинформационной аппаратуры и ее эффективного использования.
- На современном этапе развития техники выполнение требований метрологии связано с созданием **виртуальных измерительных систем на базе использования персональных компьютеров** в качестве устройств анализа и организации структуры систем формирования и обработки измерительной информации

- **При этом обеспечиваются:**
- — патентная чистота способов измерений с применением специально разработанных оптимальных измерительных сигналов и процедур их обработки, позволяющих резко повысить точность и быстродействие измерений;
- — существенное увеличение функциональных возможностей создаваемых измерительных средств, а также их полностью цифровая реализация;
- — снижение практически на порядок цены приборов, что достигается их реализацией на базе общедоступных персональных компьютеров, дополнительно комплектуемых соответствующими блоками (платами) ввода и вывода измерительной информации и программными продуктами

Цифровая обработка

Цифровая обработка телевизионных и компьютерных изображений ввиду ее особой важности выделилась в самостоятельную область техники, в которую входят:

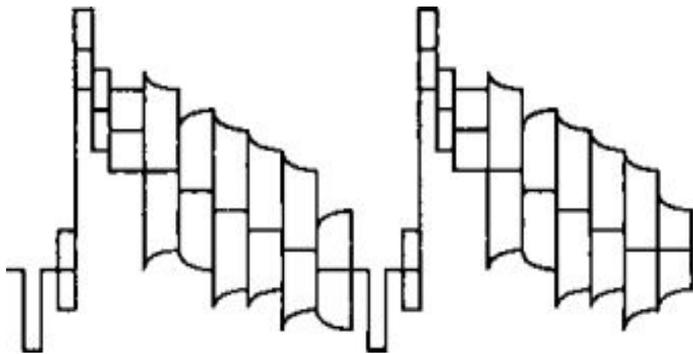
- — коррекция изображений, их «препарирование», т.е. сознательное разделение на части цифровыми средствами, видоизменение этих частей и их обратная «сборка»;
- — оценка параметров изображений с целью контроля качества их передачи и приема;
- — преобразование и кодирование изображений для хранения или передачи по каналам связи;
- — компьютерная графика, а также визуализация информации, т. е. представление массивов данных в виде различных изображений, что очень эффективно, так как облегчает решение многих задач, сложных именно своей абстрактностью

Эта область включает также **моделирование** систем обработки, хранения и передачи визуальной информации по каналам связи, т.е. набор компьютерно-математических задач, необходимых для разработки новой цифровой телевизионной техники.

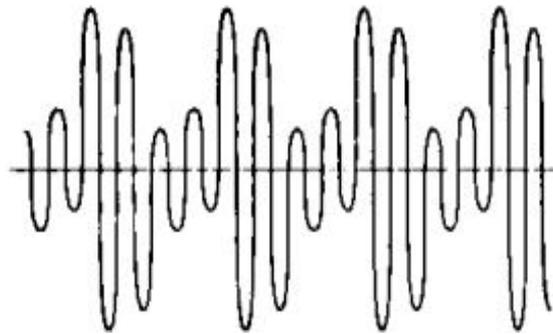
В чем отличие и чем характеризуется цифровое телевидение?

- Телевизионным изображением называется отображение на экране пространственных и временных изменений яркости, цвета и др. физ. параметров исходного изображения.
- В общем случае изображение можно представить в трехмерной системе координат, где функции пространственных координат x, y описывают изменение параметров в плоскости экрана в фиксированный момент времени, а ось t отображает процесс во времени.
- Точка изображения характеризуется определенным набором координат (x, y, t) вместе с ее малой окрестностью называется элементом изображения или отсчетом

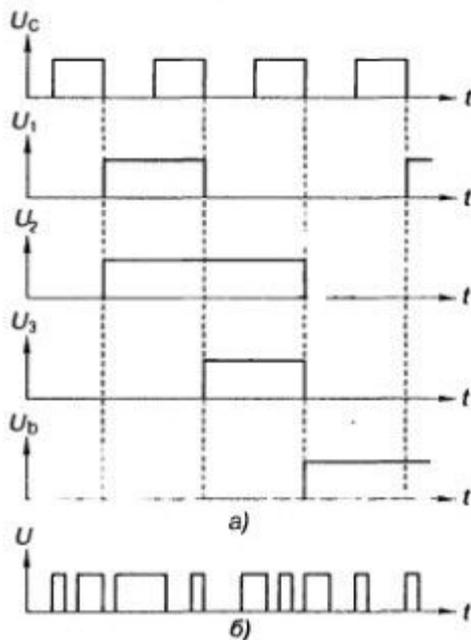
- Стандартом ТВ сигнала наз. совокупность его основных параметров (характеристик) таких как:
- способ разложения, число строк в кадре, формат кадра, длительность и форма синхронизирующих и гасящих импульсов, полярность сигнала, разнос между несущими частотами изображения и звукового сопровождения, метод представления и кодирования цветовой информации (компонентный и композитный)
- Ч/б – 10 стандартов ---- В, D, G, H, I, K, KI, L, M, N
- По способу передачи цветности- 3 SECAM, PAL, NTSC



Аналоговый ТВ сигнал



Аналоговый Звуковой сигнал



Цифровые сигналы в параллельной (а) форме

В последовательной форме (б)

Для преобразования аналогового сигнала в цифровой, необходимо выполнить следующие три операции:

дискретизацию во времени, т.е. замену непрерывного аналогового сигнала последовательностью его значений в дискретные моменты времени - отсчетов или выборок;

квантование по уровню, заключающееся в нахождении для каждого отсчета сигнала ближайшего к нему уровня квантования из используемого набора уровней квантования;

кодирование (оцифровку), в результате которого номер найденного уровня квантования представляется в виде двоичного числа в параллельной или последовательной форме.

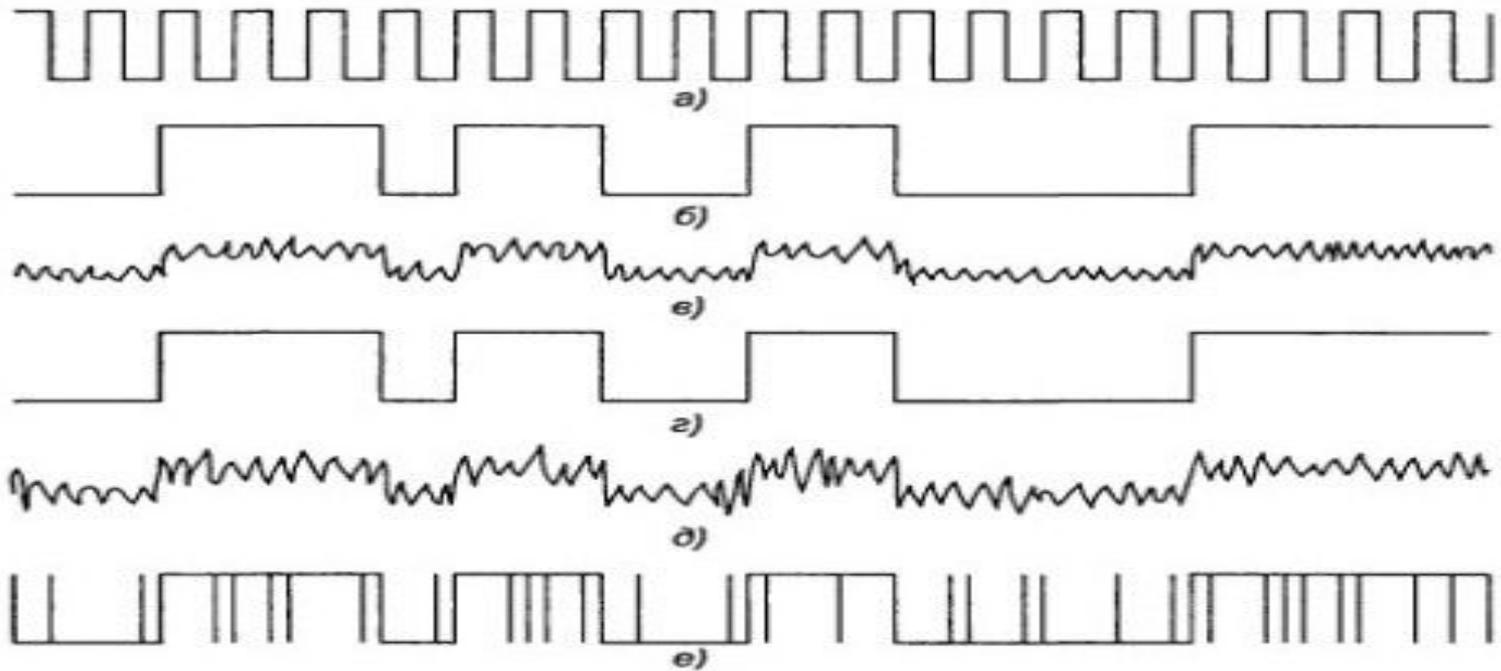


Рис.. Влияние помех на прием цифрового сигнала

а) импульсы тактовой частоты

б) положение отдельных битов в сигнале

в) принятый сигнал , $C/\text{Ш} = 6$ (15,6 Дб)

г) отфильтрованный сигнал

д) сигнал $C/\text{Ш} = 3$ (9,5 Дб)

е) сигнал с помехами

Сжатие изображений

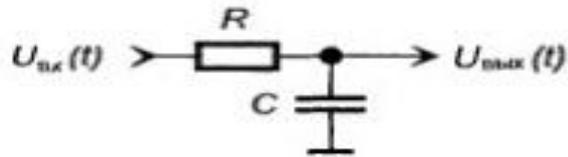
- Это — задача так называемого сжатия, т. е. уменьшения объема информации, необходимого для ее передачи по каналам связи путем сокращения содержащейся в составе изображения информационной избыточности.
- Ключевыми вопросами, решение которых определяет эффективность развивающихся и вновь создаваемых систем, являются задачи компрессии видеоинформации и оценки ее качества.
- Решение именно этой задачи имеет, в частности, важное значение для внедрения телевидения высокой четкости.

«Высокая четкость» в этих системах достигается увеличением количества как строк в кадре, так и элементов в каждой строке,

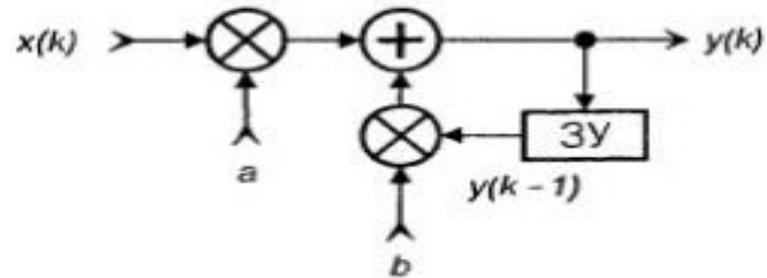
- Это означает резкое возрастание и соответствующего каждому изображению (кадру) объема информации

- Передавать эти изображения предстоит с использованием существующих каналов связи, пропускная способность которых остается ограниченной.
- Становится очевидным, что как только будет создан эффективный и достаточно просто реализуемый алгоритм сжатия телевизионных изображений (а такие работы ведутся давно, и варианты решения этой задачи практически уже найдены)
- Частотное пространство телевидения во многих случаях ограничено, а кроме того, крайне привлекательным представляется внедрение новых систем телевидения без изменения существующей линейной каналообразующей аппаратуры.
- Решение такой задачи, как обеспечение возможности передачи хотя бы четырех — шести программ телевидения в стандартном радиоканале, является сегодня исключительно важным, прежде всего с экономической точки зрения.

. Аналоговый (а) и цифровой (б) фильтры НЧ



а)



б)

ФНЧ первого порядка

ток зарядки емкости C ограничен сопротивлением R .

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

$a, b - \text{const}$

$y(k - 1)$ - предыдущее

Цифровое телевидение - это новая ступень развития телевизионной техники, обеспечивающая многие преимущества по сравнению с аналоговым телевидением, в том числе:

- появляется возможность создания унифицированного оборудования Аппаратно –студийных комплексов (АСК), использующих единый стандарт цифрового кодирования;**
- повышается помехоустойчивость систем телевизионного вещания;**
- повышается качество изображения в телевизионных приемниках с обычным стандартом разложения, особенно при видеозаписи с применением электронного монтажа;**
- создание новых телевизионных систем, обеспечивающих существенное повышение качества изображения телевизионных изображений (телевидение высокой четкости - ТВЧ);**
- увеличение количества передаваемых телевизионных программ, так как по стандартному телевизионному каналу с шириной полосы частот 6...8 МГц оказывается возможным передавать 4 и более программ телевидения обычной четкости или 1-2 программы ТВЧ;**
- интеграция телевизионного вещания с Интернет;**

- появляются значительные перспективы для создания фондовых и архивных материалов, их длительного хранения;**
- обеспечение защиты передаваемых телевизионных программ и другой информации от несанкционированного доступа, что дает возможность создавать системы платного ТВ-вещания;**
- создание интерактивных телевизионных систем, при пользовании которыми зритель получает возможность воздействовать на передаваемую программу;**
- значительно расширяется номенклатура спецэффектов (селективная обработка участков кадра, электронный монтаж из фрагментов нескольких кадров, замена объектов в кадре , геометрическое преобразование изображений, новые направления в художественно-декоративном оформлении, в том числе синтез изображений;**
- цифровая фильтрация сигналов, в частности, для уменьшения влияния помех и шумов, для подавления отраженных сигналов, для разделения сигналов яркости и цветности и т.д.**
- преобразование стандарта телевизионной развертки, например, для уменьшения заметности мерцаний, для реализации функции «кадр в кадре» и др.**

- кодирование телевизионных сигналов для уменьшения требуемой для их передачи пропускной способности каналов связи (сжатие или компрессия телевизионных сигналов).
- кодирование телевизионных сигналов для уменьшения влияния помех на телевизионные передачи;
- повышение технической оснастки микшеров , накопителей, редакторов с быстрым выбором любого из них
- АСК станут гибкими и высокопроизводительными эксплуатация более надежная и упрощенная;

НО

Потребуется значительное увеличение скорости передачи символов цифрового ТВ, путем устранения избыточности, использования эффективных методов модуляции и кодирования

Контрольные вопросы

1. Этапы в развитии цифрового ТВ вещания
2. Концепция внедрения цифрового ТВ вещания 1997 г
3. Концепция внедрения цифрового ТВ вещания (2015-2025)
4. Паралельное и последовательная передача информации
5. Причины определяющие развитие цифрового ТВ вещания
6. Что такое цифрового ТВ вещание
7. Преимущества цифрового ТВ вещание по сравнению с аналоговым телевидением

- 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.

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).

- Quadature Amplitude Modulation (QAM)
- Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)
- Decision Feedback Equalization (DFE)
- Frequency Division Multiplexing (FDM)
- Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

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.

- Модификация **VOFDM** (vector OFDM) использует тот факт, что в зависимости от положения антенн возможны различные разбиения полосы передачи на независимые несущие. То есть возможно, что одна антенна уверенно принимает один набор частот, а другая — иной. Это позволяет использовать несколько антенн по соседству для передачи сигнала на близких частотах
- Технология VOFDM является одной из наиболее современных и эффективных, особенно в условиях не прямой видимости
-