

**Гаврилов И.А., Рахимов Т.Г., Пузий А.Н.,
Носиров Х.Х.**

Т Е Л Е В И Д Е Н И Е



Ташкент 2018

Авторы: Гаврилов И.А., Рахимов Т.Г., Пузий А.Н.,
Носиров Х.Х.,

Рецензенты:

начальник отдела подготовки телесериалов и
передач в студии государственного унитарного
предприятия «O‘zbekiston MTRK mediamarkazi» -
Х. Асатуллаев;
заведующий кафедрой «Системы
телерадиовещания» д.т.н., доцент Ташкентского
университета информационных технологий имени
Мухаммада аль-Хоразмий - Б.Н. Рахимов

В книге излагаются теоретические основы телевидения. Подробно рассматриваются принципы формирования телевизионных сигналов. Рассмотрены принципы построения и работы основных узлов телевизионного оборудования, включая датчики телевизионных сигналов, жидкокристаллические, плазменные и светодиодные экраны, системы цветного, кабельного и спутникового телевидения. Кроме того приводятся сведения по основам объемного телевидения. Методически книга построена и написана так, чтобы студент мог самостоятельно изучить разделы курса, которые на лекциях из-за ограниченного времени либо не освещаются, либо освещаются недостаточно.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ТЕЛЕВИДЕНИЯ	6
1.1. Краткая история телевидения	6
1.2. Развертка	15
1.3. Обобщенная структурная схема системы телевидения	17
2. ОСНОВЫ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ ЧЕЛОВЕКА	20
2.1. Зрительная система человека	20
2.2. Основные светотехнические величины и их параметры	24
2.3. Характеристики оптических изображений и их параметры.	25
2.4. Понятие о цвете и колориметрические системы	27
2.5. Методы смешения цветов	32
2.6. Цветопередача в телевидении	34
3. ТЕЛЕВИЗИОННОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ И ЕГО ПАРАМЕТРЫ	36
3.1. Координатные параметры	36
3.2. Временные параметры	39
3.3. Яркостные параметры ТВ изображения	42
4. ФОРМИРОВАНИЕ ТВ СИГНАЛА	44
4.1. Форма и состав ТВ сигнала	45
4.2. Спектр ТВ сигнала	49
4.3. Основные параметры стандарта вещательного ТВ	51
5. ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ	53
5.1. Основные показатели ФЭП	54
5.2. Типы и законы фотоэффекта	55
5.3. Принцип мгновенного действия и накопления зарядов	56
5.4. Телевизионные ФЭП на ЭЛТ	61
5.5. Твердотельные матричные ФЭП на ПЗС	85
5.6. Матричные ФЭП на основе КМОП-технологии	94
6. ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ	97
6.1. Кинескопы черно-белого телевидения	97
6.2. Масочные кинескопы цветного телевидения	102
6.3. Кинескопы цветного ТВ типа Тринитрон и Хроматрон ...	107
6.4. Плоскопанельные жидкокристаллические экраны	111

6.5. Плоскопанельные плазменные экраны	123
6.6. Плоскопанельный тонкий кинескоп	130
6.7. Модульные светодиодные видеоэкраны	133
6.8. Экраны на органических светодиодах	140
7. РАЗВЕРТЫВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА	145
7. 1. Общие сведения	145
7.2. Схемотехника устройств развертки кинескопов	148
7.2.1 Строчная развертка	149
7.2.2. Кадровая развертка	156
7.3. Схемотехника устройств развертки плоскопанельных экранов	158
8. ПРОЦЕССЫ И УСТРОЙСТВА СИНХРОНИЗАЦИИ	167
8.1. Требования к сигналам синхронизации	167
8.2. Выделение синхроимпульсов из ТВ сигнала и их разделение	168
8.3. Синхронизация генераторов	173
8.4 Синхронизация генераторов строчной развертки	174
8.5 Синхронизация генераторов кадровой развертки	178
9. ПРИНЦИПЫ ПЕРЕДАЧИ ЦВЕТНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ	181
9.1 Способы получения цветного изображения	181
9.2 Требования к вещательной системе цветного телевидения ..	183
9.3. Принципы построения совместимых систем телевидения ..	184
10. СИСТЕМЫ ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ	192
10.1. Система цветного телевидения NTSC	192
10.2. Система цветного телевидения SECAM	198
10.3. Система цветного телевидения PAL	206
11. ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ	212
11.1. Назначение и структура телевизионных центров	212
11.2. Основные структурные подразделения телевизионных центров	219
11.2.1. СЕРВЕР	219
11.2.2. ЦЕНТРАЛЬНАЯ АППАРАТНАЯ	224
11.3. Оборудование телевизионных камер	227
11.4. Оборудование аппаратно-студийных блоков	237
11.5. Видеомагнитофон	246
11.6. Контрольно-измерительное оборудование	249

12. НАЗЕМНОЕ ТЕЛЕВИЗИОННОЕ ВЕЩАНИЕ	253
13 СПУТНИКОВОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ (СТВ)	258
13.1. Принципы построения спутниковых систем	259
13.2. Основные функции спутников-ретрансляторов телевизионного вещания	264
13.3. Приёмные спутниковые антенны	268
13.4. Принципы построения индивидуальных радиоприёмных устройств спутникового телевидения	272
14. КАБЕЛЬНОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ	289
14.1. Этапы развития систем кабельного телевидения	290
СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ	305
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	312

1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Развитие телевизионных систем от механических к электронным, от черно-белых к цветным и наконец, от аналоговых к цифровым, занимает во времени больше 100 лет и базируется на фундаментальных достижениях в физике, электронике и схемотехнике. При этом в настоящее время телевидением называется область современной радиоэлектроники, которая занимается передачей и приемом движущихся и неподвижных изображений предметов, расположенных в пространстве, электрическими средствами связи в реальном и измененном масштабе времени.

Задачей ТВ является получение на приемном устройстве изображения, как можно более полно соответствующего объекту передачи. Эта задача решается сложным комплексом аппаратуры преобразования, кодирования, передачи, декодирования, отображения и другими операциями по обработке визуальной информации.

1.1. Краткая история телевидения

Термин «телевидение» (ТВ) (видение на расстоянии или дальновидение) впервые употребил русский военный инженер-электрик Перский на Международном конгрессе в Париже в 1890 г. При этом в основе телевидения лежат **3 физических процесса:**

1. **Преобразование световой энергии в электрические сигналы;**
2. **Передача и прием электрических сигналов по каналу связи;**
3. **Обратное преобразование электрических сигналов в оптическое изображение.**

Для преобразования оптического изображения в электрические сигналы используются различные фотоэлементы или фотопреобразователи. При использовании 1 фотоэлемента напряжение на его выходе будет соответствовать средней яркости сцены и никакого ТВ изображения не получится.

Поэтому, количество фотопреобразователей должно быть большим и чем больше их число, тем более четкое изображение можно получить. Так по стандарту вещательного телевидения их примерно 550 тысяч. Естественно, что для передачи информации с этих преобразователей никто пол миллиона каналов связи не предоставит, поэтому канал связи всего один, по которому последовательно передается информация от каждого фотопреобразователя. Такой процесс последовательной, поэлементной передачи видеоинформации называется **разверткой**. Поэтому телевидение основано еще и на 2 принципах:

- 1. Принцип разложения изображения на элементы (пиксели) – чем больше, тем лучше четкость изображения;**
- 2. Принцип развертки – последовательной передачи и приема элементов изображения.**

Таким образом, изображение, которое нам синтезирует телевизор, — иллюзия, возникающая благодаря инерционности нашего зрения. На самом деле в каждый момент времени на экране присутствует одна единственная точка. Но благодаря развертке — процессу быстрого перемещения светящейся точки по экрану — телевизор создает оптическое изображение.

Поскольку технологии производства электронных компонентов в конце 19 века не позволяли создавать матричные фотопреобразователи с большим числом элементов, то в первых ТВ системах использовался всего один фотопреобразователь (фотоэлемент). При этом, если при помощи объектива спроецировать оптическое изображение сцены на фоточувствительную поверхность фотоэлемента, то никакого сигнала изображения получить не удастся. Это связано с тем, что световые потоки, отраженные от различных участков сцены на одном фотоэлементе просуммируются и создадут постоянное напряжение, пропорциональное среднему значению яркости. Поэтому, чтобы получить сигнал изображения, отражающий распределение яркостей участков передаваемой сцены,

необходимо просканировать это пространство таким образом, чтобы на фотопреобразователь последовательно попадали световые лучи отраженные от всех ее элементов. Для этой цели в первых системах телевидения применялась механическая развертка на основе особого диска, изобретенного в 1884 г. немецким студентом Паулем Нипковым и названным "диск Нипкова". Он представляет собой непрозрачный диск большого диаметра (рис.1.1, б). По внешнему краю диска располагались отверстия (от 18 до 240 — по числу строк развертки) со строго заданным расстоянием между собой и определенным шагом спирали Архимеда. То есть каждое отверстие имеет смещение по радиусу к центру на величину его диаметра, а диаметр определяет размеры элемента изображения.

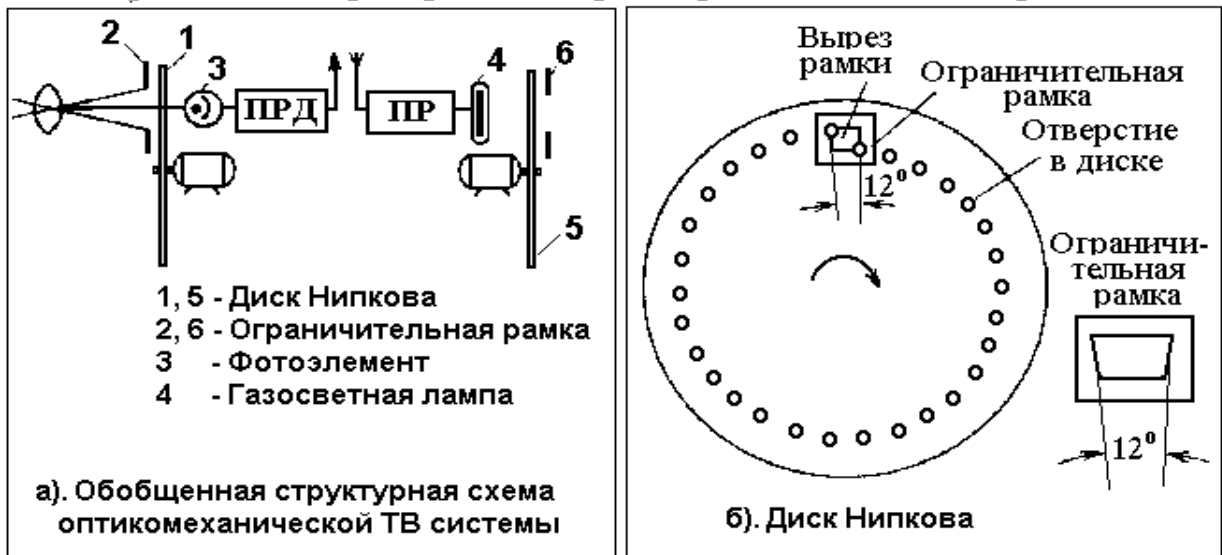


Рис. 1.1. Оптико-механическая ТВ система с диском Нипкова

Перед диском расположена ограничительная рамка, определяющая размер изображения. Высота соответствует расстоянию по вертикали между началом и концом спирали, а ширина — расстоянию между отверстиями. При вращении диска внутри рамки оказывается только одно отверстие, которое прочерчивает строку, число которых соответствует числу отверстий, а за один оборот передаются все элементы изображения, то есть один кадр. Перед диском Нипкова размещался объектив, а позади — фотоэлемент,

преобразовывавший разворачиваемую картинку в электрический сигнал (видеосигнал), несущий информацию о распределении яркостей наблюдаемой сцены. По такому принципу строились первые передающие камеры, как показано на рис.1.2,а. Далее видеосигнал с выхода фотоэлемента 3 (рис.1.1,а) поступал на радиопередающее устройство и через антенну излучался в эфир для передачи на приемные антенных телевизоров.

В механическом телевизоре для реконструкции изображения использовался аналогичный, приемный диск Нипкова (рис.1.2,б), позади которого размещалась неоновая лампа, яркость свечения которой изменялась синхронно с выходным напряжением фотоэлемента телекамеры. При этом приемный диск должен вращаться синхронно и синфазно с передающим. При нарушении синхронизма вращения свет лампы от некоторых участков сцены будет попадать между отверстиями приемного диска и создавать изображение не будет. Поэтому скорость и фаза вращения дисков на передающей и приемной стороне синхронизировались вручную или специальной схемой синхронизации рис.1.1. На рис. 1.2. представлено устройство передающей камеры и дискового телевизора.

Простота конструкции Нипкова позволила в последствии создать целый ряд действующих оптико-механических систем ТВ. Так в Москве в апреле 1931 г. коллектив электротехнического института под руководством Шмакова П.В. осуществил экспериментальную радиопередачу сигналов изображения в Ленинград, а с четкостью **30 строк и частотой кадров 12,5 Гц.** (1200 элементов изображения) на волнах 379 и 720 м. Начиная с осени 1934 г., эти передачи стали регулярными, которые можно было принимать на всей территории Советского союза. А 1932 году Ленинградский завод им. Козицкого выпустил первую партию советских телевизоров (модель Б-2) (рис.1.3). А второй вариант телевизоров «Пионер» 1943 года показан на рисунке 1.4. Следует отметить, что дизайн телевизоров 20-х годов прошлого века отличался большой оригинальностью и некоторые их модели совсем не похожи на привычные нам формы (рис.1.5).



а)

Рис.1.2. Дисконая ТВ камера Бэрда (а) и устройство электромеханического телевизора (б)



Рис.1.3.Первый советский механический телевизор В-2



Рис.1.4. Второй советский механический телевизор «Пионер» (1934)



Рис.1.5. Дизайн ТВ-приемников делали на любой вкус (1928)

По принципу преобразования светового потока в электрический сигнал такие системы, являются системами мгновенного действия и характеризуются низкой световой чувствительностью и плохим качеством изображений. Кроме

того, для увеличения размеров изображения нужно было увеличивать размеры вращаемого диска, однако, никакие дальнейшие усовершенствования не могут заметно улучшить качество изображения, в силу органических недостатков оптико-механических систем.

Для решением проблемы улучшения качества изображений был необходим переход к электронному телевидению. Основоположителем его считается русский ученый **Борис Розинг Б.Л.**, эмигрировавший в Америку и запатентовавший в 1907 г. **первую приемную электронно-лучевую трубку – прообраз КИНЕСКОПА** и создавший работающую систему, где на передающем конце еще использовал оптико-механическую систему

В конце 20-х гг. прошлого века одновременно в нескольких странах были проведены успешные эксперименты по электронному телевидению. Экспериментальные передачи движущегося изображения осуществлялись в Германии, Великобритании, СССР, США, Франции и Японии.

В 1927 г. профессор Такаянаги — отец японского ТВ и основатель компании Victor, более известной как JVC, — провел серию успешных опытов с катодной трубкой Брауна и добился устойчивой передачи неподвижного изображения электронным методом. Его телевизионная система имела интересную особенность. Рассудив, что габариты студийной передающей камеры менее критичны, чем размер телевизора, Такаянаги использовал электромеханическую телекамеру и приемник с трубкой Брауна, создав прообраз «нормального» кинескопного телевизора (как у Розинга) рис.1.6. Это оказалось революционным для своего времени решением. Кстати, японцам принадлежит еще одно важное изобретение, сопрягающееся с телевидением. В 1924 г. профессор Токийского инженерного колледжа при Императорском университете Хидецугу Яга создал направленную антенну с пассивными элементами, которую в СССР именовали волновым каналом, а в остальном мире — антенной Яги. Долгое время волновой канал Яги служил основной телевизионной антенной во всем мире.

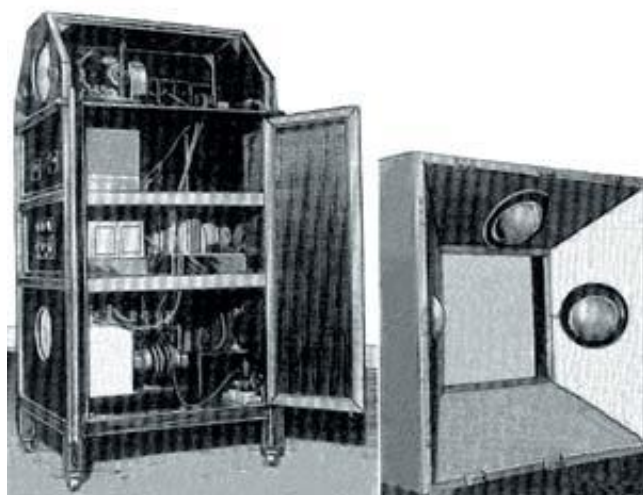


Рис.1.6. Электронный телевизор Такаянаги (1937)

Первый проект полностью электронной системы ТВ был реализован в Ташкенте в 1925 г. под руководством Грабовского, где и на приемной и передающей стороне использовались специальные электронно-лучевые трубки. Однако на выставку в Москву телевизионная система Грабовского прибыла некомплектной и доказать ее работоспособность оказалось невозможной. Поэтому большую известность в мире получил ученик Розинга В.К.Зворыкин, считающийся отцом электронного телевидения.

Трудовую деятельность Зворыкин в Штатах русский эмигрант начинал в компании Westinghouse. Но его первые работодатели электронному к телевидению не проявили интереса. Зато Radio Corporation of America (RCA) щедро спонсировала работы Зворыкина, да еще хорошо заплатила Владимиру Кузьмичу за его изобретения. К середине 30-х гг. RCA стала монопольным держателем телевизионных патентов и одной из первых в мире начала электронное ТВ-вещание. А в начале 50-х гг. прошлого века специалисты этой корпорации придумали первую электронную систему цветного телевидения NTSC (рис.1.7). А основателем RCA был — российский эмигрант Давид Сарнов, который 14 апреля 1912 г. оказался единственным человеком в мире, услышавшим сигнал бедствия с тонущего

«Титаника». Узнав об этом, президент США распорядился приостановить работу всех американских радиостанций, не причастных к спасательной экспедиции. А Сарнов, просидевший трое суток за пультом приемной станции Маркони, покинул свой пост в ранге национального героя.

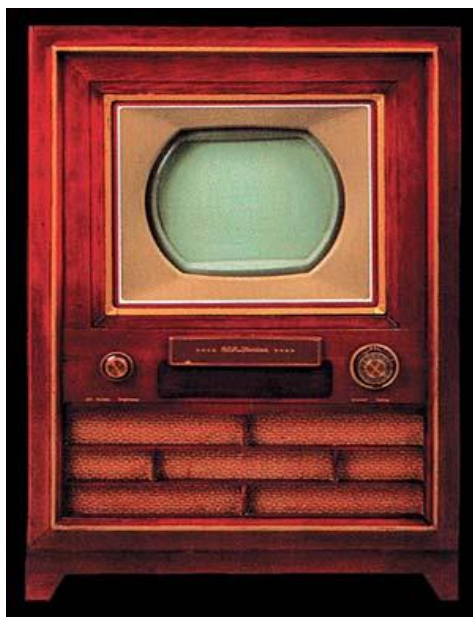


Рис.1.7. Первый серийный цветной телевизор RCA CT-100 (NTSC)

Следует отметить, что **видеомагнитофон** был создан в США компанией Амрех, Причем, эта фирма была основана **Александром Потаповичем Понятовым**, бывшим полковником царской армии, военным связистом. Он эмигрировал из России в 1917 году. Именно фирма Понятова в 1948 г. создала первый американский катушечный магнитофон Амрех-200, а в 1956 г. — первый в мире видеомагнитофон Амрех VRX-1000 (другие названия — Model-IV, Mark-IV).

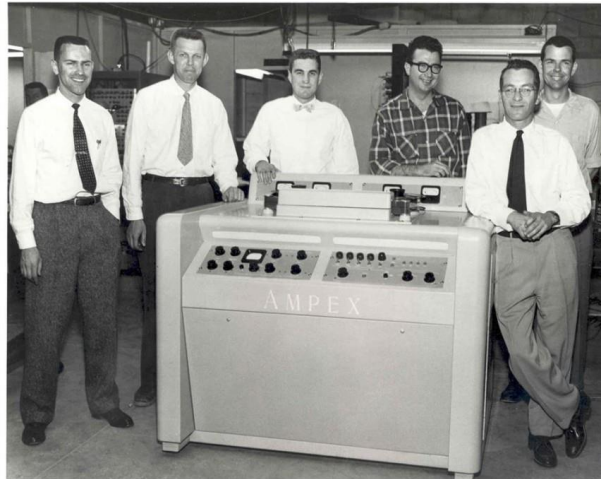


Рис.1.8. Первый видеомэгнитофон Ampex VRX-1000

Одним из учеников А.П.Понятова был Рэй Долби: изобретатель шумоподавителей Dolby A, B, C, S; системы повышения качества магнитной звукозаписи Dolby-NX (совместно со специалистами датской фирмы Bang & Olufsen); систем многоканального звучания Dolby Surround, Dolby Pro Logic, AC-3 и пр.

1.2. Развертка

Как уже говорилось – разверткой называется процесс последовательной, поочередной передачи элементов изображения. При этом в технике используется большое разнообразие типов развертки (линейная, спиральная, радиальная, синусоидальная и.д.). Однако при выборе типа развертки для ТВ системы необходимо обеспечить одинаковое время передачи каждого пикселя, минимальные потери на обратный ход и простоту технической реализации. Всем этим требованиям наиболее полно удовлетворяет линейная развертка. Поэтому в вещательном ТВ и большем числе прикладных систем используют линейные развертки: чересстрочную и прогрессивную (построчную).

Поскольку телевизионное изображение отображается на плоском экране, то в ТВ используются 2 развертки: горизонтальная – строчная и вертикальная – кадровая. При этом за направление движения развертывающего элемента (обычно электронного луча) принято движение слева направо для строчной развертки (СР) и сверху вниз для кадровой (КР), причем, изображение на экране телевизора можно получить только при совместной работе строчной и кадровой разверток.

При работе развертки различают ее прямой и обратный ход. Во время прямого хода происходит передача или отображение видеoinформации (активная часть), при этом элемент развертки движется слева направо для СР и сверху вниз, а при обратном ходе (пассивная часть) возвращается в исходную позицию, как показано на рис.1.9.

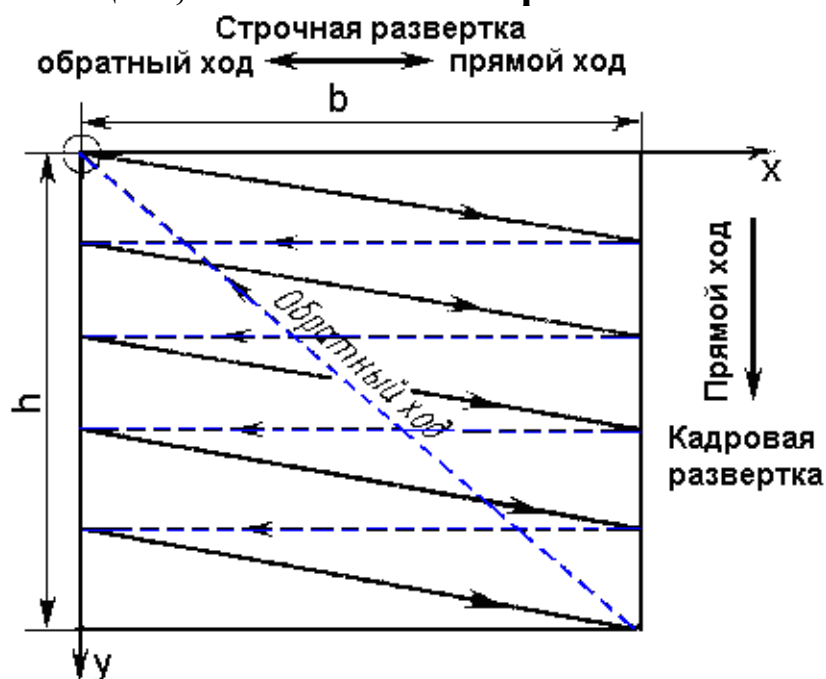


Рис.1.9. Линейно-строчная развертка

После каждой строки и каждого кадра во время обратного хода передаются специальные синхронизирующие импульсы, определяющие привязку к началу координат разверток по строкам и кадрам, передающего и приемного устройств. Точность синхронизации и постоянство скоростей развертки по

строке и кадру определяют точность воспроизведения геометрического соответствия деталей изображения на приеме и передаче (рис. 1.10).

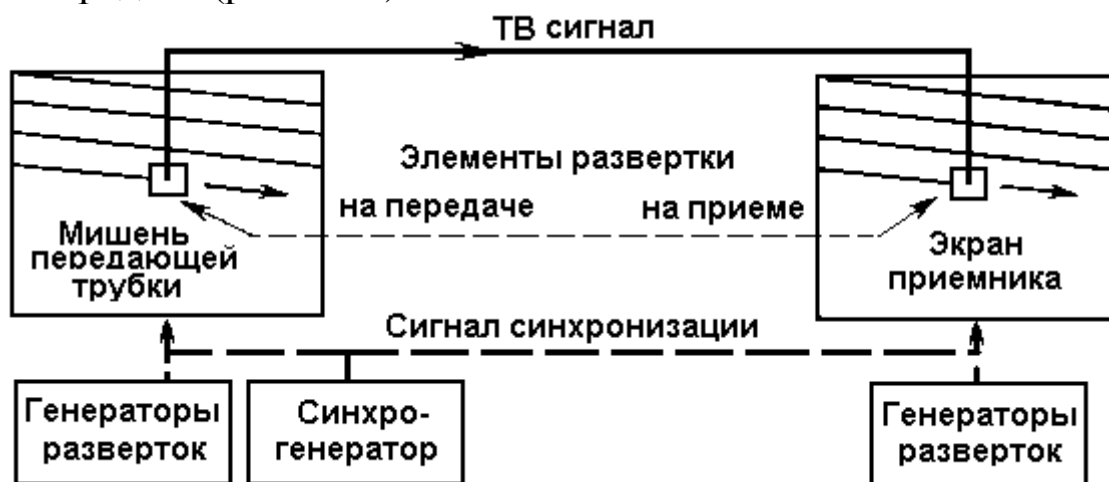


Рис.1.10. Синхронизация разверток передающей и приемной стороны

1.3. Обобщенная структурная схема системы телевидения

Общая задача ТВ – преобразование световой энергии в электрический сигнал, передача его по каналу связи и обратное преобразование на приемном конце электрического сигнала в оптическое изображение. Решение этой задачи обуславливает построение ТВ системы, т.е. комплекс технических средств, обеспечивающих получение зрительной информации о передаваемом объекте на приемном конце. В зависимости от назначения системы, объем и устройство технических средств могут быть различными, но они характеризуются общими свойствами. Обобщенная структурная схема ТВ системы, представленная на рис.1.11, состоит из следующих функциональных блоков:

- О** – объектив;
- ОЭП** – оптико-электронный преобразователь (датчик видеосигнала);
- РУ** – развертывающее устройство;
- СГ** – синхрогенератор;

УС – усилитель;
 ПРД – передающее устройство;
 КС – канал связи;
 ПР – приемное устройство;
 ВУ – видеоусилитель;
 ЭОП – электронно-оптический преобразователь (кинескоп);
 АСС – амплитудный селектор синхроимпульсов.

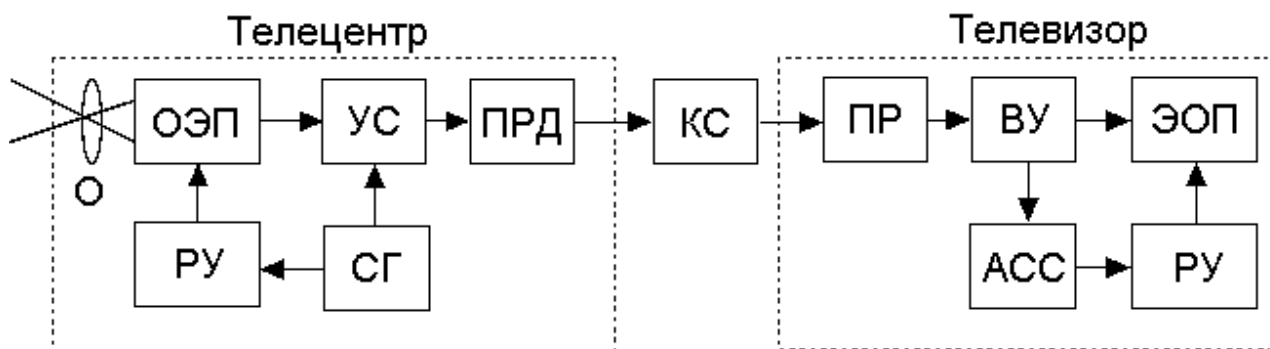


Рис.1.11. Обобщенная структурная схема ТВ системы

Рассмотрим работу ТВ системы по обобщенной структурной схеме, представленной на рис.1.11.

Объектив преобразует световой поток, создавая оптическое изображение сцены на светочувствительной поверхности оптико-электронного преобразователя (передающей трубки или ПЗС-матрицы). В преобразователе происходит преобразование светового потока в электрический сигнал, за счет явления фотоэффекта и считывания электрических зарядов с помощью развертывающего устройства. **Электрические импульсы, несущие информацию об изображении, называются исходным яркостным сигналом.** Для синхронной и синфазной работы анализирующего и синтезирующего устройств, обеспечивающих идентичность положения координат точек на передающем и приемном устройствах, необходимо генерировать и передавать специальные сигналы синхронизации. Синхронность достигается при равенстве частот разверток этих устройств, а синфазность – при точном начале их работы. Для выполнения этих условий в ТВ используется принудительная

синхронизация: сигналы синхронизации с периодом строк – строчные, и с периодом кадров – кадровые, вырабатываются в синхрогенераторе, поступают в развертывающее устройство на передающей стороне, управляя его работой, и в усилитель (УС), где суммируются с сигналом яркости, и вместе поступают на передающее устройство. Синхрогенератор вырабатывает также сигналы гашения обратного хода электронных лучей, обеспечивающие запирающие передающей и приемной трубок на это время. Исходный сигнал яркости вместе с введенным сигналом гашения называется сигналом яркости, а **сигнал, состоящий из сигнала яркости и сигнала синхронизации, называется полным ТВ сигналом (ПТВС)**. В передающем устройстве производится модуляция несущей, и этот сигнал поступает в канал связи, роль которого могут выполнять радиоканалы, радиорелейные, спутниковые, кабельные и другие линии связи, удовлетворяющие требованиям неискаженной передачи ТВ сигнала. В приемном устройстве происходит усиление ТВ сигнала по высокой и промежуточной частотам, а также его детектирование. Полученный видеосигнал поступает на видеоусилитель, где достигает уровня, необходимого для управления преобразователем сигнал-свет (кинескоп) и селектор импульсов синхронизации. В селекторе происходит выделение импульсов синхронизации из ПТВС, которые управляют развертывающим устройством на приемной стороне, обеспечивая синхронность и синфазность движения сканирующих элементов анализирующего и синтезирующего устройств.

2. ОСНОВЫ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ ЧЕЛОВЕКА

Поскольку телевидение является системой визуального наблюдения, то для получения реалистичных изображений на экране телевизора необходимо учитывать свойства и параметры зрительной системы человека.

2.1. Зрительная система человека

Человек получает зрительную информацию с помощью зрительной системы, которая воспринимает электромагнитное излучение в оптическом диапазоне длин волн 380-760 нм, называемым видимым светом. Зрительная система включает в себя **глаза, нервную систему и зрительный центр коры головного мозга**. При этом глаз (рис.2.1) имеет приблизительно шарообразную форму с диаметром около 2,5 см. и представляет собой **стекловидное тело**, заключенное в непрозрачную оболочку - **склеру**, которая в передней части переходит в прозрачную **роговицу**.

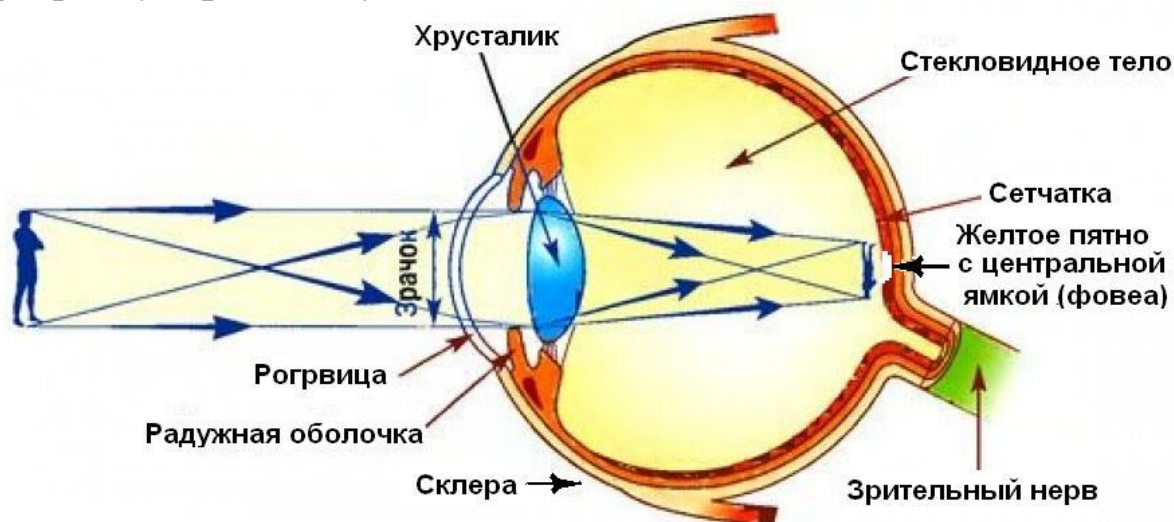


Рис.2.1. Строение глаза человека

За роговицей расположена **радужная оболочка** с отверстием в центре — **зрачком**, а за ней находится **хрусталик**.

Пространство между роговицей и хрусталиком заполнено прозрачной жидкостью - **камерной влагой**. Все это вместе образует оптическую систему глаза, при помощи которой изображение проецируется на внутреннюю поверхность склеры, покрытую **светочувствительной оболочкой, называемой сетчаткой или ретиной**. Сетчатка содержит два вида светочувствительных рецепторов **колбочки** и **палочки**, а также несколько слоев нервных клеток, с ними связанных. **Колбочки образуют аппарат дневного зрения, который работает при освещенностях больше 0,01 лк, обладает высокой разрешающей способностью и обеспечивает цветное восприятие**

Палочки образуют аппарат сумеречного зрения, обладают значительно более высокой чувствительностью и способны отличить белую поверхность от черной при освещенности около 10^{-8} лк, но имеет низкой разрешающей способностью и не воспринимает цвет.

Под влиянием мышечного воздействия на хрусталик, в результате которого изменяется его кривизна, осуществляется наводка на резкость — **аккомодация**. При максимальном расслаблении аккомодационных мышц преломляющая сила хрусталика минимальна — глаз сфокусирован на бесконечность. Поскольку яркость окружающего мира в течении суток изменяется в очень широких значениях (до 10 миллионов раз), то глаз использует механизм **адаптации** (приспособления) к различным освещенностям. При этом адаптация производится благодаря изменению диаметра зрачка, выполняющего роль диафрагмы в оптической системе глаза, и переключению аппаратов дневного и сумеречного зрения.

Следует отметить, что светочувствительные элементы на сетчатке распределены неравномерно. Наибольшая плотность распределения колбочек наблюдается в области **желтого пятна** и в его центральном углублении — **фовеа**. Угловой размер **фовеа** около одного градуса, где число колбочек в нем составляет примерно 4000, а плотность их распределения — 180 тыс. на мм^2 . Желтое пятно определяет область ясного видения. Оно имеет

овальную форму, удлинённую в горизонтальном направлении. Его угловые размеры примерно 12° на 16° . При рассматривании изображений глаз автоматически совмещает наиболее интересный (информативный) для наблюдателя участок изображения с фовеа. Поэтому **зрительная ось** глаза, проходящая от фовеа через центр хрусталика к объекту наблюдения, отклонена примерно на 5° от **оптической оси**, совпадающей с осью симметрии оптической системы глаза.

Функция сетчатки заключается не только в восприятии изображения, но и в предварительной обработке зрительных сигналов перед их поступлением в **зрительный нерв**. Эта обработка происходит в результате передачи сигнала от одного слоя нервных клеток к другому. Последний слой, непосредственно связанный со зрительным нервом, состоит из так называемых **ганглиозных клеток**. Каждая ганглиозная клетка соединена с волокном зрительного нерва. В области фовеа на одну колбочку приходится одна ганглиозная клетка, а в области периферийного зрения одна ганглиозная клетка обслуживает рецептивное поле, состоящее из большого числа светочувствительных элементов.

Таким образом было установлено:

- **Колбочки – рецепторы дневного зрения, имеют низкую световую чувствительность, но большой разрешающей способностью и цветовой чувствительностью. Наиболее густо они располагаются в центральной области сетчатки, называемой желтым пятном – области наилучшего зрения. Здесь расположена центральная впадина, обладающая способностью различать мелкие детали изображения.**
- **Палочки – рецепторы сумеречного зрения имеют высокую световую чувствительность, но низкую разрешающую способность и чувствительность к цвету.**
- **В желтом пятне преобладают колбочки, Плотность которых убывает с удалением от центра сетчатки, а плотность палочек почти постоянна. Фоторецепторы через**

сложную нервную систему – **зрительный нерв** – связаны с корой головного мозга.

- **Предельная способность глаза различать мелкие детали изображения определяется разрешающей способностью – остротой зрения.** Она определяется наименьшим угловым расстоянием δ между двумя светящимися точками, при котором наблюдатель видит эти точки раздельно. Минимально разрешаемое расстояние сильно зависит от яркости наблюдаемых объектов и их контраста относительно фона.
- Из-за неоднородности структуры сетчатки по мере удаления от центральной впадины острота зрения падает при этом **основная зрительная информация сосредоточена в пространственном угле ясного зрения, который составляет примерно $16 \times 12^\circ$, а разрешающая способность глаза ≈ 1 минуте.**
- Спектральная характеристика чувствительности глаза, представленная на рис.2.2, имеет максимум на волне **желто-зеленого цвета равной 550 нм.**

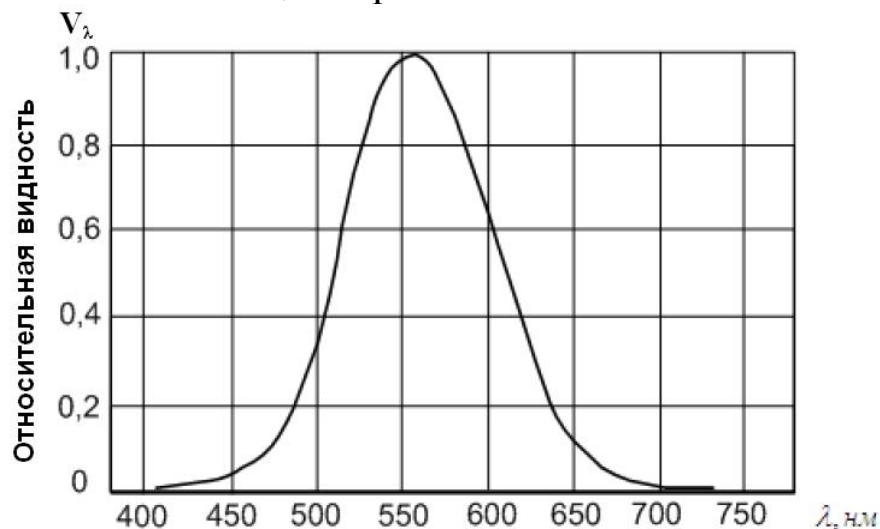


Рис.2.2. Кривая относительной видимости глаза.

2.2. Основные светотехнические величины и их параметры

Оптические изображения характеризуются большим числом светотехнических величин из которых **основными являются: световой поток, сила света, освещенность и яркость.** При этом, как указывалось ранее, **светом** называется часть электромагнитного излучения в диапазоне длин волн от **380 до 760 нм**, воздействующее на человеческий глаз. Для количественной оценки силы воздействия необходимо учитывать два обстоятельства:

- **видность излучения – неодинаковую чувствительность глаза к излучениям различных длин волн (рис.2.2),**
- **неравномерность плотности распределения мощности излучения по различным длинам волн реальных источников света.**

Световой поток (F) - мощность излучения, оцениваемая по его воздействию на нормальный глаз. Единица измерения – **люмен (лм).** Экспериментально установлено, что в максимуме кривой видности – **550 нм** **1 Вт** мощности излучения соответствует световой поток **683 лм**, для белого цвета эта величина – **220 лм**, а **100 Вт** лампа накаливания создает световой поток **800-1500 лм.**

Сила света (I) - плотность светового потока в телесном угле. Сила света характеризует неодинаковость излучения светового потока в разных направлениях. Единицей силы света является **канделла (кд)** – которая соответствует равномерному распределению в телесном угле в **1 стерадиан** светового потока в **1 лм.** Средняя сила света определяется отношением излучаемого светового потока к полному телесному углу (4π) (рис.2.3). Для примера **100 Вт** лампа накаливания обладает силой света **60-120 кд.**

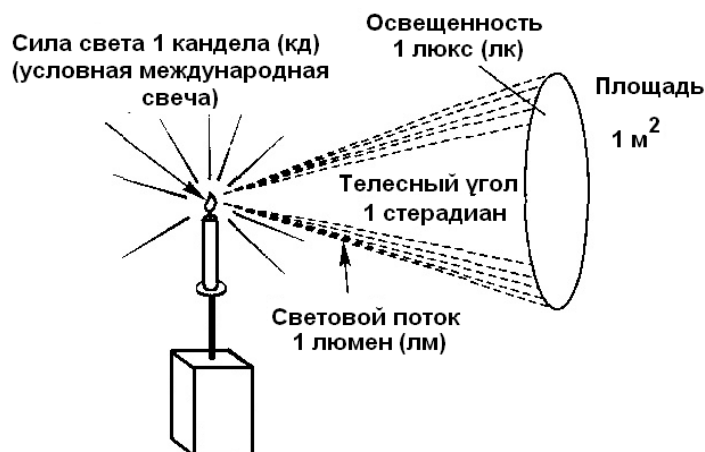


Рис.2.3. Определение светового потока

Освещенность (E) – это плотность светового потока по поверхности, на которую падает. Единицей освещенности является люкс, который создается световым потоком в 1 лм на площадке в 1 м². Для примера освещенность киноэкрана – 40-200 лк, книга при чтении – 20, предметы в тени летом – 1000, на пляже в летний, солнечный день – 100 000.

Яркость – это плотность силы света, излучаемой с поверхности. Единицей яркости является кандела / м². Светящиеся поверхности по способу их светового возбуждения можно разделить на два вида: самосветящиеся (экран ТВ, нить лампы накаливания) и вторичные, отражающие или пропускающие часть падающего на них света (киноэкран, плафон люстры). Для примера яркость: киноэкрана - 10-30 кд/м², экрана ТВ – 40-80, пламя спички – 5 тыс., нить лампы накаливания – около 5 млн., солнце – 1,5 млрд.

2.3. Характеристики оптических изображений и их параметры

Процесс ТВ передачи начинается с построения двумерного оптического изображения трехмерных объектов, расположенных в пространстве. При этом на качество оптического изображения

влияет ряд факторов, к которым можно отнести освещенность оптического изображения, четкость, глубина резкости, разрешающей способности, и др.:

Освещенность в плоскости оптического изображения E_0 определяется освещенностью объекта E , его отражательными свойствами и параметрами объектива – прозрачностью, диаметром входного зрачка, фокусным расстоянием. Диаметр входного зрачка меняется с помощью диафрагмы.

Четкость оптического изображения характеризуется качеством воспроизведения мелких деталей и определяется **разрешающей способностью объектива**. Наличие искажений изображения, возникающих в оптических системах – аберраций, приводит к тому, что точка воспроизводится в виде кружка и две близко расположенных точки на объекте сливаются в одну на изображении. Минимальное расстояние между двумя светлыми точками, на котором они еще воспроизводятся отдельно, называется **разрешаемым расстоянием**, а величина, обратная ему, - разрешающей способностью объектива. Она оценивается максимальным числом пар черно-белых линий на 1 мм, воспроизводимых на изображении.

Глубина резкости объектива – это **глубина пространства**, где диаметр кружка размытия деталей не превосходит размеров одного элемента разложения изображения.

Количественное нормирование параметров оптических изображений может быть сделано только с учетом параметров и характеристик зрения.

Способность глаза видеть мелкие детали называется разрешающей способностью или остротой зрения. Различают два вида остроты зрения: в плоскости, нормальной к оптической оси глаза, и по глубине деталей, которую называют **остротой глубинного** или **стереоскопического** зрения.

Острота зрения сильно зависит от яркости, зависимость которой представлена на рис 2.4. Характер зависимости объясняется тем, что малые яркости сигнала в одном нервном

окончании не могут возбудить сигнал, надежно отличающийся от шумов. В этом случае суммируется сигнал от нескольких рецепторов, объединяющихся в один элемент приемника (рецептивное поле), что приводит к уменьшению разрешающей способности. По мере роста освещенности число объединяемых рецепторов уменьшается и разрешающая способность растет, пока не достигает предельной разрешающей способностью – верхний загиб кривой.

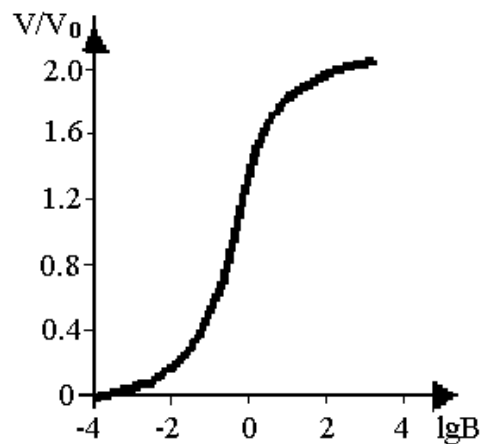


Рис. 2.4. Зависимость остроты зрения от яркости

2.4. Понятие о цвете и колориметрические системы

Понятие о цвете. Световые излучения, которые воспринимает глаз человека, лежащий в диапазоне волн 380-760 нм принято считать видимым спектром. При этом ощущение цвета зависит от спектрального состава этого излучения. Если все составляющие спектра имеют одинаковую мощность, то мы будем ощущать белый цвет. Ощущение цвета, отличного от белого, возникает, когда излучение содержит не все длины волн либо является неравномерным. Предельный случай неравномерного излучения – **монохроматическое** (одного цвета). Монохроматические излучения разной длины волны вызывают у человека ощущение различных спектральных цветов, обладающих максимальной насыщенностью.

Насыщенность – это цветовой параметр, обозначающий степень разбавления монохроматического цвета белым цветом. При этом **насыщенность белого цвета = 0**.

Спектр монохроматических излучений условно разбит на **7 главных цветов (радуга)**, названия которых могут служить приблизительным обозначением **цветового тона**.

Цветовой тон и насыщенность не зависят от интенсивности излучения и характеризуют качество цвета. Количество цвета связано с величиной светового потока – **светлота**. Эти три параметра – субъективные. Им соответствуют физические величины – **яркость (светлота), преобладающая длина волны (цветовой тон) и чистота цвета (насыщенность)**. Очень часто сочетание цветового тона и насыщенности, т.е. качественную характеристику цвета, называют **цветностью**.

Следует отметить, что физиологические основы цветового зрения базируются на теории трехкомпонентного зрения, выдвинутой М.В. Ломоносовым в 1756 г. и развитой через 150 лет Г. Гельмгольцем. Согласно этой теории в сетчатке глаза имеется три вида колбочек, обладающих различной спектральной чувствительностью в красном, зеленом и синем диапазоне. Изолированное возбуждение одного из этих видов излучений дает ощущение одного из трех насыщенных цветов – красного (R), зеленого (G) и синего (B). При этом обычно воспринимаемое нами излучение содержит весь спектр видимого диапазона волн, но с разной спектральной интенсивностью. Это приводит к раздражению не одного, а двух или трех видов колбочек одновременно, но в разной степени. Различное соотношение возбуждений вызывает ощущение определенного цвета.

Поскольку количество различимых глазом оттенков цветов очень велико и составляет примерно **10 млн.**, то в силу субъективности наших цветовых ощущений, возникает необходимость количественно охарактеризовать и классифицировать такое разнообразие цветов. Поэтому на основе экспериментальных и теоретических работ многих ученых была создана наука **об измерении цвета, называемая колориметрией** от лат. color — «цвет» и греч. μετρέω — «измеряю». **Колориметрия базируется на теории трехкомпонентного зрения и трехмерном цветовом пространстве** и позволяет дать наиболее точное численное описание цвета. Причем, для описания цвета

разработан ряд колориметрических систем, принцип построения которых основывается на одном из законов Грассмана, согласно которому любой Цвет может быть выражен тремя, если они линейно независимы. Этому требованию отвечают излучения синего, зеленого и красного цветов, называемые триадой. При это в качестве основных цветов R, G, B стремятся выбрать такие цвета, чтобы каждый из них действовал преимущественно на один из рецепторов модели зрительного восприятия. Кроме того, учитывают необходимость достаточно простого получения этих излучений. Международной комиссией по освещению (МКО) в качестве основных цветов рекомендованы монохроматические излучения с длинами волн $\lambda_R = 700$ нм, $\lambda_G = 546,1$ нм, $\lambda_B = 435,8$ нм. Данные излучения являются линиями в спектре излучения паров ртути, которые выделяются с помощью фильтров.

Также при выборе основных цветов необходимо установить их яркости. Удобно яркости основных цветов взять такими, чтобы белый цвет создавался от смешения их в равных количествах, т. е. модули цветов при этом должны быть одинаковыми:

$$R=G=B= 1/3.$$

Важно отметить, что если смешать выбранные основные цвета равной яркости, то получится не **белый цвет, а синий**. Поэтому путем статистических исследований было установлено, что эти условия выполняются в случае, если яркости эталонов находятся в соотношении **$L_R:L_G:L_B=1:4,5907:0,061$** , которые называются **яркостными коэффициентами**.

Если в качестве красного цвета взять источник яркостью 1 кд/м, то яркости источников двух других основных цветов должны составлять:

$$L_G=4,5907 \text{ кд/м}^2 \text{ и } L_B = 0,061 \text{ кд/м}^2.$$

При смешении $(1/3)R$, $(1/3)G$ и $(1/3)B$ получится белый цвет (E) яркостью **$LE = 1+4,5907 + 0,061 = 5,6517$ кд/м²**.

Колориметрические системы

Одной из первых и простой колориметрической системой, является система RGB, которая использует реально

существующие цвета. Для удобства графического представления цвета используется равносторонний **цветовой треугольник с координатами RGB**. (рис.2.5, а). С помощью этого треугольника можно наглядно представить себе количественные и качественные соотношения колориметрии и по нему удобно изучать законы смешения цветов. При перемещении по сторонам треугольника будут меняться цвета, в центре будет находиться точка белого цвета, и при перемещении от сторон к центру будет меняться насыщенность, т.е. разбавление цвета белым. Любой цвет в системе описывается $f'F = r'R + g'G + b'B$. Причем нормируют не абсолютные значения единичных цветов, а их соотношение. Его выбирают таким, чтобы при сложении в численно равных количествах получилось ощущение равноэнергетического белого цвета (рис.2.5,б). Где величины $r(\lambda)$, $g(\lambda)$, $b(\lambda)$ представляют собой цветовые свойства среднего наблюдателя, фиксирующего достижения цветового равенства - удельных цветовых коэффициентов или удельных координат от длины волны (кривые смешения), которые были стандартизированы в 1931 г. Международным комитетом по освещенности (МКО) на основе экспериментальных результатов, полученных Райтом и Гилдом.

Внутри этого треугольника лежат все цвета, которые могут быть правильно воспроизведены смешением этих основных. При этом предполагается, что в точках R, G и B источники цвета имеют 100% насыщенность, но реальные источники такой насыщенности не имеют. Поскольку увеличение насыщенности происходит по мере продвижения по прямой, например к точке R, по прямой CR, а точка R еще не имеет 100% насыщенности, то такая насыщенность достигается где-то в точке R1, лежащей от точки C далее, чем точка R. Точка R1 соответствует источнику монохромного (одноцветного) цвета.

Соединив все монохроматические точки R1, O1, G1... сплошной линией, получают так называемый **локус** (место) (рис.2.5,в), на котором расположены все цвета со 100% насыщенностью.

Отрицательные участки кривых на рисунке.2.5,б показывают, что в цветовом уравнении величины коэффициентов имеют отрицательное значение, т.е. не все цвета могут быть получены смешением основных реальных цветов системы.

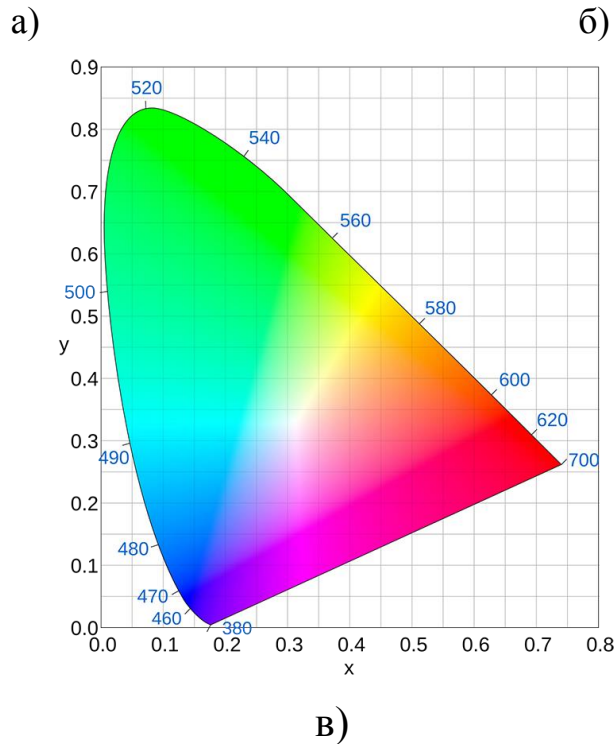
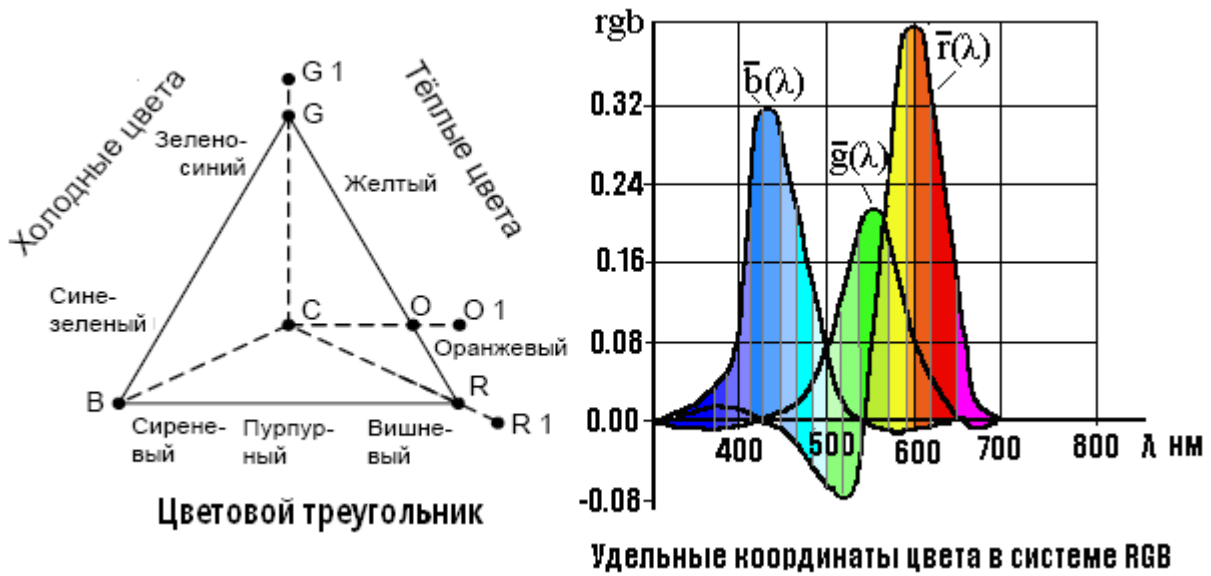


Рис.2.5. Колориметрическая система RGB

Колориметрическая система RGB (рис.2.5.) удобна для проведения экспериментальных исследований, т.к. ее основные

цвета являются реально существующими, показанные внутри локуса (рис.2.5,в), где в координатах 0,33; 0,33 находится точка белого цвета. Однако наличие отрицательных участков раньше затрудняли создание измерительных приборов – колориметров. Кроме того, для определения яркости цвета необходимо знать величины всех трех основных потоков.

В целях упрощения цветовых расчетов Международный комитет по освещению (МКО) в 1931г. принял другую колориметрическую систему XYZ, которая в цветовом треугольнике использует коэффициентов условных (нереальных) цветов, но при суммировании которых получаются реальные цвета.

2.5. Методы смешения цветов

В ТВ используют локальное, пространственное и бинокулярное смешение цветов.

Локальное может быть **одновременным (оптическим)**, когда на одну поверхность (рис.2.6) проецируется два или несколько излучений, вызывающих каждый в отдельности ощущение разных цветов, и **последовательным**, когда излучения воздействуют на глаз одно за другим. При быстрой смене излучений в зрительном аппарате возникает ощущение единого результирующего цвета.

При **пространственном** смешении участки, окрашиваемые опорными цветами, имеют достаточно малые размеры, и глаз воспринимает их как единое целое – мелкие штрихи, мозаика и т.д. Чаще всего такой метод используется для воспроизведения цветного изображения на ТВ экране.

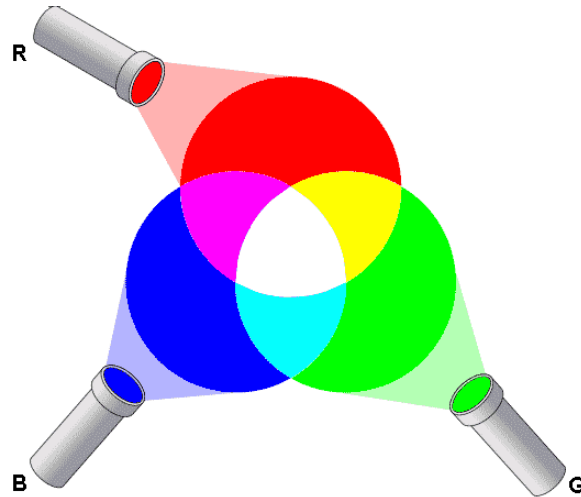


Рис.2.6. Принцип локального смешения цветов

Бинокулярное смешение – смешение двух или нескольких цветов путем раздельного раздражения левого и правого глаза разными цветами, в результате чего возникает ощущение нового цвета. Для получения цветного ТВ изображения датчики ТВ сигналов должны не только осуществлять поэлементный анализ, но и спектральное разделение воздействующего излучения на три составные части, аналогично нашему зрительному аппарату. На приемном конце требуется обратное действие.

Установлено 3 закона смешения цветов:

1. Для всякого цвета имеется другой цвет, от смешения с которым может образоваться белый цвет. Такие 2 цвета называются **дополнительными**.
2. При смешении 2 различных цветов, лежащих по спектральной шкале цветов ближе друг к другу, чем цвета дополнительные, образуется новый цвет, по тону лежащий между смешиваемыми цветами
3. При смешивании 2 одинаковых цветов образуется смесь того же цвета.

В основном законе смешения говорится, что любые 4 цвета находятся в линейной зависимости, т.е. любой цвет может быть выражен через любые 3 взаимно независимых цвета: $f'F = r'R + g'G + b'B$. Здесь F, R, G, B – единицы излучения произвольного и трех основных цветов, а f' , r' , g' , b' – множители, указывающие

количество этих излучений, - **модули** этих цветов или **цветовые коэффициенты**.

2.6. Цветопередача в телевидении

При выборе параметров отдельных звеньев ТВ системы важно установить, к какому идеалу верности цветовоспроизведения следует стремиться. Существует три критерия верности:

1. **физический** – когда одинаковы спектральные составы и мощности излучений;
2. **физиологический** – когда зрительные ощущения от оригинала и репродукции идентичны;
3. **психологический** – когда изображение оценивается как высококачественное.

В ТВ стремиться к **физической точности** нет смысла, т.к. одинаковые ощущения цвета могут быть получены при воздействии излучения разного состава.

Физиологическую точность также получить невозможно, так как из-за выбора треугольника основных цветов мы не можем воспроизвести часть реальных цветов. Кроме того диапазон воспроизводимых яркостей не может быть столь велик, как яркости реально существующих объектов. Поэтому при разработке вещательных систем ЦТ имеют в виду, что ТВ изображение имеет меньшие размеры деталей, чем объекты, заключено в ограничивающую рамку, яркость фона обычно мала. При этих условиях надо учитывать адаптацию глаза и относительность наших зрительных ощущений, что позволяет не воспроизводить абсолютное значение яркостей, а сохранить лишь соотношения между яркостями отдельных элементов и их цветности. Необходимо отметить, что требование точного воспроизведения цветности выполнимо лишь для цветов, лежащих внутри треугольника основных цветов.

Колориметрические требования справедливы для однородно окрашенных полей, воспринимаемых углом зрения 2° . При переходе к меньшим углам зрения цветовые свойства глаза существенно меняются. Так при уменьшении размеров деталей до $10-25'$ их цвета воспринимаются как смесь оранжевого и голубого.

Основные цвета приемного устройства определяются спектральными характеристиками светоизлучающих элементов (люминофоров, жидкокристаллических и светодиодных матриц). Характеристики люминофоров, принятых в европейской и американской системах ЦТ, несколько различны. Так американский треугольник имеет большую гамму воспроизводимых цветов, но меньшую светоотдачу зеленого люминофора примерно в 3-3,5 раза, однако, оба они не воспроизводят всех цветов. Это касается главным образом оттенков зеленых и голубых цветов, но это обстоятельство не играет большой роли, т.к. на глаз это не очень заметно.

3. ТЕЛЕВИЗИОННОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ И ЕГО ПАРАМЕТРЫ

Так как телевидение является системой визуального наблюдения, то реконструкция изображений оптических объектов сцены в телевизоре должна соответствовать нашему восприятию реальных объектов. При этом основными качественными характеристиками зрительного образа являются:

- цветность и распределение яркости;
- геометрические формы и относительные размеры деталей;
- распределение предметов по глубине и их относительное движение.

Поэтому в телевидении выделяют следующие группы параметров телевизионных изображений, которые рассмотрим более подробно:

- **КООРДИНАТНЫЕ** - формат кадра, оптимальное расстояние наблюдения и число элементов разложения;
- **ВРЕМЕННЫЕ** - критическая частота пульсаций и частота кадров;
- **ЯРКОСТНЫЕ** - максимальная яркость, средняя яркость, яркость адаптации, контраст и число полутонов или градаций яркости.

3.1. Координатные параметры

(формат кадра, оптимальное расстояние наблюдения и число элементов разложения)

Формат кадра. Из-за того, что область ясного зрения человеческого глаза имеет эллиптическую форму с угловыми размерами 16° x 12° , то максимальное качество изображения будет достигнуто при проецировании его в эту область. Если угловые размеры области ясного зрения поделить на 4 то получится оптимальное соотношение сторон телевизионного

экрана равно $4/3$. что соответствует отношению ширины (b) экрана к высоте (h), (рис.3.1). Именно поэтому телевизионные экраны имеют прямоугольную форму.

Естественно обеспечить проекцию ТВ изображения на область ясного зрения можно только на определенном расстоянии глаза от экрана. Такое расстояние называют **оптимальным расстоянием наблюдения – $L_{опт}$** (рис.3.1).

Экспериментально установлено, что наилучшее восприятие изображение обеспечивается при **расстоянии до экрана = 4-5 высот экрана.**

$$L = (4-5)h,$$

где L – расстояние до экрана (м), h - высота экрана (м).

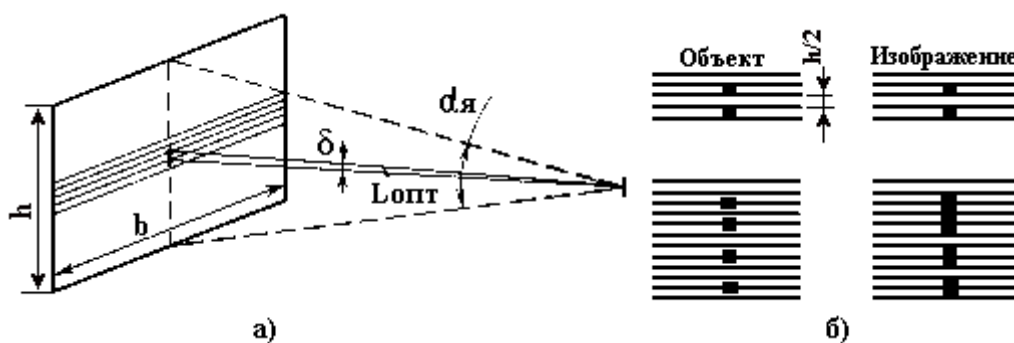


Рис.3.1. Определение числа строк (а) и вертикальной четкости изображения (б)

Выбор числа элементов разложения ТВ изображения (пикселей и числа строк разложения).

Следует отметить, что в современном телевидении под элементом изображения понимается **пиксель**. Где *pixel* — сокращение от английских слов **pictures element**, то есть это мельчайшая деталь изображения внутри которой ни цвет ни яркость не меняется, то есть невозможно сделать пиксель на половину белым, на половину черным.

Для определения необходимого числа элементов ТВ изображения необходимо определить число рецепторов в поле

ясного зрения исходя из того, что разрешающая способность глаза ≈ 1 угловой минуте:

$$N_{\text{я}} = (\alpha_{\text{г}}/\delta)(\alpha_{\text{в}}/\delta) = (16^0 \times 60'/1')(12^0 \times 60'/1') = 700\ 000$$

где $\alpha_{\text{г}}$ и $\alpha_{\text{в}}$ углы поля ясного зрения глаза в горизонтальной и вертикальной плоскости.

Число элементов разложения изображения может быть определено как произведение числа элементов по горизонтали на количество элементов по вертикали (строк разложения), или с учетом формата кадра

$$N = k z^2 = 4/3 z^2$$

где (z – число строк по вертикали, kz – число элементов в строке), и должно соответствовать числу элементарных участков поля ясного зрения. Так между элементами изображения **700 000** должны воспроизводиться еще промежутки, то число элементов по крайней мере удваивается $N \geq 2N_{\text{я}}$. Тогда число строк разложения должно быть:

$$Z \geq 2\sqrt{N_{\text{я}}/k} = 2\sqrt{700000 \cdot 3/4} \approx 1400$$

Однако из-за взаимного расположения деталей раstra и строк разложения (рис.3.1) число передаваемых элементов по вертикали различно, так как в зависимости от этого в вертикальном направлении будут воспроизводиться детали размером либо h/z , либо $2h/z$. Это делает неоднозначную оценку четкости изображения по вертикали. Поэтому для уверенного различения в ТВ изображении **700 000** деталей необходимо использовать еще большее строк разложения. В настоящее время только ТВ системы высокой четкости (ТВЧ) приближаются к этим требованиям, но для этого требуется значительное увеличение пропускной способности каналов связи. Поэтому в стандарте вещательного ТВ, разработанного в конце 40 годов у нас в стране было принято **625** строк разложения, из-за необходимости сокращения передаваемой полосы частот.

Число строк разложения 625 определяет **номинальную четкость ТВ** изображения при которой обеспечивается **95%** максимальной четкости изображения. При этом различимость строчной структуры на оптимальном расстоянии рассматривания оказывается вблизи порога разрешающей способности глаза.

Четкость ТВ изображения определяется максимально возможным числом мелких деталей, различимых в этом изображении. Она определяется в первую очередь разрешающей способностью устройств ТВ тракта. А она в свою очередь зависит от выбранного числа элементов (или строк) разложения, от качества работы передающих и приемных электроннолучевых трубок, от частотных и фазовых характеристик усилителей и др. Воспроизводимая на экране четкость определяется в первую очередь числом элементов разложения. В существующем стандарте она в идеале равна:

$$kz^2 = 4/3 \times 625^2 = 520832.$$

С учетом времени на обратный ход по строкам и кадрам \approx **400 тыс.** Но обычно для количественной характеристики четкости пользуются не количеством элементов разложения, а числом строк разложения, т.к. эти два параметра однозначно связаны. Естественно количество строк или элементов, необходимых для удовлетворительного воспроизведения изображения объекта зависит от характера объекта. Например, для передачи лица крупным планом требуется 120-150 строк, 2-3 человек в полный рост – 250-300, большого количества людей (хор, публика и т.д.) – 450-650.

3.2. Временные параметры (частота мельканий и число кадров)

Изображения, которые воспроизводятся на экране телевизора представляют собой поток отдельных статических изображений, называемых кадрами. Соответственно при выборе частоты смены кадров необходимо учитывать особенности

зрительной системы человека. Поэтому для выбора частоты кадров используется 2 критерия:

1. **Обеспечение незаметность кадровых мельканий.**
2. **Обеспечение передачи плавности движения.**

Дело в том, что зрительное восприятие обладает определенной инерционностью, то есть одиночный световой импульс будет замечен глазом в том случае, если его длительность превышает определенную величину $t_{кр}$. Причем эта величина зависит от освещенности сетчатки, то есть $E t_{кр} = const$, и меняется от сотых долей секунды, при больших освещенностях, до десятых. После прекращения действия светового потока глаз как бы продолжает «видеть» источник с яркостью, спадающей по экспоненциальному закону. Таким образом пульсирующий источник света при определенной частоте пульсаций, называемой **критической частотой мельканий** называется минимальная частота повторения световых импульсов, при которой наблюдатель воспринимает их как непрерывное излучение. Она зависит от средней яркости поля наблюдения, размеров мелькающего участка и т.д. **Для яркостей экранов современных телевизоров критическая частота мельканий составляет 46-48 Гц.** Таким образом, чтобы на экране телевизора не было заметно кадровых мерцаний, частота смены кадров должна быть не меньше 48 раз в секунду. При этом чтобы при биении частот кадровой развертки и мерцаний осветительных приборов не возникали стробоскопические мерцания, частота кадровой развертки принимается равной частоте питающей сети 50 Гц.

Согласно второго критерия выбора кадровой частоты, из практики кино установлено, что для получения плавного движения изображений движущихся объектов достаточно предавать **16-24** фазы их движения в секунду. Таким образом, в телевидении у нас принята частота смены кадров 50 Гц, которая перекрывает и критическую частоту мельканий (46-48), и критическое число фаз движения (16-24). Эта частота была выбрана с учетом ее равенства частоте промышленной сети с

целью уменьшения заметности характерных помех от электросети – динамических искажений геометрии (искривление вертикальных краев изображения) и яркости (крупные горизонтальные светлые и темные полосы).

Но при такой частоте кадров и числе строк разложения **625 (прогрессивная развертка)** - рис.3.2 (а), полоса частот ТВ сигнала получается **около 13 МГц**, что 40-е годы заняло бы половину коротковолнового диапазона, используемого тогда для ТВ вещания. Поэтому для уменьшения требуемой полосы частот канала в вещательном телевидении используют **чересстрочную развертку**, в которой ТВ кадр передается за **2 полукадра** или поля – четного и нечетного. В каждом поле передается **половина строк (312.5)**, как показано на рис.3.2(б). Причем, в первом полукадре происходит развертка нечетных строк, а во втором – четных.

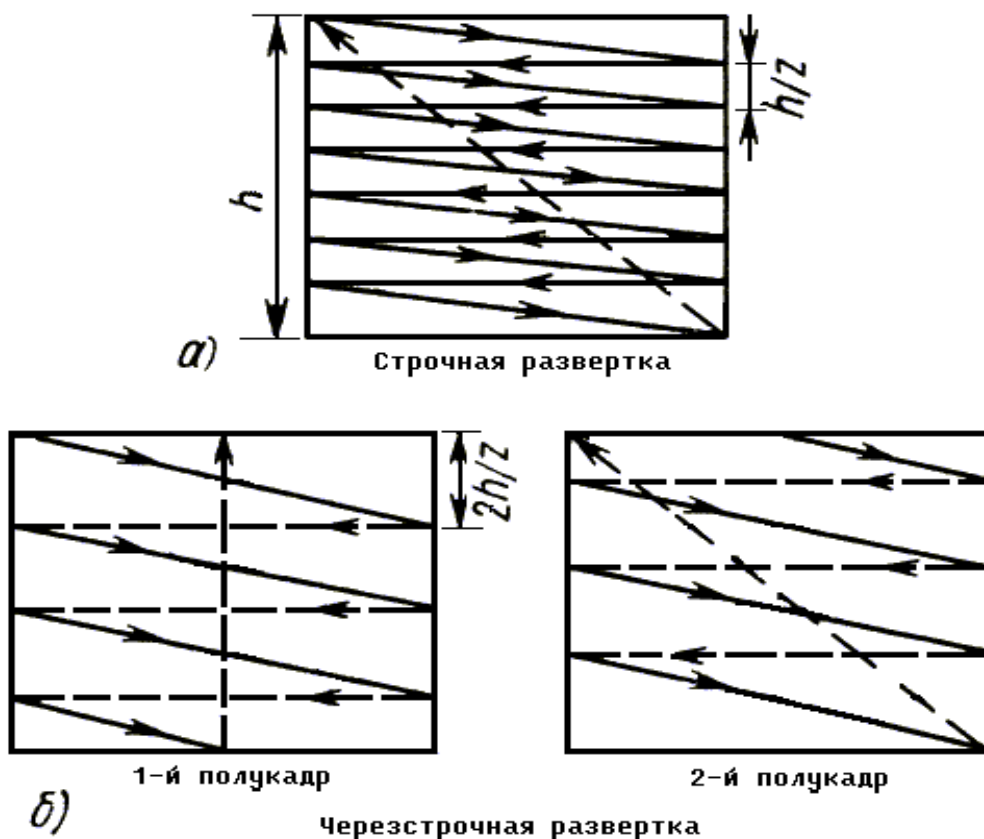


Рис.3.2. Принцип построчной (а) и через строчной развертки (б)

Таким образом, частота полей выбирается равной 50 Гц, а частота кадров равна 25 Гц. И хотя в каждом полукадре передается и отображается лишь 312,5 строк, но за счет инерционности зрения изображения двух полукадров воспринимается слитно как один кадр с 625 строками. При этом полоса частот канала снижается до 6.5МГц.

3.3. Яркостные параметры ТВ изображения

(максимальная яркость, средняя яркость, контраст и число градаций яркости)

Яркостные параметры связаны с эффективностью работы телевизионного экрана и отвечают за контраст изображения, яркость свечения и динамический диапазон – число передаваемых градаций, которые рассмотрим подробнее.

Контрастом называют отношение яркости самого яркого участка изображения к яркости самого темного (цвет выключенного экрана). Этот важный параметр характеризует диапазон изменения яркости. Хорошая контрастность делает изображение более естественным и увеличивает его разборчивость. Для примера, контрастность обычного ландшафта около 100, ландшафта в яркий солнечный день – 1000, внутри помещения при освещении – 20-60, мелкие детали на экране ТВ – 5-8, крупные – до 30-40. Однако, **глаз не способен обнаружить сколь угодно малые приращения яркости. Контрастная различительная способность** глаза так же дискретна, как и его разрешающая способность. Она ограничивается собственными шумами зрительной системы и квантовыми флуктуациями света. Минимальное значение яркости светового пятна, обнаруживаемое глазом на черном фоне называют **абсолютным порогом световой чувствительности**. На практике мы наблюдаем детали на каком-то фоне, яркость которого **Вф** также меняется. Экспериментально установлено, что минимальное различимое приращение яркости ΔL зависит от величины

начальной яркости – чем выше яркость фона, тем большее приращение может быть замечено. **Отношение $\Delta V/V_f$ называется дифференциальным порогом или пороговым контрастом.**

При заданном контрасте зритель может воспринять вполне определенное количество ступеней изменения яркости – полутонов, или градаций яркости. Экспериментально установлено, что при постоянном диаметре зрачка **человеческий глаз воспринимает в среднем от 80 до 130 градаций яркости.**

Дело в том, что в природе, яркость изменяется в очень больших пределах. Так слабо различимая человеческим глазом яркость составляет примерно $0,1 \text{ кд/м}^2$, а слепящая яркость, которую еще можно с трудом терпеть, например, нити накаливания – 10^7 . Таким образом **диапазон изменения яркости составляет 10^8 .** Однако, зрительная система неспособна воспринять весь этот диапазон и сужает его на сетчатке благодаря механизмам **адаптации** (приспособлению). Человек обладает механизмами **быстрой и медленной адаптации.** Быстрая адаптация производится за счет изменения диаметра зрачка, а медленная адаптация – за счет **выработки на поверхности сетчатки в глазу глазного пурпура – нейтрального поглощающего фильтра.** Эта способность зрения описывается хорошо экспериментально подтвержденным законом Вебера-Фехнера, согласно которому ощущение от изменения яркости пропорционально логарифму этого изменения. Т.е. при изменении яркости от 0.1 до 10^7 ощущение будет меняться лишь в 18 раз ($\ln 10^8 = 18,4$).

Все рассмотренные параметры относятся к основам телевидения, так как они одинаковы для черно-белого и цветного изображений. Но для характеристики цветных изображений существуют дополнительные параметры: **светлота, цветность, цветовой тон, насыщенность, чистота тона и т.д.**

4. ФОРМИРОВАНИЕ ТВ СИГНАЛА

Телевизионное изображение, получаемое за период кадра, состоит из совокупности сотен тысяч или *элементов* — пикселей, значения которых надо скоммутировать на канал передачи. Для этой цели используются процессы последовательного во времени преобразования цвета или яркости элементов изображения объектов в электрические сигналы (ТВ анализ изображения) и электрических сигналов в цвет или яркость элементов ТВ изображения (синтез ТВ изображения). Перемещение развертывающего элемента в процессе анализа и синтеза изображения по определенному периодическому закону называется *разверткой* изображения. Развертывающий элемент может быть реализован в виде электронного луча (электронная развертка), светового (лазерного) луча, светочувствительного элемента в твердотельном датчике видеосигнала и т.д. Независимо от разновидности развертки ее осуществляется специальными генераторами строчной и кадровой развертки, устанавливаемые, как в передающей камере, так и в телевизоре. Причем, для привязки координат пикселей передаваемого и отображаемого на экране телевизора необходимо, чтобы соответствующие генераторы разверток передающей и приемной стороны работали синхронно и синфазно. Для этой цели на передающей стороне используется специальный синхрогенератор. Данное устройство формирует специальные сигналы, которые синхронизируют работу развертывающих устройств передающих камер и вводятся в ТВ сигнал для синхронизации генераторов развертки телевизоров. Таким образом, телевизионный сигнал имеет сложную структуру с временным разделением сигналов, содержащую сигнал изображения (видеосигнал) и сигналы управления. При этом видеосигнал с сигналами управления называют **полным телевизионным сигналом**.

Поскольку в мире телевизионное оборудование производится большим количеством производителей, то для обеспечения нормальной работы телевизоров в различных

регионах и странах, параметры полного ТВ сигнала стандартизированы в пределах используемой телевизионной системы. Поэтому рассмотрим основные параметры телевизионного сигнала, используемых в аналоговом телевидении Узбекистана и большинства стран мира.

4.1. Форма и состав ТВ сигнала

Вид осциллограммы полного телевизионного сигнала (ПТВС) во много зависит от сюжета изображения, поскольку входящий в ее видео сигнал является функцией передаваемых точек яркости. Но в общем случае осциллограмма может иметь вид представленный на рисунке 4.1. В состав ПТВС черно-белого телевидения входят следующие компоненты:

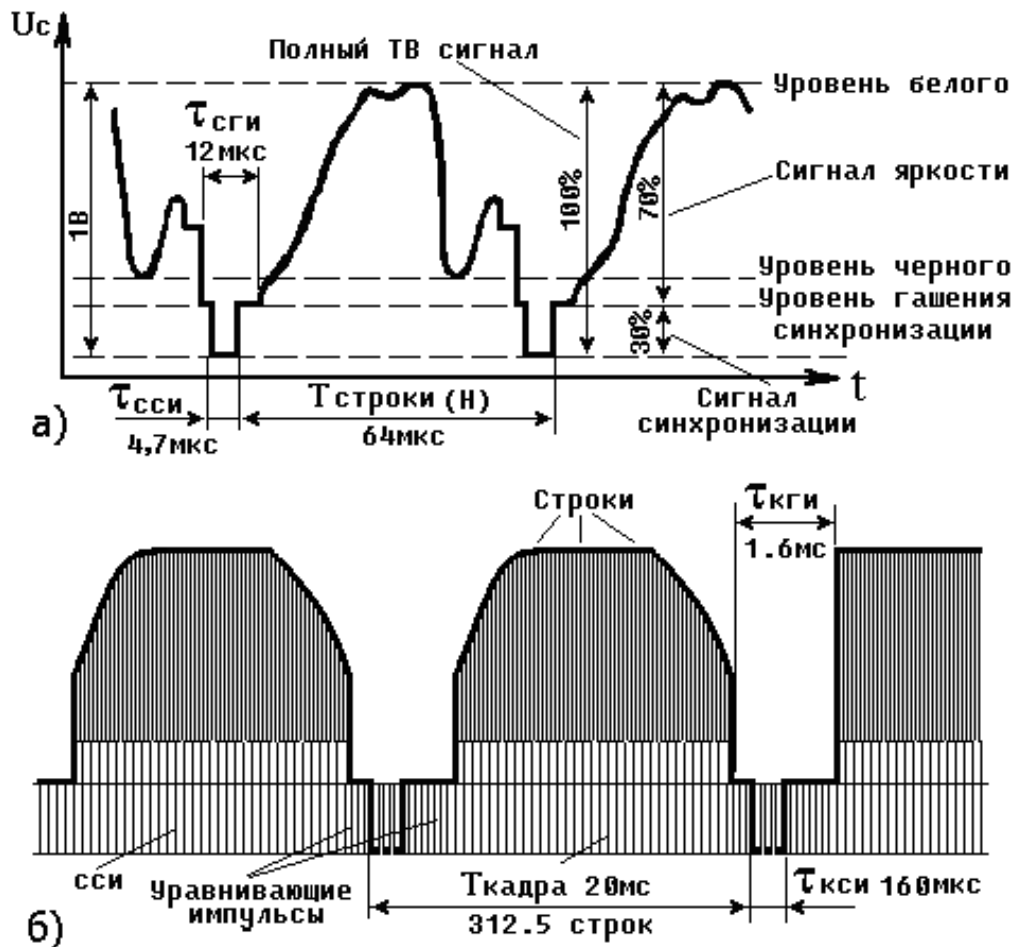


Рис.4.1. Форма ТВ сигнала за период строки (а) и кадра (б)

1. Видео (яркостной) сигнал;
2. Строчные и кадровые гасящие импульсы (СГИ и КГИ).
3. Строчные и кадровые синхронизирующие импульсы (ССИ и КСИ).
4. Врезки в КСИ двойной строчной частоты.
5. Уравнивающие импульсы.
6. Постоянная (яркостная) составляющая.

При этом величина видеосигнала, получаемого на выходе фотоэлектрического преобразователя, является функцией времени и пропорциональна яркости передаваемых элементов изображения, например, для черно-белого изображения показанного на рисунке 4.2, **высокий уровень сигнала соответствует белому цвету соответствует, низкий уровень - черному цвету, а промежуточные уровни сигнала - градациям серого.**

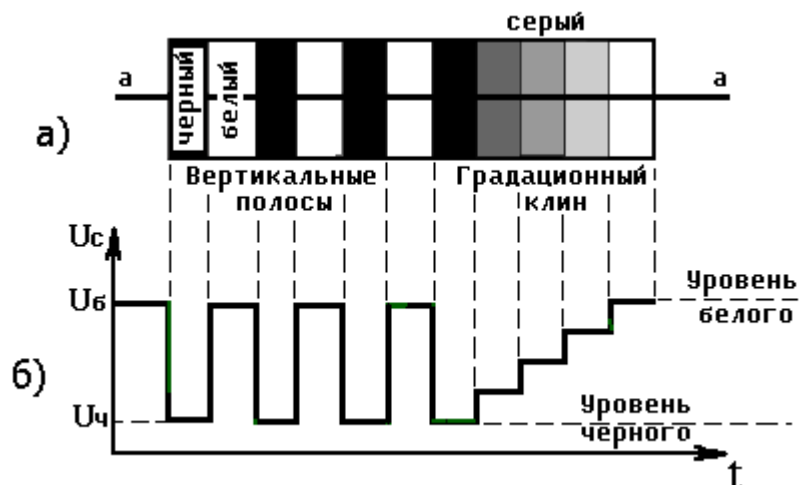


Рис.4.2. Формирование видеосигнала

а) передаваемое изображение, б) сигнал при развертки строки а-а

Рассмотрим назначение основных компонентов ПТВС черно-белого телевидения.

1. **Видео сигнал** несет информацию о яркостях передаваемых точек изображения – это то, что мы видим на экране телевизора.
2. **Строчные к кадровые гасящие импульсы (СГИ и КГИ)** предназначены для гашения лучей передающих трубок и

кинескопа на время обратного хода разверток по строкам и кадрам соответственно. Это необходимо для того, чтобы светлые линии обратного хода не создавали помех на изображении в виде ряби от горизонтальных линий строчной развертки и наклонных линий по экрану от кадровой. **Гасящие импульсы передаются в конце каждой строки и полукадра на уровне близким к уровню черного (рис.4.1).**

- 3. Строчные и кадровые синхронизирующие импульсы (ССИ и КСИ) предназначены для обеспечения синхронной (одновременной) работы развертывающих устройств на передающей и приемной стороне. Этим достигается привязка начала координат разверток по горизонтали и вертикали телевизора и передающего оборудования. Это очень важные составляющие ПТВС, поскольку отсутствие КСИ приведет к срыву кадровой синхронизации, где изображение будет бежать вверх или вниз, а отсутствие ССИ к срыву строчной синхронизации, где изображение будет бежать влево или вправо.**
- 4. Врезки в КСИ** обеспечивают нормальную работу строчной синхронизации во время действия КСИ. **Отсутствие врезок приведет к искажению изображения в верхней части экрана за счет срыва строчной синхронизации во время действия КСИ,** так как при одинаковом размахе синхроимпульсов во время действия КСИ ССИ передаваться не будут.
- 5. Уравнивающие импульсы предотвращают слипание строк четного и нечетного полукадра.** Дело в том, что при через строчной развертке в каждом поле разворачивается 312,5 (целое число + половина) строк. Причем, если нечетный полукадр начинается с начала строки, то четный полукадр со второй половины верхней строки (рис.4.2). При этом меняется интервал между соседними строчными и кадровыми синхроимпульсами. Кроме того, в КСИ нечетного полукадра находится 3 врезки, а в КСИ четного полукадра – 2. Поэтому **для выравнивания импульсной картины в четном и нечетном полукадрах применяют врезки двойной**

строчной частоты, а также вводят специальные уравнивающие импульсы двойной строчной частоты по 5 штук до и после КСИ, как показано на рис.4.3. При этом генератор строчной развертки синхронизируется каждым вторым уравнивающим импульсом или импульсом врезки и поэтому стык между полукадрами проходит гладко.

6. **Постоянная или средняя (яркостная) составляющая** видеосигнала возникает из-за того, что видеосигнал по своей природе не гармонический, импульсный и однополярный (не симметричный). Поэтому такой сигнал содержит постоянную составляющую, величина которой зависит от передаваемого сюжета изображения и может меняться с частотой 2-5 Гц при за счет изменения ракурса съемки.

В телевидении стандартный уровень ПТВС составляет 1 Вольт на нагрузке 75 Ом. При этом, если принять размах всего ПТВС за 100 %, то сигнал изображения (видеосигнал) от уровня белого до уровня черного занимает 70 %, а сигнал синхронизации располагается ниже уровня черного на 30%, т.е. его уровень - чернее черного. Это обеспечивает их надежное отделение от сигналов изображения в приемнике.

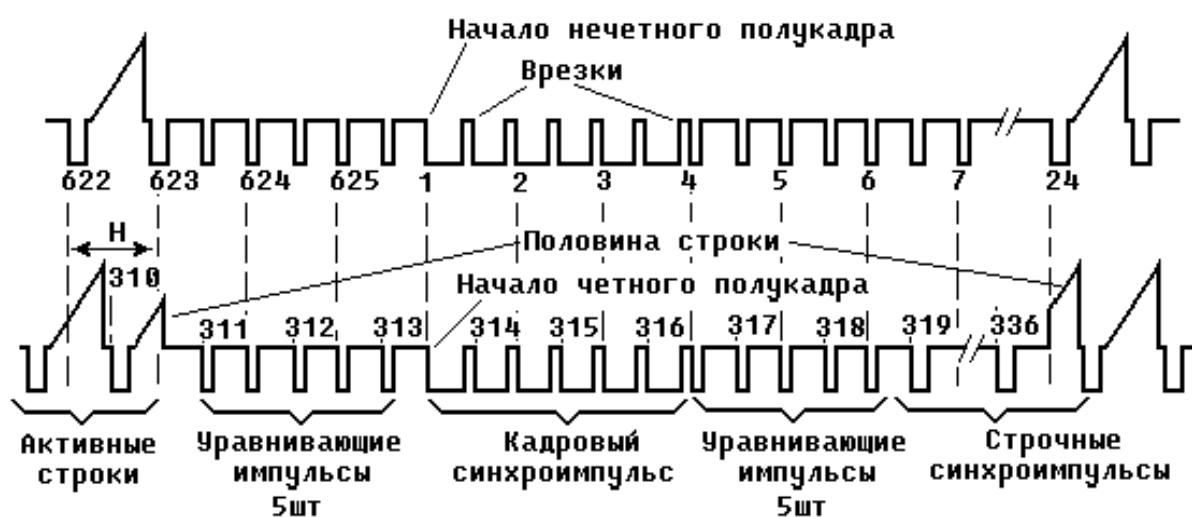


Рис.4.3. Форма ПТВС при через строчной развертке

Таким образом, анализируя видеосигнал, можно сделать следующие выводы:

- он не является гармоническим колебанием, а имеет импульсный характер: в нем могут быть резкие перепады яркостей – границы, и участки одинаковой яркости – плоские вершины импульсов;
- исходный сигнал по своей природе униполярен (имеет одну полярность) и содержит постоянную составляющую;
- его можно представить как периодическую функцию с частотами повторения f_c и f_k .

4.2. Спектр ТВ сигнала

Спектр частот видеосигнала, это совокупность всех значений частот, которые могут присутствовать в видеосигнале. При этом низкие частоты передают крупные видеообъекты в вертикальной плоскости, а высокие частоты отвечают за передачу мелких деталей изображения. В этом случае максимальное значение частоты спектра будет соответствовать передаче одиночных пикселей. Поэтому для определения нижней граничной частоты видеосигнала воспользуемся изображением с черно-белыми симметричными полосами (рис.4.4).

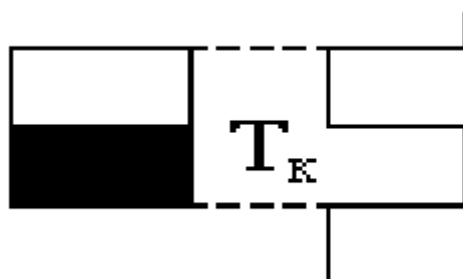


Рис.4.4. Изображение горизонтальных черно-белых полос

Для такого изображения нижняя граница спектра видеосигнала определяется частотой полукадров при чересстрочной развертке, так как невозможно придумать

изображение, для сигнала которого частота была бы ниже. Таким образом нижней частотой спектра ТВ сигнала является 50 Гц.

Кроме того, как было указано выше, телевизионный сигнал содержит постоянную составляющую, которая может изменяться в интервале частот 0-5 Г

Сложнее определить верхнюю границу. Высокие частоты определяют тонкую передачу мелких деталей изображения. Для определения верхней частоты спектра можно определить число пар черных и белых элементов, которое может быть передано и воспроизведено ТВ системой. Поскольку в телевидение стандартом не оговаривается число пикселей в строке, то оно пересчитывается через формат кадра. Это число пикселей в строке равно $kz/2$, где $k = 4/3$ (**формат кадра**). Таким образом Число пар в кадре – $(kz/2)z$, а число пар элементов, передаваемых за секунду $= nkz^2/2$, где n – число кадров в секунду. В результате верхняя частота спектра видеосигнала при прогрессивной развертке (**$n=50$ кадров в секунду**):

$$F_{\max} = kz^2 n / 2 = \frac{4 \times 625^2 \times 50}{3 \times 2} \approx 13 \text{ МГц}$$

При использовании чересстрочной развертки частота кадров снижается в 2 раза (**25 Гц**), соответственно верхняя частота телевизионного сигнала уменьшается до **6,5 МГц**.

На практике, учитывая конечность размеров электронного луча и снижение вертикальной четкости за счет строчной структуры изображения, можно еще снизить верхнюю границу без заметного ущерба качеству изображения. В формулу вводится коэффициент **0,75-0,85**, а частота уменьшается до **5-6 МГц**.

Кроме того, одной из особенностей спектра ТВ сигнала является его дискретно линейчатый спектр состоящий из гармоник строчной частоты, вокруг которых группируются достаточно узкие полосы сигналов боковых частот (рис.4.5), обусловленных вертикальной разверткой и движением деталей изображения. Таким образом образуются дискретные зоны энергии, несущие информацию о передаваемом изображении, причем энергия этих зон уменьшается с ростом номера гармоники

строчной частоты, что используются для передачи сигналов цветного ТВ.



Рис.4.5. Примерный вид спектра ТВ сигнала

4.3. Основные параметры стандарта вещательного ТВ

У нас в стране, как и на всем пост советском пространстве, принят стандарт вещательного ТВ со следующими основными параметрами сигналов:

1. **Общее число строк в кадре – 625;**
2. **Число кадров в секунду – 25 при черес строчной развертке (рис.3.2-б);**
3. **Число полукадров в секунду – 50, по 312,5 строк в каждом полукадре;**
4. **Формат кадра 4/3;**
5. **Период строчной развертки – 64 мкс ($f_{стр} = 15625\text{Гц}$);**
6. **Длительность СГИ – 12 ± 03 мкс (время обратного хода по строке);**
7. **Длительность ССИ – $4,7 \pm 0,2$ мкс;**
8. **Период кадровой развертки – 20 мс ($f_k = 50\text{Гц}$);**
9. **Длительность КГИ – 1612 мкс (время обратного хода по кадру);**
10. **Длительность КСИ – обычно выбирается равной 160 мкс**

Более точная информация о параметрах синхронизирующих и гасящих импульсов полного ТВ сигнала представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1.

Параметры сигналов гашения и синхронизации

№ п/п	Наименование параметра	Значение параметра	Условное обозначение
1	Период строки	64 мкс	H
2	Длительность СГИ	$12 \pm 0,3$ мкс	a
3	Интервал между передним фронтом ССИ и задним фронтом СГИ	10,5 мкс	$b = a - c$
4	Интервал между передним фронтом СГИ и передним фронтом ССИ (передний уступ по строке)	$1,5 \pm 0,3$ мкс	c
5	Длительность ССИ	$4,7 \pm 0,2$ мкс	d
6	Длительность фронтов СГИ	$0,3 \pm 0,1$ мкс	e
7	Длительность фронтов ССИ	$0,2 \pm 0,1$ мкс	f
8	Длительность поля (полукадра)	20 мс	v
9	Интервал между передним фронтом КГИ и КСИ (передний уступ по кадру)	3 ± 2 мкс	g
10	Длительность КГИ	1612 мкс ($25H + a$)	J
11	Длительность фронтов КГИ	$0,3 \pm 0,1$ мкс	k
12	Длительность первой последовательности уравнивающих импульсов	2,5 H (160 мкс)	I
13	Длительность последовательности КСИ	2,5 H (160 мкс)	m
14	Длительность второй последовательности уравнивающих импульсов	2,5 H (160 мкс)	n
15	Длительность уравнивающего импульса	$2,35 \pm 0,1$ мкс	p
16	Длительность КСИ	2,5 H (160 мкс)	q
17	Длительность импульсов врезки в КСИ	$4,7 \pm 0,2$ мкс	r

5. ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Телевизионные фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) являются датчиками телевизионного сигнала, которые преобразуют световую энергию наблюдаемой сцены в электрический сигнал изображения. При этом яркость спроецированного на фоточувствительную поверхность оптического изображения является функцией не только времени, но и координат x, y в горизонтальном и вертикальном направлениях. Поэтому датчик ТВ сигнала должен обладать способностью преобразовывать значения яркостей отдельных элементов изображения в электрический заряд. Для последовательного считывания ТВ сигнала от отдельных пикселей в преобразователе одновременно с фотопроцессом осуществляется процесс развертки изображения. Закон развертки является одним из основных параметров ТВ сигнала, обеспечивающих возможность его преобразования в телевизионное изображение.

Датчики ТВ сигнала могут быть построены с использованием оптико-механических систем развертки, систем бегущего луча, в которых развертка осуществляется бегущим световым лучом, а также электронно-лучевых трубок и твердотельных фотоэлектрических преобразователей.

Оптико-механические системы используются в фототелеграфии и при передаче неподвижных изображений. Системы бегущего светового луча применяются в ТВ устройствах прикладного назначения, объекты передачи которых могут быть изолированы от внешнего источника света. В современной ТВ технике преобразование осуществляется с помощью передающих электронно-лучевых трубок (ЭЛТ) и твердотельных датчиков на приборах с зарядовой связью или на КМОП структурах.

5.1. Основные показатели ФЭП

Поскольку ФЭП являются главным звеном формирования видеосигнала, то качество изображения зависит во многом от таких параметров этих преобразователей, как **чувствительность, разрешающая способности, световая и спектральная характеристика, инерционность**. Рассмотрим эти параметры.

Чувствительность – это параметр показывающий минимальную освещенность светочувствительной поверхности (фотослоя) в **люксах**, при которой обеспечивается заданное соотношение **сигнал/шум**. Чем выше чувствительность датчика, тем меньшая требуется освещенность сцены и появляется возможность работы без специального осветительного оборудования.

Световая характеристика – это зависимость тока сигнала на выходе преобразователя от освещенности его фоточувствительной поверхности $i_c = f(E)$. То есть данный параметр позволяет судить об интервале освещенностей, в котором способен работать датчик.

Спектральная характеристика – это зависимость величины ТВ сигнала от длины волны падающего на датчик излучения равной интенсивности $i_c = f(\lambda)$.

Инерционность – это параметр, характеризующий запаздывание изменения ТВ сигнала на выходе преобразователя относительно изменения освещенности его фоточувствительной поверхности. Визуально инерционность проявляется на изображении в виде тянущегося следа и размывания границ движущихся объектов передачи. Оценивается инерционность значением остаточного сигнала в % относительно его максимального значения спустя кадр после прекращения экспозиции.

5.2. Типы и законы фотоэффекта

Работа фоточувствительных поверхностей основывается на использовании **внешнего или внутреннего фотоэффекта**. При **внешнем фотоэффекте** электроны под действие светового излучения покидают облученное вещество, вылетая в пространство. Данный фотоэффект, называемый **фотоэлектронной эмиссией**, наблюдается в электронно-вакуумных приборах. При **внутреннем фотоэффекте** фотоэлектроны остаются внутри твердого тела, изменяя его проводимость, – **фотопроводимость**. На **внутреннем фотоэффекте** работают **фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы и т.д.**

Для фотоэлектронной эмиссии установлены следующие законы внешнего фотоэффекта:

1. **Закон Столетова (основной закон фотоэффекта) – фототок фотоэлемента i_f пропорционален интенсивности светового потока вызывающего этот ток.**

$$i_f = S\Phi,$$

где, Φ – световой поток, лм; S – чувствительность фотокатода, мкА/лм.

2. **Без инерционность фотоэлектронной эмиссии – фототок следует за изменениями светового потока практически без запаздывания до частоты 100 МГц.**
3. **Закон Эйнштейна – максимальная энергия фотоэлектрона пропорциональна частоте падающего излучения и не зависит от его интенсивности. Она определяется энергией кванта света.**

По принципу действия датчики на ЭЛТ подразделяются на **трубки мгновенного действия и с накоплением зарядов.**

5.3. Принцип мгновенного действия и накопления зарядов

Принцип мгновенного действия основан на том, что фотоэлектронная эмиссия с каждого элемента изображения используется только при подключении (коммутации) к нагрузке. Следовательно мгновенные значения тока сигнала изображения пропорциональны световому потоку падающему на 1 элемент изображения в течение времени коммутации этого элемента. При этом напряжение сигнала на нагрузке R_H при замыкании ключа K на время коммутации этого элемента определяется протекающим током фото эмиссии, как показано на рис.5.1.

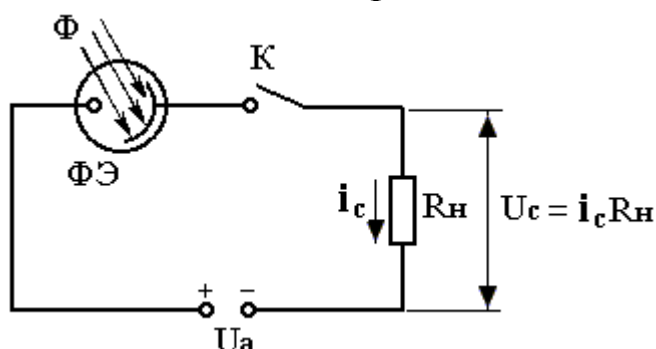


Рис.5.1. Образование сигнала в системе мгновенного действия

Основным недостатком принципа мгновенного действия является низкая световая чувствительность датчиков. Это связано с тем, что в телевизионных матричных преобразователях размеры фоточувствительных пиксельных ячеек очень малы и не превышают 10-15 мкм. Соответственно генерируемый фототок такого пикселя и напряжение сигнала также будут очень малы. Поэтому для получения приемлемого соотношения сигнал/шум требуется сильное освещение мощными источниками света.

Принцип накопления зарядов. Основным недостатком систем мгновенного действия является их низкая чувствительность, поскольку у них в образовании сигнала участвуют лишь те фотоэлектроны, которые эмитируются с участка фотокатода, соответствующего одному элементу

изображения во время коммутации, хотя фотоэмиссия происходит со всей мишени постоянно.

Повысить эффективность работы фото преобразователей можно за счет использования **принципа накопления заряда**, заключающегося в том, что световая энергия, облучающая элемент в меж коммутационный период, **накапливается на специальном накопительном конденсаторе $C_э$** (рис.5.2.а).

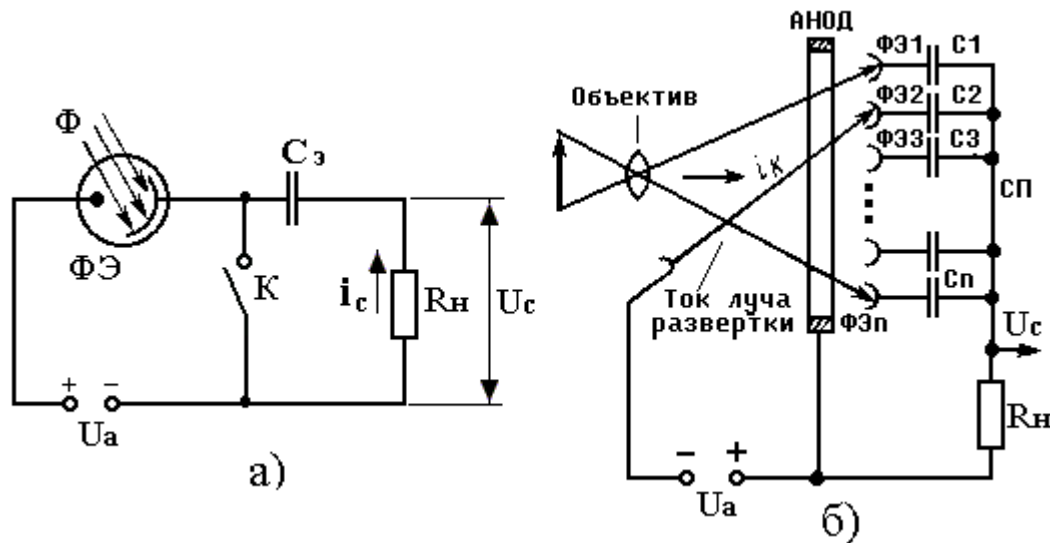


Рис.5.2. Принцип накопления световой энергии:
 а - эквивалентная схема; б – модуль ТВ системы с накоплением

Емкость $C_э$ за счет фотоэмиссии накапливает заряд в течении кадра (40 мс), а поскольку увеличение светового потока сопровождается увеличением фототока, то элементы имеющие разную освещенность получают различные заряды. Сигнал с элементарного конденсатора $C_э$ получается в результате его быстрого разряда коммутирующим лучом развертки за время $t_э$ на нагрузочный резистор $R_н$, причем, в идеале принцип накопления увеличивает напряжение сигнала в N раз, равное количеству элементов разложения, поскольку:

$$Q_{зар} = i_{ф} T_k; \quad i_{раз} = Q_{зар}/t_э = i_{ф} T_k / t_э = i_{ф} N; \quad u_{ср} = R_н i_{ф} N,$$

где, N -количество элементов разложения (пикселей). Однако, на практике реальный выигрыш получается меньше.

Рассмотренный процесс накопления зарядов реализован в ряде передающих трубок содержащих мозаичную фотомишень, эквивалентная схема которой представлена на рис.5.2,б. Она состоит из изолированных ячеек, каждая из которых содержит фотоэлемент и накопительный конденсатор. При проекции оптического изображения в цепях фотоэлементов (ФЭ) возникает ток, пропорциональный освещенности, поэтому конденсаторы заряжаются до различных значений, образуя потенциальный рельеф. Преобразование потенциального рельефа в сигнал изображения происходит путем последовательной коммутации, электронным лучом развертки, накопительных конденсаторов в цепь нагрузки. Токи разряда накопительных конденсаторов, протекая через резистор нагрузки, включенный в цепь сигнальной пластины (СП) создают на нем сигнал изображения.

На внешнем фотоэффекте основана работа таких передающих трубок как – **ДИССЕКТОР** (от лат. dissecō — **рассекатель**) и **СУПЕРОРТИКОН**, внешний вид которых представлен на рисунках 5.3 и 5.4 соответственно.

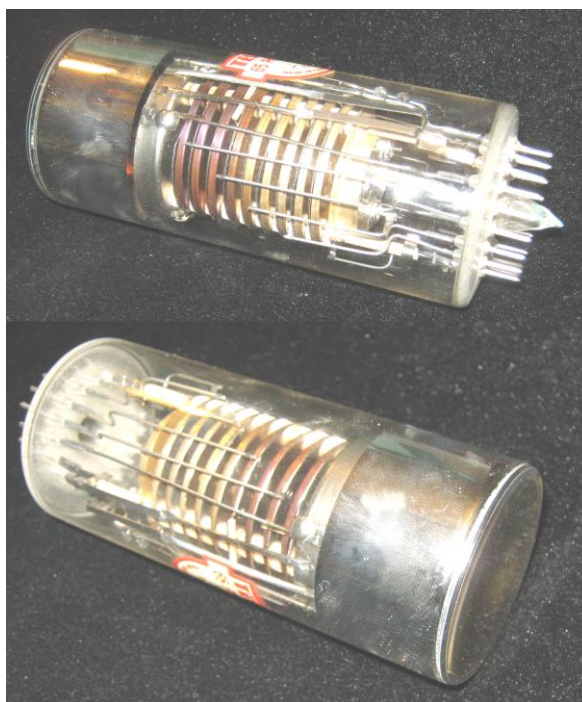


Рис.5.3. Внешний вид телевизионной трубки типа Диссектор



Рис.5.4. Внешний вид телевизионной трубки типа Суперортикон

Из передающих трубок мгновенного действия интерес представляет диссектор, разработанный американцем Фансфором в 2931 году. Оригинальность данного прибора заключается в том, что в нем развертка осуществляется отклонением фотоэлектронного потока имитируемого с фотокатода без использования электроннолучевой пушки. Отсутствие электроннолучевой пушки обеспечивает диссектору практически неограниченный ресурс работы. А низкая чувствительность метода в последующих разработках частично компенсировалась применением многокаскадного фотоумножителя.

Конструкция современного диссектора (рис.5.5) состоит из стеклянной колбы внутри которой имеется **полупрозрачный фотокатод (ФК), ускоряющий электрод (УСЭ), диафрагма с отверстием, диоды вторично-электронного умножителя (ВЭУ), коллектор,** а снаружи трубки располагаются **отклоняющие катушки (ОК) строчной и кадровой развертки и фокусирующая катушка, создающая вдоль трубки однородное магнитное поле.** В отличие от других передающих трубок в диссекторе отсутствует электронно-лучевая пушка

и поэтому развертка в нем осуществляется отклонением электронного изображения перед отверстием **диафрагмы**, которое является **развертывающей апертурой**. В диссекторе различают 3 секции:

- 1- оптико-электронного преобразования
- 2- переноса и отклонения электронного изображения
- 3- вторично-электронного умножителя.

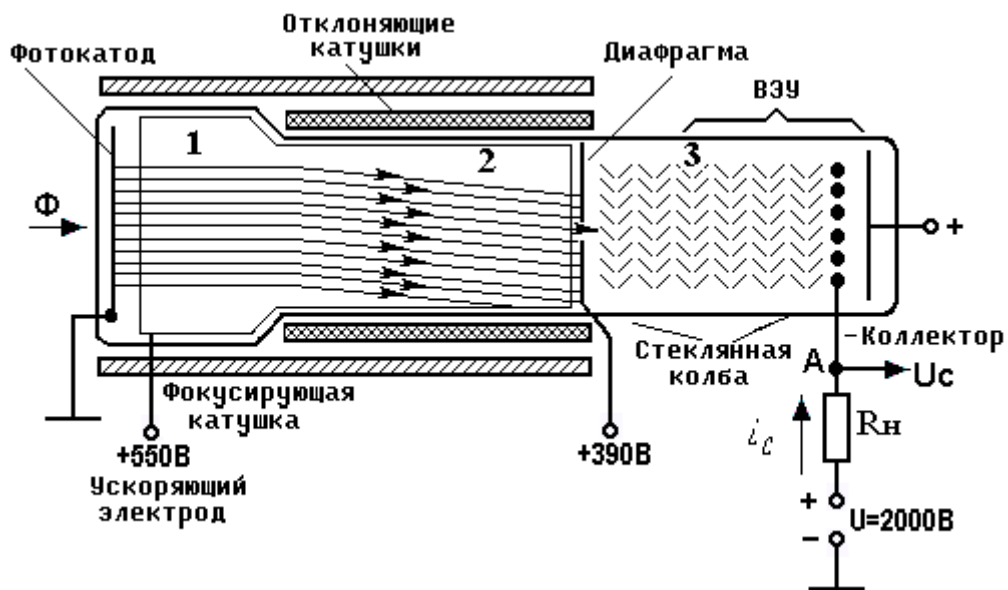


Рис.5.5. Схема устройства трубки типа ДИСЕКТОР

Световое изображение преобразуется в электронное на полупрозрачном светочувствительном слое **фотокатода**, нанесенном на внутреннюю поверхность планшайбы трубки. За счет падающего светового потока из поверхности фотокатода выбиваются фотоэлектроны. Причем, число фотоэлектронов зависит от яркости элементов изображения – чем ярче изображение, тем больше фотоэлектронов. Далее это электронное изображение переносится в плоскость диафрагмы с помощью ускоряющего напряжения, приложенного к **УСЭ** в магнитном поле **ФК**. В плоскости **диафрагмы** под действием отклоняющего поля **ОК** электронное изображение перемещается относительно **отверстия диафрагмы** по закону развертки. При этом

фотоэлектроны с различных участков **ФК** попадают через отверстие на первый **динод ВЭУ** в котором мгновенное значение фототока усиливается за счет размножения вторичных электронов. Питание на диноды подается таким образом, что потенциал каждого последующего динода выше предыдущего, таким образом выбитый электрон из 1 динода ускоряется полем 2 динода и выбивает из него уже 2 электрона и так далее.

Коэффициент усиления **ВЭУ** достигает **100000**, что позволяет поучить ток сигнала порядка **100 мкА** отрицательной полярности.

Диссекторы имеют линейную световую характеристику при освещенности фотокатода от десятых долей люкса до нескольких тысяч, обеспечивают хорошее воспроизведение градаций яркости и высокую разрешающую способность. Современные диссекторы обладают высокой механической прочностью, виброустойчивостью и могут работать в большом интервале температур. Кроме того, они после подачи питающих напряжений мгновенно готовы к работе, поэтому они активно используются в различных системах прикладного **ТВ**, обеспечивающих автоматизацию производственных процессов, слежение за слабосветящимися точечными объектами в телескопах и астронавигации, чтении микрофильмов, а также в телекинопроекционных установках и т.д.

5.4. Телевизионные ФЭП на ЭЛТ

Передающая телевизионная трубка — это общее название большого класса электронно-лучевых устройств, преобразующих изображение движущееся предметов в пространстве в телевизионный видеосигнал. Данные приборы являлись главной составной частью телевизионных передающих камер и видеокамер до появления полупроводниковых светочувствительных матриц.

Первые телевизионные передающие трубки (ТПТ), разработанные в 30-х годах прошлого века, использующие внешний фотоэффект, имели малую чувствительность и лучше всего работали при дневном солнечном освещении. К таким приборам относились трубки типа: **иконоскоп, супериконоскоп, суперортикон и суперизокон**. Основным недостатком данных приборов была низкая чувствительность, небольшой срок службы и сложность стабилизации параметров при изменении температуры и питающих напряжений. Потом были создан большой класс приборов на основе внутреннего фотоэффекта, позволяющего намного увеличить их чувствительность и надежно работать при освещении, создаваемом полной луной. Первый созданный прибор на внутреннем фотоэффекте с накоплением заряда был создан в 50-х годах прошлого века и получил название **Видикон** (англ. *Vidicon*, от лат. *Video* — вижу и др.-греч. εἰκόν — изображение). Позже на основе видикона был создан целый ряд приборов с различными фотомишенями — **плюмбикон, кремникон, суперкремникон, сатикон, супервидиконы, пировиликон** и т.д.

В настоящее время ТПТ в вещательном телевидении уже не используются, но продолжают находить применение в прикладном телевидении. Поэтому рассмотрим принцип построения и работы некоторых наиболее распространенных телевизионных передающих трубок.

Видикон

Видикон (англ. *Vidicon*, от лат. *Video* — вижу и др.-греч. εἰκόν — изображение) — телевизионный передающий электронно-лучевой прибор с накоплением заряда, действие которого основано на внутреннем фотоэффекте. Материалом мишени служат тонкие (около 5 мкм) слои полупроводниковых материалов: аморфный селен, трёхсернистая сурьма, окись свинца с добавкой сернистого свинца, а также германий и кремний. Это наиболее распространенный тип передающей телевизионной трубки в которой считывание зарядов

осуществляется пучком электронов, формируемым и отклоняемым магнитным и электростатическим полями. Идея такой трубки была предложена в 1925 советским инженером А. А. Чернышёвым, а первые отечественные эксплуатационные образцы появились в 1950 г.

Изображение в видиконе проецируется на плоскую мишень из полупроводникового материала, на котором накапливается потенциальный рельеф. Мишень сканируется электронным лучом, подключающим считываемый участок к нагрузке. Рельеф при этом разрушается и восстанавливается к моменту следующего прохода луча.

Видиконы создают сигнал изображения при минимальной освещённости мишени от десятых долей до десятков люкс, обеспечивая разрешающую способность от 400 до 10 000 линий. Чувствительность передающих телевизионных камер на видиконе ограничена шумами усилителя и растёт при их уменьшении. Если потери из-за такого ограничения велики (например, при сверхвысоком разрешении), то используются видиконы, в которых отражённый от мишени луч усиливается вторично-электронным умножителем.

Видикон отличается простотой конструкции, небольшими размерами и массой и является высоконадежной и дешевой передающей трубкой.

Конструкция **видикона** представлена на рис.5.6, где:

СП – сигнальная пластина (фотомишень);

ВС – выравнивающая сетка;

ФК – фокусирующие катушки;

ОК – отклоняющие катушки;

КК – корректирующие катушки;

А1 – первый анод;

А2 – второй анод

Ф - световой поток;

Uс – напряжение выходного сигнала.

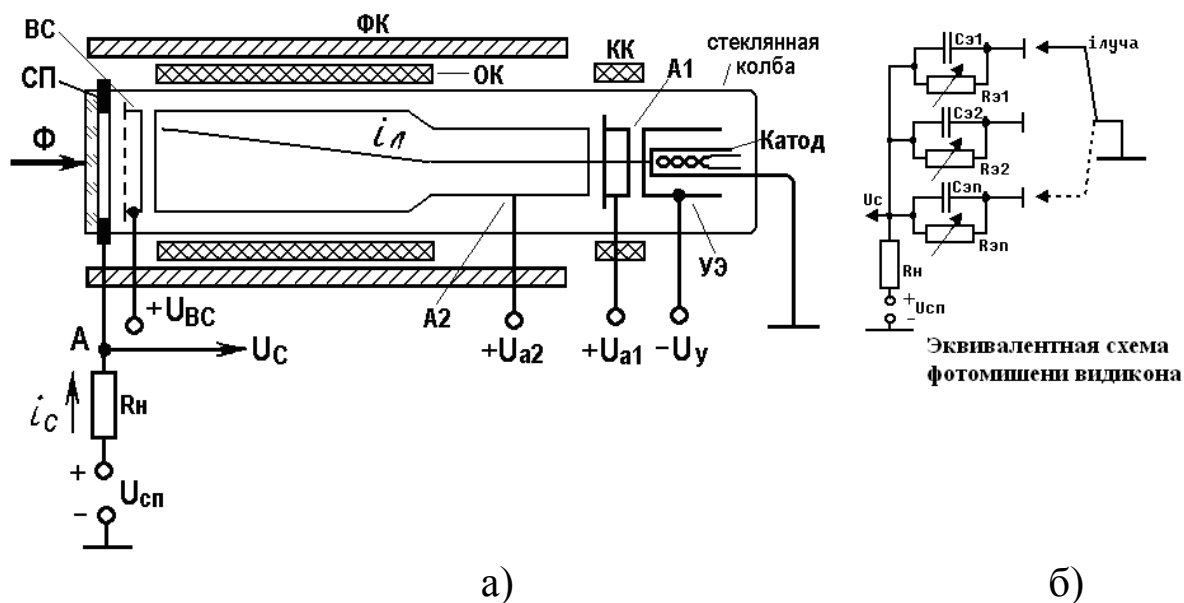


Рис.5.6. Схема устройства видикона (а) и эквивалентная схема фотомишени (б)

Трубки типа **видикон** содержат 2 основных узла: **фотомишень** и **электронную пушку**. **Фотомишень** состоит из **фотослоя** и **сигнальной пластины**, которая представляет собой проводящий слой **золота**, **платины** или **оксида олова**, нанесенную на внутреннюю поверхность планшайбы и имеющую прозрачность более 90% и поверхностное сопротивление $200\text{ Ом}\cdot\text{см}$. На СП нанесен фотослой толщиной 1...3 мкм из **соединения сурьмы, мышьяка, серы**. Материал, из которого изготовлена мишень и его толщина определяют чувствительность, спектральную характеристику и инерционность видикона. Электронно-оптическая система содержит электронную пушку и мелкоструктурную выравнивающую сетку (ВС) помещенную перед фотомишенью.

Пушка состоит из **подогреваемого катода**, **управляющего электрода (УЭ)**, **первого (А1)** и **второго (А2) анодов**. Второй анод создает эквипотенциальную область, в которой происходит фокусировка и отклонение развертывающего луча. Потенциал выравнивающей сетки в 1,5-2 раза превосходит напряжение второго анода, что обеспечивает подход электронов ко всей поверхности фотомишени под прямым углом. Это обеспечивает равномерную фокусировку луча, и одинаковый исходный

потенциал на всей поверхности мишени, что является одним из условий получения равномерного сигнала по всему полю изображения.

Фокусировка, отклонение и коррекция траектории электронного луча осуществляется **внешней магнитной системой**, состоящей из **длинной фокусирующей катушки (ФК), отклоняющих (ОК) и корректирующих (КК) катушек.**

На рис.5.6,б представлена эквивалентная схема фотомишени видикона, которая поясняет процесс образования видеосигнала. На этой схеме каждый элемент фотомишени представлен емкостью конденсатора $C_э$, образованного элементами сигнальной пластины и правой стороны мишени, который зашунтирован резистором $R_э$, изменяющий свое сопротивление в зависимости от интенсивности освещенности этого участка. При отсутствии освещения фотослой имеет высокое – «темновое» сопротивление. При освещении мишени за счет поглощения энергии излучения внутри фотослоя возникают носители тока. При проекции изображения на мишень, сопротивления $R_э$ оказываются различными и соответственно возникает рельеф сопротивлений. При коммутации пучком медленных электронов потенциал правой стороны мишени устанавливается равным потенциалу катода = 0 (заземлен). Тогда под действием тока луча емкости заряжаются до потенциала сигнальной пластины. Между двумя коммутациями (период кадра) происходит разряд емкостей через элементарные сопротивления, а так как эти сопротивления разные (чем выше освещенность, тем меньше сопротивление), ток разряда будет тоже изменяться (меньше сопротивление – больше ток), и за это время оставшийся заряд на емкостях будет разный (большой ток – сильнее разрядится емкость – меньше потенциал останется). Таким образом, рельеф сопротивлений преобразуется в потенциальный рельеф. Сигнал изображения образуется при последовательном прохождении участков мишени электронным лучом, выравнивающим рельеф, при этом на неосвещенных участках ток будет почти равен 0, т.к. здесь сопротивление было большим, значит, разряда почти не произошло, и от луча

электроны отбираться не будут. А на ярких участках, где произошел почти полный разряд, луч потеряет большое количество электронов, т.е. ток заряда будет большим.

Характеристики видикона

Спектральная характеристика видикона определяется свойствами фотомишени (соединения сурьмы, селена, мышьяка, серы) и могут быть чувствительны к **инфракрасному, видимому, ультрафиолетовому, рентгеновскому излучениям.**

Световая характеристика определяется зависимостью фотопроводимости мишени от освещенности и от заряда конденсатора, т.е. от напряжения на сигнальной пластине. Характеристика **нелинейна**, причем нелинейность изменяется при различных напряжениях на сигнальной пластине ($\gamma = 0,6 - 0,8$). Она мало зависит от характера распределения освещенностей, что позволяет обеспечить высокий контраст.

Во время обратного хода луч запирается, т.е. ток полностью отсутствует. Для правильной передачи информации об уровне черного необходимо, чтобы на темных участках изображения тока тоже не было, т.е. не было бы разряда совсем. Но поскольку темновое сопротивление не равно бесконечности $R_s \neq \infty$, то небольшой разряд накопительных конденсаторов все же будет происходить, и на темных участках протекает «темновой» ток, который отличается от тока во время гасящих импульсов. Причем этот ток зависит от напряжения на сигнальной пластине и может быть неравномерен по площади мишени. Поэтому при выборе режима работы трубки стремятся к получению минимального «темнового» тока, что увеличивает равномерность сигнала.

Полярность сигнала видикона отрицательная.

Разрешающая способность характеризуется апертурной характеристикой: структурой, размерами и конечным значением поверхностной проводимости фотомишени и сечением коммутирующего луча. Так при размере рабочего участка мишени **9.5x12.5 мм** диаметр сечения луча не должен превышать 15 мкм при токе луча 0.5 мкА, поэтому первоначально были созданы трубки с диаметром мишени до 40 мм, которые

обеспечивают вполне приемлемый сигнал при 600 строках. **Высокое качество изображения обеспечивается при освещенности мишени в пределах 1-10 лк, что соответствует высокой и средней чувствительности.**

Достоинства видикона:

- простота конструкции и малые размеры;
- относится высокая чувствительность;
- способность к передаче информации о постоянной составляющей;
- отсутствие искажений сигнала изображения, связанных с эффектом перераспределения электронов;
- низкая стоимость при высокой надежности трубки.

Недостатком видикона является его инерционность, которая проявляется в виде тянущегося следа за движущимися объектами. При этом различают 2 составляющих инерционности:

1. **фотоэлектрическая**, которая обусловлена физическими процессами в фотомишени и зависит от материала, количества примеси, технологии изготовления и уровня освещенности;
2. **коммутационная** инерционность возникает из-за недостаточного значения тока электронного луча развертки, в результате чего тока луча не хватает для полного стирания потенциального рельефа на мишени за время кадра и соответственно возникает остаточное изображение, которое накладывается на изображение нового кадра.

Для уменьшения коммутационной инерционности можно увеличить ток луча, однако, поскольку электроны – это заряженные частицы, то при увеличении их плотности в луче сила отталкивания увеличивается и сечение луча увеличивается. Соответственно луч захватывает несколько соседних пикселей и четкость изображения ухудшается. Поэтому уменьшить инерционность можно только за счет уменьшения емкости накопительных конденсаторов.

Промышленностью выпускались видиконы с диаметрами колб 13.3, 26.7, 30.4, 38.4 мм (типа ЛИ-415, ЛИ-418, ЛИ-421, ЛИ-426), которые широко использовались в различных прикладных телевизионных установках и кинопроекторных установках.

Внешний вид трубок типа **ВИДИКОН ЛИ-441** представлен на рис.5.7.



Рис.5.7. Внешний вид трубок типа ВИДИКОН ЛИ-441

Следует отметить, что мишени видикона, отличающиеся большим разнообразием по конструкции (одни состоят из двух или трёх слоев, другие имеют мозаичную структуру или включают гладкие и пористые прослойки), делятся на фоторезистивные и фотодиодные. В фоторезистивных мишенях процесс разряда определяется объёмными свойствами фотопроводящего слоя и фотоэффект в них характеризуется значительной инерционностью.

Типичный материал фоторезистивных мишеней — трёхсернистая сурьма, но также используются и аморфный Se и некоторые другие.

В фотодиодных мишенях разряд определяется свойствами р-п перехода, которые обеспечивают полное разделение световых носителей и в связи с этим уменьшается инерционность и увеличивается линейность световой характеристики и предельная чувствительность прибора. В качестве материала таких мишеней обычно служат PbO, Si, CdSe и др.

В зависимости от типа используемой мишени видиконы делятся на **кремниконы, плюмбиконы, кадмиконы, сатиконы, нью-викконы, халниконы, эндиконы** и др.

Для цветного телевидения созданы видиконы, генерирующие два или три видеосигнала.

По способу формирования развертки видиконы могут быть разделены на две основные группы:

- с магнитным отклонением считывающего луча
- с электрическим отклонением считывающего луча

В телевизионных камерах, как правило, используются видиконы с магнитным отклонением. А видиконы с электростатической системой развертки весьма перспективны для систем технического зрения промышленных роботов, так как позволяют увеличить скорость развертки и реализовать нестандартные ее виды, в том числе радиальную, спиральную. Кроме того, при их использовании более простыми средствами достигается высокая линейность отклонения луча, размер раstra не зависит от частоты отклоняющих сигналов и отсутствует поворот изображения при изменении напряжения на фокусирующем электроде.

В настоящее время близкими по разрешению к видиконам и другим передающим телевизионным трубкам являются матрицы на ПЗС.

Плюмбикон

Плюмбикон – название трубки с фотодиодной мишенью из окиси свинца фирмы «Филипс», (Нидерланды). **Российский**

аналог называется - **глетикон**

Широкому использованию **видикона** в вещательном ТВ препятствует его инерционность, которая складывается из коммутационной и фотоэлектрической составляющих. Для уменьшения фотоэлектрической инерционности необходимо использовать материал с низкой концентрацией ловушек обеспечивающий прохождение носителей тока без рекомбинации, а для уменьшения коммутационной инерционности, необходимо уменьшить емкость элементарного конденсатора мишени за счет изменения его геометрии что приводит к уменьшению времени дозаряда этого конденсатора. Однако, при этом падает постоянная времени разряда $C\tau$, что приводит к неполному использованию эффекта накопления. Устранение этого недостатка возможно при замене **фоторезистивной мишени** на мишень **фотодиодного типа с p-i-n переходом** включенным в обратном направлении. Это обеспечивает малую инерционность фотоэффекта, высокое темновое сопротивление и близкую к линейной световую характеристику.

Конструкция и принцип работы плюмбикона аналогичен **видикону** (рис.5.8). А отличие заключается только в структуре фотомишени, которая представлена на рис.5.9.

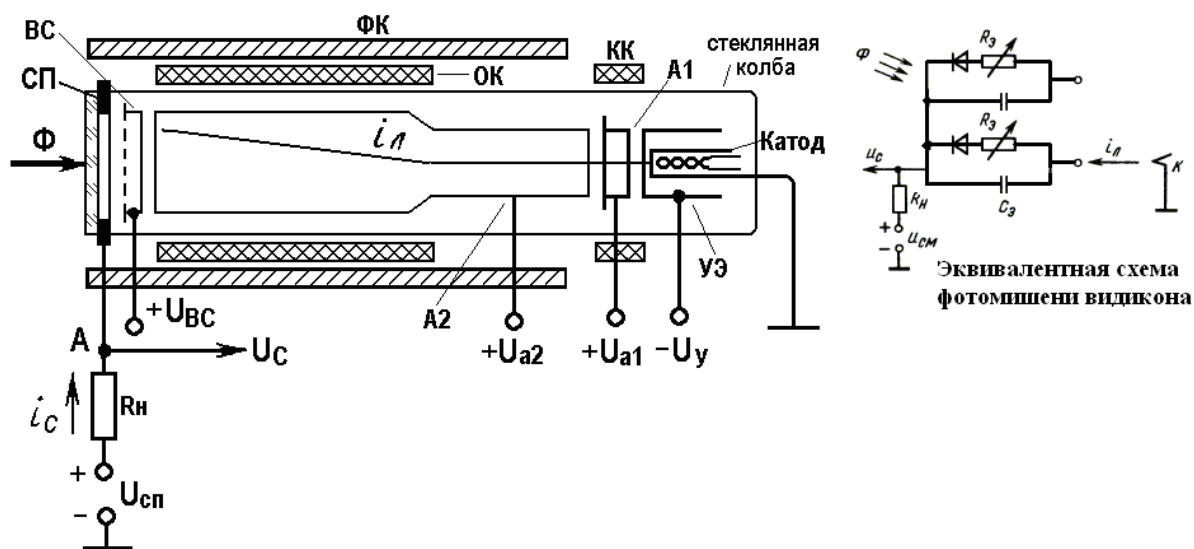


Рис.5.8. Схема устройства плюмбикона

Фоточувствительный слой плюмбикона состоит из трех слоев окиси свинца. Слой, обращенный к прожектору, имеет «дырочную» проводимость, а обращенный к сигнальной пластине - электронную проводимость. Между ними находится чистая окись свинца, определяющая чувствительность и разрешающую способность трубки. На рис.5.9. представлена эквивалентная схема фотомишени плюмбикона, где:

1. Противоореольный фильтр.
2. Стеклаянная планшайба.
3. Сигнальная пластина – прозрачный слой чистой окиси свинца.
4. Прозрачный слой полупроводника n типа
5. Тонкий слой химически чистой окиси свинца, обладающий собственной проводимостью - i проводимости.
6. Прозрачный слой полупроводника p типа с большей проводимостью, чем слой 5.

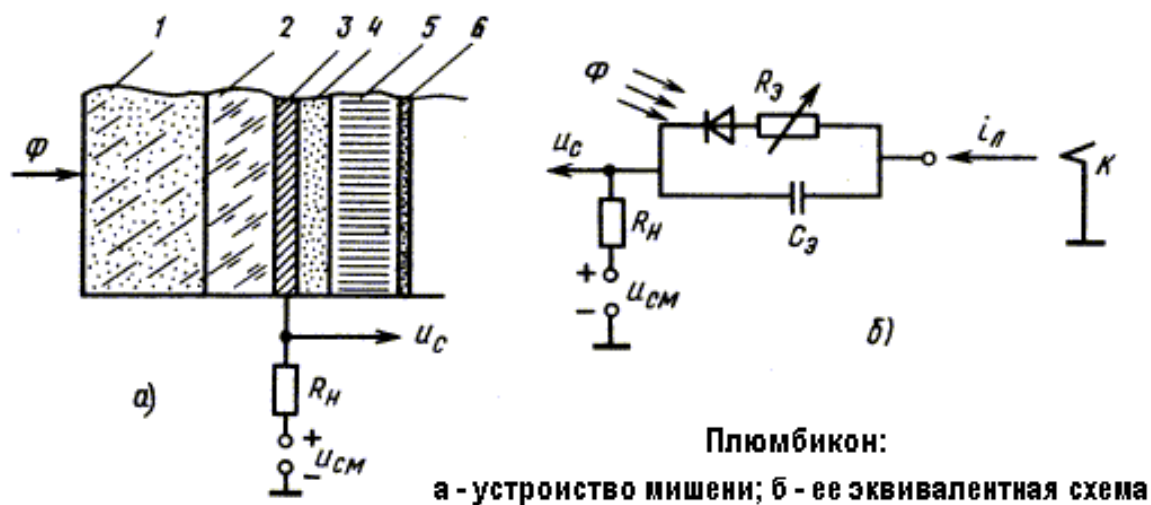


Рис.5.9. Конструкция фотомишени плюмбикона

Сигнальная пластина и слой n прозрачны. Слой i с выполнен из кристаллов пластинчатой формы с размерами $0.1 \times 3 \times 0.05$ мкм, ориентированных параллельно направлению света. Такая структура мишени позволяет увеличить скорость дрейфа и уменьшить рекомбинацию носителей. Это позволяет увеличить толщину мишени не увеличивая фотоэлектрической инерционности, что дает возможность уменьшить емкость

накопителя и увеличить ее чувствительность за счет более полного поглощения света.

Из-за большой ширины запрещенной зоны i скорость тепловой генерации носителей тока мала, что уменьшает темновой ток и увеличивает темновое R мишени, а в момент коммутации $p-i-n$ переход смещается в обратном направлении, что дополнительно увеличивает $R_{эт}$.

Однако, повышенное диффузное рассеяние света в материале вызывает образование ореолов и бликов вокруг ярких деталей, поэтому на плюмбикон устанавливается противоореольный стеклянный диск толщиной около 6 мм.

Световая характеристика плюмбикона линейна в широком диапазоне освещенности, а малый разброс показателя нелинейности $0,95 \pm 0,05$ является большим достоинством плюмбикона при работе в многотрубочных камерах цветного телевидения.

При площади кадра $12,8 \times 17$ мм² ПЛЮМБИКОН, обеспечивает высококачественное изображение с разрешением по полю 600 линий и отношением сигнал-шум 200/1 при чувствительности порядка 1 лк, которая в отличие от ВИДИКОНА не зависит от U на сигнальной пластине, поэтому для регулировки чувствительности меняют $K_{ус}$ ВУ.

Существенное преимущество плюмбикона перед видиконом является его малая инерционность (остаточный сигнал спустя кадр $\leq 5\%$). Причем, для большего снижения инерционности при передачи движущихся объектов с низким уровнем освещенности применяется дополнительная подсветка мишени.

При освещенности мишени, превышающую рабочую в 2-3 раза, потенциальный рельеф возрастает настолько, что ток луча развертки не может полностью его стереть. При этом возникают искажения в виде тянущегося следа («хвоста кометы») за ярко освещенными движущимися объектами. Для устранения этого дефекта в последних трубках (ЛИ-457, ЛИ-458) был применен специальный антикометный прожектор который

«пересвеченные» участки мишени дополнительно стирает увеличенным током луча (100-150 мкА) во время обратного хода строки, что обеспечивает полное стирание остаточного сигнала даже при освещенности превышающую нормальную более чем в 30 раз.

Внешний вид трубки типа ПЛЮМБИКОН представлен на рис.5.10.



Рис.5.10. Внешний вид трубки типа плюмбикон ЛИ-457, ЛИ-458

Плюмбиконы имеют высокое отношение сигнал/шум, порядка 200:1 и чувствительность, превышающую чувствительность видикона. Кроме того, в отличие от видиконов чувствительность плюмбиконов не изменяется при изменении напряжения сигнальной пластины, поэтому на ней устанавливается фиксированный потенциал.

Отличительной особенностью этих трубок является большая линейность световой характеристики и независимость темного тока от напряжения на сигнальной пластине. Неравномерность поля в плюмбиконе для некоторых образцов не превышает 1%. Плюмбикон имеет пониженную спектральную чувствительность в длинноволновой области. Кривая его спектральной чувствительности имеет максимум на 0,5 мкм и резкий спад в длинноволновой области спектра.

Кремникон

Другой разновидностью видикона с полупроводниковой мишенью является ТПТ типа **кремникон** (siliconvidicon), названная по материалу мишени (Si). В отличие от плюмбикона, имеющего сплошную полупроводниковую мишень, мишень кремникона состоит из мозаики большого ($\sim 5 \cdot 10^5$) количества фотодиодов (p-n переходов).

Трубки с мозаичной кремниевой мишенью, называемые **силиконами** или **кремниконами** активно применяется для астрономических наблюдений.

В отличие от видиконов, у которых мишень напыляется в виде аморфного слоя, в кремниконах используется мелкоструктурная мозаичная мишень. Она делается из кремниевой пластины, имеющей электронную проводимость. С одной стороны пластины вытравлено большое количество углублений, в которых диффузионным методом внедрен кремний с дырочной проводимостью. На границе между n-кремнием и p-кремнием образуются p-n переходы (рис.5.11).

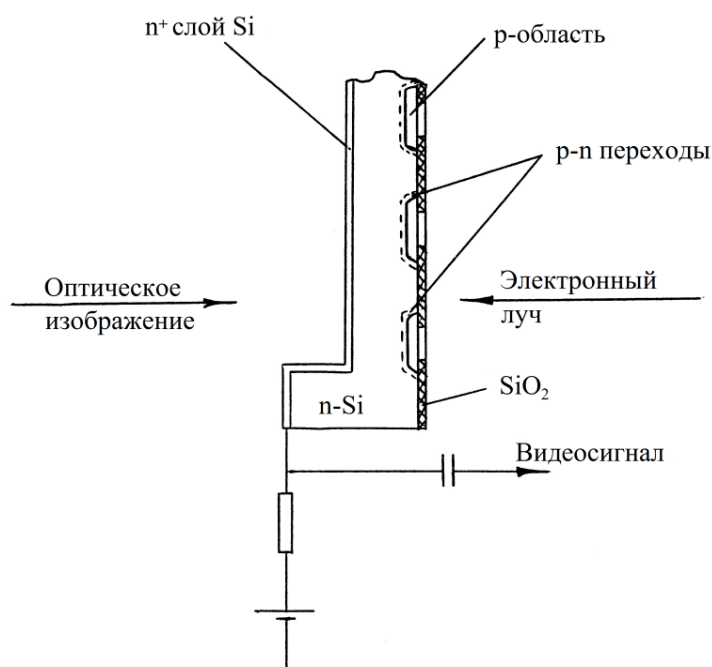


Рис.5.11. Эквивалентная схема мишени кремникона

Механизм образования сигнала заключается в следующем. На проводящий слой кремния, имеющий контакт с сигнальной пластиной, подается небольшое положительное смещение. Обратную сторону мишени, на которой расположены диоды, коммутирует электронный луч. При отсутствии освещения он доводит потенциалы диодов до потенциала термоэмиссионного катода трубки. В результате к каждому диоду приложено напряжение смещения, равное разности потенциалов между сигнальной пластиной и катодом (рис.5.11).

При облучении светом кремниевой базы в ней возникает пара носителей зарядов «дырка» - электрон на каждый поглощенный фотон. «Дырка» диффундирует к ближайшему диоду и уменьшает сопротивление диода, нейтрализуя один электрон.

В однодюймовом кремникоде используется пластина кремния n-типа диаметром 20-25 мм с удельным сопротивлением 4-15 Ом·см. Диоды, расположенные на поверхности мишени со стороны электронного прожектора, имеют диаметр 4-10 мкм, а расстояние между их центрами (шаг мозаики) 10-20 мкм. Первоначальная толщина пластины 150-200 мкм. В центральной части она вытравливается до толщины 10-15 мкм. Толстое периферийное кольцо обеспечивает необходимую прочность мишени. Мишень, как и в обычном видеоконе, располагается на плоском дне колбы n-слоем к стеклу. При работе, как у всех видеоконв, сфокусированный электронный луч, сканируя поверхность мишени со стороны мозаики, заряжает p-области и поверхность разделяющего их окисла до потенциала катода. Так как n-область находится под постоянным положительным потенциалом (6-10 В), диоды оказываются смещенными в обратном направлении. Пока луч переходит от первого диода к последнему, диоды остаются обратносмещенными и, если мишень не освещена, и их емкости переходов разряжаются только током утечки, который очень мал. При этом величина обратного напряжения на диодах практически не меняется за время кадра, если ток каждого диода меньше 10^{-13} А.

При проецировании на мишень оптического изображения в пластине кремния n-типа генерируются электрон-дырочные пары. Под действием градиента концентрации дырки диффундируют к p-n переходам и, попадая в области обеднения, увлекаются полем в p-область. В результате потенциал p-областей возрастает и диодные емкости разряжаются и на диодной стороне мишени накапливается потенциальный рельеф, соответствующий распределению освещенности в проецируемом на мишень изображении. Теперь, сканируя поверхность мишени, электронный луч дозаряжает диоды до первоначального потенциала. Ток дозарядки и составляет ток сигнала, который пропорционален накопленному сигналу и, следовательно, освещенности.

При очередном считывании потенциал диода доводится опять до потенциала катода, а через сигнальную пластину протекает ток сигнала.

Преимуществом кремникона является линейная зависимость величины сигнала от количества поглощенных фотонов. Каждый поглощенный фотон дает один заряд, который нейтрализует также один заряд. Минимальный обнаруживаемый сигнал в кремникоме регистрируется при образовании около 1000 носителей заряда и ограничивается шумами усилителя.

Разрешающая способность кремниконов определяется дискретной структурой мишени. Ячейка диода имеет диаметр около 15 мкм, а промежутки между диодами равны 10-25 мкм. Возможно дальнейшее уменьшение размеров диодов и увеличение плотности их размещения на кремниевой базе до 10^6 на 1 см^2 .

Кривая спектральной чувствительности кремникона простирается от 0,35 до 1,2 мкм. Ограничение чувствительности в коротковолновой области спектра обусловлено материалом входного окна трубки, а в длинноволновой - прозрачностью кремниевой пластины. Квантовый выход мишени кремникона в максимуме спектральной чувствительности составляет около 85%, а на длине волны 1,1 мкм около 6%. У кремниконов

меньшая инерционность по сравнению с видиконами и большая способность накопления, достигающая одного часа без заметного изменения качества изображения.

Достоинства кремникона позволяют применять его для фотометрических работ, тем более, что динамический диапазон рабочих освещенностей кремникона имеет величину порядка 7000.

С помощью кремникона, имеющего матрицу с 256x256 диодами на одном квадратном сантиметре, при считывании в течение 3,3 сек были получены изображения Марса в 20 отрезках длин волн в диапазоне от 0,38 до 1,1 мкм. Выходной сигнал кодировался и обрабатывался на ЭВМ, причем авторы утверждают, что точность фотометрирования лучше 1%. С помощью кремникона при времени накопления 100 секунд на 1,5-метровом телескопе получены изображения звезд.

Также делаются попытки увеличения чувствительности кремникона путем сочленения его с электронно-оптическим преобразователем.

На рис.5.12 представлен вариант внешнего вида ТПТ типа кремникон.



Рис.5.12 Внешний вид трубки типа Кремникон

Суперкремникон

В этой трубке происходит докоммутационное усиление фотоэлектронов и видеосигнал снимается непосредственно с мишени.

Суперкремникон состоит из секции изображения и секции считывания (рис.5.13). Многощелочной фотокатод, нанесенный на входное окно трубки (сферизованный волоконно-оптический диск), обладает высокой чувствительностью к видимому свету. Фотокатод эмитирует фотоэлектроны пропорционально

интенсивности изображения, оптически проецируемого на ВХОДНОЕ ОКНО.

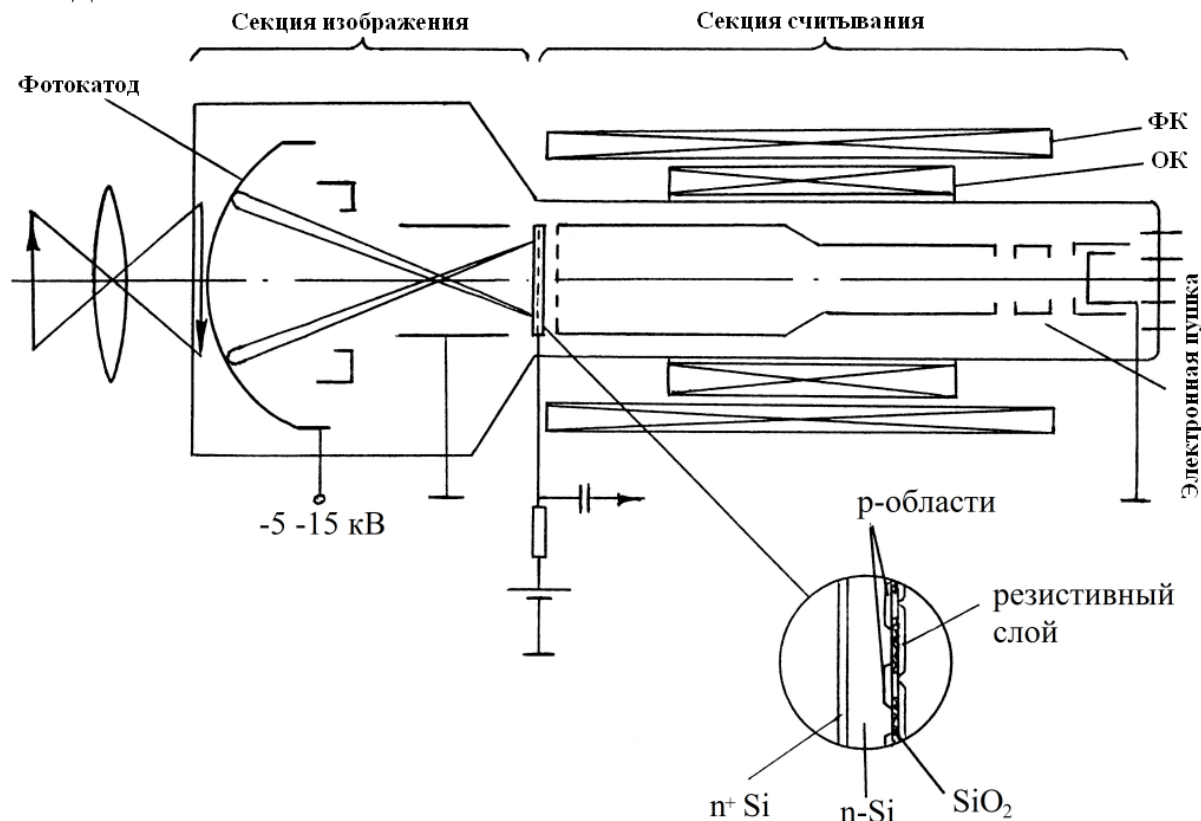


Рис.5.13. Устройство суперкремникона

где, ФК – фокусирующие катушки, ОК – отклоняющие катушки.

Секция изображения состоит из электростатических фокусирующих линз, которые ускоряют (рабочее напряжение выбирается в диапазоне 5-15 кВ) электроны изображения с фото катода к диодно-мозаичной мишени (аналогичной мишени кремникона). Основанием мишени служит слой кремния с электронной проводимостью. К этому слою, выполняющему функцию сигнальной пластины, подводится небольшое (5-15 В, положительное относительно катода прожектора) напряжение.

При бомбардировке мишени электронами изображения в ней генерируется большое количество электрон-дырочных пар (для образования одной электрон-дырочной пары в кремнии требуется энергия 3,6 эВ). Диоды, сканируемые пучком медленных электронов, находятся под обратным смещением.

Возбужденные дырки диффундируют к диодам и разряжают их, так что на сканируемой стороне мишени устанавливается зарядовый потенциал изображения. Перезаряжая диоды, сканирующий пучок электронов дает ток сигнала во внешней цепи. Секция считывания такая же, как и у видикона.

Суперкремникон обладает чувствительностью в несколько сотен раз большей, чем видиконы, что позволяет работать при освещенности фотокатода порядка 10^{-5} лк с удовлетворительным качеством изображения. Разрешающая способность достаточно высока (как и в кремниконе) и может достигать 800 строк на высоту мишени. При этом инерционность суперкремникона сравнительно небольшая и остаточный сигнал во втором кадре обычно не превышает 10%.

Супервидиконы

К особым устройствам преобразования оптического излучения следует отнести преобразователи спектра излучения, например, рентгеновского, ультрафиолетового или инфракрасного излучения, а также преобразователи для усиления яркости слабосветящихся объектов, которые получили названия Супевидиконы (рис.514).

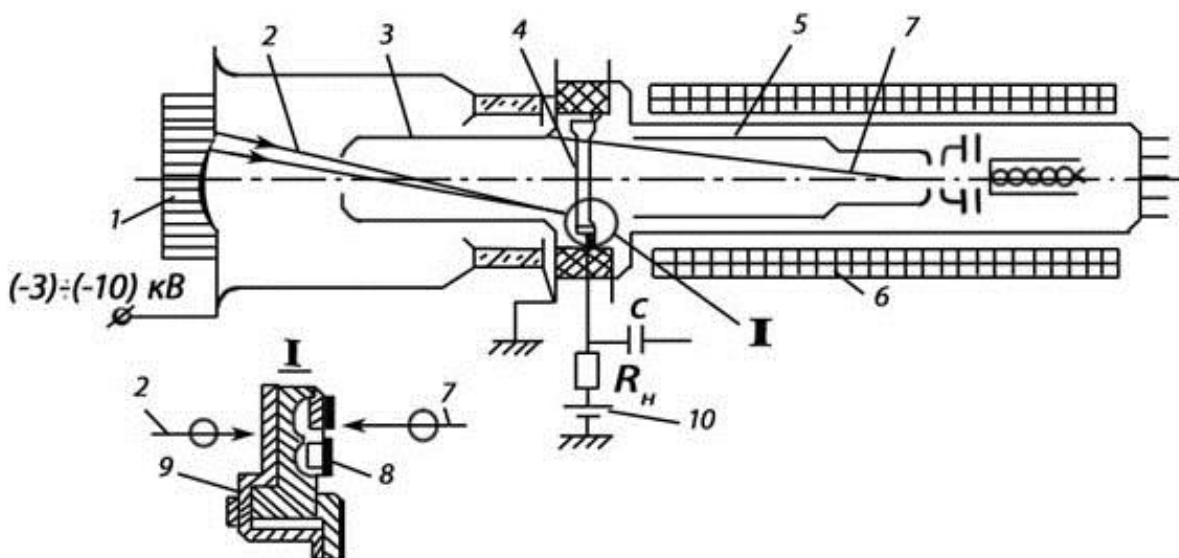


Рис.5.14. Схема устройства супервидикона:

- 1 – фотокатод;
- 2 – фотоэлектроны;
- 3 – ускоряющий фокусирующий электрод;
- 4 – кремниевая диодно-мозаичная мишень;
- 5 – система фокусирующего считывающего луча;
- 6 – магнитная система отклонения и фокусировки;
- 7 – электроны считывающего луча;
- 8 – p- области мозаики с контактными площадками к ним;
- 9 – подложка монокристаллического кремния n- типа;
- 10 – источник смещения сигнальной пластины

Спектральная характеристика чувствительности и квантовый выход у супервидикона определяются параметрами фотокатода 1. Квантовый выход такого фотокатода примерно равен 10 %, а реальное усиление составляет около 200.

Если электроны с фотокатода направить на кремниевую мишень, придав им энергию около 10 кэВ, то в мишени будет получено усиление, примерно равное 2000.

Усилителем яркости также называют электронно-оптический преобразователь (ЭОП). Конструкция ЭОП аналогична конструкции камеры переноса суперкремникона. Отличие заключено только в том, что место кремниевой мишени занимает экран, люминесцирующий под воздействием ускоренных электронов. В ЭОП фотоны, попадающие на фотокатод, освобождают фотоэлектроны с квантовым выходом примерно равным 10 ... 20 %. Эти фотоэлектроны после фокусировки и ускорения до $(1 \dots 1,5) \cdot 10^4$ эВ бомбардируют люминофор, испускающий фотоны в характерной для него спектральной области. Общая эффективность преобразования у ЭОП составляет 1...4 % , что при энергии в $(1 \dots 1,5) \cdot 10^4$ эВ обеспечивает усиление около 200.

Применение стекловолокна в построении ЭОП позволяет обеспечить электростатическую фокусировку, что даёт возможность осуществлять непосредственную без промежуточной оптики стыковку с приборами, имеющими

стекловолокно на входе, или стыковку между собой нескольких секций ЭОП для увеличения коэффициента усиления.

Пировидикон

Передающую телевизионную трубку с пироэлектрической мишенью в качестве чувствительного слоя называют **пировидиконом** или **приконом**. Принцип действия и конструкция пировидикона аналогичны принципу действия и конструкции видикона. Здесь фоточувствительный катод заменен пироэлектрической мишенью в виде тонкой пластины пироэлектрического кристалла, не требующей охлаждения. Входное окно, к которому прикрепляется мишень, обычно выполняется из германия. На сторону мишени, прилегающую к входному окну, наносится тонкослойный электрод, прозрачный для ИК - излучения. На другую сторону ее наносится пленка, защищающая пироэлектрический кристалл от разрушения ионами, генерируемыми электронным пучком, считывающим зарядный рельеф мишени. В качестве материала мишени целесообразно выбирать пироэлектрики с наименьшей диэлектрической проницаемостью и малой тепловой диффузией, например триглицинсульфат (ТГС) и дейтерированный триглицинфторбериллат (ДТГФБ). Пироэлектрические материалы чувствительны лишь к изменению температуры. Поэтому ИК-излучение, которое строит изображение на пироэлектрической мишени, должно быть переменным, для чего в систему с пировидиконом устанавливается специальный модулятор (обтюратор) либо в отдельных случаях такая система работает в панорамирующем режиме, при котором она медленно перемещается относительно просматриваемого пространства. Для сохранения чувствительности пировидикона постоянной при изменениях окружающей температуры в конструкцию прибора в непосредственной близости от диафрагмы, ограничивающей сечение считывающего пучка электронов, вводится нагревательный элемент, который обеспечивает постоянство температуры мишени.

Для снижения тепловой диффузии пироэлектрическую мишень разбивают на отдельные малоразмерные элементы, помещая их на подложку с низкой теплопроводностью (сетчатая мишень). Пировидикон отличается от обычного видикона тем, что высокочувствительные ферроэлектрики (сегнетоэлектрики), используемые в качестве пироэлектрических мишеней и являющиеся хорошими изоляторами, не пропускают постоянный ток. Постоянная составляющая электронного луча, считывающего мишень, заряжает ее. Если луч не заземлять, мишень, которая представляет собой емкость, может полностью зарядиться, и работа пировидикона прекратится. Во избежание этого постоянный ток не должен протекать по цепи видеосигнала, а положительный заряд, равный отрицательному, перенесенному считывающим электронным лучом, должен периодически возобновляться. Для этого используют различные методы создания положительного (базового) заряда, или пьедестала. Наибольшими преимуществами обладает метод, основанный на вторичной электронной эмиссии свободной поверхности пироэлектрической мишени, сканируемой пучком медленных электронов, при котором положительный заряд образуется во время обратного хода электронного луча, т. е. вне времени считывания ИК-изображения.

В пировидиконах превалируют шумы Джонсона на мишени, базового тока и предусилителя видеосигнала. Последние заметно превышают внутренний шум пироэлектрического материала, обусловленный в основном шумом Джонсона, возникающим из-за диэлектрических потерь.

В системах с пировидиконами в соответствии с отмеченными особенностями используются устройства синхронизации прерывания входного сигнала и сканирования мишени и схемы вычитания базового тока из полного видеосигнала. Сигнал, появляющийся при каждом открывании обтюратора, инвертируется, а затем считывается непосредственно с экрана системы отображения или же видеосигнал сначала подается в сумматор изображений

(отдельных кадров), а потом воспроизводится в системе отображения.

Специальный процессор в составе электронного модуля пирикона, работающий в реальном масштабе времени, позволяет путем попарного сравнения разнополярных сигналов в полукадрах (положительных при нагреваемой открытой мишени и отрицательных при остывающей закрытой) повысить геометрическое разрешение мишени с 120.. . 130 до 160... 180 телевизионных линий (ТВЛ).

Из-за переменной полярности сигнала, снимаемого с выхода пироэлектрического приемника при открывании и закрывании модулятором его чувствительной площадки, может возникнуть мерцание изображения. Это мерцание устраняют, используя в электронном тракте пирикона схемы (накопители), в которых видеосигнал суммируется по нескольким кадрам, а затем передается на систему отображения. При этом отношение сигнал-шум улучшается на 25...30%.

Области применения пириконов весьма разнообразны: в системах охранной и пожарной сигнализации, при дистанционных измерениях температуры, космических исследованиях, в лазерной измерительной аппаратуре, военной технике, в медицине и др. Эти сравнительно недорогие приемники, работающие в широком диапазоне частот и температур, имеют низкое энергопотребление.

Низкая теплопроводность пироэлектрических кристаллов позволяет создавать многоэлементные структуры с низкими перекрестными тепловыми помехами между отдельными элементами чувствительного слоя. Пироэлектрические приемники самой различной формы и размеров технологичны и сравнительно недороги.

Несмотря на то, что удельная обнаружительная способность в пироэлектрических одноплощадочных приемников почти на два порядка хуже, чем одноплощадочных охлаждаемых фотонных (квантовых) приемников, режим накопления и осреднения, в котором работают их отдельные элементы (при частоте кадров 25 Гц время полукадра примерно 20 мс, а число

элементов пироэлектрической мишени пирикона эквивалентно нескольким десяткам тысяч единичных приемников), позволяет получить большое отношение сигнал-шум, пропорциональное корню квадратному из числа накапливаемых сигналов.

Рабочий спектральный диапазон базе пироэлектрических мишеней практически неселективен и ограничивается пропусканием материалов оптической системы и прозрачностью среды распространения сигнала (атмосферы).

В то же время в силу ряда причин (большие габариты, сложность технологии изготовления и конструкции, недостаточно высокие чувствительность и геометрооптическое разрешение и др.) системы с пировидиконами до сих пор используются недостаточно широко.

Промышленность серийно выпускает пировидиконы со сплошной мишенью диаметром около 16 мм, изготовленной из триглицинсульфата и имеющей чувствительность порядка 5...13 мкА/Вт. Они обеспечивают $ДТп = 0,1...0,5$ К (например, тепловизор ТЭМП-1, созданный НПП «Гамма» совместно с НИИ «Платан» и СКБ филиала Института радиоэлектроники РАН).

Пировидиконы **ЛИ492** и **ЛИ492С** с сетчатой мишенью, работающие в спектральном диапазоне 8... 14 мкм и имеющие трубку диаметром около 27 мм и длиной 164 мм (у ЛИ492) и 132 мм (у ЛИ492С), обеспечивают разрешение до 300 телевизионных линий (рис.5.15).



Рис.5.15. Внешний вид трубки типа ПИРОВИДИКОН ЛИ492

5.5. Твердотельные матричные ФЭП на ПЗС

Основным недостатком телевизионных передающих трубок является то, что параметры разверток (скорость, линейность и угол отклонения) являются функцией тока в отклоняющих катушках. Соответственно при изменении питающих напряжений и линейности изменения тока будет изменяться размер изображения и его геометрическое подобие (сжатое или растянутое). То есть трубкам с лучевой разверткой принципиально свойственны геометрические искажения, для компенсации которых применяются специальные схемы стабилизации размеров и коррекции геометрических искажений. Кроме того относительно большие размеры трубок не позволяют миниатюризировать размеры передающих камер.

Однако, развитие твердотельной технологии и технологии тонкопленочных покрытий позволило разработать твердотельные матричные ФЭП с зарядовой связью (ПЗС) с числом элементов разложения, соответствующим стандарту ТВ вещания.

ПЗС был изобретен в 1969 году Уиллардом Бойлом и Джорджем Смитом в лабораториях Белла (AT&T Bell Labs). Первоначально приборы с зарядовой связью разрабатывались как устройства компьютерной памяти, в которых можно было только поместить заряд во входной регистр устройства. Однако способность элемента памяти накапливать заряд благодаря фотоэлектрическому эффекту сделала данное применение ПЗС устройств основным.

В основе ПЗС лежат свойства структуры металл - окисел-проводник, способной собирать, накапливать и хранить зарядовые пакеты неосновных носителей в локализованных потенциальных ямах, образующихся у поверхности полупроводника под действием электрического поля. Зарядовые пакеты возникают под действием светового излучения, а переносятся путем управляемого перемещения потенциальных ям в требуемом направлении. Таким образом, ПЗС работает как аналоговый сдвиговый регистр, способный собирать, накапливать и хранить зарядовую информацию.

Основным достоинством ПЗС является отсутствие геометрических искажений. Это связано с тем, что жесткая структура пиксельных элементов обеспечивает перенос зарядовой информации внутри полупроводника к единственному выходному устройству, преобразующему зарядовые пакеты в сигнал изображения. Таким образом в ПЗС формируется **жесткий растр**.

Основу ПЗС составляют конденсаторы МОП структуры (рис.5.16) одной из обкладок, которого служит металлический электрод, второй – полупроводниковая подложка, диэлектриком служит слой двуоксида кремния толщиной 0.01 мм.

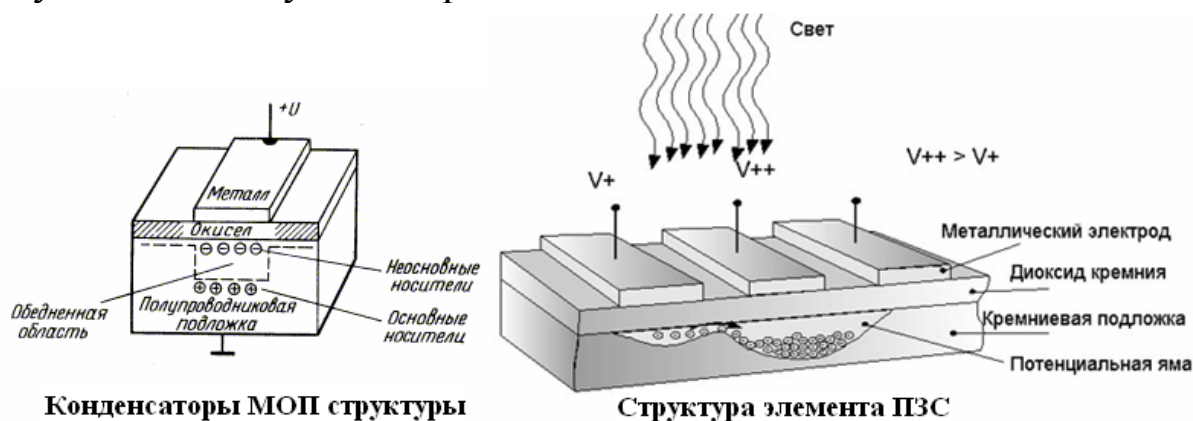


Рис.5.16. Общий принцип построения ПЗС матриц

В полупроводнике дырочного типа основными носителями являются дырки, поэтому если приложить к металлическому электроду положительный потенциал, то дырки будут отталкиваться в глубь полупроводника. Соответственно под электродами образуется область обедненная носителями – **потенциальная яма**. При этом глубина ямы зависит от напряжения на затворе, степени легирования полупроводника и толщины окисла. Т.о. изменяя U затвора можно эффективно управлять глубиной потенциальной ямы. Однако, время жизни потенциальной ямы ограничено паразитным процессом термогенерации неосновных носителей заряда (**ННЗ**). Дело в том, что в кремнии всегда генерируются пары носителей - электрон-дырка. Под действием электрического поля основные носители зарядов (**ОНЗ**) «отгоняются» в толщину, а ННЗ

постепенно заполняют яму. Это паразитный процесс, а время заполнения ямы называется **временем релаксации**.

Динамика перемещения зарядовых пакетов представлена на рис.5.17. Каждый электрод прибора подключен к одной из 3 тактовых шин **Ф1,Ф2,Ф3**. В такт (t_1) подано $+U_2$ в результате чего под этими электродами образуются потенциальные ямы, в которых могут накапливаться и храниться **ННЗ**. Время хранения равно времени действия U_2 , а режим работы ячейки под Ф1 наз **режимом хранения**. В t_2 на электрод Ф2 подается $+U_3$, значение которого в 1.5-2раза $>U_2$ (**U записи**). Под этими электродами образуются более глубокие ямы в которые перетекают электроны из электродов Ф1. Режим при котором электроны перетекают из одних из одних потенциальных ям в другие, называют **режимом записи**. В t_3 $U_{Ф1}, U_{Ф3}$ уменьшается до U_2 , что соответствует **режиму хранения** а $U_{Ф2}$ до U_1 , что предотвращает возврат зарядового пакета назад.

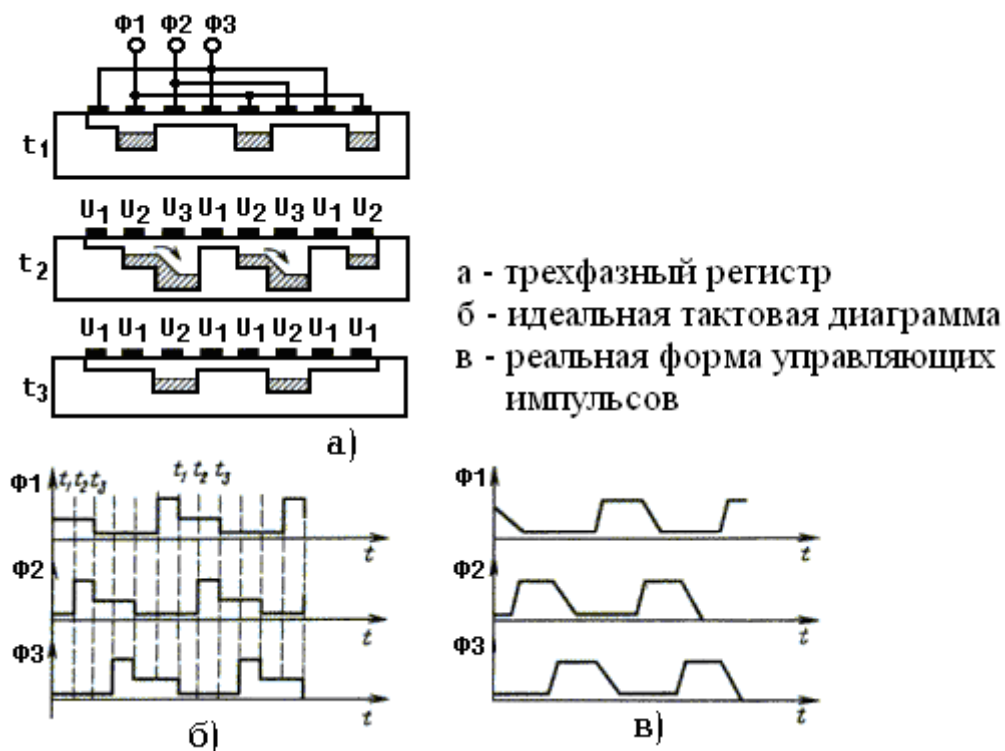


Рис.5.17. Принцип перемещения зарядовых пакетов в сдвиговом регистре ПЗС

Спектральная чувствительность ПЗС-матриц зависит от типа кремниевой подложки, но общая характеристика является результатом фотоэффекта: **более длинные волны (красный и ИК свет) глубже проникают в кремниевую структуру ПЗС.** Типичная спектральная кривая ПЗС-матрицы показана на рис. 5.18.

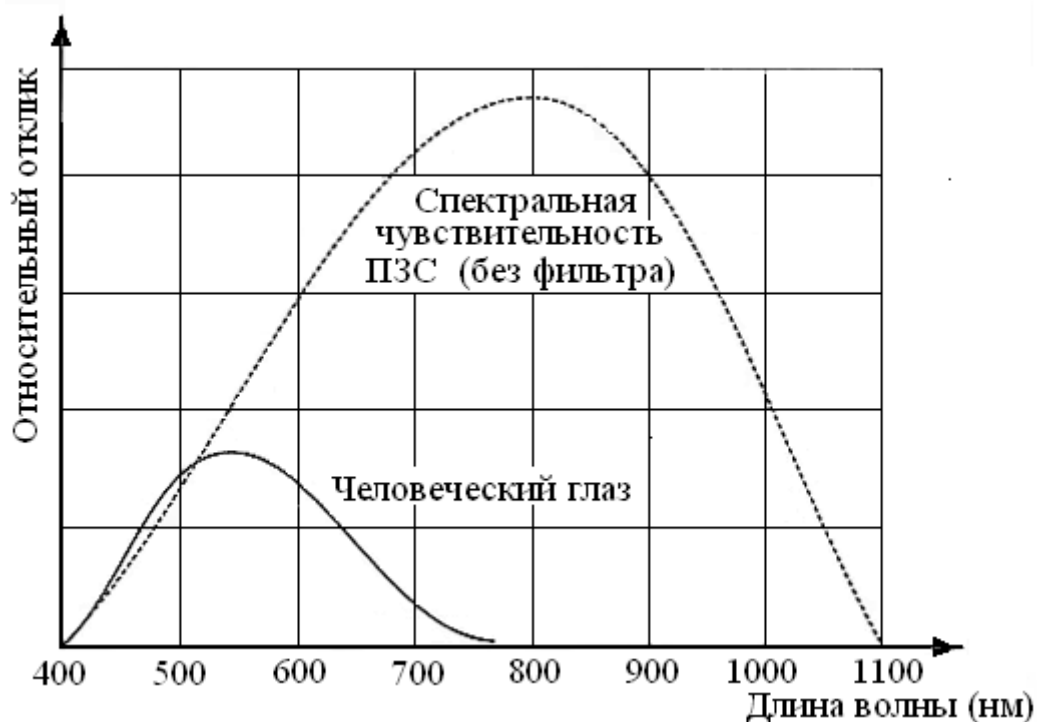


Рис.5.18. Спектральная кривая ПЗС-матрицы

Такая высокая чувствительность ПЗС матриц в инфракрасном диапазоне в телевидении может создать паразитную генерацию носителей в тех зонах, которые не должны подвергаться воздействию света. В результате за счет паразитной засветки в изображении могут пропасть мелкие детали, потому что заряд ячеек растечется по соседним, теряя при этом компоненты высокого разрешения и вызывая «эффект заплывания» (blooming). Также возможно проникновение зарядов в область памяти временного хранения зарядов и не предназначенная для засвечивания. В результате чего могут в значительной степени возрасти шум и вертикальный ореол (smear). Поэтому в усовершенствованных ПЗС-телекамерах применяются специальные **оптические инфракрасные**

отсекающие фильтры. Эти фильтры представляют собой оптически точные плоскопараллельные пластинки, монтируемые сверху ПЗС-матрицы. Они ведут себя как оптические низкочастотные фильтры.

По способу считывания информации ПЗС матрицы подразделяются:

- С кадровым переносом
- Со строчным переносом
- С кадрово-строчным переносом

Матрицы с кадровым переносом (рис.5.19), получившие распространение в промышленности, являются наиболее простыми по конструкции и технологии изготовления, позволяют освещать секции накопления со стороны подложки и обладают низкой инерционностью.

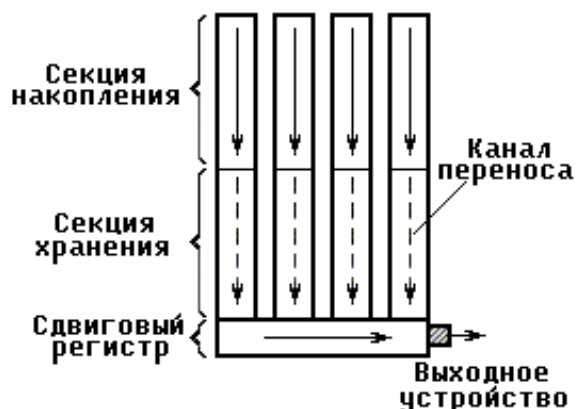


Рис.5.19. Принцип организации ПЗС матрицы с кадровым переносом

В таких матрицах кроме **фотоприемной секции**, где происходит накопление зарядов, необходима еще **секция хранения**, в защищенной от света области. За время обратного хода по кадру накопленные заряды последовательно перемещаются в секцию хранения. Затем во время следующего кадра построчно перемещаются в секцию переноса заряда – регистр сдвига. Сдвиг строк в секцию переноса осуществляется во время обратного хода по строкам и далее зарядовые пакеты

строки поэлементно выводятся на выходное устройство где преобразуются в видеосигнал.

Однако такие ПЗС имеют ряд существенных недостатков:

- Наблюдается вертикальное смазывание изображения за счет генерации носителей под действием света во время переносе зарядов в секцию хранения. Этот смаз особенно заметен при передаче ярких деталей изображения и полностью может быть ликвидирован только механическим перекрытием светового потока;
- Возникает неравномерное расположение строк в растре, поскольку третий электрод каждого элемента матрицы оказывается незадействованным при формировании зарядного рельефа.

Для устранения указанных недостатков были изобретены матрицы со **строчным переносом**.

ПЗС со строчным переносом имеет структуру представленную на рис.5.20.

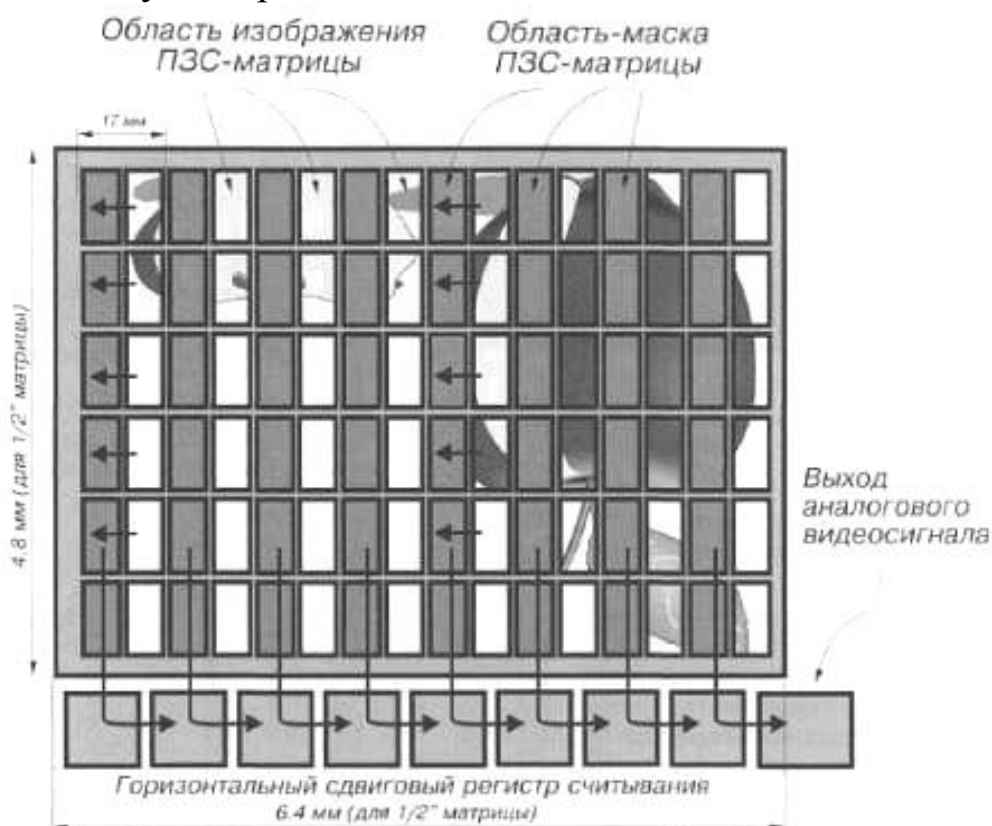


Рис.5.20. Принцип ПЗС со строчным переносом

В данном приборе экспонируемая картинка переносится не вниз во время периода кадрового синхроимпульса, а **сдвигается в левые регистры расположенные области маски.** Так как колонки пикселей маски находятся рядом с колонками пикселей изображения (правее), то сдвиг происходит значительно быстрее, и поэтому в областях ярких пятен — вертикальный ореол проявляется в гораздо меньшей степени. К тому же существенно увеличивается отношение сигнал/шум.

Однако, у матриц со строчным переносом зарядов есть недостаток, который исходит из самой концепции: чтобы добавить колонки-маски рядом с колонками изображения и разместить все это на площади, равной площади матрицы с кадровым переносом, приходится уменьшать размер светочувствительных пикселей. Это снижает чувствительность матриц. Но в сравнении с получаемыми преимуществами, этот недостаток менее существенен.

Кроме того в этих ПЗС появляется **возможность использовать электронный затвор или электронную диафрагму.** Это позволяет управлять временем экспозиции (выдержки) для поддержания видеосигнала уровнем 1 В при изменении освещенности сцены. Однако когда электронная диафрагма переключается на более высокие скорости затвора, из-за низкой эффективности переноса заряда возрастает вертикальный ореол.

Уменьшение размеров пикселя в матрицах со строчным переносом косвенно снижает минимальную освещенность матрицы. Эта проблема может быть разрешена очень просто (хотя технологически это не очень легко) — поверх каждого пикселя помещается микролинза (рис.5.21). Микролинза концентрирует весь падающий свет на область пикселя, и эффективно увеличивает минимальную освещенность. На сегодняшний день наибольшее распространение в видеонаблюдении получили матрицы со строчным переносом заряда.

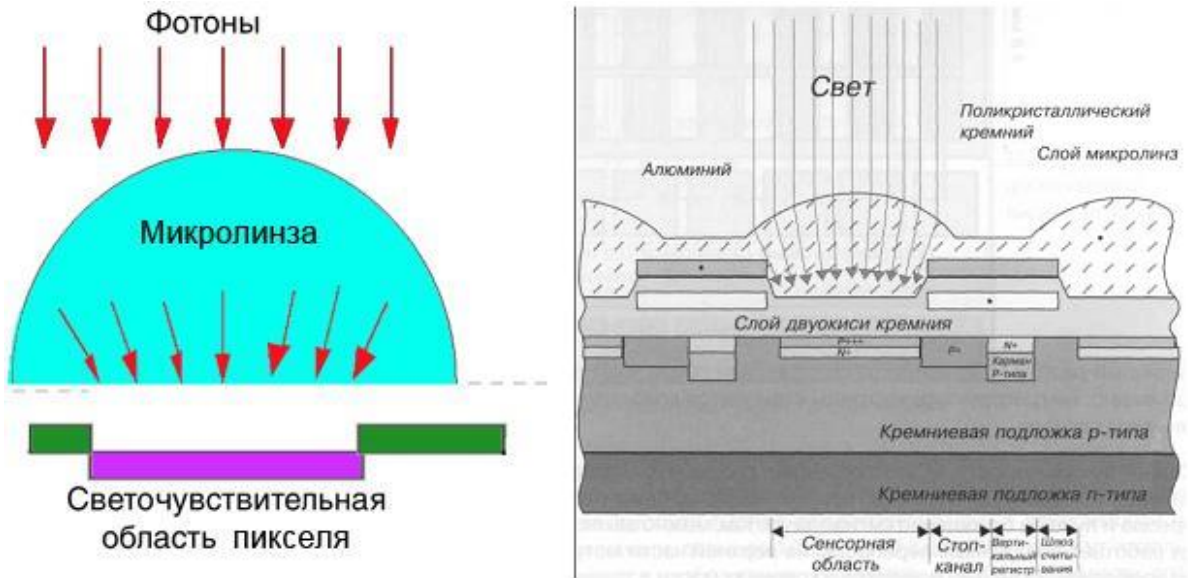


Рис.5.21. Структура ПЗС-матрицы с микролинзами

ПЗС с кадрово-строчным переносом

Для устранения недостатков матриц с кадровым и строчным переносом в настоящее время разработана матрица с кадрово-строчным переносом (рис.5.22).

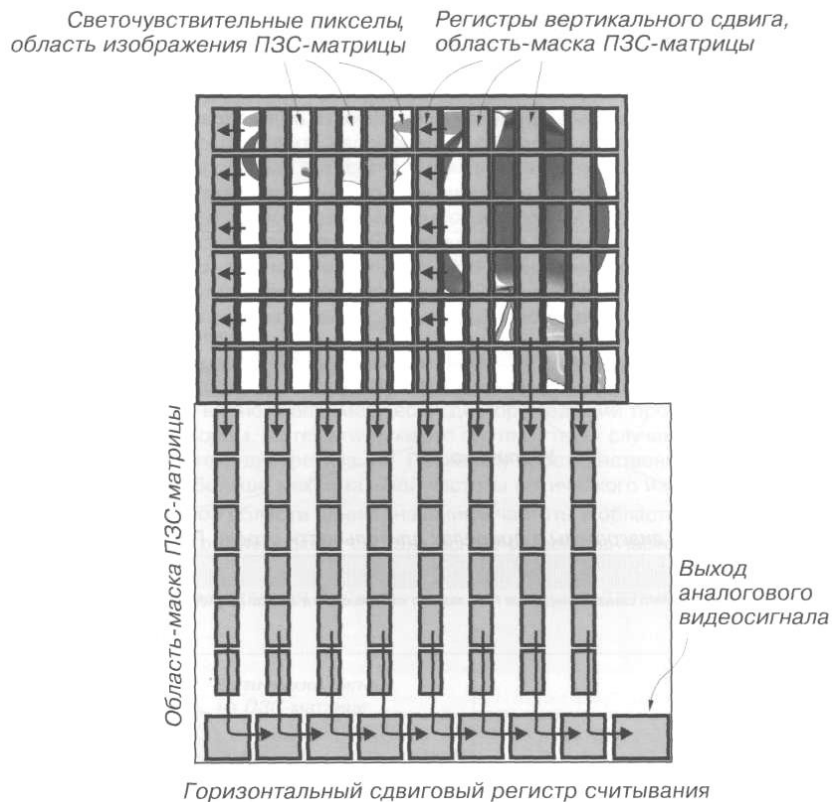


Рис.5.22. Концепция кадрово-строчного переноса

Данная технология обладает всеми характеристиками строчного переноса плюс уменьшение вертикального ореола и лучшее отношение сигнал/шум. При этом такая матрица работает со срочным переносом на верхней части матрицы, то есть имеет электронный затвор. Но в отличие от других технологий, изображение не удерживается в колонках маски в течение экспозиции следующего поля, а сдвигается вниз в более защищенную область маски. Поэтому в такой матрице вертикальный ореол еще меньше, а также увеличивается отношение сигнал/шум.

В матрицах с кадрово-строчным переносом также используются микролинзы для улучшения минимальной освещенности. Кроме того имеют еще более совершенную микроструктуру, множество ячеек и областей для предотвращения стекания избыточных зарядов на окружающие области, ловушки генерируемых теплом электронов и пр.

Матрицы с такими усовершенствованиями обладают очень высоким динамическим диапазоном, ослабленным вертикальным ореолом и высоким отношением сигнал/шум, что делает их идеальными для съемок на улице и видеожурналистики. Такие типы камер в широкоэмитательном телевидении обычно называются **камерами видеожурналистики**.

На рисунке 5.23 представлен внешний вид некоторых современных ПЗС матриц.

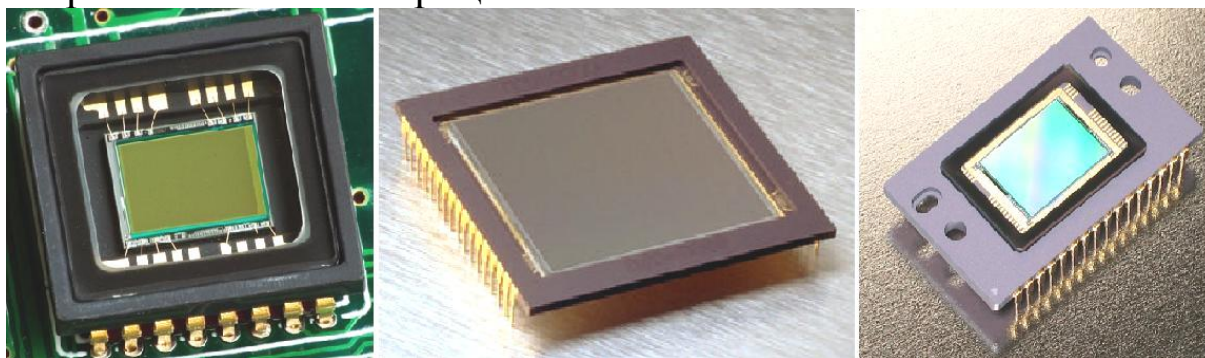


Рис.5.23. Внешний вид некоторых современных ПЗС матриц

5.6. Матричные ФЭП на основе КМОП-технологии

В настоящее время ПЗС-устройства дают высококачественные изображения с низким уровнем шума. Хотя принципы работы ПЗС-матриц основаны на МОП-электронике (металл-окисел-полупроводник), но для изготовления ПЗС-матриц требуется особая кремниевая технология и специализированные линии производства. При этом такие устройства телевизионной камеры, формирователи тактовых импульсов, логических схем синхронизации, обработки сигнала и т.д. реализованы в отдельных микросхемах. Таким образом, большинство ПЗС- телекамер состоит из набора нескольких микросхем, что увеличивает ее габариты и усложняет ее устройство. Поэтому интеграция всех функциональных узлов камеры в один чип является важной научно-технической задачей.

За последние годы на рынке появилось фоточувствительное устройство нового типа КМОП-чип (комплементарная МОП-ИС, КМОП-ИС).

КМОП-матрицы изготавливаются на базе стандартной КМОП-технологии, опираясь на так называемую VLSI-технология (Very Large Scale Integration — сверхвысокий уровень интеграции). Это гораздо более дешевый и стандартизованный метод производства микросхем, чем ПЗС-технология.

Основное преимущество КМОП-телекамер в сравнении с ПЗС — это более высокий уровень интеграции в которой сама матрица, схема синхронизации и развертки, контроль экспозиции и аналого-цифровой преобразователь располагаются в одной интегральной схеме. То есть образуют законченную однокристалльную телекамеру.

В такой матрице КМОП-фотоприемник преобразует свет так же, как и ПЗС, но дальше все происходит иначе. Зарядовые пакеты не переносятся, а на ранней стадии обнаруживаются высокочувствительными усилителями зарядов на КМОП-транзисторах. В некоторых КМОП-матрицах усилители находятся поверх каждой колонки пикселей, а сами пиксели

содержат только один транзистор, который используется как шлюз, подключая содержимое пиксела к усилителю. Эти пассивные пиксельные КМОП-матрицы работают наподобие аналоговой DRAM-памяти (динамического ОЗУ).

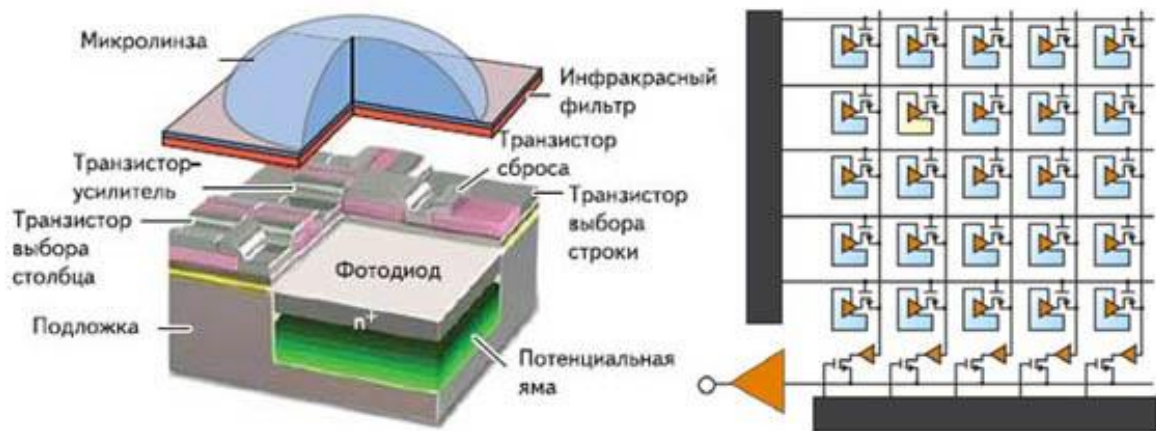
Однако слабым местом КМОП-матриц является проблема согласования множества различных усилителей внутри каждой матрицы. Некоторые производители решили эту проблему, снизив остаточный уровень шума с постоянным спектром до незначительных пропорций. Первые КМОП-устройства и прототипы телекамер давали низкокачественное, зашумленное изображение, что делало сомнительным применение технологии в коммерческих целях. Вариации процесса приводят к тому, что каждый пиксел дает несколько отличный от других отклик, что проявляется в виде снега на изображении.

Кроме того, светособирающая площадь матрицы меньше, чем у ПЗС-матриц, поэтому эти устройства менее чувствительны к свету.

Однако, за последние годы удалось решить многие проблемы КМОП-матриц. Некоторые крупные производители, как Canon и Kodak, уже выпустили КМОП-матрицы с 10 млн. пикселей с очень высоким качеством изображения. Кроме повышения разрешающей способности КМОП-матриц, имеются и другие технологические достижения. Одно из таких усовершенствований КМОП-технологий позволяет избавиться от т.н. "фиксированного рисунка шумов". Такой метод позволяет считать для каждого пиксела свой уровень шума и сохранить такую структуру для каждой матрицы, как ее уникальную характеристику. Затем производится коррекция видеосигнала, при которой соответствующие значения этой структуры вычитаются из каждого значения, полученного в пикселе, что позволяет значительно снизить шумы КМОП-матрицы.

Еще одна новая разработка в сфере КМОП-технологии, которая еще недавно рассматривалась только гипотетически, теперь стала реальностью и представляет особый интерес с точки зрения видеонаблюдения. Компания Ricoh разработала новый тип КМОП-матрицы, которая преобразует аналоговые зарядовые

пакеты в цифровой поток данных сразу же на матрице. Эта революционная и очень перспективная концепция позволяет избавиться от многих недостатков КМОП-технологии. Например, удалось добиться очень точного управления экспонированием индивидуально для каждого пикселя, что позволяет значительно расширить динамический диапазон. Новая разработка от Ricoh также позволяет учитывать собственный темновой шум матрицы, что улучшает отношение сигнал/шум. Структура пикселя такой матрицы представлена на рис.5.24, а варианты матриц GMAX0504, GMAX1205, GMAX3005 на рис.5.25.



Сечение пикселя КМОП-матрицы

Рис.5.24. Структура пикселя КМОП матрицы

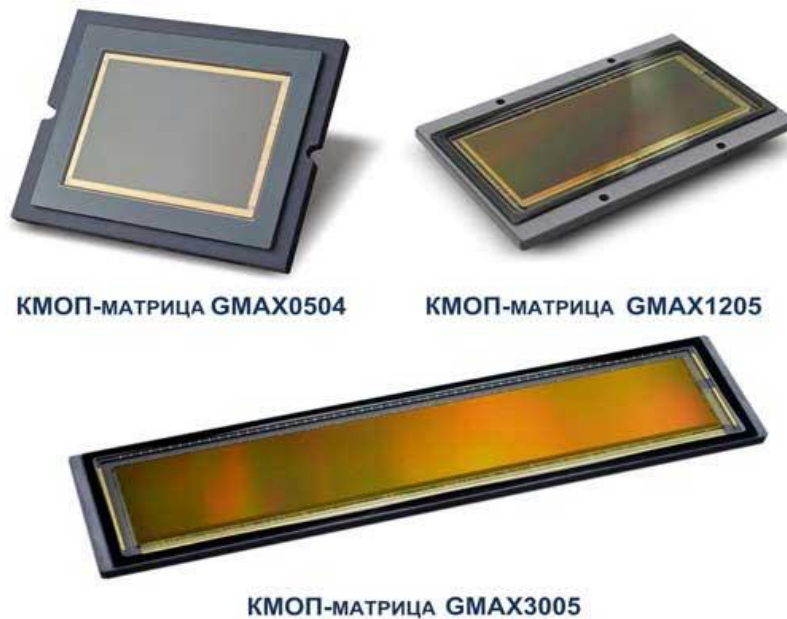


Рис.5.25. Варианты матриц GMAX0504, GMAX1205, GMAX3005

6. ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Электронно-оптические преобразователи (ЭОП) предназначены для обратного преобразования видеосигнала в оптическое изображение на телевизионном экране. При этом, телевизионный экран самый важный и дорогой узел телевизора от которого во много зависит качество получаемого на экране изображения.

К основным параметрам экранов относятся:

- размер экрана в дюймах по диагонали;
- разрешающая способность (количество пикселей по горизонтали и вертикали);
- яркость свечения и контраст;
- угол обзора – это угол наблюдения к плоскости экрана при котором не возникает искажений цветопередачи;
- инерционность, то есть время свечения элементов экрана после прекращения действия сигнала.

Для получения изображения на экране телевизора могут использоваться монохромные и цветные кинескопы и плоскопанельные экраны на основе жидких кристаллов, плазменных ячеек и светодиодов.

6.1. Кинескопы черно телевидения

Кинескопом называется приемная электронно-лучевая трубка с люминофорным экраном, преобразующая мгновенные значения сигнала в последовательность световых импульсов. Развертывающим элементом кинескопа является сфокусированный электронный луч, а воспроизведение изображения обеспечивается отклонением луча по закону развертки и модуляцией его плотности сигналом изображения.

Различают кинескопы **прямого наблюдения** и **проекционные**. Схематичное устройство кинескопа показано на рис.6.1.

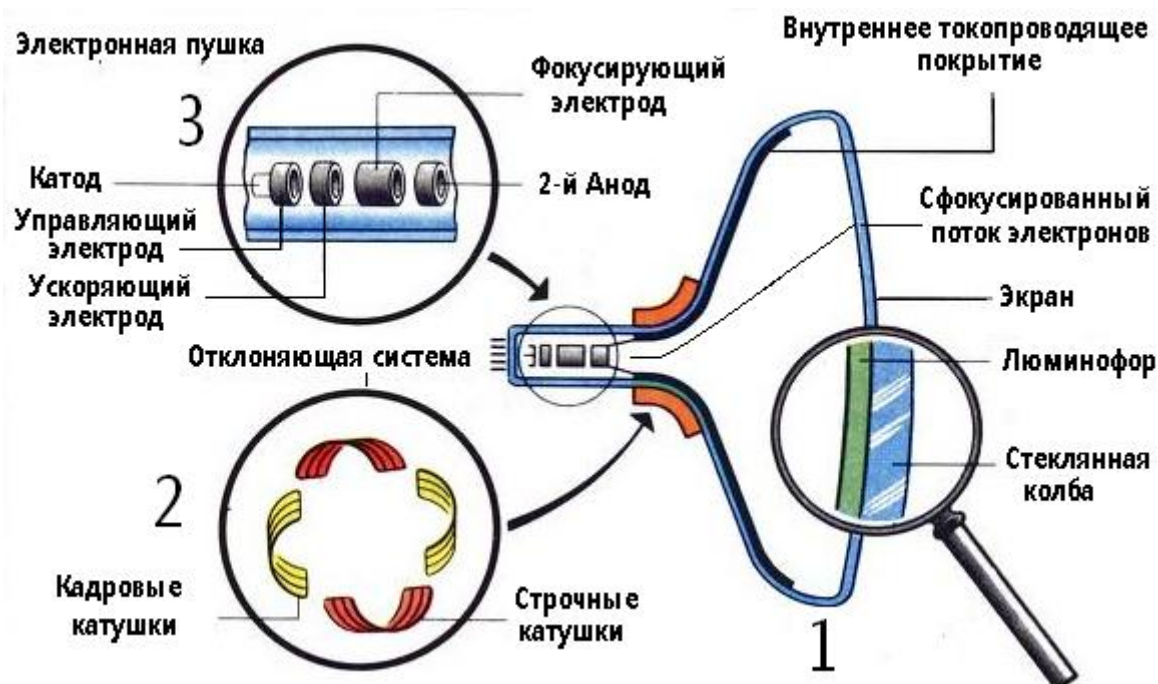


Рис.6.1. Устройство черно-белого кинескопа

Конструктивно кинескоп состоит из 3 основных частей: стеклянной колбы (1), электронно-оптической системы (электронной пушки) (2) - формирующей тонкий электронный луч, и люминофорного экрана (3).

Экран представляет собой слой люминофора, нанесенный на внутреннюю поверхность толстого стека и покрытый с внешней стороны тонкой пленкой алюминия. Эта пленка алюминия прозрачна для электронов и является отражателем для светового излучения люминофора. Дело в том, что люминофор излучает свет во все стороны, поэтому если обратное излучение отразить зрителю, то значительно повышается яркость экрана и его КПД преобразователя.

На горловине кинескопа помещается отклоняющая система электронного луча (2), содержащая пары кадровых и строчных катушек. Данные катушки подключаются к соответствующим генераторам разверток для формирования линейно изменяющегося магнитного поля, которое обеспечивает перемещение электронного луча по всей поверхности экрана в процессе развертки изображения.

Электронно-оптическая система, или электронная пушка (3), обеспечивает ускорение, фокусировку и управление плотностью тока электронного луча.

Пушка должна сформировать луч с током в несколько сот мкА и диаметром луча в плоскости экрана не более 0,5 мм, а также обеспечить возможность модуляции тока луча сигналом изображения. Причем для обеспечения требуемой контрастности при приемлемых уровнях модулирующего сигнала пушка должен обладать крутой модуляционной характеристикой. Фокусировка луча может осуществляться как электромагнитными, так и электростатическими полями. Однако в большинстве кинескопов используется электростатическая фокусировка, чтобы отказаться от дополнительных фокусирующих катушек.

Конструктивно электронная пушка представляет собой систему цилиндрических электродов (рис.6.1 (3)) и состоит из подогревного термокатода, управляющего электрода или модулятора, ускоряющего электрода (1-го анода), фокусирующего электрода и, ускоряющего второго анода. Построенная по такой схеме пушка называется пентодной и соответствует двухлинзовой оптической схеме. При этом фокусировка луча осуществляется в двух зонах: в поле иммерсионного объектива (модулятор-1-й анод) и в поле главной фокусирующей линзы.. Благодаря высокой разности потенциалов между катодом и ускоряющим электродом (катод заземлен $U_k = 0$, $U_y = 500-800$ В) и малому расстоянию между этими электродами в зоне иммерсионного объектива создается большая напряженность электрического поля. Эмитируемые с поверхности катода электроны попадают в это поле и собираются в плоскости фокуса в узкий пучок, сечение которого гораздо меньше диаметра той части катода, с которой попали в отверстие модулятора. Затем пучок снова расходится и попадает в поле главной фокусирующей линзы.

Управление величиной тока электронного луча напряжением, приложенным между катодом и управляющим электродом, часто называют модуляцией. Чем больше

отрицательное напряжение на модуляторе ($U_m = -10-40$ В), тем меньше ток луча.

Для преобразования сигнала в световое изображение используется явление **люминесценции**, заключающееся в способности атомов и молекул некоторых веществ испускать свет при переходе из возбужденного состояния (с повышенной энергией) в состояние с меньшей энергией. Такие вещества называются **люминофорами** (**lumen** – свет (лат.), **phos** – несущий (греч.)). В ТВ используется **катодолуминесценция** – **свечение** вещества под действием электронной бомбардировки быстролетающих электронов, эмитируемых с катода. **Люминофоры**, используемые для экранов кинескопов, могут быть различного химического состава, но обычно это **окислы или соли (сульфиды) цинка, кадмия, магния, кальция, активированные металлами.**

Важнейшими характеристиками экрана являются цвет свечения, инерционность и световая отдача.

Цвет свечения определяется типом выбранного люминофора, так в черно-белых телевизорах часто использовался люминофор **БМ-5**, являющийся смесью **сульфида цинка ($ZnS(AgZn)-47\%$)** и **сульфида кадмия ($Cd(Ag)-53\%$)**, имеющий голубоватый оттенок свечения экрана.

Инерционность определяет длительность возгорания и послесвечения люминофора. Длительность возгорания достаточно мала, поэтому основной составляющей инерционности является длительность послесвечения (время, в течение которого яркость уменьшается в 100 раз после прекращения возбуждения). В вещательных системах стремятся, чтобы время послесвечения было равно времени передачи кадра. При этом уменьшается заметность мельканий. Дальнейшее увеличение этого времени нежелательно, так как может привести к размытости (смазыванию) изображений движущихся объектов. Эффективность преобразования энергии электронов в световое излучение характеризуется **светоотдачей** экрана, определяемой отношением силы света, излучаемой экраном, к мощности электронного луча. Светоотдача **k** зависит от энергии электронов,

типа люминофора и способов его нанесения и может меняться от **0,1 до 15 кд/Вт**. С достаточной точностью $I=kP=ki_{\text{л}}u_2$. Т.к. светоотдача – величина постоянная, то силу света, а, следовательно, и яркость экрана может увеличить повышением мощности луча. Поскольку повышение тока луча **свыше 100-150 мкА** приводит к его заметной расфокусировке, то необходимо повышать ускоряющее напряжение. **Потенциал экрана необходимо поддерживать равным потенциалу второго анода (для черно-белых ТВ 12-18 кВ, для цветных 25 кВ)**. Для этого на слой люминофора наносят проводящее покрытие, электрически соединенное со вторым анодом. Обычно это пленка алюминия толщиной 0.05...0.5 мкм, практически прозрачная для электронов и непрозрачная для световых лучей. Она как зеркало отражает световое излучение люминофора во внутрь кинескопа, повышая светоотдача экрана более, чем в 1,5 раза. Кроме того, металлизация экрана позволяет увеличить контрастность крупных деталей за счет устранения подсветки экрана от внутренней поверхности колбы и деталей конструкции кинескопа. Однако, в толстых стеклах экрана наблюдается явление **ореола** - возникновение светлого кольца вокруг светящейся точки.

Ореол образуется вследствие того, что часть расходящихся световых лучей, от возбужденного люминофора, проходя сквозь стекло до границы стекло – воздух, отражается обратно к люминофору (рис.6.2).

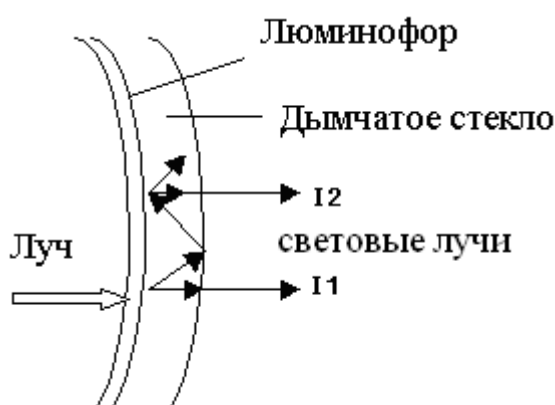


Рис.6.2. Возникновение ореола в структуре экрана кинескопа

Затем отразившись уже от границы стекло – люминофор подсвечивает соседние участки и снова пройдя стекло экрана воспринимается зрителем как световая окантовка вокруг яркой точки.

Ореол существенно снижает контраст мелких и средних деталей, поэтому для борьбы с этим явлением экраны кинескопов делают из специального дымчатого противоореального стекла, которое повышает контраст примерно в 15 раз.

Следует отметить, что промышленностью выпускались черно-белые кинескопы с диагональю экрана 6...71 см.

Условное графическое обозначение кинескопов состоит из четырех элементов, например 61ЛК2Б, где цифра 61 указывает в сантиметрах диагональ экрана; буквы ЛК – обозначают лучевой кинескоп; цифра 2 обозначает тип электронной пушки, а буква Б указывает цвет свечения экрана – белый.

6.2. Масочные кинескопы цветного телевидения

Для получения цветного изображения в телевизорах прошлого века использовался один цветной кинескоп, в котором цветные изображения формировались из трех цветоделенных по методу пространственного смещения цветов. При этом используется трехрастровая система, где формируется 3 отдельных растра – красный, зеленый, синий, с достаточной степенью точности совмещенные друг с другом. Для этого используется система из трех электронных пушек и трех люминофорных групп излучающих красный, синий и зеленый цвет. При этом правильность попадания каждого из лучей на люминофор своего цвета обеспечивается специальной мелкоячеистой стальной сеткой - **теневогой маской**, расположенной перед люминофорами. Поэтому такие кинескопы называются **масочными**. По способу расположения электронных

пушек и люминофорных групп различают **дельта-кинескопы** и **компланарные**.

В дельта-кинескопах (70-80-е годы прошлого века) пушки и люминофоры расположены в вершинах равностороннего треугольника, напоминающего греческую букву – дельта, отсюда и название кинескопа. А в **компланарных кинескопах** пушки и люминофорные группы находятся в **одной горизонтальной плоскости**.

Структура дельта-кинескопа, представлена на рис.6.3, где:

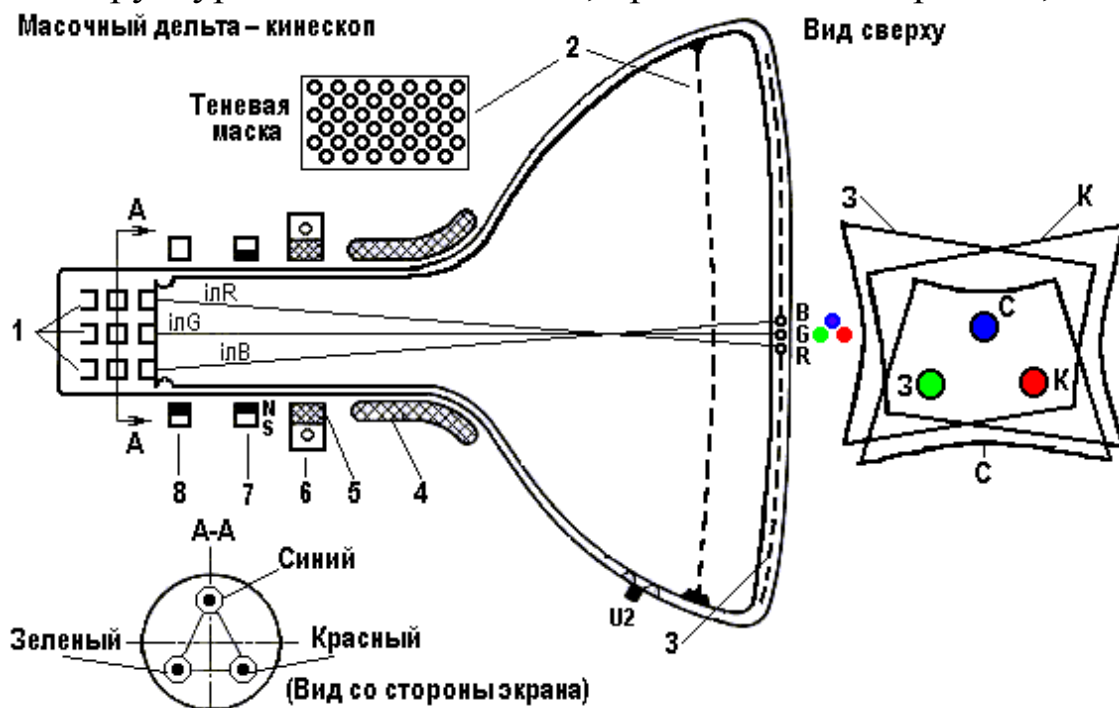


Рис. 6.3. Конструкция масочного дельта-кинескопа

- 1- стеклянная колба;
- 2- теневая маска;
- 3- мозаичный люминофорный экран;
- 4- отклоняющая система;
- 5- устройство динамического сведения лучей;
- 6- устройство статического сведения лучей;
- 7- 8 магниты чистоты цвета.

Конструктивно кинескоп представляет собой стеклянную колбу с люминофорным мозаичным экраном- 3, внутри

которого расположены 3 электронные пушки для красного, синего и зеленого цвета (RGB). Эти пушки расположены в вершинах равностороннего треугольника и имеют наклон к оси кинескопа примерно **1 градус**. Для пропускания электронных RGB лучей на «свои» люминофоры используется **тенивая маска-2** с отверстиями, которая установлена на расстоянии **12 мм** от экрана. Маска выполняется из листовой стали толщиной **0.15мм** и имеет отверстия диаметром **0.25мм**, число которых равно числу люминофорных триад (**$550000 \times 3 = 1650\ 000$**), **расположенных в шахматном порядке** (рис.6.3). Устанавливается маска в 12 мм от экрана и представляет собой фильтр, пропускающий на люминофоры в процессе развертки только электроны от своей пушки. То есть электроны от красной пушки должны попасть только на красный люминофор. А электроны от других пушек идут немного по другим траекториям и просто задерживаются маской. Для отклонения лучей используется **внешняя отклоняющая система- 4**.

Из-за особенностей конструкции дельта-кинескопов, в них возникает большое количество специфических искажений, для устранения которых приходилось вводить дополнительные внешние элементы:

- **магниты чистоты цвета- 7 и 8 для коррекции неточности установочных углов пушек, положения отклоняющей системы и магнитного поля Земли;**
- **устройства статического и динамического сведения лучей – 5 и 6, обеспечивающих точность сведения лучей в центре и по краям экрана. Эти узлы значительно усложняют конструкцию и настройку ТВ.**

Кроме того тенивая маска дельта кинескопа имела очень низкую прозрачность (примерно 20%), поэтому чтобы не падала яркость свечения экрана приходится увеличивать напряжение второго анода кинескопа до **25-30 кВ**.

К существенным недостаткам дельта кинескопов можно отнести следующие:

1. **Большая сложность регулировки динамического сведения лучей, поскольку 3 смещенных относительно оси**

кинескопа пушки формируют 3 смещенных относительно друг друга трапецеидальных раstra.

2. Низкая прозрачность теневой маски (20%), требует большой мощности источника питания второго анода 25 кВ.
3. Повышенная электронная бомбардировка маски может вызвать ее термическую деформацию и соответственно нарушение режима сведения лучей при работе телевизора.

КОМПЛАНАРНЫЙ КИНЕСКОП

К началу 90-х годов прошлого века технология производства кинескопов позволила уменьшить диаметр электронных пушек, что позволило разместить их в одной горизонтальной плоскости и создать компланарный кинескоп. Конструкция компланарного цветного кинескопа в целом аналогична конструкции дельта кинескопу. Отличие заключается в горизонтальном расположении пушек и люминофорных групп (рис. 6.4).

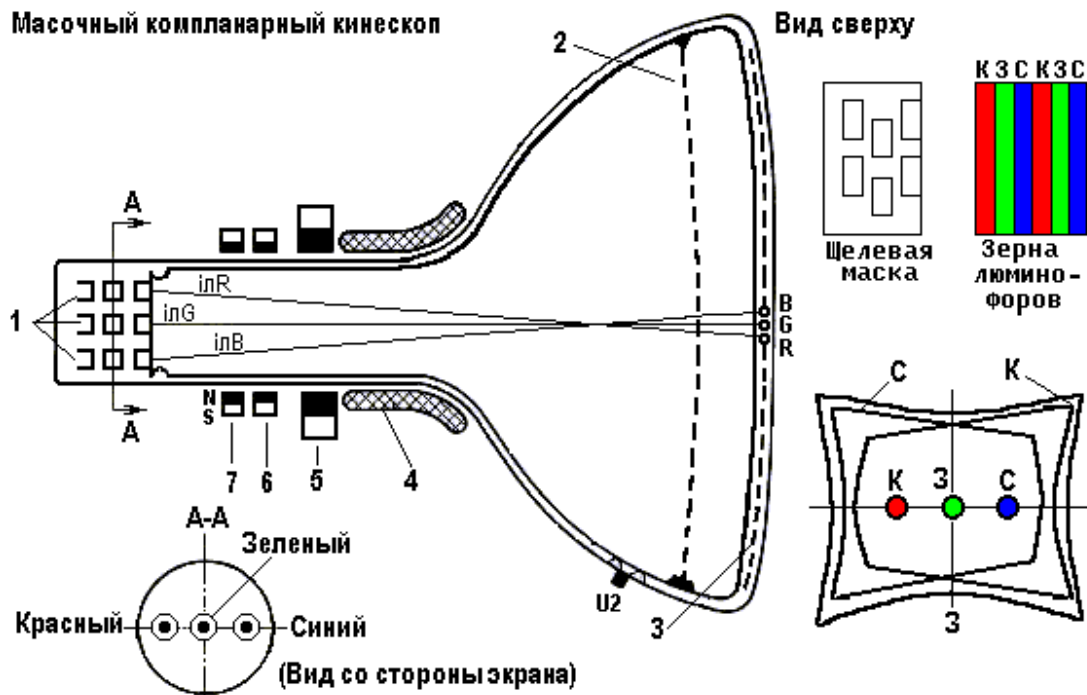


Рис.6.4. Конструкция компланарного кинескопа

Конструктивно кинескоп также представляет собой стеклянную колбу с люминофорным экраном- 3, где люминофорные группы выполнены в виде тонких вертикальных линий. В отличие от дельта кинескопа, здесь электронные пушки красного, синего и зеленого цвета (RGB), расположены в одной горизонтальной плоскости, причем зеленый совпадает с осью кинескопа, а остальные два повернуты относительно оси на $1,5^{\circ}$. Для направления электронных лучей на «свои» люминофоры используется щелевая тeneвая маска- 2 установленная на расстоянии 12 мм от экрана. Маска выполнена из листовой стали толщиной 0.15мм, но отверстия в ней выполнены в виде щелевых прорезей с горизонтальными перемычками для прочности, как показано на рис.6.4.

Основные преимущества такого кинескопа:

1. Расположение прожекторов в одной плоскости упрощает механизм динамического сведения лучей, т.к. отклонения растров симметричны и только у красного и синего лучей, и совмещать их нужно только в горизонтальной плоскости;
2. Повышается яркость свечения экрана, т.к. у щелевой маски прозрачность гораздо выше и составляет примерно 85%;
3. Улучшается чистота цвета, т.к. «чужой» луч может попасть на другую полосу только в горизонтальном направлении;
4. Появляется возможность построить кинескопы по принципу самосведения лучей. Дело в том, что в равномерном магнитном поле отклонение лучей приводит к расслоению вертикальных линий слева и справа. Однако это расслоение может быть скорректировано неравномерным магнитным полем. Это достигается подбором формы и плотности распределения витков катушек отклоняющих систем. Поэтому можно отказаться от сложных схем динамического и статического сведения лучей.
5. Использование вертикальных полос люминофоров в значительной степени ослабляет влияние магнитного поля Земли на цветовоспроизведение при перемещении телевизора. Так как вектор напряженности магнитного поля направлен горизонтально, то оно вызывает лишь вертикальное смещение

электронных лучей, и каждый из трех их следов остается в пределах своей полоски люминофора. Это важное свойство кинескопов со штриховым экраном позволяет создать переносные цветные телевизоры, пригодные для работы на подвижных объектах (автомобилях, самолетах, поездах).

6.3. Кинескопы цветного ТВ типа Тринитрон и Хроматрон

Для повышения яркости свечения экрана и снижения его энергопотребления японская фирма «Sony» разработала кинескоп названном **тринитроном**, устройство которого показано на рис.6.5.

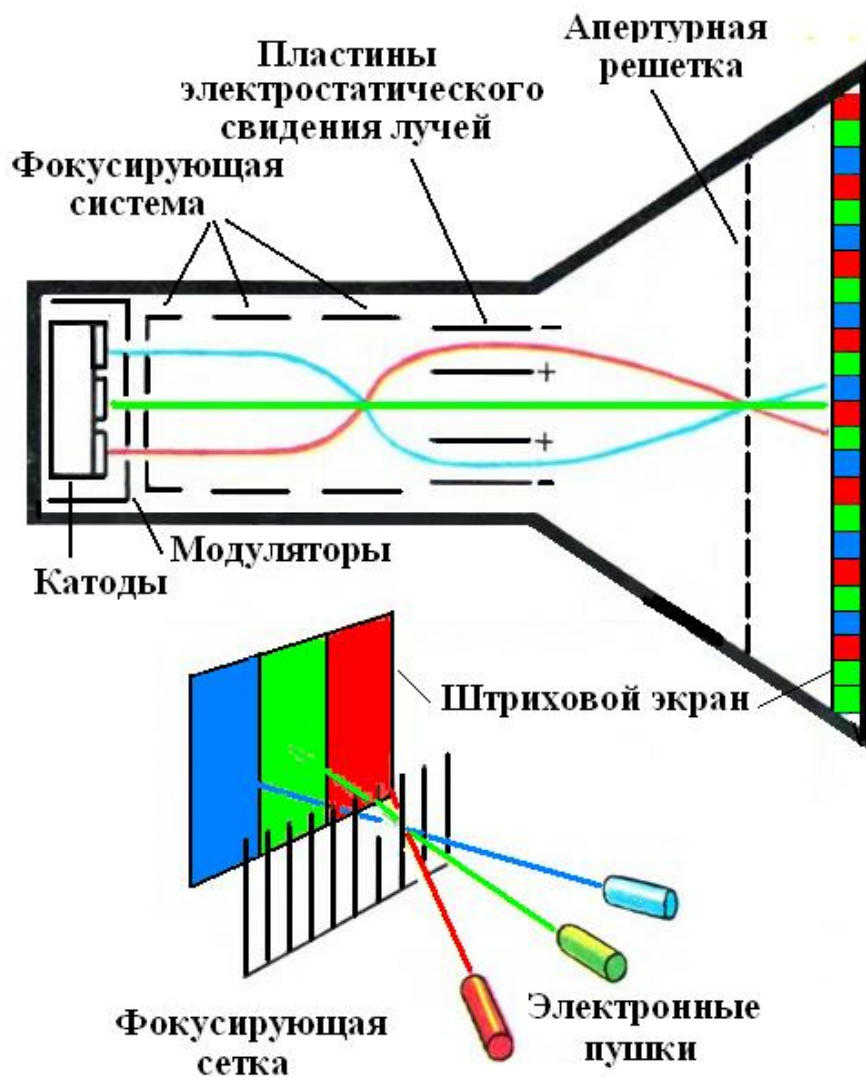


Рис.6.5. Схема устройства кинескопа Тринитрон.

Тринитрон представляет собой трехпушечную конструкцию и имеет три катода, одну общую для всех трех лучей электростатическую фокусирующую систему. Кроме того, в тринитроне вместо магнитной системы динамического сведения лучей применена более простая и экономичная электростатическая система.

Фокусирующая система обеспечивает пересечение лучей перед пластинами системы сведения. Постоянное напряжение на этих пластинах обеспечивает сведение трех лучей на соответствующих полосках люминофора экрана. А точное сведение лучей обеспечивает фокусирующая сетка из параллельных тонких проводов (рис.6.5). При этом каждому промежутку между соседними проводами соответствуют три полоски люминофоров на штриховом экране. Такие кинескопы получили название **трехлучевых хроматронов**, которые из-за высокой прозрачности фокусирующей сетки (80—90%), широко использовались в переносных телевизорах. Они позволяли получить большую яркость изображения (200—300 кд/м²) при сравнительно небольших затратах энергии. Кроме того, фокусирующая сетка придает электронному лучу в сечении форму эллипса, вытянутого вдоль полосок экрана. Поэтому ширина луча примерно в два раза меньше ширины полоски экрана, что способствует получению хорошей чистоты цвета и снижению влияния внешних магнитных полей. На сетку обычно подается напряжение, меньшее, чем на экран (например, при $U_{э} = 20\text{кВ}$, $U_{с} = 7\text{кВ}$), что снижает паразитную засветку экрана вторичными электронами, эмитируемыми сеткой.

Другим важным преимуществом такого режима является эффективное послеускорение электронов в промежутке сетка — экран и, следовательно, малая требуемая мощность для отклонения лучей, так как до сетки электроны обладают сравнительно малой скоростью.

Благодаря высокой прозрачности сетки трехлучевые хроматроны по своим энергетическим и конструктивным характеристикам близки к соответствующим по размерам экрана черно-белым кинескопам. Однако они требуют

динамического сведения трех лучей и повышенной по сравнению с черно-белыми кинескопами мощности отклонения из-за сравнительно толстой горловины.

Устранить указанные недостатки позволяет **однолучевой хроматрон с так называемым послеотклонением**. В нем направление электронного луча изменяется дополнительно вблизи экрана после воздействия на него основного отклоняющего поля.

Устройство однолучевого хроматрона показано на рис.6.6.

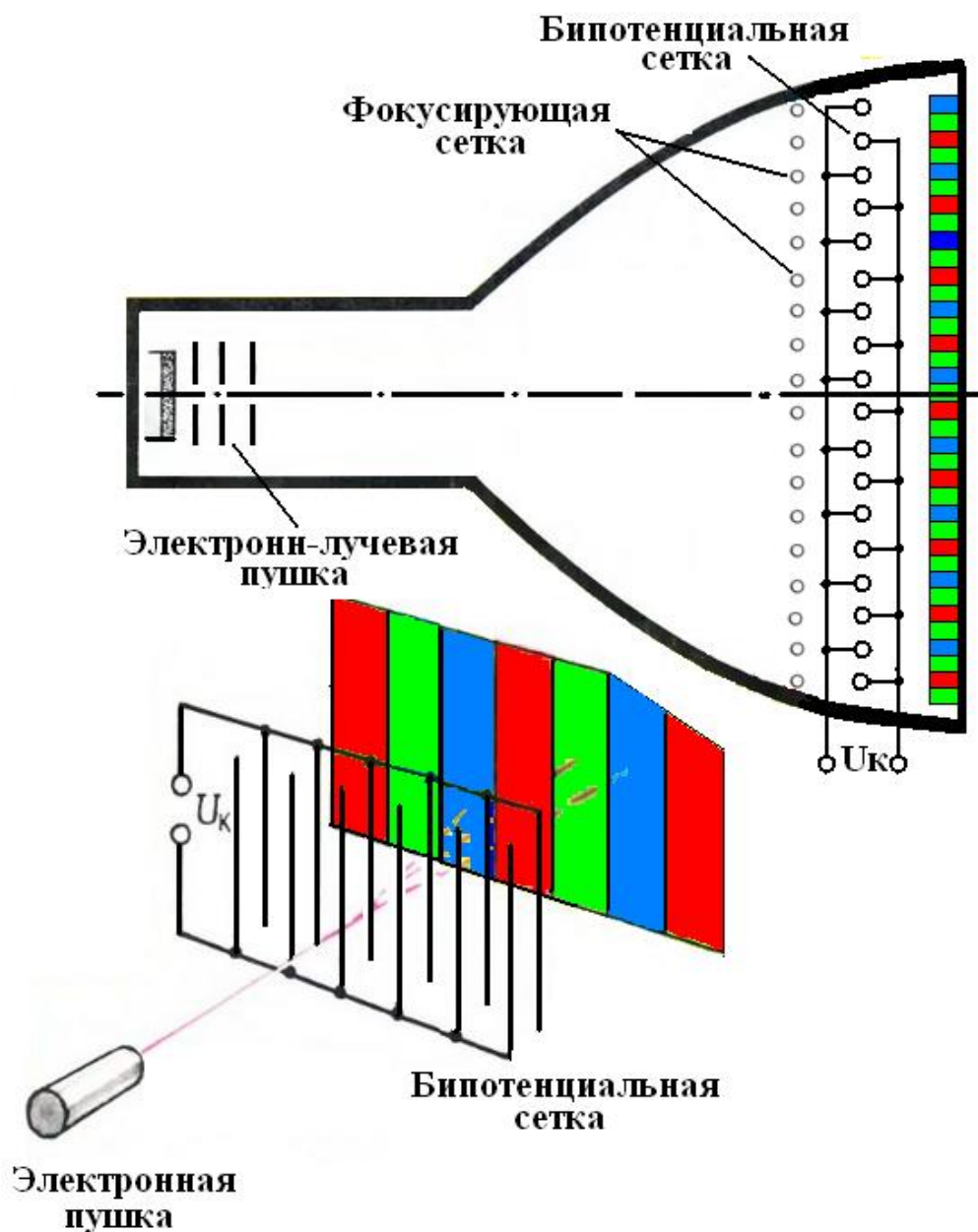


Рис.6.6. Устройство однолучевого хроматрона.

Основными элементами его конструкции являются **электронная пушка, штриховый экран и расположенная вблизи него бипотенциальная сетка**. В качестве пушки используется обычная электроннооптическая система черно-белого кинескопа. В отличие от фокусирующей сетки трехлучевого хроматрона (рис.6.5.) **бипотенциальная сетка** однолучевого хроматрона состоит из двух изолированных друг от друга групп параллельных проводников. В каждой группе они соединены между собой. Экран однолучевого хроматрона так же, как и трехлучевого, имеет вертикальную штриховую структуру. Однако вместо чередования полос люминофоров К, З, С, К, З, С,.., в нем применяется либо чередование **К, С, З, С, К, С, З, С,...**, либо — К, С, К. З, К, С, К. З, К,.. либо — К, З, С, З, К, З, С, З.... При каждом из указанных чередований число полосок люминофора одного цвета равно сумме полосок люминофоров двух других цветов.

Коммутацией напряжения на бипотенциальной сетке в процессе развертки обеспечивается послеотклонение электронного луча для попадания его на полоски люминофора соответствующего цвета.

Наличие одной электронной пушки вместо трех позволяет исключить устройства сведения лучей и уменьшить диаметр горловины до величины, обычной для черно-белых малогабаритных кинескопов (12—20 мм). Поэтому однолучевой хроматрон по размерам и конструкции мало отличается от соответствующих черно-белых кинескопов. Это позволяет выполнить цветной телевизор, аналогичный по конструкции черно-белым телевизорам.

Существенным недостатком однолучевого хроматрона ранних выпусков являлась некоторая потеря четкости по сравнению с масочными кинескопами. Однако на экранах небольших размеров (до 30 см) эта потеря практически незаметна. Кроме того, в последующих моделях были применены способы повышения четкости изображений.

6.4. Плоскопанельные жидкокристаллические экраны

Основными недостатками кинескопов является большие размеры экранов и принципиальное наличие геометрических искажений изображений, что требует специальных устройств управления движения луча для коррекции раstra. Поэтому для существенного снижения толщины экрана и устранения геометрических искажений были созданы плоскопанельные экраны с жестким растром. Одной из первых разработок стал экран на основе жидких кристаллов (ЖК или LCD).

Эффект жидкого кристалла в изменении прозрачности некоторых веществ был открыт еще в 1888 году австрийским ботаником Ф. Рейнитцером. Но понадобилось почти еще 100 лет, чтобы группа английских химиков под руководством Джоржа Грея в 1973 года смогла получить жидкие кристаллы из относительно дешёвого и доступного сырья. И только после этого они получили широкое распространение.

Жидким кристаллом (Liquid Crystal) называют текучее вещество с кристаллической структурой. Жидкие кристаллы обладают уникальными оптическими свойствами под действием электрического поля, поэтому их используют при изготовлении матриц жидкокристаллических экранов.

В отличие от кинескопов и других типов светящихся экранов, ЖК экраны сами свет не генерируют, а являются преобразователями светового потока, излучаемого внешним источником (чаще всего - неоновой лампой или светодиодной подсветки). Принцип их действия основан на эффекте поляризации света, пропущенного через жидкокристаллическое вещество в электромагнитном поле. Жидкий кристалл, в отличие от обычного, не имеет упорядоченной внутренней структуры, молекулы в нем расположены хаотично и могут свободно перемещаться. Пропущенный через такой кристалл свет не изменяет своей поляризации. Однако если на молекулы жидкого кристалла воздействовать внешним электрическим полем, то они выстраиваются в упорядоченную структуру, и свет, пропущенный через такую среду, приобретает направленную

поляризацию. Однако, человеческий глаз не способен зафиксировать изменение плоскости поляризации светового потока без дополнительных устройств. Поэтому на внешнюю часть ЖК-матрицы обычно ставится еще один поляризованный слой, который не пропускает свет поляризации другой направленности (отличной на 90 градусов), но пропускает неполяризованный свет (рис.6.7).

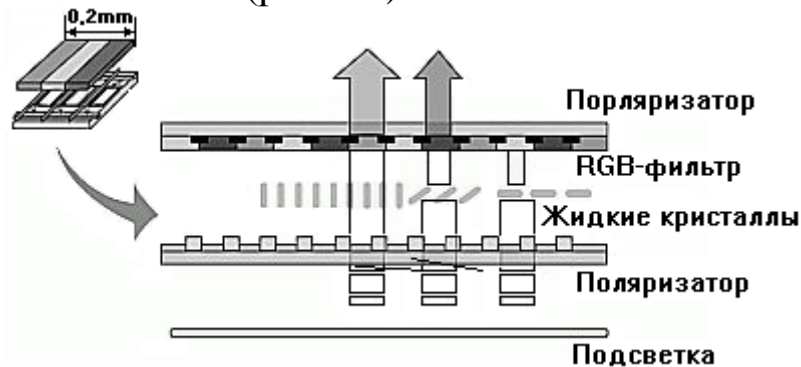


Рис.6.7. Зависимость пропускания света от ориентации молекул ЖК

Таким образом, на основе молекул жидких кристаллов первый рабочий экран был создан Фергесоном (Fergason) в 1970 году. До этого жидкокристаллические устройства потребляли слишком много энергии, имели низкий срок службы и плохой контраст. При этом первые жидкие кристаллы отличались своей нестабильностью и были мало пригодными к массовому производству. Реальное развитие ЖК технологии началось с изобретением английскими учеными стабильного жидкого кристалла - бифенила (Biphenyl).

Поскольку технологии создания ЖК экранов постоянно развивается, то на сегодняшний день известны следующие технологии матриц: **TN+Film** или просто **TN, IPS, MVA, PVA,**

TN матрицы использовались в первых экранах массового производства. Они обладающими самой простой конструкцией, но относительно низким качеством изображений. Данная технология основана на том, что при отсутствии напряжения субпиксели пропускают через себя свет, формируя на экране белую точку. При подаче напряжения на субпиксели, они

выстраиваются в определенном порядке, образуя собой пиксель заданного цвета (рис.6.8).

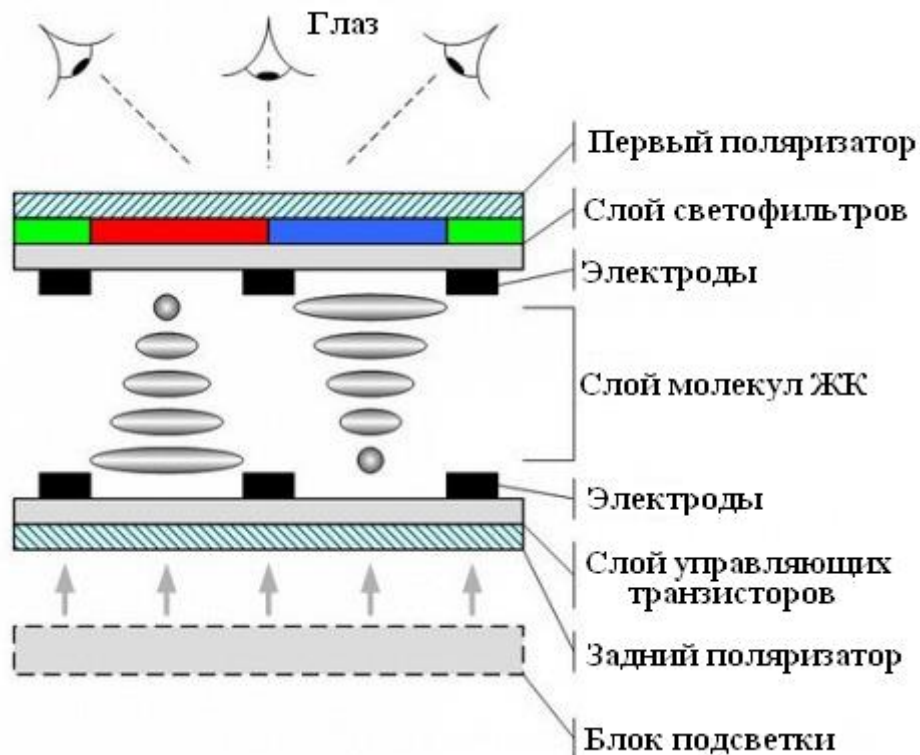


Рис.6.8. Строение ЖК панели типа TN

Данная матрица имеет **малое время отклика** и **относительно недорогая**. А к недостаткам можно отнести следующее:

- наблюдается искажение цветопередачи при которой цвета отображаются более тускло и блекло, а черный цвет выглядит скорее темно-серым.
- малые углы обзора без нарушения цветопередачи. Частично увеличить угол обзора до 90° - 150° удалось с помощью дополнительного слоя, нанесенного на экран по технологии TN+Film , но все равно угол обзора не достаточен.

VA/MVA/PVA матрицы

Технология VA (vertical alignment — вертикальное выравнивание) была разработана компанией Fujitsu в 1996 году. Жидкие кристаллы матрицы VA при выключенном напряжении

выровнены перпендикулярно по отношению ко второму фильтру, то есть не пропускают свет (рис.6.9,а). При приложении напряжения кристаллы начинают поворачиваются увеличивая пропускную способность. Так пи максимальном значении сигнала ЖК выстраиваются горизонтально, поворачиваясь на 90° , и на экране появляется светлая точка.

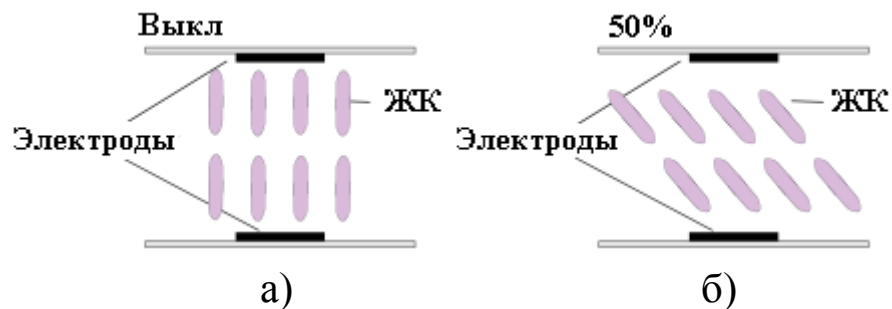


Рис.6.9. Технология VA - матрицы

Основным недостатком VA матрицы являлся маленький угол обзора. Это связано с тем, что если смотреть на экран сверху (рис.6.9,б) то кристаллы относительно глаза будут расположены под углом 45 градусов и пиксель будет иметь серый цвет. Однако, если смотреть справа, то относительно глаза кристаллы будут под прямым углом, что соответствует **белому цвету**. А если посмотреть слева, то есть вдоль кристаллов, то будет наблюдаться уже черный цвет. Таким образом, VA-матрицы имели не просто маленькие углы обзора, но еще и зависимость цветопередачи от направления взгляда.

Технология MVA. Для увеличения угла обзора компанией Fujitsu была предложена мультидоменная структура Multi-Domain Vertical Alignment (MVA) в которой каждый пиксель делится на домены срабатывающие синхронно. Причем, каждая из зон или доменов оптимизирована для наилучшей светоотдачи в своём секторе обзора.

Технология MVA предусматривает выступы на обкладках, которые определяют направление поворота кристаллов (рис.6.10). Если два поддомена поворачивается в противоположных направлениях, то при взгляде сбоку один из них будет темнее, а другой светлее, таким образом для человеческого глаза отклонения взаимно компенсируются.

Таким оригинальным образом была решена проблема сильно ограниченных углов обзора в исходной технологии VA. Однако, это справедливо для всех случаев, когда не отображается белый цвет. При белом цвете все кристаллы располагаются почти параллельно плоскости матрицы.

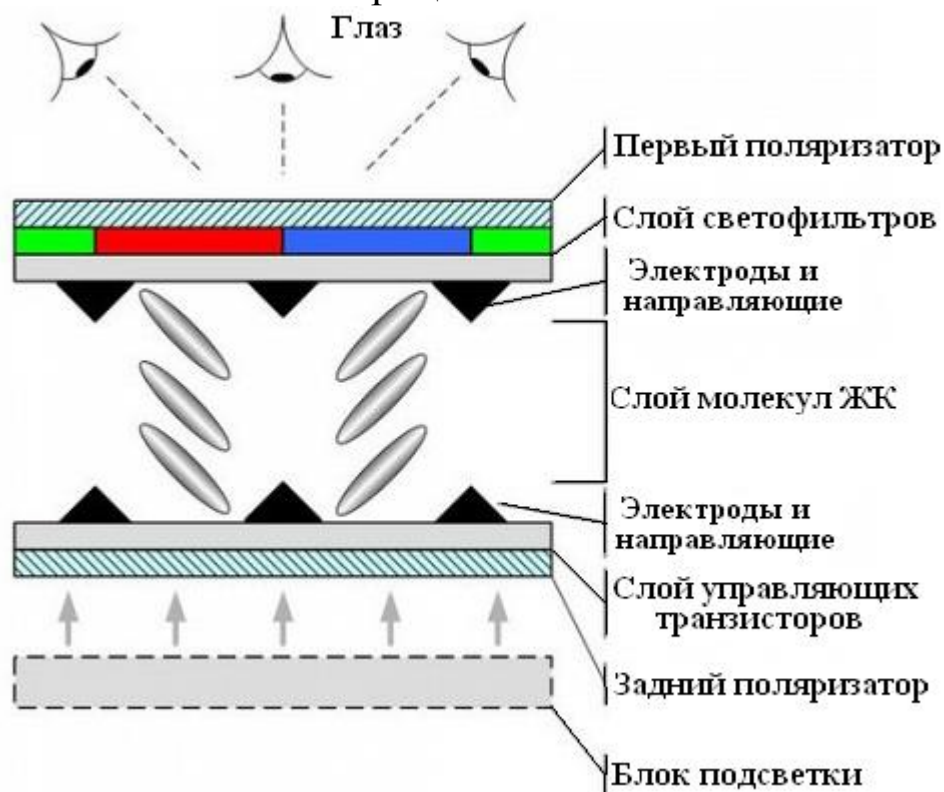


Рис.6.10. Технология MVA - матрицы

Кроме того, из-за очень большой сложности изготовления экранов в структуре экранов наблюдаются не управляемые пиксели, называемые «битыми». А поскольку в выключенном состоянии пиксель не пропускает свет, то битые пиксели на MVA-матрицах выглядят черными точками.

Разновидностью MVA является технологии PVA (Patterned Vertical Alignment - Упорядоченное Вертикальное Выравнивание) от Samsung. Данная технология во многом аналогична MVA и отличающаяся тем у Samsung нет выступов, и в выключенном состоянии кристаллы ориентированы строго вертикально. Для того, чтобы кристаллы соседних субдоменов поворачивались в

противоположных направлениях, нижние электроды сдвинуты относительно верхних.

Следует отметить, что MVA и PVA матрицы обладают высокой контрастностью и углами обзора до 170° . А к недостатку матриц можно отнести большое время отклика или инерционность. Причем время отклика растет при уменьшении разницы между конечным и начальным состояниями пикселя.

Технология IPS (In-Plane Switching – переключение в плоскости) разработанная Hitachi и NEC в 1989 году. Отличительная особенность состоит в том, что оба управляющих полупрозрачных электрода расположены в одной плоскости – только на нижней стороне ЖК-ячейки (рис.6.11).

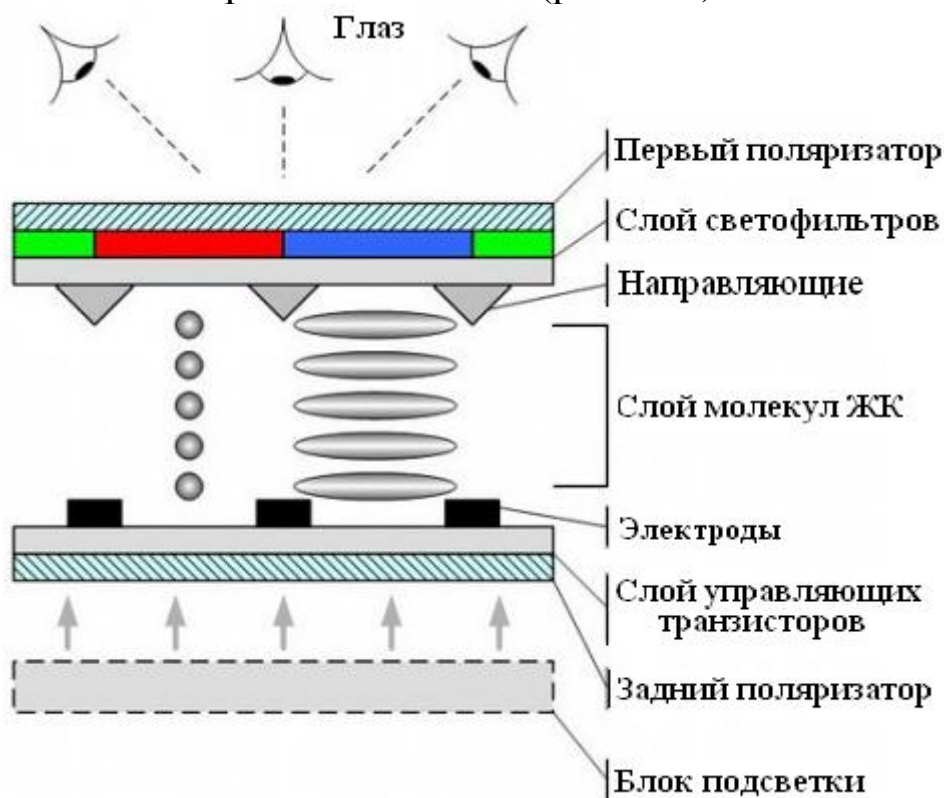


Рис.6.11. Технология IPS – матрицы

Жидкие кристаллы располагаются иначе и в отключенном состоянии пропускают свет. Чем больше управляющее напряжение – тем больше кристаллы закручивают поляризацию

светового пучка. Кроме этого, IPS-матрицы имеют больший, чем у TN+Film, угол обзора. Но есть у этой технологии и значительный недостаток - большое время отклика субпикселей - до 50 мс которое у современных моделей снижено до 20 мс. Таким образом PVA-матрицы являются улучшенным вариантом MVA демонстрируют намного более высокую контрастность (600-800) и имеют значительно более предсказуемое качество изготовления благодаря производству на заводах только одной компании.

TFT технология – технология тонкопленочных транзисторов. Понятие TFT относится не к технологии изготовления матрицы из жидких кристаллов, а к способу выбора ее элементов при формировании изображения. При этом выбор элемента матрицы осуществляется за счет управляющих сигналов по линиям рядов и колонок. Если управляющие элементы (ключи) находятся на начале линий, формирующих ряды и колонки, то такие матрицы называют пассивным. При этом из-за больших размеров матриц и различной удаленности пикселей от управляющих устройств возникают разные условия их срабатывания. Это в пассивных матрицах вызывает ухудшение таких параметров изображения, как яркость, контрастность и т.д. и увеличение времени отклика.

TFT технология активных матриц, которая появились в 1972 году для создания ЖК-экранов на основе тонкопленочных транзисторов. По сравнению с пассивной ЖК-матрицей, активная матрица обладает гораздо большим быстродействием, четкости и контрастности изображения, а также большим углом видимости. Элементом управления для каждого пикселя становится тонкопленочный полевой транзистор, или диодная структура (**технологии TFD**), работающие в качестве управляющего ключа (рис.6.12). В TFT-экране управление коэффициентом пропускания ЖК-ячеек производится модуляцией управляющего напряжения. Значение контраста определяется напряжением. Различают прямую модуляцию, при которой в каждом кадре развертки для каждого пикселя

обеспечивается «честная» модуляция контраста за счет использования преобразования кода в аналоговое значение напряжения, которое поступает на элемент памяти и воздействует на ЖК-материал. При этом точность передачи полутонов изображения определяется точностью формирования управляющих напряжений.

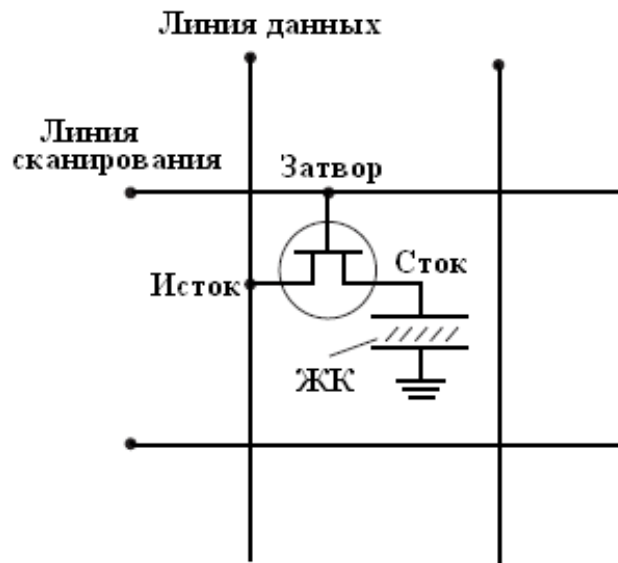


Рис.6.12. Принцип коммутации пиксельной ячейки на TFT.

На рис.6.13 показан фрагмент типовой структуры активной матричной адресации. Драйверы строк представляют собой сдвиговый регистр со схемой сдвига уровня напряжений. Сдвиговый регистр обеспечивает последовательную выборку строк одна за другой. Конденсатор элемента памяти в схеме управления пикселем реализован на емкости, образованной электродами стока и затворной шиной следующей строки. Аналоговый видеосигнал данных проходит с выходов столбцового драйвера через столбцовые электроды на истоки управляющих TFT-транзисторов матрицы. При этом уровни сигналов на затворах открывают каналы транзисторов, и уровень напряжения на шине истока заряжает конденсаторную ячейку памяти. Потенциал на ячейке памяти должен храниться до следующего цикла записи данной строки. Однако за счет паразитных утечек конденсатор памяти за время полукадра (20 мс) немного

разряжается. Поэтому величину разряда корректируют при записи.

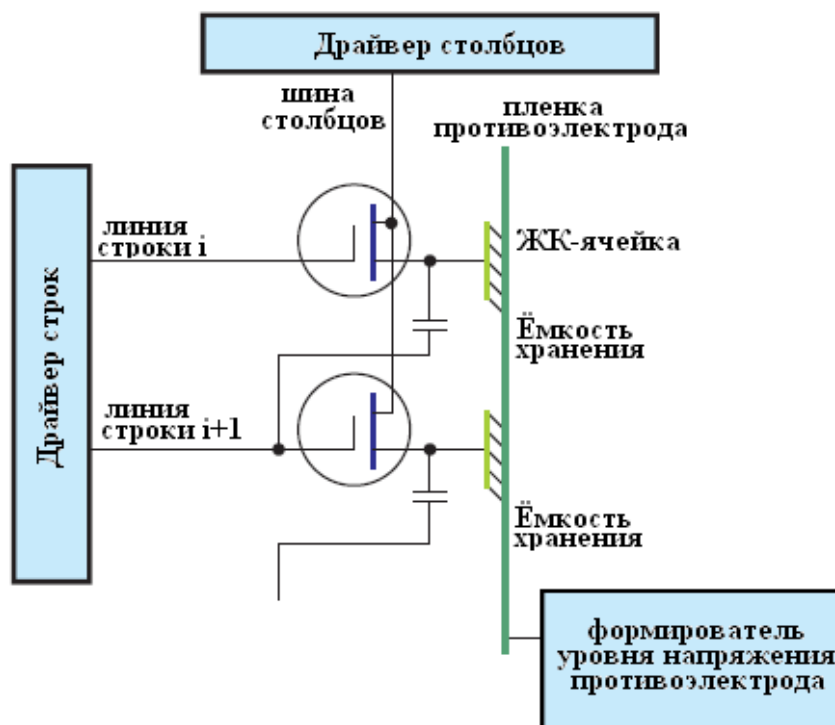


Рис.6.13. Типовая структура активной матрицы адресации

Сигнал управления ЖК-ячейкой определяется разностью потенциалов между противозлектродом и электродом пикселя. При этом для нормальной работы ЖК-ячейки требуется периодическая смена полярности приложенного к электродам ячейки напряжения. Напряжение задается разностью потенциалов на электроде пикселя и противозлектроде, а смена полярности может обеспечиваться двумя методами.

В первом методе при смене фазы полярности одновременно меняется полярность и на противозлектроде и на электроде пикселя через инверсию управляющих напряжений столбцов. Смена полярности рабочих напряжений может производиться с разной периодичностью — через строку, через несколько строк или через кадр. Также может применяться и способ, при котором в каждой строке активной матрицы идет чередование полярности управляющих напряжений в смежных пикселях.

Возможен и другой способ смены полярности, при котором потенциал противозлектрода остается постоянным, а

производится смещение вверх или вниз потенциал на электродах пикселя. Этот метод называется «direct». Благодаря этому увеличивается контраст изображения, его четкость, повышается быстродействие монитора.

В структуре столбцового драйвера может применяться только один из описанных способов управления транзистором ЖК-ячейки. Этот параметр явно указывается в спецификации на драйвер. Также в характеристиках столбцового драйвера указываются уровни используемых напряжений и методы смены полярности.

Конструкция и принцип работы ЖК экрана с TFT управлением

На рис.6.14 представлена структура ЖК экрана с TFT управлением.

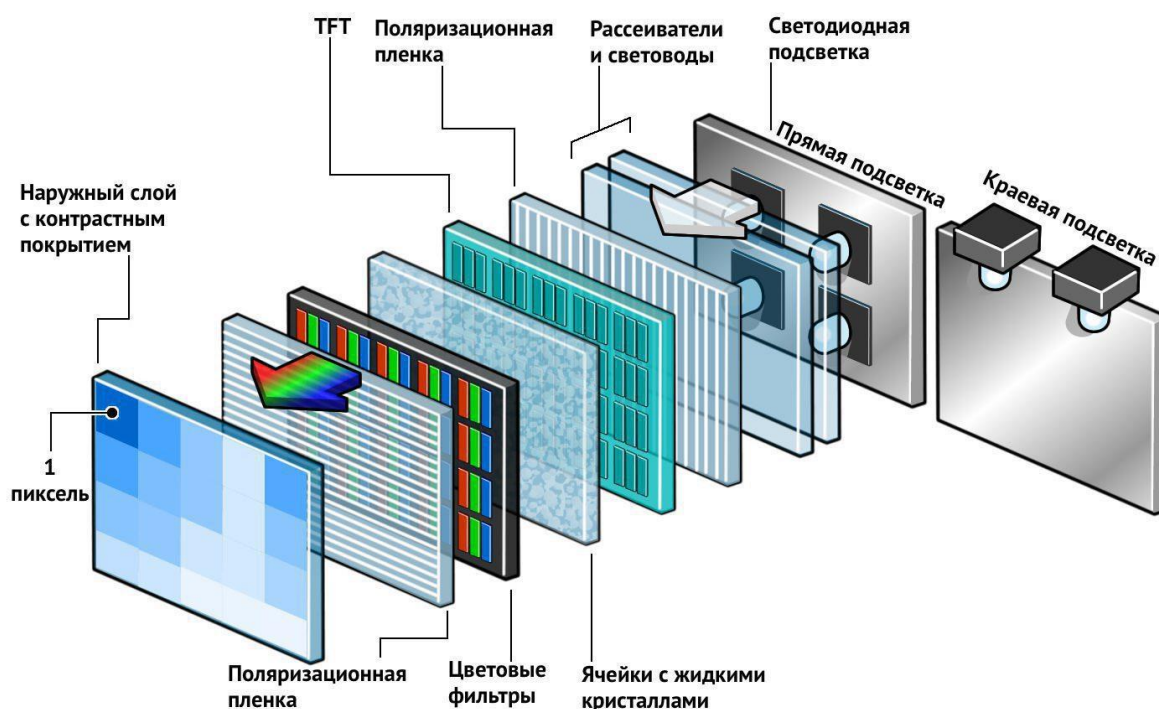


Рис.6.14. Структура ЖК экрана с TFT управлением

Поскольку ЖК экраны сами по себе свет не излучают, то в них устанавливается дополнительный источник света в виде специальных флуоресцентных ламп или светодиодов, устанавливаемых за матрицей. В современных ЖК экранах

обычно используется массив светодиодов. При этом диоды располагаются либо фронтально за матрицей - прямая подсветка, либо по контуру дисплея - боковая или краевая подсветка.

В дисплеях с боковой подсветкой сложно обеспечить одинаковую яркость света пикселей по всему экрану, потому в них используется отраженный свет. Но полностью выровнять яркость подсветки по всему полю кадра не удастся, поэтому в таких дисплеях можно контролировать только яркость определенной крупной области.

С полной фронтальной подсветкой диоды можно расположить так, чтобы управлять каждым из них или конкретной зоной. Самое высокое число диодов в ЖК-дисплее на данный момент составляет 5 200 штук, которые размещаются только на панели размером в 100 дюймов. При этом каждый диод освещает примерно 6 400 пикселей, что обеспечивает разрешение ультра высокой четкости (UHD).

Для того, чтобы световое излучение подсветки сделать более рассеянным и однородным, свет проходит через несколько уровней пластика (рассеиватели и световоды). Эти слои пластика расположены между диодами и жидкими кристаллами, поэтому экраны с полной подсветкой довольно толстые.

Далее световой поток проходит поляризационную пленку, которая представляет собой оптический фильтр пропускающий лучи только с вертикальной поляризацией. Далее световой поток проходит сквозь тонкопленочные транзисторы, которые обеспечивают запись мгновенного значения видеосигнала в соответствующий конденсатор пиксельной ячейки. Это напряжение создает управляющее электрическое поле, изменяющее ориентацию ЖК и соответственно изменение направление плоскости поляризации светового потока. Для управления интенсивностью каждого из базовых цветов (RGB) технология ЖК использует ячейки с жидкими кристаллами (органической суспензии) в каждом пикселе. После световой поток проходит через цветофильтры, пропускающие его красную, зеленую и синюю составляющие. Эти интерференционные тонкопленочные цветофильтры нанесены на стеклянную

подложку и расположены рядом друг с другом. Если вблизи внимательно присмотреться к экрану, то на нем можно разглядеть эти красные, зеленые и синие субпиксели, которые создают полноценный пиксель.

При этом скорость изменения цветов в ЖК-матрице зависит от скорости переориентации кристалла. Этот показатель влияет на размытие и следы, которые видны на динамичной картинке. Для устранения яркостных искажений на изображениях с большой скоростью движения видеообъектов желательно, чтобы кристаллы изменяли ориентацию мгновенно. Но на практике из-за их инерционности этого сделать невозможно. На сегодняшний день у лучших образцов экранов это время изменения ориентации кристалла занимает миллисекунды, что и порождает размытость изображения.

После цветового фильтра излучения субпикселей проходит через пленку второго поляроида, регулирующего интенсивность свечения пикселей. Если плоскость поляризации пропускающего света совпадает с плоскостью поляризации фильтра, то яркость свечения пикселя будет максимальной. Если плоскости поляризации света и фильтра будут взаимно перпендикулярны, то есть составлять 90° , то свет через фильтр проходить не будет и цвет пикселя будет черным. Все остальные цвета будут определяться вращением плоскостей поляризации света в интервале от 0 до 90° .

Кроме того, после прохождения света через кристалл его интенсивность во всех направлениях отрегулировать уже невозможно. Это связано с тем, что сам принцип, основанный на использовании жидких кристаллов, состоит в том, что большая часть светового потока направлена вперед. Поэтому максимальная световая и цветовая интенсивность получится только в том случае, если зритель находится непосредственно перед телевизором.

Также следует отметить, что на сегодняшний день технология TFT используется практически всеми производителями плоских мониторов и телевизионных экранов.

К недостаткам таких дисплеев относится их более высокая стоимость и большее энергопотребление. Кроме того матрицы содержат большое количество транзисторов. Так матрица с разрешением 1280 x 1024 пикселя, имеет около 4 миллионов транзисторов в субпиксельных RGB ячейках ($1280 \times 3 \times 1024 = 3.932.160$ транзисторов). Поэтому из-за несовершенства технологических процессов них чаще встречаются неработающие пиксели.

Кроме того в таких экранах возникает проблема масштабирования и изменения разрешения изображения. Это связано с тем, что каждый пиксель находится в фиксированном положении и тем самым определяет разрешающую способность TFT экрана. Тогда есть число пикселей соответствует максимальной разрешающей способности. Но при уменьшении разрешения, например, при просмотре видео, изображение «подгоняется» до размера дисплея. При этом из-за активного управления каждым пикселем изображение для меньших разрешений повторно пересчитывается. Если используется целый коэффициент масштабирования (например, при переходе на 800 x 600 с 1600 x 1200) высота и ширина каждого пикселя удваивается. Однако в случае не целого коэффициента масштабирования (например, при переходе к 800 x 600 с 1024 x 768 – 1,28) ситуация значительно усложняется. Это связано с тем, что при математическом округлении возникают ошибки, которые приводят к возникновению искажений изображений.

6.5. Плоскопанельные плазменные экраны

Принцип действия плазменного экрана или плазменной дисплейной панели (PDP - Plasma Display Panel) основан на свечении люминофоров экрана под действием ультрафиолетовых лучей, возникающих при электрическом разряде в плазме (разреженной газе). Вообще исторически первый патент на плазменную ячейку был выдан Дональду Битцеру, Жене Слоттову и Роберту Вильсону в 1964. А в 1971

году фирма Owens-Illinois получила лицензию на производство плазменных дисплеев.

Плазменная панель представляет собой матрицу газонаполненных ячеек, заключенных между двумя параллельными стеклянными поверхностями. В качестве газовой среды обычно используется неон или ксенон.

Конструктивно плазменная панель представляет собой две тонкие стеклянные пластины, на которые нанесены полупрозрачные электроды (шины) для коммутации строк (на лицевом стекле) и столбцов изображения (на заднем стекле, являющемся подложкой) (рис 6.15).

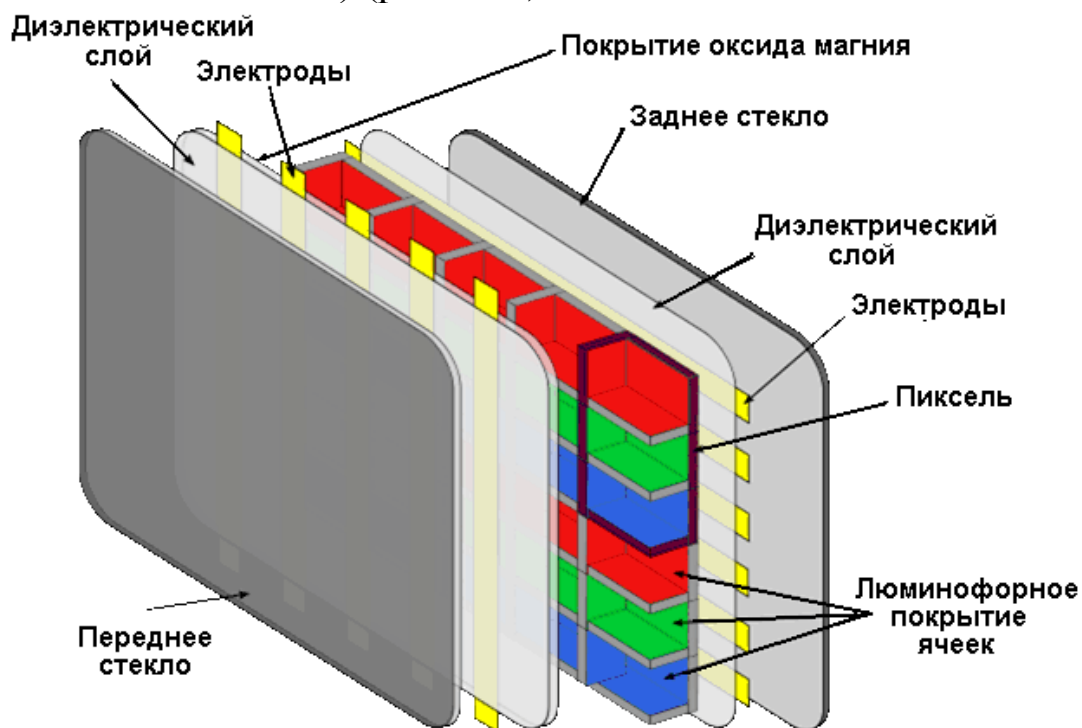


Рис. 6.15. Принцип конструкции плазменной панели

На внутренней поверхности передней прозрачной стеклянной пластины напротив каждого субпикселя расположены два тонкопленочных электрода: **электрод сканирования и электрод подсветки**. На внешней поверхности задней стеклянной пластины поперек всех пикселей расположен **электрод адресации**. Таким образом, образуется прямоугольная матрица, ячейки которой находятся на пересечении электродов строк и столбцов. На стекле-подложке сформирован

специальный профиль в виде стеклянных ребер, изолирующих соседние ячейки друг от друга. На внутренней поверхности стекла подложки нанесены чередующиеся полосы люминофоров первичных цветов *R*, *G*, *B*, образующих триады субпикселей.

В качестве люминофоров используются следующие составы:

- Зелёный: $Zn_2SiO_4Mn_{2+} / BaAl_{12}O_{19}Mn_{2+}$
- Красный: $Y_2O_3Eu_{3+}$
- Синий: $BaMgAl_{10}O_{17}Eu_{2+}$

где *Y* – иттрий, *Eu* – европий, *Mn* - марганец

При этом зеленый люминофор дает излучение с длиной волны между **510 и 525 нм**, красный - **610 нм**, синий - **450 нм**.

В процессе изготовления такой панели из внутреннего объема между стеклянными пластинами откачивается воздух, этот объем заполняется разреженным газом (неон, ксенон, гелий, аргон или их смесь), являющимся рабочим «телом» при работе, после чего панель герметизируют.

Плазменная панель работает следующим образом. С помощью внешних устройств «развертки» на электроды строк и столбцов матрицы подаются управляющие напряжения. Под действием напряжения между иницированными строчной и столбцовой шинами в соответствующей ячейке матрицы происходит электрический разряд в газе через образующуюся при этом плазму (ионизированный газ). Этот разряд вызывает мощное ультрафиолетовое (УФ) излучение, которое заставляет светиться находящийся в данной ячейке люминофор. Так как существуют разделительные «барьеры» между соседними ячейками, электрический разряд локализуется в пределах одной отдельно взятой и не оказывает воздействия на соседние ячейки. А чтобы УФ излучение одной ячейки не вызывало свечение соседней ячейки, на боковые поверхности разделительных ребер наносят специальное поглощающее ультрафиолет покрытие.

Работа плазменной панели состоит из трех этапов:

1. **инициализация;**
2. **адресация;**
3. **подсветка.**

Инициализация. На данном этапе происходит упорядочивание положения зарядов среды и её подготовка к следующему этапу (адресации). При этом на электроде адресации напряжение отсутствует, а на электрод сканирования относительно электрода подсветки подается импульс инициализации, имеющий ступенчатый вид (рис.6.16). На первой ступени этого импульса происходит упорядочивание расположения ионов газовой среды, на второй ступени - разряд в газе, а на третьей — завершение упорядочивания.

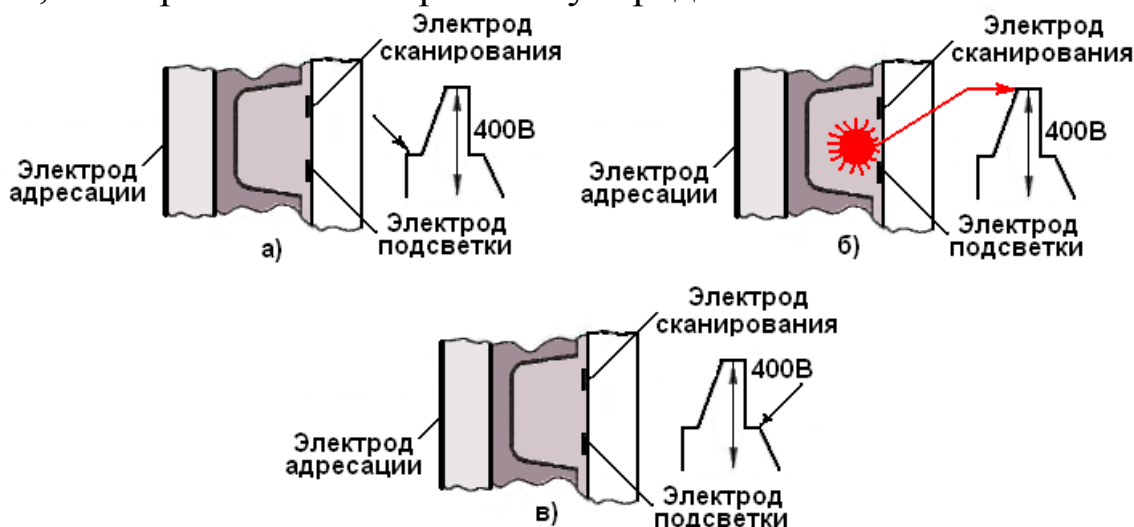


Рис.6.16. Принцип инициализации плазменных ячеек

Адресация. На данном этапе происходит подготовка пикселя к подсвечиванию. При этом на шину адресации подается положительный импульс величиной $+75\text{ В}$, на шину сканирования отрицательный импульс (-75 В). А на шине подсветки устанавливается напряжение $+150\text{ В}$.

Подсветка. На данном этапе на шину сканирования подается положительный, а на шину подсветки отрицательный импульс, величиной 190 В (рис.6.17). Сумма потенциалов ионов на каждой шине и дополнительных импульсов приводит к превышению пробивного напряжения газа и происходит разряд в газовой среде. После разряда происходит повторное распределение ионов у шин сканирования и подсветки. Смена полярности импульсов приводит к повторному разряду в плазме. Таким образом, меняя полярность импульсов обеспечивается многократный разряд в

ячейки.

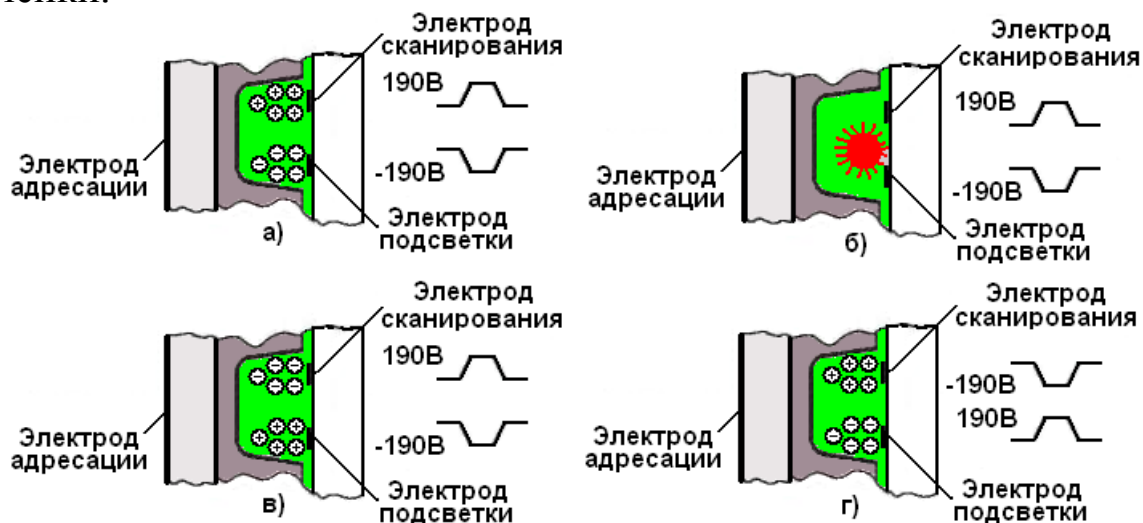


Рис.6.17. Процесс подсветки в плазменных ячейках

За один цикл «инициализация — адресация — подсветка» происходит формирование одного подполя изображения. Складывая несколько подполей можно обеспечивать изображение заданной яркости и контраста. В стандартном исполнении каждый кадр плазменной панели формируется сложением восьми подполей.

Таким образом, при подведении к электродам высокочастотного напряжения происходит ионизация газа или образование плазмы. В плазме происходит емкостной высокочастотный разряд, что приводит к УФ излучению, которое возбуждая атомы люминофоров вызывает их свечение в красном, зелёном или синем цвете (рис. 6.18).

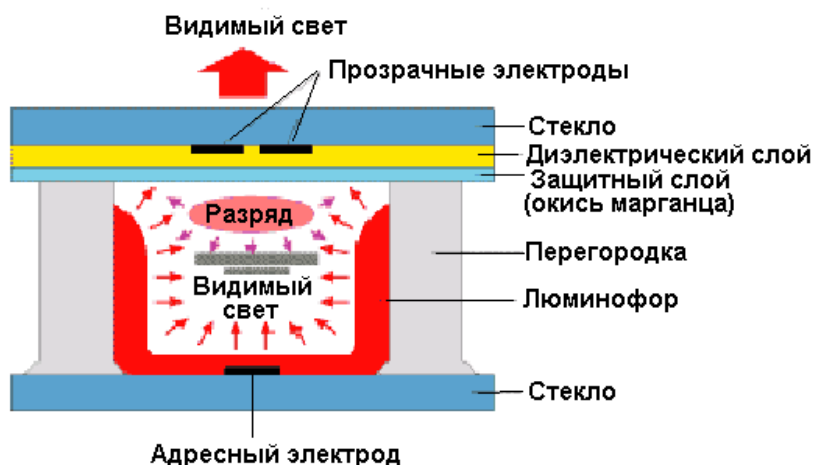


Рис.6.18. Работа одного субпикселя плазменной панели

Из-за того, что плазменные панели сами являются источником света, эти экраны обеспечивают углы обзора по вертикали и горизонтали близкие к 180 градусам. При этом в отличие от ЖК экранов, обеспечивается отличная цветопередача (рис.6.19).



Рис.6.19. Внешний вид телевизора с плазменным экраном.

Таким образом, плазменная технология имеет отдельные преимущества над ЖК:

1. Люминофоры для плазменного телевизора обеспечивают более сочные цвета в более широком диапазоне. Цветовой диапазон плазменных экранов намного шире, чем у ЖК-телевизоров. Если сравнивать с ЭЛТ-мониторами, то цветовой диапазон "плазмы" в ряде случаев бывает хуже, поскольку у ЭЛТ условия для возбуждения люминофора гораздо лучше, так как энергия электронов выше, чем у УФ-излучения.
2. Плазменные панели гораздо безопаснее кинескопных телевизоров. Они не создают вредных магнитных и электрических полей, так как в них отсутствуют устройства развертки и высоковольтный источник анодного напряжения кинескопа. Плазменная панель не оказывает вредного влияния на человека и домашних животных и не притягивает пыль к поверхности экрана и не создает рентгеновского излучения.
3. Из-за того, что выключенный пиксель свет не излучает, в отличие от ЖК панелей, то контрастность у плазменных

экранов сопоставима ЭЛТ-экранам и имеют высокую яркость свечения на уровне 900 до 1000 кд/м.

4. Плазменные панели достаточно надежны и долговечны. Заявленный срок службы современных PDP в 60 тыс. часов предполагает, что за все это время (примерно 6,7 лет непрерывной работы) яркость экрана уменьшится вдвое против начальной.

Однако у плазменных панелей есть и свои недостатки:

1. У плазменных панелей достичь размера пикселя меньше 0,3мм практически невозможно. Поэтому на сегодняшний день сделать плазменный экран с диагональю меньше 32" (82 см) невозможно. Таким образом диагонали плазменных панелей начинаются с 32-дюймов и заканчиваются на 103-х (82-330 см).
2. Диапазон изменения яркостей в плазменных панелях значительно хуже ЖК кинескопов и ЖК панелей. Это связано с тем, что практически невозможно регулировать интенсивность разряда в плазме. То есть пиксель либо горит, либо не горит. А промежуточного состояния нет. Потому для управления яркостью свечения производители используют метод импульсно-кодовой модуляции. То есть, чтобы пиксель горел ярко, его нужно часто зажигать. Для получения более темного оттенка зажигать пиксель можно реже. Глаз человека не заметит отдельные вспышки и усреднит значение яркости. Этот метод хорошо работает, но и не свободен от недостатков. Если средние и яркие оттенки отображаются вполне прилично, то темные оттенки трудно отличить друг от друга.
3. Благодаря применения импульсного управления яркостью пикселей человеческий глаз замечает мерцание плазменных экранов, что утомляет зрение. Поэтому для устранения видимых мерцаний применяются сложные методы нелинейной импульсной модуляции. Но полностью избавиться от мерцания на плазменных

панелях не удаётся, особенно во время просмотра с близкого расстояния.

4. Плазменные экраны довольно сложны и дороги в производстве. Это связано с тем, что электроника панелей требует высоковольтных полупроводниковых схем, которые работают на пределах возможностей материалов. Контрольные цепи электродов должны выдерживать несколько сотен вольт на высоких частотах. Кроме того, применение высоких напряжений сказывается на довольно большой мощности потребления плазменных экранов, которая может составлять 250 -500 Вт.

6.6. Плоскопанельный тонкий кинескоп

Несмотря на широкое распространение панельных жидкокристаллических и плазменных экранов у них имеется целый ряд принципиальных недостатков по сравнению с традиционными кинескопами (ЭЛТ). Среди них, например, малый угол обзора и относительно низкое быстродействие у ЖК-панелей и высокое потребление у плазменных панелей, большая сложность конструкции и стоимость изготовления. При этом кинескопы обеспечивают высокое разрешение и естественность изображения. Поэтому если использовать в ЭЛТ вместо трех катодов (по одному для каждого цвета) индивидуальный катод для каждого пикселя, то можно сделать такой тонкой кинескоп достаточно тонким и лишенным геометрических искажений.

Для этой цели многие производители пытались использовать эффект полевой эмиссии (отсюда и первое название таких панелей — **FED-дисплеи**). В них, так же как и в ЭЛТ, для получения изображения используется эффект в излучении света люминофором при его бомбардировке электронами. Конструкция благодаря используемому принципу позволяет теоретически уменьшить толщину панели до 10 мм. По сравнению с ЖК-панелями FED-дисплеи не требуют лампы подсветки, имеют

широкий угол обзора, малое время отклика (высокое быстродействие) и отличную цветопередачу.

Технология FED (Field Emission Display - дисплеи с автоэлектронной эмиссией) во многом подобна технологии ЭЛТ. Точно также, эмиссия приводит к бомбардировке электронами люминофоров основных цветов. Но, в отличие от ЭЛТ, новая технология позволяет уменьшить толщину дисплея до нескольких миллиметров. Вместо электронно-лучевой пушки здесь используется массив металлических иглол или углеродных нанотрубок в качестве наиболее эффективных излучателей электронов каждого пикселя. Из-за большой избыточности эмиттеров, FED технологии удается преодолеть проблему "битых" пикселей, являющуюся бичом технологии ЖК. Пиксель сохранит свою работоспособность даже если выйдет из строя до 20% его эмиттеров. Однако, работа FED панели имеет ряд сложностей. Дело в том, что для эмиссии электронов необходима высокая напряженность электрического поля. Но вместо высокого напряжения (в ЭЛТ), в FED используются очень маленькие размеры катодов и расстояний между ними - размеры порядка атомной решетки. Проблема в том, что при таких сверхмалых размерах эмиттеров катода, они могут быть легко повреждены ионами, которые возникают при ионизации остатков воздуха в пиксельных ячейках. Так же появление молекул газа внутри устройства может быть спровоцировано интенсивной бомбардировкой люминофора электронами. Поэтому в технологии FED необходимо снижать рабочее напряжение и создавать более высокий вакуум, чем в технологии ЭЛТ. Кроме того, для электронно-лучевой трубки достаточно чтобы средняя величина свободного пробега электрона была выше физических размеров самой трубки. В FED же, каждая молекула - потенциальный источник иона, приводящего к разрушению катода.

Для повышения надежности эмиттеров катода компанией **Field Emission Technologies** была предложена улучшенная технология **Nano-Spindt FED**, использующая массив наноконусных эмиттеров.

Это новое поколение плоских дисплеев, дающих широкие углы обзора, естественные цвета, невероятный контраст с истинным черным цветом и четкое несмазанное изображение движущихся объектов. Использование нанотехнологий позволило получить более 10 тысяч эмиттеров для каждого пикселя, что дает возможность сделать панель очень тонкой ввиду отсутствия необходимости в лампе подсветки (как в ЖК) и в высоком напряжении (как в ЭЛТ или "плазме").

Структура FED панели представлена на рис.6.20.

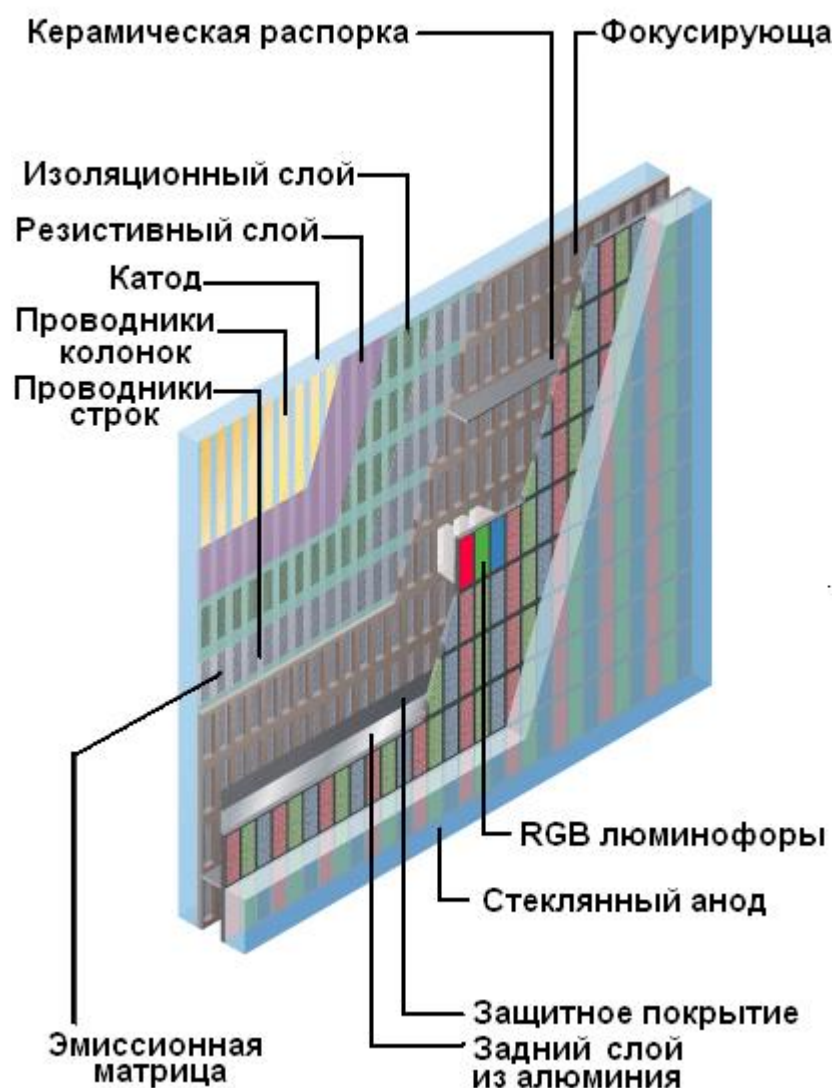


Рис.6.20. Структура экрана на основе FED технологии

В данном экране используются следующие элементы:

- керамические распорки, прозрачные для электронов,

- устанавливаются между катодом и анодом в качестве силовых элементов конструкции, чтобы вакумированная панель могла выдержать атмосферное давление;
- изоляционный слой предохраняет от замыкания проводники строк и столбцов;
 - эмиссионная матрица образует массив эмиттеров, образованный пересечением линий колонок и столбцов;
 - задний алюминиевый слой обеспечивает хорошую фокусировку электронов и вместе с защитным слоем улучшает чистоту цвета.

Микроскопические размеры эмиттеров и отверстий в управляющих электродах (диаметром 120 нанометров) позволяют управлять катодом с использованием низких напряжений. При этом для каждого пикселя используется более 10 тысяч таких микро-эмиттеров, что обеспечивает высокую яркость и чистоту цвета, равномерные по всей площади экрана. Кроме того, освоение нанометровых технологических норм позволяет удешевить процесс производства FED панелей.

Таким образом, FED телевизоры позволяют получать близкие к оригиналу цвета, знакомые гамма характеристики и четкость в передаче движущихся объектов. Ни плазма, ни ЖК не дают изображения, сопоставимого с изображением, формируемым высококачественной электронно-лучевой трубкой. В то же время, FED технология представляет собой большое количество микро ЭЛТ телевизоров, размерами в один пиксель.

6.7. Модульные светодиодные видеоз экраны

Для показа телевизионных изображений большому количеству людей требуются экраны больших размеров. Для этой цели могут использоваться проекционные системы на основе проекционных кинескопов или ЖК матриц. Однако такие системы в основном рассчитаны для работы в закрытых помещениях, а для наружных экранов в последние годы широкое

распространение получили модульные видеозкраны. Эти экраны позволяют собрать экран требуемых размеров из отдельных модулей, которые могут быть построены основе плазменных или светодиодных ячейках. Но поскольку большие плазменные панели потребляют много электроэнергии, то большее распространение получили LED панели (Light Emission Diodes) на светоизлучающих диодах. Это связано с тем, что по сравнению с другими электрическими источниками света, светодиоды имеют ряд преимуществ, таких как: высокая световая отдача, высокая механическая прочность, длительный срок службы, высокая надежность, низковольтность, относительно слабый нагрев, малая инерционность и т.д.

Следует отметить, что светодиод представляет собой полупроводниковый прибор с электронно-дырочным переходом (р-п переходом) или контактом металл-полупроводник (барьер Шоттки), создающий оптическое излучение при пропускании через него электрического тока.

Исторически первый светодиод, излучающий свет в красном диапазоне был изготовлен в 1962 году в Университете Иллинойса группой, которой руководил инженер компании General Electric Ник Холоньяк. Чуть позже появились на свет желтые, оранжевые и зеленые светодиоды и лишь в 1990 году Судзи Накамура, работавший на корпорацию Nichia Chemical Industries, изобрел синий светодиод. Во многом именно это изобретение способствовало появлению и быстрому развитию светодиодных экранов.

Для отображения изображений на видеозкранах используются специальные пиксели, которые имеют 2 типа исполнения: **2R1G1B** и **1R1G1B**, как показано на рисунке 6.21. Это связано с тем, что первоначально красные светодиоды обладали слабой светосилой. Поэтому последовательное включение двух красных светодиодов повышало яркость свечения в красном диапазоне спектра. Кроме того, использование 4-х светодиодов в пикселе оптимизировало заполнение апертуры излучающей поверхности экрана.

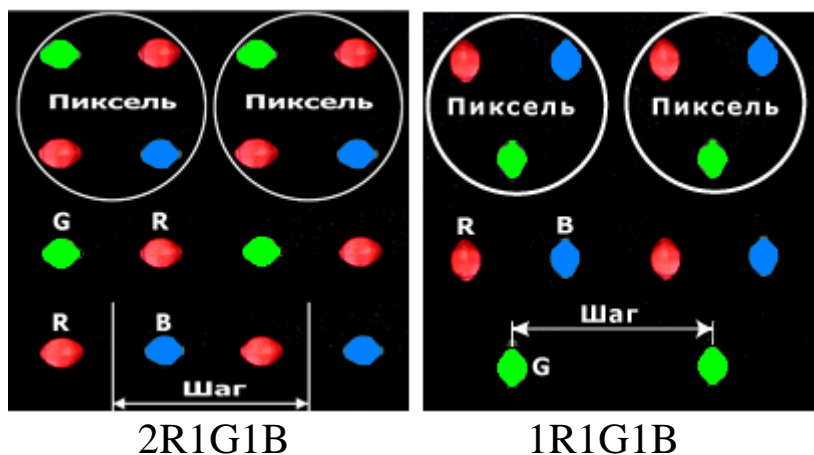


Рис.6.21. Виды исполнения пиксельных ячеек

Однако с появлением красных R светодиодов с высокими значениями силы света, стало возможно построение пикселя по схеме 1R1G1B на модулях с любым шагом (до 38 мм). При этом на дальних расстояниях наблюдения, не отмечается разницы в восприятии смешанных в таком пикселе и пикселе 2R1G1B оттенков цветов. В то время как, на близких расстояниях и на больших углах наблюдения, пиксель 2R1G1B мог производить излишний фон красного оттенка, искажая цветопередачу, что отсутствует в пикселе 1R1G1B.

С появлением новых светодиодов для поверхностного монтажа на печатной плате (SMD) - 3 светодиода - красный, зеленый и синий в одном корпусе (3-in-1), стало возможным производство модулей с шагом меньшим 10 мм, что позволяет собирать светодиодные экраны очень высокого разрешения, при относительно небольших размерах.

Для построения больших экранов различных размеров технологически удобно использовать модульную конструкцию на основе готовых электронных блоков (модулей) стандартных размеров. Данные модули укомплектованы пикселями из светодиодов или сборок RGB, соединенных на общей плате и имеющих контроллер управления работой пикселей и необходимые разъемы и шлейфы для объединения с соседними блоками. Соединение монтажных плат осуществляется механизмом двойных замков, которые позволяют избежать видимого стыка, обеспечить надежность соединения и

автоцентрировать пиксели. Для эксплуатации экранов модульный принцип обеспечивает удобство транспортировки, сборки и ремонта. На рис.6.22. показан вид модульных панелей, а на рис.6.23 приведена конструкция большого экрана.

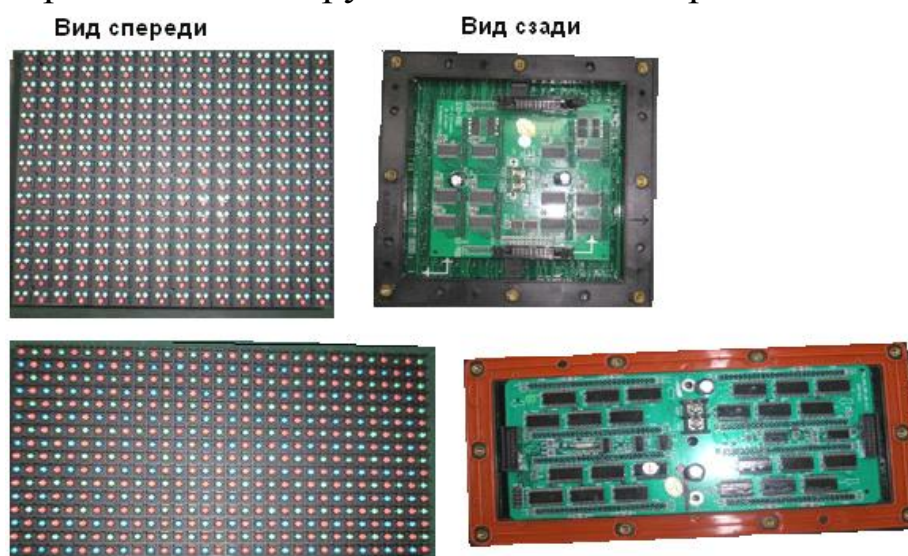


Рис.6.22. Внешний вид модульных панелей.

В настоящее время существует большое разнообразие видеоэкранов, поэтому используется следующая их классификация по области применения:

- **Светодиодные LED-экраны внешней установки**, к которым относятся стационарные экраны, т.н. медиафасады, видео-вывески, установки на крыши и другие внешние поверхности с защитным корпусом.
- **Светодиодные LED-экраны внутренней установки**, к которым относятся экраны устанавливаемые в торговые центры, большие концертные залы, кино, заведения общественного питания, отдыха и развлечения, где формат изображения действительно имеет значение. У этих устройств другой уровень защиты и тип вентилятора, но это никак не влияет на срок их службы.
- **LED-видеоборд** представляют собой большие светодиодные экраны, главная задача которых состоит в трансляции видеоконтента на большие площади с высоты или другого удобного для зрителя положения. Небольшие погрешности изображения, возникающие при работе

светодиодного экрана, на таких расстояниях глазом незаметны. Также этот тип включает в себя экраны больших открытых спортивных арен.

- **Светодиодные медиафасады** наиболее часто используются в рекламных целях. Характеризуются полупрозрачной конструкцией, крепящейся без зазора к стене или другой поверхности вместе со специальным блоком питания и вентилятором, охлаждающем светодиоды. Благодаря своему эстетическому виду, могут использоваться для покрытия больших площадей фасада здания, создавая множество вариантов для представления видеоконтента.
- **Гибкие, объемные и авторские светодиодные экраны.** Их используют для декора или специальных заказов под нужды творческих проектов.

Для отображения единого изображения на отдельных модулях используется специальная система их управления и программное обеспечение.

Система управления экраном включает в себя плату посылы видеосигнала, которая может быть установлена как в корпус управляющего компьютера, так и в отдельный корпус, и плату приема видеосигнала, которые установлены каждая в своём светодиодном модуле. Их ровно столько, сколько модулей в экране. На рис.6.23 представлены платы передачи и приема видеосигнала.

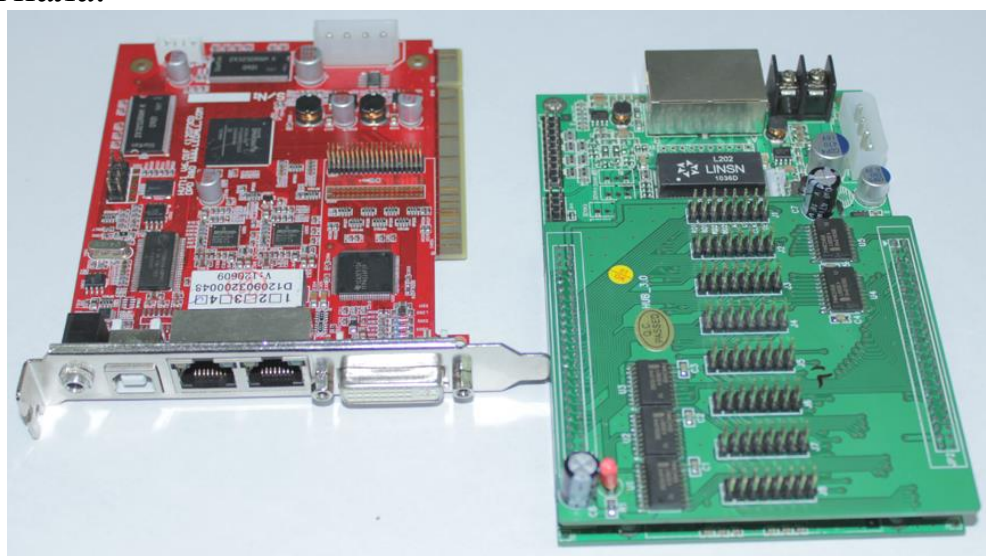


Рис.6.23. Варианты плат передачи и приема видеосигналов

Плата передачи, на своем торце, имеет 1 DVI разъем, через который осуществляется передача видео контента с управляющего компьютера и 1 USB разъем, через который осуществляется передача служебной (настроечной) информации с программы, управляющей работой экрана. Также имеются 2 разъема RJ45, через которые осуществляется коммутация платы передачи непосредственно с самим экраном через кабель типа витая пара UTP Cat.5. Плата передачи устанавливается в свободный слот на материнской плате управляющего компьютера, с которого она получает питание для своей работы.

Далее витая пара связывает плату передачи с первой платой приема экрана, которая установлена, как правило, в одном из угловых светодиодных модулях. Далее платы приема последовательно соединяются между собой этим же кабелем: 1-ый со 2-ым, 2-ой с 3-им, 3-ий с 4-ым и т.д.

Довольно часто ставится задача трансляции видео контента на LED экрана не только с управляющего компьютера, но и с таких источников сигнала как DVD плеер, видео камера, ТВ тюнер (рис.6.24).



Рис.6.24. Система управления экраном

В этом случае в систему управления добавляется устройство **LED видео процессора** (рис.6.25), имеющего в своем корпусе разнообразные видео и аудио входы, к которым и подключается все периферийное, дополнительное оборудование.



Рис.6.25. Лицевая и задняя панель LED видео процессора

Кроме того применение LED видео процессора обеспечивает без искажений изображения их отображения на экранах с различным соотношением сторон. Так, если планируется установка экрана с соотношением сторон не равным 4:3 или 16 : 9, то без видеопроцессора изображение на экране будет либо растянутым, либо приплюснутым с боков. Это второе незаменимое предназначение LED видео процессора.

В LED процессоре также имеется слот для установки в него платы передачи видео сигнала. В такой конфигурации видеопроцессор может заменить собой управляющий компьютер. При этом программное обеспечение, управляющее видео экраном, предусматривает возможность подготовки Play List'a, где будет прописано время включения того или иного экрана, а также видео материал, который будет показан на экране, и количество его включений с сутки. Данные операции программируются и в дальнейшем осуществляются автоматически, без вмешательства оператора.

Соединение платы передачи с экраном может осуществляться двумя способами:

- по кабелю UTP Cat.5, если длина соединения с экраном не превышает 100 метров.
- По оптоволоконному кабелю, если длина соединения с экраном больше 100 метров.

На рис.6.26 представлен вариант конструкции стационарного модульного экрана внешней установки.

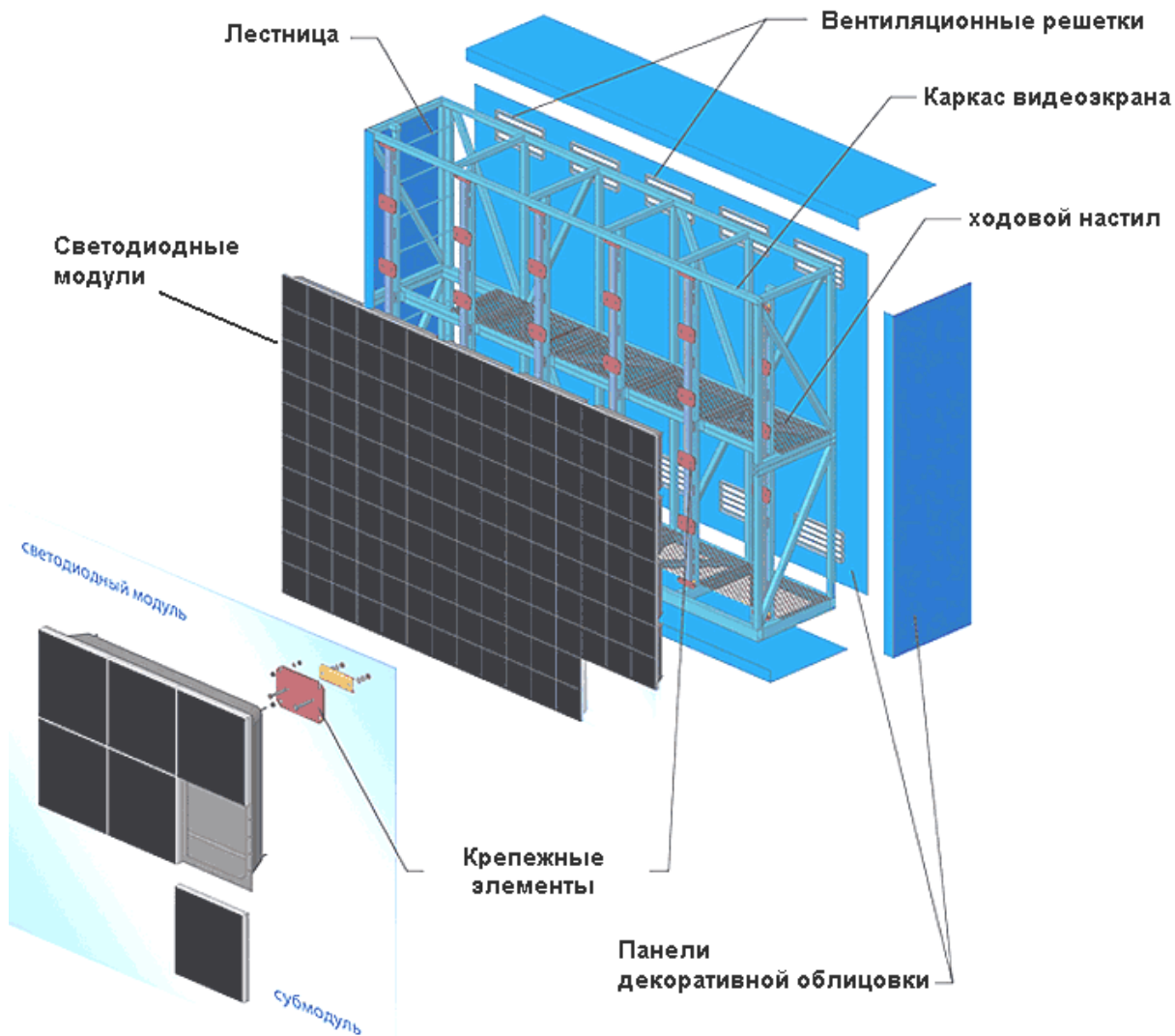


Рис.6.26. Вариант конструкции стационарного модульного экрана внешней установки

6.8. Экраны на органических светодиодах (OLED)

При создании новых моделей телевизоров, производители стараются использовать наиболее новые и современные технологии. Одной из таких технологий является использование органических светодиодов (OLED- Organic Light Emitting Diodes),

которая отличается высокой производительностью и некоторыми другими характеристиками. Это связано с тем, что таким панелям не нужны световые фильтры или дополнительная подсветка. Также данная особенность позволяет таким ТВ быть более тонкими и простыми в изготовлении.

OLED телевизор представляет собой телевизор, матрица которого в основном состоит из органических светодиодов, созданных на основе углерода. Такие экраны часто устанавливают в плеерах, телефонах и других устройствах.

Органический светодиод – это любой светодиод, цвет свечения которого определяется люминофором на основе пленки органического соединения. Структура OLED представлена на рис.6.27.

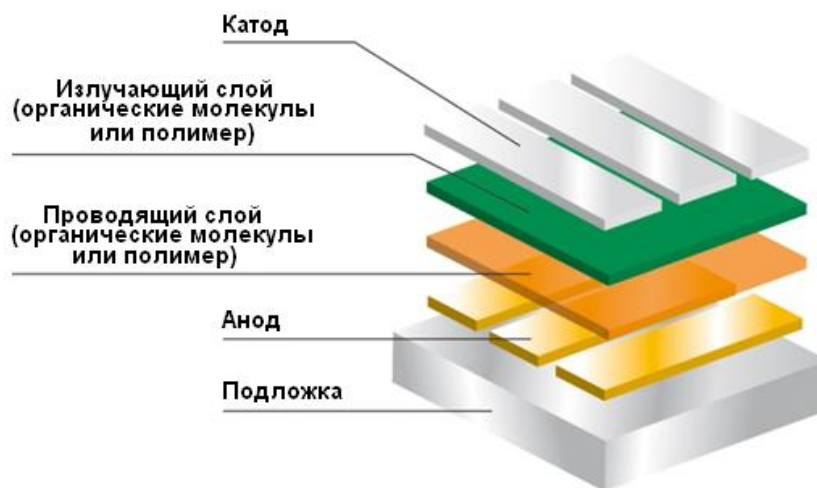


Рис.6.27. Структура органического светодиода

OLED состоит из следующих элементов:

- подложки из пластмассы, стекла или фольги;
- анода из прозрачного материала, который при прохождении тока инжектирует дырки;
- слоя органического материала, проводящего дырки, инжектируемые анодом (в качестве материала этого слоя может применяться **полианилин**);
- второго слоя органического материала, проводящего электроны, инжектируемые катодом. В этом слое происходит рекомбинация носителей заряда, которая сопровождается световым излучением;

- катода, инжектирующего электроны в излучающий слой при прохождении тока. При этом катод может быть как прозрачным, так и непрозрачным.

В настоящее время существует ряд типов OLED, например:

- пассивно-матричные (Passive-Matrix OLED, PMOLED);
- активно-матричные (Active-Matrix OLED, AMOLED),
- наборные OLED (Stacked OLED, SOLED);
- гибкие OLED (Foldable OLED, FOLED).

Пассивно-матричные (PMOLED). Пиксели данных диодов формируются в точках пересечения перпендикулярных друг другу анодных и катодных полос. Управление свечением осуществляется внешней схемой, а яркость свечения каждого пикселя пропорциональна силе проходящего тока. Они просты в изготовлении, но из-за внешней системы управления потребляют наибольшую мощность. Обычно на таких диодах делают экраны малых размеров для сотовых телефонов, карманных компьютеров.

Активно-матричные (AMOLED). В данных устройствах управление осуществляют тонкопленочные полевые транзисторы, формируемые в виде матрицы, располагаемой под анодной пленкой. Потребляемая мощность активно-матричных диодов меньше, чем пассивно-матричных поэтому они пригодны для создания дисплеев больших размеров. Кроме того они обладают высоким быстродействием поэтому пригодны для воспроизведения видеосигналов в компьютерах, телевизорах, а перспективе в больших видео экранах;

Наборные OLED (SOLED). В этих приборах красные, зеленые и синие субпиксели располагаются друг за другом, а не рядом как в обычных экранах. Такая вертикальная структура OLED благодаря независимой регулировке интенсивности излучения, цветопередачи и шкалы серого позволяет создавать полноцветные экраны с высоким разрешением;

Гибкие OLED (FOLED). Эти приборы изготавливаются на гибкой металлической фольге или пластмассе. Диоды этого типа

очень легкие и прочные и позволяют создавать гибкие экраны с изогнутой поверхностью.

В последнее время внимание разработчиков привлекают так называемые фосфоресцирующие органические светодиоды (Phosphorescent OLED, PHOLED), разработанные компанией Universal Display Corp. (UDC). Это высокостабильные и эффективные приборы, в которых слои переноса дырок и электронов выполнены из маломолекулярного органического материала и растворимого нем фосфоресцирующего материала. Благодаря фосфоресценции PHOLED теоретически могут преобразовать практически 100% потребляемой энергии в световое излучение против 23% для обычных органических светодиодов. Высокий энергетический выход позволяет в 4 раза снизить потребляемую мощность и соответственно, тепловыделение. Кроме того, эти диоды пригодны для изготовления активно-матричных дисплеев на поли- или аморфном кремнии, что обеспечивает высокую яркость свечения и продолжительный срок службы при высокой спектральной стабильности.

Применение OLED в телевизионной технике позволит заменить конкурирующие технологии на ЖК и плазме. Толщина слоя нового эластичного материала не превышает 1 мм, он легко растягивается, сохраняет свою форму и работоспособность при любых деформациях. На экран из такого материала можно смотреть под любым углом, при этом качество изображения не изменится. Надо отметить, что контрастность такого дисплея намного выше, чем у жидкокристаллических и плазменных дисплеев. На рис.6.28 представлен вариант современных телевизионных экранов от компании LG. Представленный экран настолько тонкий, что его можно свернуть в трубочку.

OLED экраны обеспечивают очень хорошее качество изображений с очень высокой контрастностью достигающей 1000-2000- раз. Яркость OLED-телевизора воспринимается в зависимости от места, где он расположен, поэтому в комнате с ярким светом преимущества экрана на органических светодиодах не будут сильно заметны. Недорогие OLED-панели выдают

яркость на уровне 700–800 кд/м², тогда как LED-телевизоры способны на большее — 1 400–1 500 кд/м². Однако в дорогих моделях 2017 года яркость пикселей увеличена до 2000 кд/м².



Рис.6.28. Вариант гибкого телевизионного экрана от компании LG 2017 года

Основным недостатком OLED экранов для телевизоров является их высокая цена. Так стоимость телевизора с 77 дюймовым экраном 2017 года выпуска составляет примерно 20 тыс\$. Кроме того, срок службы органических светодиодов пока не такой высокий, как у ЖК панелей. Но в перспективе OLED заменят и ЖК и плазменные экраны.

7. РАЗВЕРТЫВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

7. 1. Общие сведения

В телевидении развертка обеспечивает последовательную передачу элементов изображения по каналу связи и отображение их в тех же координатах на экране телевизора. При этом в устройствах на электронно-лучевых трубках развертка осуществляется отклонением сфокусированного электронного луча, а в плоскопанельных экранах формированием специальных адресных импульсов строк и столбцов.

В электронно-лучевых трубках отклонять луч можно с помощью электрического или магнитного поля. Однако эффективность отклонения луча значительно меньше, чем магнитным. А учитывая, что в современных телевизорах угол отклонения луча составляет 90 и более градусов, то при отклонении электрическим полем длина кинескопа была бы более 2 метров. Поэтому электростатическое отклонение используется только в осциллографических трубках, где размер экрана небольшой. Таким образом, в современных кинескопах из-за большого размера используется электромагнитная система отклонения – катушками индуктивности, которые включают в себя активное сопротивление провода, паразитную межвитковую емкость и индуктивное сопротивление катушек. Эквивалентная схема такой системы имеет вид представленный на рис.7.1.

Влияние емкости катушек C_k на работу строчной и кадровой разверток различно. Поскольку кадровая развертка работает на низкой частоте **50 Гц**, то C_k можно не учитывать, а на частоте строк она оказывает большое влияние на форму и размах отклоняющего тока и напряжения.

Если не учитывать влияние емкости, то управляющее напряжение, которое нужно подавать на катушки опишется выражением:

$$U_k = U_L + U_r = L_k di/dt + r_k i.$$

Для получения пилообразного тока в отклоняющих катушках на них необходимо подавать пилообразную и импульсную составляющие.

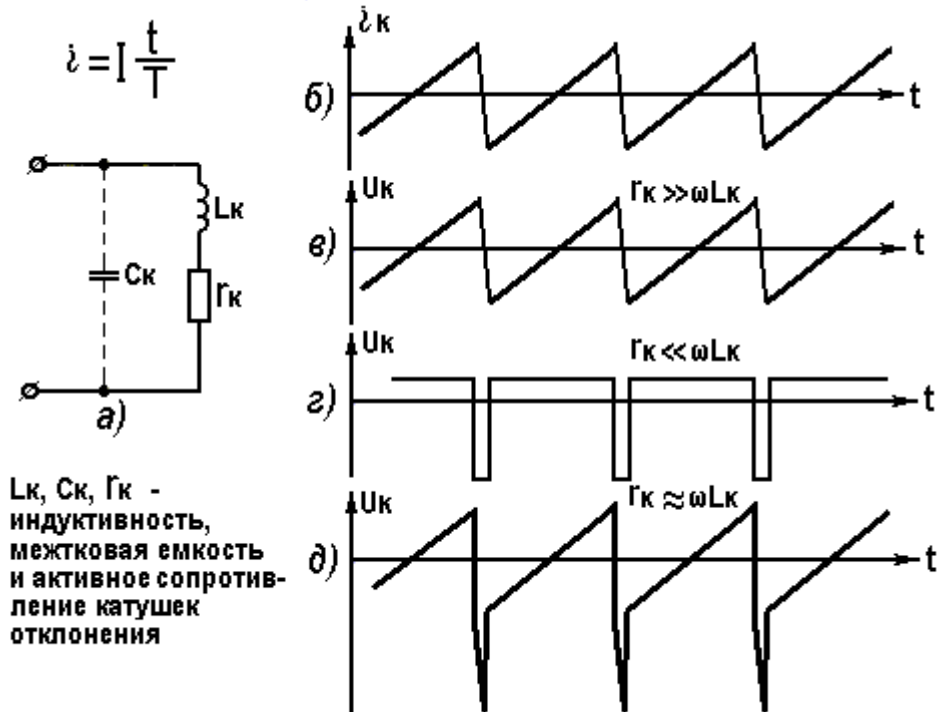


Рис.7.1. Формирование отклоняющего тока в отклоняющих катушках.

В зависимости от соотношения активного (r_k) и реактивного (ωL_k) сопротивления катушек отклонения, форма отклоняющего напряжения изменяется следующим образом:

- если $r_k \gg \omega L_k$, то приложенное напряжение должно иметь пилообразную форму;
- если $r_k \ll \omega L_k$, то напряжение должно иметь импульсную форму, т.к. форма его определяется производной тока;
- если $\omega L_k \approx r_k$ то напряжение должно быть импульсно-пилообразной формы, причем их соотношение определяется значениями L_k и r_k .

Кроме того, при отклонении электронного луча поперечным магнитным полем траектория движения электронов в этом поле имеет вид окружности (рис. 7.21) с радиусом:

$$R = \frac{1}{H} \sqrt{\frac{2mU_{a2}}{e}} \quad (7.1)$$

где U_{a2} – напряжение на втором аноде кинескопа; m и e – масса и заряд электрона; H – напряженность магнитного поля.

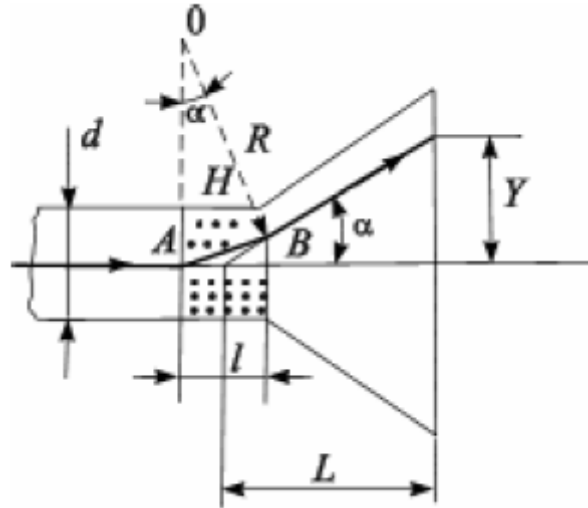


Рис.7.2. Отклонение электронного луча в поперечном магнитном поле.

Так как отклонение электронного луча в кинескопах осуществляется магнитным полем короткой катушки, то электроны после нее летят к экрану по касательной к этой окружности, построенной к точке B на границе поля H . При этом перемещение луча в плоскости экрана определяется следующей формулой:

$$Y = L \cdot \operatorname{tg} \alpha , \quad (7.2)$$

А поскольку угол $\angle AOB = \alpha$, то

$$Y = L \operatorname{tg} \arcsin \frac{lH}{\sqrt{\frac{2mU_{a2}}{e}}} \quad (7.3)$$

Как видно из (7.34) связь между величиной отклонения и напряженностью магнитного поля нелинейна. Это необходимо учитывать при построении развертывающих устройств для кинескопов с углом отклонения более 70° . Для кинескопов с малым углом отклонения эту зависимость можно считать линейной.

Так как напряженность поля, создаваемого отклоняющими катушками, при заданном диаметре горловины кинескопа d определяется числом ампервитков катушек:

$$i\omega \quad (H=0,2\pi (i\omega) / d),$$

При этом для образования раstra необходимо формировать токи линейной формы строчной и кадровой разверток с частотами $f_z = 15625$ Гц и $f_n = 50$ Гц соответственно.

Величина отклоняющих ампервитков $i\omega$ может быть определена по следующей формуле:

$$i\omega = 2,7q \frac{d\sqrt{U_{a2}}}{\alpha_{\text{экв}}} \quad (7.4)$$

где q - поправочный коэффициент равный 1,4 для строчной и 1,2 для кадровой развертки; d - диаметр горловины кинескопа; $U_{\text{экв}}$ - эквивалентная длина отклоняющих катушек, α - угол отклонения луча от центра; U_{a2} - напряжение второго анода кинескопа.

Тогда амплитуда тока, которую должен обеспечить генератор развертки в катушках, для отклонения луча на угол α (рис. 7.2),

$$I_m = i\omega/w \quad (7.5)$$

где w - число витков кадровых или строчных катушек отклонения.

7.2. Схемотехника устройств развертки кинескопов

Как было установлено выше, для **формирования пилообразного тока** в катушках отклонения всякая система развертки должна иметь **задающий генератор, специальное формирующее устройство, промежуточный и выходной каскад**, которая представлена на рис.7.3. Однако из-за того, что **частоты строчной и кадровой развертки отличаются в 312,5 раз**, то это обстоятельство определяет различие в конструкции и принципе работы этих устройств.

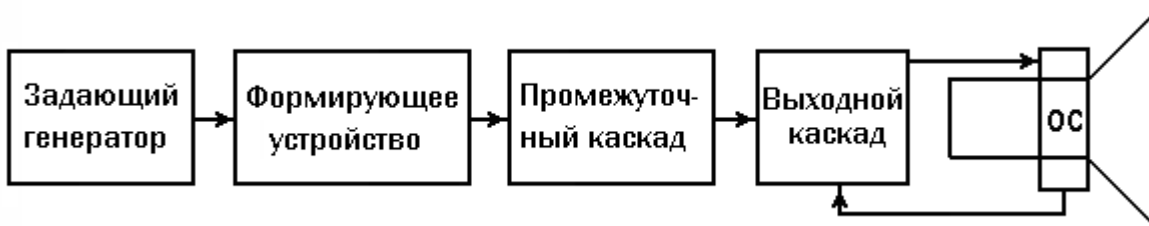


Рис.7.3. Обобщенная структурная схема генератора развертки кинескопа

7.2.1 Строчная развертка

Основной особенностью строчной развертки (СР) является довольно высокая частота ее работы **15625 Гц**, при этом, как правило $r_k < \omega L_k$ и для формирования в отклоняющих катушках тока пилообразной формы требуется импульсная форма напряжения (рис.7.1.г). Для этого наиболее простой и эффективной является схема выходного устройства строчной развертки с двухсторонним ключом. На рис.7.4. представлен вариант схемы генератора СР черно-белого кинескопа.

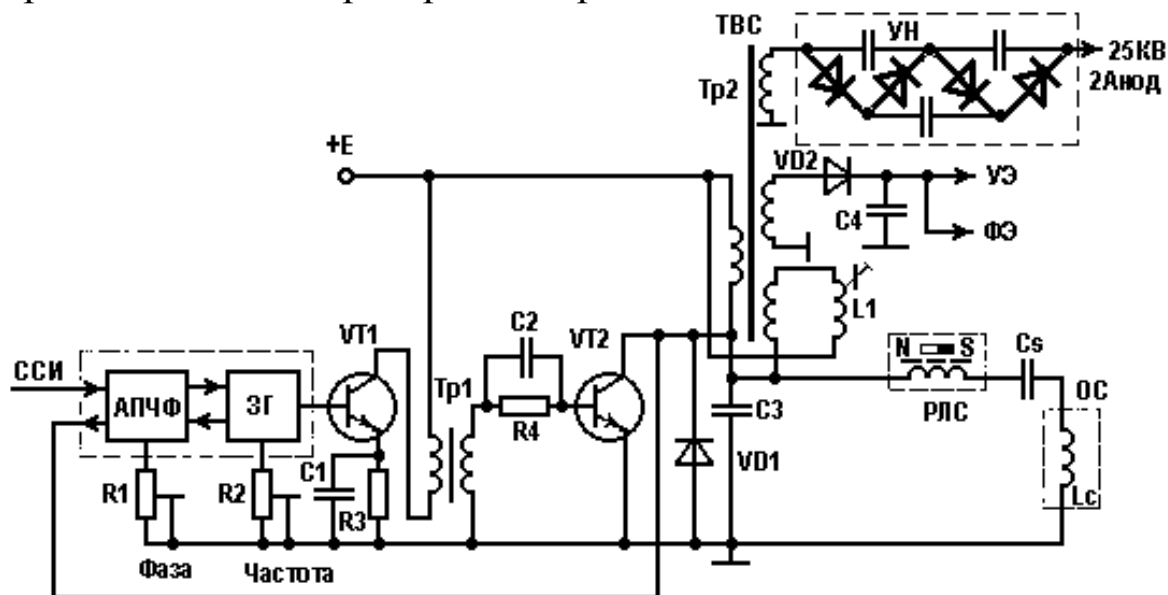


Рис. 7.4.Схема генератора СР черно-белого телевизора

Для обеспечения высокой помехоустойчивости строчной синхронизации все задающие генераторы строчной развертки имеют инерционную систему синхронизации на основе **ФАПЧ**.

Выходной каскад такого генератора выполнен на **транзисторе VT2** и обратно включенным диоде **VD1**, который часто называют демпферным диодом (гасителем колебаний). Диод **VD1** выполняет 2 функции:

1. Обеспечивает обратную проводимость **VT2**, находящегося в насыщении под действием ЭДС переполюсованной катушки во время первой половины обратного хода.
2. Устраняет необходимость точного выбора времени открытия ключа- транзистора, поскольку ЭДС переполюсованной катушки в начале прямого хода автоматически включает диод в прямом направлении и начинается формирование пилообразного тока в его отрицательной полуволне. При этом время включения транзистора может быть отодвинуто вплоть до середины прямого хода.

Питание на выходной каскад поступает через первичную обмотку трансформатора выходного строчного (ТВС), выполняющую функцию разделительного дросселя, а вторичные обмотки используются для получения высоких напряжений для цепей питания кинескопа (**накала- 6.3В, ускоряющего – 0.5...1кВ и фокусирующего электродов 4.7...5.5кВ**). Для этой цели служат выпрямители во вторичных обмотках, в которых трансформированные импульсы обратного хода выпрямляются в соответствующей полярности и фильтруются конденсаторами для снижения пульсаций. Способ получения высоких напряжений с блока строчной развертки наиболее эффективен, поскольку задача трансформации и фильтрации напряжений на частотах 15625 Гц решается значительно проще, чем на 50 Гц, малые длительности импульсов обратного хода (12 мкс) позволяют формировать высоковольтные импульсы при малом количестве витков строчного трансформатора (ТВС).

Постоянное напряжение для питания 2 анода кинескопа (12-30 кВ) в современных телевизорах получают при помощи диодно-ёмкостного многоступенчатого умножителя, поскольку при токах луча 200...300 мкА габариты умножителя малы, а снижение напряжения высоковольтной обмотки ТВС до 5...8 кВ обеспечивает высокую электрическую прочность и надежность всей цепи питания анодного питания.

Схема такого умножителя приведена на рис.7.5

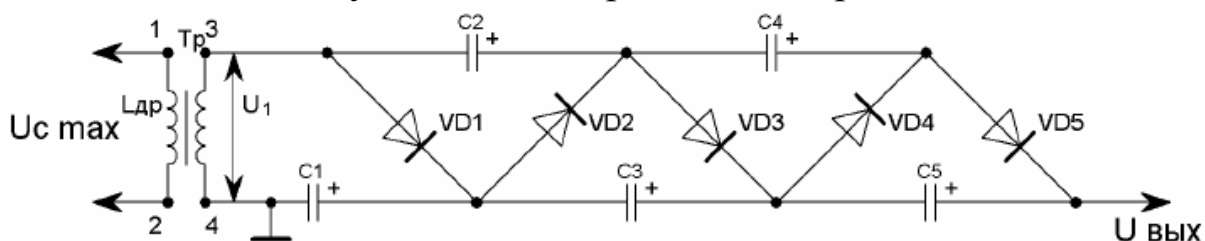


Рис.7.5. Схема диодно-ёмкостного умножителя напряжения.

Схема работает следующим образом. Первый импульс обратного хода (ОХ) строчной развёртки U_1 на вторичной обмотке трансформатора Тр заряжает конденсатор C_1 по цепи:

Тр (вывод 3) \rightarrow VD₁ \rightarrow C₁ \rightarrow корпус (вывод 4).

Конденсатор заряжается до напряжения, равного амплитуде импульса на вторичной обмотке трансформатора (U_1). По окончании импульса конденсатор C_1 разряжается через диод VD2 на конденсатор C_2 по цепи:

+ C₁ \rightarrow VD₂ \rightarrow C₂ \rightarrow Тр (вывод 3) \rightarrow - C₁ (корпус).

Таким образом, к моменту прихода второго импульса ОХ конденсаторы C_1 и C_2 оказываются заряженными до напряжения $U_1 / 2$. Второй импульс ОХ подзаряжает C_1 и через диод VD3 заряжается конденсатор C_3 . По окончании второго импульса конденсатор C_1 через диод VD2 вновь подзаряжает C_2 , а конденсатор C_3 через диод VD4 заряжает конденсатор C_4 . Таким образом, в процессе появления импульсов ОХ на вторичной обмотке трансформатора происходит последовательный заряд всех конденсаторов схемы умножителя. В установившемся режиме каждый из конденсаторов оказывается заряженным до величины U_1 поэтому выходное напряжение в данной схеме оказывается равным $U_{\text{вых}} = 3U_1$.

Другой схемой для получения высоковольтного напряжения является схема выпрямителя с диодно-каскадным трансформатором (ТДКС), представленным на рис. 7.6.

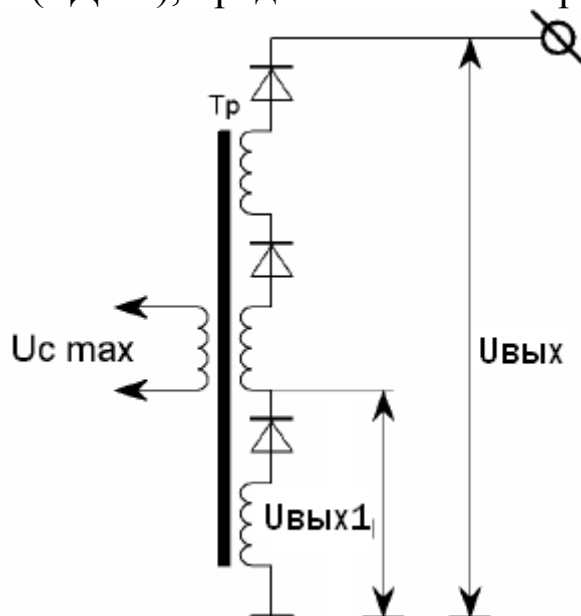


Рис.7.6. Высоковольтный выпрямитель с ТДКС

Схема представляет собой последовательное соединение трёх однополупериодных выпрямителей с тремя независимыми обмотками. Такая схема позволяет повысить электрическую прочность всего выпрямителя и уменьшить внутреннее сопротивление источника высоковольтного напряжения. При этом уменьшение внутреннего сопротивления источника делает более стабильным высокое напряжение при изменении токов лучей кинескопа и уменьшает нагрев ТДКС.

Для уменьшения искажений изображения из-за нелинейности отклоняющего тока служит регулятор линейности строк (РЛС), состоящий из намотанной на ферритовом сердечнике катушки находящемся в поле постоянного магнита. При определенной величине и направлении отклоняющего тока, его магнитное поле либо компенсирует поле постоянного магнита, либо складывается с ним, что меняет степень насыщения феррита и индуктивность катушки либо резко возрастает, либо становится очень малой. Таким образом, меняя

ориентацию постоянного магнита относительно катушки, можно изменять положение регулируемой области на экране, обеспечивая одинаковую скорость перемещения луча по горизонтали.

Для предотвращения протекания постоянного тока через отклоняющие катушки и коррекции подушкообразных искажений при больших углах отклонения луча на плоском экране используется разделительный конденсатор **Cs**, который с индуктивностью отклоняющих катушек **Ls** образует последовательный колебательный контур, в котором ток собственных синусоидальных колебаний складывается с пилообразным током отклонения и при правильной настройке колебательной системы отклоняющий ток получает на прямом ходе **S-образную** форму, которая устраняет подушкообразные искажения.

В выходных каскадах **СР** современных телевизоров часто применяют настройку резонансной системы ТВС на 3 или 5-ю гармонику импульсов обратного хода, что позволяет получить более высокие значения на вторичных обмотках ТВС при меньшем количестве витков в обмотках. Для этого к первичной обмотки **Тр2** подключается встречно включенная компенсационная обмотка нагруженная на **регулируемый дроссель L1**.

Для управления выходным каскадом требуются довольно мощные импульсы базового тока **0.5...0.7 А**, поэтому каскад предварительного усиления на **VT1** часто делают с **согласующим трансформатором Тр1**, имеющим коэффициент трансформации 4...5 и обеспечивающим при заданных токах напряжение на выходе каскада не менее 4...5.В.

Для ускорения срабатывания выходного транзистора применяется **ускорительная RC цепочка R4,C2**.

В широкоугольных кинескопах из за того, что электронный луч развертки, отклоняющийся по радиусу, проецируется на плоский экран, нарушается закон пропорциональности между значением отклоняющего тока **I**

откл. и углом отклонения луча. Это связано с тем, что в центре длина луча меньше, чем на периферии и при одинаковой угловой скорости движения луча. Линейная скорость его перемещения по экрану получается различной. Чем дальше луч находится от центра экрана, тем выше его скорость перемещения и эти участки изображения получают растянутыми. При этом возникают искажения типа "подушка", как показано на рис.7.7.

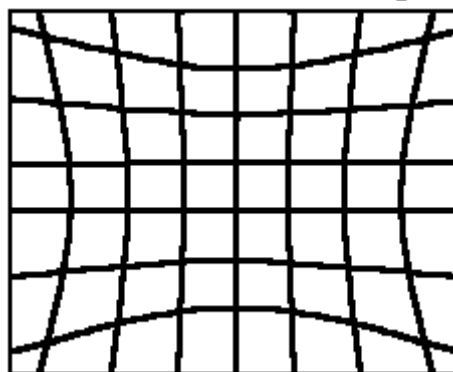


Рис.7.7. Подушкообразное искажение раstra

Это приводит к изгибу вертикальных и горизонтальных линий, который возрастает по мере удаления от центра экрана. В цветных телевизорах применяют два вида коррекции подушкообразных искажений: выравнивание вертикальных линий слева и справа и устранение изгибе горизонтальных линий (провисание сверху и выпуклость снизу растр). Устранение провисания горизонтальных линий сверху и их выпуклости снизу раstra в моделях телевизоров на кинескопах с самосведением лучей достигается определенным распределением витков в кадровых отклоняющих катушках. Для устранения искажений вертикальных линий необходимо увеличить длину строки в средней части раstra и несколько уменьшить сверху и снизу. Для этого часто используется широтноимпульсный модулятор (ШИМ). Принцип работы ШИМ основан на изменении размера строк в верхней и нижней части экрана. Принцип работы такой схемы поясняется приведенными на рис.7.8 временными диаграммами.

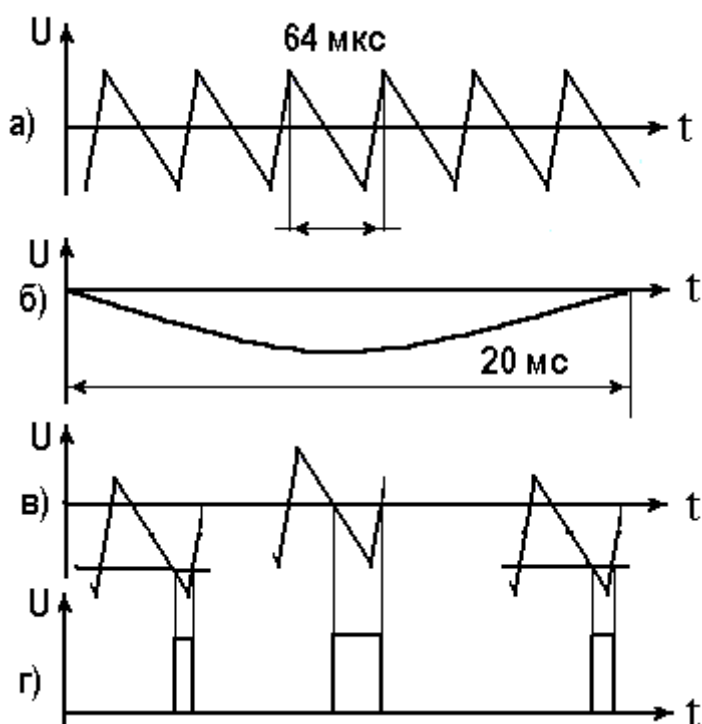


Рис. 7.8. Временные диаграммы поясняющие принцип работы ШИМ

Для того, чтобы корректировать длину строк телевизор должен располагать информацией о вертикальном смещении луча. Для этой цели импульсы кадровой части с помощью интегратора превращаются в напряжение параболической формы (рис.7.8,б), которые поступают на один из входов усилителя – ограничителя, выполненного на дифференциальном усилителе. А на другой его вход поступают импульсы пилообразной формы со строчной развертки, которые накладываются на кадровую параболу. При этом максимальный прогиб параболы в результате чего на выходе ограничителя формируются прямоугольные импульсы, длительность которых определяется вертикальным смещением луча в кадре. То есть максимальная длительность импульсов соответствует центральному строку, а минимальная – крайним (рис.7.8, г). Затем эти импульсы поступают на ключевую схему, которая управляя размером строк, увеличивает их длину в центральной части экрана и уменьшает в периферийной, тем самым выравнивая вертикальные линии. Таким образом

применение ШИМ регулятора позволяет регулировать в больших пределах размер по горизонтали, не оказывая влияния на анодное напряжение, а также стабилизировать размер по горизонтали при изменении тока лучей.

7.2.2. Кадровая развертка

Поскольку кадровая развертка работает на значительно более низкой частоте чем строчная (50 Гц), то построение их генераторов существенно отличаются от строчных. На прямом ходу развертки реактивной составляющей кадровой катушки можно пренебречь, при этом выходной каскад работает как усилитель на активную нагрузку. При этом отклоняющие катушки подается напряжение пилообразной формы, а S-коррекция пилообразного напряжения достигается за счет простейших нелинейных цепей, или применением частотно-зависимых отрицательных обратных связей. Однако во время обратного хода присутствие относительно большой индуктивности должно быть учтено, причем, чем меньше время обратного хода требуется, тем больше необходимо напряжение питания, т.е. тем меньше К.П.Д. каскада. На рис.7.9 представлена обобщенная схема выходного каскада кадровой развертки.

В современных телевизорах выходной каскад выполняется по двухтактной без трансформаторной схеме, работающих в режиме «В» или близком к нему «АВ», однако относительно короткое время обратного хода приводит к не симметрии загрузки транзисторов. Как видно из рис.7.5(б) транзистор VT2, открытый во время обратного хода развертки рассеивает значительно большую мощность, чем нижний, через который происходит разряд конденсатора С2 во время второй половины прямого хода. Эта не симметрия загрузки транзисторов тем больше, чем больше постоянная времени катушек $\tau=L_k/R_k$, т.е. чем больше импульсная составляющая U_L на катушках. Для борьбы с этим используют специальные методы повышения КПД например, удвоение напряжения питания на время обратного

хода развертки за счет накопительного конденсатора $C1$. Для работы вольтодобавки необходимо чтобы во время прямого хода транзистор $VT4$ закрыт и тогда происходит заряд $C1$ через диод $VD2$ по напряжению питания, а во время формирования обратного хода $VT4$ должен быть полностью открыт. При этом к верхнему концу резистора $R2$, а следовательно к правой обкладке $C1$ также будет приложено напряжение питания. Таким образом, во время обратного хода коллектору $VT2$ будет проложено удвоенное питающее напряжение складывающееся из напряжения конденсатора $C1$ и напряжения питания с $R2$. Данная схема позволяет снизить питающее напряжение выходного каскада во время прямого хода, что повышает КПД каскада

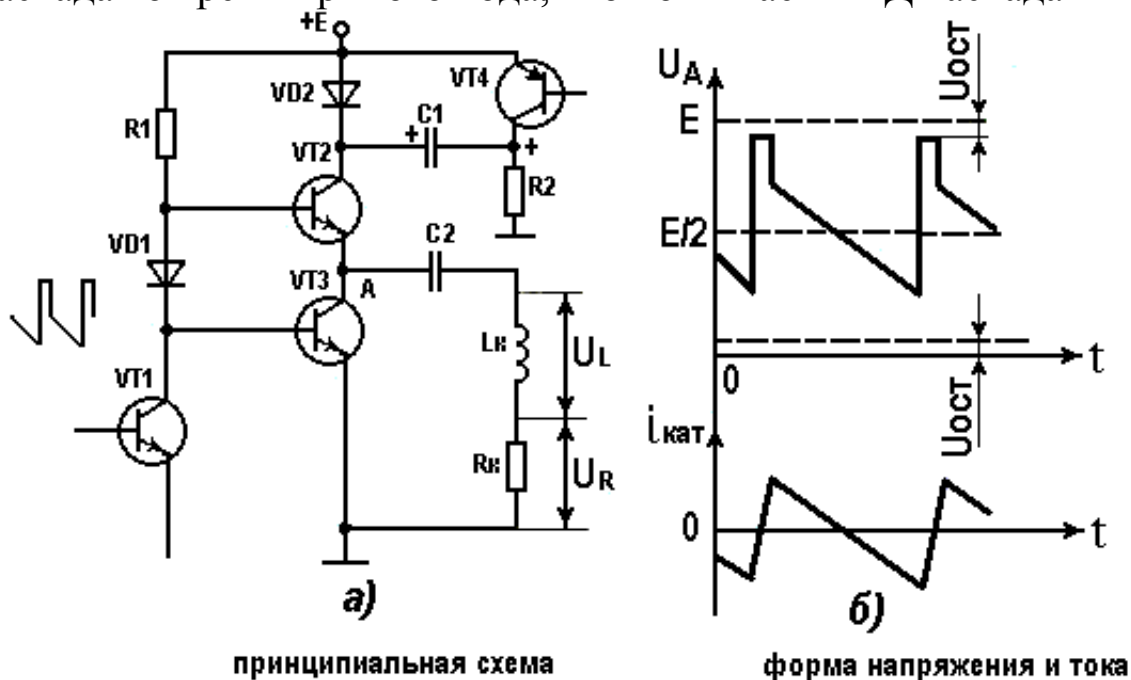


Рис.7.9. Обобщенная схема выходного каскада кадровой развертки

Следует отметить, что в современных телевизорах генераторы разверток выполняются на специализированных микросхемах в которых автоматически производится коррекция размера раstra и подушкообразных искажений.

7.3. Схемотехника устройств развертки плоскопанельных экранов

В плоскопанельных экранах с жесткой пиксельной структурой (ЖК, плазма и т.д.) отсутствует электронный луч развертки, поэтому для выбора требуемой ячейки используются специальные устройства адресации. При этом использовать отдельный проводник для управления каждой ячейки не представляется возможным, так как для обеспечения разрешения 640x480 необходимо 307200 проводов. Поэтому для решения этой задачи применяются специальные методы, подобные используемым при адресации ячеек оперативной памяти, которые рассмотрим более подробно:

- однокоординатная;
- статическая двухкоординатная (матричная);
- динамическая двухкоординатная (матричная).

Однокоординатная адресация. В данном методе подача управляющего напряжения на каждую ячейку строки (или столбца) осуществляется по отдельным линиям (рис. 7.10).

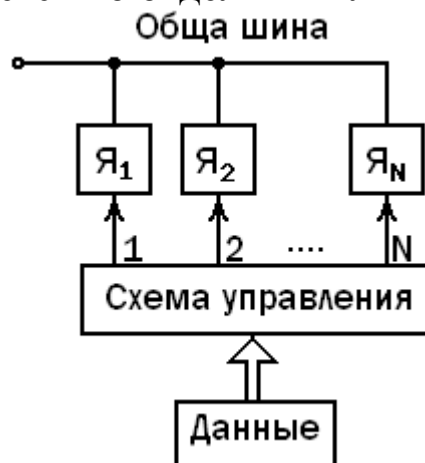


Рис.7.10. Однокоординатная адресация ячеек.

Так, если в строке содержится N ячеек, то для управления ими требуется минимум N сигнальных проводников и 1 проводник общий для всех ячеек. Соответственно, для подачи напряжения для выбора ячейки в поле всей матрицы размером

$N \times M$ пикселей требуется $(N+1) \times M$ проводников и M схем управления. Поэтому такой метод адресации можно использовать только при небольшом количестве пиксельных ячеек в индикаторных экранах.

Статическая матричная адресация. Данный тип адресации использует только две схемы управления (по строкам и столбцам) и общие линии проводников, соединяющие все ячейки одного столбца или строки (рис.7.11.). В результате необходимое число линий управления уменьшается до $2 \times (N \times M)^{1/2}$

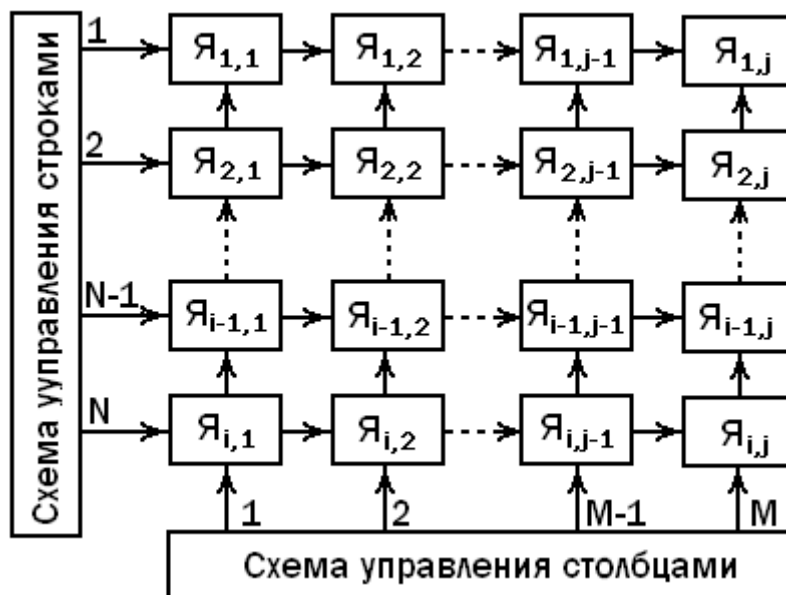


Рис.7.11. Статическая адресация ячеек.

В данном способе каждая ячейка активизируется только в том случае, если на нее **одновременно** поступают сигналы выбора строки и выбора столбца. При этом если сигналы управления, формируемые схемами управления строками и столбцами, в течение кадра остаются неизменными, то такой способ матричной адресации является **статическим**. Однако, в данном методе нельзя независимо управлять состоянием ячеек. То есть, если на какой - либо линии сигнал управления отсутствует, то все соединенные с ней ячейки (вся строка или весь столбец) будут выключены. Поэтому для управления ячейками дисплея **статическая матричная адресация не подходит**.

Динамическая матричная адресация. В данном методе ячейки опрашиваются построчно (рис.7.12). Для этого на линии управления, соответствующей i -й строке формируется сигнал выбора строки, после чего осуществляется одновременное обращение ко всем ячейкам данной строки. Затем осуществляется обращение к $i+1$ строке, и процесс повторяется. Следовательно, выходные сигналы схемы управления столбцами определяют состояние не всего экрана, а только одной его строки в течение периода строчной развертки.

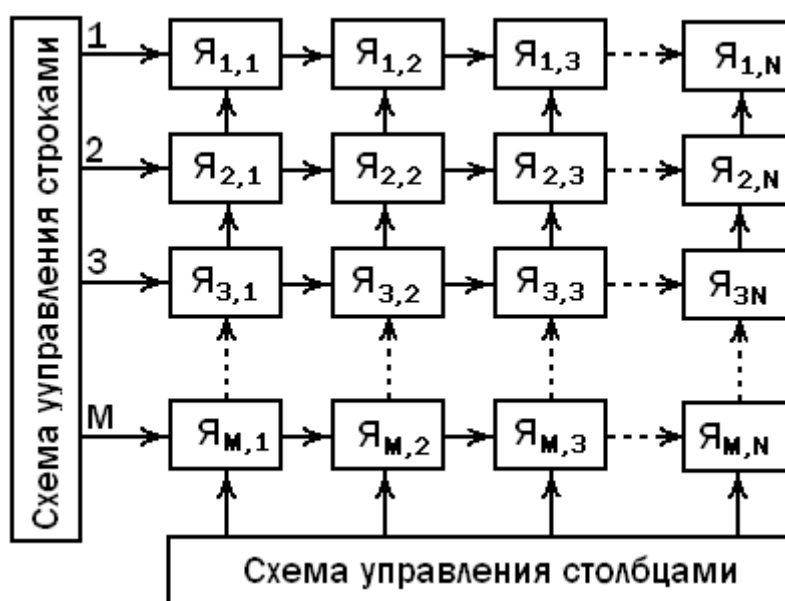


Рис.7.12. Динамическая адресация ячеек

Таким образом, формирование изображения на плоскопанельном экране осуществляется построчно, но все ячейки строки обновляются одновременно. При этом каждая ячейка должна сохранять свое состояние до начала следующего цикла. Для этого сигналы, формируемые схемой управления строками, представляют собой последовательность импульсов, период следования которых равен периоду кадровой развертки, причем сигналы на соседних линиях сдвинуты относительно друг друга на время, необходимое для активизации ячеек строки (рис. 7.13).

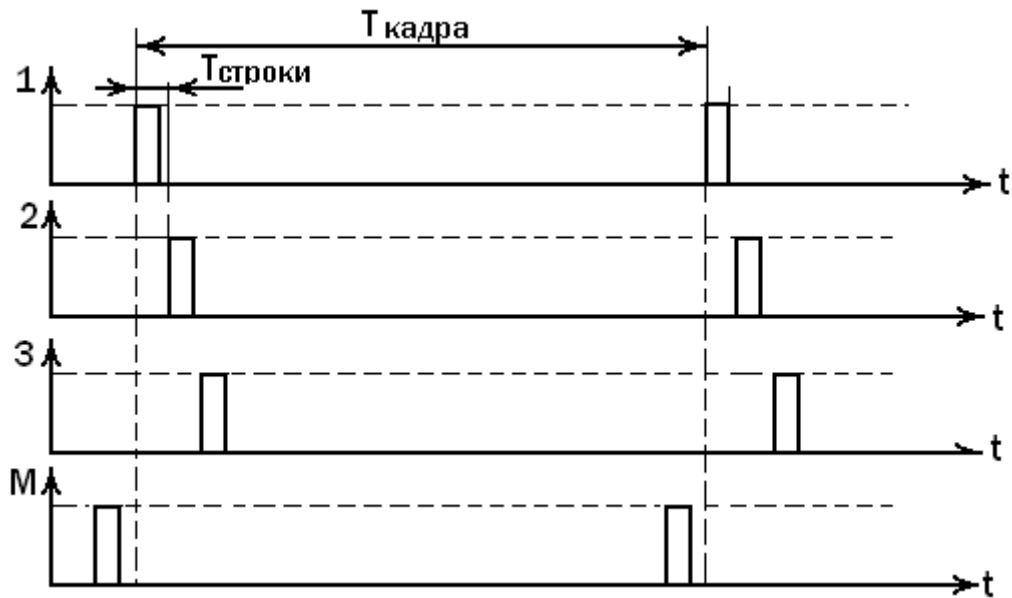


Рис.7.13. Временные диаграммы сигналов адресации ячеек при динамической адресации.

Для ускорения обновления изображения все строки экрана разбиваются на две равные группы (четное и нечетное поля), для каждой из которых используется собственная схема управления. Этот прием похож на чересстрочную развертку, но формирование изображения обоих полей осуществляется одновременно. Такой способ формирования изображения называется **двойным сканированием** и позволяет вдвое сократить время обновления экрана, т. е. в два раза повысить частоту кадров. При этом можно использовать менее инерционные ячейки, что позволяет повысить качество динамического изображения.

Динамическая адресация требует точного соблюдения временных соотношений между сигналами управления строк и столбцов. Для синхронизации сигналов управления строк и столбцов с выходными сигналами видеоадаптера плоскопанельные экраны оснащаются схемами управления частотой и фазой.

На рисунке 7.14 показан принцип развертки изображения в телевизорах с активной ЖК матрицей.

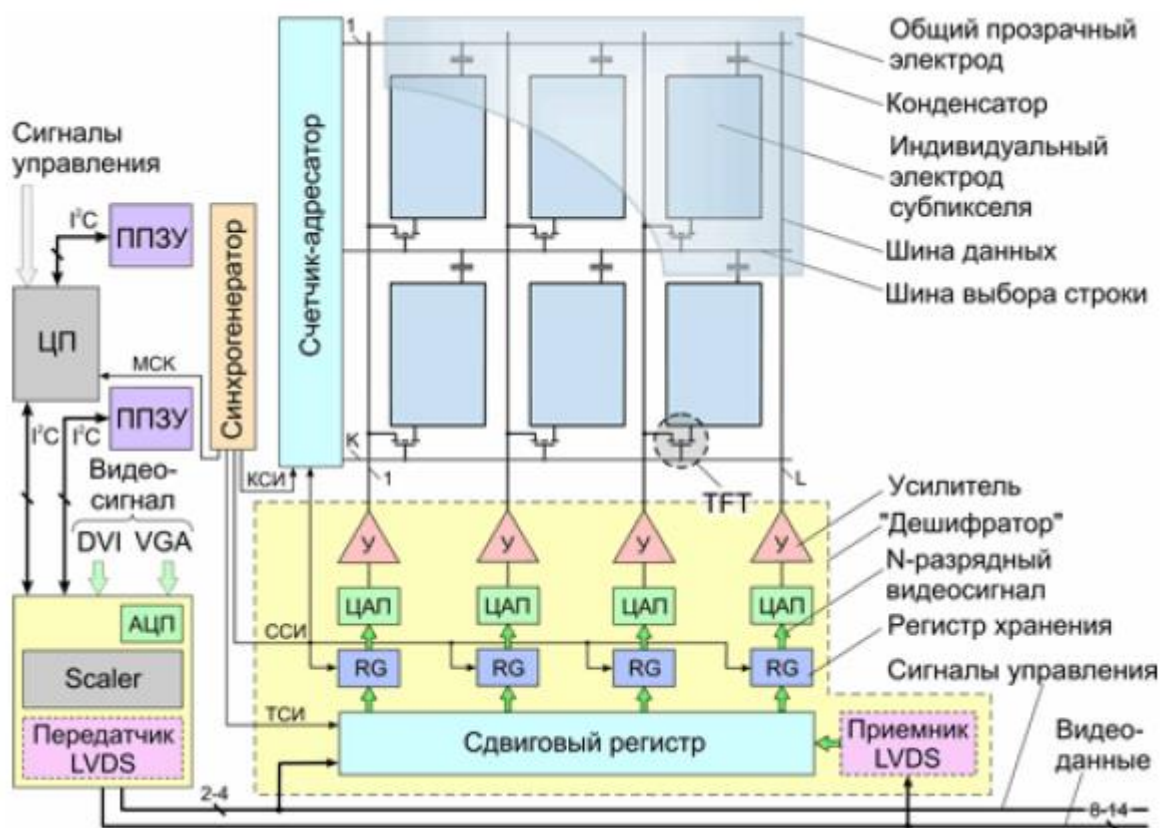


Рис.7.14. Развертка изображений в активной матрице.

Развертка изображения осуществляется следующим образом. При подаче положительного напряжения на горизонтальный электрод строки с номером N транзисторы всех ее ячеек открываются. Одновременно на горизонтальные шины данных подаются напряжения, соответствующие яркостям отдельных ячеек заданной строки. Через открытые транзисторы производится перезаряд конденсаторов и межэлектродных емкостей ячеек. Благодаря хорошей проводимости вертикальных шин данных, этот процесс длится всего 10-20 мкс. Таким образом, время сканирования строк мало, и, следовательно, частота обновления изображения (частота кадров) может быть повышена до 60-85 Гц при разрешении в 768-1080 строк. По окончании процесса перезаряда емкостей на горизонтальный электрод подается нулевой потенциал, и все транзисторы строки закрываются. Индивидуальные электроды ячеек отключаются от шин данных, но, благодаря наличию конденсаторов, напряженность поля в ячейках сохраняется на прежнем уровне до

вывода следующего кадра. Таким образом, несмотря на то, что время сканирования строки крайне мало, молекулы жидкокристаллического вещества успевают повернуться на заданный угол, а ячейка принимает заданное значение яркости. При этом видеосигнал в цифровой форме поступает на специализированную интегральную схему - скейлер (scaler), где преобразуется в соответствии с физическим разрешением матрицы (K строк и L элементов в строке). С выхода скейлера N -разрядный (обычно 8 бит) видеосигнал K -й строки поступает на N -разрядный сдвиговый регистр, который управляется тактовыми синхроимпульсами (ТСИ). Частота следования ТСИ равна частоте следования элементов изображения (рис.7.15).

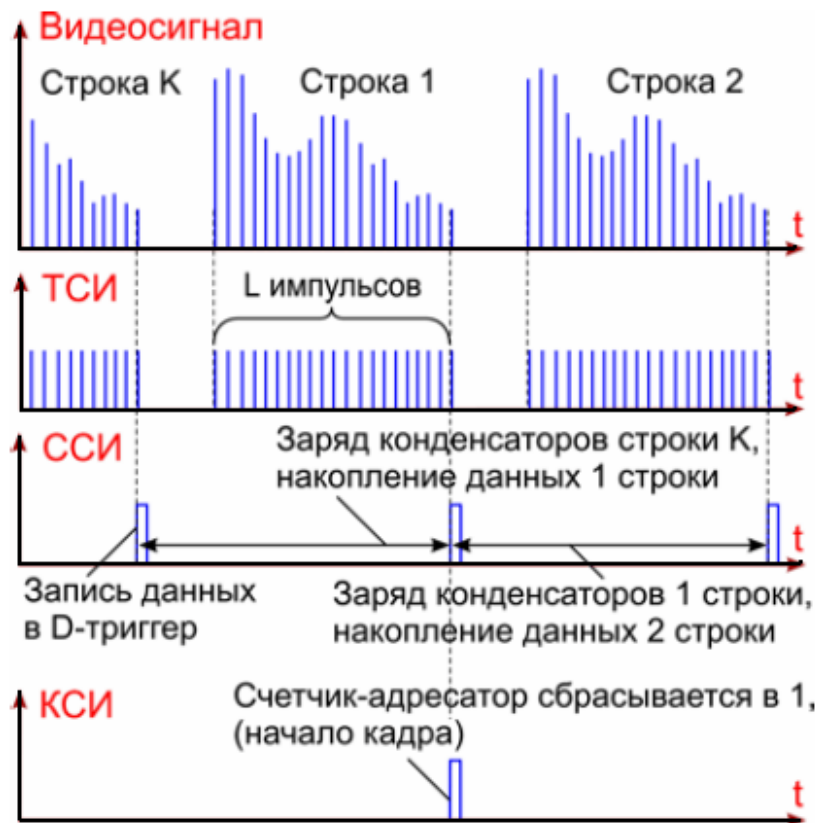


Рис.7.15. Временные диаграммы сигналов развертки

При появлении каждого импульса цифровая последовательность в регистре смещается влево. Когда количество поступивших импульсов равно числу пикселей в строке, цифровые данные яркостей пикселей оказываются на соответствующих выходах сдвигового регистра. В этот момент

по переднему фронту строчного синхроимпульса производится запись цифровых N -разрядных кодов в N -разрядные регистры хранения, а состояние счетчика-адресатора увеличивается на единицу и на шину выбора строки K подается положительное напряжение. Данные с регистров хранения преобразовываются в аналоговые сигналы, которые поступают через открытые транзисторы на ячейки K -й строки и перезаряжают их емкости. Одновременно с процессом перезаряда емкостей ячеек K -й строки в сдвиговом регистре накапливаются данные следующей строки. По окончании процесса накопления данные из сдвигового регистра записываются в D -триггеры, а счетчик-адресатор сбрасывается кадровым синхроимпульсом в единицу. Начинается процесс перезаряда емкостей ячеек 1 строки и накопление данных второй строки.

Таким образом, основные элементы схемы развертки выполняют следующие функции. Счетчик-адресатор преобразует последовательность импульсов в унитарный (позиционный) код. Сдвиговый регистр, является преобразователем последовательного цифрового кода в параллельный. А регистры памяти выполняют две функции - выборки и хранения, запоминая сигнал на выходах сдвигового регистра только в те моменты времени, когда там накопились данные целой строки.

Для уменьшения габаритов LCD функции сдвигового регистра, регистра хранения, ЦАП и усилителей объединены в специализированных интегральных схемах, называемых иногда «дешифраторами». В матрицах с диагональю более 2 дюймов используется, как правило, несколько «дешифраторов».

На рис.7.16 показана структура контроллера развертки FPD87310 для TFT экранов большого разрешения. В данном контроллере энергонезависимая постоянная память - EEPROM интегрирована в кристалл контроллера, а не является внешним компонентом.

В контроллере FPD87310 также используется дисплейный интерфейс FPD-Link. Модуль приемников (FPD Link Rev), который производит прием и преобразование последовательных RGB-сигналов в параллельный формат с TTL-уровнями.

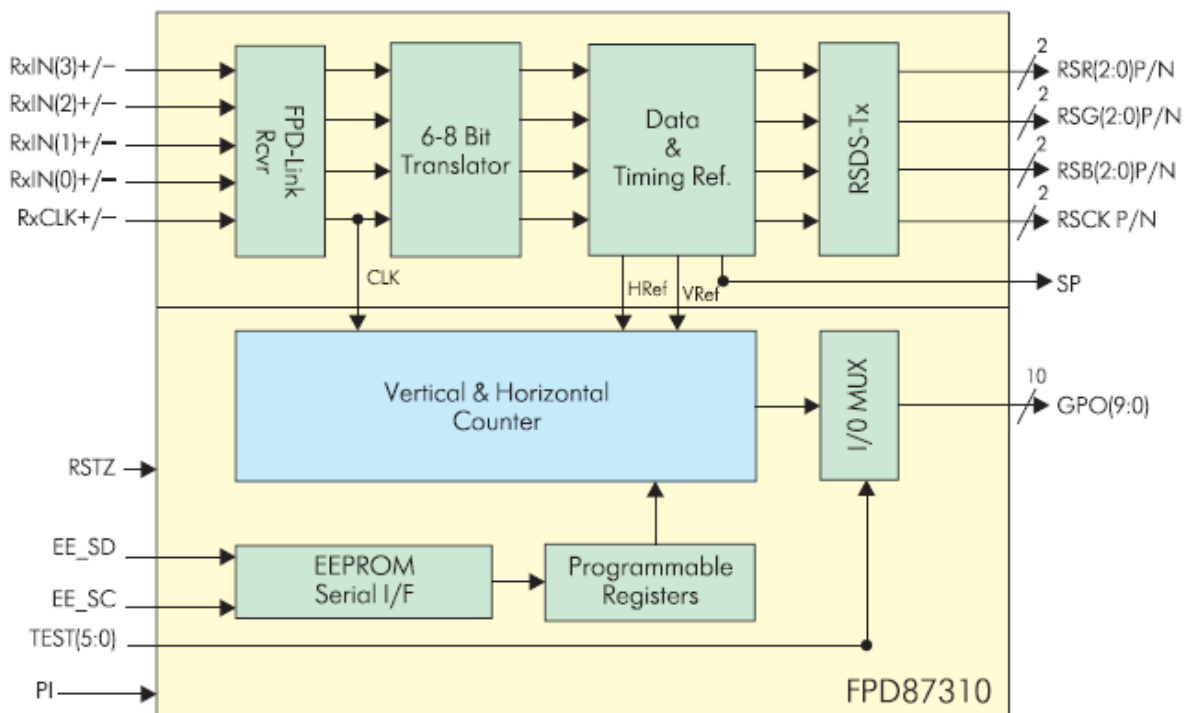


Рис.7.16. Структура контроллера развертки FPD87310 от National Semiconductor.

Сигналы трех 8-разрядных шин затем проходят через модуль преобразования 8-разрядного кода RGB в 6-разрядный. Данное преобразование выполняется только в том случае, если в дисплее применяются столбцовые драйверы с 6-разрядным кодированием пикселей. Далее данные поступают в блок формирования сигналов интерфейса со столбцовыми драйверами. В нем производится преобразование данных в последовательные сигналы RSDS-шин. Передатчики RSDS производят преобразование TTL-уровней в дифференциальные сигналы интерфейса RSDS (Reduced Swing Differential Signaling - дифференциальные сигналы с уменьшенным размахом).

Внутренние сигналы управления разверткой, такие, как GCLK (Gate Driver Clock — кадровый синхросигнал для строчных драйверов), Rev (изменение направления развертки), POL (Polarity control—управление полярностью выходов столбцовых драйверов), LS (Latch input— сигнал записи данных в столбцовые драйверы), программируются посредством 10 программируемых выходов микросхемы GPO (General Purpose

Outputs – выходы общего назначения). Назначение выходов GPO задаются программированием через четыре регистра, с помощью которых может задаваться частота и длительность сигналов синхронизации кадровой и строчной развертки.

Посредством программирования этих четырех параметров управляющие сигналы могут быть изменены в пределах текущего передаваемого кадра изображения. При разработке схемы управления конкретным дисплеем значения этих регистров могут быть изменены посредством внешней EEPROM посредством интерфейса I²C. Последовательный интерфейс соответствует стандартам VESA DDC (Video Electronics Standards Association - ассоциация стандартизации видеоэлектроники, основанная в 1989 году компанией NEC Home Electronics; DDC - Display Data Channel –канал отображения данных) и EDID (Extended Display Identification Data - Расширенные идентификационные данные дисплея).

Благодаря программируемости контроллер развертки FPD87310 обеспечивает большую гибкость при разработке дисплеев и поддерживает все дисплейные стандарты с разрешением формата XGA (1024x768 пикселей), а также новейшие и нестандартные форматы, такие как Half-XGA (1024x480), SVGAW (1024x600), XGAW (1280x768) и WXGA (1152x768).

Следует отметить, что матричная адресация имеет серьезный недостаток, являющийся следствием использования общих линий управления для всех ячеек строки или столбца. То есть при активизации каких - либо ячеек, соседние с ними ячейки также частично активизируются. В результате контрастность изображения на экране может ухудшаться.

8. ПРОЦЕССЫ И УСТРОЙСТВА СИНХРОНИЗАЦИИ

8.1. Требования к сигналам синхронизации

Развертывающие устройства ТВ системы должны работать синхронно и синфазно, то есть одновременно с единой фазой. Это требование выполняется принудительной синхронизацией, для чего на все развертывающие устройства в конце каждой строки и поля подаются специальные синхронизирующие импульсы, которые заставляют их срабатывать в строго определенный момент. Способы синхронизации разверток передающих и приемных устройств различны. Развертывающие устройства на телецентре (ТЦ) соединены с источником импульсов кабельными линиями. Они синхронизируются импульсами с частотой строк и полей. Для синхронизации развертывающих устройств приемников формируется специальный сигнал сложной формы, который передается вместе с сигналом изображения. Кроме того, в ТВ сигнал входят импульсы гашения обратного хода луча. В передающих устройствах это необходимо, чтобы электронный луч не считывал заряды во время обратного хода и не оставлял следа на мишени, а в приемных – чтобы не создавалась дополнительная засветка экрана и не снижалась контрастность. Смесь гасящих импульсов сложная из-за разницы времени обратных ходов по строкам и полям – узкие с частотой строк и широкие с частотой полей. Длительность гасящих импульсов приемной трубки должна быть больше длительности гасящих передающей трубки, т.к. при переменной работе от разных камер могут возникнуть непредвиденные сдвиги сигналов изображения относительно сигналов синхронизации. Таким образом, на ТЦ формируются следующие сигналы: синхронизирующие импульсы строк и полей, сигнал синхронизации приемников, гасящие импульсы приемной трубки и гасящие импульсы передающей трубки.

8.2. Выделение синхроимпульсов из ТВ сигнала и их разделение

Сигнал синхронизации приемников передается вместе с сигналом изображения во время обратного хода луча с уровнем, ниже уровня импульсов гашения. Это позволяет достаточно просто отделить синхросмесь от видеосигнала сигнала обычным амплитудным ограничением (рис.8.1).

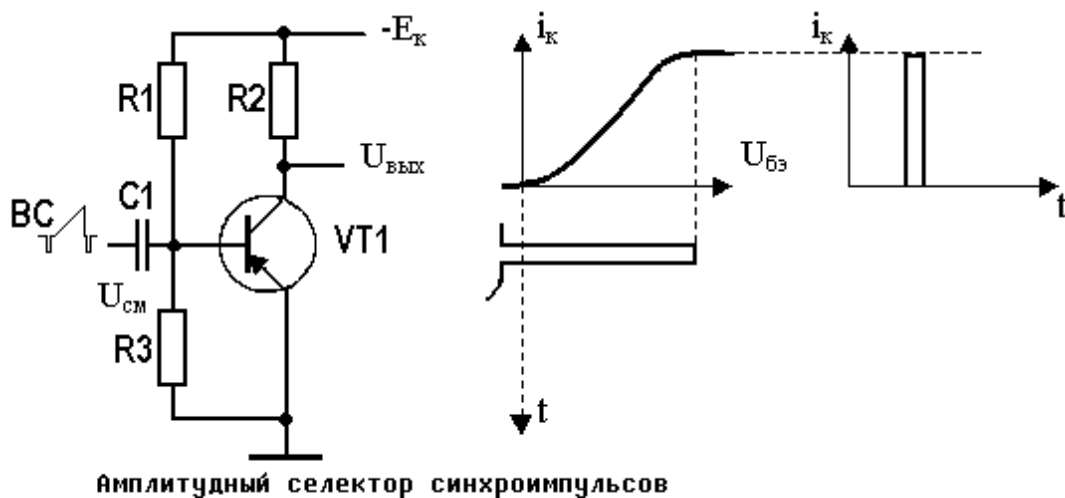


Рис.8.1. Выделение синхронизирующих импульсов из синхросмеси

Разделение синхроимпульсов. Для упрощения задачи разделения синхроимпульсов по строкам и кадрам их делают разной длительности, которые затем разделяются при помощи дифференцирующих и интегрирующих цепей. ДЦ является фильтром верхних частот (ФВЧ), которая выделяет фронты ССИ и КСИ. А ИЦ является фильтром нижних частот (ФНЧ), которая за счет своей инерционности преобразует импульсы разной длительности в разницу амплитуд, как показано на рис.8.2, б.

Эффективность разделение синхроимпульсов достигается подбором постоянных времени RC цепей. При этом под постоянной времени цепи понимают время в течении которого

ток или напряжение на конденсаторе уменьшается в «e» раз, то есть примерно 2,7 раза.

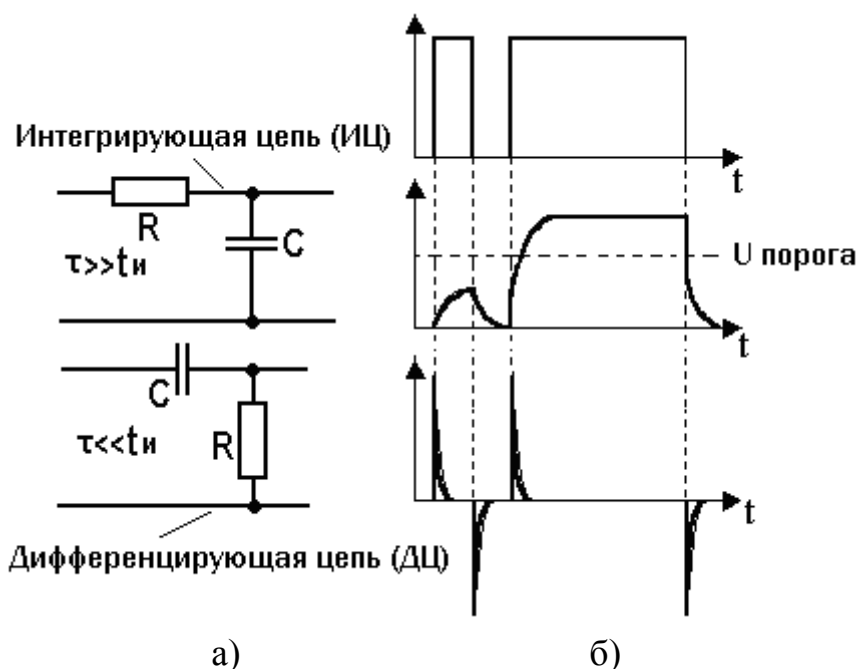


Рис.8.2. Разделение синхроимпульсов RC цепями.

Строчные синхронизирующие импульсы выделяются дифференцирующей (ДЦ) RC цепью с постоянной времени $\tau = t_{сч}/2-3$. Так, при подаче на вход ДЦ прямоугольного строчного синхроимпульса положительной полярности на её выходе образуются два коротких импульса разной полярности (рис.8.2,б). При этом положительный импульс соответствует переднему фронту входного импульса, а отрицательный – его заднему фронту. Импульсами положительной полярности управляется генератор строчной (горизонтальной) развёртки.

Если на вход ДЦ поступят КСИ, то от кадрового импульса также выделяются фронты импульсов, выполняющие роль ССИ. Однако, так как длительность КСИ занимает 2,5 строки, то во время передачи КСИ строчная синхронизация будет нарушена. Соответственно генератор строчной развертки окажется не управляемым на время действия КСИ и в верхней части раstra возможен загиб изображения. Поэтому в КСИ вводятся специальные врезки, обеспечивающие непрерывную синхронизацию строчной развертки во время действия КСИ.

Поскольку кадровые синхроимпульсы имеют значительно большую длительность, чем ССИ, то они выделяются интегрирующей цепочкой. Т.к. длительность КСИ в **37,5 больше ССИ**, то за время действия ССИ конденсатор ИЦ не должен заметно зарядиться. Поэтому для эффективного отделения КСИ надо увеличивать τ . Но чем больше τ , тем более пологими становятся фронты импульса, что приводит к нестабильности момента синхронизации, поэтому на практике используют 2-х или 3-х звенные интегрирующие цепи. Кроме того, из за того, что при чересстрочной развёртке в полукадрах передается 312,5 (целая часть и еще половина строки), то момент запуска развёртки по полю в чётных полях (τ_1) начинается на полстроки ($H / 2 = 32$ мкс) раньше, чем в нечётных полях (τ_2), что показано на рис.8.3. Эта особенность влияет на работу строчной синхронизации в результате чего строки четного и нечетного поля могут пойти по одной траектории, что приведет к потере вертикальной четкости в 2 раза.

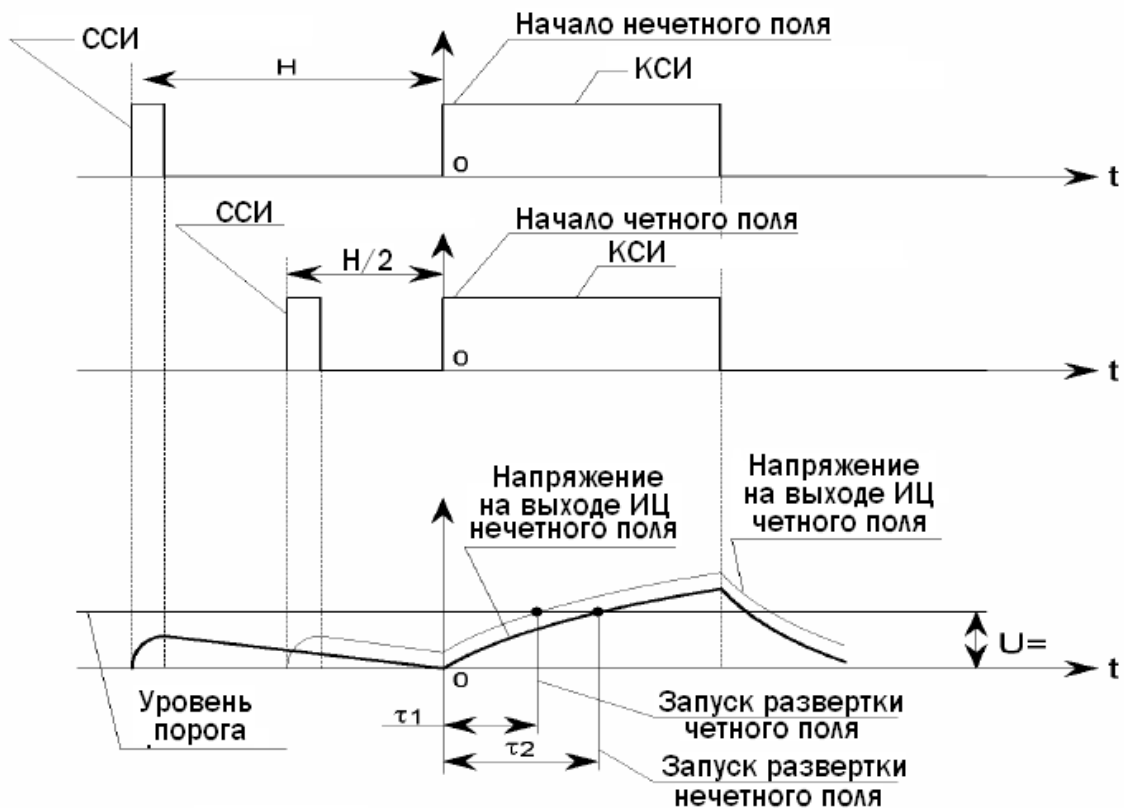


Рис.8.3. Нарушение идентичности моментов запуска развёртки по полям при чересстрочной развёртке

Это объясняется тем, что к приходу синхроимпульса полей на конденсаторе интегрирующей цепочки остаётся остаточное напряжение, вызванное воздействием на неё синхроимпульса строк, предшествующего синхроимпульсу полей.

Из рис.8.3 видно, что в чётных полях это остаточное напряжение оказывается большим, чем в нечётных, так как расстояние между синхроимпульсом полей и синхроимпульсом строк в два раза меньше, чем в нечётных полях. В результате чего конденсатор интегрирующей цепочки не успевает разрядиться полностью.

Для устранения этих недостатков в КСИ вводятся *врезки* не строчной, а двойной строчной частоты, а перед началом и после КСИ передаются специальные *уравнивающие импульсы* также двойной строчной частоты, по 5 штук до и после КСИ (рис.8.4).

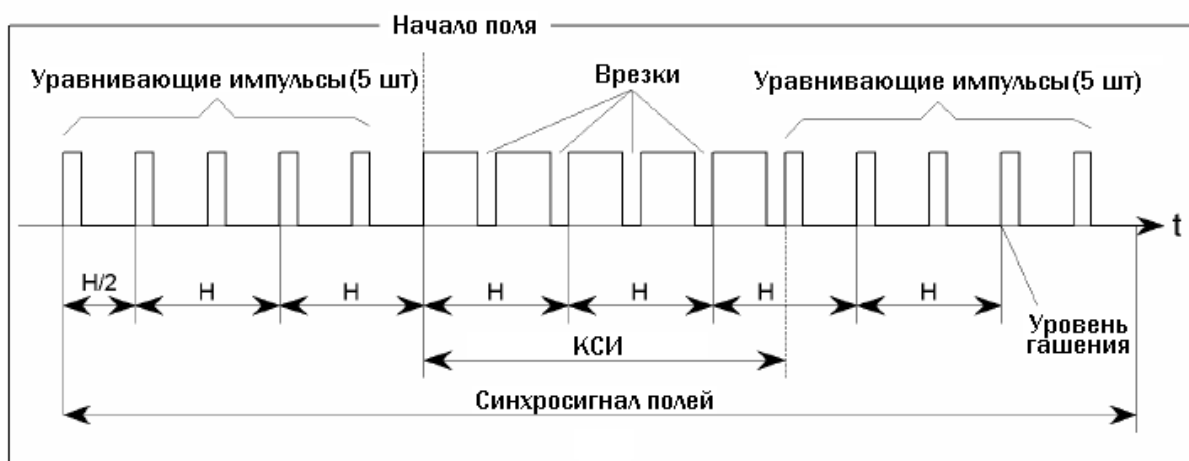


Рис. 8.4. Состав синхросигнала полей

Таким образом «Врезки» позволяют сохранить синхронизацию по строкам во время передачи синхроимпульса полей. Задний фронт «врезки» совпадает с передним фронтом синхроимпульса строк, который должен бы быть на этом месте. Длительность «врезки» составляет 2.5 мкс. Период следования «врезок» $H/2 = 32$ мкс. Длительность же синхроимпульса полей равна $2.5H = 160$ мкс.

Уравнивающие импульсы имеют период следования $H/2 = 32$ мкс с длительностью по 2.35 мкс каждый. Амплитуда уравнивающих импульсов равна амплитуде синхроимпульсов. Уравнивающие

импульсы вместе с «врезками» позволяют уравнивать интервалы времени от начала синхроимпульсов полей до момента запуска развёртки по полю в чётных и нечётных полях, т.е. сделать $\tau_1 = \tau_2$. Функциональная схема селектора синхроимпульсов представлена на рис.8.5.

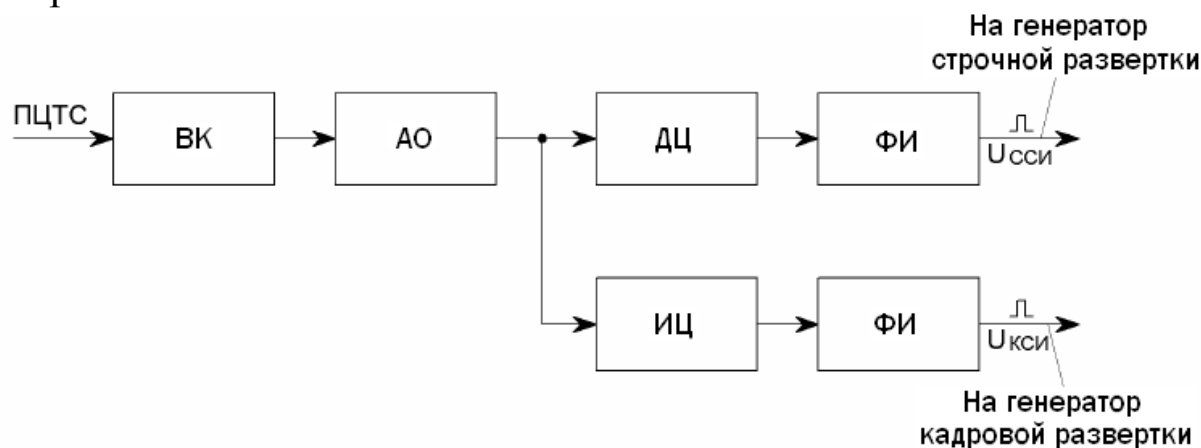


Рис.8.5. Функциональная схема селектора синхроимпульсов.

Схема содержит следующие блоки:

ВК - входной каскад; АО - амплитудный ограничитель;
 ДЦ - дифференцирующая цепь; ИЦ - интегрирующая цепь;
 ФИ - формирователь импульсов (пороговое устройство).

Схема работает следующим образом. На вход селектора синхроимпульсов поступает полный телевизионный сигнал. Входной каскад селектора (ВК) разделяет по уровню синхросигналы и сигналы изображения. Выделенные синхросигналы поступают на амплитудный ограничитель (АО), который ограничить импульсы помех и остатков видеосигнала, которые могут проникнуть в канал синхронизации и нарушить его работу. С выхода АО синхросмесь поступает на параллельно включённые дифференцирующую (ДЦ) и интегрирующую (ИЦ) цепочки, где происходит разделение строчных и кадровых синхроимпульсов. С выходов каждой из цепочек сигналы поступают на формирователи импульсов (ФИ), которые исключают влияния нестабильности формы и амплитуды импульсов на выходе ДЦ и ИЦ на работу устройств строчной и кадровой синхронизации. С выходов ФИ импульсы поступают на

задающие генераторы строчной и кадровой развертки телевизора.

8.3. Синхронизация генераторов

Синхронизация генераторов подразделяется на **непосредственную (захватывание частоты генератора)** и **инерционную (параметрическую)**. При непосредственной синхронизации импульс воздействует на автогенератор, непосредственно навязывая ему вынужденные колебания с определенной частотой и фазой. Этот вид синхронизации проще в реализации, особенно при использовании в качестве задающих генераторов мультивибраторов или блокинг-генераторов, но сигналы ТВ между ТЦ и приемником передаются по каналам связи, подверженным помехам. Помехи в радиоканале по-разному влияют на синхронизацию строчной и кадровой разверток. Т.к. выделяющая кадровые синхроимпульсы интегрирующая цепь является ФНЧ, синхронизация кадровой развертки почти не подвержена действию импульсных помех. Дифференцирующая цепочка (ФВЧ), выделяющая строчные импульсы, не может защитить генератор от действия помехи, и канал строчной синхронизации имеет низкую помехоустойчивость, поэтому в канале строчной синхронизации используется метод инерционной синхронизации.

Инерционная синхронизация. Отделение синхроимпульса от помехи по амплитудному принципу не дает большого выигрыша в помехоустойчивости. Инерционная синхронизация основано на другом отличии помехи от синхроимпульсов. Синхроимпульсы имеют постоянный период следования, а помеха хаотична. В инерционной синхронизации используют метод ФАПЧ. Основан на сравнении частоты и фазы строчного генератора с частотой и фазой строчных синхроимпульсов, выделенных из ВС. Структурная схема ФАПЧ представлена на рис.8.6.

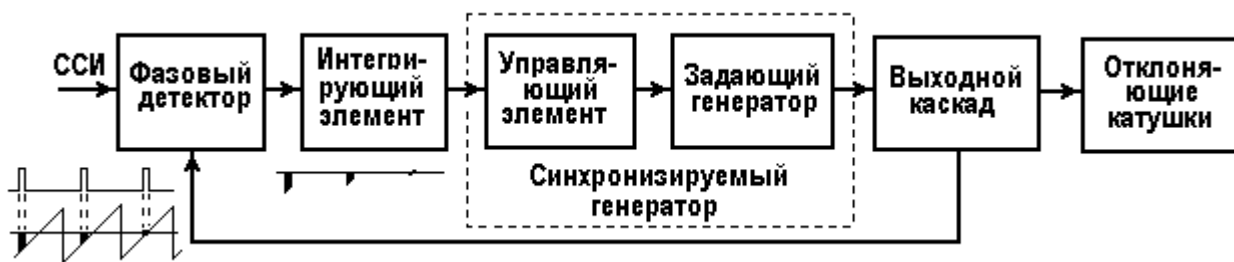


Рис.8.6. Структурная схема инерционной синхронизации

Такой метод управления является параметрическим, потому что под действием управляющего напряжения изменяется какой-либо параметр задающего генератора. Два сравниваемых сигнала – с выхода собственно генератора развертки и выделенные из ВС ССИ – поступают на два входа фазового детектора, где сравниваются их фазы и вырабатывается напряжение, пропорциональное разности мгновенных значений этих фаз. Из-за импульсного характера сравниваемых напряжений сигнал на выходе также будет импульсным, поэтому ставится интегрирующий элемент. Он в значительной мере подавляет действие импульсных помех, так как среднее изменение фазы, вызванное такой помехой, за достаточно большой промежуток времени равно нулю. Таким образом, на выходе интегрирующей цепи образуется постоянное или медленно меняющееся напряжение, величина и знак которого соответствуют разности фаз сравниваемых напряжений. Это напряжение воздействует на управляющий элемент, который перестраивает частоту работы генератора (например, изменяется напряжение смещения на базе транзистора ЗГ, а, следовательно, изменяется момент его открывания или закрывания).

8.4 Синхронизация генераторов строчной развертки

В современных телевизорах в состав системы строчной синхронизации входит система фазовой автоподстройки опорного генератора (ФАП - 1) и система фазовой

автоподстройки задающего генератора строчной развёртки (ФАП - 2).

Опорный генератор вырабатывает пилообразное напряжение, используемое для формирования сигналов, управляющих работой всей системой синхронизации ТВ-приёмника.

Система фазовой автоподстройки опорного генератора (ФАП-1) предназначена для «привязки» фазы (временного положения) напряжения опорного генератора (ОГ) к фазе ССИ. Она состоит из опорного генератора (ОГ), фазового детектора (ФД), фильтра (Ф) и идентификатора (Ид). Функциональная схема системы фазовой автоподстройки опорного генератора приведена на рис.8.7.

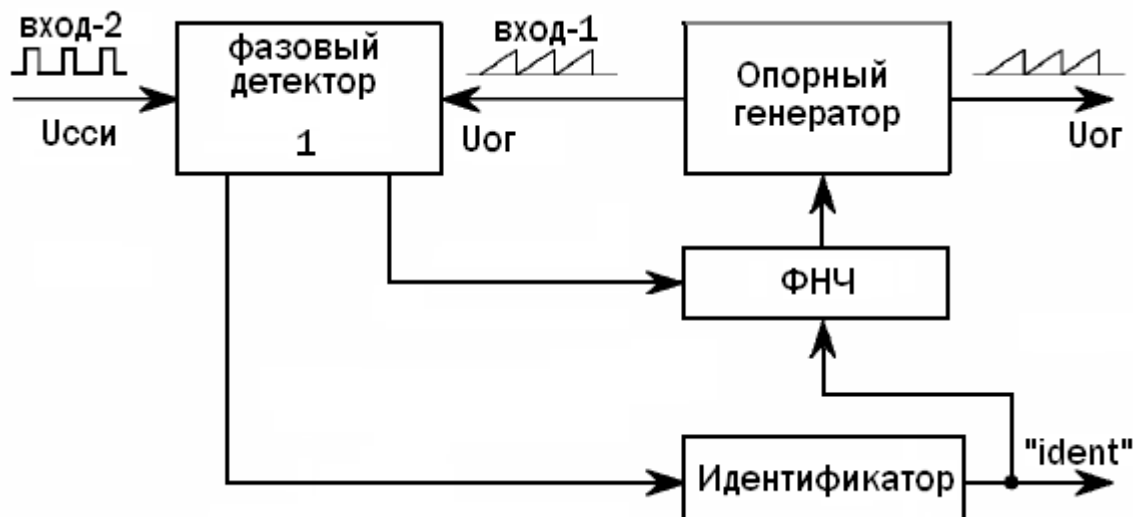


Рис.8.7. Функциональная схема системы фазовой автоподстройки опорного генератора.

Напряжение с выхода опорного генератора $U_{ог}$ подаётся на вход-1 фазового детектора (ФД-1). На второй вход ФД-1 поступают ССИ ($U_{сси}$) от селектора синхроимпульсов. При изменении взаимного временного положения сигналов на входах ФД-1 на выходе его появляется напряжение, величина и знак которого определяется временным расположением одного сигнала относительно другого. Напряжение с выхода фазового детектора через ФНЧ поступает на схему управления частотой опорного генератора и сдвигает по времени пилообразное

напряжение генератора до тех пор, пока не будет устранено временное рассогласование между входными сигналами ФД-1.

Система ФАП-1 может работать в двух режимах: **режиме поиска-захвата и в режиме слежения за частотой и фазой сигнала синхронизации.**

Режим поиска-захвата наступает с момента подачи ПТС на вход системы синхронизации. В этом режиме ФАП-1 изменяя частоту следования сигналов ОГ обнаруживает сигнал синхронизации и уменьшает начальное рассогласование сигналов на входе фазового детектора. Полоса захвата системы обычно выбирается ± 1 кГц. Для этого в цепи ФАП-1 используется ФНЧ с широкой полосой пропускания, для уменьшения времени вхождения в синхронизм при больших рассогласованиях входных сигналов ФД-1. По окончании режима поиска-захвата система ФАП-1 переходит в режим слежения.

В режиме слежения ФАП-1 обрабатывает сравнительно медленные уходы частоты и фазы ОГ, вызванные нестабильностью его работы. Полоса удержания системы ФАП-1 составляет $\pm 1,5$ кГц. В этом режиме не требуется высокое быстродействие, но предъявляются требования по обеспечению высокой защищённости от посторонних сигналов, которые могут поступать на вход ФД-1 вместе с сигналами синхронизации. Поэтому в режиме слежения полоса пропускания ФНЧ по команде сигнал «Ident» уменьшается. Сигнал «Ident» вырабатывается системой идентификации и свидетельствует об обнаружении сигнала ТВ-вещания и синхронизации опорного генератора.

Система фазовой автоподстройки задающего генератора строчной развёртки (ФАП-2) предназначена для устранения временного рассогласования между током строчной развёртки и принятым сигналом изображения. Дело в том, что из-за инерционности мощного выходного каскада строчной развёртки, после окончания активной части строки электронный луч кинескопа продолжает двигаться к правому краю экрана. В результате такого нарушения синфазности развёртки и

передаваемого изображения на правом краю экрана изображение будет отсутствовать. Для устранения этого эффекта предназначена система ФАП-2, функциональная схема которой показана на рис.8.8.

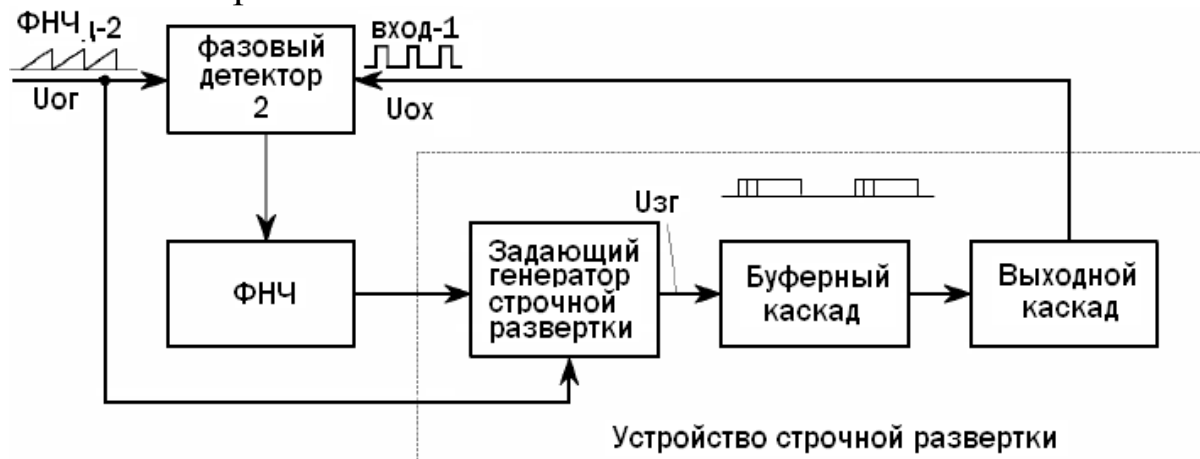


Рис.8.8. Функциональная схема автоподстройки задающего генератора строчной развёртки.

Схема работает следующим образом. Импульс обратного хода строчной развёртки ($U_{ох}$) с выходного каскада (ВК) поступает на первый вход фазового детектора (ФД-2). На второй вход ФД-2 поступает напряжение опорного генератора ($U_{ог}$), которое жёстко привязано по времени, как к ССИ, та и СГИ.

ФД-2 вырабатывает постоянное напряжение ошибки, зависящее от рассогласования времени прихода $U_{ог}$ -соответствующей гасящему импульсу строк в ПТС, и временем прихода импульсов обратного хода. Это напряжение через ФНЧ поступает на управляющий элемент генератор строчной развёртки.

ЗГ строчной развертки с помощью напряжения опорного генератора $U_{ог}$ вырабатывает прямоугольные импульсы $U_{зг}$, из которых буферный каскад формирует сигналы, управляющие работой выходного каскада. Напряжение с выхода ФНЧ управляет временным положением переднего фронта $U_{зг}$, чем регулируется момент времени отпираания транзистора выходного каскада, а значит, и временное положение импульса обратного хода ($U_{ох}$). Импульс $U_{ох}$ сдвигается по времени до тех пор, пока не будет устранено временное рассогласование между сигналами,

поступающими на входы фазового детектора. При этом диапазон изменения переднего фронта импульса $U_{ог}$ составляет порядка 15-25 мкс, а ошибка рассогласования фаз сигналов, поступающих на входы ФД-2 не превышает десятых долей микросекунды.

8.5 Синхронизация генераторов кадровой развертки

Функциональная схема устройства кадровой синхронизации представлена на рис.8.9.

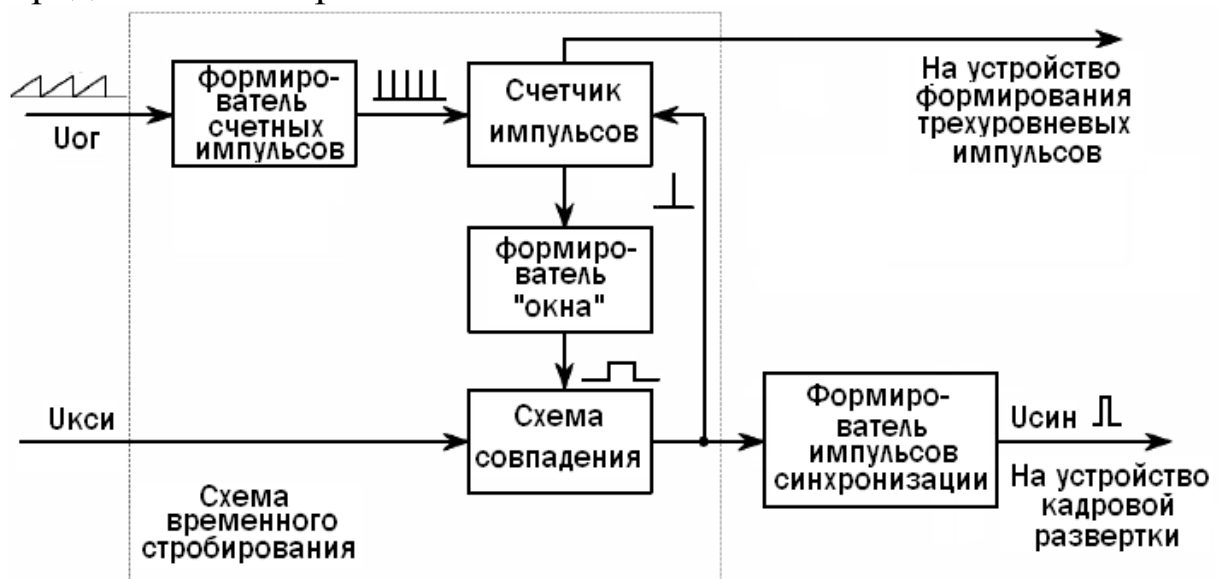


Рис.8.9. Функциональная схема устройства кадровой синхронизации

Система кадровой синхронизации состоит из схемы временного стробирования и формирователя импульсов запуска задающего генератора кадровой развёртки.

Схема временного стробирования предназначена для повышения помехоустойчивости канала кадровой синхронизации. Она пропускает на свой вход только синхроимпульсы полей, и препятствует прохождению через неё импульсных помех, которые могут появиться на её входе. Схема может работать в двух режимах: в режиме поиска синхроимпульса полей и в режиме слежения за временным положением этого импульса.

В режиме поиска формирователь счётных импульсов из напряжения опорного генератора $U_{ог}$ формирует импульсы малой длительности с частотой, равной удвоенной частоте синхроимпульсов строк (31250 Гц). Счётные импульсы поступают на счётчик, работающий в режиме деления частоты. Когда количество входных импульсов превысит его ёмкость, счётчик обнуляется, и процесс счёта повторяется вновь. Ёмкость счётчика N_0 выбрана большей числа 625 (т.е. большей количества счётных импульсов за время одного поля). В момент прихода 600-го счётного импульса счётчик выдаёт сигнал запуска формирователя «окон». «Окна» - это прямоугольные импульсы, начало которых совпадает с сигналом запуска формирователя, а конец - с моментом обнуления счётчика.

«Окна» поступают на один из входов схемы совпадения. А на второй вход этой схемы подаются синхроимпульсы полей (Укси), выделенные в селекторе синхроимпульсов. Поскольку периоды следования «окон» и синхроимпульсов неодинаковы, то «окно» перемещается во времени относительно синхроимпульса от периода к периоду. В момент попадания синхроимпульса в «окно» на выходе схемы совпадения появляется импульс, который обнуляет счётчик, и схема переходит в режим слежения.

В режиме слежения запуск формирователя «окон» осуществляется, как и прежде. 600-м счётным импульсом, а обнуление - сигналом со схемы совпадения, совпадающим с 625-м импульсом. Периоды следования «окон» и синхроимпульсов полей теперь оказываются одинаковыми, и их взаимное положение от периода к периоду не меняется. Через схему совпадения проходят синхроимпульсы полей, совпадающие по времени с «окном», длительность которого равна пяти счётным импульсам. Таким образом, помехи, находящиеся за пределами «окна», схемой временного стробирования не пропускаются, тем самым делая кадровую синхронизацию более надежной.

Схема формирователя импульса запуска задающего генератора кадровой развёртки представляет собой ждущий мультивибратор, который вырабатывает импульс при поступлении на его вход сигнала со схемы совпадения.

В устройство синхронизации ТВ-приёмника входит также система формирования стробирующих сигналов. Эта система предназначена для формирования последовательностей импульсов, которые используются для стробирования и управления работой системы цветовой синхронизации телевизора.

9. ПРИНЦИПЫ ПЕРЕДАЧИ ЦВЕТНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

9.1 Способы получения цветного изображения

Поскольку человеческий глаз воспринимает цвета окружающего мира в красном, зеленом и синем спектре, то соответственно в телевидении также необходимо передавать информацию о цвете в RGB компонентах. Эти три монохромных изображения могут быть переданы по каналу связи на приёмные устройства как обычные чёрно-белые изображения (например, каждое одноцветное изображение на своей несущей частоте). На приёмной стороне из переданных трёх монохромных изображений должно составляться (синтезироваться) цветное изображение. Разложение изображения на составные части и его синтез могут осуществляться либо последовательным, либо параллельным способами.

При *последовательном способе* изображение последовательно разлагается на основные цвета, которые передаются один за другим. Такая система не нашла применения, так как для того чтобы мелькания цветного изображения не были заметны, необходимо было увеличить в 3 раза скорость передачи по сравнению со скоростью передачи чёрно-белого изображения. То есть необходимо за время одного кадра передать три монохроматических изображения. Соответственно такой способ передачи требует увеличения полосы частот канала связи в три раза, что недопустимо.

При *параллельном (одновременном) способе* разложение изображения на три монохромных картинки и их передача по каналу связи производится одновременно. Такая система в общем случае может быть создана при механическом соединении трёх стандартных чёрно-белых ТВ- систем. Каждая из систем передаёт информацию об одном из основных цветов, а на приёмной стороне три полученных одноцветных изображения совмещаются на общем экране. Структурная схема такой системы представлена на рис.9.1.

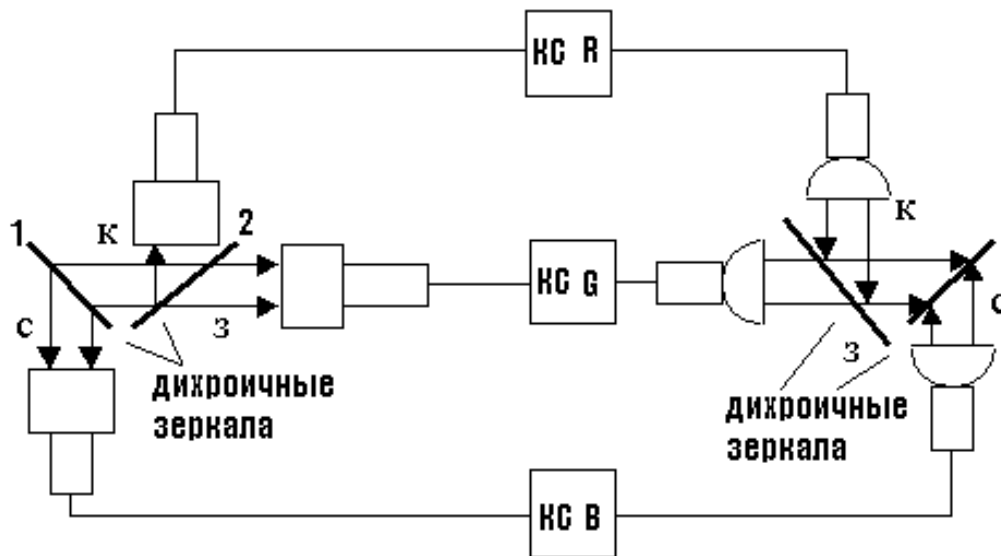


Рис. 9.1. Схема одновременной системы ЦТВ

Разложение светового потока на 3 составляющих обычно производится специальной цветоделительной системой, содержащей светофильтры на дихроичных (цветоизбирательных) зеркалах, отражающих одну часть спектра и практически без потерь пропускающая остальную часть. Так дихроичное **зеркало 1 отражает синюю часть светового потока на «синюю»** трубку и пропускает остальную часть излучения. **Зеркало 2 отражает красную составляющую и пропускает зеленую на «зеленую»** трубку. Далее полученные от 3 трубок видеосигналы по 3 каналам связи (КС) передаются на приемное устройство, где 3 цветоделенных изображения при помощи аналогичных дихроичных зеркал совмещаются в одно. При этом сигналы E_R , E_G и E_B называются сигналами основных цветов.

Данный способ передачи и воспроизведения основных цветов требует точного оптического и электрического совмещения трех растров передающих и приемных трубок, так как нарушение совмещения может привести к потере четкости и появлению цветных окантовок.

9.2 Требования к вещательной системе цветного телевидения

Поскольку к моменту создания систем цветного телевидения в мире была создана обширная инфраструктура черно-белого телевидения, включающая телевизионные и радиопередающие центры, радиорелейные, кабельные и спутниковые магистрали для обеспечения иногороднего и иностранного вещания, а также огромный парк черно-белых телевизоров у населения. Причем вся каналобразующая инфраструктура с телевизионными приемниками была ориентирована на передачу яркостного сигнала в полосе частот 6,5 МГц. А поскольку для передачи трех канальных сигналов цветного телевидения (RGB) требуется минимальная полоса частот $6,5 \times 3 = 19,5$ МГц, что не достижимо при существующих каналах связи. Создавать с нуля полностью новую инфраструктуру для цветного телевидения невозможно, так как это требует огромных денежных средств. Поэтому было необходимо как-то адаптировать основные параметры разрабатываемой системы цветного ТВ под существующие стандарты черно-белого телевидения. Таким образом, к вещательным системам цветного телевидения (ЦТВ) были предъявлены следующие требования:

1. Совместимость с системой черно-белого ТВ, под которой понимается возможность приема без помех черно-белым приемником ЦТ программ в черно-белом виде. Этот принцип обеспечивает возможность одновременного функционирования цветных и черно-белых приемников. В связи с этим при разработке принципов построения систем ЦТВ должны быть учтены параметры стандартов черно-белого ТВ. Основные параметры – это частота строчной и кадровой разверток и полоса частот, занимаемая спектром.
2. Высокое качество цветовоспроизведения, которое оценивается степенью соответствия ТВ изображения оригиналу. Это означает, что цветность каждого элемента изображения не должна отличаться от соответствующего элемента оригинала, а отношение яркостей

соответствующих элементов изображения и оригинала является величиной постоянной для всех передаваемых цветностей.

3. Относительная простота цветного ТВ приемника при его надежности при его экономической доступности.
4. Перспективность ЦТВ системы с точки зрения ее дальнейшего развития, включающее повышение качества преобразования, обработки и передачи изображения, а также передачу зрителю дополнительной информации с выводом ее на ТВ экран (телетекст и т.д).
5. Совместимость стандартов для обеспечения возможности обмена программами с другими странами.

9.3. Принципы построения совместимых систем телевидения

Для обеспечения совместимости со стандартом черно-белого ТВ необходимо передавать сигнал яркости по которому работает черно-белый телевизор. Однако, из колориметрии известно, что белый цвет можно получить суммированием RGB компонент в соотношении, определяемом спектральной чувствительностью глаза к основным цветам люминофоров. Приведенные расчеты показали, что для спектрального состава свечения существующих люминофоров для красного, зеленого и синего цвета содержание основных цветов в яркостном описывается выражением:

$$E_Y = 0,30E_R + 0,59E_G + 0,11E_B. \quad (9.1)$$

То есть для получения белого цвета на экране цветного кинескопа необходим состав сигнала из 30% красного, 59% зеленого и 11% синего цвета. Такой сигнал на передающей стороне (на телецентре) формируется линейной электрической схемой, называемой кодирующей матрицей.

При наличии сигнала яркости нет необходимости передавать по каналу связи сигналы трех основных цветов. Достаточно передавать два из них, а третий можно будет получить в декодирующей матрице, вычитая их из яркостного.

Как показали исследования, человеческий глаз плохо воспринимает цвета мелких деталей. Связь между размерами детали и требующейся для ее передачи верхней границей полосы частоты, показана на рис.9.2,б. Многочисленные опыты показали, что с уменьшением размеров деталей их видимая цветовая насыщенность становится меньше, причем для разных цветов эти размеры различны. Подобное явление потери цветового зрения связано с различной спектральной чувствительностью глаза (наибольшая для зеленого цвета, средняя для красного и малая для синего). Зависимость этой потери приведена на рис.9.1,а.

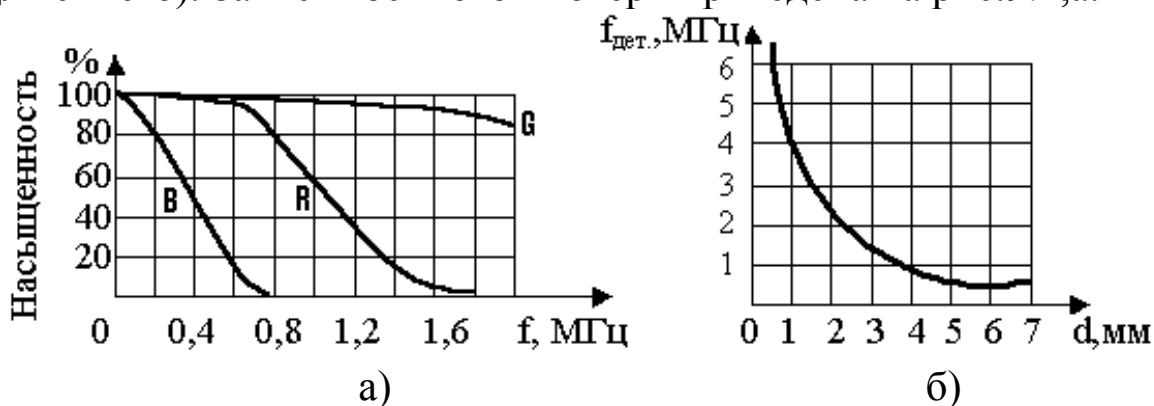


Рис.9.2. Зависимости цветовой чувствительности глаза от размеров деталей изображения

Из рисунка 9.2,а видно, что зеленые мелкие детали сохраняют различимость цвета почти до верхней границы ТВ спектра, в то время как для **красных** различимость падает около **1,4-1,6 МГц**, а для **синих** вообще на **0,6-0,8 МГц**. То есть, если например, зеленое яблоко разместить перед телекамерой и затем ее отодвигать в даль. При этом на экране телевизора первоначально будет отображаться большое яблоко, а с удалением камеры его размеры на экране будут уменьшаться до точки. Так вот зеленое яблоки глазом будет восприниматься до размера точки. Если вместо зеленого яблока взять красное и повторить эксперимент, то окажется, что оно будет восприниматься красным примерно до размера 3 мм. А затем с уменьшением размера вначале красное яблоко будет восприниматься желто-оранжевым, а потом вообще превратится в серое, то есть в глазу пропадет цветовосприятие. Если же

условно взять синее яблоко, то человек перестанет воспринимать его в цвете при больших размерах, чем красное. Вот такая особенность нашего цветового зрения позволяет ограничить верхнюю часть спектра красного и синего сигнала, так как если мы не их не видим в мелких деталях, так зачем тратить на них частотный ресурс. Таким образом достаточно передавать цветовую информацию о двух основных цветах в сокращенной полосе частот (обычно до 1,5 МГц), поскольку глаз все равно мелкие детали в красном и синем цвете не воспринимает. Кроме того, т.к. яркостной сигнал несет полную информацию о яркостных соотношениях передаваемых элементов изображения, то ее можно исключить из сигналов основных цветов. Т.е. по каналу связи можно передавать E_Y , E_{B-Y} и E_{R-Y} . Последние два сигнала получили название **цветоразностных сигналов, которые формируются в кодирующей матрице** в соответствии со следующими выражениями:

$$\begin{aligned} E_Y &= 0,30E_R + 0,59E_G + 0,11E_B \\ E_{R-Y} &= 0,70E_R - 0,59E_G - 0,11E_B \\ E_{B-Y} &= -0,30E_R - 0,59E_G + 0,89E_B \end{aligned} \quad (9.2)$$

Применение цветоразностных сигналов дает следующие преимущества, в результате чего они используются во всех системах цветного телевидения мира:

1. Вследствие того, что из этих сигналов частично исключена избыточная информация о яркости, их амплитуда обращается в 0 при передаче серых и белых деталей (на белом амплитуды основных цветов равны $= E_Y$) и мала на слабонасыщенных местах. Это устраняет на экране кинескопа помехи в виде мелкоструктурной сетки, возникающих от действия поднесущей частоты цвета;
2. Цветоразностные сигналы упрощают построение декодирующих устройств приемника, т.к. исходные цвета могут быть получены простым суммированием их с яркостным сигналом. Причем, сигналы основных цветов восстанавливаются сразу в полной полосе частот за счет высокочастотной части спектра яркостного сигнала, что упрощает схему их декодирования в приемнике.

На рис.9.3 представлены осциллограммы исходных RGB сигналов, а также яркостного и цветоразностных сигналов при формировании изображения цветных полос.

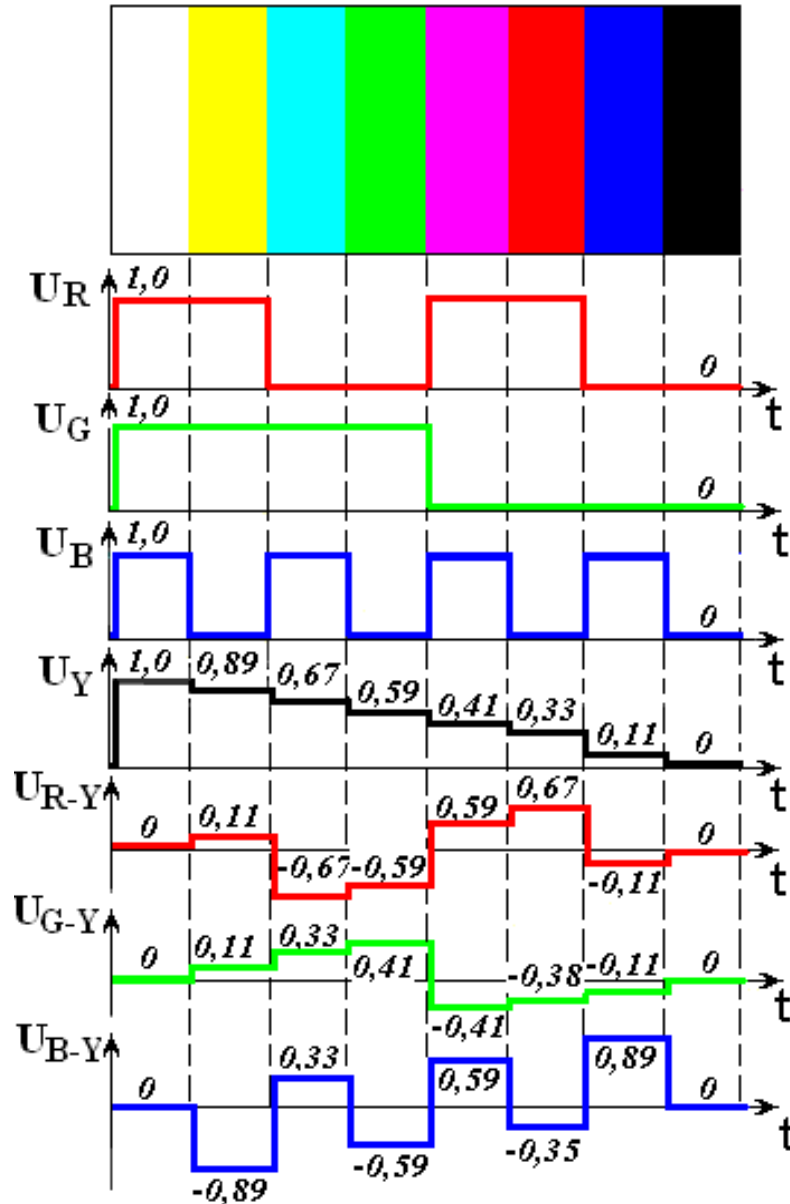


Рис.9.3. Осциллограммы формирования яркостного и цветоразностных сигналов сигнала цветных полос.

Применение цветоразностных сигналов позволяет при передаче сигналов цветного телевидения значительно сократить объём передаваемой информации, т.е. сократить полосу частот ТВ-сигнала, передаваемого по каналу связи. При этом выигрыш в

полосе частот от ограничения передаваемой информации показан на рис.9.4.

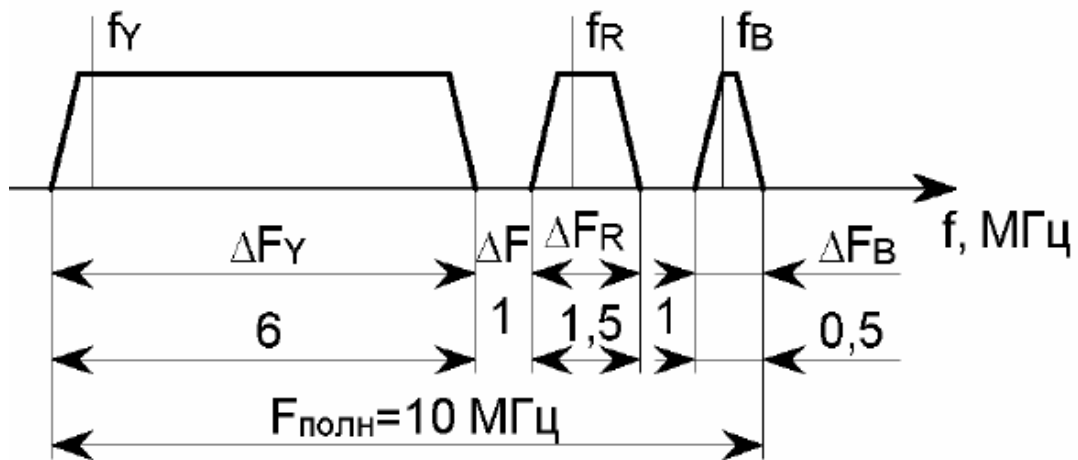


Рис.9.4. Спектр частот цветного сигнала с учётом ограничения спектральных составляющих сигналов ER и EB.

Таким образом, полный цветной ТВ сигнал (ПЦТВС) содержит следующие компоненты:

1. Яркостной сигнал в полной полосе частот (6,5МГц);
2. 2 цветоразностных сигнала (R-Y и B-Y) в ограниченной до 1.5 МГц полосе частот, которые для уплотнения спектра яркостного сигнала размещаются в его высокочастотной части посредством модуляции одной или двух поднесущих частот;
3. Сигналы синхронизации приемника;
4. Сигналы цветовой синхронизации.

Хотя ограничение спектров цветоразностных сигналов и дает выигрыш по спектру, но все еще сумма полос частот трех сигналов больше, чем одного яркостного (рис.9.4). А это не отвечает условию совместимости.

Дальнейшая возможность сокращения полосы частот основывается на специфической особенности спектра ТВ сигнала – его линейчатости (рис.4.5). Т.к. составляющие яркостного сигнала не заполняют всю ось частот, в промежутках можно разместить спектры цветоразностных сигналов. При этом амплитуды цветоразностных сигналов, хотя и меньше основных

сигналов (разность), но все равно на экране черно-белого ТВ будут видны дополнительные шумы и мелькания. Чтобы устранить, или хотя бы снизить эту заметность, спектры цветоразностных сигналов помещают на **поднесущих частотах** как можно ближе к верхней границе ТВ спектра, где в области мелких деталей восприимчивость глаза снижена.

Структурная схема совместимой системы ЦТ имеет вид представленный на рис.9.5. Данная схема преобразования и передачи трех сигналов основных цветов по одному каналу связи является общей для всех современных совместимых систем ЦТ. Различие между системами заключается в методах передачи информации о цветности в спектре яркостного сигнала.

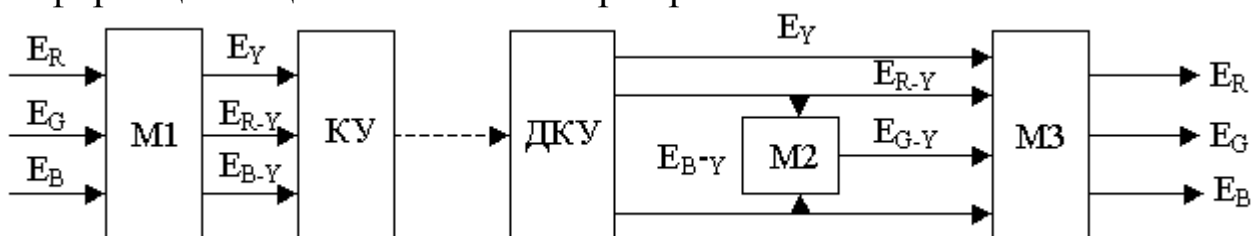


Рис. 9.5. Структурная схема совместимой системы ЦТВ

Схема работает следующим образом. На вход кодирующей матрицы М1 (рис.9.6) подаются сигналы основных цветов, прошедшие обработку и коррекцию в камерном канале. Матрица преобразует их в сигналы первичных цветов передачи – яркостной и два цветоразностных, в соответствии с выражениями:

$$E_Y = 0,30E_R + 0,59E_G + 0,11E_B$$

$$E_{R-Y} = 0,70E_R - 0,59E_G - 0,11E_B$$

$$E_{B-Y} = -0,30E_R - 0,59E_G + 0,89E_B$$

Сформированные сигналы трех первичных цветов поступают в кодирующее устройство КУ, где формируется полный цветной ТВ сигнал (ПЦТВС) содержащий:

1. Яркостной сигнал в полной полосе частот;

2. 2 цветоразностных сигнала (R-Y и B-Y) в ограниченной до 1.5 МГц полосе частот, которые посредством модуляции одной или двух поднесущих частот, для уплотнения спектра яркостного сигнала размещаются в его высокочастотной части;
3. Сигналы синхронизации приемника;
4. Сигналы цветовой синхронизации.

С выхода кодирующего устройства ПЦТВС через канал связи поступает на декодирующее устройства телевизора, где производится обратная операция выделения из общего спектра яркостного сигнала цветowych поднесущих частот, их детектирования для получения двух цветоразностных сигналов с помощью которых в матрице M2 формируется третий цветоразностный сигнал $E_{G-Y} = -0,51E_{R-Y} - 0,19E_{B-Y}$. Затем при помощи матрицы M3 из яркостного и 3 цветоразностных сигналов формируются исходные RGB сигналы.

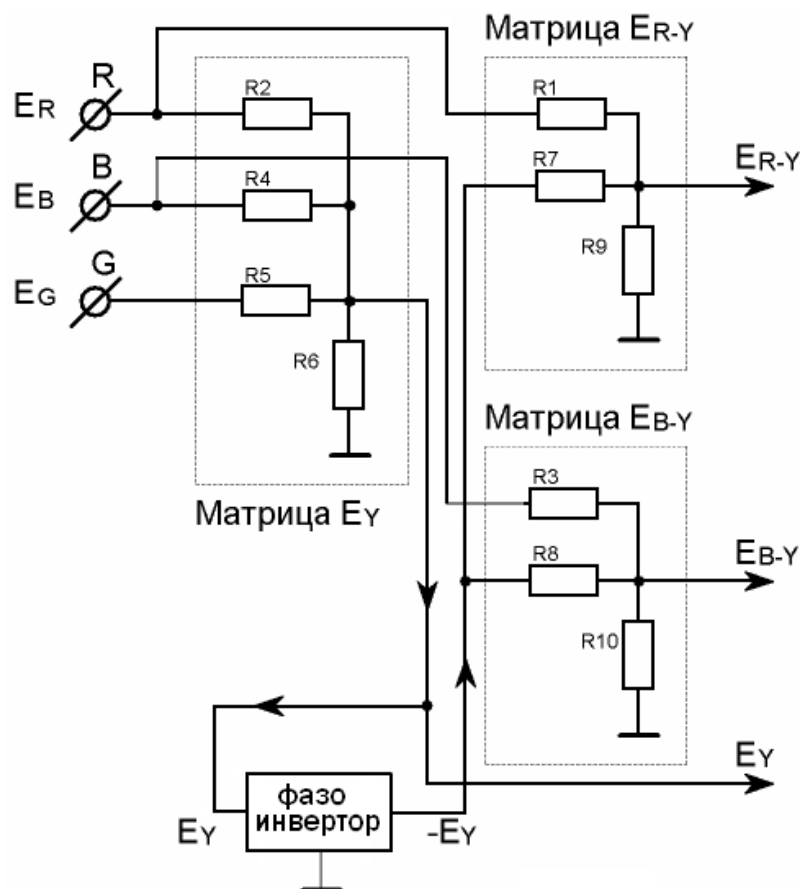


Рис.9.6. Упрощённая схема формирующей матрицы.

Кодирующая матрица работает следующим образом. На входы матрицы R, G и B подаются сигналы основных цветов E_R , E_G , E_B с выходов датчиков видеосигнала на ЭЛТ или ПЗС матриц. Группа резисторов R_2, R_4, R_5 и R_6 образует формирователь сигнала яркости E_Y в соответствии с выражением (9.2). Фазоинвертор изменяет полярность сигнала E_Y .

Формирователь R_1, R_7, R_9 формирует цветоразностный сигнал E_{R-Y} , а формирователь R_3, R_8, R_{10} - цветоразностный сигнал E_{B-Y} . Далее эти сигналы поступают на кодирующее устройство телецентра где формируется композитный полный цветной телевизионный сигнал. Далее этот сигнал поступает на вход телевизионных передатчиков для организации телевизионного вещания.

10. СИСТЕМЫ ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

В настоящее время в мире применяются три основные системы аналогового цветного телевидения **NTSC, PAL и SECAM и их модификации**. В этих системах используется группа из трех сигналов: яркости и двух цветоразностных, несущих информацию об интенсивности основных цветов. Во всех трех системах применяется метод частотного уплотнения сигнала яркости сигналами цветности, путем переноса спектра сигналов цветности на поднесущую, расположенную в высокочастотной части спектра сигнала яркости. Все эти три телевизионных стандарта процентов на 80 совпадают друг с другом, отличаясь только принципами кодирования цвета, именно поэтому большинство современных телевизоров имеют универсальные, автоматические декодеры цвета. Различие этих систем заключается в способах передачи информации о цвете в полосе частот спектра яркостного сигнала. Рассмотрим основные особенности построения и работы систем цветного ТВ.

10.1. Система цветного телевидения NTSC

Разработана в США в 1950-1953 гг. национальным комитетом телевизионных систем (National Television System Committee) и утверждена в стране как национальный стандарт. 8 декабря 1953 года было начато цветное телевизионное вещание с применением этой системы. Позже была принята **Канаде, Мексике, Японии, Южной Кореи, Тайване, на Филиппинах и в ряде стран Южной Америки**. В настоящее время в большинстве стран вещание по системе NTSC прекращено из за перехода на цифровой формат вещания. Так, например, в США большинство передатчиков были отключены в 2009 году, в Канаде и Японии — в 2011 году, и в Южной Кореи и Мексике — в 2012 году.

Базовая система NTSC, применявшаяся в США (NTSC-M), основана на использовании стандарта чёрно-белого телевидения,

принятого в 1941 году, со стандартом разложения **525/60**.

Разработка собственного государственного стандарта требовала гигантских материальных ресурсов, поэтому первые телевизоры, отвечающие данному стандарту, были настолько сложны, что им требовалась еженедельная настройка специалистом. В связи с этим американцы не хотели покупать дорогие и капризные телеприемники, компании продавали их ниже себестоимости, тем не менее массовым цветное ТВ в США стало только в середине 60-х гг. К моменту внедрения цветного стандарта у населения было 28 млн. черно-белых телеприемников..

В NTSC, обобщенная структурная схема которой представлена на рис.15.1, передается яркостной сигнал и 2 цветоразностных E_I и E_Q . Передача цветоразностных сигналов осуществляется в спектре яркостного на одной поднесущей частоте $f_s=3.579545$ МГц (рис.10.1.a). Напряжение поднесущей частоты, промодулированное цветоразностными сигналами называется сигналом цветности. Сумма сигналов яркости E_Y и сигнала цветности U_s образует **полный цветовой сигнал. Для того чтобы модулировать двумя цветоразностными сигналами одну поднесущую частоту используют **метод квадратурной амплитудной модуляции**. Сущность квадратурной модуляции заключается в модулировании двух независимых сигналов в двух модуляторах с помощью одной несущей частоты но со фазовым сдвигом на 90^0 . То есть на один модулятор поступает синусоидальный сигнал несущей, а на другой модулятор- косинусоидальный, которые затем суммируются в сумматоре. В NTSC производится суммирование двух напряжений поднесущей частоты U_{R-Y} и U_{B-Y} , промодулированных каждым из цветоразностных сигналов в отдельных амплитудных модуляторах. Поднесущая частота на модуляторы поступает в квадратуре, т.е. с фазовым сдвигом 90^0 . **Полученный сигнал получается промодулированным по амплитуде и по фазе, таким образом фаза результирующего вектора U_s (рис.10.1) несет информацию о цвете, а амплитуда****

U_s определяет его насыщенность. Для повышения энергетической эффективности в системе NTSC используются балансные модуляторы, которые, подавляя саму поднесущую, оставляют только боковые полосы. Это позволяет как минимум в 2 раза уменьшить размах сигнала цветности, что уменьшает его заметность на черно-белом телевизоре, а на неокрашенных деталях он вообще = 0 (рис.10.1,б). Затем суммарный сигнал цветности в следующем сумматоре складывается с сигналом яркости в результате чего формируется композитный (от слова композиция) цветной телевизионный сигнал спектрограмма которого представлена на рис.10.1,а и осциллограмме на рис.10.2.

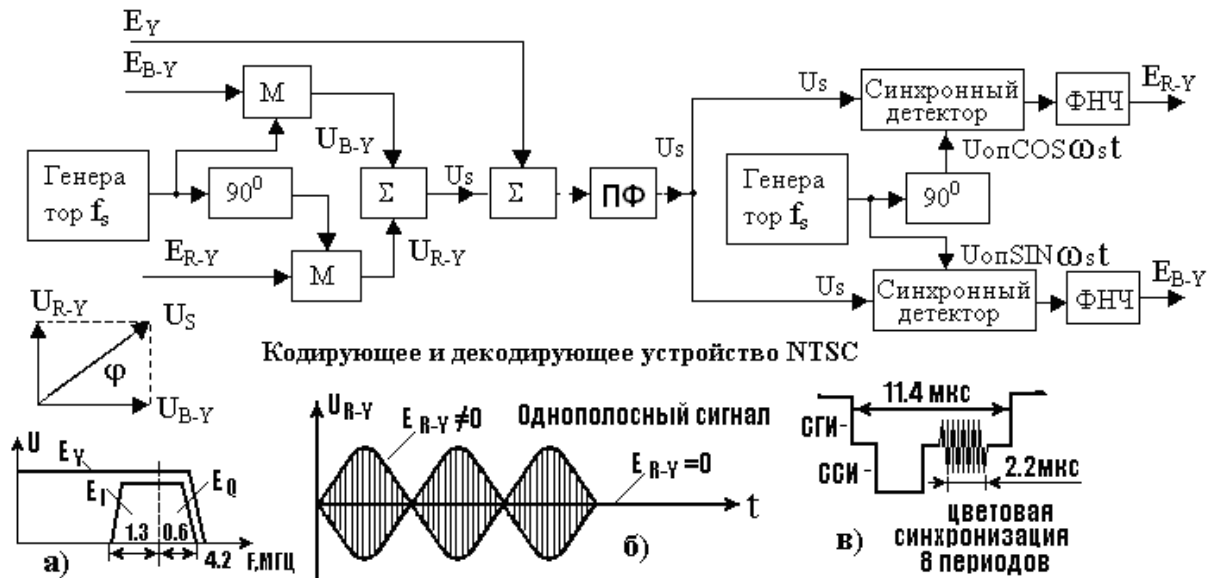


Рис. 10.1. Обобщенная структурная схема системы ЦТВ NTSC

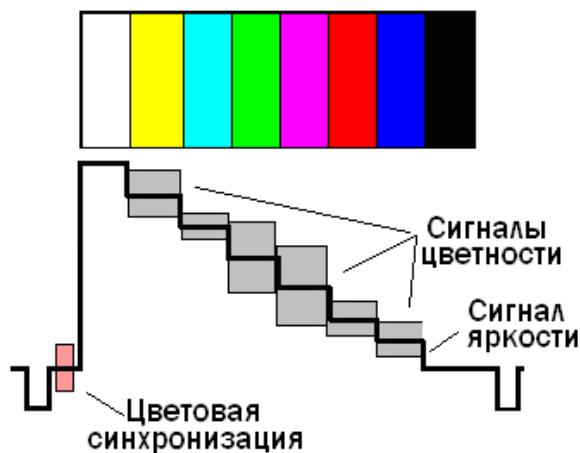


Рис.10.2. Примерный вид композитного сигнала системы NTSC.

На приведенном рисунке 10.2. видно как на ступенчатом сигнале E_Y (изображения цветных полос) находятся квадратурные поднесущие сигналов цветности.

На приемной стороне с помощью полосового фильтра сигналы цветности выделяются из спектра яркостного сигнала и поступают на декодер цветности. В декодере помощью синхронных детекторов восстанавливаются исходные сигналы цветности. Однако, для работы синхронных детекторов необходимо опорное напряжение, работающее синфазно с поднесущей, но поскольку поднесущая при балансной модуляции не передается, то ее необходимо генерировать в телевизоре специальным генератором поднесущей. Но так как без специальных мер невозможно обеспечить синхронную работу генераторов поднесущей в телевизоре и на телецентре, то для этого используется цветовая синхронизация. Для этого на задней площадке строчного гасящего импульса передается сигнал цветовой синхронизации в виде **пакета колебаний поднесущей из 8-10 периодов** – так называемая **цветовая вспышка** (рис.10.1,в). Этот пакет выделяется специальным полосовым фильтром и подается и подается на схему фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) генератора поднесущей. Таким образом, каждую строку производится коррекция частоты и фазы поднесущей частоты телевизора обеспечивая ее стабильность как у генератора на телецентре.

Поскольку наличие сигналов цветности **в сигнале яркости** создает определенные помехи зрителям в виде мелкоструктурной сетки, то необходимы специальные меры для снижения их заметности.

Для снижения заметности сигнала цветности на черно-белом телевизоре необходимо выбрать значение поднесущей частоты ближе к верхней границе спектра ТВ сигнала, где чувствительность глаза к мелким деталям меньше. При этом на экране телевизора возникает неподвижная помеха в виде чередования светлых и темных тоненьких вертикальных полосок. **Для большего снижения заметности поднесущей** применяют

метод коммутации ее фазы, то есть изменение полярности от строки к строке от полукадра к полукадру (рис.10.3). При этом рисунок от помехи приобретает вид шахматного чередования светлых и темных участков (рис 10.3.б). В смежных кадрах полярность поднесущей меняется на 180^0 (рис.10.3.а) и участки поменяются местами, в результате чего не светлые участки помехи накладываются темные и зрительно помеха полностью компенсируется. Для этой цели значение поднесущей частоты необходимо, выбрать так, чтобы $f_s = (2n+1)f_z/2$. Тогда в интервале строки размещается нечетное число полупериодов поднесущей.

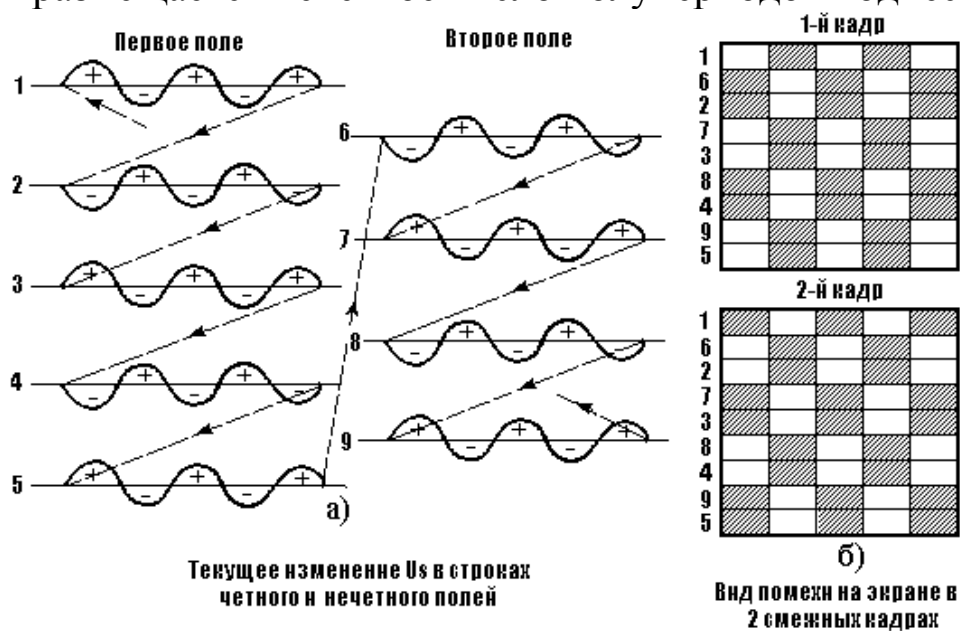


Рис.10.3. Метод уменьшения заметности помехи от поднесущей частоты

Кроме того, при выполнении этого условия составляющие сигнала цветности располагаются точно посередине между строчными и кадровыми гармониками яркостного сигнала, что позволяет с большей точностью разделить эти два спектра. Этот коэффициент достаточно просто получить в синхрогенераторе делением двойной строчной частоты – поэтому выбрали $455 f_{стр} = 3,579545$ МГц. Но выбор такой поднесущей позволяет передать лишь 0,6 МГц сигнала цветности. При этом цветовая четкость по горизонтали оказывается неудовлетворительной. После множества экспериментов нашли возможность передавать

нижнюю боковую шириной 1,3 МГц без существенного ухудшения совместимости. В системе NTSC передают один узкополосный сигнал с полосой 0,6 МГц (E_Q) для синего цвета, а второй широкополосный – 1,3 МГц (E_I) для красного цвета. Причем перекрестные помехи будут в спектре узкополосного сигнала на частотах, где подавлена одна боковая, т.е. вне полосы пропускания ФНЧ (0,6МГц).

Следует отметить, что в NTSC существует два основных значения поднесущей цветности системы: **3.579545** и **4.43361875 МГц**. Второе значение является неосновным и используется в основном в видеозаписи для использования общего с системой PAL канала записи-воспроизведения.

Основные достоинства NTSC:

- **хорошая совместимость за счет жесткой связи частот развертки с поднесущей и удачного выбора поднесущей;**
- **эффективное использование канала – при сравнительно узкополосных сигналах цветности достигается достаточно высокое качество;**
- **высокая помехоустойчивость канала цветности благодаря применению синхронного детектирования.**

Главным недостатком NTSC является высокая чувствительность к дифференциальным искажениям амплитуды и фазы сигнала цветности из-за возможной модуляции его сигналом яркости, что влечет изменение цветового тона и насыщенности, разной на разноярких участках. Так, например, человеческое лицо может приобретать зеленоватый оттенок на ярких участках и красноватый – на темных. Происходит это из-за неточной работы звеньев системы, а потому влечет за собой довольно жесткие требования к параметрам канала передачи, что усложняет и удорожает аппаратуру. Поэтому у американцев существует и своя шуточная расшифровка NTSC как “Never The Same Color” – Всегда разный цвет, подчеркивая, таким образом, главный недостаток системы.

10.2. Система цветного телевидения SECAM

Система SECAM (Sequentiel Couleur Avec Memoire), в русской транскрипции - **СЕКАМ**. Разработка системы была начата в 1953 г. французским инженером Анри де Франсом. В дальнейшем работы над совершенствованием системы проводились совместно французскими и специалистами Советского союза. После испытаний и доработок, в 1967 году было начато регулярное вещание по этой системе одновременно в СССР и Франции. Позже стандарт SECAM был принят также в ряде других стран Восточной Европы, Азии и Африки с разложением **625/50**.

Главной особенностью СЕКАМ является поочередная передача сигналов цветности в разных строках. То есть за строку передается только один цветоразностный сигнал (либо синий, либо красный). Эта особенность позволяет избежать перекрестных искажений сигналов цветности, присущих NTSC. Второй важной особенностью является применение частотной модуляции (ЧМ) поднесущей цветоразностными сигналами.

Кроме того, для повышения помехоустойчивости передают сигналы D_R и D_B , где $D_R = -1,9E_{R-Y}$ и $D_B = 1,5E_{B-Y}$. Если посмотреть формулы получения цветоразностных сигналов, то видно, что максимум E_{R-Y} на красном 0,7 и сине-зеленом $-0,7$, а E_{B-Y} - на желтом 0,89 и синем $-0,89$. Это приводит к разной девиации частоты у этих сигналов. Введение коэффициентов устраняет это ($1,9 \times 0,7 = 1,5 \times 0,89 = 1,33$). Выбор знака минус объясняется так: статистические исследования показали, что в красном преобладают положительные значения, а в синем – отрицательные. Изменив знак красного добиваются, что в обоих сигналах преобладает отрицательная девиация частоты, что повышает устойчивость системы к ограничению верхней боковой полосы сигнала цветности, возникающее в каналах связи (что особенно важно для тех стран, где уменьшена полоса частот яркостного сигнала).

Применение ЧМ дает выигрыш в помехоустойчивости при выборе индекса модуляции больше 1 (широкополосная ЧМ). Использовать это в SECAM невозможно из-за необходимости ограничения спектра сигналов цветности. Здесь индекс модуляции в среднем равен 0,2. Кроме того, приходится существенно уменьшить размах цветоразностных сигналов. В NTSC он достигает 120% яркостного, что благодаря отсутствию поднесущей почти незаметно на черно-белом приемнике. В SECAM ЧМ поднесущая воспринимается сильнее и приходится уменьшать размах цветоразностных сигналов до 20-25% яркостного. Все это делает ее крайне уязвимой к шумовым помехам, и без специальных коррекций, которые представлены на рис.10.4, она не смогла бы конкурировать с другими системами.

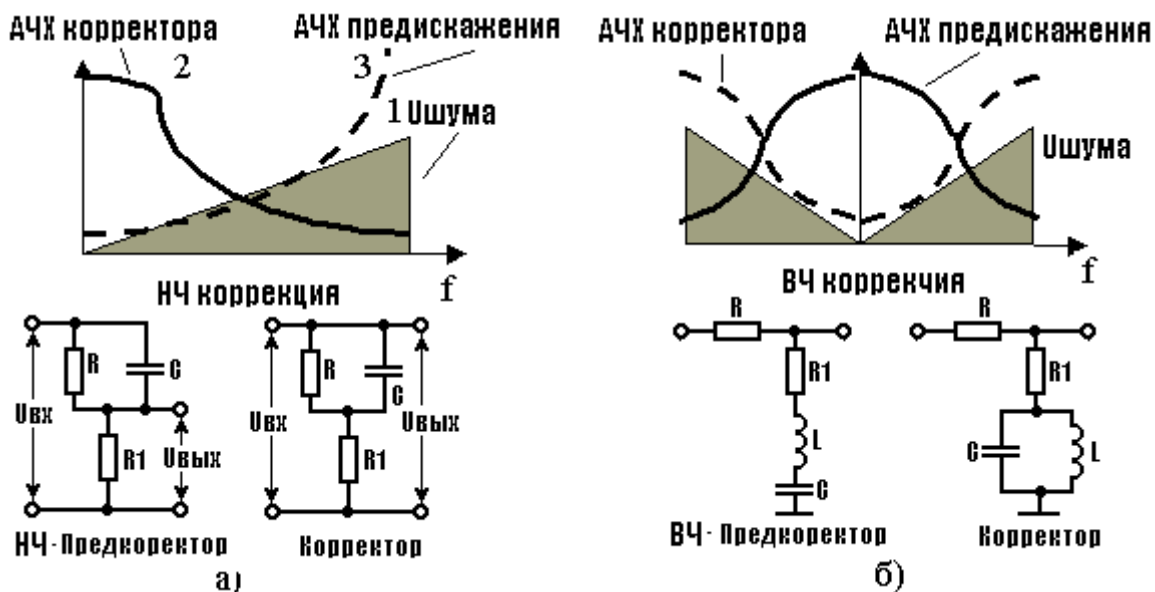


Рис.10.4. Методы повышения помехоустойчивости системы SECAM

Одна из них это НЧ коррекция (рис.10.4.а), основанная на специфическом для ЧМ спектральном распределении шума на выходе частотного дискриминатора – треугольником. Тогда максимум шума сосредоточен в верхней части спектра и, использовав цепь коррекции с АЧХ 2, можно достичь заметного улучшения отношения сигнал/шум. Однако верхние частоты

сигнала также будут подавлены. Чтобы не возникли эти искажения на передающем конце производят предкоррекцию З, которая поднимает ВЧ составляющие спектра цветоразностных сигналов на столько, на сколько они будут подавлены в приемнике. При этом для сигнала изменений не происходит, но шумы канала связи будут подавлены.

Еще один вид коррекции производится до ЧД и потому получил условное название **ВЧ коррекции** (рис.10.4.б). Она основана на механизме взаимодействия сигнала и шума и проникновении составляющих шума на выход ЧД. Это взаимодействие будет проявляться как дополнительная девиация частоты полезного сигнала помехой, зависящая от амплитуды шума и разности частот его и сигнала. Поэтому в телевизоре корректирующей цепью подавляют ВЧ составляющие цветоразностных сигналов, а на передающей стороне их поднимают.

Предискажение сигнала на передающей стороне З сводится к увеличению амплитуды ЧМ сигнала в зависимости от величины девиации, т.е. сигнал цветности приобретает еще и АМ. После прохождения сигнала через ВЧ корректор АМ исчезает и он приобретает первоначальную форму. Этот способ дает заметный выигрыш не для всех цветов, потому что частота настройки корректора постоянна, а частота поднесущей меняется в зависимости от передаваемого цвета. После изучения вопроса перешли на передачу сигналов цветности на двух разных поднесущих: **красный 4406,25 кГц (282 $f_{стр}$)**, **синий 4250 кГц (272 $f_{стр}$)**, а цепь коррекции настраивают на частоту, находящуюся между поднесущими – **4286 кГц**.

Достоинства системы SECAM:

1. Теоретически полностью исключены перекрестные искажения между сигналами цветности, хотя из-за несовершенства работы коммутаторов они все-таки могут проходить;
2. Нечувствительность к дифференциально-фазовым искажениям (для NTSC – $10-12^0$);

3. Меньшая чувствительность к изменениям амплитуды сигналов цветности.

Недостатки системы SECAM:

1. Большая восприимчивость к флуктуационным помехам, особенно при достаточно малых сигналах;
2. Худшая совместимость: в черно-белых телевизорах из-за отсутствия режекции поднесущих ее структура достаточно заметна;
3. Сильнее проявляются перекрестные искажения яркость-цветность;
4. Хуже цветовая четкость из-за последовательности передачи цветов, что особенно сказывается на горизонтальных границах насыщенных цветов – получается комбинация цветов.

Кодирующее устройство системы SECAM

Кодирующее устройство системы SECAM (рис.10.5) предназначено для формирования из исходных цветов E_R , E_B и E_G полного цветного видеосигнала содержащего яркостной сигнал E_Y , сигнал цветности U_S и сигнал синхронизации приемника. Кодирующее устройство состоит из следующих функциональных блоков:

ЛЗ – линия задержки

К - коммутатор

ФНЧ – фильтр нижних частот с частотой среза 1.5 МГц

АО - амплитудный ограничитель

СФУ – схема фиксации уровня

ФД - фазовый детектор

ЧМГ – частотно-модулированный генератор

ФИС - формирователь импульсов срыва

КФ - коммутатор фазы

ГКИ – генератор коммутирующих импульсов

КГ - кварцевый генератор;

ГУИ – генератор управляющих импульсов;
УПП – устройство подавления поднесущих;
КПИ – корректор перекрестных искажений яркость-
 ЦВЕТНОСТЬ

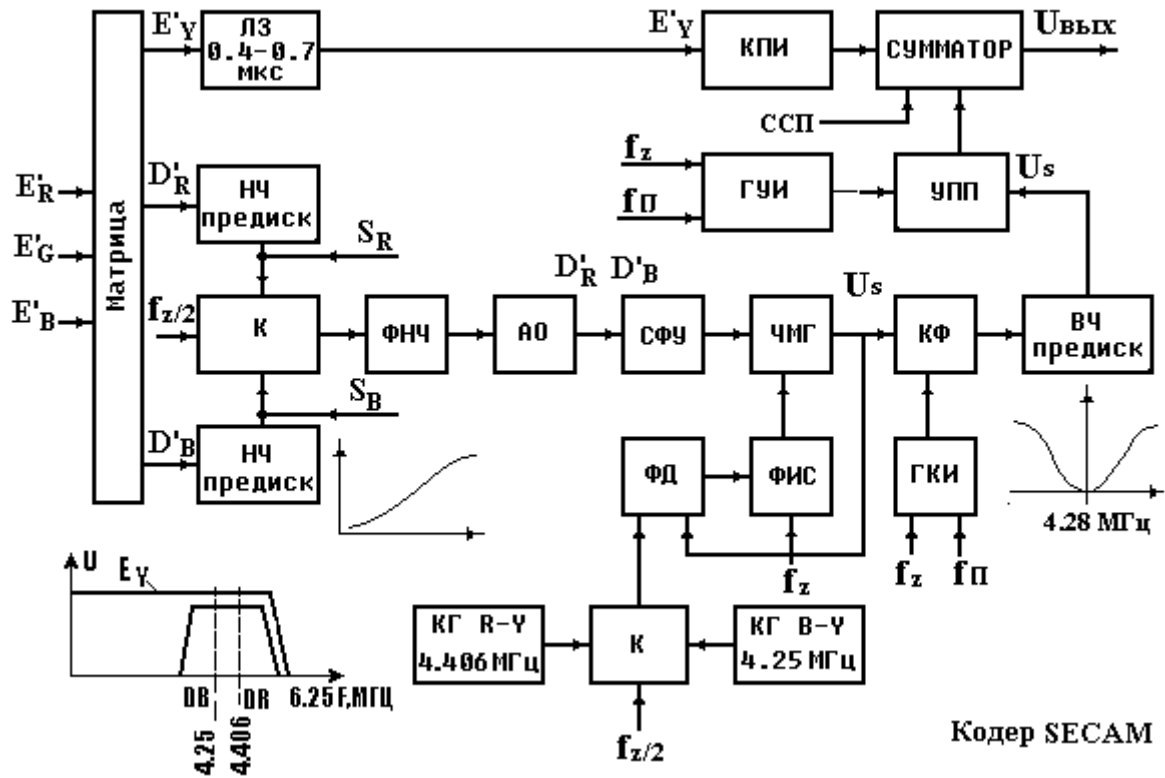


Рис.10.5. Обобщенная структурная схема кодера системы SECAM

Устройство работает следующим образом:

Первичные сигналы E_R , E_B и E_G поступают на матрицу, где из них образуется яркостной и 2 цветоразностных сигнала.

Цветоразностные сигналы D_R и D_B через цепи НЧ предискажений, которые предназначены для повышения помехоустойчивости канала цветности за счет подъема уровня ВЧ составляющих цветоразностных сигналов, поступают на электронный коммутатор (К). Коммутатор обеспечивает поочередную передачу цветоразностных сигналов через строку, т.е. одна строка передает красный цветоразностный сигнал, а другая синий. С выхода коммутатора сигнал через ФНЧ,

который ограничивает спектр цветоразностных сигналов и устраняет коммутационные помехи от работы коммутатора поступает на вход амплитудного ограничителя (АО), в котором ограничиваются выбросы сигнала, вызванные НЧ предискажениями. С выхода АО сигнал поступает на частотный модулятор (ЧМГ), на входе которого включена схема фиксации уровня (СФУ). Основной особенностью частотного модулятора в системе SECAM является, с одной стороны, модуляции сигналами DR и DB двух отличающихся по частоте поднесущих, с другой стороны, необходимо обеспечить высокую точность номинальных значений поднесущих (**4406,25 ± 2 кГц для красного и 4250 ± 2 кГц для синего**). Непосредственная стабилизация таких частот невозможна, поэтому в схеме используется импульсная автоподстройка частоты фазовым детектором (ФД) по эталонным кварцевым генераторам (КГ), которые поочередно подключаются через строк коммутатором (К). Для обеспечения подстройки ЧМГ по эталонному генератору не только по частоте, но и фазе в начале строки, используется схема формирователя импульсов срыва (ФИС), которая запускает генератор всегда с одной и той же фазы. Далее сигнал с выхода ЧМГ поступает на коммутатор фазы (КФ), который под действием генератора управляющих импульсов (ГУИ) меняет значение фазы цветных поднесущих на 180 градусов для уменьшения их заметности на экране. С выхода КФ сигнал через цепь ВЧ предискажений, необходимую для повышения помехоустойчивости канала цветности, поступает в устройство подавления поднесущих (УПП). УПП подавляет поднесущие на время действия синхронизирующих импульсов и управляется генератором управляющих импульсов (ГУИ). Далее сигнал цветности поступает на один из входов сумматора, где смешивается с сигналом яркости.

Яркостной сигнал через линию задержки (ЛЗ) на 04-07 мкс, необходимую для задержки яркостного сигнала на время запаздывания сигнала цветности, поступает на корректор перекрестных искажений (КПИ). КПИ уменьшает влияние сигнала яркости на сигнал цветности, поскольку цветные

поднесущие цвета находятся в полосе частот сигнала яркости. С выхода КПИ яркостной сигнал поступает на сумматор, где смешивается с сигналом цветности и сигналом синхронизации приемника (ССП) и затем передается на в эфир.

Декодирующее устройство системы SECAM.

Декодирующее устройство, структурная схема которого представлена на рис.10.6, предназначено для получения из полного цветного ТВ сигнала (композитного) исходных RGB сигналов.

Декодер состоит из следующих функциональных узлов:

ВД - видеодетектор;

ПФ - полосовой фильтр;

ЛЗ - линия задержки;

АО - амплитудный ограничитель;

ЭК - электронный коммутатор;

ГКИ – генератор коммутирующих импульсов;

РФ - режекторный фильтр;

ЧД - частотный детектор

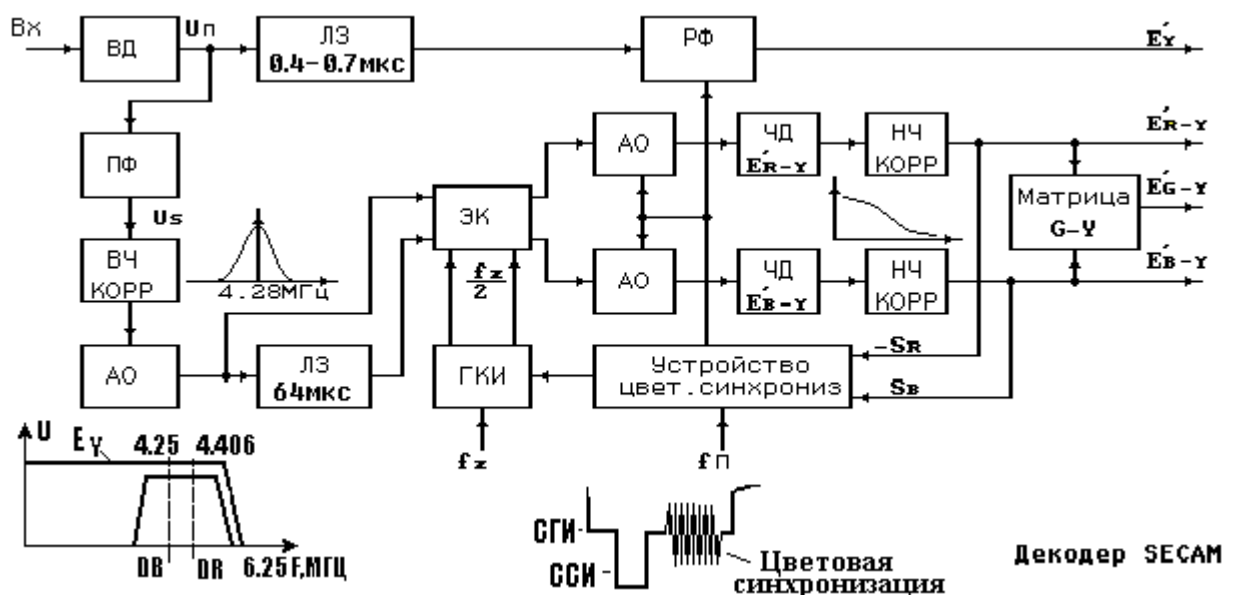


Рис.10.6. Обобщенная структурная схема декодера системы SECAM

Декодирующее устройство SECAM, также как и кодирующее, содержит 2 канала: яркостного сигнала и цветности.

Схема работает следующим образом. Полный цветовой сигнал U_p с видеодетектора (ВД) выделяется полосовым фильтром (ПФ) и поступает на ВЧ корректор сигнала цветности, который повышает помехоустойчивость канала цветности. АЧХ ВЧ корректора обратна АЧХ цепи ВЧ предискажений, в результате уровень сигнала остается неизменным, а уровень помех снижается на 8 дБ. С выхода корректора сигнал через амплитудный ограничитель (АО), подавляющий паразитную амплитудную модуляцию поднесущих, поступает на вход линии задержки на строку (ЛЗ 64 мкс) и один из входов электронного коммутатора (ЭК). На второй вход ЭК поступает, задержанный на длительность строки, сигнал с выхода ультразвуковой ЛЗ. Для нормальной работы декодирующего устройства цвета необходимо, чтобы на него поступали одновременно оба цветоразностных сигнала, а поскольку в SECAM цветоразностные сигналы передаются через строку, то ЛЗ позволяет выровнять эти сигналы во времени. Пока один сигнал поступает напрямую, предыдущий выходит с линии задержки. А так как тип цветоразностных сигналов меняется через строку, то ЭК позволяет направлять соответствующий цветоразностный сигнал на свой цветовой канал.

Управление ЭК осуществляется импульсами с генератора коммутирующих импульсов (ГКИ). Далее сигналы с выхода ЭК через АО, подавляющие помехи и паразитную амплитудную модуляцию, вызванную неравномерностью АЧХ ЛЗ, поступают на соответствующие частотные детекторы.

После детектирования цветоразностные сигналы подвергаются НЧ коррекции, повышающей отношение сигнал/шум еще на 10 дБ. АЧХ корректоров обратны АЧХ цепей предискажений на передающей стороне.

Далее цветоразностные сигналы поступают на матрицу, где происходит формирование зеленого цветоразностного сигнала и далее на цветной кинескоп.

Для правильной работы ЭК необходима его синхронизация по типу передаваемых цветоразностных сигналов. Эта синхронизация обеспечивается при помощи специальных импульсов цветовой синхронизации S_R и S_B , которые выделяются устройством цветовой синхронизации (УЦС).

Канал яркости содержит широкополосную ЛЗ на 0.4-0.7мкс, которая корректирует запаздывание распространения сигналов в канале цветности, и режекторный фильтр для подавления цветowych поднесущих в яркостном канале. Это позволяет снизить их заметность на экране телевизора.

Для того, чтобы режекция не ухудшала четкость черно-белых передач, она отключается с помощью управляющего напряжения с устройства цветовой синхронизации.

10.3. Система цветного телевидения PAL

Система PAL (Phase Alternation Line – Чередование фазы по строкам) была разработана в Германии Уолтером Бручем из фирмы Телефункен и принята в 1966 году в качестве стандарта в большинстве стран Западной Европы, Азии, Южной Африки и Австралии.

Система передает изображение 25 кадрами в секунду, и имеет 625 строк разложения.

PAL представляет собой усовершенствованный вариант системы NTSC, который заключается в оригинальном способе устранения фазовых искажений, присущих системе NTSC.

Идея компенсации фазовых искажений заключается в том, что фаза поднесущей «красного» цветоразностного сигнала от строки к строке меняется на 180° . Фаза поднесущей «синего» сигнала цветности при этом остаётся неизменной (рис.10.7).

Инверсия фазы «красного» сигнала цветности от строки к строке приводит к тому, что искажения сигналов на выходах синхронных детекторов и перекрёстные помехи, вызванные фазовыми искажениями, оказываются одинаковыми в соседних строках по форме, но с разными знаками. Следовательно, они

могут быть скомпенсированы, если перед синхронным детектором или после него сложить сигналы двух соседних строк. Изменение фазы вектора E_{R-Y} приводит к тому, что фазовые ошибки $\Delta\theta$ двух соседних строк m и $m + 1$ (рис.10.8,а), одинаковые по величине, имеют разные знаки.

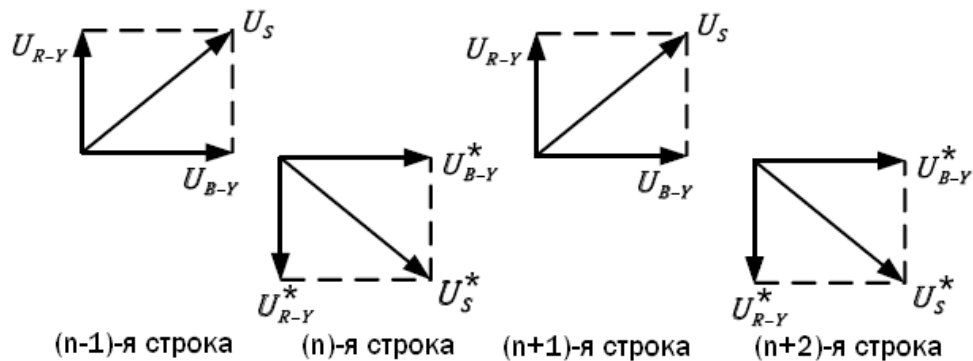


Рис.10.7. Коммутация фазы поднесущей при передаче сигнала цветности в системе PAL

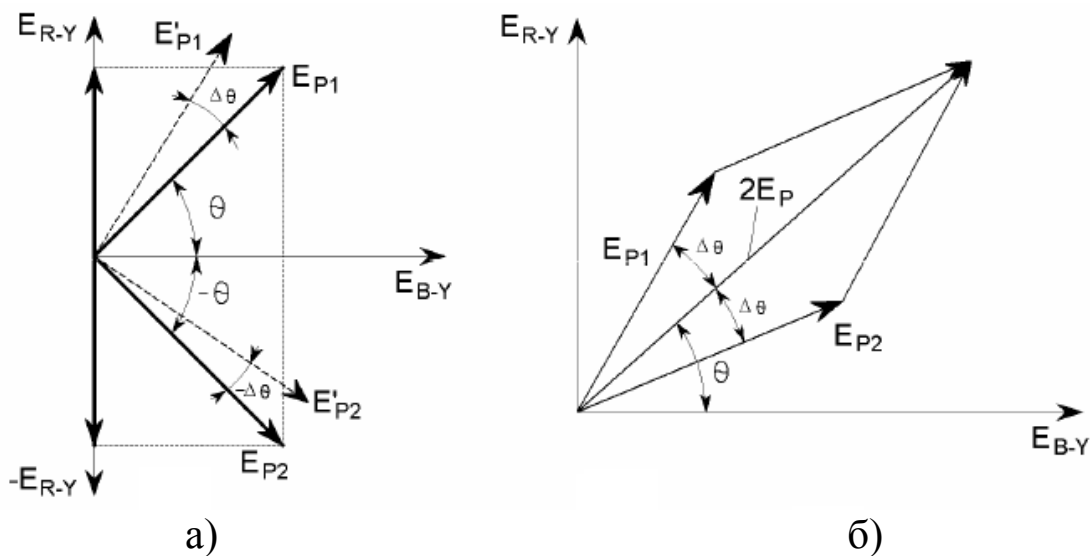


Рис.10.8. Компенсация фазовых искажений в системе PAL
 а – векторные диаграммы двух соседних строк;
 б – суммарный вектор $2E_P$ в приёмнике после сумматора.

Где:

- E_{P1} и E_{P2} – векторы, правильно отображающие цвета строк;
- E'_{P1} и E'_{P2} – реальные векторы цветности с учётом фазовых искажений;
- $\Delta\theta$ и $\square\Delta\theta$ – дополнительные изменения угла θ из-за фазовых искажений.

В системе PAL, как и в системе SECAM, используются цветоразностные сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y} .

В телевизоре сигналы цветности при помощи линии задержки на 64 мкс совмещаются во времени. Таким образом сложение сигналов цветности E_{R-Y} двух соседних строк устраняет фазовую ошибку $\Delta\theta$, как показано на рис.10.8, б. А удвоенный размах вектора E_R за счёт ограничения приводится к нормальной величине.

Достоинства системы PAL:

- хорошая совместимость с черно-белым ТВ;
- эффективность разделения сигналов яркости и цветности;
- высокая помехоустойчивость к флуктуационным помехам;
- малая чувствительность к фазовым искажениям сигнала цветности (до 40°);
- возможность работы с частично подавленной верхней боковой полосой обеих квадратурных составляющих сигнала цветности, что очень важно, т.к. у большинства стран полоса ТВ сигнала 5,5 МГц;
- более эффективное подавление составляющих яркостного сигнала, что уменьшает перекрестные помехи в канале цветности, т.к. блок задержки по структуре и параметрам близок к гребенчатому фильтру;
- нет мерцания границ из-за задержки на строку, как в SECAM, т.к. цветности двух соседних строк усредняются.

К недостаткам PAL можно отнести большую сложность приемника по сравнению с NTSC **уменьшение цветовой четкости по вертикали за счет усреднения информации 2 соседних строк.**

Рассмотрим построение системы PAL более подробно.

Кодирующее устройство системы PAL

Обобщенная структурная схема кодирующего устройства системы PAL показана на рис.10.9.

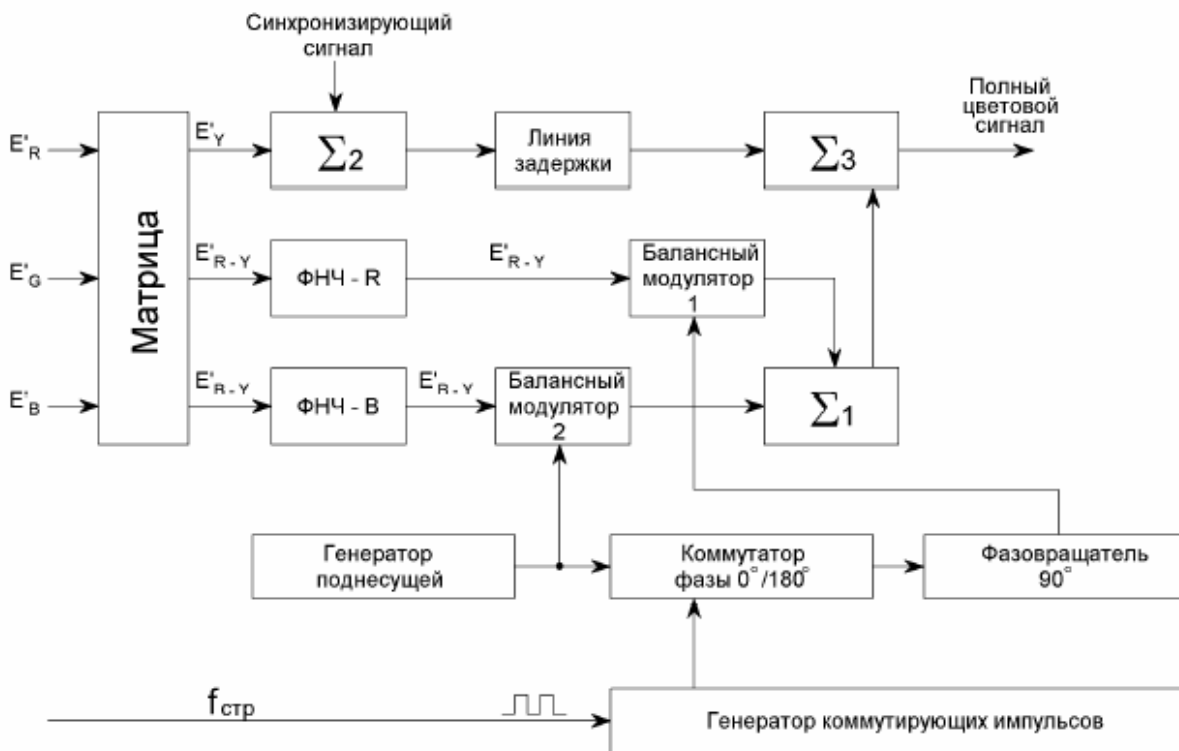


Рис.10.9. Обобщенная структурная схема кодирующего устройства системы PAL

Исходные RGB сигналы поступают на кодирующую матрицу, где из сигналов E'_R , E'_G и E'_B формируются сигналы E'_Y , E'_{R-Y} и E'_{B-Y} . Далее цветоразностные сигналы через ФНЧ-R и ФНЧ-B поступают на балансные модуляторы красного и синего сигнала цветности. При этом балансный модулятор «2» получает колебания поднесущей частоты непосредственно от генератора поднесущей. А на балансный модулятор «1» колебания поднесущей поступают через коммутатор фазы и фазовращатель. Фазовращатель обеспечивает сдвиг фазы поднесущей на 90° , а коммутатор изменяет фазу колебания, поступающего от генератора поднесущей, на 180° от строки к строке.

Управление коммутатором осуществляется специальными импульсами, поступающими от генератора коммутирующих импульсов. А синхронизация генератора осуществляется импульсами строчной частоты.

С выходов балансных модуляторов сигналы поступают на сумматор «1», где формируется квадратурный сигнал цветности.

В яркостном канале сигнал яркости через сумматор 2 в котором вводятся синхронизирующие импульсы строк и полей и линию задержки, которая корректирует запаздывания сигналов цветности, поступает на сумматор 3, где смешивается с квадратурным сигналом. Таким образом формируется композитный телевизионный сигнал, содержащий яркостной сигнал и цветоразностные компоненты на поднесущей частоте.

Декодирующего устройства системы PAL

Обобщенная структурная схема декодирующего устройства системы PAL представлена на рис.10.10.

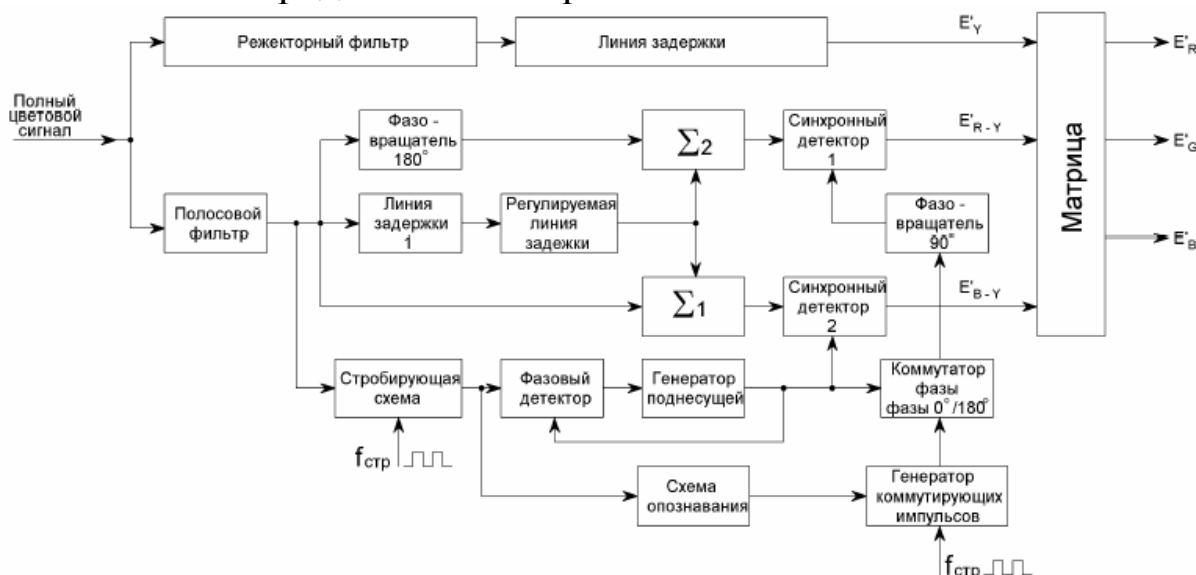


Рис.10.10. Обобщенная структурная схема декодирующего устройства системы PAL

Полный цветовой сигнал с выхода видеодетектора поступает на полосовой фильтр с помощью которого из спектра яркостного сигнала выделяются сигналы цветности, передаваемые на поднесущей частоте. Далее выделенные сигналы цветности поступают на сумматор «1» и через фазовращатель, обеспечивающий поворот фазы на 180° , на сумматор «2». Кроме того, цветные сигналы также поступают на

блок задержки, который представляет собой последовательное включение двух линий задержки: ультразвуковой и регулируемой линии, обеспечивающей точную подстройку времени задержки.

Задержанные цветные сигналы с выхода регулируемой линии задержки поступают на оба сумматора. Причем, выделение сигналов E'_{R-Y} и E'_{B-Y} осуществляется с помощью двух синхронных детекторов. Выделение сигнала $E'_B - Y$ осуществляется в синхронном детекторе «2», на который также подаётся колебание опорной частоты от генератора поднесущей. А на синхронный детектор «1», с помощью которого выделяется сигнал E'_{R-Y} , опорное колебание поднесущей поступает через коммутатор фазы и фазовращатель. Фазовращатель сдвигает фазу опорного колебания на 90° , а с помощью коммутатора фазы осуществляется коммутация фазы на 180° от строки к строке. Коммутатор фазы управляется с помощью генератора коммутирующих импульсов при этом правильная последовательность коммутации задаётся схемой цветовой синхронизации.

Следует отметить, что существует модификация системы PAL, называемая PALplus. Основной целью разработки системы PALplus было устранение потерь вертикальной четкости при передаче широкоэкранных фильмов и сохранение совместимости с обычными телевизорами PAL. При воспроизведении на экране телевизора с форматом кинескопа 4:3 широкоэкранный фильма верхняя и нижняя части экрана остаются черными. В результате число строк, приходящихся на изображение, уменьшается, т. е. ухудшается вертикальная четкость.

Система PALplus обеспечивает вертикальную четкость **576 строк**. Поэтому для просмотра программ системы PALplus телевизор с форматом 16:9 должен иметь соответствующий декодер PALplus. На обычном же телевизоре формата 4:3 работающем в системе PAL, программа будет выглядеть обычным образом.

11. ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ

11.1. Назначение и структура телевизионных центров

Телецентр представляет собой комплекс радиотехнических средств, помещений и служб, предназначенных для создания программ и проведения ТВ вещания. По назначению ТЦ делятся на программные и ретрансляционные.

Программные телевизионные центры располагают собственными студиями и др. источниками программ и предназначены для создания и передачи собственных программ по своей сети и на др. ТЦ, трансляции программ других ТЦ, консервации программ путем записи их на магнитную ленту или киноплёнку, передачи ТВ фильмов. Основной продукцией ТЦ является ПТВС.

Ретрансляционные служат для ретрансляции программ, получаемых по космическим, РРЛ или кабельным линиям связи. Обобщенная структурная схема ТЦ представлена на рис.11.1



Рис.11.1. Обобщенная структурная схема телевизионного центра

Основным звеном любого телецентра является центральная аппаратная (ЦА), где производится вся внутренняя коммутация сигналов необходимая для подготовки программ и внешняя коммутация программ для передачи в эфир или для междугородного обмена по кабельным, радиорелейным и спутниковым линиям связи.

Аппаратно-студийный блок (АСБ) - основное технологическое звено ТЦ, обеспечивающее подготовку передач. Сюда входят студии, режиссерская и техническая аппаратные. Обобщенная структурная схема АСБ представлена на рис 11.2.

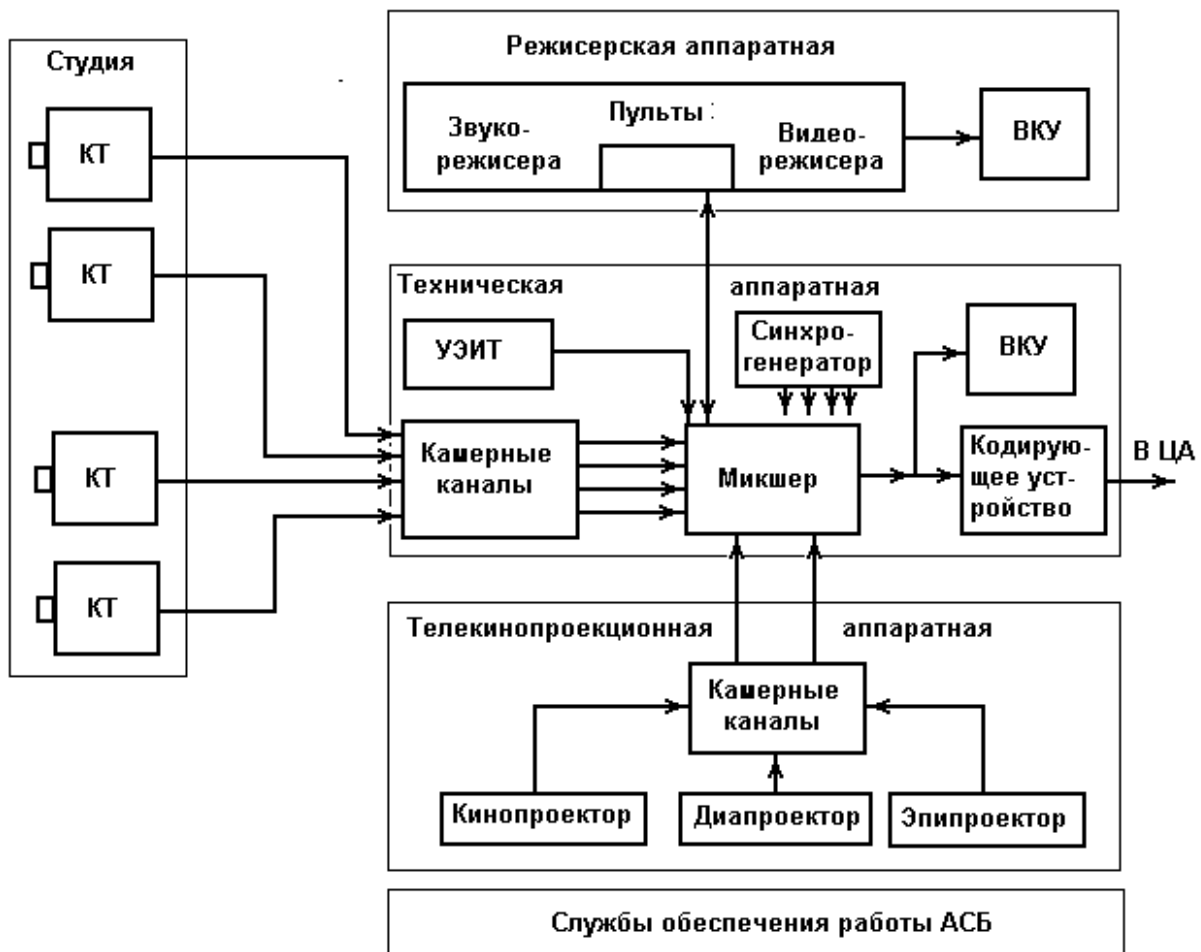


Рис.11.2 Обобщенная структурная схема АСБ

Аппаратно-студийный блок (АСБ) - основное технологическое звено ТЦ, обеспечивающее подготовку передач. Сюда входят студия, режиссерско-техническая аппаратная. Студии АСБ оснащены ТВ камерами с соответствующими камерными каналами, видеоконтрольными устройствами (ВКУ), звуковым, осветительным и прочим оборудованием. В них размещают сценические площадки с соответствующим декорационным оформлением.

Основное требование к студийному помещению АСБ - это хорошая акустика, то есть само помещение не должно искажать звуков голоса диктора и препятствовать распространению эха. В то же время студия должна быть полностью изолирована от проникновения посторонних звуков. Между студийным и аппаратным помещениями устанавливают звуконепропускаемое стекло для лучшей координации работы студийных работников. А связь с ними осуществляется с помощью микрофонов и наушников (через систему Интерком).

По назначению студии делят:

- **на большие – площадью 600-1000 м² с 5-6 ТВ камерами;**
- **средние – 300-400 м² с 4-5 камерами;**
- **малые – 50-150 м² с 2-3 камерами;**
- **макетно-дикторские и дикторские – с 1-2 камерами.**

Например, в Ташкентском телецентре имеется 5 АСБ и 2 студии:

- АСБ-1: площадь 300м², 5 камер;
- АСБ-2: площадь 600м², 5 камер;
- АСБ-3: площадь 600м², 5 камер;
- АСБ-4: площадь 120м², 3 камеры;
- АСБ-5: площадь 120м², 3 камеры;
- макетно-дикторская студия АСБ-4а - “Ахборот“: площадь 50м², 1 камера;
- студия “Пойтахт“: площадь 100м², 2 камеры;

В режиссерско-технической аппаратной собрана аппаратура управления (пульта видео и звукорежиссера),

контроля и синхронизации.

Кроме сигналов собственных камер, из ЦА могут быть предоставлены несколько внешних источников ТВ сигналов, сигналы могут быть получены из **телекинопроекционных и аппаратных магнитной записи. В телекинопроекционных собраны кино, диа и эпипроекторы, а видеомагнитофоны выделены в отдельном блоке записи программ.** Часть программ из АСБ отправляется также на запись.

Все оборудование режиссерско-технической аппаратной АСБ размещается в специальных стойках и эргономичной мебели и обеспечивается постоянной вентиляцией. Неотъемлемым предметом обстановки является стеллаж с мониторами, на которые подается изображение со всех источников, необходимых для записи той или иной передачи.

Персонал АСБ состоит из одного или нескольких (в зависимости от штата) инженеров и оператора видеомонтажа.

Главное предназначение АСБ - запись и/или эфир передач. В каждой такой аппаратной обязательно имеются:

- телевизионные камеры;
- камерные каналы и блоки управления камерами;
- синхрогенератор (чаще два, для резерва) - генерируют синхросигналы для всего используемого оборудования, что обеспечивает синхронность его работы;
- видеомикшерный пульт - позволяет смешивать источники сигнала;
- знакогенератор - предназначен для написания титров, создания примитивной анимации и коллажей;
- видеомагнитофоны - для записи и воспроизведения телевизионных программматериала;
- коммутаторы (ручной и электронный) - направляют сигналы на указанное персоналом оборудование;
- система "Tally" - система индикации источников, задействованных в данный момент в эфире или записи;
- звуковой микшерный пульт, который предназначен для смешивания и коррекции различных звуковых сигналов;

- рекордер Мини-дисков; микрофоны; усилители.

Рассмотрим прохождения сигнала с камеры до ЦА схему, представленной на рисунке 11.2.

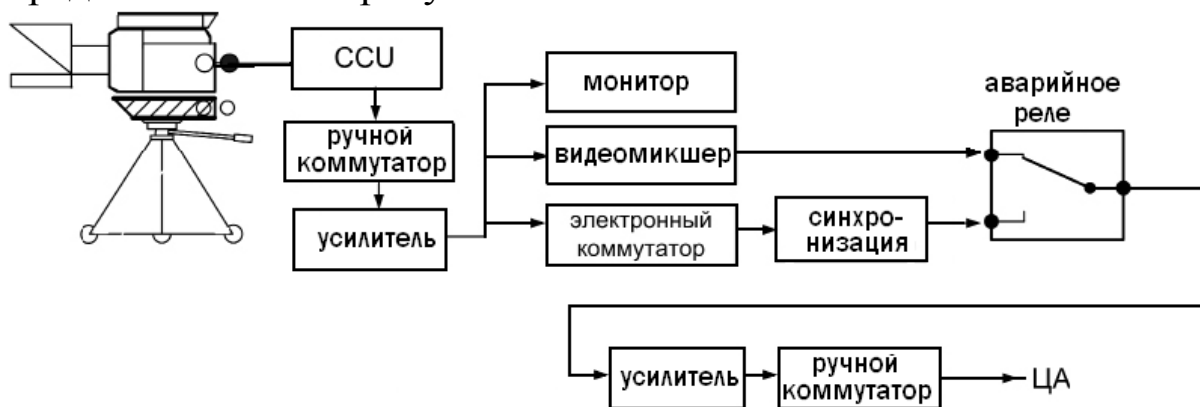


Рис.11.2. Обобщенная схема прохождения сигнала в аппаратных АСБ

При формировании программы сигнал с телевизионной камеры через триаксиальный кабель попадает на ССУ (камерный канал), где производится амплитудная и цветовая коррекция сигнала. С камерного канала этот сигнал подается на ручной коммутатор и выходит оттуда на усилитель-распределитель. С усилителя, в свою очередь, он подается на монитор, электронный коммутатор и видеомикшер. В обычном режиме работы сигнал выводится именно с видеомикшера. Затем он снова усиливается и через ручной коммутатор подается в Центральную Аппаратную.

При выходе из строя видеомикшера имеется возможность выдачи сигнала с электронного коммутатора, для этого переключают аварийное реле. Для того, чтобы при переключении источников с электронного коммутатора не было “сбивания” строк изображения, после него ставят блок синхронизации.

В зависимости от конкретной конфигурации каждого АСБ и подготавливаемых им передач, может иметься и иное, не указанное здесь оборудование.

Аппаратно-программный блок (АПБ) предназначен для формирования программ из отдельных, в основном заранее подготовленных фрагментов и трансляции этой программы на радиопередающую станцию. **АПБ оснащен также как АСБ.**

Макетно-дикторские аппаратные имеют, как правило, малый объем и всего 1 камеру.

Их назначение – запись дикторских объявлений и передач, не требующих использования большого количества камер. Зачастую в них имеется специальный фон (синий или голубой) для записи передач с электронной рирпроекцией (инкрустацией).

Блок внестудийного вещания имеет в составе **передвижные телевизионные станции (ПТС)**, которые представляет собой такой же Аппаратно Студийный Блок, только все оборудование размещено в специальных автомобилях. В отличие от стационарных АСБ там применяются миниатюрные малопотребляющие мониторы, а режиссерский, звукорежиссерский и технический персонал размещается в отдельных “помещениях”.

ПТС предназначены для съемок концертов, спортивных соревнований, заседаний правительства и других событий, происходящих за пределами телецентра.

Для обеспечения электропитанием ПТС в полевых условиях вместе с ПТС выезжает машина с дизельным генератором, так называемый “Лихтваген”.

В зависимости от срочности выдачи отснятого материала в эфир программа либо записывается на видеомэгнитофонах или при прямых трансляциях сразу передается в аппаратную ПТС телецентра для выдачи в эфир.

В республиканском телецентре Узбекистана работают 3 ПТС:

ПТС-4 – имеет 4 камеры;

ПТС-6 – имеет 6 камер;

ПТС-8 – имеет 8 камер.

Кроме того, на ТЦ имеются **ремонтная служба, фильмо и фонотека, просмотрные и репетиционные залы, примерные, артистические, декоративно-художественное производство, электросилового цех и др. вспомогательные службы.**

Обобщенная схема распространения сигналов телевизионных программ с Республиканского телевизионного центра представлена на рис.11.3.

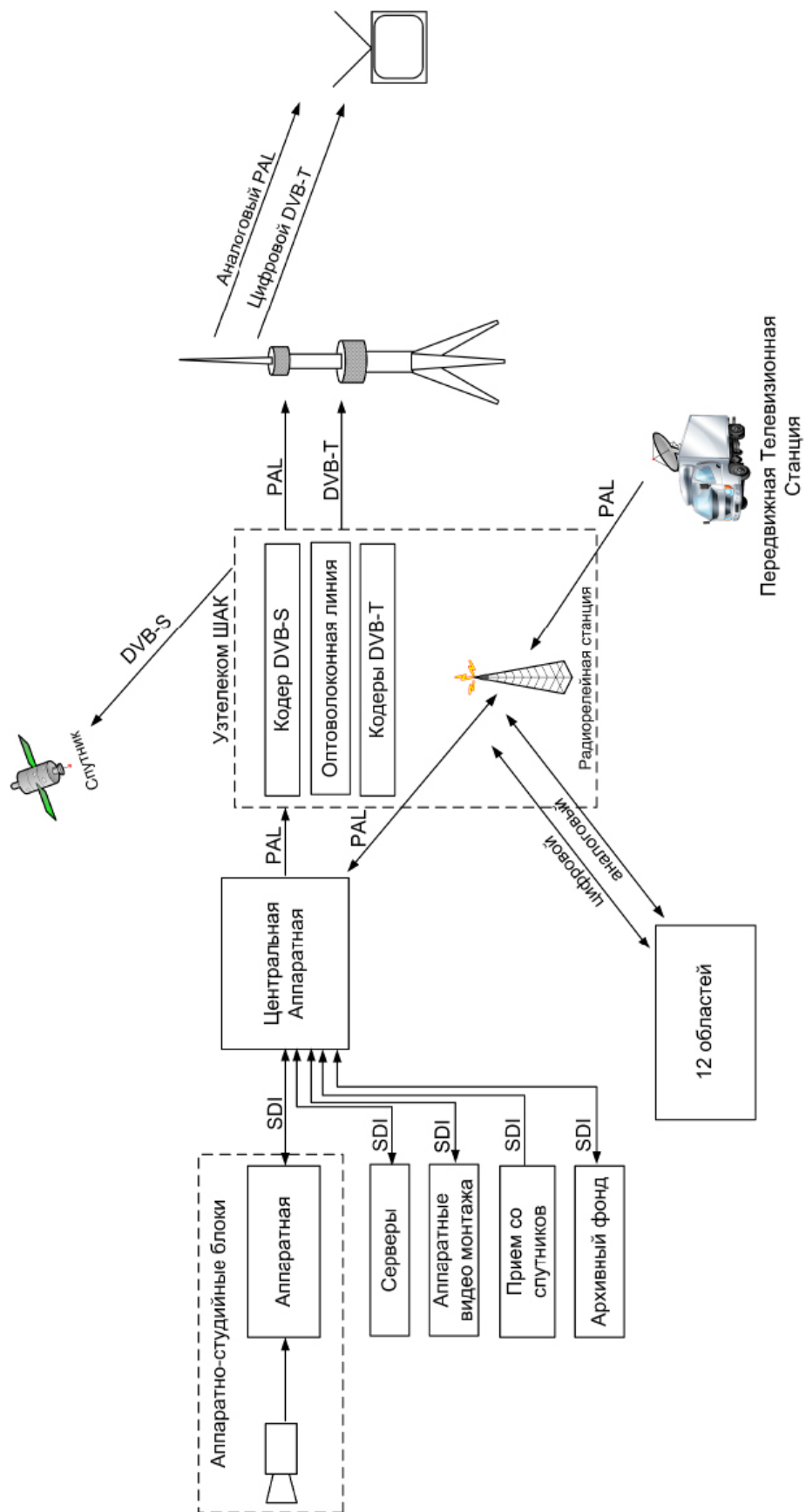


Рис.11.3. Организация телевизионного вещания в Узбекистане

11.2. Основные структурные подразделения телевизионных центров

11.2.1. СЕРВЕР

Сервер – аппаратная, предназначенная для выдачи в эфир телепередач. Технологически сервер связан с резервной и Центральной аппаратными. В нормальном режиме выдача эфира производится режиссером с помощью компьютера, управляющего работой всего оборудования. Таким образом, Видеосервер это компьютер, существенно превосходящий по производительности обычные компьютеры и содержащий дисковую память большого объёма (десятки терабайт) и блоки ввода/вывода аналоговых и цифровых ТВ-сигналов и звуковых сигналов. На современных телестудиях видеосерверы заменяют видеоманитроны и становятся основным средством воспроизведения заранее записанных программ..

Использование видеосерверов позволяет автоматизировать ТВ-вещание и существенно увеличить количество одновременно передаваемых телевизионных каналов, что является одной из основных целей перехода на цифровое ТВ-вещание.

Видеосерверы выпускаются многими фирмами, и на рынке есть системы разных уровней сложности и стоимости. В качестве примера можно назвать систему MAV-1000 фирмы SONY, которая обеспечивает хранение видеопрограмм длительностью 11 или 23 часа (в зависимости от конфигурации), одновременную передачу до восьми каналов ТВ-вещания. Другая известная компания IBM производит мощный видеосервер Media Streamer, содержащий дисковую подсистему Media Streamer Archive ёмкостью до 32 Тбайт данных (что соответствует примерно 1000 двухчасовых видеофильмов).

Видеосервер служит для хранения контента и содержит два канала воспроизведения цифрового видео HD/SD-SDI, семь каналов графики (два для титров, два для статических заставок, два для анимации и один для логотипов). Режиссер может формировать ТВ-программу, используя до 22 внешних и до 7 внутренних источников. Число выходов в различных системах –

4...10, все выходы независимы, и их можно использовать для вывода сигналов Program и Preview. Есть также до 6 дополнительных выходов AUX, каждый из которых может использоваться для решения таких важных задач, как запись отдельных источников или использование отдельных входных сигналов, например, для формирования повторов во время трансляции спортивных соревнований. Кроме того, в системе есть приложение, обеспечивающее управление ТВ-камерами (в том числе и роботизированными) Sony, Panasonic, Hitachi, а также системами Telemetrics. Программный режиссер может управлять всеми важными параметрами (Pain, Tilt, Zoom, Focus, Iris, White/Black Balance, Gamut) с помощью джойстика на панели управления. Один из вариантов исполнения видеосервера представлен на рис.11.4.



Рис.11.4. Вариантов исполнения видеосервера

Рассмотрим работу серверной аппаратной на примере сервера канала “Yoshlar” (рис.11.5).

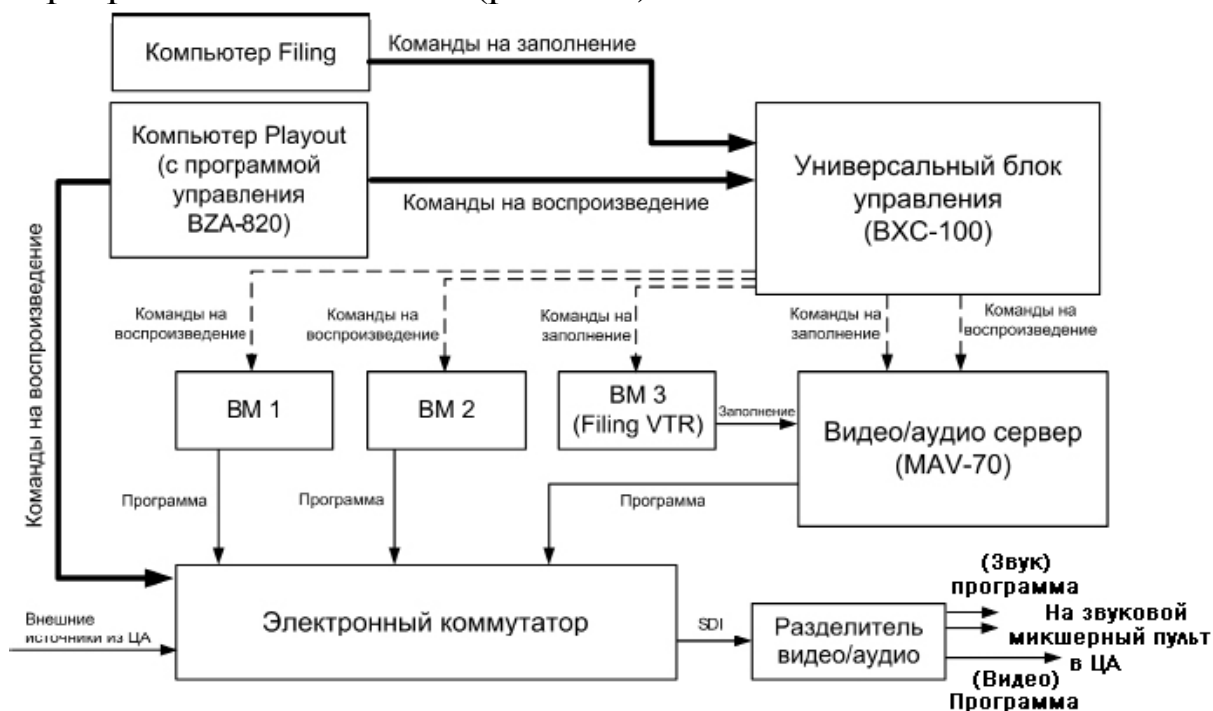


Рис.11.5. Обобщенная схема серверной аппаратной на примере сервера “Yoshlar”

Через компьютер Filing (с англ. - заполнение) на MAV-70, с помощью видеомонофона (Filing VTR), записывают все рекламные ролики, шапки, отбивки, анонсы и т.д. длительностью не более 10 минут. Суммарная емкость MAV-70 составляет 4 часа.

На компьютере PlayOut (от англ. - воспроизводящий) установлена программа BZA-820, предназначенная для составления Плейлиста – сценария воспроизведения, где в строгой последовательности располагаются передачи и рекламные ролики. Для этого в Плейлист вносят данные о начальном и конечном тайм-коде каждой передачи, а также ее длительности.

Программа управляет всеми устройствами: коммутатором, видеомонофонами и дисковым сервером, таким как MAV-70.

BZA-820 поделена на две основные части:

- Воспроизведение (Playout) - управление списком воспроизведения;
- Заполнение (Filing) - управление записью роликов (клипов) на MAV-70.

Данная программа управляет устройствами посредством универсального блока управления ВХС-100. В такой системе требуются два ВХС-100: один для Воспроизведения, другой для Заполнения.

Коммутатор управляет всеми элементами коммутации. Во время воспроизведения коммутатор автоматически переключает различные источники на Центральную Аппаратную (сервер, лента и т.д.).

Из рисунка 11.5. видно, что команды на воспроизведение (согласно заранее составленному “Плейлисту”) подаются на Универсальный Блок Управления, а тот, в свою очередь, направляет команду на соответствующий видеомagneтофон или сервер. Все имеющиеся источники воспроизведения заведены на электронный коммутатор, один из выходов которого подается в ЦА. Так как технологически звук и видео передаются отдельно, то выходящий с коммутатора SDI сигнал проходит через де-эмбеддер, где и происходит разделение на 4 канала аналогового звука и цифровой композитный последовательный сигнал. Отделенное видео, таким образом, сразу направляется в ЦА, а аудиосигналы заводятся сперва на звуковой микшерный пульт, чтобы имелась возможность в случае необходимости корректировать их.

В сервере необходимо наличие сигналов точного времени. Они передаются из ЦА в виде Временного кода (ТС) и имеют формат – часы:минуты:секунды:кадры и необходимы для синхронизации всех серверов и ЦА. Например, чтобы воспроизведение источников осуществлялось в точно заданное время без микропланов и стоп-кадров.

Персонал сервера составляет режиссер, звукорежиссер и инженер. В обязанности режисера входит составление “плэйлиста”, запись на видео/аудио сервер роликов и переходы на внешние источники. Звукорежиссер осуществляет коррекцию

звука. Инженер следит за работой оборудования, контролирует качество передач выдаваемых в эфир, и их соответствие списку воспроизведения.

Работа остальных серверных аппаратных основана на таком же принципе, однако используемое оборудование отличается. Например, применяются видео/аудио серверы большей ёмкости и производительности. Так сервер канала “Toshkent” имеет несколько другую схему работы (рис.11.6).

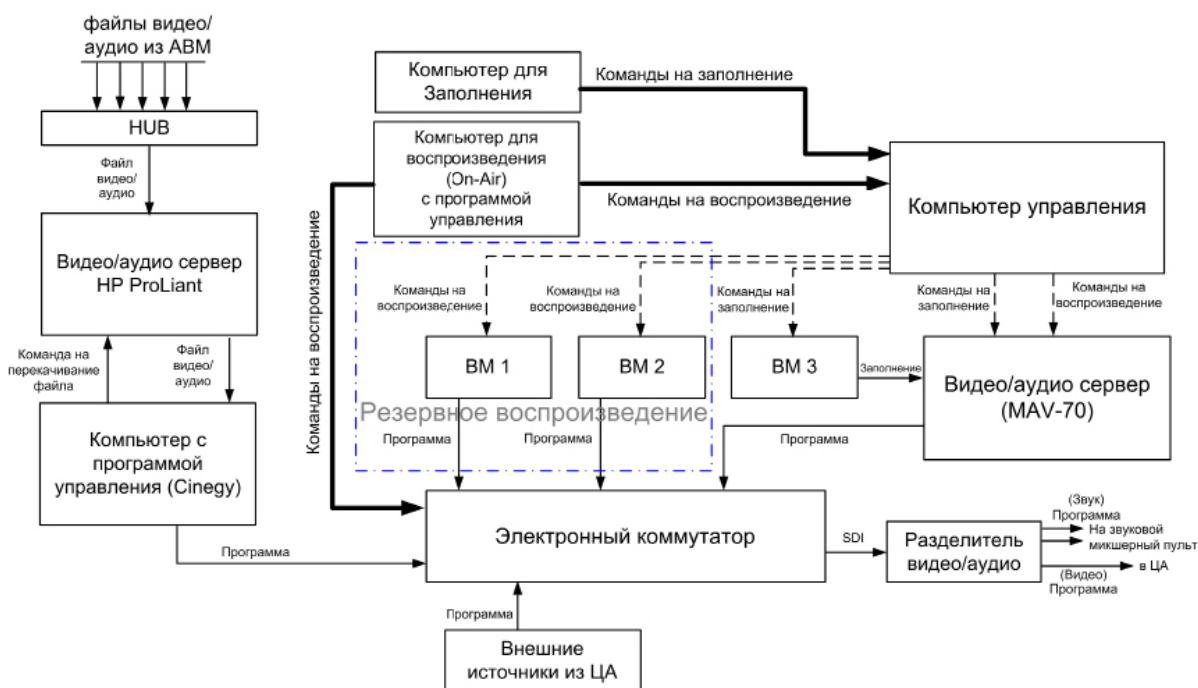


Рис.11.6. Обобщенная схема серверной аппаратной канала «Ташкент»

Например, вместо Универсального Блока Управления ВХС-100 работает специальный управляющий компьютер. Кроме того, имеется сервер, накапливающий видео/аудио файлы, которые записываются туда с соответствующих нелинейных монтажных станций. Для выдачи материала с этого сервера сохраненные передачи по Плейлисту передаются на другой управляющий компьютер и затем с компьютера направляются на коммутатор.

Таким образом, данный сервер (HP ProLiant) является таким же источником для электронного коммутатора как MAV-70 и видеомагнитофоны.

При использовании безленточных технологий (без видеоманитонной записи) построение сервера имеет следующий вид (рис.11.7).

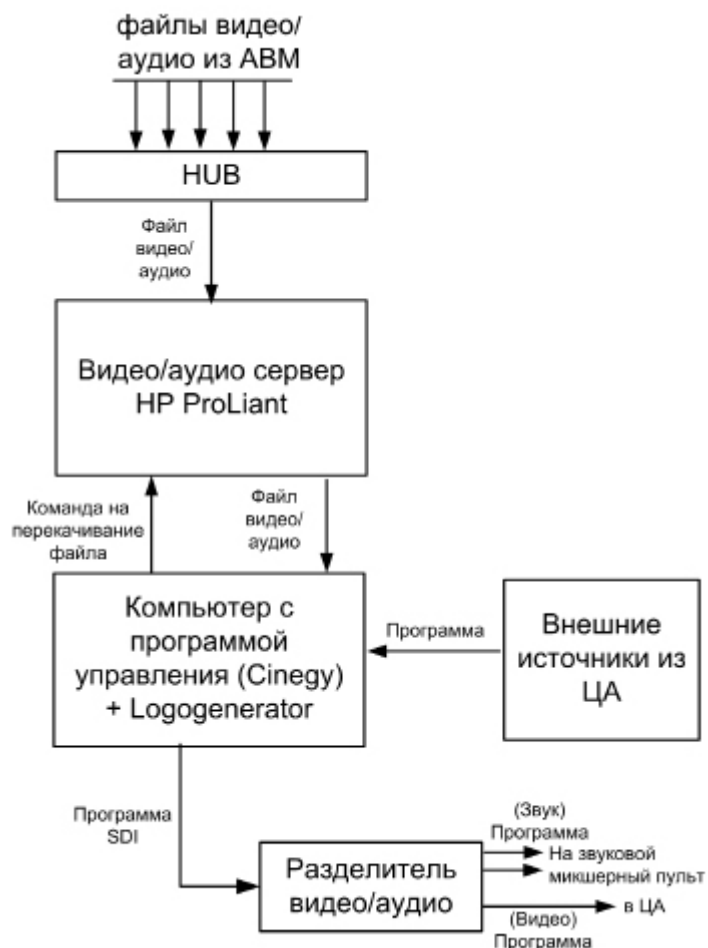


Рис.11.7. Построение сервера по безленточной технологии.

Следует отметить, что производительности сервера ProLiant хватает на сохранение всего вещаемого материала, а управляющая программа позволит вставлять логотип канала непосредственно на этом компьютере.

11.2.2. ЦЕНТРАЛЬНАЯ АППАРАТНАЯ

ЦА главное технологическое звено любого телевизионного и радиовещательного центра. Основное

назначение центральной аппаратной — это объединение всех технических подразделений ТВ-компании в единый комплекс.

В ЦА находится **синхрогенератор, генератор тестовых сигналов и система студиного времени**. Подключив тест-сигнал на вход матричного коммутатора, можно производить контроль работоспособности и оценку практически всех основных характеристик полного видеотракта комплекса. Имеющийся встроенный звуковой генератор дает возможность проверить звуковой тракт.

При этом, ЦА, как правило, проектируется индивидуально для каждого телевизионного или радиовещательного центра, но имеет типовую структуру содержащую:

- видеосервер;
- дисковый массив;
- коммутационная матрица 32x32 для SDI-видео;
- коммутационная матрица 32x32 для аналогового звука;
- коммутатор Fibre Channel;
- синхрогенератор, генератор временного кода, часы эфирные, ГЦП.

В такой конфигурации эфирной аппаратной имеется возможность ретрансляции программы иногородного вещания. Оборудование для приема сигнала со спутника располагать в эфирной аппаратной не обязательно, но может быть установлено.

При проектировании эфирной аппаратной особое внимание уделено резервированию отдельных участков тракта аппаратной.

Оборудование Центральной Аппаратной (ЦА) представляет собой коммутационное поле всех входящих источников.

Обобщенная технологическая схема прохождения видео сигналов в ЦА представлена на рис.11.8, где показано, что все источники программ сперва заводятся на ручной коммутатор, а затем попадают на электронный коммутатор, имеющий 64 входа и 64 выхода. Этот электронный коммутатор может коммутировать любой вход на любой выход.

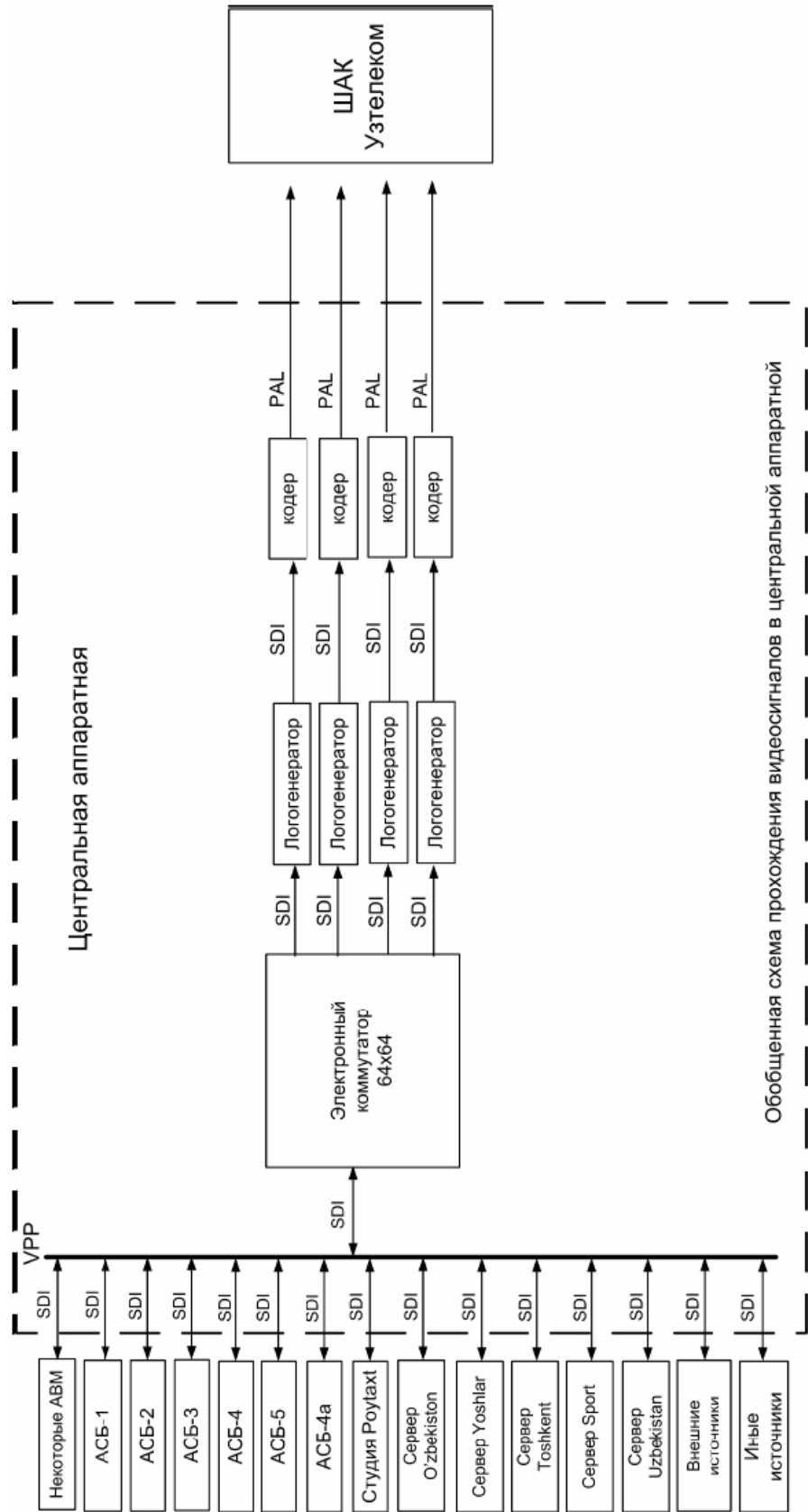


Рис.11.8. Обобщенная схема прохождения видеосигналов в центральной аппаратной.

Из каждой аппаратной в ЦА обязательно идут 2 видеокабеля и 2 звуковых кабеля (основной и резервный), так как передается моно звук. Причем в отличие от видео, звук подводится к ШАК в аналоговом виде, который ни на одном этапе не преобразуется в цифровой. Так как видео и звук передаются от аппаратных раздельно, и видео подвергается большей обработке, то в аудио тракте обязательно ставятся специальные процессоры, которые “задерживают” звук, чтобы не было расхождения во времени.

При выдаче сигналов в эфир, к ним добавляется логотип соответствующего канала, после чего цифровой поток (SDI) перекодируются в аналоговые сигналы. Таким образом, к линиям связи ШАК “Узтелеком” подводятся уже готовые сигналы в системе PAL.

Кроме того, что сигналы из каждой аппаратной (основной и резервный) заводятся в ЦА, при этом любой сигнал из ЦА возможно коммутировать в любую аппаратную (в АСБ, в Сервер, в АВМ, в любую из 12 областей и т.д.).

ЦА также занимается раздачей сигналов часов, тестовых изображений, временного кода и индикации Tally.

Сигнал красного Tally подается почти в каждый Аппаратно Студийный Блок, выходящий в данный момент в эфир.

Задачей инженеров ЦА является непрерывный 24-х часовой контроль за выдачей передач в эфир всех каналов: O'zbekiston, Yoshlar, Toshkent, Sport и Uzbekistan. Также ЦА координирует работу аппаратных, в частности при передаче междугороднего материала (перегоны).

11.3. Оборудование телевизионных камер

Камера необходима для преобразования отраженного от объектов сцены света в электрический сигнал изображения. В настоящее время существует огромное количество различных

камер с различными характеристиками, используемыми в зависимости от обстоятельств съемки.

Так, различают бытовые, полупрофессиональные и профессиональные камеры. Они различаются системами, форматами, способами записи (например, лента или диск), количеством возможных настроек и так далее.

Камера состоит из объектива, фото преобразователя на приборах с зарядовой связью (ПЗС), непосредственно самой камеры, магнитофона и видеоискателя. В студии или ПТС вместо видеомэгнитофона к камере присоединяется специальный адаптер для взаимодействия со студийным оборудованием. Иногда для оперативности передачи информации на камере устанавливается еще и маломощный передатчик. Структурный вид видеокамеры представлен на рис.11.9.



Рис.11.9. Схематичный вид видеокамеры.

Объектив собирает попадающий в него свет и проецирует его на фоточувствительную поверхность фотопреобразователя, так, чтобы оно было в фокусе и не имело искажений. От типа и качества объектива зависит качество и размер результирующего изображения.

ПЗС матрица преобразует собранный объективом свет в электрический сигнал. Блок ПЗС имеет цветоделительную призму и три матрицы светочувствительных элементов –

красную, зеленую и синюю. В результате формируются электрические сигналы красного, зеленого и синего цвета.

Камера обрабатывает подающиеся на нее R,G и B сигналы, генерирует сигналы коррекции по сигналам управления от блоков управления, генерирует некоторые тестовые сигналы (Цветные Полосы, “Пила”, 3-х ступенчатый) и в результате выдает целый ряд аналоговых и цифровых видео сигналов. Далее, они попадают либо на магнитофон, либо на камерный адаптер.

Адаптер позволяет камере подключаться к студийному оборудованию, например, по триаксиальному кабелю (рис.11.10), а также формирует необходимые питающие напряжения.



Рис.11.10. Внешний вид триаксиального кабеля.

Видоискатель, черно-белый или цветной, необходим оператору для визуального выбора и контроля снимаемых сцен. Также на видоискатель выводится информация меню камеры для настроек.

Видеомагнитофон записывает передаваемые камерой сигналы.

Камерный тракт

Для профессиональной многокамерной съемки, кроме собственно камер, применяются специализированные устройства, которые обслуживают камеры. Комплект, состоящий из камеры, специального соединительного кабеля и комплексного блока обслуживания студийной камеры, (базовой станции), называют камерным каналом.

Телеоператор студийной камеры сконцентрирован исключительно на творческой составляющей и формирует

съемочный кадр. А все техническое управление камерой, включая регулировку диафрагмы, скорости срабатывания электронного затвора, коррекцию уровней черного и белого, цветокоррекцию и т.д., осуществляет видеоинженер, в распоряжении которого находится пульт дистанционного управления настройками (Remote Control Unit), подключенный к базовой станции.

Пульты всех камер, которые работают в комплексе, обычно монтируют на столе видео инженера. Инженер регулирует цветовые и яркостные параметры всех видеокамер, приводит их к единому виду (сводит камеры) и в процессе телетрансляции следит за настройками и качеством изображений. В комплексах с большим количеством камер применяют так называемую главную панель управления, или мастер-пульт (Master Control Unit), который может управлять каждой базовой станцией как по отдельности, так и всеми вместе.

Учитывая то, что современные камеры являются цифровыми, то есть их настройки можно представить в виде файлов, стало возможно производить копирование настроек с одной камеры на другие. Тем самым можно в считанные секунды «свести» все камеры.

Студийная камера формирует видео и аудио сигнал и передает их для дальнейшего использования студийной аппаратурой. Специфика многокамерной съемки привела к тому, что в камерных каналах реализован ряд специфических особенностей:

- **питание** - так как камера должна работать в любом месте, она должна получать надежное питание. Потому обычно камера получает питание со своей базовой станции достаточное для самой камеры, монитора, объектива и других устройств;
- **эфирная видеопрограмма** – при формировании видеопродукции в оператор съемочной группы, должен иметь возможность видеть эфирную программу;
- **двухсторонняя голосовая служебная связь** необходима для общения режиссера с операторами;

- **телесуфлер** - если на камере расположен телесуфлер, то необходимо подвести к камере видеосигнал с текстом для телесуфлера;
- для обеспечения синхронной работы разных камер необходимо на камеры подавать опорный синхросигнал;
- **сигнализация** - оператор и все участники съемки должны понимать, в какой момент камера включена в эфир. Для этого на камеру передается информационный сигнал активности камеры Tally, который зажигает сигнальный светодиод в видеоискателе и сигнальную лампу, направленную в сторону съемки;
- **настройка параметров камеры** - настройка камеры обеспечивается видеоинженером, который, имея в своем арсенале мониторы всех камер и измерительную аппаратуру, обеспечивает требуемое качество изображений и сводит камеры друг с другом.

Все эти сигналы передаются между камерой и базовой станцией, причем для удобства работы и оперативности для этого используется единый кабель. Кроме того, кабель должен быть достаточно длинным, чтобы оператор мог отойти от базовой станции на необходимое расстояние. Чаще всего в студиях эта дистанция составляет 15...60 м, а в ПТС расстояния достигают могут достигать до километра.

Таким образом, базовая станция фактически работает над обработкой этих сигналов, принимая или ли передавая их, компенсируя потери в кабеле. В зависимости от типа используемого кабеля базовая станция производит адаптацию сигналов и формирование надежного транспортного потока.

Камерные каналы классифицируются по способу передачи данных между базовой станцией и видеокамерой, и, как следствие, по типу применяемого для соединения кабеля.

В настоящее время для соединения телевизионных камер с базовыми станциями используются триаксиальные или оптоволоконные кабели. Многожильные (мультикоровые) кабели в вещательных камерных каналах практически уже не используются. При этом наиболее часто используются 3-

аксиальное соединение, очень удобное для эксплуатации, где все данные мультиплексируются в широкополосный поток данных. Триаксиальный кабель (рис.11.10) очень прост, легок, дешев и надежен и состоит из внутренней медной жилы и двух оплеток. При этом длина соединения кабелем Triax может достигать нескольких сотен метров. Стоимость кабеля невелика. Многие спортивные сооружения, театры, из которых часто производится телетрансляция или видеозапись, имеют стационарно проложенные соединения кабелем Triax от места расположения ПТС до точек установки камер. Сегодня ведущие производители студийных камер начинают применять Triax для телевидения высокой четкости.

Таким образом, любая базовая станция выполняет следующие функции:

- подачу питания для телевизионной камеры, за исключением использования кабеля длиной более 600—1200 метров;
- преобразование сигнала, поступающего от телевизионной камеры, в телевизионный сигнал заданного формата. Это может быть цифровой сигнал (SDI) стандартной и/или высокой четкости, аналоговый компонентный (Y/R-Y/B-Y) и/или композитный, сигнал мониторинга состояния камеры и камерного канала;
- подачу обратных сигналов программы (return video) на видеоискатель или разъем телевизионной камеры, а также сигнала для телесуфлера (prompter);
- передачу на камеру команд, сигнализирующих о включении камеры в тракт (tally), и прием-передачу сигналов инженерной и режиссерской служебной связи (intrecom);
- возможность синхронизировать камеры с любыми другими источниками ТВ-сигнала, входящими в состав телевизионного комплекса (во всех базовых станциях имеется встроенный кадровый синхронизатор);
- дистанционно осуществлять предустановку, оперативную регулировку и настройку параметров телевизионных камер

и регулировать диафрагму (iris) используемого совместно с камерой объектива.

Варианты исполнения камерных каналов представлены на рис. 11.11.



Блок камерного канала RM-HP790E

Рис.11.11. Варианты исполнения камерных каналов.

Так например, в базовый состав Camplex CP-301C входят накамерный адаптер и блок базовый блок (CCU). При работе с камерным каналом максимальная удаленность камеры составляет примерно 900 м. Универсальный интерфейс этой системы позволяет работать с камерами различных производителей: Panasonic, Sony, Canon, JVC и т.д.. Управление системой осуществляется по интерфейсу RS-232. В базовом варианте Camplex CP-301C может использоваться с камерами стандартной четкости, а опция HD-SDI-31 позволяет работать с любыми видеокамерами высокой четкости, оснащенными выходом HD-SDL и передавать высококачественный сигнал HD при помощи оптоволоконного кабеля. Широкий набор дополнительных опций позволяет скомпоновать систему нужной конфигурации в зависимости от производственных задач и смонтировать ее в

стойку. Управление функциями камер осуществляется посредством подключенной к базовому блоку панели управления OCP или RCP различных производителей.

С камерного адаптера на блок управления можно передавать сигналы:

- композитный;
- аудио;
- служебной связи (двух- или четырехпроводная);
- SDI (в модификации CP-301C-HD).

С базового блока (рис.11.12) передаются следующие сигналы:

- синхронизации (негативный или позитивный)
- служебной связи (двух- или четырехпроводная);
- оповещения (Tally) или звукового вызова;
- питание идет от камеры.



передняя панель



задняя панель

Рис.11.12. Внешний вид базового блока управления камерами CCU-890

Система Tally

Для контроля, какой именно источник в данный момент идет в эфир или на запись, используется система Tally. Для этого всё профессиональное современное телевизионное оборудование оснащается специальными индикаторами, которые светятся красным светом, если с устройства сигнал передает в эфир или на запись.. Например, при записи сигнала с камеры индикаторы Tally будут светиться не только на этой камере, но и на ее камерном канале, мониторе и блоке управления.

Такая система позволяет ведущему и персоналу, занятому в подготовке передачи, оперативно ориентироваться в ситуации.

Синхрогенератор

Синхрогенератор - это устройство, которое вырабатывает синхроимпульсы определенной частоты с очень стабильными параметрами - частотой, фазой, амплитудой.

Синхронизация необходима для того, чтобы все оборудование, работающее в телецентре и связанное между собой, работало синхронно и синфазно.

В Ташкентском телецентре используются синхрогенераторы SPG 422 фирмы Tektronix, которые рассмотрим более подробно. На рис.11.13 представлен вид задней панели синхрогенератора SPG 422.

Этот синхрогенератор вырабатывает следующие виды сигналов:

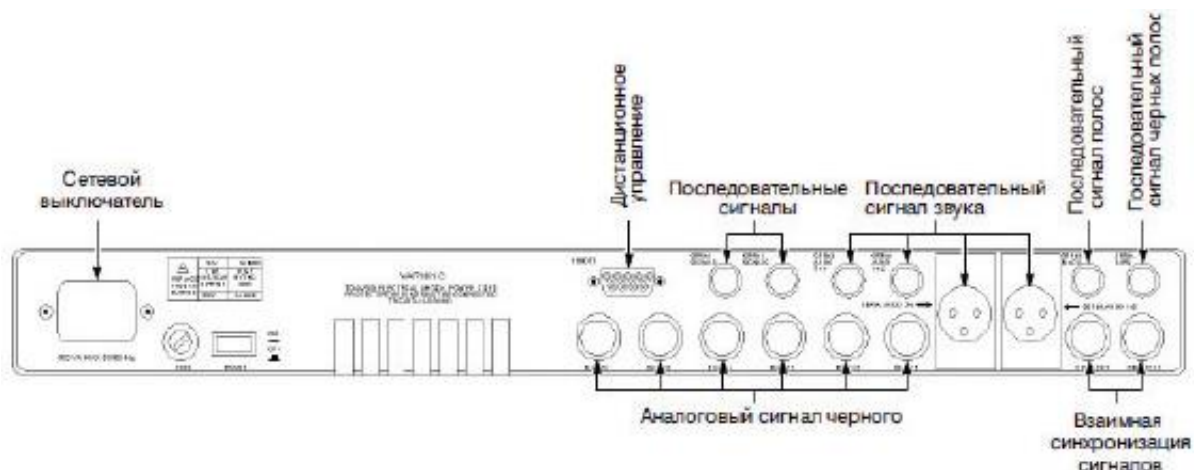


Рис.11.13. Внешний вид задней панели синхрогенератора SPG 422

1. Аналоговый сигнал Черного Поля (СЧП). Английский вариант этого названия BlackBurst - Черный-Вспышка. Генератор формирует импульсы строчной и кадровой синхронизации, уравнивающие импульсы и врезки, а также сигналы цветовой синхронизации. Причем тип импульсов и временные смещения можно настраивать

отдельно для каждого выхода (в стандартной конфигурации это выходы Black1 и Black2).

2. Последовательные сигналы цифровых компонентных сигналов цветных полос - цветных и черно-белых.
3. Цифровые звуковые сигналы (тон). Может использоваться до четырех каналов. Уровни и частоты (800 Гц или 1 кГц) могут изменяться независимо.
4. Последовательные сигналы (Тестовые сигналы, используемые для проверки параметров оборудования):
 - 75% Color Bars – Цветные полосы 75%
 - 100% Color Bars – Цветные полосы 100%
 - Full-Field PLUGE – Полнорастровый сигнал PLUGE
 - Convergence – Сигнал сведения
 - Bow Tie Matrix – Матрица Bow Tie
 - Active Picture Mark – Маркеры активного изображения
 - Muliburst – Множественная вспышка
 - Pulse & Bar – Импульс и полоса
 - Limit Ramp – Нарастание яркости
 - SDI Check Field – Проверочное поле SDI
 - Serial Black – Последовательный черный
 - White Bar – Белая полоса
 - 40% Gray – 40% Серое поле

Сменный блок ECO422D SD/HD предназначен для автоматического выбора источников синхроимпульсов. При обнаружении сбоя любого активного источника синхронизации переключение может выполняться автоматически. Такое автоматическое переключение обеспечивает бесперебойность сигналов в случаях ответственного применения. Переключение производится с помощью электромеханического реле.

В блоке имеется 11 каналов, каждый из которых состоит из первичного входа, резервного входа и выхода. При обнаружении сбоя сигнала в любом активном канале по команде с передней панели или удаленной команде все каналы переключаются одновременно.

11.4. Оборудование аппаратно-студийных блоков

Аппаратно-студийный блок состоит из следующих модулей: **аппаратная видеорежиссера и видеоинженера, аппаратная звуорежиссера и студия.**

Рабочее место видеорежиссера включает в себя современный мультимедийный видеомикшер, например Ross Video Vision 3 (рис.11.14), имеющий 32 входа, телесуфлер и титровальную станцию.



Рис.11.14. Внешний вид видеомикшера Ross Video Vision 3.

Видеомикшеры предназначены для коммутации или смешения нескольких видеосигналов, создания переходов между изображениями при формировании телевизионной продукции. Обычно видеомикшеры применяются в многокамерных студийных блоках, передвижных телестудиях, монтажных аппаратных и аппаратных выпуска.

В целом любой видеомикшер позволяет модифицировать видеосигнал посредством регулировок его параметров и назначения спецэффектов.

В зависимости от фирмы производителя и модели микшера в них могут использоваться и обрабатываться различные сигналы (SDI, компонентный, композитный и др.).

Пульт может содержать в себе следующие функции:

1. Инкрустация (рир-проекция)
2. Создание переходов

3. Наложение титров

Принцип рир-проекции показан на рис.11.15.

В телевидении все изображения принято подразделять на изображения переднего (foreground) и заднего плана (background) плана. Инкрустация позволяет заменить задний фон (например, за подвижным объектом) на любое другое изображение (динамическое или статичное).

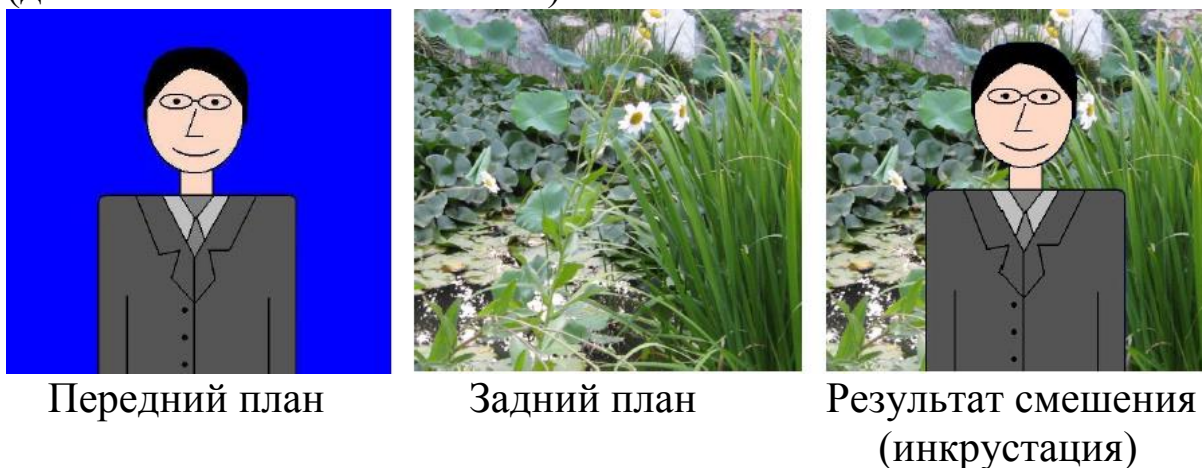


Рис.10.15. Принцип инкрустации или рир-проекции.

Вторая основная функция любого видеомикшера это создание переходы между изображениями различных видеосюжетов. Существует большое разнообразие переходов, к которым относятся «вытеснением шторками», с помощью различных видеоэффектов, жесткий и микшерный (рис.10.16). Причем, переходы можно осуществлять вручную или же автоматически, задавая их длительность.



Рис.11.16. Варианты переходов изображений разных видеосюжетов.

Кроме того, режиссерские пульта дают возможность наложения титров на изображение. При этом часть видеомикшера, занимающаяся созданием и обработкой сигнала титра называется **DSK** (Down Stream Keyer).

DSK работает с так называемым силуэтным сигналом. То есть созданным на чёрном фоне белым силуэтом области, в которой и будет располагаться титр. Далее область, в которой находится чёрный фон, вытесняется изображением заднего плана, а белый силуэт области титра заполняется изображением титра и автоматически помещается на передний план, как показано на рис.11.17.

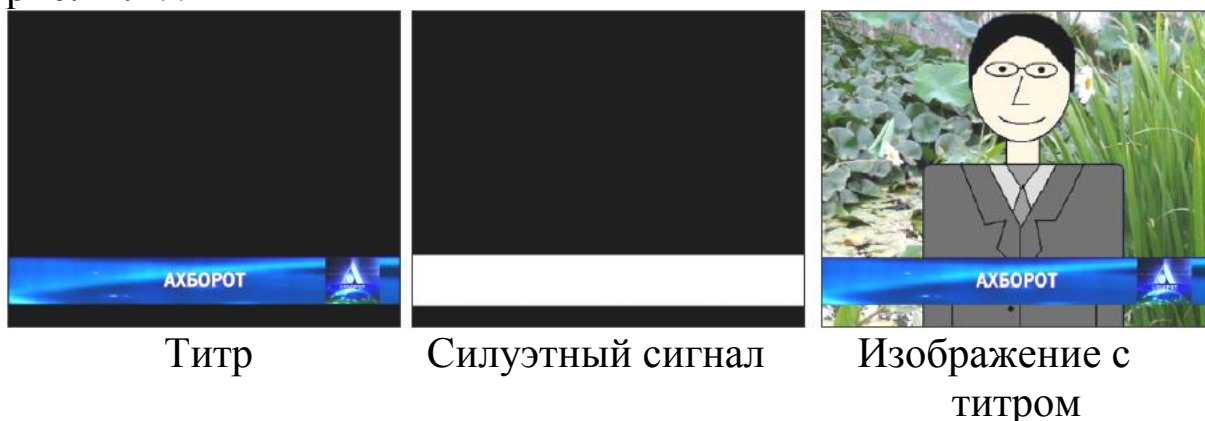


Рис.11.17. Принцип создания титров на изображении.

При работе с микшерным пультом необходимо, чтобы все видеосигналы, приходящие на него от различных источников были синхронизированы, иначе смешиваемые изображения будут двигаться относительно друг друга по вертикали и горизонтали и переходы с одного на другое будут происходить рывками.

Аппаратная видеоинженера может включать в себя следующее студийное оборудование:

- 3 двухканальных видеосервера Softlab Forward TA для подачи сигнала в студию,
- 3 дисковых рекордера PDW-1500P,
- 5 видеоманиторов MPEG IMX,
- 1 видеоплеер MPEG IMX,
- 6 камерных каналов,

- 9 коммутационных панелей, а также технологическую связь,
- генератор временного кода (с привязкой к GPS),
- панель индикации времени и др.

Всё технологическое оборудование аппаратной установлено в эргономичную технологическую мебель и стойки Winsted.

Программный режиссер может управлять всеми важными параметрами (Pain, Tilt, Zoom, Focus, Iris, White/Black Balance, Gamut) с помощью джойстика на панели управления. Благодаря тому, что система содержит полиэкранный процессор, для визуального контроля всех внешних и внутренних сигналов достаточно одного монитора.

В состав системы входит знакогенератор Inscribe TitleMotion или Chyron Lyric Pro 8, обеспечивающий два канала формирования титров, с возможностью их редактирования непосредственно во время эфира, что важно при трансляциях спортивных и других событий. Также студия может содержать до 8 каналов рирпроекции, то есть можно подключить 8 ТВ-камер, для каждой из которых будет использоваться собственный канал рирпроекции, индивидуально настраиваемый для каждой камеры.

А наличие большого объема записанного контента (два канала видео, два канала заставок и два канала анимации), позволяет легко работать в режиме виртуальной студии, причем привязка выбранной камеры и фона заносится в память системы.

Звуковой микшерный пульт

Звуковой микшерный пульт входит в состав аппаратной звукорежиссера и является устройством первичной обработки звуковых сигналов и предназначен для смешивания (сведения) звуковых сигналов и их обработки.

Термин микширование предполагает не только смешивание большого количества сигналов, но и их обработку в процессе такого смешивания. В первую очередь это касается уровней

сигналов, их частотной характеристики, пространственной и динамической обработки.

Везде, где производятся операции со звуком, особенно с его первичными источниками, существует необходимость объединять в единое целое звуковые сигналы от разных источников в соответствующих пропорциях и с соответствующей тембральной окраской. Эти и множество других функций выполняет звукорежиссер с помощью микшерного пульта, внешний вид одного из вариантов которого представлен на рис.11.18.



Рис.11.18. Внешний вид варианта исполнения звукового микшера.

В зависимости от специализации и области применения микшерные пульта характеризуется определенными техническими параметрами и функциональными возможностями.

Проведем классификацию аудио микшеров по выполняемым функциям.

Микшерный пульт обеспечивает следующие основные функциональные возможности:

- усиление звуковых сигналов различных уровней, поступающих от всевозможных источников этих сигналов;

- согласование чувствительности входных каналов пульта с уровнями источников сигналов;
- изменение частотной характеристики сигналов с помощью регуляторов тембра;
- компенсацию частотных искажений сигналов;
- независимую регулировку уровня сигнала каждого источника звука при микшировании;
- панорамирование сигналов, т.е. расположение их в стереофонической звуковой картине;
- смешивание звуковых сигналов с требуемыми уровнями;
- регулирование уровня смешанного выходного сигнала;
- контроль входных звуковых сигналов и выходного смикшированного сигнала.

Кроме перечисленных функций, современные микшерные пульта обладают дополнительными возможностями, расширяющими области их применения.

Микшерные пульта, независимо от назначения, могут использоваться для записи, перезаписи, монтажа, звукоусиления, контроля, коммутации и распределения звуковых сигналов.

Следует отметить, что современные звуковые микшеры помимо классических аналоговых симметричных микрофонных и линейных интерфейсов имеют широкий спектр различно типа цифровых интерфейсов от AES/ EBU, ADAT, TDIF, MADI (AES 10) до видео с внедренным звуком 3G/HD/SD SDI.

В чисто звуковой студии, как для аналоговых, так и для цифровых (AES/ EBU) сигналов используется симметричная схема передачи сигналов по витой паре (110 Ом) и стандартные разъемы подключения источников типа Cannon, унифицированная со схемой подсоединения аналоговых источников

В телевизионных студиях подавляющее количество источников цифрового звука (за исключением чисто звукового оборудования), как то: видеомагнитофоны и видеосерверы, графические станции и модули обработки видео- и звуковых сигналов — используют в основном несимметричную схему подключения (75 Ом). Это позволяет использовать стандартный

коаксиальный кабель и разъемы, такие же, которые применяются для подключения и видеоисточников в студии.

Еще одним преимуществом использования коаксиального кабеля для подключения цифровых источников звука помимо унификации является его более высокая помехозащищенность и, как следствие, возможность передачи сигнала на большие расстояния.

Следует отметить, что в студиях ташкентского телецентра используется звуковой пульт STUDER 928.

Микрофоны

Поскольку качество звукового сопровождения ТВ программ в первую очередь зависит от работы акустико-электрических преобразователей (микрофонов), то выбор типов используемых микрофонов имеет важное значение.

Микрофоны производятся в трёх сериях: модульная система Colette, компактная система ССМ и микрофоны специального назначения

- Модульная система Colette состоит из микрофонного капсюля серии МК присоединяемого к микрофонному усилителю непосредственно или с помощью активных дополнительных аксессуаров. Эти аксессуары позволяют выполнить незаметное размещение микрофонов и предоставляют другие специальные функции, например, наклон капсюля и настраиваемые обрезные фильтры НЧ и др.
- Компактная система ССМ это миниатюрные профессиональные микрофоны. В таких системах капсюль и микрофонный усилитель являются неразъёмным элементом.
- Серия микрофонов специального назначения включает в себя: микрофон-пушку, специальные речевые капсюли/микрофоны, стерео микрофоны/комплекты.

Запись и обработка звуковой информации – это интеллектуальная работа инженеров и звукорежиссёров, поэтому выбор зависит от условий подготовки программы:

1. Моно или стерео система записи/вещания материала радио или ТВ эфирной студии;
2. Моно или стерео система записи/подготовки материала радио или ТВ журналистом;
3. Многоканальная система записи/подготовки/вещания внестудийной ТВ программы.

Первый вариант – это студийная запись или вещание диктора в разнообразных программах, начиная от «новостных» и заканчивая «круглыми столами». При использовании моно формата применяется один (или два микрофона – для резервирования), установленный на столе. Метод установки микрофона может быть разнообразный: с использованием низкой микрофонной стойки, гибкой шейки или врезкой в поверхность стола с использованием подходящих аксессуаров. Для таких передач наиболее часто используют микрофоны с кардиоидной диаграммой направленности, например, кардиоидный капсюль МК 4 (рис.11.19, а). В отличие от больших двухдиафрагменных микрофонов, его направленность сохраняется на низких и высоких частотах (кроме среднего диапазона).

Для режима «круглого стола» лучше подходит микрофон с полусферической характеристикой направленности (рис.11.19, б). Полусферическая диаграмма направленности независима от частоты полусферическая характеристика направленности независима от частоты, поэтому направлять/нацеливать микрофон необязательно, и если меняется угол съёма звука, то качество звучания остаётся неизменным. Технология основывается на физическом эффекте, при котором звуковое давление удваивается вдоль отражающей поверхности и, таким образом, чувствительность приёмника, размещённого на поверхности или же встроенного в неё, к прямому звуку будет в два раза больше, чем у эквивалентного приёмника, находящегося

в свободном звуковом поле. Низкий профиль и круглую форму капсюля BCL 03 можно проще замаскировать или скрыть даже под лёгкой тканью стола.



а)

б)

в)

г)

Рис.11.19. Варианты микрофонов для судийного вещания

При использовании стерео формата большое предпочтение отдаётся капсюлю МК 4V, благодаря имеющимся у него характеристикам, с использованием точечного стерео микрофона СМХУ 4V, имеющего расстояние между центральными точками капсюлей всего 21мм.

При организации внестудийной записи или вещания возникает необходимость работы в различных акустических условиях и, как следствие, предпочтительней бывает использовать и другие диаграммы направленности микрофонов, а не только кардиоиду. При этом главным вопросом при проведении внестудийных работ является правильный подбор ветрозащиты для микрофонов. При этом для моно формата часто применяются суперкардиоидные капсюли, например МК 41, МК

41V (рис.11.19,в), которые фокусируются на одном источнике прямого звука, сокращая при этом съём звука других источников и помех помещения. При необходимости более равномерного съёма звука от широкого звукового источника, рекомендуется применять капсуль МК 21 с диаграммой направленности в виде широкой кардиоидой (рис.11.19, г).

11.5. Видеомагнитофон

Видеомагнитофон - это устройство для записи и воспроизведения видео информации, причем видеомагнитофон без функции записи называется видео плеером.

В Ташкентском телецентре используются видеомагнитофоны следующих форматов:

- Betacam SP;
- Betacam SX;
- Digital Betacam
- DVCAM

Во всех перечисленных видеомагнитофонах запись производится на магнитную ленту. Причем, в гибридных магнитофонах **Betacam SX DNW-A100P** имеется также и жесткий диск.

Основные части и функции видеомагнитофонов рассмотрим на примере DNW-A75P (рис.11.20).

Этот видеомагнитофон работает в формате Betacam SX, но благодаря наличию аналоговых воспроизводящих головок он может воспроизводить и записи формата Betacam SP. Все видео головки записи и воспроизведения установлены на вращающемся барабане. Причем, несколько головок установлены стационарно:

- головка полного стирания;
- головка хронометража (CTL);
- головка воспроизведения продольных дорожек 1-го, 2-го каналов звука формата Betacam SP
- головка продольного временного кода (LTC)

- головка стирания информации с продольных дорожек.

На вращающемся барабане установлены:

- 8 головок Опережающего Воспроизведения (A1, A2, A5, A6, B1, B2, B5, B6);
- 2 головки Контрольного Воспроизведения (confidence) (A и B);
- 2 головки Записи A и B для формата Betacam SX;
- 1 головка Стирания;
- 4 воспроизводящие головки для формата Betacam SP.

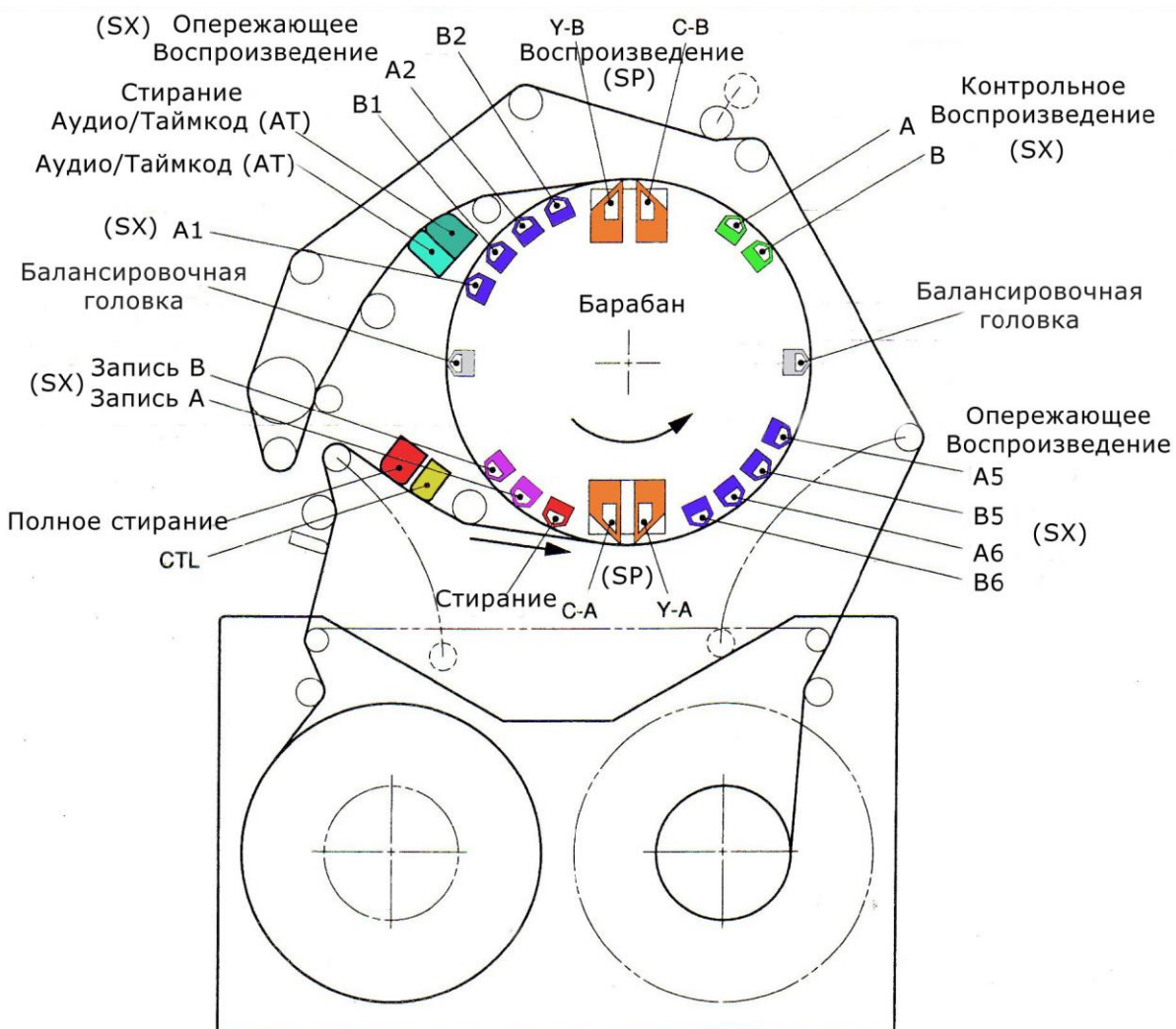


Рис.11.20. Кинематическая схема видеомэгнитофона DNW-A75P формата Betacam SX.

Балансировочные головки, показанные на рисунке 11.20, ни к записи ни к воспроизведению отношения не имеют, но они нужны только для того, чтобы при высоких скоростях вращения барабана не возникала вибрация и как следствие нарушения трекинга, то есть прохождения головки по магнитной дорожке.

Головки Опережающего и Контрольного Воспроизведения используются для воспроизведения записей Betacam SX. В обычном режиме воспроизведения (PB) головки Опережающего считывания используются непосредственно для воспроизведения. В режимах Записи (REC) и Вставки (INSERT) эти головки воспроизводят сигнал перед стиранием для предпросмотра, а Контрольные головки воспроизводят уже записанный сигнал, для подтверждения что он был записан. Поэтому головки Опережающего и Контрольного воспроизведения установлены таким образом, чтобы они могли следовать по дорожке перед головкой Записи (REC) и после нее.

При зарядке кассеты в ВМ лента специальным образом пропускается через лентопротяжный механизм и располагается вокруг барабана.

Управление видеомэгнитофоном осуществляется с помощью ручек и кнопок, расположенных на трех панелях управления: верхней, вспомогательной и нижней.

На задней панели магнитофона (рис.11.21) расположены разъемы для подключаемых к нему устройств.

Видеомэгнитофон позволяет вести монтаж в режимах вставки и продолжения.

Режим вставки (Insert)- позволяет записывать новые видео и аудио сигналы в середину уже записанного видео/аудио.

Режим продолжения (Assemble) позволяет записывать новые видео и аудио сигналы как продолжение уже записанного материала.

Все ВМ оснащены специальным джойстиком (Jog-Shuttle) для изменения скорости перемотки от покадрового просмотра до скорости, в 78 раз превышающей скорость воспроизведения при SX кассете и в 35 раз при использовании кассет SP.

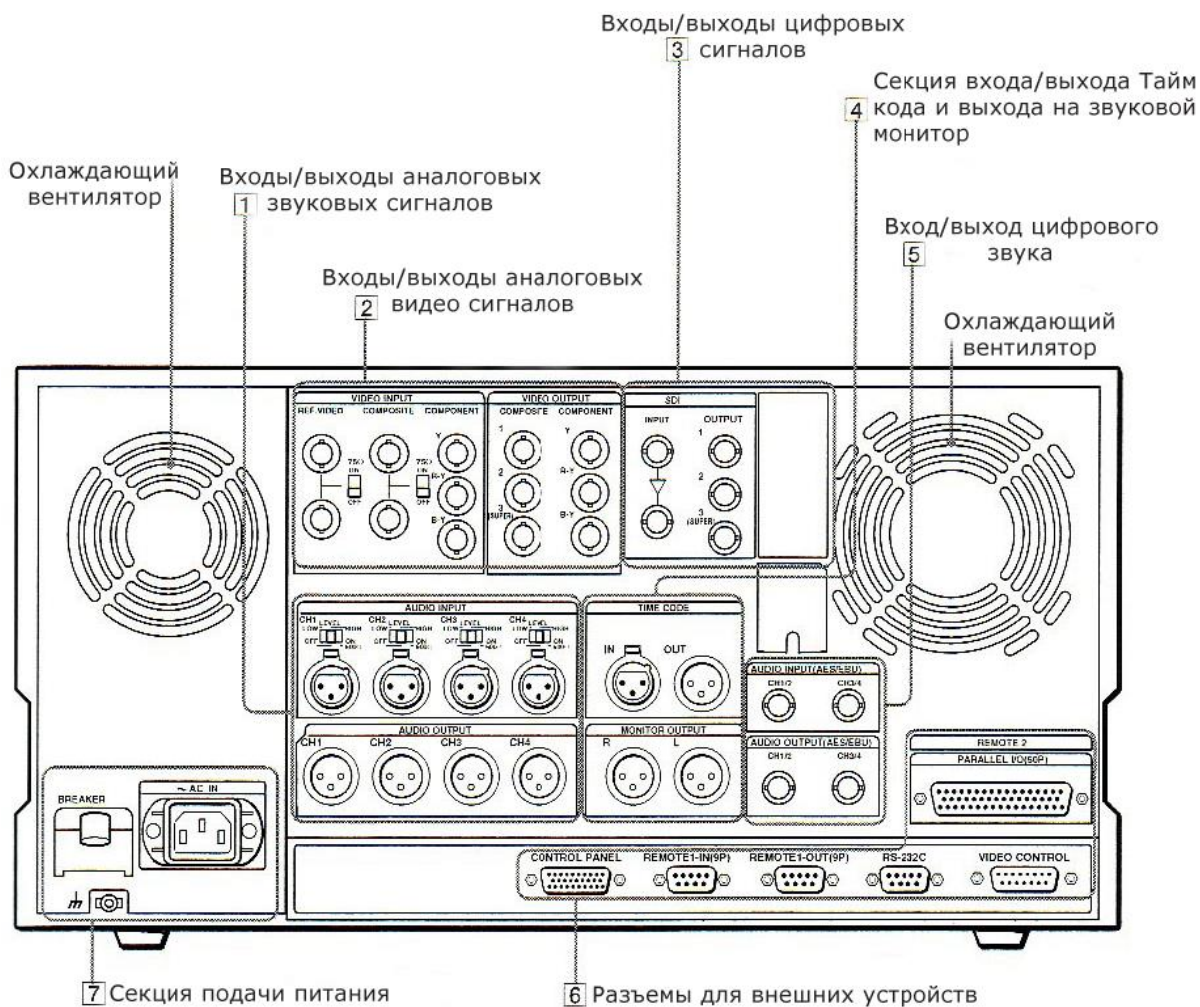


Рис.11.21. Внешний вид задней панели видеомэгнитофона формата Betacam SX DNW-A75P

11.6. Контрольно-измерительное оборудование

Осциллографы и вектроскопы

Для объективного контроля параметров сигналов в трактах телевизионного оборудования используются специальные измерительные приборы к которым относятся: **осциллограф, вектроскоп и растерайзер.**

Осциллограф (от лат. *oscillo* - качаюсь и греч. *Grapho* - пишу) представляет собой электроннолучевой прибор для наблюдения за формой электрических сигналов. Чаще всего осциллограмма изображает форму электрического сигнала во времени. По ней можно определить полярность, амплитуду и длительность сигнала. На экранах осциллографов имеются специальные сетки и шкалы, облегчающие измерения (рис.11. 22)

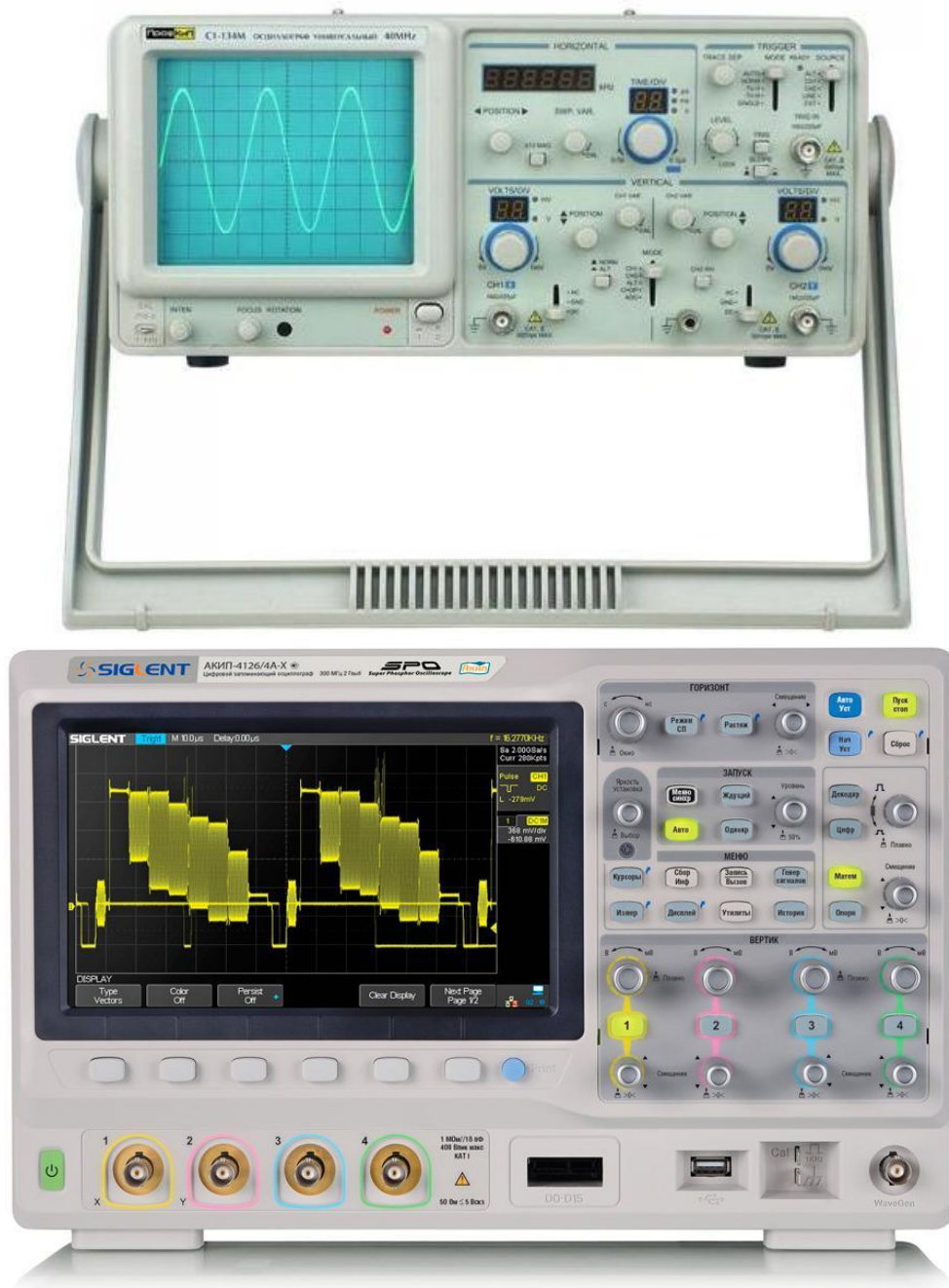


Рис.11.22. Внешний вид некоторых типов аналоговых и цифровых осциллографов.

В телевизионном производстве такие измерительные приборы необходимы, например, для контроля размахов и формы полного телевизионного сигнала и специальных тестовых сигналов.

Существуют цифровые и аналоговые осциллографы. В Ташкентском телецентре в основном используются осциллографы WFM-1741(аналоговый) и WFM-601A (цифровой) (рис.11.23).



Рис.11.23. Внешний вид осциллографов WFM-1741 и WFM-601A

На аналоговом осциллографе можно контролировать композитные сигналы – их яркость, цветность, а также сигналы синхронизации. На цифровом осциллографе наблюдают последовательный цифровой сигнал. (SDI). Так как сигнал SDI имеет свою цифровую синхронизацию, то увидеть синхроимпульсы на таком осциллографе нельзя. Отображаемый на нем сигнал преобразуется в аналоговый компонентный - Y, Pb, Pr.

Для контроля за возникающими в тракте передачи видеосигнала цифровыми ошибками в WFM-601A имеется система обнаружения и обработки ошибок EDH.

Вектроскоп это электронный контрольно-измерительный прибор, по внешнему виду схожий с осциллографом. В видеотехнике используется для поиска и устранения проблем цветопередачи. Показывает цветовые векторы и компоненты. Угол и величина отображаемых векторов соответственно отображают цветовой тон и насыщенность.

В обоих осциллографах WFM 1741 и WFM 601A имеется функция вектроскопа.

Во всех современных нелинейных монтажных программах имеются встроенные программные осциллографы и вектроскопы. Они позволяют контролировать основные параметры, однако не заменяют специализированных высокоточных измерительных устройств.

Кроме привычных электронно-лучевых осциллографов и вектроскопов существуют приборы, называемые **Растерайзерами**.

Растерайзер может одновременно отображать и анализировать видео, аудио и различные данные (например, служебные (ANC)).

Для контроля параметров файлового видео/аудио используются специализированные программы (например, Tektronix Cerify).

12. НАЗЕМНОЕ ТЕЛЕВИЗИОННОЕ ВЕЩАНИЕ

Наземное (эфирное) телевизионное вещание использует передачу телевизионных сигналов с помощью радиоволн УКВ диапазона. Для этой цели создаются специальные телевизионные радиопередающие станции (Телебашня), где с помощью телевизионных передатчиков радиоволны излучаются передающими антеннами, а затем принимаются приемными антеннами телевизоров.

Следует отметить, что в телевидении передача изображений и звука осуществляется разными передатчиками. При этом радиосигнал изображения формируется с помощью **амплитудной модуляции (АМ)** несущей изображения полным цветным ТВ сигналом с частичным подавлением нижней боковой полосы частот, а радиосигнал звукового сопровождения – с помощью **частотной модуляции (ЧМ)** несущей звука сигналом звукового сопровождения. При этом номинальная полоса частот радиоканала изображения составляет **7,625 МГц**, а звукового сопровождения - **0,25 МГц**. Разнос несущих изображения и звука составляет 6.5 МГц (несущая изображения располагается ниже несущей звука), при этом номинальная ширина радиоканала ТВ вещания составляет **8 МГц**, как показано на рис.12.1.

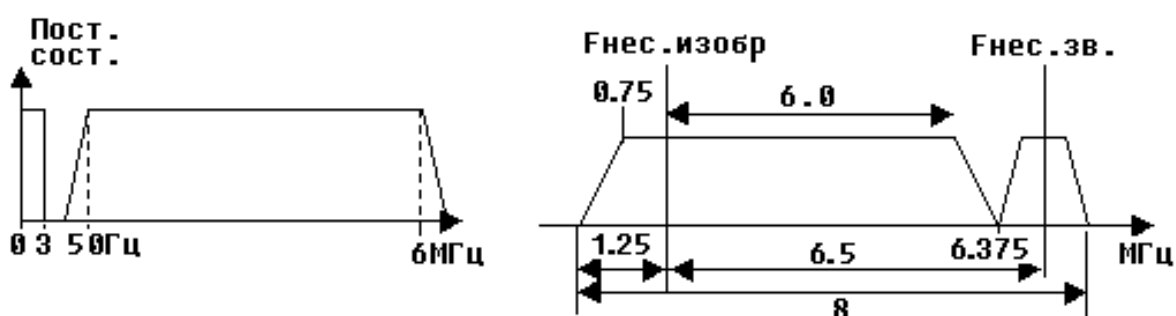


Рис.12.1. Номинальные АЧХ НЧ ТВ сигнала и боковых полос радиопередатчика

Разные виды модуляции облегчают разделение сигналов звука и изображения в телевизорах. Составляющие спектра каждой боковой полосы (нижней -НБП и верхней -ВБП) содержат

одинаковую информацию о передаваемом сигнале, поэтому за счет сокращения НБП сокращается избыточность ТВ сигнала и это дает возможность сократить полосу частот, занимаемую ТВ каналом. В результате в одном и том же диапазоне удастся разместить большее число каналов. Однако, для уменьшения квадратурных искажения ТВ сигнала, возникающих в амплитудном детекторе (АД) приемника при подавлении одной боковой полосы, оставляют небольшую часть НБП на уровне 0,75 МГц. В этом случае крупные детали передаются без градационных искажений, а в мелких деталях глаз не воспринимает.

В связи с большой помехоустойчивостью сигнала звукового сопровождения, передаваемого методом широкополосной ЧМ и для уменьшения помехи от него в канале изображения мощность излучения несущей звука уменьшена в 10 раз по сравнению с несущей изображения.

При передачи сигналов изображения в большинстве странах мира принята негативная полярность модуляции, при которой максимум мощности несущей соответствует уровню сигнала синхронизации, а минимум – уровню белого.(рис.12.2.а)

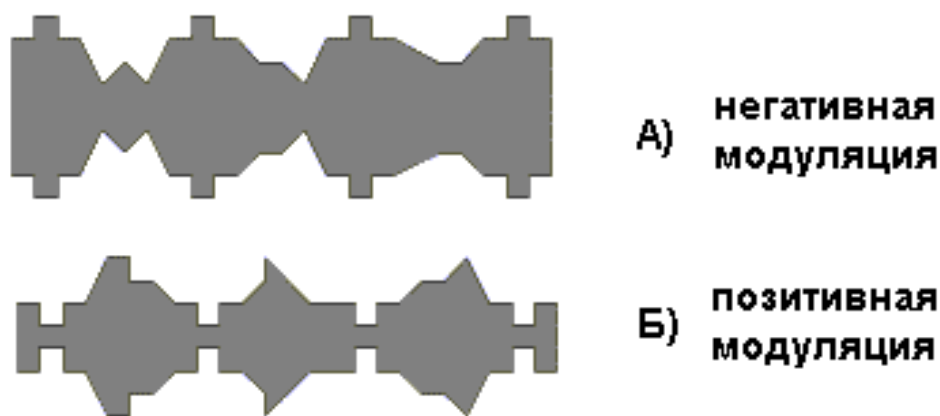


Рис.12.2. Вид амплитудно-модулированных сигналов изображения

В этом случае:

- передатчик излучает меньшую мощность, т.к. по статистике в ТВ преобладают светлые сцены;

- импульсные помехи чаще проявляются в виде темных точек и визуально менее заметны;
- повышается помехоустойчивость систем синхронизации, т.к. во время передачи синхроимпульсов передатчик излучает максимальная мощность;
- облегчается построение АРУ приемников при этом за опорный сигнал принимается сигнал синхронизации, соответствующий максимуму размаху несущей и для его выделения можно использовать простые устройства.

Для устранения искажений звукового сопровождения в телевидении не допускается 100 % модуляция при этом для черно-белого ТВ остаточный уровень несущей составляет 15 %, а для цветного вещания – 7 %.

В наземном телевизионном вещании используются метровые и дециметровые радиоволны. Для этой цели выделено 5 частотных диапазонов, где размещено 60 радиоканалов:

I диапазон – 48,5...66 МГц (1 и 2 радиоканал);

II диапазон – 76...100 МГц (3 -5 радиоканал);

III диапазон – 174...230 МГц (6 -12 радиоканал);

IV диапазон – 470...582 МГц (21 -34 радиоканал);

V диапазон — 582...790 МГц (35 -60 радиоканал);

Выбор нижней границы 1 диапазона определяется тем, что для выделения в приемнике полного цветного телевизионного сигнала (ПЦТВС) из радиосигнала изображения необходимо, чтобы несущая в несколько раз превышала максимальную частоту спектра 6 МГц. Кроме того, диапазон до 40 МГц занят для радиовещания, радиосвязи и др. целей. А верхняя граница V диапазона ограничена длинами волн, на которых начинают сказываться значительное поглощение излучения в атмосфере и влияние ее неоднородностей – дождя, тумана и т.д. Поэтому диапазон УКВ 30...3 см (1...10 ГГц) используется для передачи ТВ сигналов только по радиорелейным и космическим линиям связи, а также в линиях связи передвижных телевизионных станций (ПТС).

Зона покрытия телевизионным вещанием

В наземном ТВ вещании зона покрытия вещанием определяется границами зоны уверенного приема радиосигналов, в пределах которых сигнал не зависит от времени суток, года и других факторов. Эти границы фиксируются по медианному (среднестатистическому по времени и месту) значению напряженности поля излучения радиосигнала изображения.

Для того, чтобы зоны уверенного приема радиосигналов изображения и звука были примерно одинаковы, необходимо иметь мощность передатчика изображения в 10 раз больше, чем звука, так как частотная модуляция имеет помехоустойчивость в 10 раз лучшую, чем амплитудная.

В УКВ диапазоне, в котором ведется ТВ вещание, радиоволны плохо дифрагируют и поэтому в основном распространяются по законам геометрической оптики. А поскольку земля круглая то за горизонт волны этого диапазона обычно не попадают. Таким образом зона покрытия лежит в пределах прямой видимости и зависит от высоты подвеса антенн и мощности излучения передатчиков.

Эффективное значение напряженности поля, мкВ/м, в зоне уверенного приема можно оценить по формуле Б.А. Введенского

$$E = \frac{2,18h_1 h_2 \sqrt{PD}}{\lambda r^2}, \quad (12.1)$$

где: h_1, h_2 ,- высоты передающей и приемной антенн, м;

r – расстояние между антеннами, км;

P - мощность радиопередатчика, кВт;

λ – длина волны излучения, м;

D – коэффициент усиления передающей антенны (для турникетной примерно равен числу ее этажей);

Из-за того, что УКВ при распространении испытывают малую рефракцию в атмосфере, то радиус действия ТВ передатчика примерно ограничен расстоянием прямой видимости в км;

$$r \approx 4,12(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad (12.2)$$

Поэтому увеличение мощности излучения передатчика позволяет увеличить напряженность поля в зоне прямой видимости, но почти не расширяет зону обслуживания ТВ вещанием. Эта зона может быть увеличена с помощью радиорелейных, кабельных и космических линий связи (с ретрансляцией радиосигналов передающими станциями).

13 СПУТНИКОВОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ (СТВ)

Из-за того, что радиоволны УКВ диапазона при распространении испытывают малую рефракцию в атмосфере, то радиус действия ТВ передатчика примерно ограничен расстоянием прямой видимости в км;

$$r \approx 4,12(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

где , h_1 и h_2 высоты подвеса передающей и приемной антенн.

Поэтому для увеличения дальности приема необходимо увеличивать высоты передающей и приемных антенн, однако постройка антенно-мачтовых сооружений высотой более 200-300 метров сопряжено с большими техническими трудностями и требует очень больших финансовых затрат. Поэтому зона охвата вещанием редко превышает 50 км.

Другим вариантом увеличения зоны вещания является размещение передающих ТВ антенн в космосе на искусственных спутниках Земли. В связи с этим идея вещания через спутники появилась еще до первого запуска спутника "Молния" на космическую орбиту (1957).

Таким образом, спутниковое телевидение – это область техники связи, занимающаяся вопросами передачи телевизионных программ от передающих земных станций к приёмным устройствам с использованием искусственных спутников земли (ИСЗ) в качестве активных ретрансляторов. Система телевизионного вещания через спутники - это глобальная система передачи информации. В системах спутникового телевидения информация может передаваться, как в аналоговой форме, так и в цифрой, которая в настоящее время вытесняет аналоговые системы. Спутниковое вещание на сегодняшний день является самым экономичным, быстрым и надёжным способом передачи ТВ сигнала высокого качества в любую точку мира. К преимуществам СТВ относятся также возможность приёма сигнала неограниченным числом приемных установок, высокая надежность ИСЗ, небольшие затраты и их независимость от расстояния между источником и потребителем.

13.1. Принципы построения спутниковых систем

Как отмечалось выше, спутниковое ТВ вещание основано на использовании ретрансляторов телевизионных сигналов (транспондеров), расположенных на борту ИСЗ. При этом, чтобы ИСЗ не падал на Землю он должен двигаться с первой космической скоростью по определенным орбитам, создавая центробежную силу, которая компенсирует силу притяжения Земли. Поэтому орбиты классифицирую по следующим признакам:

- форма орбиты;
- периодичность прохождения над точками земной поверхности;
- наклонение орбиты.

По форме орбиты подразделяются на следующие типы рис (13.1):

- круговые, которые трудно реализуются на практике и требуют периодичной коррекции бортовыми двигателями;
- близкие к круговым, которые наиболее широко используются в связных космических аппаратах (КА), высота апогея и перигея у таких орбит отличаются на несколько десятков километров;
- эллиптические, высота **На** (апогея) и **Нп** (перигея) значительно различаются (например: $N_a = 38000 - 40000$ км, а $N_p = 400 - 500$ км).

По наклонению орбиты, над которой понимается угол между плоскостями экватора Земли и орбиты КА (рис.13.1). Угол отсчитывается от плоскости экватора к плоскости орбиты против часовой стрелки и может меняться от 0^0 до 180^0 . По этому признаку различают следующие типы орбит:

- прямые орбиты (наклонение $a < 90^0$);
- обратные орбиты (наклонение $a > 90^0$);
- полярные орбиты (наклонение $a = 90^0$);
- экваториальные орбиты.

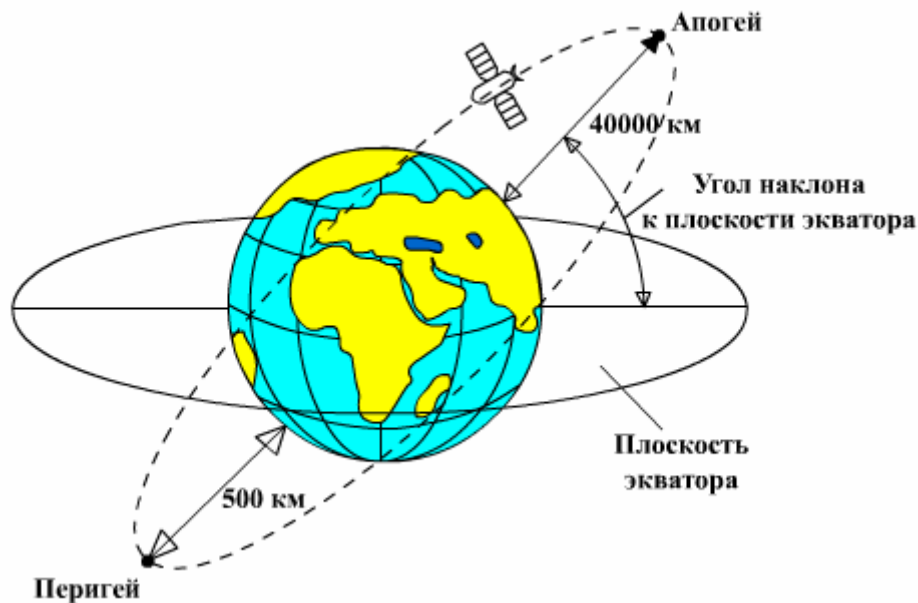


Рис.13.1. Виды орбит, используемые в спутниковых системах связи.

При $a = 0^{\circ}$, КА движется по направлению вращения Земли с запада на восток, а при $a = 180^{\circ}$, КА движется против направления вращения Земли с востока на запад.

Согласно закону Кеплера чтобы ИСЗ, находился неподвижно относительно земли, он должен двигаться по орбите высотой 42180 км от центра земли или над поверхностью 42180-~6380км = 35800 км, как синхронный, привязанный к одной географической точке неба относительно вращения земли. Данная орбита получила основное название – **геостационарная** (рис.13.2). Следует отметить, что писателем-фантастом Артуром Кларком еще в 1946 году были просчитаны параметры геостационарной орбиты и с тех пор данная орбита спутников имеет еще и название "Clarke Belt".

В настоящее время в спутниковом телевидении большинство спутников-ретрансляторов движется по геостационарной орбите (рис.13.2). Эта орбита характеризуется тем, что находящиеся на ней спутники движутся с угловыми скоростями, равными угловой скорости вращения Земли вокруг своей оси. Поэтому с поверхности Земли они кажутся неподвижными, "висящими" на одном месте, в одной точке. С геостационарного спутника Земля «видна» под телесным углом \approx

18° в виде окружности, ограниченной пределами $\pm 80^\circ$ по широте и 160° по долготе с центром на экваторе, что представляет максимальную зону обслуживания одним ИСЗ. В зоне $\pm 80^\circ$ по широте проживает практически всё население Земли. Так как расстояние от движущегося по геостационарной орбите спутника до Земли почти в три раза больше диаметра Земли, то спутник "видит" сразу около 40% земной поверхности. Однако, число мест на геостационарной орбите, где обитают спутники ТВ вещания, ограничено. Сегодня таких мест около четырёхсот и в каждом месте могут находиться от одного до нескольких десятков спутников.

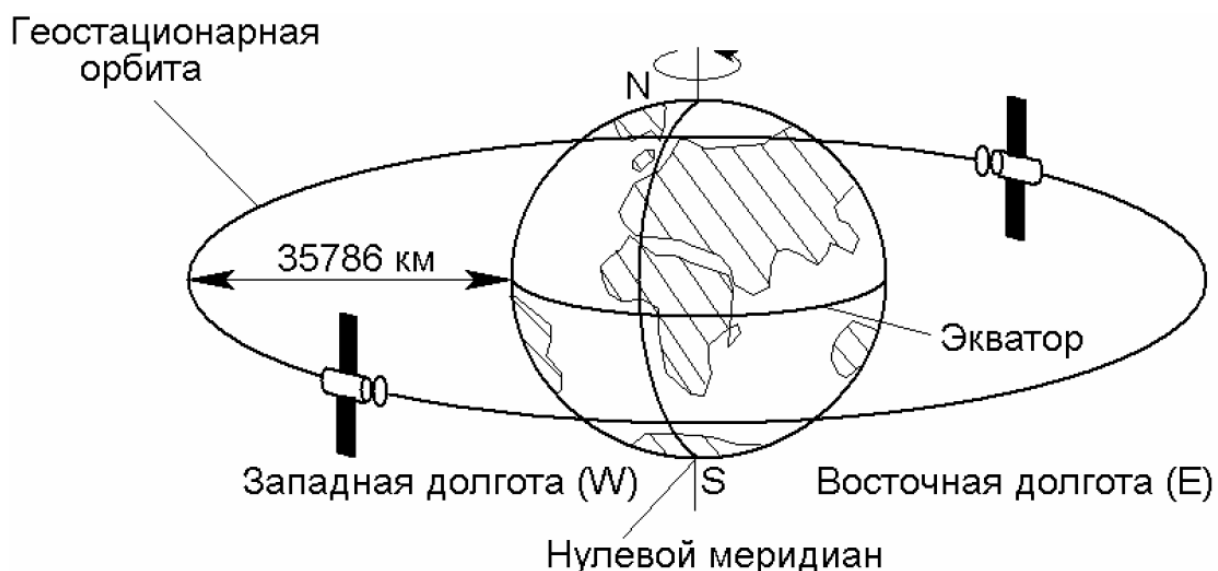


Рис.13.2. Расположение спутников на геостационарной орбите.

В состав спутниковой системы передачи ТВ-вещания (ССТВ) входят: наземная передающая телевизионная станция (ПТС), приёмо-передатчик (ретранслятор) на ИСЗ и приёмная станция.

Для ТВ-вещания предусмотрены два вида спутниковой связи: фиксированная спутниковая служба (ФСС) и радиовещательная спутниковая служба (РВСС).

Фиксированная спутниковая служба – служба радиосвязи между наземными станциями, расположенными в определённых фиксированных точках земной поверхности. Примером такой

службы является сеть станций «Орбита». Наземные станции этой сети принимают через ИСЗ программы из Москвы и по ТВ-каналам передают их на ближайший телецентр, который в метровом или дециметровом диапазоне волн доводит эти программы до местных телезрителей. При такой системе мощность передатчиков на спутнике-ретрансляторе может быть небольшой, но наземная приёмная аппаратура – довольно сложной и оснащенной поворотной антенной системой, обеспечивающей слежение за движением КА. Такие системы применяют как для передачи национальных программ с большими территориями, так и для международного обмена программами.

При большом числе приёмных станций на сравнительно небольшой территории экономически оправданно усложнить ретранслятор ИСЗ и одновременно упростить наземные приёмные станции. Такие системы экономически выгодно использовать для работы на кабельную сеть или радиорелейную линию (РРЛ).

Радиовещательная спутниковая служба (РВСС) – служба радиосвязи, в которой сигналы, передаваемые космическими станциями, предназначены для непосредственного приёма населением на упрощённые, достаточно дешёвые устройства, с выхода которых сигнал поступает на обычные телевизоры. При этом возможны два вида приёма в РВСС: индивидуальный и коллективный.

Индивидуальный приём в РВСС – приём излучений ИСЗ с помощью простой бытовой аппаратуры с небольшими антеннами.

Коллективный приём в РВСС – приём излучений ИСЗ с помощью приёмных устройств, предназначенных для использования группой населения в одном месте.

При использовании РВСС определено, что к ней относятся радиосигналы (передаваемые или ретранслируемые космическими станциями), предназначенные для

непосредственного приёма населением – **непосредственное телевизионное вещание (НТВ).**

Для осуществления НТВ необходимо, чтобы излучаемый с ИСЗ сигнал соответствовал параметрам сигнала, на который рассчитаны телевизоры: диапазону волн, виду модуляции, уровню сигнала в месте приёма и т.д. В метровом и дециметровом диапазонах это технически неосуществимо. Так, например, на 3-м частотном канале (несущая частота изображения f_0 из = 93,25 МГц) для нормальной передачи сигнала на спутнике-ретрансляторе необходимо было бы развернуть параболическую антенну диаметром $D = 500$ метров и иметь источник питания мощностью не менее 1000 Вт. При трансляции сигнала на 37 частотном канале (f_0 из = 599,25 МГц) диаметр антенны должен быть $D = 60$ метров. Поэтому для целей спутникового телевидения используются сантиметровый (10 см ... 1 см) и миллиметровый (10 мм ... 1 мм) диапазоны волн. Эти диапазоны волн соответствуют частотам (3...30) ГГц и (30...300) ГГц.

Вследствие значительной общности схемных и конструктивных решений, а также элементной базы в отечественной и зарубежной литературе принято объединять эти два диапазона, а также дециметровый диапазон (100 см ... 10 см), которому соответствуют частоты (300 ... 3000) МГц, под термином СВЧ, или «микроволновый» диапазон.

Диапазон частот в спутниковой связи записывают дробью, где в числителе указывается частота сигнала, излучаемая с ИСЗ, а в знаменателе – наземной станции в радиолинии Земля – ИСЗ. При этом частота излучения со спутника выбирается ниже частоты, излучаемой с Земли на ИСЗ. Это объясняется тем, что при излучении с Земли в сторону ИСЗ сигнал имеет большее затухание, чем при передаче сигнала в обратном направлении (чем выше частота, тем больше затухание сигнала в атмосфере). Большее затухание на трассе Земля – ИСЗ легко компенсируется увеличением мощности радиопередающего устройства наземной станции.

Спутниковые системы РВСС работают в диапазоне 11,7 – 12,5 ГГц. Ширина полосы частот, отводимая для каждого канала, составляет 27 МГц. Для повышения помехозащищённости каналов ТВ-вещания предусмотрено использование прямой и обратной круговой поляризации, обеспечивающей снижение взаимных помех на 10 – 20 дБ. При этом, нечётные каналы имеют прямую (правостороннюю) поляризацию, а чётные – обратную (левостороннюю) поляризацию. Прямая поляризация соответствует вращению вектора E по часовой стрелке, если смотреть с ИСЗ на Землю. Обратная поляризация – против часовой стрелки. Однако в целях ослабления помех соседние каналы на одном спутнике обычно не задействуют.

13.2. Основные функции спутников-ретрансляторов телевизионного вещания

Спутник - ретранслятор состоит из следующих основных элементов:

- центральный процессор;
- радиоэлектронное оборудование бортового ретрансляционного комплекса (БРТК);
- антенные системы;
- системы ориентации и стабилизации;
- двигательная установка;
- система электропитания (аккумуляторы, солнечные батареи, изотопные генераторы).

Общая структурная схема спутника-ретранслятора приведена на рис.13.3. Где, Центральный процессор (бортовой компьютер) осуществляет непрерывный контроль всех систем КА и осуществляет управление режимами работы, ориентации в пространстве и коррекции орбиты. Двигательная установка позволяет удерживать ИСЗ в заданной точке своей орбиты под действием дестабилизирующих факторов гравитации Луны и солнечного ветра.



Рис.13.3. Общая структурная схема спутника-ретранслятора.

Радиозлектронное оборудование совместно с приемными и передающими антеннами принимает сигналы от земных станций, усиливает их, обеспечивает коррекцию искажений и ошибок и с помощью передатчика переизлучает сигнал в сторону Земли на наземные приемники.

Система электропитания обеспечивает электроэнергией все радиозлектронное оборудование КА и содержит аккумуляторы, солнечные батареи или изотопные генераторы.

Таким образом, спутники на геостационарной орбите обеспечивают приём информации со станций, находящихся на Земле, и передачу ее абонентам – приёмным устройствам. В этой системе они играют роль станции повторения (ретранслятора). Такие спутники выполняют следующие основные функции:

- принимают сигналы (в отведённом диапазоне частот), передаваемые со станции на Земле в направлении спутника;
- усиливают принятые сигналы;
- преобразовывают частоту принятых сигналов в частоту

сигналов, предназначенных для передачи в направлении “Спутник – Земля”;

- ретранслируют преобразованные и усиленные сигналы многочисленным наземным приемным устройствам только на отведённую территорию.

Антенны спутника-ретранслятора

В отличие от наземных станций, имеющих в своем составе одну антенну, на борту современных спутников устанавливают несколько приёмных и передающих антенн. Антенны спутника-ретранслятора должны иметь:

- высокий коэффициент усиления, что позволяет создавать на обслуживаемой земной территории необходимую для качественного приёма плотность потока мощности;
- острую диаграмму направленности и низкий уровень боковых лепестков, в результате чего уменьшаются взаимные помехи между соседними спутниками и другими системами связи;

Для реализации требуемых свойств на спутнике устанавливается несколько параболических антенн больших размеров. Данные дистанционных измерений параметров ретранслятора, а также данные контроля и управления передаются либо через специальные рупорные, либо через большие параболические антенны.

Во время запуска и вывода спутника на орбиту для передачи команд управления и контроля применяется штыревая всенаправленная антенна, так как другие антенны в этот момент находятся в нераскрытом состоянии.

Антенны современных спутников устанавливаются на индивидуальные поворотные устройства, что дает возможность по команде с Земли поворачивать каждую антенну независимо друг от друга на заданный угол. Так, в спутнике «ГАЛС - 16Р» каждая из трёх антенн может индивидуально поворачиваться на угол в пределах $\pm 8^\circ$. Кроме этого, имеются две антенны, установленные на общую платформу, которые вместе можно

повернуть на такой же угол. Такая конструкция позволяет обслуживать поочерёдно большие территории, расположенные в разных временных поясах.

Приёмно-передающий блок спутника-ретранслятора

Приёмно-передающий блок спутника вместе с антеннами представляет собой спутниковый ретранслятор (транспондер). Это главная часть передающей системы. Для того чтобы создать зону обслуживания, которая наилучшим образом соответствовала бы конфигурации обслуживаемой территории, большинство спутников имеют несколько ретрансляторов и антенн с узкими диаграммами направленности.

Ретрансляторы в спутниковых системах связи обычно выполняются в виде отдельных частотных «стволов». Каждый «ствол» содержит тракт обработки сигнала и усилитель с ограниченной пиковой мощностью. Упрощённая структурная схема одного ствола (луча) типового ретранслятора приведена на рис. 13.4. Здесь показаны самые важные, имеющие принципиальное значение, узлы.

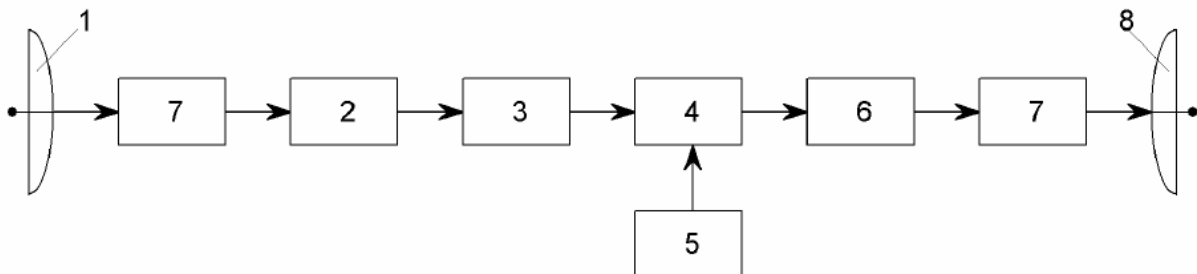


Рис. 13.4. Упрощённая структурная схема одноствольного ретранслятора: 1-приёмная антенна; 2-входное малошумящее устройство; 3-усилитель; 4-смеситель; 5-гетеродин; 6-усилитель мощности; 7-волноводный тракт; 8-передающая антенна.

В рассматриваемой схеме осуществляется только одно преобразование частоты сигналов приёма в частоту сигналов передачи. В некоторых ретрансляторах используется двойное преобразование частоты. Принимаемые СВЧ-сигналы преобразуются в сигналы промежуточной частоты и

обрабатываются: усиливаются, ограничиваются, фильтруются, а затем передаются на Землю абонентам (приёмным устройствам). Но в современных спутниках, например, «ГАЛС - 16Р», используется только одно преобразование.

13.3. Приёмные спутниковые антенны

Из оптики известно, что расходящиеся световые лучи от точечного источника света, помещённого в фокусе вогнутого параболического зеркала, собираются таким зеркалом в пучок параллельных лучей. На этом основано действие прожектора. На основании принципа взаимности известно также, что приходящие параллельные световые лучи на поверхность вогнутого параболического зеркала после отражения от поверхности собираются в точке фокуса.

Аналогично работают и параболические зеркала для радиоволн. Эти зеркала делаются либо из листового металла, либо из металлической сетки. Однако они не могут создать столь высокую направленность, какая получается для световых лучей. Геометрические размеры отражающих зеркал для световых лучей в огромное число раз больше длины волны световых волн, составляющих сотни микрометров. Явление дифракции у краёв зеркала, т.е. огибание границ зеркала световыми волнами практически не наблюдается. Создать параболическое зеркало для радиоволн (пусть даже миллиметровых) с таким же соотношением линейных размеров зеркала к длине радиоволны практически невозможно. На практике размеры параболоида лишь в несколько сотен раз больше длины радиоволны. Поэтому у краёв зеркала наблюдается довольно сильное явление дифракции (т.н. «затекание» радиоволн). Лучи радиоволн огибают края зеркала и расходятся в стороны; поэтому получить достаточно узкую диаграмму направленности (ДН) без боковых и задних лепестков не удаётся. Чем больше соотношение между линейными размерами зеркала и длиной волны, тем меньше

влияние дифракции и тем лучше направленность параболической антенны.

Ухудшение направленности на радиочастотах происходит ещё и потому, что фокусом зеркала может быть только одна точка, а излучатель радиоволн, помещённый в фокусе, обычно имеет определённые размеры.

Применяются два основных типа параболических зеркал: параболоид и параболический цилиндр. Зеркало в виде параболоида позволяет создать луч, узкий как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости. Однако оно очень сложно в изготовлении, т.к. поверхность зеркала не должна отклоняться от поверхности правильного параболоида вращения более чем на 5 % от длины волны.

Гораздо проще по устройству зеркало в виде параболического цилиндра (вернее, в виде вырезки из параболического цилиндра). Такое зеркало создаёт узкую ДН в одной плоскости и широкую – в другой. Разработано достаточно большое количество конструкций параболических цилиндров, применяемых в радиолокации, спутниковом телевидении и радиорелейной связи.

Разработаны также отражатели, выполненные в виде зеркал двойной кривизны: верхняя часть зеркала является параболоидом, а нижняя часть представляет собой плавно сопряжённую с этим параболоидом вырезку из обычного цилиндра. Такие отражатели иногда называются «параболоид-бочка» (рис. 13.5).

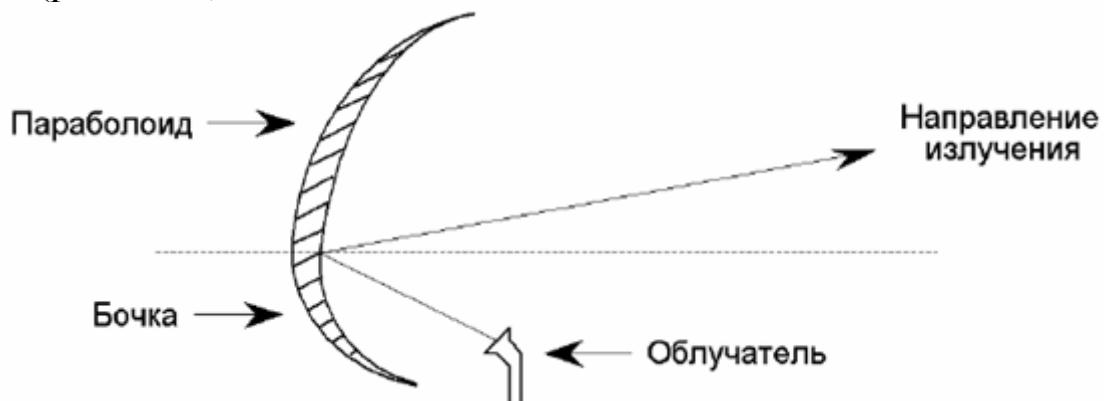


Рис. 13.5. Профиль параболического отражателя двойной кривизны

Такая конфигурация позволяет сместить облучатель из фокуса вниз по фокальной плоскости, что исключает эффект «тени» от облучателя, а это особенно важно при работе в диапазонах сантиметровых и миллиметровых волн.

Зеркала двойной кривизны широко применяются в спутниковых приёмных антеннах и в радиолокации.

Существуют также конструкции сферических и сферопараболических зеркал, которые действуют почти так же, как и параболические отражатели, но при определённом расположении облучателя относительно зеркала.

Электромагнитные волны, распространяясь в свободном пространстве, наводят в антенне токи, которые подаются во входные каскады радиоприёмных устройств. Антенны, предназначенные для приёма телевизионных сигналов от спутников-ретрансляторов, принимают электромагнитные волны СВЧ-диапазона (длина волны 1...3 см) весьма малой мощности, которая практически соизмерима с уровнем мощности естественных шумов и помех. Поэтому такие антенны должны иметь:

- большой коэффициент усиления;
- низкую шумовую температуру;
- остронаправленную («игольчатую») диаграмму направленности;
- малый уровень боковых лепестков;
- большую эффективную отражающую поверхность.

Приведенным условиям в полной мере удовлетворяют параболические (зеркальные) антенны, получившие наиболее широкое распространение в спутниковых ТВ-системах.

В соответствии с принципом взаимности такие антенны могут быть как передающими, так и приёмными. В качестве собирающей или отражающей поверхности используется внутренняя поверхность параболоида вращения.

К наиболее распространенным типам антенн для приема спутникового телевизионного вещания относятся:

- антенна с передним питанием (осесимметричная) – прямофокусная (рис. 13.6, а);
- антенна, с передним питанием (неосесимметричная) – офсетная (рис. 13.6, б);
- двузеркальная осесимметричная антенна – антенна Кассегрена (рис. 13.6, в);
- двузеркальная офсетная (неосесимметричная) – антенна Грегори (рис. 13.6, г).

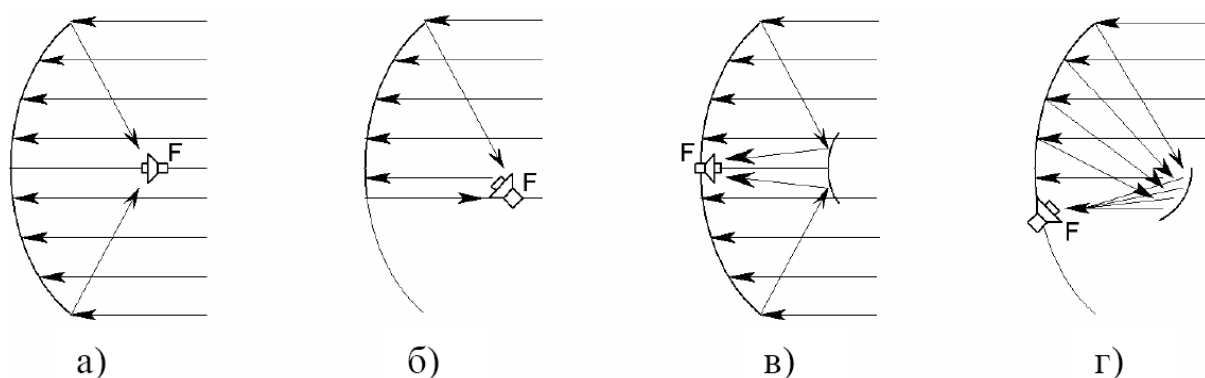


Рис. 13.6. Наиболее распространенные типы параболических антенн.

Как видно из приведенного рисунка, наиболее существенная часть, отличающая один тип антенны от другого, – это положение облучателя по отношению к основному зеркалу.

Основное зеркало представляет собой параболоид. Для работы в диапазоне СВЧ очень важно качество отражающей поверхности, которая для принимаемых электромагнитных волн должна быть зеркальной. Любая поверхность, способная отражать электромагнитные волны, будет зеркальной для длин волн много больших, чем размер неоднородностей отражающей поверхности.

Однако для параболоидной поверхности, принимающей и отражающей электромагнитные волны диапазона 10,5..12,5 ГГц, необходимо более высокое качество поверхности, так как влияние неоднородностей здесь сказывается дважды - при падении волн на поверхность и при отражении их от поверхности. Поэтому размеры неоднородностей не должны

превышать $\lambda / 15 \dots \lambda / 20$. Для высококачественных антенн требования к поверхности еще более строгие и размер неоднородностей у них не превышает $\lambda / 25$. От качества поверхности параболоида, точности его формы зависят ширина диаграммы направленности антенны, её коэффициент усиления, уровень боковых лепестков и шумовые параметры.

13.4. Принципы построения индивидуальных радиоприёмных устройств спутникового телевидения

Все радиоприёмные устройства (РПрУ) спутникового телевидения построены по супергетеродинной схеме. Индивидуальное радиоприёмное устройство состоит из двух частей: наружного блока, который располагается непосредственно на антенне, и внутреннего блока – спутникового телевизионного приёмника (ресивера), устанавливаемого возле телевизора. На рис. 12.7. приведена структурная схема РПрУ для приёма телевизионного вещания через спутники-ретрансляторы.

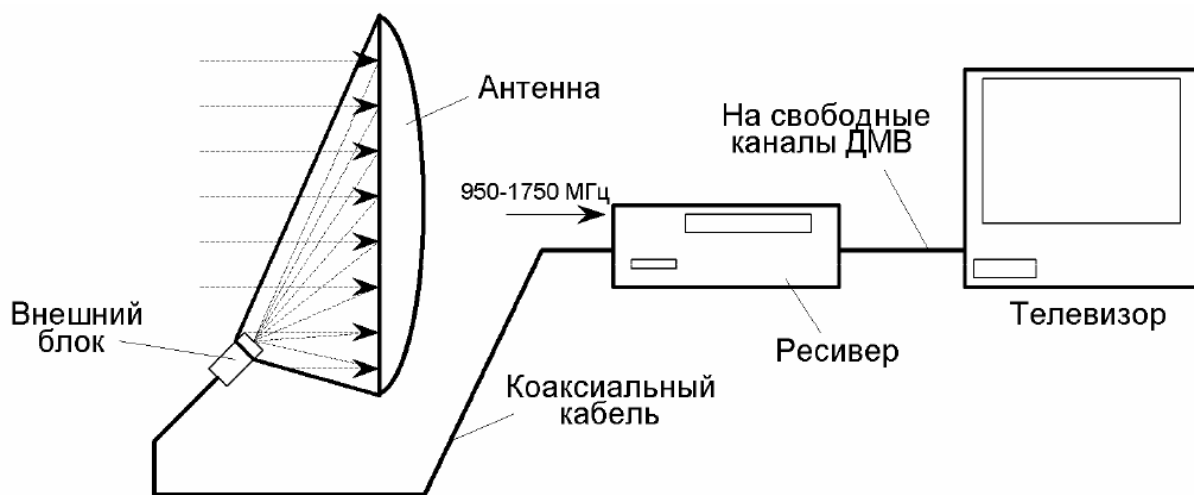


Рис. 13.7. Структурная схема наземного радиоприёмного устройства.

Функциональная схема индивидуального приёмного устройства РВСС показана на рис. 13.8.

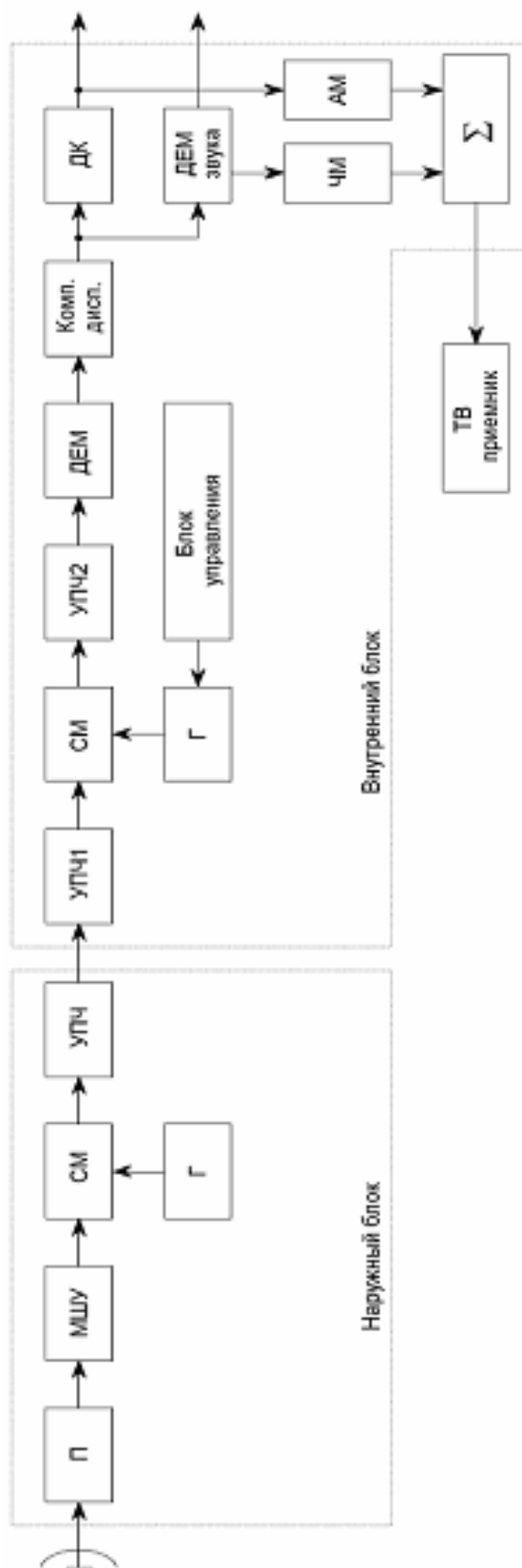


Рис. 12.8. Функциональная схема индивидуального приёмного устройства

Такое конструктивное и схемное построение спутниковых РПрУ обусловлено диапазоном частот, в котором работают спутниковые системы. Объясняется это следующими соображениями:

1. Диапазон частот 11,7 – 12,5 ГГц соответствует диапазону волн 2,5 – 2,56 см в котором создать директорные антенны технически невозможно. Наиболее эффективной антенной в этом диапазоне волн является зеркальная антенна (параболоид), имеющая большой коэффициент усиления и очень узкую («игольчатую») диаграмму направленности (ДН). Чем больше отношение диаметра раскрытия параболоида к длине волны, тем более остронаправленной формируется ДН и тем больше коэффициент усиления антенны. Зеркальные антенны достаточно просты в производстве и относительно дешёвы.

2. В качестве линий передачи электромагнитной энергии в этом диапазоне могут использоваться только волноводы. Применение других видов линий передачи, в том числе и коаксиального фидера, невозможно, так как электро-магнитные колебания в диапазоне СВЧ в коаксиальных фидерах быстро затухают. Однако волноводы в изготовлении достаточно дороги и использование их в бытовых системах спутникового телевидения весьма сложно.

3. Из курса «Радиоприёмных устройств» известно, что на входе приёмника всегда имеется некоторое соотношение сигнал/шум, определяемое отношением мощности полезного сигнала к мощности шумов:

$$\gamma = (P_C / P_{Ш})_{ВХ} \quad (13.1)$$

Это соотношение не остаётся постоянным от входа до выхода приёмника. При распространении полезного сигнала по линии передачи полезный сигнал затухает в силу естественных потерь мощности. В то же время к входным шумам добавляются флуктуационные и тепловые шумы линии передачи. В результате на выходе линии передачи, т.е. уже на входе собственно приёмника соотношение сигнал/шум ухудшается. Тем более это соотношение ухудшается на выходе линейной части приёмника.

В результате увеличивается коэффициент шума и уменьшается чувствительность РПрУ.

Конвертор спутникового радиоприёмного устройства.

Одним из способов уменьшения коэффициента шума, и, следовательно, повышения чувствительности РПрУ, является усиление принятого сигнала сразу же после антенны. Устройства, выполняющие эту функцию, называются «**антенными усилителями**». Конструктивно антенные усилители размещаются как можно ближе к антенне. В спутниковых РПрУ антенные усилители располагаются в облучателе параболоида и носят название «**малозумящих усилителей**» (МШУ). Малозумящий усилитель конструктивно объединяется с поляризатором и первым преобразователем частоты. Такой усилительно-преобразовательный блок называется «**конвертором**» (рис. 13.9).

Конвертор решает следующие задачи:

- осуществляет поляризационную селекцию принимаемых от спутника-ретранслятора сигналов;
- осуществляет защиту радиоприёмного устройства по зеркальному каналу;
- производит усиление по мощности сигналов, принятых на высокой частоте;
- производит первое преобразование частоты принятых сигналов;
- производит предварительное усиление преобразованных сигналов на первой промежуточной частоте.

Сигнал, принятый от ИСЗ параболической антенной, поступает на поляризатор (П), который пропускает на вход конвертора сигнал только определённого вида поляризации. В состав конвертора входит малозумящий усилитель (МШУ), смеситель (СМ) с гетеродином (Г) и усилитель первой промежуточной частоты (УПЧ). В типовом конверторе принятый антенной сигнал усиливается в двух- или трёхкаскадном транзисторном МШУ, затем его частота понижается в первом преобразователе частоты до промежуточной частоты в диапазоне

950 – 1750 МГц.

РПРУ для приёма сигналов ТВ-вещания через спутники-ретрансляторы выполняется по супергетеродинной схеме с двойным преобразованием частоты. Это обеспечивает хорошую избирательность по соседнему спутниковому каналу, практически полное подавление сигналов зеркального канала и сигналов обратного излучения гетеродина. Первое преобразование частоты, как уже было сказано, выполняется во внешнем блоке (конвертере). Первая промежуточная частота преобразованных сигналов (точнее, полоса частот) выбирается здесь достаточно высокой (950...1750 МГц), чтобы частота первого гетеродина и частоты зеркальных сигналов не попадали в полосу частот сигналов со спутника. Первый гетеродин не перестраивается. Он генерирует сигнал одной фиксированной частоты, и преобразование осуществляется в полосе частот $\Delta f = 800$ МГц. Для преобразования в более широкой ($\Delta f = 1200$ МГц) полосе частот используются два гетеродина.

Первое преобразование частоты принятых сигналов может осуществляться как при линейной поляризации (вертикальной или горизонтальной), так и круговой поляризации. Электромагнитные волны круговой поляризации предварительно преобразуются в волны линейной поляризации. Можно одновременно вести обработку сигналов вертикальной и горизонтальной поляризации при наличии во внешнем блоке двух конвертеров на входе демодулятора (рис. 13.10). Где:

- 1-приёмная антенна;
- 2-облучатель;
- 3-блок наведения на спутник;
- 4-поляризатор;
- 5-блок управления поляризатором;
- 6-полосовой фильтр СВЧ;
- 7-волноводно-полосковый переход;
- 8-малошумящий усилитель сигналов СВЧ;
- 9-первый смеситель;
- 10-первый гетеродин;
- 11,12-усилители сигналов первой промежуточной частоты

(ПЧ);

13-усилитель сигналов первой ПЧ по мощности;

14-коаксиальный кабель, соединяющий внешний блок с внутренним.

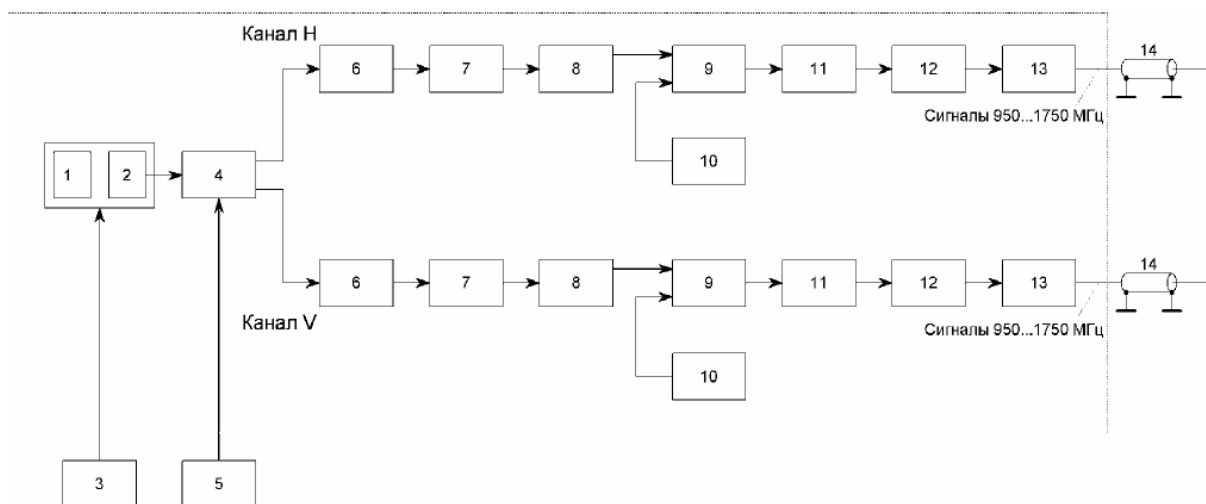


Рис. 13.10. Структурная схема конвертора для одновременного приёма сигналов горизонтальной и вертикальной поляризации.

Антенна. Приёмные антенны СВЧ-диапазона для спутникового телевизионного вещания применяются в основном двух видов: фазированные антенные решетки (ФАР) и параболические антенны. Наиболее широкое применение нашли параболические антенны. Внутренняя поверхность параболоида вращения металлическая или металлизированная, предназначенная для приема и отражения (переизлучения) падающих на неё электромагнитных волн и направления их в точку фокуса, где размещается облучатель.

Облучатель служит для приёма отражённых от зеркала электромагнитных волн, преобразования их в электрические сигналы и направления их в волновод. При спутниковом телевизионном вещании приём электромагнитных волн, имеет как линейную, так и круговую поляризацию. Поэтому к облучателю присоединяется волновод круглого сечения, в котором могут распространяться электромагнитные волны любой поляризации.

Поляризацией называется физическая характеристика излучения, описывающая направленность векторов-моментов электрического поля, распространяющейся электромагнитной волны.

Поляризатор служит для выбора электромагнитных волн только одной (вертикальной или горизонтальной) поляризации и направления их в волновод. Важнейшей характеристикой переключателя является величина поляризационного затухания, т.е. показатель того, в какой мере проникают электромагнитные волны нежелательной поляризации на выход. Типовое значение затухания составляет 30...50 дБ. В системе индивидуального приёма выбор электромагнитных волн одной или другой поляризации осуществляется:

- механическим способом - поворотом на 90° магнитной петли или электрического зонда;
- электромагнитным способом - подачей определённого напряжения на обмотку феррита, вдоль которого распространяется электромагнитная волна. Этим управляет электронная схема, которая находится в ресивере, и выбор электромагнитной волны соответствующей поляризации происходит одновременно с выбором частотного канала (телевизионной программы).

Антенно-фидерная система, кроме указанных элементов, может содержать систему дистанционного наведения на ИСЗ, называемую **позиционером**.

Полосовой фильтр СВЧ. Его назначение – защита входа МШУ конвертора от внешних помех и защита облучателя от проникновения сигналов комбинационных частот первого гетеродина в эфир, что может стать причиной появления помех для других РПрУ.

Волноводно-полосковый переход служит для подачи на вход первого каскада малошумящего усилителя наведенной в нём ЭДС. Для этого в широкую плоскость волновода прямоугольного сечения на определённом расстоянии от края вставляется

электрический штырь, в котором наводится ЭДС сигнала, который затем подаётся на вход малошумящего усилителя.

Малошумящий предварительный усилитель. Основное требование к этому усилителю – обеспечить максимальное усиление сигнала по мощности, что обеспечивает уменьшение коэффициента шума. МШУ обычно выполняется двух- или трёхкаскадным. Коэффициент шума типового МШУ не превышает 1,2 дБ, но есть и такие, у которых он составляет не более 0,6 дБ. Однако конверторы с очень низким коэффициентом шума относительно дороги.

Первый преобразователь частоты. Имеет в своём составе смеситель, первый гетеродин и предварительный усилитель сигналов промежуточных частот (ПУПЧ). Функциональная схема первого преобразователя частоты (ПрЧ) показана на рис. 13.11.

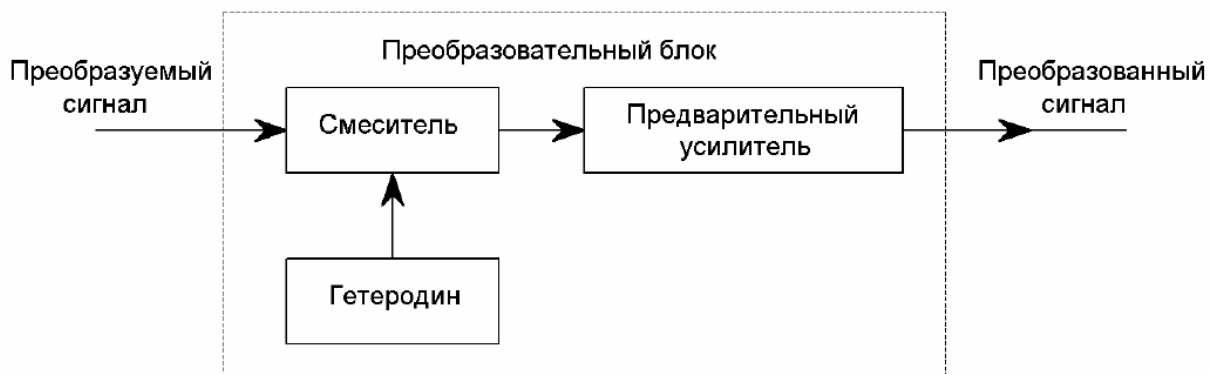


Рис. 13.11. Функциональная схема первого преобразователя частоты.

Принимаемые со спутников электромагнитные волны СВЧ - диапазона наводят в зонде, находящемся в прямоугольном волноводе, электрические сигналы этих же частот, которые затем усиливаются и в первом смесителе преобразовываются в сигналы диапазона частот 950...1750 (2150) МГц. Ширина полосы частот после первого преобразования, как видно, составляет 800 (1200) МГц и поэтому все 40 выделенных частотных телевизионных каналов в нём помещаются. Выбор телевизионного канала осуществляется из этого диапазона частот. Расстояние по частоте

между несущими частотами соседних каналов составляет 19,18 МГц.

Первый гетеродин генерирует сигнал одной фиксированной частоты. Основное требование к нему – обеспечение высокой стабильности частоты генерируемого сигнала. Однако его нестабильность не лучше $\pm 1,0$ МГц. Для приёма цифровых многопрограммных передач нестабильность частоты гетеродина внешнего устройства должна быть не хуже $\pm 0,35$ МГц. На практике приём цифровых передач ведётся с обычными конверторами, у которых нестабильность частоты гетеродина достигает $\pm 1,0$ МГц. Учитывая, что первый гетеродин находится на открытом воздухе (размещён на антенне) и подвержен влиянию больших колебаний температуры, применяются конструктивные меры для уменьшения нестабильности: термостабилизация, герметизация, применение диэлектрических резонаторов и т.п.

Приём сигналов СВЧ диапазона 10,7... 11,7 ГГц или 11,7... 12,75 ГГц осуществляется переключением гетеродинов.

Усилитель сигналов промежуточных частот обеспечивает усиление по напряжению (а последний его каскад – и по мощности) преобразованного сигнала. Для качественного телевизионного изображения необходимое усиление порядка (50 ÷ 60) дБ в такой широкой полосе частот с одним каскадом получить трудно, поэтому предварительный УПЧ (ПУПЧ) выполняется обычно трёхкаскадным. Это последний функциональный узел конвертора. К нему высокочастотным коаксиальным кабелем подключается внутренний блок – спутниковый телевизионный приёмник (ресивер).

При наличии двух конверторов наружный блок с ресивером соединяется двумя коаксиальными кабелями. Удельное затухание сигнала в кабеле не должно превышать 0,3 дБ/м. Однако затухание сигнала в нём неравномерно по всему диапазону: наибольшее затухание сигнала происходит в верхней части частотного диапазона 950...2150 МГц. Поэтому при большой длине кабеля для компенсации затухания могут применяться специальные усилители-корректоры, у которых усиление растёт с

увеличением частоты. Таким образом, производится выравнивание передаточной характеристики конвертора.

Блок управления наведением антенны на спутник (позиционер) даёт возможность ориентировать антенну на различные спутники. Исполнительным узлом поворота зеркала является **актуатор**. Датчиком положения (позиции) антенны служит электронная оптопара или герконовое реле. Импульсы с него подаются на сравнивающее устройство, на которое также подаются импульсы управления от запоминающего устройства, расположенного в ресивере. В случае несовпадения количества импульсов появляется сигнал рассогласования и подаётся команда на поворот антенны. В запоминающее устройство могут быть предварительно занесены позиции спутников, ретранслирующие телевизионные и радиовещательные программы. Иногда для ориентирования антенны используется **супермоут**. В отличие от актуатора, он не имеет ограничений при повороте антенны вокруг своей оси. Он рассчитан на небольшие ветровые нагрузки и используется в конструкциях с небольшими антеннами (до 130 см в диаметре).

Питание конвертора. Постоянное напряжение +12 В подаётся по центральному проводу коаксиального кабеля из ресивера. В конверторе это напряжение преобразуется в двуполярное. Основное требование к питающему напряжению – его высокая стабильность.

Ресивер спутникового радиоприёмного устройства.

Структурная схема ресивера показана на рис.13.12, где:

- 1 – устройство переключения (выбора) сигналов поляризации;
- 2 – полосовой фильтр перестраиваемый (или неперестраиваемый);
- 3 – предварительный усилитель первой промежуточной частоты 950... 1750 (2150) МГц;
- 4 – второй гетеродин;
- 5 – второй смеситель;
- 6 – полосовой фильтр сигналов второй ПЧ;
- 7 – усилитель сигналов второй ПЧ;

- 8 – полосовой фильтр, переключаемый на полосу 27 или 36 МГц, или регулируемый;
- 9 – амплитудный ограничитель;
- 10 – широкополосный частотный демодулятор;
- 11 – каскад АПЧГ;
- 12 – каскад АРУ;
- 13 – узел управления выбором поляризации;
- 14 – блок выбора частотного канала (программы);
- 15 – блок управления полосой фильтра;
- 16 – индикатор грубой настройки на выбранный канал;
- 17 – блок включения АПЧГ;
- 18 – индикатор точной настройки на выбранный канал.

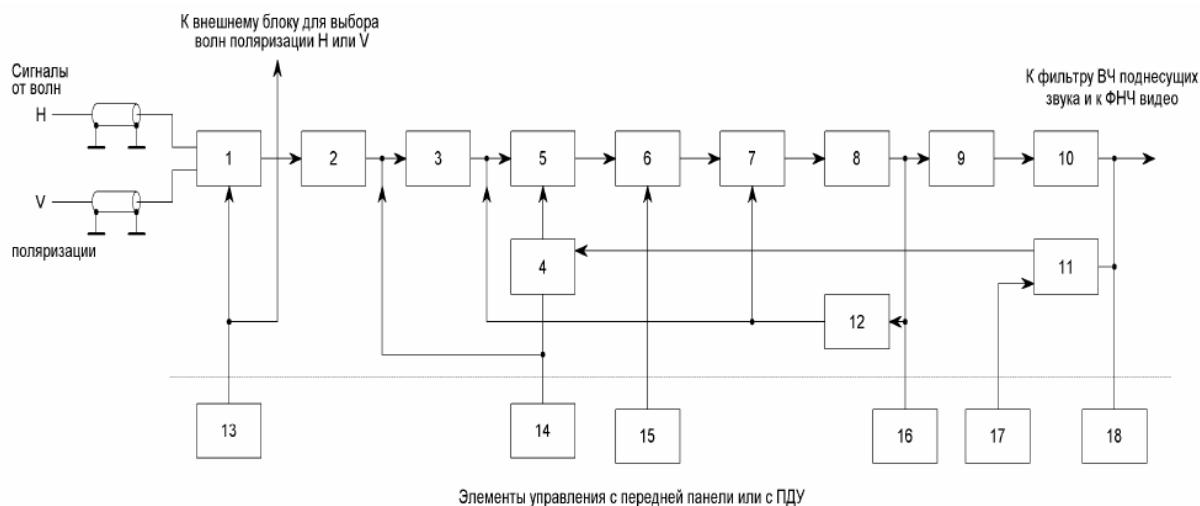


Рис. 13.12. Структурная схема спутникового телевизионного ресивера.

После усиления в предварительном УПЧ на первой промежуточной частоте сигнал из конвертора поступает на вход внутреннего блока, называемого «ресивером». В ресивере сигнал усиливается на первой промежуточной частоте (в УПЧ-1), после чего производится второе преобразование частоты.

Значение второй ПЧ выбирается, исходя из требований защиты от помех по зеркальному каналу второго гетеродина. Выбор частотного канала (телевизионной программы) осуществляется с блока управления перестройкой частоты второго гетеродина и одновременной перестройкой включённого

на его входе полосового фильтра, который отфильтровывает сигналы других частотных каналов, также поступающих на вход, но являющиеся уже помехой. Перестраиваемый полосовой фильтр на входе ресивера определяет избирательность по соседнему каналу.

В качестве второй промежуточной частоты выбирается либо $f_{\text{ПР2}} = 479,5$ МГц (Европейский стандарт), либо $f_{\text{ПР2}} = 612$ МГц (стандарт США). После второго преобразования производится основное усиление сигнала на второй промежуточной частоте (в УПЧ-2). С выхода УПЧ-2 усиленный на второй промежуточной частоте сигнал подаётся на демодулятор (ДЕМ). В качестве демодулятора обычно используют частотные детекторы с обратной связью по частоте. Такие демодуляторы позволяют продетектировать малые по уровню ЧМ-сигналы.

В современных системах спутникового ТВ-вещания предусмотрена частотная модуляция комплексным ТВ-сигналом. Комплексный модулирующий ТВ-сигнал состоит из видеосигнала с сигналом дисперсии и частотномодулированной поднесущей звукового сопровождения. Необходимость введения в комплексный модулирующий сигнал сигнала дисперсии объясняется следующим.

Для осуществления электромагнитной совместимости спутниковых систем связи с наземными радиосистемами важна не только полная мощность сигнала, принимаемого от ИСЗ, но и распределение спектральной мощности этого сигнала по частоте. При передаче ТВ-сигналов методом частотной модуляции имеются явно выраженные максимумы в спектре сигнала. Они обусловлены наличием в ТВ-сигнале длительное время не изменяющихся сигналов. Это уровни синхроимпульсов, гасящих импульсов, а также сигналов изображения с постоянной яркостью. С целью ослабления таких участков спектра применяют искусственное рассеяние мощности сигнала по спектру, называемое *дисперсией* сигнала. Для этого несущая дополнительно модулируется по частоте сигналами треугольной формы с частотой 25 Гц.

На приёмной стороне возникает обратная задача – убрать сигнал дисперсии, так как при его наличии возможно нарушение синхронизации кадровой развертки. Кроме того, сигнал дисперсии проявляется на изображении в виде штрихов, для подавления которых применяются схемы фиксации уровня чёрного.

После демодулятора видеосигнал поступает на компенсатор дисперсии (КОМП. ДИСП.). Сигнал дисперсии исключается из видеосигнала с помощью схем фиксации уровня.

На выходе демодулятора получается сигнал изображения в стандарте PAL или SECAM совместно с сигналами звукового сопровождения на несущей звука. Из сигналов цветности выделяются видеосигналы основных цветов E_R , E_G , E_B или ЦРС E_{R-Y} , E_{G-Y} , E_{B-Y} в декодирующем устройстве (ДК). Эти сигналы через универсальный разъём «SCART» подаются на вход ТВ-приёмника. Для телевизоров ранних поколений, не имевших такого разъёма, ресивер снабжают *«ремодулятором»* – устройством, которое формирует стандартный ТВ-сигнал в метровом или дециметровом диапазоне.

Второй преобразователь частоты.

Второй преобразователь частоты имеет в своём составе второй смеситель, второй гетеродин и усилитель сигналов второй промежуточной частоты.

Функциональное и конструктивное построение преобразователя зависит от функций, выполняемых ресивером. Он должен:

- выбирать частотные каналы из полосы частот $\Delta f = 800$ МГц;
- иметь высокую избирательность по соседнему спутниковому частотному каналу;
- обеспечить усиление сигналов второй промежуточной частоты не менее 80 дБ.

Структура ресивера во многом определяется величиной промежуточной частоты (ПЧ). В общем случае сигналы из диапазона 950... 1750 МГц второй преобразователь конвертирует

в сигналы второй ПЧ, величина которой может быть любой: 70; 134,2; 479,5; 612 МГц или регулируемой. В более поздних моделях из-за применения демодуляторов с фазовой автоподстройкой частоты (ФАПЧ) значение второй ПЧ в странах Европы выбрано 479,5 МГц, что равно 25-кратному значению несущей ($25 \cdot 19,18$ МГц) спутникового частотного канала. В странах американского континента значение второй ПЧ выбрано 612 МГц.

Усилитель сигналов второй ПЧ представляет собой широкополосный резистивный усилитель с автоматической регулировкой усиления (АРУ). Чаще всего его выполняют двух-трёхкаскадным, с глубокой отрицательной обратной связью, обеспечивающей равномерное усиление во всей полосе частот.

Гетеродин второго преобразователя охвачен цепью автоматической подстройки частоты (АПЧ). Применение АПЧ здесь необходимо, так как для эффективной работы демодулятора стабильность частоты первого гетеродина, расположенного во внешнем блоке, как уже говорилось, недостаточна ($\pm 1,0$ МГц). АПЧ используется для обеспечения более высокой стабильности второй промежуточной частоты, на которую настраивается "нулевая" частота дискриминатора. Сигнал рассогласования с частотного демодулятора подаётся на варикап, включённый в высокочастотный контур гетеродина, и изменяет ёмкость контура в сторону уменьшения ошибки при отклонении частоты.

Автоматическая регулировка усиления (АРУ) выравнивает уровень сигнала внутри диапазона частот 950... 1750 (2150) МГц при приёме сигналов с различными уровнями от различных спутников. Для этого сигнал с выхода частотного демодулятора дополнительно детектируется, усиливается и с некоторой постоянной времени (задержкой) подаётся на входы усилительных каскадов второй ПЧ. Выравнивание уровня сигнала регулируется изменением коэффициентов усиления этих каскадов.

Полосовой фильтр перед демодулятором предназначен для подавления сигналов комбинационных частот, возникающих при ограничении сигнала, и определяет ширину частотной полосы

канала приёма. При приёме со спутников частотная полоса фильтра выбирается переключателем: 27 МГц, 36 МГц или может быть регулируемой плавно или ступенчато.

Широкополосный частотный демодулятор.

Он предназначен для преобразования принимаемого широкополосного частотно-модулированного сигнала, несущего информацию, в амплитудный сигнал с более узкой частотной полосой, без изменения его первоначального спектра.

Частотные демодуляторы характеризуются демодуляционным порогом, т.е. порогом помехоустойчивости, который является важным параметром ресивера. От демодуляционного порога зависит чувствительность ресивера, т.е. то минимальное значение отношения сигнал/шум на входе демодулятора, при котором принимается изображение удовлетворительного качества.

Частотные демодуляторы определяют также ширину частотной полосы и амплитуду выходного сигнала. Для демодуляции принятого со спутника и многократно преобразованного частотно-модулированного сигнала можно применять различные типы демодуляторов. Демодулятор должен иметь:

- высокую линейность амплитудно-частотной характеристики, при которой сохраняется спектр демодулированного полезного сигнала и исключается появление искажений;
- необходимую ширину полосы частот;
- низкий демодуляционный порог, от которого зависит величина отношения сигнал/шум на выходе (при заданной частотной полосе на входе), что определяет качество принимаемого видеоизображения и звука в аналоговой системе.

Частотный демодулятор (рис. 13.13) состоит из:

- амплитудного ограничителя и полосового фильтра с полосой пропускания 27 или 36 МГц (или регулируемой).

Он включается на входе дискриминатора для подавления сигналов комбинационных частот, образующихся при ограничении амплитуды частотно-модулированной несущей до требуемого уровня;

- дискриминатора с амплитудно-частотной характеристикой высокой линейности;
- ФНЧ для подавления высокочастотных составляющих, лежащих выше выбранной его частоты среза.

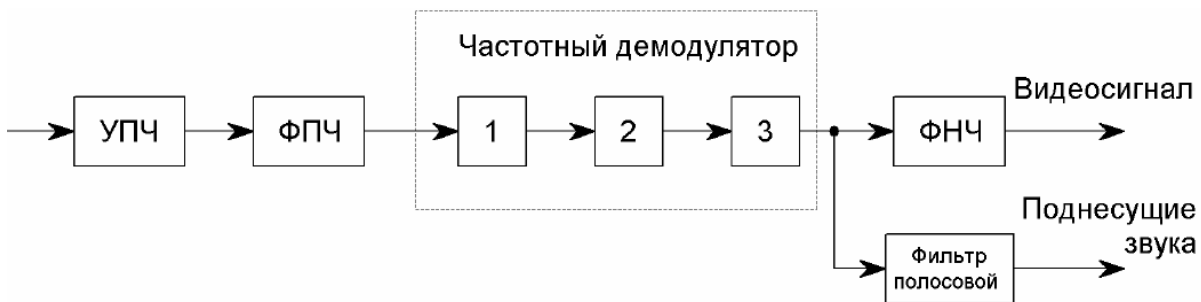


Рис. 13.13. Структурная схема частотного демодулятора: 1 - амплитудный ограничитель; 2 - полосовой фильтр; 3 – частотный дискриминатор; ФНЧ - фильтр низких частот видеосигнала; УПЧ – усилитель второй промежуточной частоты; ФПЧ – фильтр промежуточной частоты.

В типовых демодуляторах средняя частота полосового фильтра ПЧ и "нулевая" частота дискриминатора всегда совпадают. Они настраиваются точно на немодулированную несущую, частота которой при приёме в аналоговой системе в ранних моделях может быть равной 70 МГц или 134,26 МГц, а в более поздних – 479,5 или 612 МГц.

При появлении на входе дискриминатора немодулированной несущей напряжение на его выходе равно нулю. Если на вход дискриминатора подаётся частотно-модулированная несущая, то при отклонении её частоты в любую сторону от "нулевой" на его выходе появляется напряжение, пропорциональное отклонению (девиации) частоты, соответствующей полярности и амплитуды.

Максимально возможная амплитуда на выходе зависит от ширины и крутизны выходной амплитудно-частотной характеристики дискриминатора. Ширина полосы частот дискриминатора определяется расстоянием на частотной оси между горбами характеристики. Для работы выбирается только её линейный участок. В общем случае полоса частот дискриминатора должна быть равна или немного превышать удвоенную девиацию частоты несущей.

Выходное напряжение дискриминатора не должно зависеть от амплитуды ЧМ-несущей, подаваемой на его вход, так как это увеличивает нелинейные искажения выходного сигнала и снижает помехоустойчивость демодулятора. Однако в частотных дискриминаторах такая зависимость реально существует и проявляется весьма заметно, чего нельзя допускать. Поэтому типовые демодуляторы имеют высокоэффективный амплитудный ограничитель для ограничения амплитуды модулированной несущей, если она превышает установленный уровень. Это обеспечивает подачу на вход дискриминатора несущей только определённого уровня.

14. КАБЕЛЬНОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ

Системой кабельного телевидения (СКТ) называется система, включающая в себя технические средства и кабельные линии связи, обеспечивающая услуги связи телевидения, радиовещания и другие сообщения электросвязи. На рисунке 14.1. представлена обобщенная структурная схема системы кабельного телевидения.

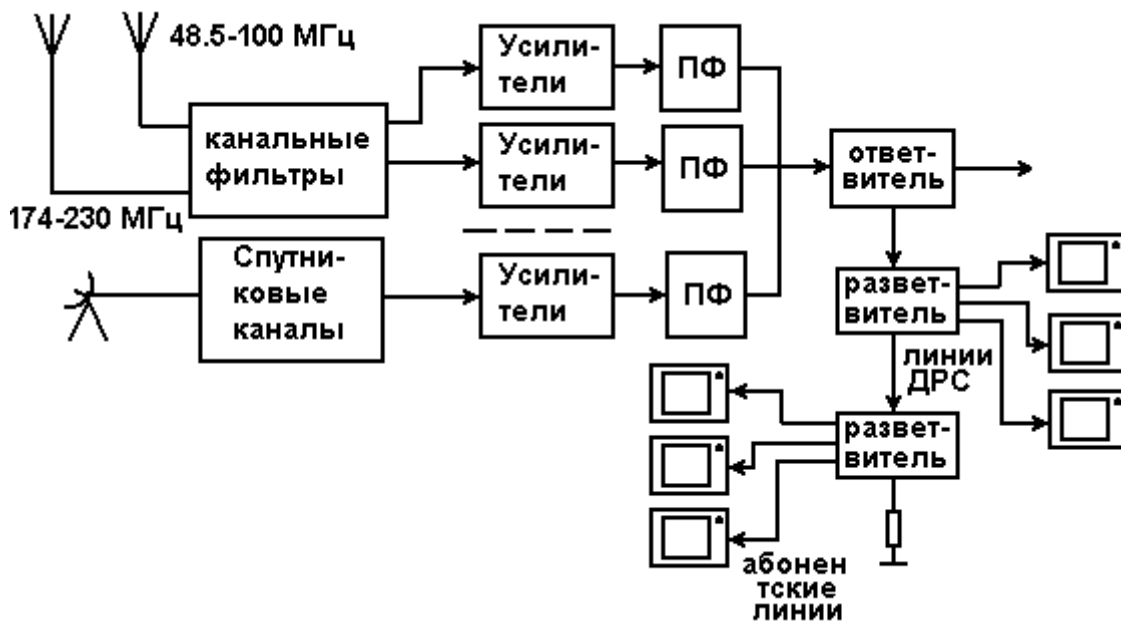


Рис.14.1. Обобщенная структурная схема СКТ.

СКТ по сравнению с эфирным телевидением имеет следующие преимущества:

- сигналы в коаксиальных кабелях не подвержены влиянию от мешающих радиостанций и других мешающих излучений, что позволяет смотреть передачи с высоким качеством;
- более широкий частотный ресурс (48,5- 840 МГц) позволяет передавать до 120 телевизионных программ;
- простота создания обратного канала для создания систем интерактивного телевидения;
- возможность передачи дополнительной информации и Интернета и цифровой телефонии.

Таким образом, помимо чисто технических решений, обеспечивающих широкополосную дуплексную транспортную магистраль, в кабельной сети одновременно работают биллинговая система, система мониторинга сети, служба ремонта, абонентский отдел, персонал центра управления, видеосерверы, серверы информационных ресурсов и пр. Соответственно, более правильно говорить не о сетях, а о системах кабельного телевидения (СКТ).

14.1. Этапы развития систем кабельного телевидения

СКТ включают в себя следующие подразделения:

- технические телевизионные средства (антенные терминалы, видеосерверы, телестудию, головные станции, оптические и радиочастотные передатчики и приемники, усилители, преобразователи, разветвители, кабели, абонентские розетки и т. д.);
- технические средства жизнеобеспечения (электрогенераторы, установки кондиционирования, системы автоматического пожаротушения и пр.);
- программное обеспечение головных станций, серверов и кабельных маршрутизаторов, программы адресного кодирования, программы мониторинга и управления сетью, биллинговые программы;
- персонал (администрацию, абонентский отдел, диспетчеров, системных администраторов, отдел технической поддержки и ремонта и пр.).

В системах кабельного ТВ принята следующая терминология:

Распределительная сеть (кабельная распределительная сеть) это совокупность технических средств и устройств головной станции и линейной сети, обеспечивающих передачу радиосигналов в системе кабельного телевидения. Входом распределительной сети является вход головной станции,

выходом распределительной сети - выход абонентской розетки.

Головная станция - совокупность технических средств и устройств, обеспечивающих усиление, преобразование и формирование радиосигналов телевидения, радиовещания, обработку других радиосигналов, - часть кабельной распределительной сети.

В соответствии с классом системы кабельного телевидения головные станции подразделяют на **центральную, узловую и местную**. Головная станция включена между выходами источников сигналов и входом линейной сети.

Центральная головная станция: станция региональной кабельной распределительной сети, включенная между выходами источников сигналов и входом волоконно-оптической транспортной сети.

Узловая головная станция: станция городской кабельной распределительной сети, включенная между выходом транспортной сети (выходами источников сигналов) и входом волоконно-оптической или коаксиальной магистральной сети.

Местная головная станция: станция местной (районной) кабельной распределительной сети, включенная между фидерами снижения приемных антенн (выходами источников сигналов) и входом магистральной (домовой) сети.

Линейная сеть: Совокупность технических средств и устройств, волоконно-оптических и коаксиальных кабельных линий, обеспечивающих однонаправленную передачу радиосигналов телевидения и радиовещания между выходом головной станции и выходом абонентской розетки и двунаправленную передачу других радиосигналов в кабельной распределительной сети.

Транспортная сеть: Совокупность технических средств, устройств и кабельных линий линейной сети между выходом центральной головной станции и входами узловых головных станций.

Магистральная сеть: Совокупность технических средств, устройств и кабельных линий линейной сети между выходом узловой головной станции (местной головной станции) и

домовыми вводами.

Домовая сеть: Совокупность технических средств, устройств и кабельных линий линейной сети между домовым вводом и выходом абонентской розетки.

Абонентская сеть: Совокупность технических средств, устройств и кабельных линий, обслуживающих одного абонента в пределах занимаемой им площади жилого или общественного здания.

В кабельных сетях для передачи сигналов аналогового телевидения в диапазоне УВЧ выделены каналы с 21 по 69 включительно, которым соответствует частотный интервал 470 ... 862 МГц. Кроме того, во многих системах кабельного телевидения в диапазоне УВЧ используется также частотный интервал 302 ... 470 МГц, в котором при полосе пропускания радиоканала 8 МГц можно разместить $(470 - 302) \text{ МГц} / 8 \text{ МГц} = 21$ специальный ТВ-канал С18,..., С39 с частотной структурой радиовещательного телевидения.

Нумерация ТВ-каналов в диапазонах ОВЧ и УВЧ приведена в таблице 14.1.

Таблица 14.1.

Нумерация ТВ-каналов в диапазонах ОВЧ и УВЧ

Диапазоны	Полоса частот, МГц	Номера ТВ-каналов
ОВЧ		
I диапазон	48 ... 68	1-й и 2-й
II диапазон	76 ... 100	3,4 и 5
1-й специальный поддиапазон	110 ... 174	Специальные каналы: С1, ... С8
III диапазон	174 ... 230	6, ..., 12
2-й специальный поддиапазон	230 ... 302	Специальные каналы: С9, ..., С17

УВЧ		
3-й специальный поддиапазон	302 ... 470	Специальные каналы: С18, ..., С39
IV диапазон	470 ... 582	21, ..., 34
V диапазон	582 ... 790	35, ..., 60
	790 ... 862	61, ..., 69
	862 ... 958	70, ..., 81

Исторически, первыми СКТ были кабельные сети, называемые «антенна на подъезд». Рассмотрим возможные варианты построения СКТ для подъезда 5-этажного дома. Первый вариант задачи распределения сигналов от коллективной антенны можно решить следующим образом: с помощью 5-отводного распределителя («делитель» и «сплиттер») разделить сигнал на пять частей, провести индивидуальные кабели на каждый этаж и затем на каждом этаже использовать 4-отводные распределители. Такой вариант разводки приведен на рис. 14.2, а. Очевидно, что в данном случае 5-отводный распределитель лучше установить не у антенны, а на третьем этаже, так как это позволит экономнее расходовать кабель и провести равномерное деление сигналов с высоким КПД для всех абонентов. Разводка, приведенная на рис. 14.2, а, требует использования делителей сигнала с высокой развязкой между выходами. К ее достоинствам можно отнести возможность установки режекторных фильтров для закрытия некоторых групп каналов в одном месте, защищенном от несанкционированного доступа.

Более распространенной является СКТ с использованием направленных ответвителей (НО). В этом случае с крыши до первого этажа проложен один коаксиальный кабель, на каждом этаже он проходит через блок направленных ответвителей, через которые ответвляются сигналы в квартиры каждого этажа. С точки зрения получения высокого КПД ответвители на разных

этажах должны иметь различные коэффициенты переходного затухания (ответвления). На пятом этаже должны использоваться ответвители с более слабой связью, а по мере уменьшения номера этажа (вплоть до второго) — с более сильной связью.

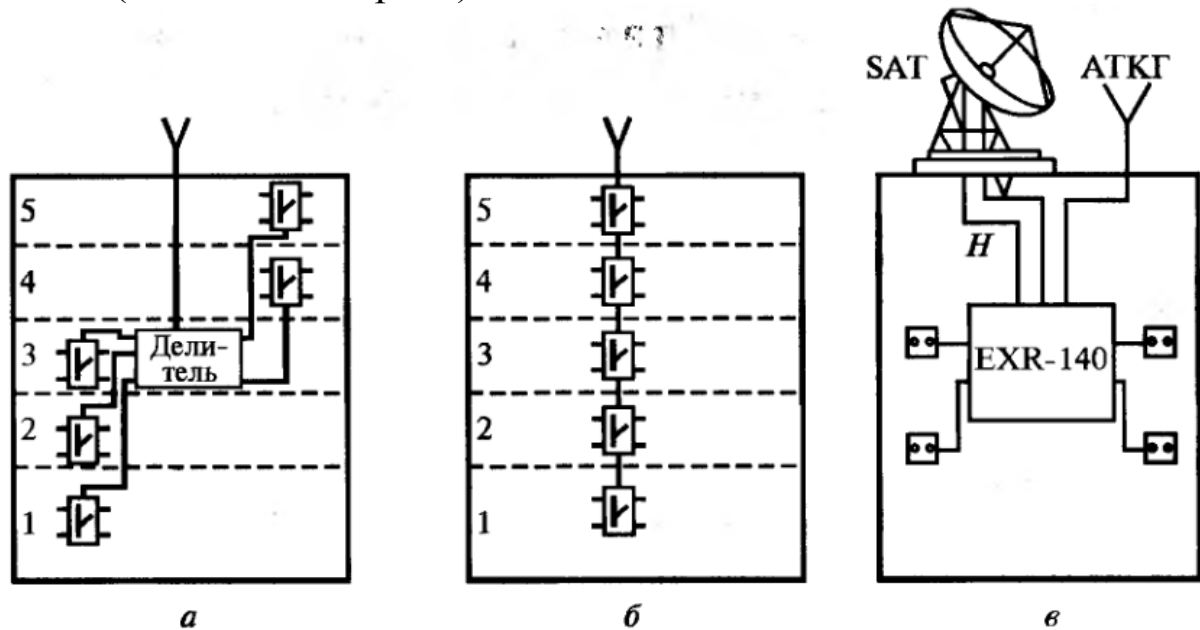


Рис. 14.2. Системы коллективного приема телепрограмм:
а — антенна на подъезд с использованием делителей; *б* — антенна на подъезд с использованием ответвителей; *в* — SMATV-система

Наконец, на первом этаже необходимо применить 4-х отводный распределитель с минимальными потерями на отводах. Такая схема разводки изображена на рис. 14.2,б. Так как при использовании этой схемы требуется коаксиальный кабель примерно вдвое меньшей длины, чем для предыдущей, она получила более широкое применение. На практике обычно применяют ответвители с переходным затуханием порядка 10% (10 дБ по мощности). Использование ответвителей данного типа возможно только в условиях низко- и среднеэтажной застройки (до девяти этажей) и совершенно недопустимо при строительстве телевизионных сетей в домах с большей этажностью.

Следующим этапом развития СКТ явился ее вариант «одна антенна на дом». Например, на жилом 18-этажном доме установлена одна коллективная антенная система, от которой сигнал поступает в 50-150 квартир. По подобным СКТ до

абонентов транслируются как метровые, так и дециметровые каналы. Могут добавляться каналы от собственной видеостудии либо ремодулированные спутниковые каналы. В таких СКТ необходимо использовать широкополосные усилители, распределители и ответвители, коаксиальные кабели с низкими потерями и высоким коэффициентом экранирования.

Высокие требования по экранированию для СКТ с прямым усилением необходимы для того, чтобы внутри кабельной разводки распределялись лишь сигналы, подаваемые от антенного усилителя. Слабое экранирование может привести к следующему. Допустим, что от усилителя (или от головной станции прямого усиления) к абоненту поступает сигнал по кабелю длиной 30...60 м (т. е. сигнал доходит с задержкой), одновременно на фрагмент кабеля вблизи телевизора из эфира на тех же частотах наводятся паразитные сигналы. Вследствие этого из-за разности фаз сигналов изображение на экране телевизора будет повторяться (такой эффект называют «повтором слева»). Даже при тщательном экранировании элементов СКТ, если абонентская разводка выполнена с использованием некачественного кабеля, паразитные наводки испортят ТВ изображение не только этому абоненту, но и соседним. Таким образом, СКТ для домов теоретически можно реализовать путем усиления эфирных сигналов, распределяя их по хорошо экранированной кабельной сети. СКТ прямого усиления используют для коттеджей, офисных зданий, небольших гостиниц и пр. Помимо приема эфирного телевидения можно одновременно осуществлять прием спутниковых телепрограмм от одной-двух параболических антенн (в зарубежной литературе для описания таких систем коллективного приема используется термин *Satellite Master Antenna TV — SMATV*). В SMATV сигналы спутниковых телепрограмм, поступающие от двух конверторов или от сдвоенного конвертора (сигналы горизонтальной и вертикальной поляризации), поступают в кабельную сеть в частотном интервале 0,9...2 ГГц, т. е. в диапазоне первой промежуточной частоты, как это принято в стандартной системе индивидуального спутникового телевизион-

ного приема. В этой же кабельной сети присутствуют сигналы телеканалов эфирного телевидения. Для каждого абонента используется отдельный индивидуальный ресивер, в котором на центральную жилу кабеля подается постоянное напряжение 14 или 18 В. Такое напряжение является управляющим для специального коммутатора (мультисвича), дистанционно подключающего конкретного абонента к сигналам нужного конвертора. При распределении по SMATV сигналов от четырех конверторов (двух сдвоенных конверторов или одного счетверенного) в качестве дополнительного информационного сигнала от ресиверов абонентов по центральной жиле коаксиала должен подаваться дополнительный сигнал 22 кГц. Этот сигнал дает информацию мультисвичу о номере выхода конвертора. Опубликованы данные о сетях SMATV с 64 абонентами. Вариант разводки такой сеги для 4-квартирного коттеджа приведен на рис. 14.2, в.

Дальнейшим логическим развитием СКТ явились сети, охватывающие районы и целые города. При построении крупных СКТ целесообразно передавать по оптоволокну телепрограммы от центральной головной станции (ЦГС) к узловым головным станциям (УГС). Каждая УГС обслуживает одну или несколько групп (кластер, кабельный куст) из 500-1000 абонентов (число абонентов в кластере не является заранее заданным и определяется на стадии проектирования). СКТ, использующие и оптоволоконные, и коаксиальные тракты, принято называть **гибридными** - оптокоаксиальными (в зарубежной литературе их называют HFC — Hybrid Fiber Coaxial). Далее будем пользоваться термином гибридные СКТ. В настоящее время это самая распространённая кабельная сеть, применяющаяся для передачи и распределения телевизионных сигналов от приёмного узла до абонентов, включая одиночных потребителей и группы различного масштаба. Данная сеть широко распространена в Европе, США и других развитых странах. На рисунке 14.3. представлена структура современной гибридной сети.

В данной сети одна центральная головная станция соединяется волоконно-оптическими линиями связи с

несколькими местными головными станциями, которые через собственные оптические узлы обслуживают локальные оптокоаксиальные сети, охватывающие от десятков до нескольких тысяч абонентов каждая.

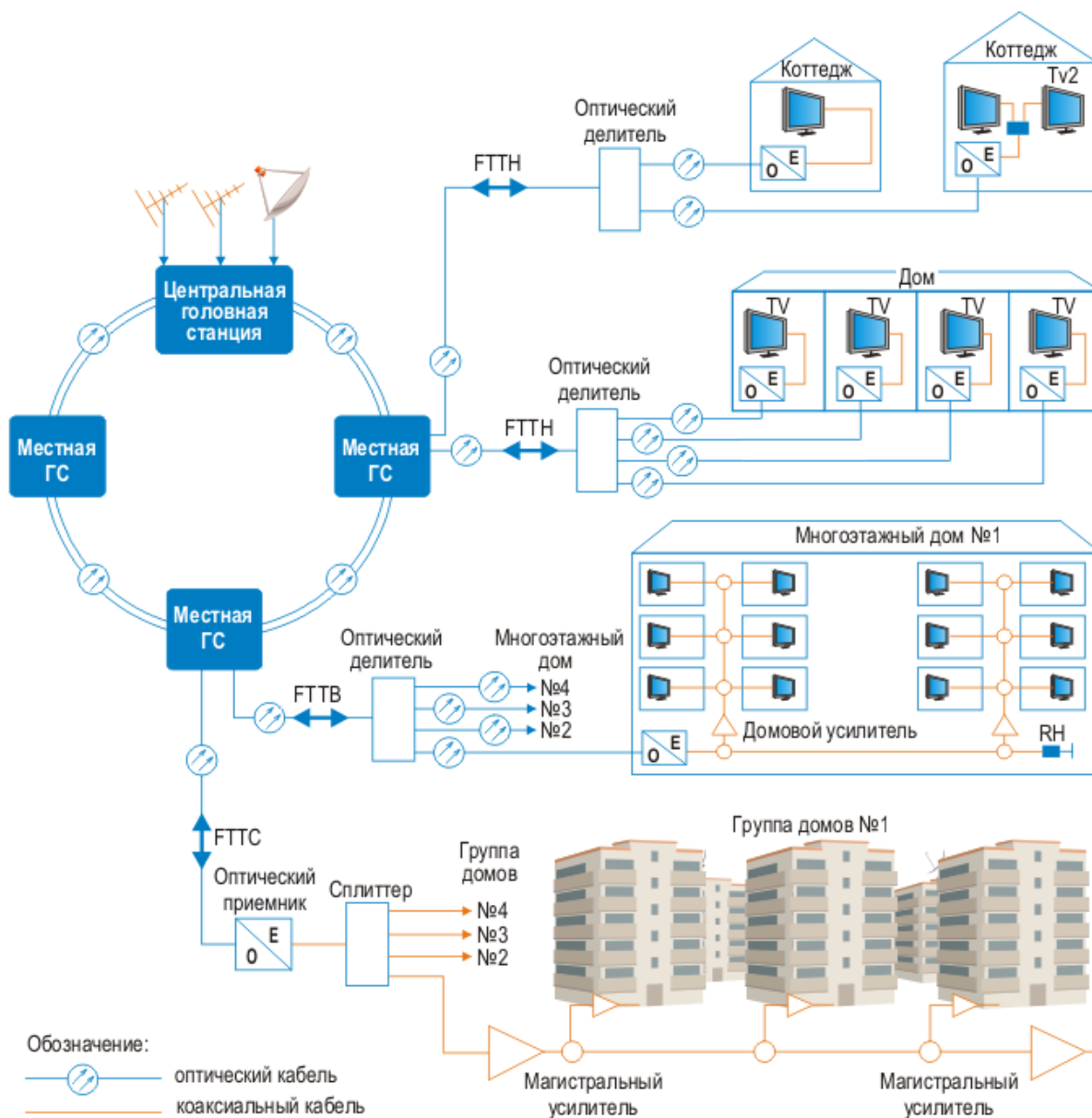


Рис. 14.3. Структура современной гибридной сети (HFC)

Принцип построения подобных магистралей основывается на том, что самые широкополосные и протяжённые магистрали строятся на волоконно-оптических кабелях, а сети, приближенные к домам, как и в самих домах — на коаксиальных. Гибридные оптокоаксиальные сети позволяют довести до

абонентов телевизионные программы метровых (МВ) и дециметровых (ДМВ) диапазонов (в полосе 47...862 МГц), радиовещательные программы (в полосе 76...108 МГц), а при необходимости предоставят расширенный сервис — платное аналоговое и цифровое телевидение. Сеть может быть уплотнена сигналами передачи данных высокоскоростного Интернета и телефонией. Суммарные цифровые потоки могут достигать скоростей 2,5...10 Гбит/с, что гарантирует передачу сотен цифровых телевизионных и радиовещательных программ. Важной особенностью гибридных сетей является возможность их превращения в интерактивные гибридные сети, позволяющие реализовывать комплекс интерактивных услуг. Такая трансформация возможна благодаря организации обратных каналов, для которых должна отводиться полоса 5...30 МГц.

Как видно из рис.14.3, самая широкополосная транспортная магистраль сети НФС соединяет местные головные станции с центральной головной станцией по кольцу, построенному на волоконно-оптических кабелях. Центральная головная станция обычно включает в свой состав пост из приёмных эфирных антенн и пост антенн спутникового приёма, сигналы которых вводятся с помощью головной станции в общую магистраль. Здесь же может располагаться оборудование операторов, предоставляющих различные платные услуги. Центральная головная станция может иметь транспортное оптоволоконное кольцо более высокого уровня, соединяющее головные станции подобного ранга.

Местные головные станции распределяют информационные потоки транспортной магистрали среди групп абонентов, объединённых в различные древовидные структуры. В подобных структурах применяется встречная передача независимых сигналов по одному оптическому кабелю. При этом с помощью оптических делителей и ответвителей из общего потока выводится часть мощности и/или вводится другой оптический сигнал. Для построения такой сети на разных участках применяются волоконно-оптический и , коаксиальный кабели, а также витая пара.

Существенный качественный скачок в развитии СКТ произошел после создания технологии передачи через сети информации от абонентов в сторону головной станции, т. е. когда СКТ стали интерактивными.

Рассмотрим укрупненную схему гибридной СКТ в масштабе района, т. е. построенную как на коаксиальных кабелях, так и с использованием волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Она представлена на рис 14.4.



Рис 14.4. Общая структура гибридной СКТ.

В данном случае сеть выполнена на волоконно-оптическом и коаксиальном кабелях. В магистральной и субмагистральных коаксиальных частях СКТ используют кабель большого диаметра, имеющий малые потери (не хуже 0,07 дБ/100 м). Общая протяженность такого кабеля может составлять 2...3 км. Поскольку при изменении окружающей температуры затухание сигналов в коаксиальном кабеле может сильно измениться, что СКТ окажется неработоспособной, часто магистральные усилители снабжают системами автоматической регулировки усиления (АРУ) и автоматической регулировки наклона усиления (АРНУ). Для работы АРУ и АРНУ с головной станции на двух

разнесенных частотах передают эталонные узкополосные пилот-сигналы, которые используются для регулировки работы усилителей.

При построении гибридной сети соединения между ЦГС и УГС выполняется с помощью оптического кабеля. Эти участки называют **транспортной сетью**. От УГС строят либо **гибридные, либо коаксиальные** распределительные сети. По оптическим субмагистралям сигнал подается от УГС до оптических узлов (ОУ). Далее от ОУ строится коаксиальная распределительная сеть. Коаксиальную разводку от ввода в дом до абонентов можно производить с использованием обычных коаксиальных кабелей, соответствующих усилителей, распределителей, ответвителей и пр. Эту часть СКТ называют **домовой распределительной сетью (ДРС)**.

Коаксиальные кусты (кластеры) представляют собой небольшие телевизионные распределительные сети на ряд зданий. Количество абонентов в кластере зависит от необходимости предоставления интерактивных услуг какой-то части абонентов (обычно не более 25 % абонентов подписываются на интерактивные услуги) и обеспечения информационного потока как в прямом, так и в обратном направлениях.

*При этом **Информационным потоком в прямом направлении** называют поток информации, поступающий от ГС к абонентам, а **информационным потоком в обратном направлении** — поток информации от абонентов к ГС. Диапазон частот, который применяют для передачи информационного потока в прямом направлении, называют **прямым каналом**, а диапазон частот для передачи информационного потока от абонента — **обратным**.*

ВУ цифровых системах кабельного ТВ стандартные MPEG-телесигналы преобразуются для передачи в IP-сети (IP — Internet Protocol). Основная система включает формирователь потоков головной станции и энкодеры, преобразующие MPEG-4 в цифровой поток для IP-передачи. На ГС установлено программное обеспечение (ПО) для обслуживания абонентов.

Система обслуживания абонентов контролирует каждую абонентскую приставку (STB), обеспечивает подписку на каналы, открывает/закрывает каналы для каждого абонента, поддерживает электронные платежи, отправку сообщений. Изначально в STB не загружено никакого ПО. Когда новый абонент включает STB и получает сигнал, с головной станции загружается последняя версия ПО. Это очень удобно для обновления ПО. Кроме того **Биллинг** система рассылает счета абонентам. Если абонент не платит по счету, доступ к услуге закрывается из центра управления сетью (ЦУС).

Следует отметить, что основным недостатком кабельного телевидения является дороговизна прокладки и обслуживания кабельной инфраструктуры, которая должна подводиться к каждому абоненту целого района или города. Поэтому существуют альтернативные системам кабельного телевидения технологии доступа через эфирные СВЧ-сети. Это сети многопрограммного телевидения следующих типов: MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service – многоканальные многоточечные распределительные системы (частоты 2,2...2,7 ГГц)), LMDS (Local Multipoint Distribution Service – локальная многоточечная распределительная система (27 ГГц)) и MVDS (Multipoint Video Distribution Systems – многоточечная видео распределительная система (39...41 ГГц)). Среди них наиболее развито MMDS-вещание. Только в США им охвачено 20 млн абонентов. Системы MMDS наиболее подходят для городов с населением более 500 тыс. человек. Обычно они транслируют до 25 телепрограмм (или соответствующее число цифровых потоков). Зона охвата для MMDS обычно составляет 25 км, но в принципе хороший прием обеспечивается на расстоянии до 40 км.

В интерактивных эфирных СВЧ-системах телевидения передатчики могут находиться и у абонентов. Так, интерактивные системы MMDS обеспечивают телевидение и высокоскоростной доступ в Интернет. При этом в полосе частот одного телеканала гарантируется скорость передачи данных в прямом канале до 50 Мбит/с и в обратном — до 20 Мбит/с.

Причем, к каждому абонентскому комплексу может подключается большое количество клиентов, что позволяет окупить затраты и обеспечить более полную и комплексную загрузку комплектов. Суть подходов к построению интерактивных систем СВЧ-доступа представлена на рис. 14.5, 14.6, где на рис. 14.5 представлена система с обратным доступом по телефону, а на рис.14.6 система и обратным доступом по эфиру.

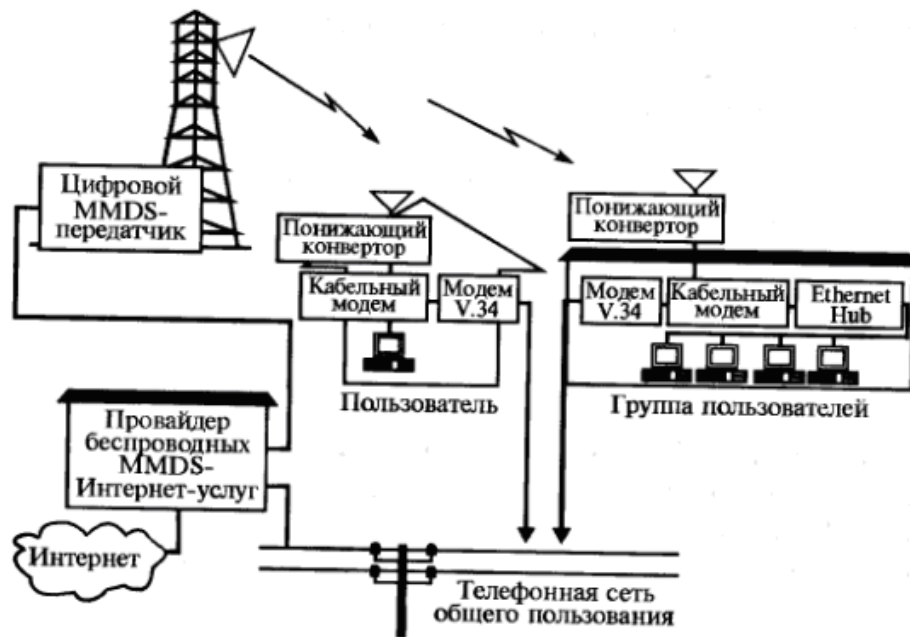


Рис. 14.5. MMDS-система с доступ в Интернет по телефону.



Рис. 14.6. MMDS-система с доступ в Интернет по эфиру.

К достоинствам MMDS-систем можно отнести следующее:

1. Они могут быть развернуты за 2-3 недели, и пользователи, купившие абонентские комплекты, сразу получают доступ к многопрограммному телевидению.
2. Первоначальные капитальные затраты на строительство системы MMDS при 20 базовых станциях в радиусе 20 км вокруг телецентра в 3-4 раза меньше, чем для СКТ такого же размера.
3. Не требуется обслуживать линейную распределительную сеть.

Недостатки систем MMDS:

1. Зависимость качества двухсторонней связи для удаленных абонентов от метеоусловий.
2. Более высокая, чем для СКТ, совокупная стоимость владения.
3. Абонентская плата для пользователей MMDS обычно выше абонентской платы клиентов СКТ.

Примером отработанной и оптимизированной продукции может сложить интерактивная MMDS-система Axity. В ней одна базовая станция может поддерживать двухстороннюю связь с 8000 абонентов. Программное обеспечение этой системы включает механизмы регулирования полос пропускания всех пользователей с целью поддержания **качества сервиса Quality of Service (QoS)**.

В заключение рассмотрим альтернативный способ построения СКТ, называемый **«волокно до дома»** (FTTB — Fiber To The Building). Учитывая то, что стоимость волоконно-оптических кабелей, оптических передатчиков и оптических приемников постоянно снижается, можно прогнозировать, что идея **«волокно до дома»** в ближайшем будущем будет экономически оправдана.

В волоконно-оптическом кабеле, проходящем до оптического узла здания, используют, как минимум, три

активных волокна. Стоимость кабеля с числом волокон менее восьми меньше, чем стоимость магистрального коаксиального кабеля. По паре волокон обеспечивается канал связи сети с иерархией Ethernet 10/100/1000. К абоненту прокладывается витая пара длиной до 100 м на интерфейсы ЮVasc-T или 100Base-TX. При подключении индивидуальных абонентов рекомендуется полностью отказаться от мультиплексоров и на всех оптических узлах установить исключительно коммутаторы, а все каналы связи делать дуплексными. При этом использование коммутаторов позволяет организовать иерархию по скоростям, вести тарификацию абонентов при их подключении по ЮVasc-T и 100Base-TX, а также использовать более скоростные каналы на магистральных участках сети.

По одному волокну можно передавать широковещательный телевизионный сигнал на домовой оптический приемник-усилитель, обеспечивающий линейный прием этого сигнала с волокна, преобразование оптического сигнала в электрический и передачу его в коаксиальный кабель в полосе частот порядка 1 ГГц. При замене обычной СКТ на FTTB домовой усилитель удаляется, а пассивный фрагмент коаксиального кабеля полосой 300 МГц с цифровым трафиком в стандарте MPEG-2 выше 240 МГц сохраняется. Обратного канала в такой сети нет. В отличие от традиционного построения гибридных сетей, где после оптического узла устанавливаются несколько последовательных коаксиальных усилителей, в FTTB-сети интермодуляционные искажения создают только оптические приемо-передающие устройства. Для системы управления используется интерактивный канал сети Ethernet.

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

АЦП - Аналого-цифровой преобразователь.

БИХ-фильтр - Фильтр с бесконечной импульсной характеристикой. То же, что рекурсивный цифровой фильтр.

БПФ - Быстрое преобразование Фурье. Так называются алгоритмы ускоренного выполнения ДПФ.

Буферное ЗУ - Запоминающее устройство для временного хранения данных. В частности, в кодерах и декодерах MPEG используется для согласования этих устройств с каналом передачи кодированных видеоданных с постоянной скоростью.

Вектор движения (Вектор смещения) - Пара чисел, выражающих найденные в результате оценки движения смещения блока изображения по двум пространственным координатам.

Векторное квантование - Замена группы отсчетов сигнала или группы элементов изображения на наиболее близкую по заданному критерию группу отсчетов (элементов), называемую эталонным вектором. Все эталонные векторы предварительно занесены в кодовую книгу.

Видеоконференцсвязь - Система видеосвязи, обеспечивающая обмен в реальном времени видеоинформацией и звуком между несколькими абонентами.

Вейвлет-преобразование - Ортогональное одномерное или двумерное преобразование, в результате которого исходный сигнал разделяется на составляющую с низкой разрешающей способностью и составляющую с высокой разрешающей способностью.

Гамма-коррекция - Нелинейное преобразование телевизионных сигналов, выполняемое с целью коррекции нелинейностей передаточных характеристик различных узлов телевизионной системы, например, кинескопа. Одновременно гамма-коррекция способствует уменьшению влияния квантования на качество изображения.

Деквантование - Операция, обратная квантованию. В результате деквантования увеличивается число уровней квантования,

которыми представляются значения отсчетов цифрового сигнала или другой информации.

Декомпрессия - Операция, обратная компрессии.

Дематрицирование - Операция, обратная матрицированию. Исходные сигналы вычисляются как суммы взятых с определенными коэффициентами сигналов, полученных при матрицировании.

Демодуляция - Операция, обратная модуляции. В результате демодуляции (часто называемой детектированием) восстанавливается модулирующий сигнал.

Депережежение - Операция, обратная пережежению. Восстановление исходного порядка следования элементов информации.

Дискретная частота - Частота дискретного сигнала, измеряемая в долях частоты дискретизации.

ДКП - Дискретное косинусное преобразование.

ДПФ - Дискретное преобразование Фурье.

ИКМ - Импульсно-кодовая модуляция (англ. PCM). Способ передачи информации в цифровой форме. Цифровой код каждого отсчета сигнала передается по каналу связи в виде последовательности импульсов.

Интерполяция - 1. Преобразование дискретного сигнала в непрерывный, путем заполнения по определенному правилу промежутков времени (или в случае изображений - пространства) между отсчетами дискретного сигнала. 2. Увеличение количества отсчетов дискретного сигнала путем введения между отсчетами исходного дискретного сигнала дополнительных отсчетов, значения которых определяются по заданным правилам.

Кадр 1. В телевидении кадрами называются передаваемые и воспроизводимые одно за другим неподвижные изображения. Если частота передачи кадров достаточно велика, зритель воспринимает наблюдаемое изображение как непрерывно движущееся. При передаче кадры раскладываются на строки.

2. во многих случаях кадрами называют структурные единицы потока данных, например, звуковые кадры.

Кадровое кодирование - Один из режимов кодирования видеоинформации с чересстрочной разверткой в стандартах MPEG-1 и MPEG-2. В этом режиме в каждый макроблок входят элементы изображения из обоих полей кадра.

Канальное кодирование - Кодирование, выполняемое непосредственно перед передачей информации по каналу связи, часто совмещаемое с модуляцией. Обычно имеет целью согласование с параметрами канала связи, повышение помехоустойчивости и т.д.

КИХ-фильтр - Фильтр с конечной импульсной характеристикой. То же, что нерекурсивный цифровой фильтр.

Кодирование 1. Представление результата квантования каждого отсчета дискретизированного сигнала двоичным числом по определенному правилу.

2. Преобразование информации с какой-либо целью путем замены групп символов на другие группы символов по определенным правилам. Целями кодирования могут быть сокращение избыточности или сжатие информации, повышение помехоустойчивости, защита информации от доступа нежелательных лиц и т.д.

Кодирование по Хаффману - Вариант кодирования с переменной длиной кодовых слов, обеспечивающий наименьшую избыточность передаваемой информации.

Кодирование с переменной длиной кодовых слов - Один из вариантов энтропийного кодирования. Уменьшение объема передаваемой информации достигается за счет того, что часто встречающиеся символы представляются более короткими кодовыми словами, а редко встречающиеся - длинными.

Компенсация движения - Сложный механизм уменьшения межкадровых различий за счет поиска местоположения блоков пикселей видеообъектов первого кадра в зонах их предполагаемого смещения в следующих кадрах. Если такие блоки найдены, то вместо их пикселей передаются 1-2 байта новых координат (вектор движения) в которых нужно вставить блок пикселей из предыдущего кадра. Такой механизм

обеспечивает основное сжатие видеопотока в видеокодеках стандартов MPEG и им подобным.

Композитное кодирование - Преобразование Полного Цветного Телевизионного Сигнала (ПЦТС) в цифровую форму.

Компонентное кодирование - Раздельное преобразование яркостного и цветоразностных сигналов в цифровую форму.

Масштабируемость (англ. Scalability) - Свойство методов кодирования и синтаксиса потока данных MPEG-2, позволяющее получать изображение с неполным качеством из части потока видеоданных. В MPEG-4 свойство масштабируемости распространено и на звуковое сопровождение.

Матрицирование - Формирование нескольких выходных сигналов в виде сумм нескольких входных сигналов, взятых с заданными коэффициентами.

Медианная фильтрация - Отсчет выходного сигнала определяется как медиана распределения значений нескольких отсчетов входного сигнала. Медианная фильтрация может быть как одномерная, так и двумерная, т.е. пространственная.

МККР - Международный консультативный комитет по радиосвязи. Ныне называется ITU-R.

МККТТ - Международный консультативный комитет по телеграфии и телефонии. Ныне называется ITU-T.

Модуляция - Изменение одного или нескольких параметров электрического сигнала, называемого несущим колебанием или просто несущей, в соответствии со значениями модулирующего сигнала.

Опорное изображение (Reference Picture) - Кадр или поле, по которому выполняется предсказание с компенсацией движения макроблоков кодируемого изображения.

Пиксел (или пиксель) - от англ. Pixel (элемент картинки). Мельчайший элемент дискретного изображения, яркость и цветность в пределах которого постоянны.

ПК - Персональный компьютер.

Поле - Полукадр при чересстрочной развертке, содержащий нечетные строки кадра (первое поле) или четные строки кадра

(второе поле). Поле передается и воспроизводится за один период вертикальной развертки телевизора.

Преобразование Хаара - Один из видов вейвлет-преобразования.

Прогрессивная развертка - Вариант развертки, при котором все строки кадра передаются последовательно одна за другой.

Прореживание - Уменьшение количества отсчетов цифрового сигнала. В результате прореживания оставляют, например, каждый 2-й, или каждый 3-й, каждый 4-й и т.д. отсчет, а остальные отбрасывают.

Пространственная фильтрация - Преобразование изображения, при котором яркость и цвет каждого элемента формируемого изображения определяются как заданная функция от яркостей и цветов элементов исходного изображения.

Пространственная частота (для непрерывных изображений) - Величина, обратная пространственному периоду. Показывает, сколько периодов изменения какого-либо параметра, например, яркости, укладывается на единицу длины. Размерность m^{-1} .

Пространственный (двумерный) фильтр - Устройство, с помощью которого выполняется пространственная фильтрация.

Психоакустическая модель (ПАМ) - Алгоритм, учитывающий свойства слуха, по которому в MPEG-1 и MPEG-2 Audio для каждого частотного поддиапазона оценивается маскирование звуками из других поддиапазонов и рассчитывается распределение битов для квантования.

ПЦТС - Полный Цветной Телевизионный Сигнал. Так называется сигнал аналогового цветного телевидения, содержащий сигнал яркости, цветоразностные сигналы на цветовой поднесущей, синхроимпульсы, гасящие импульсы, сигналы цветовой синхронизации и др. необходимые компоненты.

Рекомендация 601 - Полное название Рекомендация ITU-R BT 601. Старое название Рекомендация 601 МККР или CCIR-601.

Определяет параметры цифрового представления ТВ сигналов телевидения обычной четкости.

Рекомендация ITU-R BT-709-3 - Документ, определяющий параметры цифрового представления сигналов ТВЧ, общие для Европы, США и Японии.

Синхроимпульсы - Импульсы, входящие в состав полного телевизионного сигнала для синхронизации частоты и фазы разверток ТВ-приемника с соответствующими развертками передающей телевизионной камеры. Кадровые синхроимпульсы предназначены для синхронизации вертикальной (кадровой) развертки, а строчные синхроимпульсы - для синхронизации горизонтальной (строчной) развертки в телевизионном приемнике.

Строка - Часть кадра, обычно представляющая собой горизонтальную или слегка наклонную узкую полосу передаваемого изображения. В процессе передачи кадра строки передаются одна за другой.

Сцена - Одно из понятий MPEG-4. Совокупность аудиовизуальных объектов, наблюдаемых и слышимых зрителем.

ТВЧ - Телевидение высокой четкости.

Текстура - Мелкая структура изображения. Заполнение контуров объектов.

ЦАП - Цифроаналоговый преобразователь.

Цветовая поднесущая - Частота, на которую с помощью модуляции переносятся цветоразностные сигналы при формировании ПЦТС в системах аналогового цветного телевидения.

Цветоразностные сигналы - Сигналы в цветном ТВ, несущие информацию о цвете и не влияющие на яркость изображения. Определяются формулами:

$E'_{R-Y} = E'_R - E'_Y$ (красный); $E'_{G-Y} = E'_G - E'_Y$ (зеленый); $E'_{B-Y} = E'_B - E'_Y$ (синий); где E'_R , E'_G , E'_B - сигналы красного, зеленого и синего цветов, соответственно, E'_Y - яркостный сигнал. В системах цветного телевидения, как правило, передаются только сигналы E'_{R-Y} и E'_{B-Y} , или их линейные комбинации, так

как третий цветоразностный сигнал E'_{G-Y} может быть найден из соотношения: $0.30 E'_{B-Y} + 0.59 E'_{G-Y} + 0.11 E'_{R-Y} = 0$.

Частота дискретизации - Величина, обратная периоду следования отсчетов дискретного сигнала. В соответствии с теоремой Котельникова частота дискретизации должна по меньшей мере в 2 раза превышать верхнюю граничную частоту дискретизируемого сигнала.

Чересстрочная развертка - Вариант развертки, при котором сначала передаются все нечетные строки кадра, составляющие первое поле, а потом - все четные строки кадра, составляющие второе поле. Чересстрочная развертка применяется во всех вещательных системах ТВ-вещания, так как позволяет уменьшить в 2 раза полосу частот занимаемую ТВ сигналом.

Шум квантования - Ошибка, возникающая в результате квантования сигнала или вообще всякой информации.

Яркостный сигнал (сигнал яркости) - Сигнал, несущий информацию о яркости всех элементов изображения и соответствующий видеосигналу черно-белого телевидения. В цветном ТВ яркостный сигнал формируется из прошедших гамма-коррекцию сигналов основных цветов E'_R (красный), E'_G (зеленый), E'_B (синий) в соответствии с формулой:

$$E'_Y = 0,30 E'_R + 0,59 E'_G + 0,11 E'_B$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида. Ўзбекистон Республикаси Перзидентининг ПФ-4947-сон фармони. Тошкент, 2017 йил 7 феврал.
2. Мирзиёев Ш.М. Буюк келажагимизине мард ва олижаноб халқимиз билан бирга қурамиз. 2017.
3. Мирзиёев Ш.М. Қонун устуворлиги ва инсон манфаатларини таъминлаш – юрт тараққиёти ва халқ фаровонлигининг гарови. 2017.
4. Мирзиёев Ш.М. Эркин ва фаровон, демократик Ўзбекистон двалатини биргаликда барпо этамиз. 2017.
5. В.Е. Джакониа. Телевидение. М.Горячая линия – Телеком 2007. 618 с.
6. В.П.Симонов. Высокоскоростные электронно-оптические камеры, комплекующие электронно-оптические преобразователи и передающие телевизионные трубки типа видикон и суперкремникон. М., 2011. 28 с.
7. Пескин А. Е., Труфанов В. Ф. Мировое вещательное телевидение. Стандарты и системы: Справочник. – 2004.
8. А.А. Зайцев, Э.И. Исакович, П.П. Мухлынин, Н.Н. Теодорович. Электронные средства информационных систем. Часть 3. «Устройства отображения информации». Елецкий Государственный Университет имени И.А. Бунина. 2008 г. 237 с.
9. Внешние интерфейсы TFT панелей. Часть I. Параллельный интерфейс и TMDS.
<http://www.mirpu.ru/lcd/75-shtmatronics/118-interftftp1.html>
10. Александр Самарин. Архитектура TFT ЖК-панелей для мониторов и ноутбуков. Компоненты и технологии. № 1 2005.
11. Технологии ЖК мониторов
<https://megaobuchalka.ru/5/35378.html>
12. Виталий Шундрин Технологии создания дисплеев: виды матриц и их особенности

<https://mediapure.ru/matchast/tehnologii-sozdaniya-displeev-vidy-matric-i-ix-osobennosti/>

14. Что купить: ЖК-телевизор или OLED-телевизор? Подробное сравнение <http://stereo.ru/to/k4fpf-chto-kupit-zhk-televizor-ili-oled-televizor-podrobnoe-sravnenie-perevod>
15. Бриллиантов Д.П. Конструирование любительских цветных телевизоров. Москва «Радио и связь» 1984 г. 66 с
Устройство и принцип работы плазменной панели
<https://rem-tv.net/publ/3-1-0-39>
16. Преимущества и недостатки плазменных дисплеев
http://studbooks.net/2409999/prochie_distsipliny/preimuschestva_nedostatki_plazmennyh_displeev
17. FED телевизоры
<http://www.hifinews.ru/article/details/7986.htm>
18. Что такое OLED телевизор и как это работает
<https://prosmarttv.ru/tehnologii/chto-takoe-oled-televizor.html>.
19. Видеоформаты и видеостандарт. Телевизионный стандарт NTSC <http://bourabai.ru/mmt/ntsc.htm>
20. А.А. Зайцев, Э.И. Исакович, П.П. Мухлынин, Н.Н. Теодорович. Электронные средства информационных систем. Часть 3. Устройства отображения информации. Елец – 2008. с.237.
21. Гладкова Т., Свиридова И. Теоретическое пособие по телевидению для сотрудников телерадиоцентра. Ташкент, 2011. с.160.
22. Гибридные оптико-коаксиальные сети (HFC)
http://www.arstel.com/details/proektirovanie/tv/statya-po-tv-priyemu_04.php

ТЕЛЕВИДЕНИЕ
УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

- Рассмотрено на заседании кафедры СТРВ
 - 24.04.2018 г. (протокол № 30)
 - и рекомендовано к печати.
 -
- Рассмотрено на Научно-методическом Совете ФТТ
 - 01.05.2018 г. (протокол №9)
 - и рекомендовано к печати.
 -
- Рассмотрено на Научно-методическом Совете ТУИТ
 - 23.05.2018 г. (протокол №10)
 - и рекомендовано к печати.

Составитель: И.А. Гаврилов

Рецензенты: Х. Асатуллаев
Б.Н. Рахимов

Отв. редактор: Р.И.Исаев

Корректор: С.Х.Абдуллаева

Заказ №	Печать
Тираж	Количество