



Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
Севастопольский национальный технический университет

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

по дисциплине

«Основы телевидения и телевизионные системы»

для студентов направления 6.050901 — «Радиотехника»
дневной и заочной форм обучения

Севастополь

2012

УДК 621.397

Учебное пособие по дисциплине «Основы телевидения и телевизионные системы» для студентов направления 6.050901 «Радиотехника» дневной и заочной форм обучения / Ю.П. Михайлюк. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2012. — 152 с.

Целью данной методической разработки является оказание помощи студентам очной и заочной форм обучения в изучении дисциплины «Основы телевидения и телевизионные системы».

Рассмотрено и утверждено на заседании научно-методического семинара кафедры радиотехники и телекоммуникаций (протокол № 12 от 2 июля 2011 г.).

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент:

доцент кафедры РТ, канд. техн. наук, доцент Слѣзкин В.Г.

Ответственный за выпуск:

заведующий кафедрой РТ, д-р техн. наук, проф. Гимпилевич Ю.Б.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1. Основные принципы телевидения	7
1.1 Введение. История ТВ	7
1.2. Реализация принципов телевидения. ТВ развертка	14
1.3. Обобщенная структурная схема ТВ системы.....	15
2. Основы зрительного восприятия	18
2.1. Зрительная система человека.....	18
2.2. Основные светотехнические величины и их параметры	19
2.3. Характеристики оптических изображений и их параметры	21
3. Параметры ТВ изображения	24
3.1. Координатные параметры	24
3.2. Временные параметры	27
3.3. Яркостные параметры ТВ изображения	29
4. Формирование ТВ сигнала	31
4.1. Основные параметры стандарта вещательного ТВ	31
4.2. Состав и форма ТВ сигнала	31
4.3. Спектр ТВ сигнала	35
5. Основы цветного ТВ	37
5.1. Колориметрия	37
5.2. Трехкомпонентное цветное зрение. Система <i>RGB</i>	38
5.3. Методы смешения цветов.....	40
5.4. Способы получения цветного изображения	41
5.5. Цветопередача в ТВ	43
5.6. Основные требования к вещательной системе ЦТВ	45
5.7. Яркостный и цветоразностные сигналы	45
6. Аналоговые системы вещательного цветного телевидения	51
6.1. Система ЦТВ <i>NTSC</i>	51
6.2. Система ЦТВ <i>SECAM</i>	54

6.3. Система ЦТВ <i>PAL</i>	62
7. Оптико-электронные преобразователи	66
7.1. Основные показатели передающих трубок	66
7.2. Типы и законы фотоэффекта	67
7.3. Принцип мгновенного действия	67
7.4. Принцип накопления заряда.	70
7.5. Видикон.....	72
7.6. Плюмбикон.	77
7.7. Твердотельные фотоэлектрические преобразователи на ПЗС	79
8. Электронно-оптические преобразователи	83
8.1. Кинескопы черно-белого ТВ	83
8.2. Цветной дельта кинескоп	87
8.3. Цветной компланарный кинескоп	89
8.4. Жидкокристаллические воспроизводящие устройства	91
8.5. Преобразователи на основе плазменной технологии	97
8.6. Преобразователи на основе органических светодиодов	101
9. Искажения ТВ изображений	106
9.1. Геометрические (координатные) искажения.	106
9.2. Полутоновые (градационные) искажения.	109
9.3. Восстановление постоянной составляющей.	112
10. Процессы и устройства синхронизации	115
10.1. Требования к сигналам синхронизации	115
10.2. Выделение и разделение синхроимпульсов из ТВ сигнала	115
10.3. Синхронизация генераторов	117
11. Развертка ТВ изображения	120
11.1. Строчная развертка	121
11.2. Кадровая развертка	124
12. Организация ТВ вещания	127
12.1. Телевизионные центры	127
12.2. Принцип работы передающей цветной ТВ камеры	129

12.3. Структура усилительного тракта (камерный канал)	132
12.4. Особенности наземного ТВ вещания	134
13. Принципы построения ТВ приемников	139
13.1. Конструкция монохромного ТВ приемника	139
13.2. Конструкция цветного ТВ приемника	141
14. Общие принципы построения систем цифрового ТВ	144
14.1. Основные понятия	144
14.2. Общие характеристики форматов сжатия <i>MPEG</i>	149
14.3. Обобщенная структурная схема тракта цифрового ТВ	150
Библиографический список	152

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Основы телевидения и телевизионные системы» входит в состав дисциплин телевизионного цикла. Дисциплина изучается студентами направления 6.050901 — «Радиотехника» дневной и заочной форм обучения в 8-м и 9-м семестрах соответственно.

Данное учебное пособие содержит разделы основ телевидения, охватывающие историю создания и развития ТВ систем от электромеханических систем до современных систем цифрового телевидения.

Методическая разработка базируется на курсах лекций по дисциплине «Основы телевидения», прочитанных автором в течении последних десяти лет, и посвящена в основном традиционным аналоговым телевизионным системам.

Применительно к системам цифрового телевидения рассмотрены только самые общие принципы построения таких систем: обширность материалов по данной тематике требует подготовки отдельного методического пособия.

Методически пособие построено и написано таким образом, чтобы студент мог самостоятельно изучить разделы курса, которые на лекциях из-за ограниченного времени либо не освещаются, либо освещаются недостаточно.

1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ТЕЛЕВИДЕНИЯ

1.1. Введение. История ТВ

Термин «телевидение» (видение на расстоянии или дальновидение) возник в 1890 г.

Его впервые употребил русский военный инженер-электрик Перский в докладе «Электрическое ТВ» на Международном конгрессе в Париже.

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.

В основе ТВ лежат 3 физических процесса:

- преобразование световой энергии в электрические сигналы;
- передача и прием электрических сигналов по каналу связи;
- преобразование электрических сигналов в оптическое изображение.

Первые ТВ системы имели электромеханический принцип передачи и приема изображений и назывались дисковизорами. Изображение, которое нам демонстрирует 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 умеет показывать мультики, кино и рекламу

В таких системах развертка изображения осуществлялась с помощью особого диска, изобретенного в 1884 г. немецким студентом Паулем Нипковым, и названного «диском Нипкова». Он представляет собой непрозрачный диск

большого диаметра.

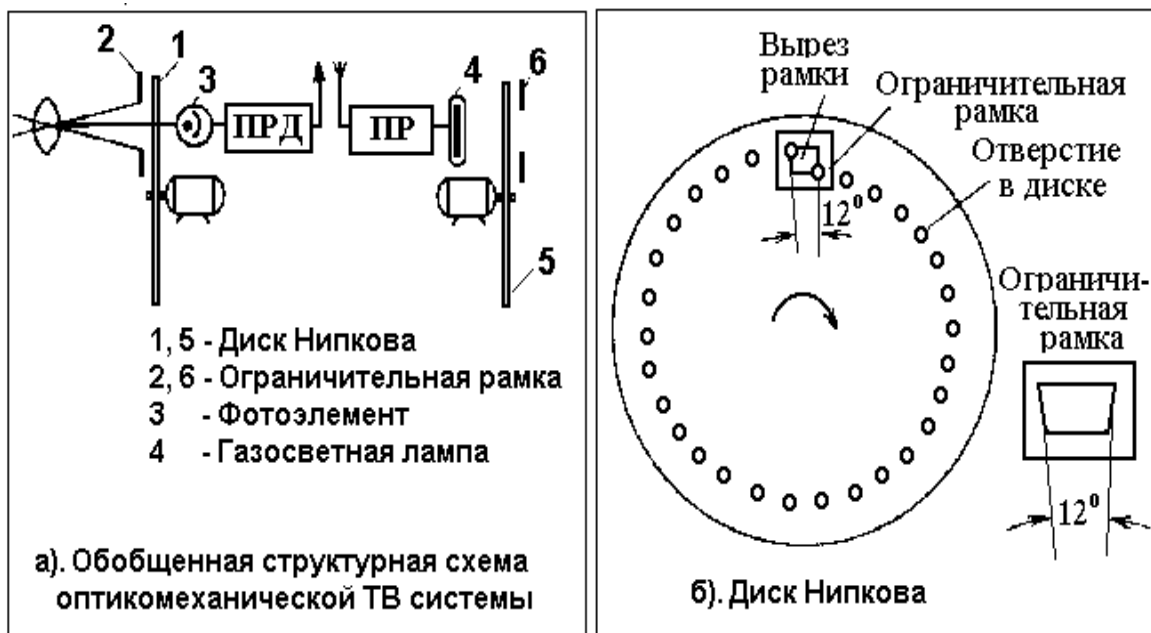


Рис. 1.1. — Оптико-механическая ТВ система с диском Нипкова

По внешнему краю диска спирально сверлились отверстия (от 18 до 240 — по числу строк развертки) со строго заданным расстоянием между собой и определенным шагом спирали Архимеда. (см. рис.1.1б), около внешнего края которого расположены отверстия по спирали Архимеда, диаметр которых определяет размеры элемента изображения, причем, каждое отверстие имеет смещение по радиусу к центру на величину его диаметра. 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. Перед диском Нипкова размещался объектив, а позади — фотоэлемент, преобразовывавший разворачиваемую картинку в электрический сигнал. Таковой была механическая телекамера.

В механическом телевизоре позади диска Нипкова размещалась неоновая лампа, яркость свечения которой изменялась синхронно с выходным напряжением фотоэлемента телекамеры. Скорость и фаза вращения дисков на

передающей и приемной стороне синхронизировались вручную или специальной схемой (см. рис.1.1.).

На рис. 1.2. показаны передающая камера и дисковый телевизор.

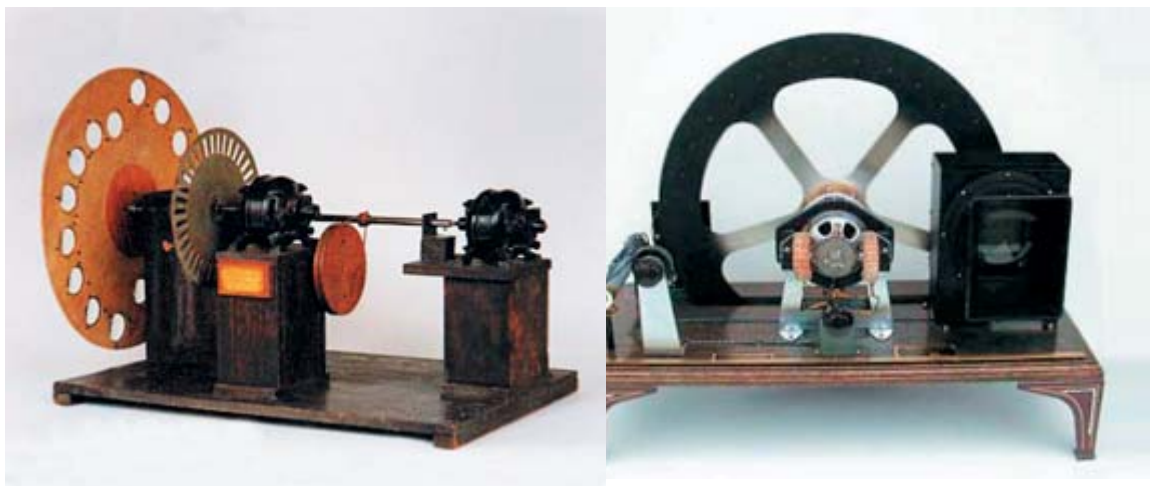


Рис. 1.2 — Дисковая ТВ камера Бэрда и устройство
электромеханического телевизора

Простота конструкции Нипкова позволила в последствии создать целый ряд действующих оптико-механических систем ТВ. 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. Электромеханическое телевидение работало в Киеве, Ленинграде, Москве, Нижнем Новгороде, Одессе, Смоленске, Томске и Харькове. Годом позже Ленинградский завод им. Козицкого выпустил первую партию советских телевизоров (модель В-2).



Рис. 1.3 — Первый советский механический телевизор В-2



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



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

К 1934...35 г. были разработаны оптико-механические системы с использованием зеркальных барабанов с разверткой на 180 и даже 375 строк, но при увеличении числа строк разложения уменьшалось время считывания каждого элемента, что приводило к падению чувствительности, т.к. сигнал генерировался только во время прохождения светового потока через отверстие, а все остальное время не использовался. Такие системы являются системами мгновенного действия. 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., запатентовавший первую приемную электронно-лучевую трубку — прообраз кинескопа в 1907 г. 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), показанного на рис.1.6. Это оказалось революционным для своего времени решением. Кстати, японцам принадлежит еще одно важное изобретение, соприкасающееся

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.

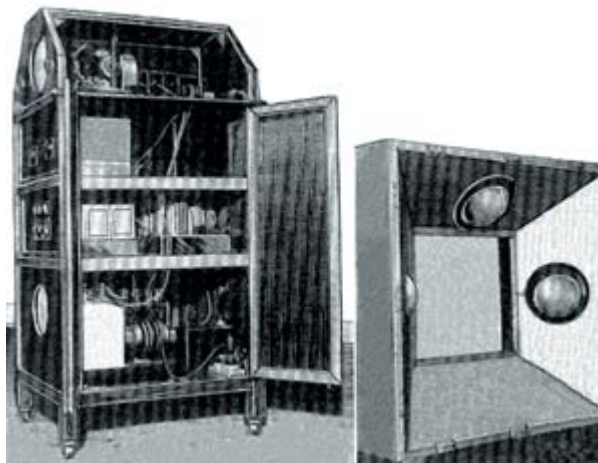


Рис. 1.6 — Электронный телевизор Такаянаги (1937 г.)

Первый проект полностью электронной системы ТВ был реализован в Ташкенте в 1925 г. под руководством Грабовского: на приемной и передающей сторонах системы использовались специальные электронно-лучевые трубки.

Однако большую известность получил ученик Розинга В.К. Зворыкин, считающийся отцом электронного телевидения. Трудовую деятельность в США русский эмигрант начинал в компании *Westinghouse*. Но его первые работодатели электронное ТВ проспали. 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. В начале 50-х гг. прошлого века специалисты этой корпорации разработали первую электронную систему цветного телевидения *NTSC*. 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. Сарнов, просидевший трое суток за пультом приемной станции Маркони, покинул свой пост в ранге национального героя.

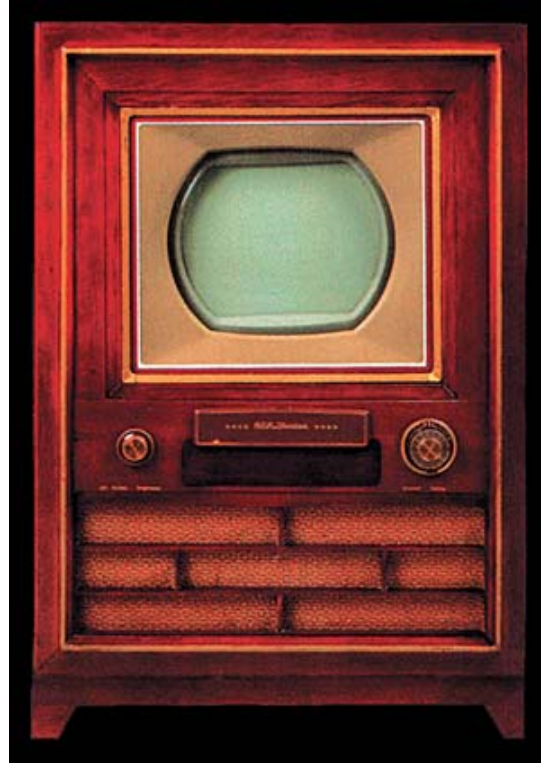


Рис. 1.7 — Первый серийный цветной телевизор *RCA CT-100 (NTSC)*

Видеомагнитофон был создан в США компанией *Ampex*. 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 *Ampex-200*, а в 1956 г. — первый в мире видеомагнитофон *Ampex VRX-1000* (другие названия — *Model-IV*, *Mark-IV*).

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

1.2. Реализация принципов телевидения. ТВ развертка

Разверткой называется процесс последовательной, поочередной передачи элементов изображения.

При выборе типа развертки для ТВ системы необходимо обеспечить одинаковое время передачи каждого элемента, минимальные потери на обратный ход и простоту технической реализации. Всем этим требованиям наиболее полно отвечает линейная развертка. Поэтому в вещательном ТВ и большем числе прикладных систем используют линейные развертки: чересстрочную и прогрессивную (построчную).

В ТВ используются 2 развертки: горизонтальная — строчная и вертикальная — кадровая, причем, за направление движения развертывающего элемента (например, электронного луча) принято движение слева направо для строчной развертки (СР) и сверху вниз для кадровой (КР), причем, изображение на экране воспроизводящего устройства можно получить только при совместной работе строчной и кадровой разверток.

При работе развертки различают ее прямой и обратный ход. Во время прямого хода происходит анализ или отображение видеoinформации (активная часть), при этом луч движется слева направо для СР и сверху вниз, а при обратном ходе (пассивная часть) возвращается назад, как показано на рис. 1.8.

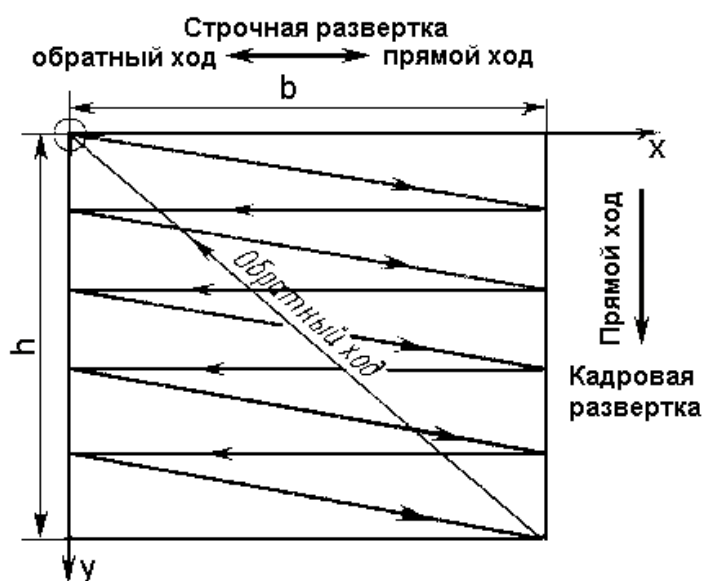


Рис. 1.8 —. Линейно-строчная развертка

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 (см. рис. 1.9).

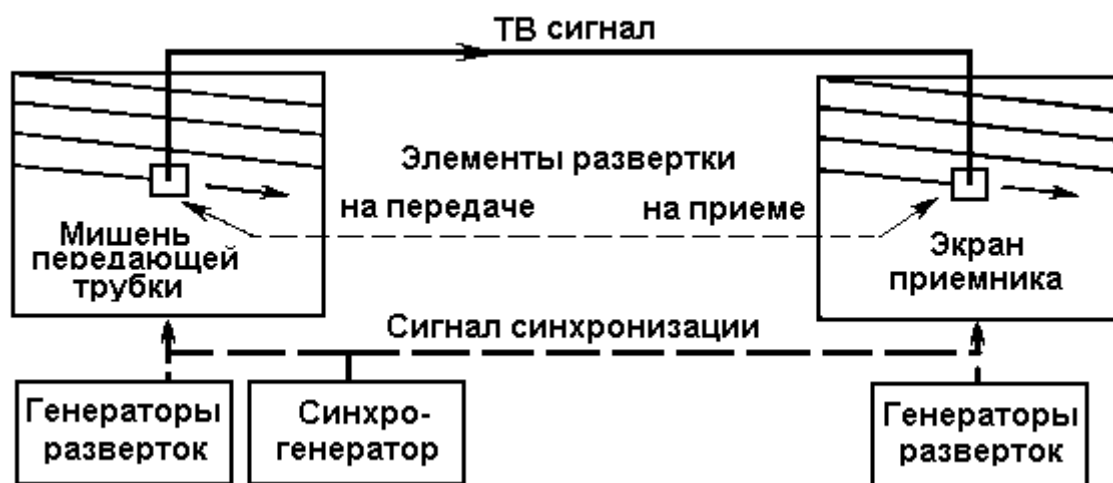
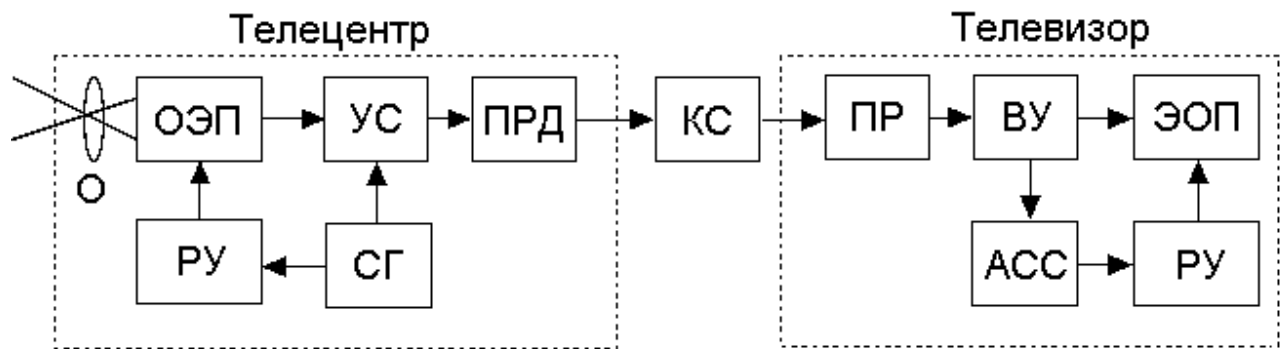


Рис. 1.9 — Синхронизация разверток передающей и приемной стороны

1.3. Обобщенная структурная схема ТВ системы

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, то есть комплекса технических средств, обеспечивающих получение зрительной информации о передаваемом объекте на приемном конце. В зависимости от назначения системы, состав и устройство технических средств могут быть различными, но они характеризуются общими свойствами.

Обобщенная структурная схема ТВ системы показана рис. 1.10.



- О — объектив;
 ОЭП — оптико-электронный преобразователь;
 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. 1.10 — Обобщенная структурная схема ТВ системы

Рассмотрим работу ТВ системы по обобщенной структурной схеме. 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 (ПТС). 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, в усиливается до уровня, необходимого для управления преобразователем сигнал-свет (например, кинескоп) и селектором импульсов синхронизации. В селекторе происходит выделение импульсов синхронизации из ПТС, которые управляют развертывающим устройством на приемной стороне, обеспечивая синхронность и синфазность движения сканирующих элементов анализирующего и синтезирующего устройств.

2. ОСНОВЫ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ

2.1. Зрительная система человека

Человек получает зрительную информацию с помощью зрительной системы, состоящей из глаза, нервной системы и зрительного центра коры головного мозга. Глаз имеет приблизительно шарообразную форму с диаметром около 2,5 см. Внешняя прочная оболочка (склера) защищает от внешних повреждений. На передней части глаза склера прозрачна (роговица); за ней располагается хрусталик, представляющий собой прозрачное упругое тело в форме двояковыпуклой линзы. Спереди хрусталик прикрыт радужной оболочкой (передняя часть сосудистой оболочки, которая является диафрагмой), имеющей в середине отверстие (зрачок). Диаметр зрачка может произвольно (без участия сознания человека) меняться. Таким образом, происходит адаптация – автоматическое регулирование количества света, поступающего внутрь глаза, для защиты от световых перегрузок. Между роговицей и радужной оболочкой находится полость — передняя камера, заполненная прозрачной жидкостью — камерной влагой. Вся полость глаза за хрусталиком заполнена прозрачной студенистой массой, называемой стекловидным телом. Таким образом, оптическая система глаза состоит из роговицы, камерной влаги, хрусталика и стекловидного тела. С ее помощью изображение объекта проецируется на внутреннюю оболочку глаза — сетчатку, представляющую собой скопление множества мельчайших светочувствительных элементов — фоторецепторов: колбочек и палочек.

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. Кривизна поверхности хрусталика может меняться под действием охватывающей его мышцы, за счет чего осуществляется аккомодация — автоматическая фокусировка на сетчатке изображения тех предметов, которые мы хотим рассмотреть.

В желтом пятне преобладают колбочки. Плотность колбочек убывает с удалением от центра сетчатки, а плотность палочек почти постоянна. Фоторецепторы через сложную нервную систему — зрительный нерв — связаны с корой головного мозга.

При построении ТВ систем необходимо наиболее полно приблизить получаемое изображение к тому, что воспроизводит глаз, то есть согласовать ее параметры со свойствами зрительной системы.

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. Основная зрительная информация сосредоточена в пространственном угле ясного зрения, который имеет угловые размеры около $(16 \times 12)^\circ$, а разрешающая способность глаза составляет приблизительно 1 угловая минута.

Видимая часть спектра электромагнитных колебаний: от 380 нм до 760 нм. Спектральная характеристика чувствительности глаза, показанная на рис. 2.1, имеет максимум на волне желто-зеленого цвета равной 550 нм.

2.2. Основные светотехнические величины и их параметры

Оптические изображения характеризуются большим числом светотехнических величин. Основными являются: световой поток, сила света, освещенность и яркость.

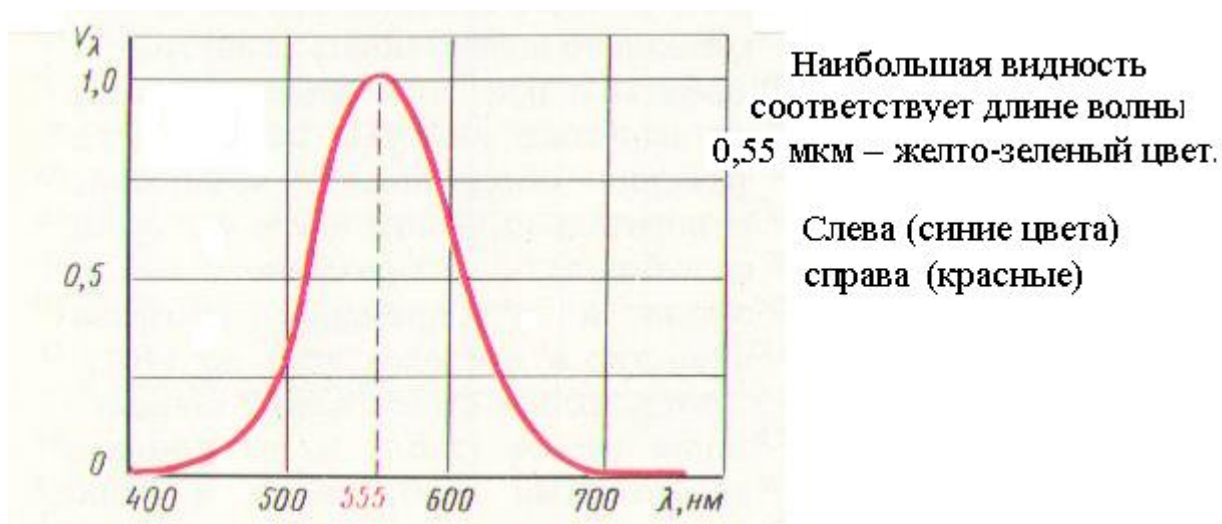


Рис. 2.1 — График спектральной чувствительности глаза

Светом называется часть электромагнитного излучения в диапазоне длин волн от 380 до 770 нм, воздействующего на человеческий глаз. Для количественной оценки силы воздействия необходимо учитывать два обстоятельства:

- видность излучения — неодинаковую чувствительность глаза к излучениям различных длин волн (см. рис. 2.1);
- 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 (около 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). Для примера: лампа накаливания мощностью 100 Вт обладает силой света (60...120) кд.

Освещенность (E) — есть плотность светового потока по поверхности, на которую падает. Единицей освещенности является люкс (лк), который создается световым потоком в 1 лм на площадке в 1 м^2 . Для примера освещенность киноэкрана — (40...200) лк; книга при чтении — 20 лк; предметы в тени летом — 1000 лк, на пляже в летний, солнечный день — 100 000 лк.

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

2.3 Характеристики оптических изображений и их параметры

Процесс ТВ передачи начинается с построения двумерного оптического изображения трехмерных объектов, расположенных в пространстве. Качество оптического изображения определяется рядом факторов и не имеет единой, обобщенной количественной оценки.

Освещенность в плоскости оптического изображения E_0 определяется освещенностью объекта E , его отражательными свойствами, характеризуемыми коэффициентом отражения, 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 — аббераций, 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 раздельно, называется разрешаемым расстоянием, а величина, обратная ему, — разрешающей способностью объектива. Разрешающей способностью объектива оценивается максимальным числом пар черно-белых линий на 1 мм, воспроизводимых на изображении.

Глубина резкости объектива — 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 (см. рис. 2.2).

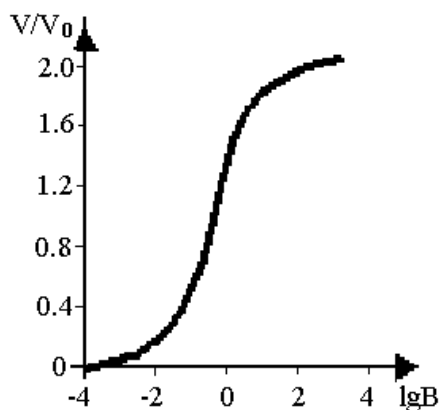


Рис. 2.2 — Зависимость остроты зрения от яркости

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.

3. ПАРАМЕТРЫ ТВ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Различают координатные (формат кадра, оптимальное расстояние наблюдения и число элементов разложения), временные (критическая частота пульсаций и частота кадров) и яркостные (максимальная яркость, средняя яркость — яркость адаптации, контраст и число полутонов — градаций яркости) параметры ТВ изображения.

3.1. Координатные параметры

К координатным параметрам относятся: формат кадра, оптимальное расстояние наблюдения и число элементов разложения.

Формат кадра k . Размер ТВ изображения должен удовлетворять условиям оптимального наблюдения изображений в пространственном угле ясного зрения. Исходя из соотношения его размеров $(16 \times 12)^\circ$ выбирают формат кадра k равным $4/3$, что соответствует отношению ширины (b) экрана к высоте (h), (см. рис.3.1).

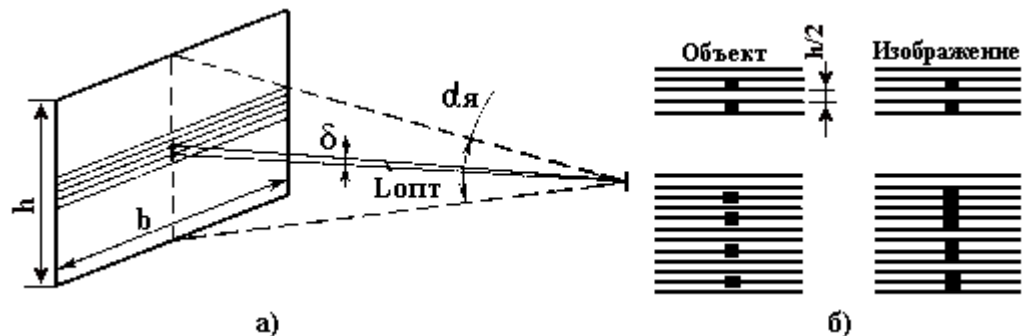


Рис. 3.1 — К определению числа строк (а) и вертикальной четкости изображения (б)

С учетом разрешающей способности зрения δ (около 1 угловой минуты) можно определить число регистрирующих информацию элементарных участков в поле ясного зрения $N_{\text{я}}$

$$N_{\text{я}} = (\alpha_{\text{г}}/\delta)(\alpha_{\text{в}}/\delta),$$

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

Тогда величина $N_{\text{я}}$ составит

$$N_{\text{я}} = (\alpha_{\text{г}}/\delta)(\alpha_{\text{в}}/\delta) = (16^\circ \cdot 60'/1')(12^\circ \cdot 60'/1') = 700\,000.$$

Оптимальное расстояние наблюдения L . Экспериментально установлено, что наилучшее восприятие изображения обеспечивается при расстоянии до экрана L , равном приблизительно $(4 \dots 5)$ высотам экрана h

$$L = (4 \dots 5)h.$$

Число элементов разложения изображения N может быть определено как произведение числа элементов по горизонтали $z_{\text{гор}}$ на количество элементов по вертикали z (строк разложения), или с учетом формата кадра k , принятого равным $4/3$

$$N = z_{\text{гор}}z = kz^2 = 4z^2/3.$$

Число элементов разложения изображения N должно соответствовать числу элементарных участков поля ясного зрения. Так между 700 000 элементами изображения должны воспроизводиться еще промежутки примерно такого же размера, то число элементов по крайней мере удваивается

$$N \geq 2N_{\text{я}}.$$

Тогда число строк разложения должно составлять

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

Однако из-за взаимного расположения деталей раstra и строк разложения (см. рис. 3.1) число передаваемых элементов по вертикали различно, так как в зависимости от этого в вертикальном направлении будут воспроизводятся детали размером либо h/z , либо $2h/z$. Это делает неоднозначную оценку

четкости изображения по вертикали. Поэтому для уверенного различения в ТВ изображении 700000 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-х годов 20 столетия, было принято 625 строк разложения, в первую очередь 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. Четкость 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 анализирующих и воспроизводящих устройств, 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 потерь времени на обратный ход по строкам и кадрам реальная четкость соответствует 400 тыс. элементов. Однако, 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) строк; большого количества людей (хор, публика и т.п.) — (450...650) строк.

3.2. Временные параметры

К временным параметрам относят частоту мельканий и число кадров. Зрительное восприятие дискретно во времени. Одиночный световой импульс будет зарегистрирован глазом, если его длительность превышает определенную величину $t_{кр}$. Причем эта величина зависит от освещенности сетчатки, то есть $E t_{кр} = \text{const}$, и изменяется от сотых (при больших освещенностях) до десятых долей секунды. После прекращения действия светового потока глаз как бы продолжает «видеть» источник с яркостью, спадающей по экспоненциальному закону.

Критической частотой мельканий называется минимальная частота повторения световых импульсов, при которой наблюдатель воспринимает их как непрерывное излучение. Эта частота зависит от средней яркости поля наблюдения, размеров мелькающего участка и т.д. Для яркостей экранов современных ТВ критическая частота мельканий равна (46...48) Гц.

Опытным путем (из практики кино) установлено, что для получения плавного движения изображений движущихся объектов достаточно передавать (16-24) фазы их движения в секунду. В телевидении принята частота смены кадров 50 Гц, которая перекрывает и критическую частоту мельканий (46...48), и критическое число фаз движения (16...24). Эта частота 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).

При такой частоте кадров и числе строк разложения 625 (прогрессивная развертка) (см. рис. 3.2 а), полоса частот ТВ сигнала составляет около 13 МГц.

Для уменьшения требуемой полосы частот канала была предложена чересстрочная развертка, при которой ТВ кадр передается за 2 полукадра (поля)

(четного и нечетного), в каждом из которых передается половина строк (312,5), как показано на рис. 3.2б. Причем, в первом полукадре происходит развертка нечетных строк, а во втором — четных. Частота смены полей выбирается равной 50 Гц, а кадров — составляет 25 Гц. Несмотря на то, что в каждом полукадре разворачивается лишь 312,5 строк, за счет инерционности зрения изображения двух полукадров воспринимается слитно, как один кадр с 625 строками. При этом полоса частот ТВ сигнала уменьшается до 6,5 МГц.

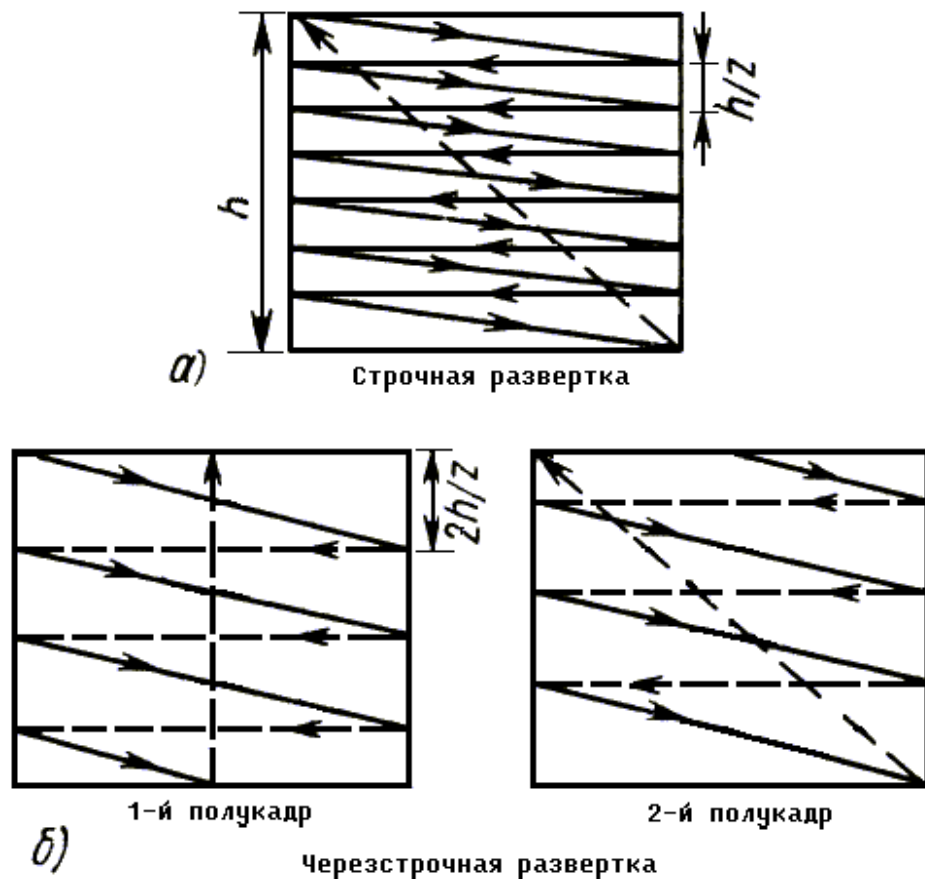


Рис. 3.2. — К пояснению принципов построения строчной (а) и черезстрочной (б) разверток

3.3. Яркостные параметры ТВ изображения

К яркостным параметрам ТВ изображения относят максимальную яркость, среднюю яркость, контраст и число градаций яркости.

Контрастом называют отношение яркости самого светлого участка

изображения к яркости самого темного. Этот 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 ТВ на экране — (5...8); крупные — до (30...40). Однако, зрение не способно 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 детали изображения наблюдаются на каком-то фоне, яркость B_{ϕ} которого 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 (воспринято). Отношение $\Delta B/B_{\phi}$ 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 человеческий глаз воспринимает от 80 до 130 градаций яркости.

В природе, окружающей человека, яркость изменяется в очень больших пределах: слабо различимая человеческим глазом яркость составляет $0,1 \text{ кд/м}^2$; слепящая яркость, которую еще можно с трудом терпеть, например, свечение нити накаливания — 10^7 кд/м^2 . Таким образом, диапазон изменения яркости составляет 10^8 . Зрительная система неспособна одновременно воспринять весь этот диапазон и сужает его на сетчатке благодаря адаптации — приспособлению к различным яркостям за счет произвольного изменения размеров зрачка (быстрая адаптация) и выработки глазного пурпура — нейтрального поглощающего фильтра на поверхности сетчатки (медленная,

инерционная адаптация). Эта способность зрения описывается хорошо экспериментально подтвержденным законом Вебера-Фехнера, согласно которому ощущение от изменения яркости пропорционально логарифму этого изменения. То есть при изменении яркости от $0,1 \text{ кд/м}^2$ до 10^7 кд/м^2 зрительное ощущение будет меняться лишь в 18 раз ($\ln 10^8 = 18,4$).

Все рассмотренные параметры изображения относятся к числу параметров, которые характерны как для монохромных, так и цветных изображений. Для характеристики цветных изображений существуют дополнительные параметры: светлота, цветность, цветовой тон, насыщенность, чистота тона и т.д.

4. ФОРМИРОВАНИЕ ТВ СИГНАЛА

4.1. Основные параметры стандарта аналогового вещательного ТВ

На всем постсоветском пространстве для аналогового вещательного ТВ принят стандарт со следующими основными параметрами сигналов:

- общее число строк в кадре — 625;
- число кадров в секунду — 25 при через строчной развертке;
- число полукадров в секунду — 50 (по 312,5 строк в каждом полукадре);
- формат кадра — 4/3;
- период строчной развертки H — 64 мкс ($f_{\text{стр}} = 15625$ Гц);
- длительность строчных гасящих импульсов (СГИ) — (10...12) мкс (время обратного хода по строке);
- длительность строчных синхронизирующих импульсов (ССИ) — (5...6) мкс, что составляет (0,08...0,1) H ;
- период кадровой развертки — 20 мс ($f_k = 50$ Гц);
- длительность кадрового гасящего импульса (КГИ) — в интервале от 1500 мкс до 1600 мкс (время обратного хода по кадру);
- длительность кадрового синхронизирующего импульса (КСИ) — составляет $3H$, что равно 192 мкс.

4.2. Состав и форма ТВ сигнала

В состав полного ТВ сигнала (ПТС) вещательного стандарта, форма которого по строкам и кадрам показана на рис. 4.1, 4.2, входят следующие компоненты:

- видео (яркостной) сигнал;
- строчные и кадровые гасящие импульсы (СГИ и КГИ);
- строчные и кадровые синхронизирующие импульсы (ССИ и КСИ);
- врезки в КСИ двойной строчной частоты;
- уравнивающие импульсы;

— постоянная (яркостная) составляющая.

Амплитуда видеосигнала, получаемого на выходе фотоэлектрического преобразователя, является функцией времени и пропорциональна яркости передаваемых элементов изображения. Например, для черно-белого изображения показанного на рис. 4.1, большая амплитуда сигнала соответствует белому цвету; меньшая амплитуда соответствует черному цвету, а промежуточные уровни сигнала соответствуют градациям серого.

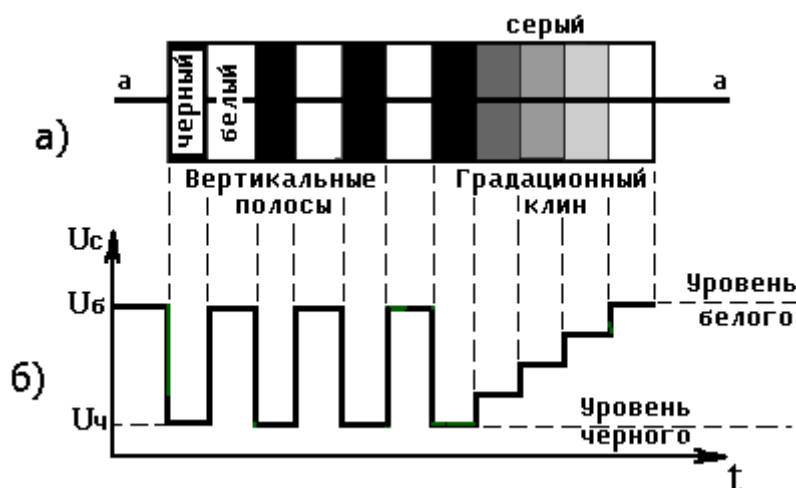


Рис. 4.1 — К пояснению формирования видеосигнала

(а — передаваемое изображение; б — сигнал при развертки строки а-а)

Поясним назначение составных частей полного ТВ сигнала (ПТС).

Видеосигнал (сигнал изображения) несет информацию о яркостях передаваемых точек изображения.

Строчные и 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 черного (см. рис. 4.2).

Строчные и кадровые синхронизирующие импульсы (ССИ и КСИ) предназначены для обеспечения синхронной (одновременной) работы

развертывающих устройств не передающей и приемной стороне. Этим достигается привязка начала координат разверток по горизонтали и вертикали телевизора и передающего оборудования. Это очень важные составляющие ПТС, поскольку отсутствие КСИ приведет к срыву кадровой синхронизации: изображение будет «бежать» вверх или вниз; отсутствие ССИ приведет к срыву строчной синхронизации: изображение будет «бежать» влево или вправо.

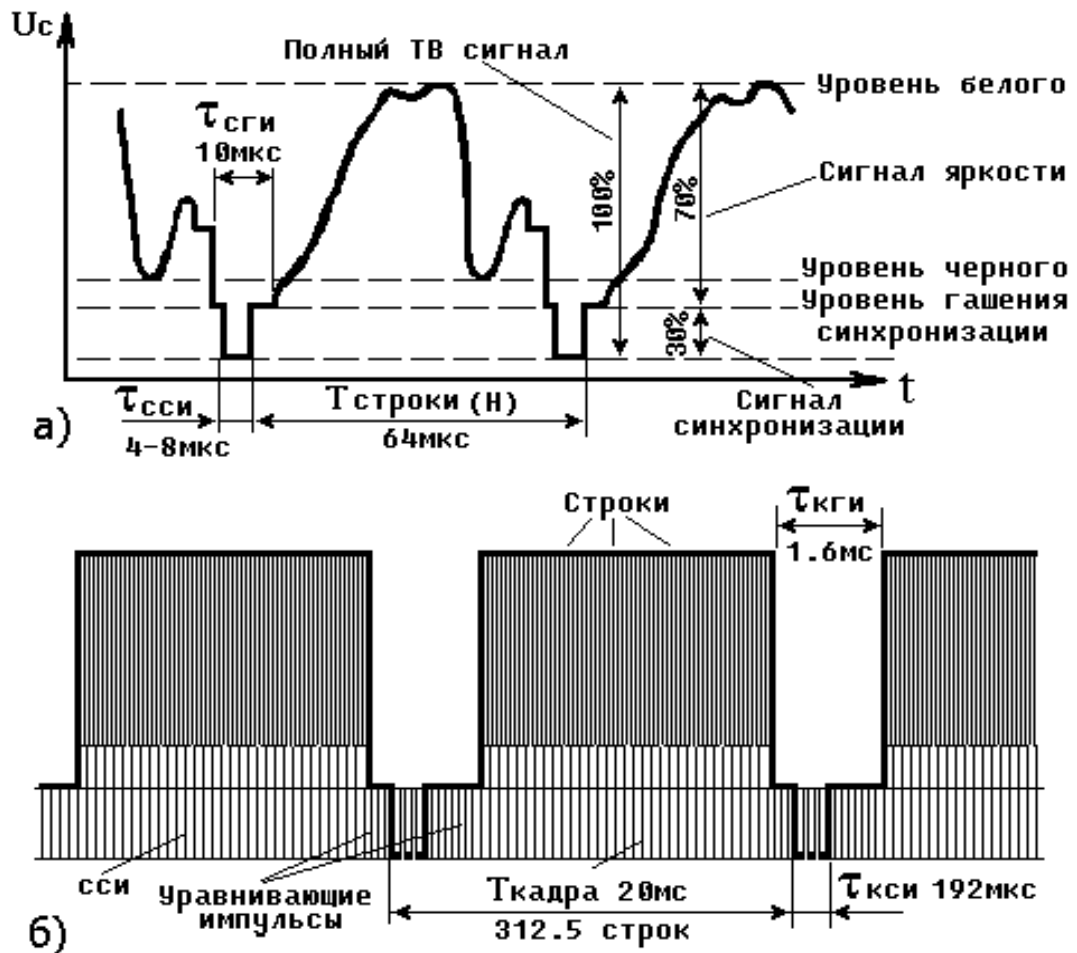


Рис. 4.2 — Форма ТВ сигнала за период строки (а) и кадра (б)

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.

Уравнивающие импульсы предотвращают слипание строк четного и нечетного полукадров (полей). 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 начинается с середины строки (см. рис. 4.3).

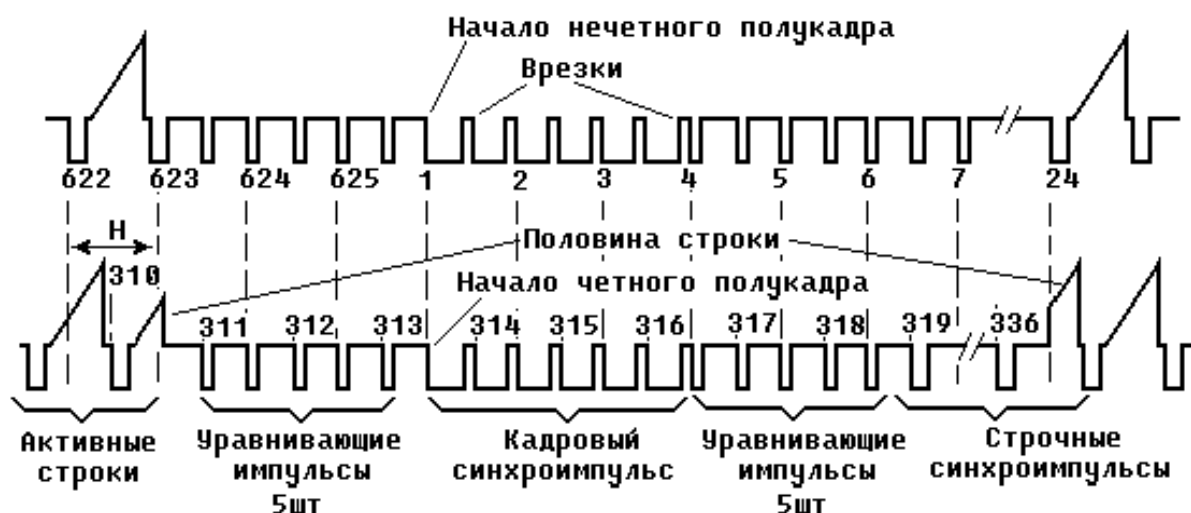


Рис. 4.3 — Форма ПТС при черезстрочной развертке

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 врезки. 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 импульсов до и после КСИ, как показано на рис. 4.3.

Постоянная или средняя (яркостная) составляющая видеосигнала возникает из-за того, что видеосигнал по своей природе сигнал не гармонический, а импульсный; постоянная составляющая зависит от средней яркости передаваемого сюжета изображения.

Если принять размах всего ПТС за 100%, то собственно сигнал изображения (видеосигнал) от уровня белого до уровня черного занимает 70%, а сигнал синхронизации располагается ниже уровня черного на 30%, то есть его уровень чернее черного. Это обеспечивает надежное отделение сигналов синхронизации от сигналов изображения в приемнике.

Таким образом, анализируя видеосигнал, можно сделать следующие

ВЫВОДЫ:

- видеосигнал не является гармоническим колебанием, а имеет импульсный характер, поскольку на изображении могут быть резкие перепады яркостей и участки одинаковой яркости, которым соответствуют плоские вершины импульсов;
- исходный сигнал по своей природе унipoлярен (имеет одну полярность) и содержит постоянную составляющую.

4.3. Спектр ТВ сигнала

Определим границы спектра видеосигнала. Спектр должен содержать частотные составляющие в полосе от f_{min} до f_{max} и низкочастотные составляющие в интервале (0...2) Гц, соответствующие средней яркости изображения. Нижняя граница спектра f_{min} определяется частотой полукадров, соответствующей неподвижному изображению горизонтальных белой и черной полос (см. рис. 4.4).

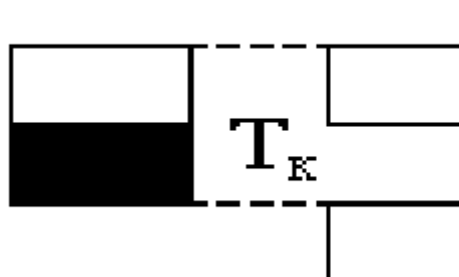


Рис. 4.4

Частота этих импульсов равна частоте кадров. Невозможно придумать изображение, для сигнала которого частота была бы ниже. Таким образом нижняя частота спектра ТВ сигнала составляет 50 Гц.

Верхние частоты спектра f_{max} определяют передачу мелких деталей изображения. Для определения верхней частоты спектра следует подсчитать число пар черных и белых элементов, которое может быть передано и воспроизведено ТВ системой. Это число в строке равно $kz/2$, где $k = 4/3$ (формат кадра). Число пар в кадре составляет $(kz/2)z$, а число пар элементов, передаваемых за секунду составляет $nkz^2/2$ (n — число кадров в секунду).

Таким образом, верхняя частота спектра видеосигнала при прогрессивной развертке (n составляет 50 кадров в секунду)

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

При использовании чересстрочной развертки частота кадров снижается в 2 раза (до 25 Гц), поэтому верхняя частота 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.

Одной из особенностей спектра ТВ сигнала является его дискретность: линейчатый спектр состоящий из гармоник строчной частоты, вокруг которых группируются боковые полосы в виде гармоник кадровой частоты или частоты смены полей (см. рис. 4.5), обусловленных вертикальной разверткой и движением деталей изображения.



Рис. 4.5 — Примерный вид спектра ТВ сигнала

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.

5. ОСНОВЫ ЦВЕТНОГО ТВ

5.1. Колориметрия

Световые излучения в диапазоне длин волн (380...780) нм, которые воспринимает зрение человека, принято считать видимым спектром. При этом ощущение цвета зависит от спектрального состава этого излучения. Если все составляющие спектра имеют одинаковую мощность, то воспринимается ощущение белого цвета. 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 — цветовой параметр, обозначающий степень «разбавленности» монохроматического цвета белым. Насыщенность белого равна 0. Спектр монохроматических излучений условно разделен 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, то есть качественную характеристику цвета, называют цветностью.

Количество различимых глазом цветов велико — около 10 млн., различающихся по трем указанным параметрам. Описание такого множества оттенков невозможно без их классификации и символического обозначения. Цветовая система, позволяющая дать наиболее точное численное описание цвета, была создана на основе экспериментальных и теоретических работ

многих ученых. Наука об измерении цвета — колориметрия, основанная на теории трехкомпонентного зрения и трехмерном цветовом пространстве.

5.2. Трехкомпонентное цветное зрение. Система *RGB*

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. Изолированное возбуждение одного из этих видов дает ощущение одного из трех насыщенных цветов — красного, синего, зеленого. Обычно воспринимаемое 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. Соотношение возбуждений вызывает ощущение определенного цвета.

Колориметрическая система *RGB* использует координаты трех основных цвета *R*, *G*, *B* и при графическом представлении цвета образует равносторонний цветовой треугольник *RGB*. (см. рис. 5.1). Внутри треугольника расположены все цвета, которые могут быть правильно воспроизведены смешением этих основных. С помощью треугольника можно наглядно представить себе количественные и качественные соотношения колориметрии и 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, то есть степень разбавления цвета белым.

Любой цвет *F* в системе *RGB* описывается уравнением вида

$$fF = r'R + g'G + b'B, \quad (4.1)$$

где *f*, *r'*, *g'*, *b'* — цветовые модули, характеризующие количество соответствующего цвета (цветовые коэффициенты);

F, *R*, *G*, *B* — единицы излучения произвольного и трех основных цветов.

Причем нормируют не абсолютные значения единичных цветов, а их соотношение, которое выбирают таким, чтобы при сложении в численно равных количествах получилось ощущение равноэнергетического белого цвета.

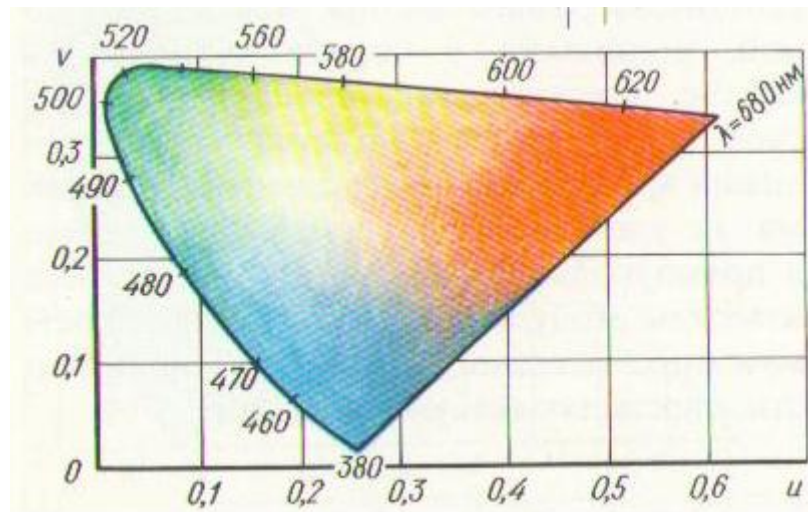
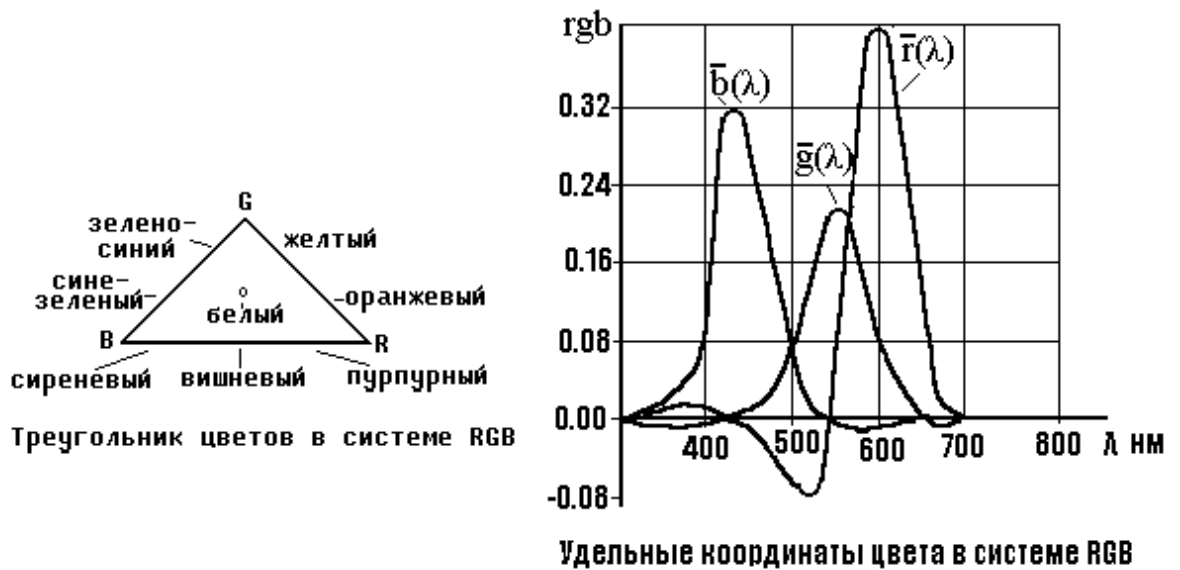


Рис. 5.1 — К пояснению колориметрической системы RGB

На рис. 5.1 величины $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$ представляют собой цветовые свойства среднего наблюдателя, фиксирующего достижения цветового равенства — удельных цветовых коэффициентов или удельных координат от длины волны (кривые смещения), которые были стандартизированы в 1931 г. МКО на основе экспериментальных результатов, полученных Райтом и Гилдом.

Отрицательные участки кривых показывают, что в цветовом уравнении величины коэффициентов имеют отрицательное значение, то есть не все цвета могут быть получены смешением основных реальных цветов системы.

Колориметрическая система *RGB* (см. рис.5.1.) удобна для проведения экспериментальных исследований, так как ее основные цвета являются реально существующими, однако наличие отрицательных участков затрудняет создание измерительных приборов — колориметров. Кроме того, для определения яркости цвета необходимо знать величины всех трех основных потоков.

5.3. Методы смешения цветов

В ТВ используют локальное, пространственное и бинокулярное смешение цветов.

Локальное может быть одновременным (оптическим), когда на одну поверхность (см. рис. 5.2) 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.

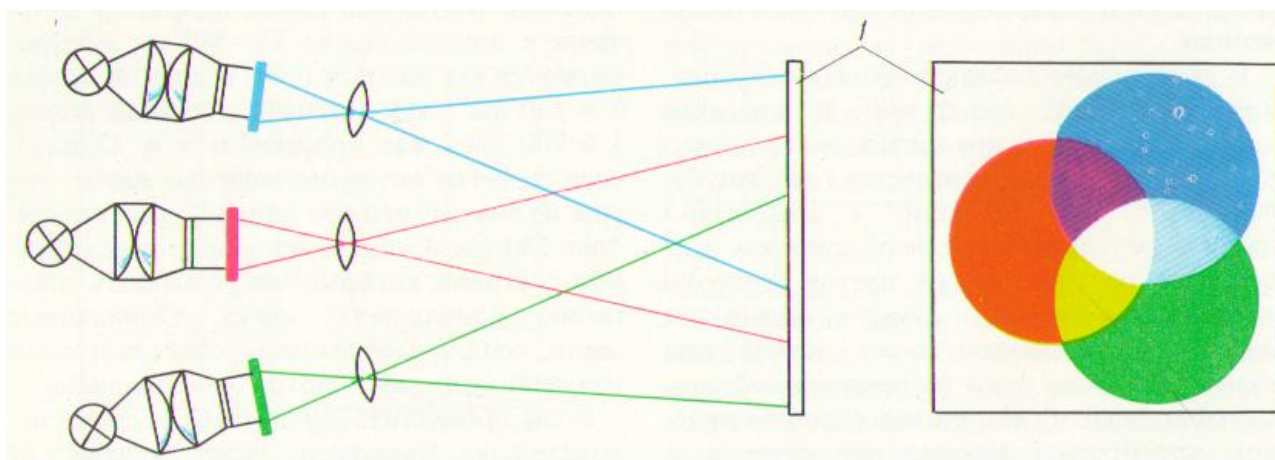


Рис. 5.2 — К пояснению принципа локального смешения цветов

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.

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 стороне требуется обратное действие.

Установлено 3 закона смешения цветов:

1. Для всякого цвета имеется другой цвет, от смешения с которым может образоваться белый цвет. Такие два цвета называются дополнительными.
2. При смешении 2-х 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-х одинаковых цветов образуется смесь того же цвета.

Основной закон смешения цветов предполагает, что любые 4-ре цвета находятся в линейной зависимости, то есть любой цвет может быть выражен через любые 3 взаимонезависимых цвета (см. формулу 4.1).

5.4. Способы получения цветного изображения

Системы ЦТВ по принципу передачи и воспроизведения цветов разделяются на 2 класса: последовательные (поочередные) и одновременные.

Принцип действия последовательных систем ЦТВ заключается в последовательной передаче цветных полей, строк или элементов поясняется рис. 5.3.

Такая система отличается от черно-белой наличием дисков с цветными фильтрами на передающей и приемной сторонах. С помощью вращающегося диска с тремя цветными светофильтрами изображение превращается в последовательное чередование отдельно красного, синего и зеленого, а на приемном конце опять проходит через такой же диск. При синфазном вращении дисков зритель видит три цветных изображения и благодаря инерционности восприятия возникает впечатление изображения в натуральных

цветах. Для незаметности мельканий необходимо, чтобы смена всех трех цветных изображений прошла за время смены кадра, то есть требуется в 3 раза повысить частоты развертки и ширину спектра сигнала.

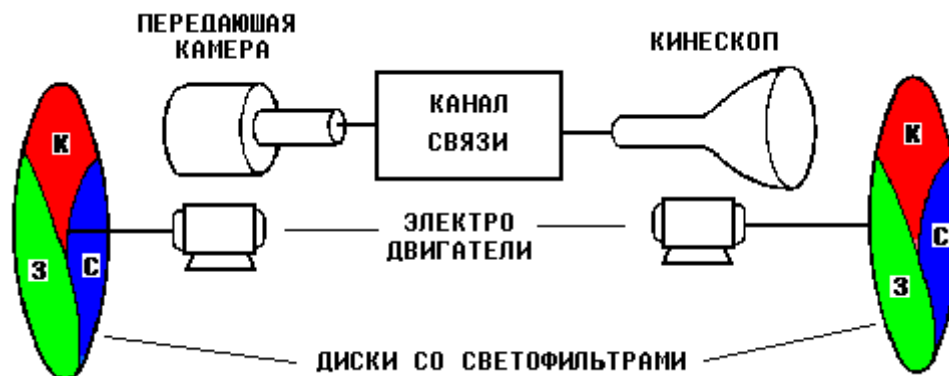


Рис. 5.3 — Схема последовательной системы ЦТВ

Недостатки последовательной системы ЦТВ:

- несовместимость с вещательной системой черно-белого ТВ из-за разности параметров развертки и ширины спектра сигнала;
- при быстром перемещении объектов на изображении появляется цветная «бахрома», так как следующие друг за другом изображения в трех основных цветах оказываются не совмещенными;
- применение дисков со светофильтрами ограничивает размеры экрана кинескопа.

Основным достоинством последовательного способа является простота передающего и приемного оконечных устройств, в связи с чем способ нашел применение в замкнутых прикладных ТВ системах.

Одновременная система в общем случае может быть создана путем механического соединения трех стандартных черно-белых ТВ систем, как это показано на рис. 5.4.

Разложение светового потока на 3 составляющих обычно производится специальной цветоделительной системой, содержащей светофильтры на дихроичных зеркалах, отражающих одну часть спектра и практически без

потерь пропуская 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.

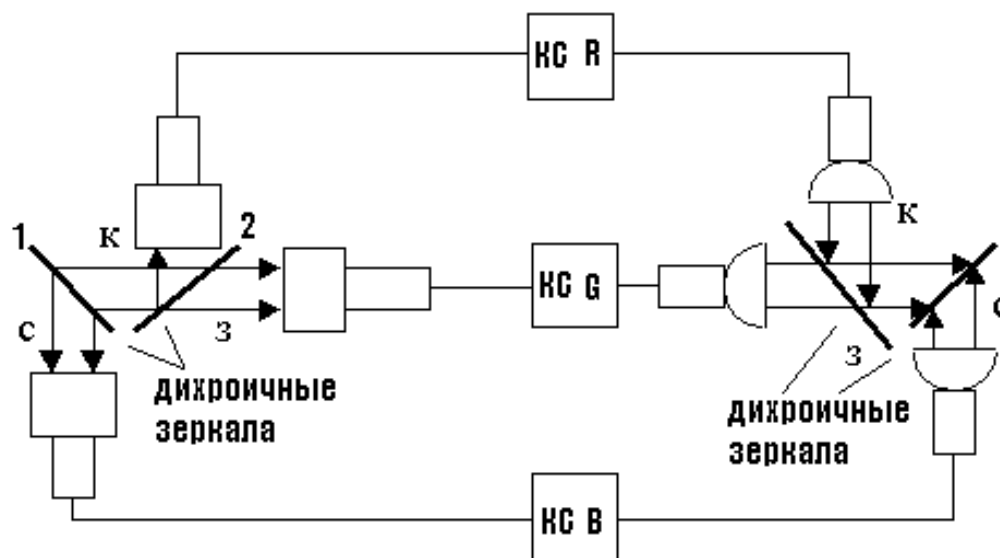


Рис. 5.4 — Схема одновременной системы ЦТВ

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 цветowych окантовок.

5.5. Цветопередача в ТВ

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

- физический — когда одинаковы спектральные составы и мощности излучений;

- физиологический — когда зрительные ощущения от оригинала и репродукции идентичны;
- психологический — когда изображение оценивается как высококачественное.

В ТВ стремиться к физической точности нет смысла, так как одинаковые ощущения цвета могут быть получены при воздействии излучения разного состава. Физиологическую точность нельзя получить, поскольку из-за выбора треугольника основных цветов нельзя воспроизвести часть реальных цветов, а 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. Полная потеря восприятия цвета происходит при углах зрения $(6...10)'$. Учитывая, что ТВ изображение воспринимается в пределах угла ясного зрения $(12...15)^\circ$, детали меньшие, чем $(4...6)$ элементов, могут воспроизводиться в черно-белом виде.

Основные цвета приемного устройства определяются спектральными характеристиками люминофоров. 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.

5.6. Основные требования к вещательной системе ЦТВ

К вещательным системам ЦТВ предъявляются 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 частоты 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.

5. Совместимость стандартов для обеспечения возможности обмена программами с другими странами.

5.7. Яркостный и цветоразностные сигналы

Для обеспечения совместимости необходимо передавать сигнал, обеспечивающий на экране монохромного ТВ черно-белое изображение —

сигнал яркости или яркостный. Таким образом необходимо или ставить еще одну трубку с люминофором, соответствующим кривой относительной видности глаза, и передавать 4 сигнала одновременно, или формировать его схемными способами, суммированием сигналов основных цветов в соотношении, определяемом спектральной чувствительностью глаза к основным цветам люминофоров.

Проведенные расчеты показали, что для цветов R , G , B относительное содержание основных цветов в яркостном описывается выражением

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

Для создания такого сигнала используется матрица.

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.

Человеческий глаз плохо воспринимает цвета мелких деталей. Связь между размерами детали и требующейся для ее передачи верхней границей полосы частоты, показана на рис. 5.5. 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).

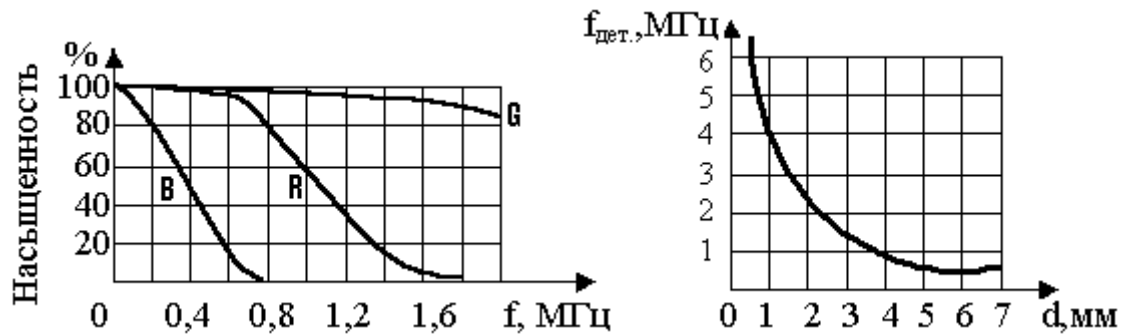


Рис. 5.5 — Зависимости цветовой чувствительности глаза от размеров деталей изображения

Из рис. 5.5 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 — на (0,6...0,8) МГц. Это позволяет передавать цветовую информацию о двух основных цветах не в полном спектре.

Кроме того, так как яркостной сигнал несет полную информацию о яркостных соотношениях передаваемых элементов изображения, его можно исключить из сигналов основных цветов. То есть по каналу связи можно передавать E_Y , $E_{B-Y} = E_B - E_Y$ и $E_{R-Y} = E_R - E_Y$.

Два последних сигнала получили название цветоразностных сигналов.

Преимущества применения цветоразностных сигналов в следующем:

1. Вследствие того, что из этих сигналов частично исключена избыточная информация о яркости, их амплитуда обращается в ноль при передаче серых и белых деталей (на белом амплитуды сигналы основных цветов равны E_Y) и мала на слабонасыщенных местах;

2. Использование цветоразностных сигналов упрощают построение декодирующих устройств приемника, так как исходные цвета могут быть получены простым суммированием цветоразностных сигналов с яркостным. Причем, сигналы основных цветов восстанавливаются в полной полосе частот (высокочастотная часть спектра из яркостного), что упрощает схему декодирования.

В приемном устройстве третий цветоразностный сигнал получают из

двух других в соответствии с выражением

$$E_{G-Y} = -0,51E_{R-Y} - 0,19E_{B-Y}.$$

Уплотнение ТВ спектра. Хотя ограничение спектров цветоразностных сигналов и дает выигрыш по спектру, но все еще сумма полос частот трех сигналов больше, чем одного яркостного, и это не отвечает условию совместимости. Дальнейшая возможность сокращения полосы частот основывается на специфической особенности спектра ТВ сигнала — его линейчатости. Так как составляющие яркостного сигнала не заполняют всю ось частот, в промежутках можно разместить спектры цветоразностных сигналов. Амплитуды цветоразностных сигналов заметно меньше амплитуд сигналов основных цветов, однако на экране черно-белого ТВ приемника будут видны дополнительные шумы и мелькания. Чтобы устранить или уменьшить заметность этих помех, спектры цветоразностных сигналов помещают на поднесущих частотах как можно ближе к верхней границе спектра яркостного сигнала, где в области мелких деталей восприимчивость глаза снижена.

Структурная схема совместимой системы ЦТ. Структурная схема преобразования и передачи трех сигналов основных цветов по одному каналу связи, изображенная на рис. 5.6, является общей для всех совместимых систем ЦТВ. Различие между системами заключается в методах передачи информации о цветности в спектре яркостного сигнала.

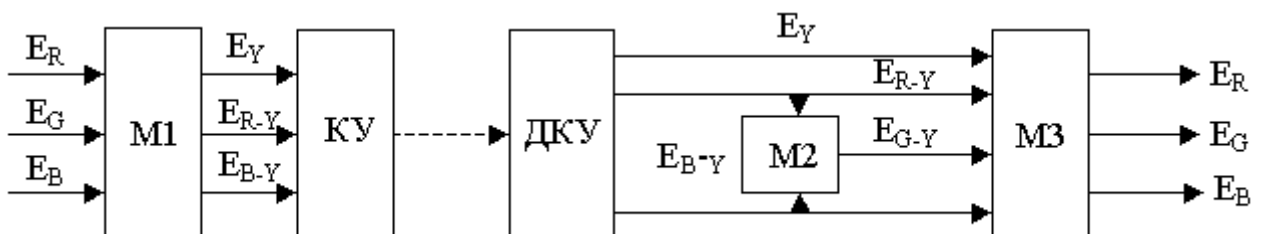


Рис. 5.6 — Структурная схема совместимой системы ЦТВ

На вход декодирующей матрицы M1, обобщенная структурная схема

которой показана на рис.5.7, подаются прошедшие обработку и коррекцию в камерном канале сигналы основных цветов. Матрица преобразует их в сигналы первичных цветов передачи — яркостный и два цветоразностных, в соответствии с выражениями

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

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

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

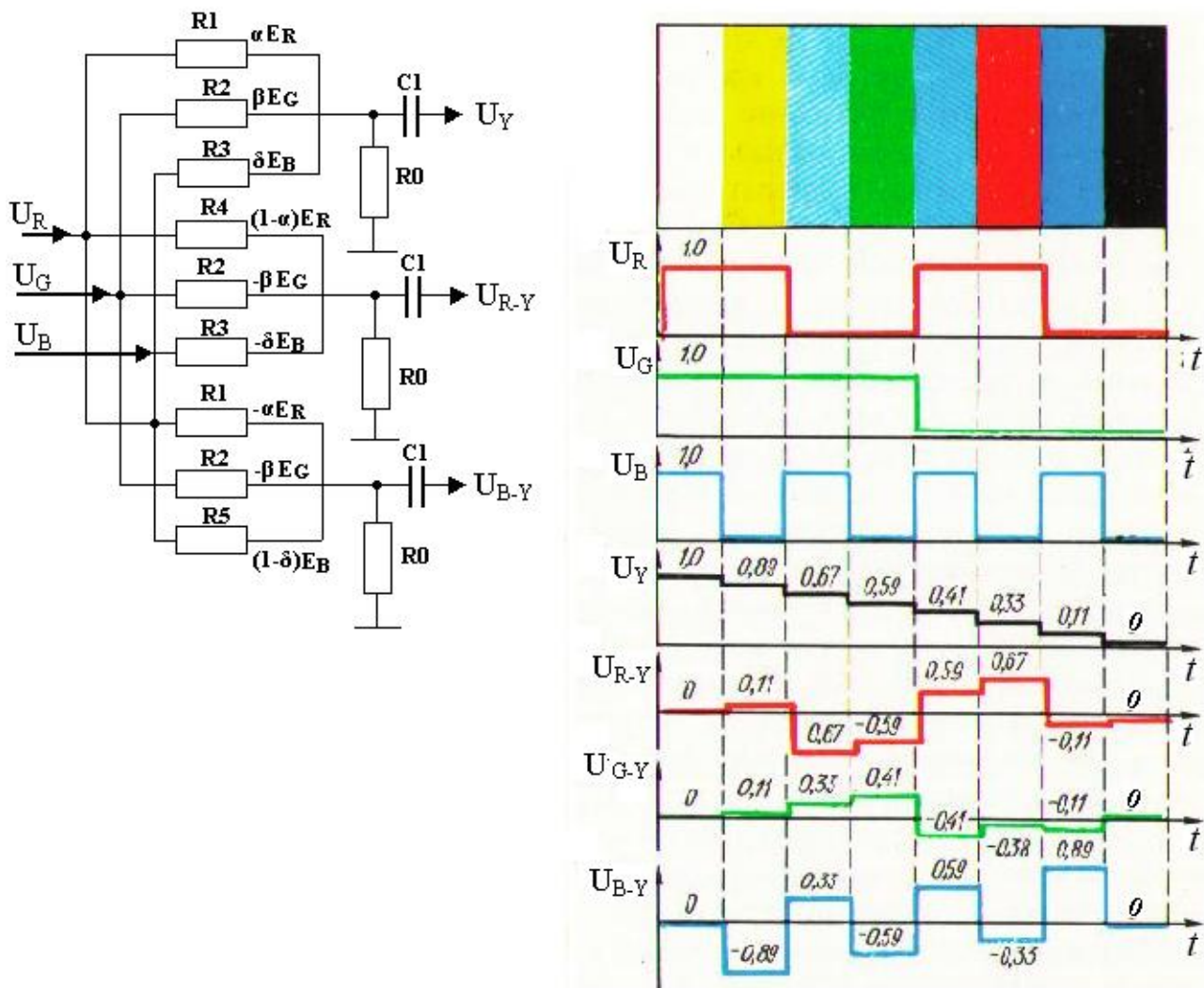


Рис. 5.7 — Обобщенная структурная схема кодирующей матрицы

Сформированные сигналы поступают в кодирующее устройство КУ, где формируется полный цветовой ТВ сигнал (ПЦТС) содержащий:

- яркостной сигнал в полной полосе частот;
- два цветоразностных сигнала (E_{R-Y} и E_{B-Y}) в ограниченной частотой 1,5 МГц полосе частот, которыми осуществляется модуляция одной или двух поднесущих частот; промодулированными сигналами цветowych поднесущих уплотняется спектра яркостного сигнала, причем спектры сигналов цветности размещаются в высокочастотной части спектра яркостного сигнала;
- сигналы синхронизации приемника;

Сигналы цветовой синхронизации. С выхода кодирующего устройства ПЦТС через канал связи поступает на декодирующее устройства ТВ приемника, в котором производится обратная операция выделения из общего спектра яркостного сигнала спектров сигналов цветowych поднесущих частот, их детектирования для получения двух цветоразностных сигналов. Затем в матрице М2 формируется третий цветоразностный сигнал E_{G-Y} . При помощи матрицы М3 из яркостного и 3-х цветоразностных сигналов формируются исходные сигналы основных цветов.

6. АНАЛОГОВЫЕ СИСТЕМЫ ВЕЩАТЕЛЬНОГО ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

6.1. Система ЦТВ NTSC

Разработана в США в 1950...1953 гг. национальным комитетом телевизионных систем (*National Television System Committee*) и утверждена в стране как национальный стандарт. Позже была принята в большинстве стран американского континента, Японии, Корее и др.

В системе *NTSC*, обобщенная структурная схема которой показана на рис. 6.1, передается яркостный сигнал и два цветоразностных E_I и E_Q . Передача цветоразностных сигналов осуществляется в спектре яркостного на одной поднесущей частоте $f_{цв}$, равной 3,579545 МГц (см. рис. 6.1а). 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 метода заключается в суммировании 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, то есть с фазовым сдвигом 90° . Результирующий сигнал промодулирован по амплитуде и по фазе. Фаза результирующего вектора U_s (см. рис. 6.1) несет информацию о цвете, а амплитуда U_s определяет его насыщенность. 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 и соответственно снизить заметность помех от сигнала цветности на экране черно-белом ТВ приемника. Для неокрашенных деталей сигнала цветности вообще равен 0 (см. рис. 6.1б). На приемной стороне с помощью синхронных детекторов восстанавливаются исходные сигналы цветности. Для работы синхронных детекторов необходимо опорное напряжение, синфазное с поднесущей в

кодере. Поскольку поднесущая при балансной модуляции не передается, то во время строчного гасящего импульса после синхронизирующего передается сигнал цветовой синхронизации: пакет колебаний поднесущей длительностью (8...10) периодов, так называемая цветовая вспышка (см. рис.6.1в).

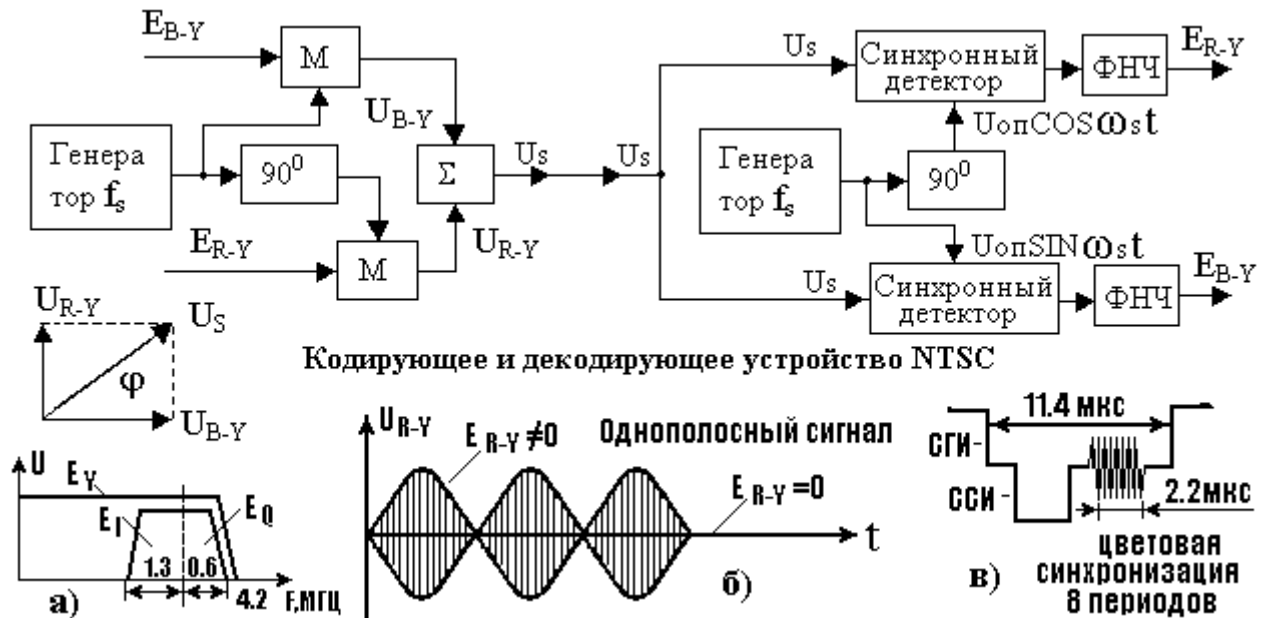


Рис. 6.1 — Обобщенная структурная схема системы ЦТВ NTSC

Для снижения заметности помех от сигнала цветности спектр сигналов цветности должен располагаться как можно ближе к верхней частоте в спектре сигнала яркости $f_{гр}$. С другой стороны, между $f_{гр}$ и f_s должна помещаться боковая полоса сигнала цветности, чтобы он весь разместился в спектре яркостного.

Так как минимальная полоса сигнала синего цвета составляет 0,6 МГц, а $f_{гр}$ равна 4,18 МГц, тогда выбирают значение f_s из условия $f_s = (2n+1)f_z/2$, чтобы еще дополнительно снизить заметность помех от сигнала цветности. Тогда в интервале строки размещается нечетное число полупериодов поднесущей, и рисунок от помехи имеет вид шахматного чередования светлых и темных участков (см. рис 6.2б). В смежных кадрах полярность поднесущей меняется на 180° (см. рис. 6.2а) и участки поменяются местами, то есть за счет интегрирующего эффекта зрительной системой наблюдателя помеха

скомпенсируется.

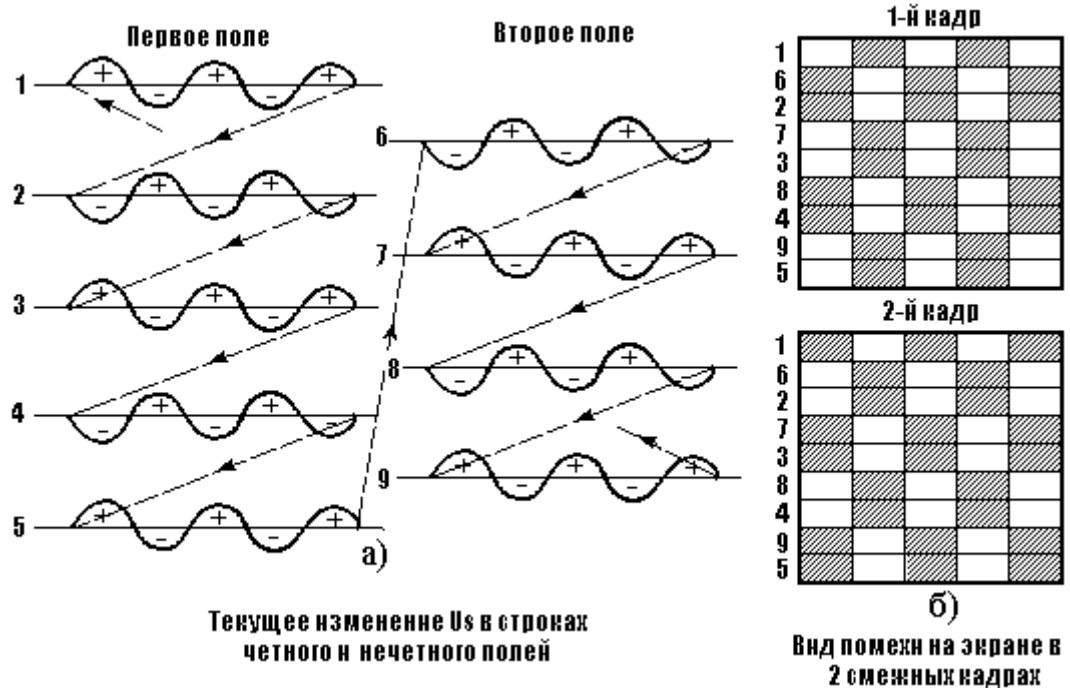


Рис. 6.2 — Метод уменьшения заметности помехи от поднесущей частоты

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 частоту цветовой поднесущей выбрали как 455 гармонику $f_{стр}$, а точное числовое значение составляет 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), а второй широкополосный — 1,3 МГц (E_I), причем перекрестные помехи будут в спектре узкополосного сигнала на частотах, где подавлена одна боковая, т.е. вне полосы пропускания ФНЧ (0,6 МГц).

Основные достоинства системы ЦТВ *NTSC*:

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

Главный недостаток системы ЦТВ *NTSC* — чувствительность системы 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. 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.

6.2. Система ЦТВ *SECAM*

Разработка начата во Франции в 50-е годы 20-го века. В 1965-66гг. и затем доработана совместно со специалистами из СССР и с 1967 г. в СССР начато цветное ТВ вещание. Система распространена в странах восточной Европы, Ближнего и Среднего Востока, Африки. Названа по французским словам *Sequentiel Couleur a Memoire* (поочередность цветов и память).

Главная особенность системы: в каждой строке передается только один из двух цветоразностных сигналов, что позволяет избежать перекрестных искажений, присущих *NTSC*. Второй важной особенностью является применение ЧМ сигнала поднесущей частоты цветоразностными сигналами. Кроме того, для повышения помехоустойчивости передают измененные цветоразностные сигналы: $D_R = -1,9E_{R-Y}$ и $D_B = 1,5E_{B-Y}$ (при таком выборе коэффициентов устраняется отличие в девиации частоты:

($1,9 \times 0,7 = 1,5 \times 0,89 = 1,33$). 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 широкополосную ЧМ в *SECAM* невозможно из-за необходимости ограничения спектра сигналов цветности: индекс модуляции в среднем равен 0,2. Кроме того, приходится существенно уменьшить размах цветоразностных сигналов. В *NTSC* размах достигает 120% яркостного, что, благодаря подавлению поднесущей, почти незаметно на черно-белом приемнике. В системе *SECAM* ЧМ поднесущая воспринимается сильнее и приходится уменьшать размах цветоразностных сигналов до (20...25)% яркостного. Все это делает систему крайне уязвимой к шумовым помехам, и без специальных коррекций, которые иллюстрируются рис. 6.3, система *SECAM* не смогла бы конкурировать с другими системами ЦТВ.

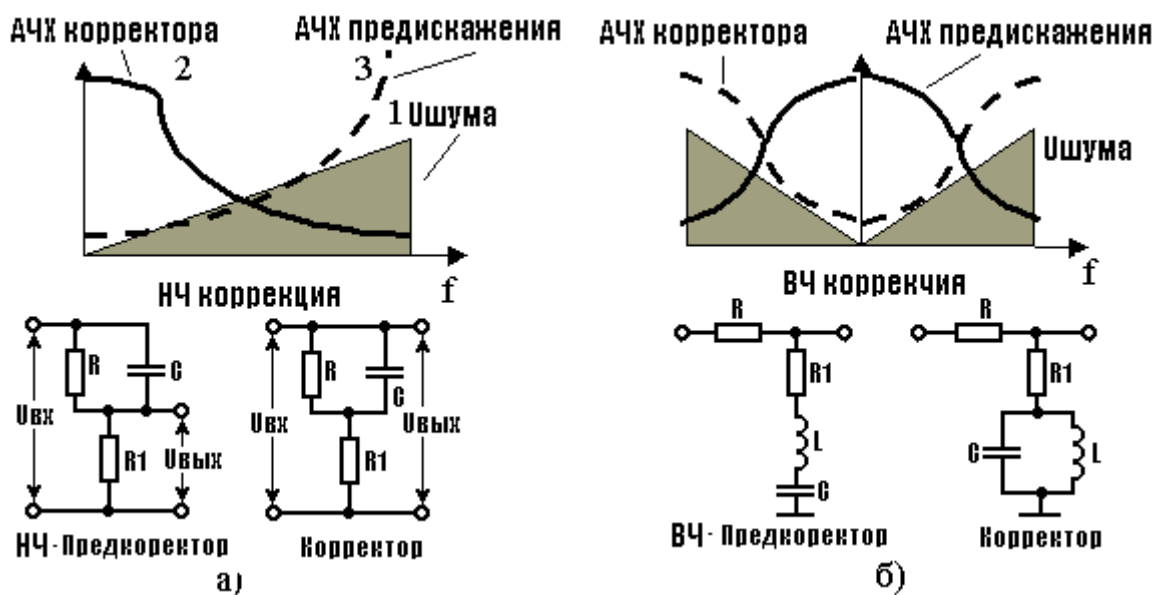


Рис. 6.3 — Методы повышения помехоустойчивости системы *SECAM*

Одна из них — НЧ коррекция (см. рис. 6.3а), основанная на специфическом для ЧМ спектральном распределении шума на выходе частотного дискриминатора: максимум шума сосредоточен в верхней части спектра. Используя цепь коррекции с АЧХ (кривая 2), можно достичь заметного улучшения отношения сигнал-шум. Однако верхние частоты сигнала также будут подавлены. Чтобы не возникли эти искажения на передающей стороне производят предкоррекцию (кривая 3), 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 (см. рис. 6.3б). 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 ТВ приемнике корректирующей цепью подавляют ВЧ составляющие цветоразностных сигналов, а на передающей стороне их поднимают.

Предискажение сигнала на передающей стороне 3 сводится к увеличению амплитуды ЧМ сигнала в зависимости от величины девиации, то есть 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. В итоге в системе используют для передачи сигналов цветности две отличающиеся поднесущие: «красная» с частотой 4406,25 кГц ($282f_{\text{стр}}$) и «синяя» с частотой 4250 кГц ($272f_{\text{стр}}$). Цепь коррекции настраивают на частоту, находящуюся между поднесущими, составляющую 4286 кГц.

Достоинства системы *SECAM*:

- теоретически полностью исключены перекрестные искажения между сигналами цветности, хотя из-за несовершенства работы коммутаторов они все-таки могут проходить;
- нечувствительность к дифференциально-фазовым искажениям;
- меньшая чувствительность к изменениям амплитуды сигналов цветности.

Недостатки системы *SECAM*:

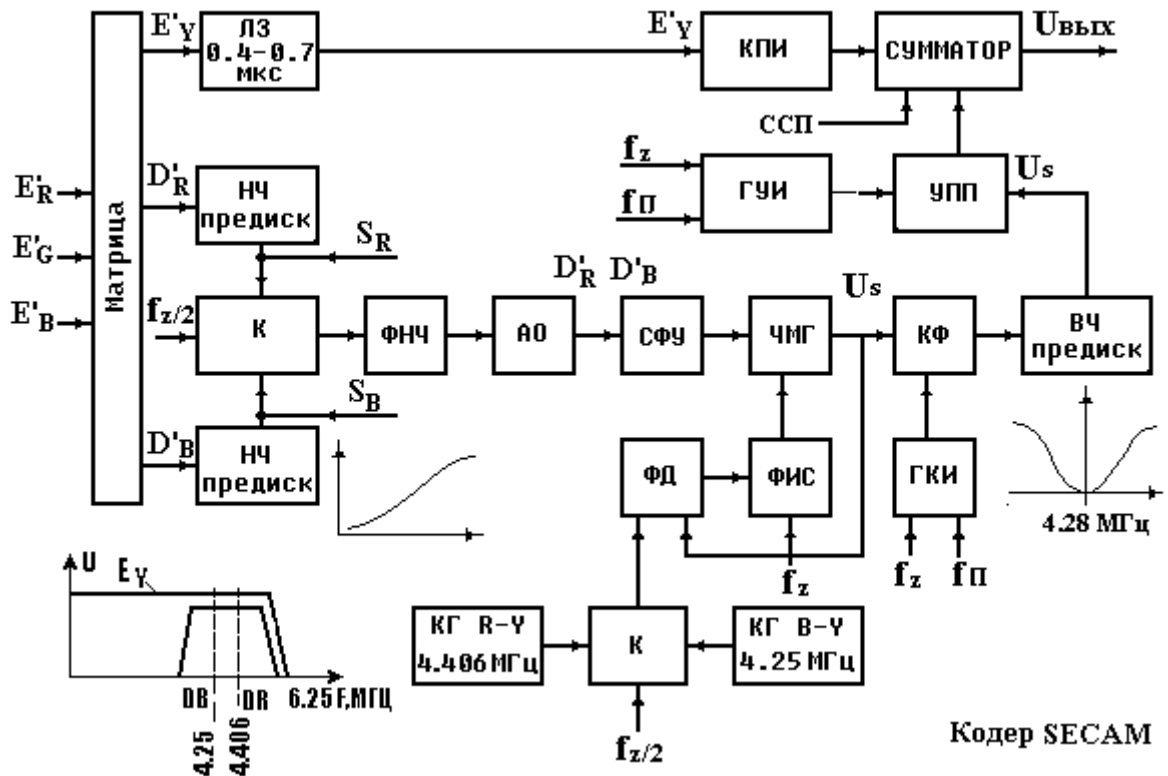
- большая восприимчивость к флуктуационным помехам, особенно при достаточно малых сигналах;
- худшая совместимость: в черно-белых ТВ приемниках: из-за отсутствия режекции поднесущих ее структура достаточно заметна;
- сильнее проявляются перекрестные искажения яркость-цветность;
- хуже цветовая четкость из-за последовательности передачи цветов, что особенно сказывается на горизонтальных границах насыщенных цветов (получается комбинация цветов).

6.2.1. Кодировующее устройство системы ЦТВ *SECAM*

Кодировующее устройство системы *SECAM* (см. рис. 6.4) предназначено для формирования из исходных цветов E_R , E_B и E_G полного видеосигнала содержащего яркостной сигнал E_Y , сигнал цветности U_S и сигнал синхронизации приемника и состоит из следующих функциональных блоков:

Первичные сигналы E_R , E_B и E_G поступают на матрицу, где из них образуется яркостный 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.



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. 6.4 — Обобщенная структурная схема кодера системы SECAM

С выхода коммутатора сигнал через ФНЧ, который ограничивает спектр цветоразностных сигналов и устраняет коммутационные помехи от работы коммутатора поступает на вход амплитудного ограничителя, 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 D_R и D_B двух отличающихся по частоте поднесущих, с другой стороны, необходимо обеспечить высокую точность номинальных значений поднесущих ($4406,25 \pm 2$ 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, через строку, подключаются 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 цветowych 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 $(0,4 \dots 0,7)$ 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 цветowe поднесущие цвета находятся в полосе частот сигнала яркости. С выхода КПИ

Полный цветовой сигнал $U_{\text{п}}$ 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 совместить эти сигналы по времени. Пока первый сигнал поступает напрямую, предыдущий поступает с линии задержки, а поскольку значение 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 $(0,4 \dots 0,7)$ мкс, которая выравнивает запаздывание сигналов в канале цветности, и режекторный фильтр для подавления цветowych поднесущих в яркостном канале. Это позволяет снизить их заметность на экране ТВ приемника. Для того, чтобы режекция не ухудшала четкость черно-белых передач, она отключается с помощью управляющего напряжения с устройства цветовой синхронизации.

6.3. Система ЦТВ PAL

Разработана немецкой фирмой *Telefunken* и принята в 1966 г. в качестве стандарта большинства стран Западной Европы. В 20-ом веке система ЦТВ PAL являлась самой распространенной системой в мире. Названа по английской фразе «*Phase Alternation Line*» (чередование фазы по строкам). Может рассматриваться как удачная модернизация системы NTSC. В системе PAL используются те же сигналы, что и в других системах ЦТВ, и квадратурная модуляция. Основное отличие в том, что фаза одной из квадратурных составляющих сигнала цветности от строки к строке меняется на 180° , что устраняет основной недостаток системы NTSC (чувствительность к дифференциально-фазовым искажениям) и дает ряд дополнительных преимуществ.

Векторные диаграммы цветowych сигналов в двух соседних строках и примеры сложения и вычитания показаны на рис. 6.6.

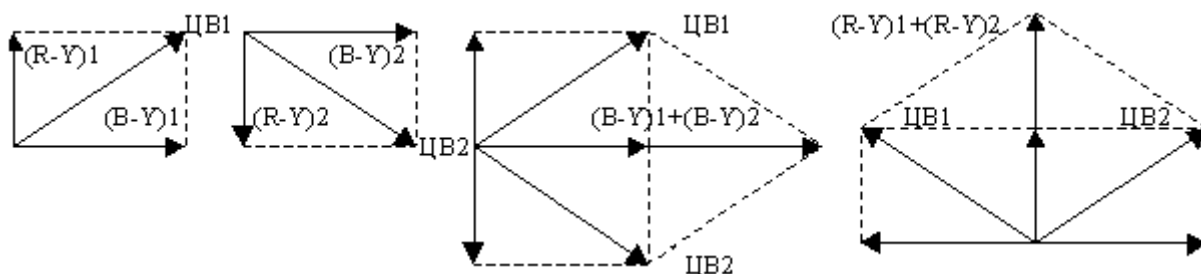


Рис. 6.6 — Векторные диаграммы передачи цвета в системе PAL

С помощью ЛЗ на строку осуществляется «запоминание» сигналов

цветности, а затем оба сигнала складываются или вычитаются. Таким образом, в приемнике можно обычным детектором разделить цветоразностные сигналы. Но так как на обычные детекторы надо подавать восстановленную несущую, то их стоимость сопоставима со стоимостью синхронных детекторов и поэтому их используют также, как и в *NTSC*. Однако искажение цвета из-за фазовых ошибок значительно снижено из-за того, что изменение фазы через строку позволяет скомпенсировать действие помехи путем усреднения фазовой ошибки в двух соседних строках, как показано на рис. 6.7.

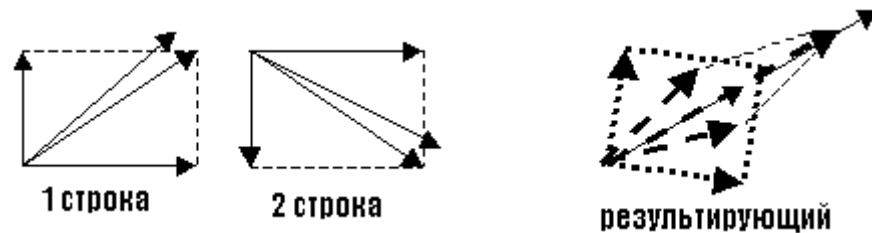


Рис. 6.7 — Компенсация фазовых ошибок в системе *PAL*

Таким образом, при одинаковом воздействии помех на сигналы двух строк и более, направление результирующего вектора, определяющее цветовой тон, всегда останется неизменным, а разница будет проявляться только в насыщенности (причем чем больше фазовый сдвиг, тем больше изменение насыщенности).

Обобщенная структурная схема системы *PAL* показана на рис. 6.8.

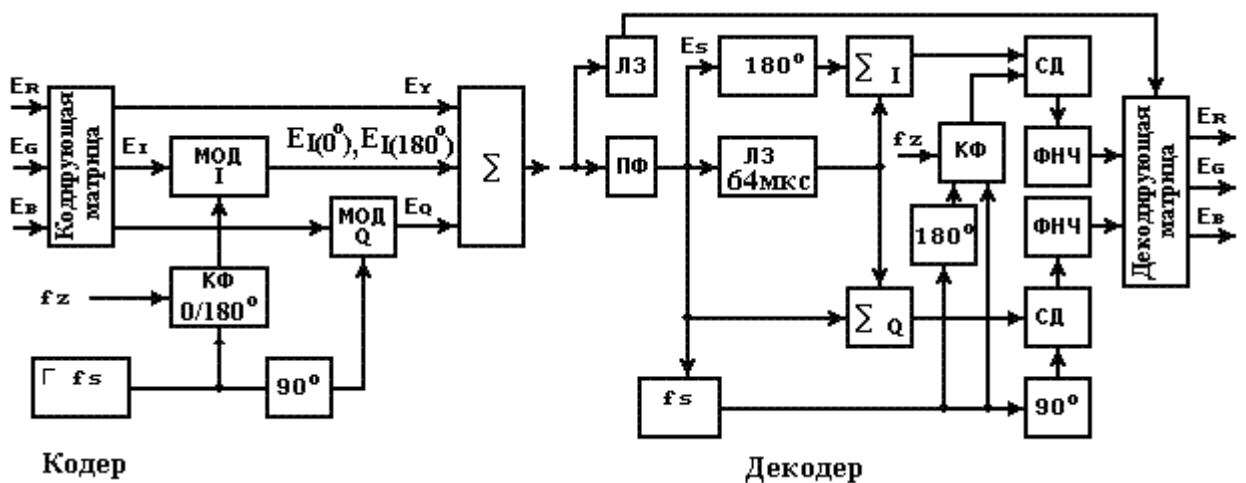


Рис.6.8 — Обобщенная структурная схема системы *PAL*

Сигналы первичных цветов E_R , E_G , E_B в кодирующей матрице преобразуются в яркостной E_Y и два цветоразностных сигнала, E_I и E_Q . Далее цветоразностные сигналы поступают на первые входы балансных модуляторов, а на их вторые входы в квадратуре (со сдвигом 90°) подается частота поднесущего колебания с входа генератора поднесущей f_s . Для устранения основного недостатка системы *NTSC* (чувствительности к дифференциально-фазовым искажениям) при помощи коммутатора фазы от строки к строке меняется фаза поднесущего колебания модулятора цветоразностного сигнала (E_I), что позволяет скомпенсировать воздействие помех. Далее два амплитудно-модулированных сигнала поступают на входы сумматора, где вместе с яркостным сигналом образуют суммарный композитный сигнал.

В декодере из композитного сигнала полосовым фильтром выделяется спектр цветоразностных сигналов, который затем через линию задержки на строку поступают на одни входы сумматоров сигналов I и Q , а на вторые входы этих сумматоров поступают эти же сигналы в противофазе. Благодаря использованию сумматоров и линии задержки на строку удастся скомпенсировать фазовую ошибку цветового сигнала его зеркальным сигналом следующей строки. Далее сигналы поступают на входы синхронных детекторов, для нормальной работы которых требуется опорное колебание со сдвигом 90° , формируемое устройством выделения поднесущей из сигнала цветовой синхронизации. Затем с цветоразностные сигналы с выхода СД через фильтры нижних частот поступают на декодирующую матрицу, где при помощи яркостного сигнала формируются исходные сигналы E_R , E_G , E_B , а для коррекции времени запаздывания цветоразностных сигналов относительно яркостного, в яркостном канале используется дополнительная ЛЗ на время $(0,3 \dots 0,7)$ мкс.

При рассмотрении системы *NTSC* отмечалось, что для компенсации помех от сигналов цветности в монохромном ТВ приемнике частота поднесущей должна быть $(2n+1)f_{стр}/2$. Для системы *PAL* это неприемлемо, так как добавочный поворот фазы еще на 180° в сумме даст 360° , то есть устранил

компенсацию поднесущей. Эксперименты показали, что в системе *PAL* поднесущая наименее заметна, если она имеет сдвиг относительно 284 гармоники $f_{стр}$ на $\frac{1}{4} + 25$ Гц.

Достоинства системы *PAL* те же, что и у *NTSC*:

- хорошая совместимость с черно-белым ТВ;
- эффективность разделения сигналов яркости и цветности;
- высокая помехоустойчивость к флуктуационным помехам;

В качестве дополнительных достоинств следует выделить:

- 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, так как в большинстве стран полоса ТВ сигнала 5,5 МГц;
- более эффективное подавление составляющих яркостного сигнала, что уменьшает перекрестные помехи в канале цветности, так как блок задержки по структуре и параметрам близок к гребенчатому фильтру;
- нет мерцания границ из-за задержки на строку, как в *SECAM*, так как цветности двух соседних строк усредняются.

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

7. ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

7.1. Основные показатели передающих трубок

Преобразователи оптического изображения в электрический сигнал – датчики ТВ сигнала — преобразуют световую энергию, отраженную от объекта и спроецированную на его фоточувствительную поверхность, в последовательность электрических сигналов с определенными параметрами, обеспечивающими обратное преобразование. Датчик должен обладать способностью не только оценивать яркость отдельных элементов изображения, но и осуществлять процесс развертки. В современной ТВ технике преобразование осуществляется с помощью передающих электронно-лучевых трубок (ЭЛТ) и твердотельных датчиков.

Качество изображения зависит во многом от таких параметров этих преобразователей, как чувствительности, разрешающей способности, световой и спектральной характеристик, инерционности. Рассмотрим эти параметры.

Чувствительность — параметр показывающий минимальную освещенность светочувствительного элемента (фотослоя) в люксах, при которой обеспечивается заданное соотношение сигнал/шум. Чем выше чувствительность датчика, тем меньшая требуется освещенность.

Световая характеристика — зависимость тока сигнала на выходе преобразователя от освещенности его фоточувствительной поверхности — позволяет судить об интервале освещенностей, в котором способен работать датчик.

Спектральная характеристика — зависимость величины ТВ сигнала от длины волны падающего на датчик излучения равной интенсивности.

Инерционность — параметр, характеризующий запаздывание изменения ТВ сигнала на выходе преобразователя относительно изменения освещенности его фоточувствительной поверхности.

7.2. Типы и законы фотоэффекта

Работа фоточувствительных поверхностей основывается на использовании внешнего и внутреннего фотоэффекта. При внешнем фотоэффекте освобожденные электроны покидают облученное вещество, вылетая в пространство, – фотоэлектронная эмиссия, при внутреннем – остаются внутри твердого тела, изменяя его проводимость, – фотопроводимость.

Для фотоэлектронной эмиссии установлены следующие законы внешнего фотоэффекта.

Закон Столетова (основной закон фотоэффекта) — фототок фотоэлемента i_{ϕ} пропорционален интенсивности светового потока вызывающего этот ток

$$i_{\phi} = S\Phi,$$

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

Безинерционность фотоэлектронной эмиссии — фототок следует за изменениями светового потока практически без запаздывания до частоты около 100 МГц.

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.

7.3. Принцип мгновенного действия

Принцип мгновенного действия основан на том, что фотоэлектронная эмиссия с каждого элемента изображения используется в интервале времени, равному времени коммутации одного элемента и, 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_n при замыкании ключа K на время коммутации этого элемента определяется протекающим током

фотоэмиссии, как показано на рис.7.1.

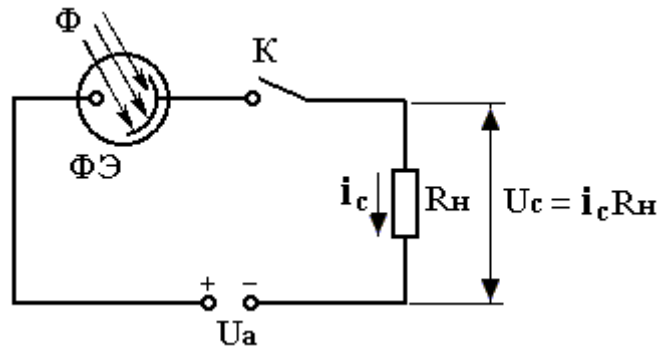


Рис. 7.1 — Образование сигнала в системе мгновенного действия

На внешнем фотоэффекте основана работа таких передающих трубок как — ДИСЕКТОР (рассекатель) и СУПЕРОРТИКОН.

Конструктивно диссектор, изображенный на рис. 7.2, состоит из стеклянной колбы внутри которой имеется полупрозрачный фотокатод (ФК), ускоряющий электрод (УСЭ), диафрагма с отверстием, диноды 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.

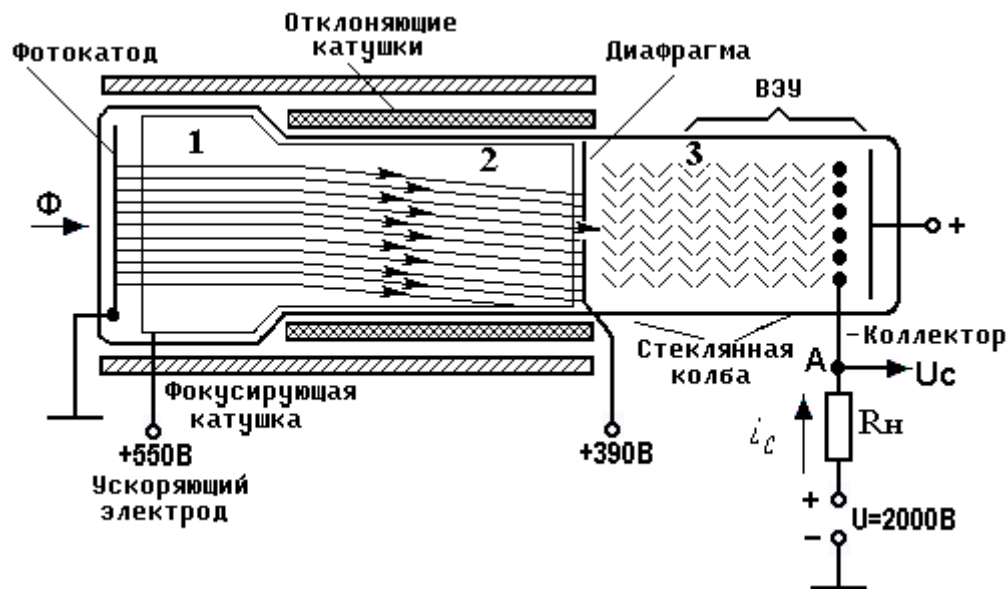


Рис. 7.2 — Схема устройства трубки типа ДИСЕКТОР

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:

- оптико-электронного преобразования;
- переноса и отклонения электронного изображения;
- вторично-электронного умножителя.

Световое изображение преобразуется в электронное на полупрозрачном светочувствительном слое — фотокатоде, нанесенном на внутреннюю поверхность планшайбы трубки, за счет того, что падающий световой поток выбивает фотоэлектроны с его поверхности. 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 получить ток сигнала порядка 100мкА, отрицательной полярности.

Диссекторы имеют линейную световую характеристику при освещенности ФК 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 телекинопроекторных установках и т.д.

Недостатком диссекторов, а их промышленность выпускает более 15 типов, является их низкая чувствительность в стандарте вещательного ТВ, что, однако, является недостатком всех систем мгновенного действия.

Следует отметить, что наиболее чувствительной передающей трубкой, использующей внешний фотоэффект, является суперортискон (ЛИ201, ЛИ221...) Высокая чувствительность обеспечивается за счет переноса электронного изображения с полупрозрачного фотокатода на 2-х стороннюю накапливающую мишень и ее развертки пучком медленных электронов с последующим усилением изображения внутренним ВЭУ.

Эти трубки имеют высокие чувствительность и разрешающую способность, однако очень сложны в производстве и эксплуатации из-за большого числа регулировок. Кроме того, имеют большие габариты и низкий срок службы (200-750 ч), большое время включения (20-30 мин из-за прогрева мишени до температуры 35-60⁰С) и к тому же высокую чувствительность к вибрациям, ударам, изменению температуры.

7.4. Принцип накопления заряда

Как уже говорилось, 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 фотопреобразователей можно за счет использования принципа накопления заряда, заключающегося в том, что световая энергия, облучающая элемент в межкоммутационный период, накапливается на накопительном конденсаторе (рис. 7.3.а).

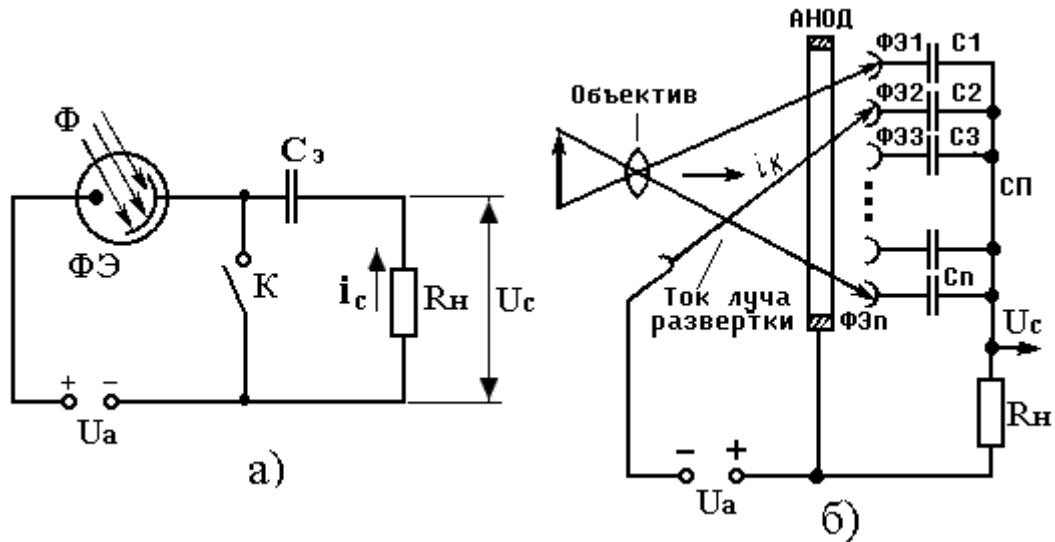


Рис. 7.3 — Принцип накопления световой энергии:

а — эквивалентная схема; б — модуль ТВ системы с накоплением

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

$$Q_{\text{зар}} = i_{\text{ф}} T_{\text{к}}; \quad i_{\text{раз}} = Q_{\text{зар}}/t_z = i_{\text{ф}} T_{\text{к}}/t_z = i_{\text{ф}} N; \quad u_{\text{ср}} = R_n i_{\text{ф}} N,$$

где N — количество элементов разложения.

Однако, на практике такой выигрыш получить не удастся.

Рассмотренный процесс накопления зарядов реализован в ряде передающих трубок содержащих мозаичную или фотопроводниковую фотомишень, эквивалентная схема которой показана на рис. 7.4,б. Она состоит из изолированных ячеек, каждая из которых содержит фотоэлемент и накопительный конденсатор. При проекции оптического изображения в цепях 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.

7.5. Видикон

Фоточувствительные поверхности, использующие явление внешнего фотоэффекта, обладают малой чувствительностью. Существенно увеличить чувствительность трубок можно, используя фотомишени, построенные на явлении внутреннего фотоэффекта - фотопроводимости. Кроме того, мишень из фотопроводящих слоев, являясь фоточувствительным элементом, одновременно накапливает световую энергию, что значительно упрощает конструкцию трубки, которые были разработаны в 1950 г.

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

Конструкция видикона показана на рис.7.4, где использованы следующие обозначения:

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;

U_c — напряжение выходного сигнала.

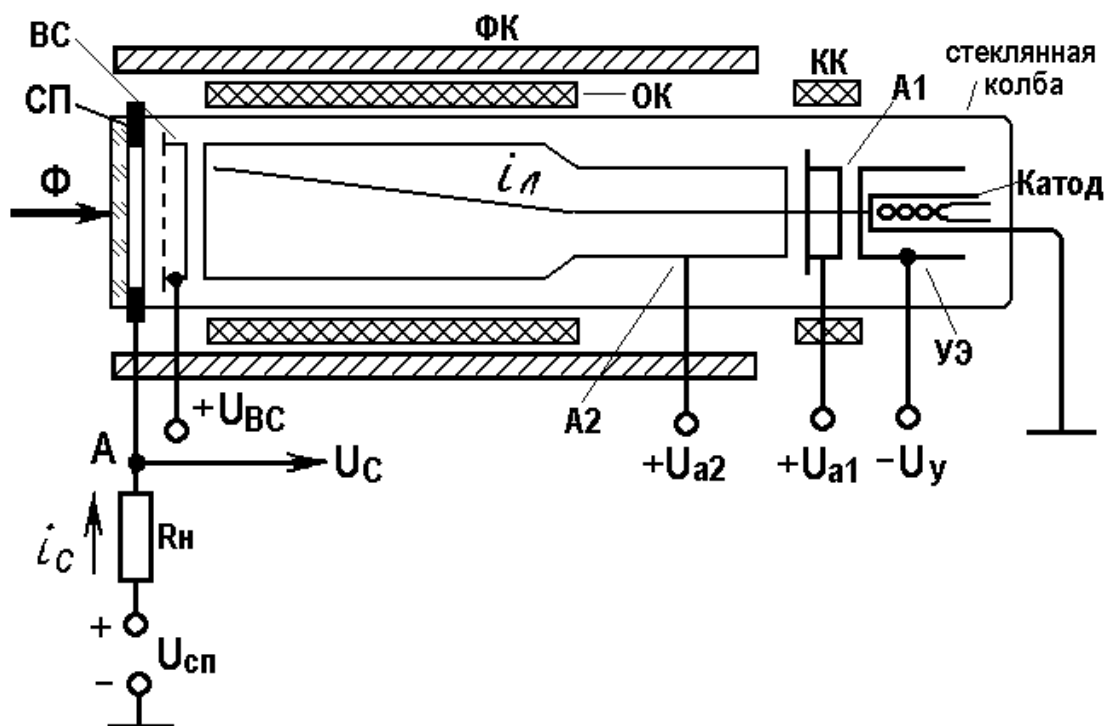
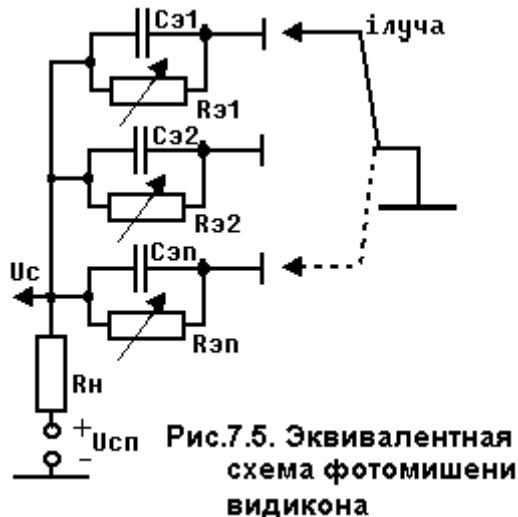


Рис.7.4 — Устройство видикона

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 окиси олова, нанесенную на внутреннюю поверхность планшайбы и имеющую прозрачность более 90% и поверхностное сопротивление 200 Ом·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 (BC) помещенную перед фотомишенью. Пушка состоит из подогреваемого катода, управляющего электрода (УЭ), первого (A1) и второго (A2) 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.7.5 представлена эквивалентная схема фотомишени видикона, которая поясняет процесс образования видеосигнала. На этой схеме каждый элемент фотомишени представлен емкостью конденсатора C_z , образованного элементами сигнальной пластины и правой стороны мишени, который зашунтирован резистором R_z , 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_z оказываются различными. Возникает рельеф сопротивлений. При коммутации пучком медленных электронов потенциал правой стороны мишени устанавливается равным потенциалу катода равен нулю (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.

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 ($\gamma = 0,6 \dots 0,8$). 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 $R_s \neq \infty$, значит небольшой разряд все же будет, 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 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, сечением коммутирующего луча. При размере рабочего участка мишени $9,5 \times 12,5$ 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...0 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. Различают 2 составляющих инерционности: фотоэлектрическая, которая обусловлена физическими процессами в фотомишени и зависит от материала, количества примеси, технологии изготовления и уровня освещенности; и коммутационная — из-за недостаточного значения тока электронного луча, в результате чего потенциальный рельеф на мишени не успевает выравниваться за период развертки. Инерционность уменьшить можно только за счет уменьшения емкости, т.к. увеличивать ток нельзя без потери разрешающей способности или при увеличении освещенности мишени.

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 ПТУ и кинопроекторных установках.

Для устранения недостатка видикона — его инерционности — используют другие материалы мишени: трубки плюмбикон, кремникон и др.

7.6. Плюмбикон

Плюмбикон — название трубки с фотодиодной мишенью из окиси свинца фирмы «Филипс», Нидерланды. Российский аналог называется глетиконом. 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_3 , 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 плюмбикона аналогична конструкции видикона (рис.7.4), отличие заключается в структуре фотомишени, которая представлена на рис.7.6.

Мишень плюмбикона состоит из:

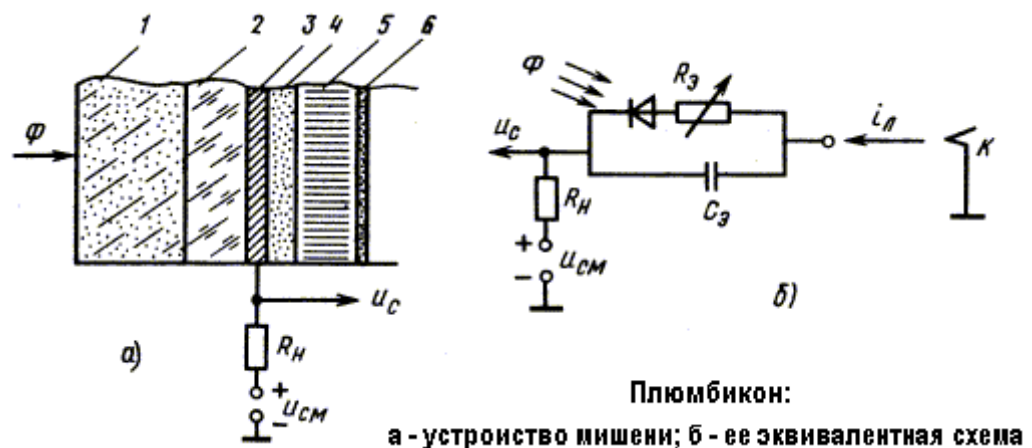


Рис.7.6 — Конструкция фотомишени плюмбикона

1. Противоореольный фильтр.
2. Стекла́нная 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 проводимостью.
6. Прозрачный слой полупроводника p типа с большей проводимостью, чем слой 5.

Сигнальная пластина и слой n прозрачны. Слой i 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 позволяет уменьшить емкость 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 $R_{\text{эт}}$.

Повышенное диффузное рассеяние света 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 ЦТВ.

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_{yc} ВУ.

Существенное преимущество плюмбикона перед видиконом является его малая инерционность (остаточный сигнал спустя кадр $\leq 5\%$). Для большего снижения инерционности при передаче 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) используется специальный антикометный прожектор который «пересвеченные» участки мишени дополнительно считывает лучом с увеличенным током (100...150 мкА) во время обратного хода строки, что обеспечивает полную коммутацию участков мишени с освещенность превышающую нормальную более чем в 30 раз.

7.7. Твердотельные фотоэлектрические преобразователи на ПЗС

Микро миниатюризация ТВ передающей аппаратуры сильно тормозится использованием в качестве преобразователя свет-сигнал электровакуумных приборов, обладающих достаточно большими габаритами и сложной системой управления электронным лучом. Развитие твердотельной технологии и технологии тонкопленочных покрытий позволило разработать твердотельные матричные фотоэлектрические преобразователи. Разработанные в 1969 г. приборы с зарядовой связью (ПЗС) позволили создать твердотельные ФЭП с числом элементов разложения, соответствующим стандарту ТВ вещания.

В основе ПЗС лежат свойства структуры металл-окисел-проводник, способной собирать, накапливать и хранить зарядовые пакеты не основных 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 является последовательный перенос зарядовой информации от элементов к единственному выходному устройству, преобразующему зарядовые пакеты в сигнал изображения, в результате чего формируется жесткий растр.

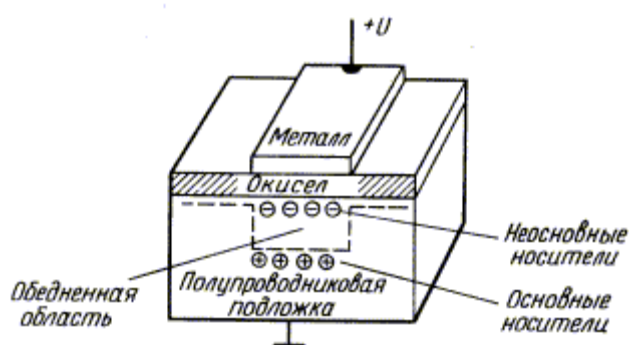


Рис.7.7. Конденсатор МОП структуры

Основу ПЗС составляют конденсаторы МОП структуры (рис. 7.7) одной из обкладок, которого служит металлический электрод, второй — полупроводниковая подложка.

Диэлектриком служит слой двуокиси кремния толщиной 0,01

мм. В полупроводнике дырочного типа основными носителями являются дырки, поэтому если приложить к металлу электроду положительный потенциал, то дырки будут отталкиваться в глубь полупроводника и под электродами образуется область обедненная носителями — потенциальная яма, глубина которой 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 не основных носителей заряда (ННЗ), т.к. в кремнии всегда генерируются пары 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. 7.8.

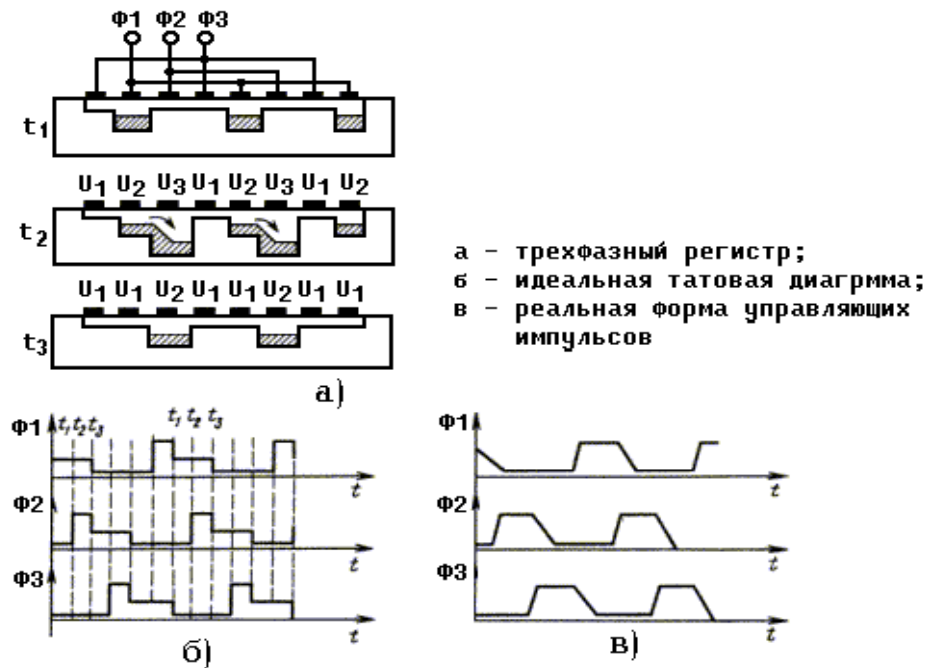


Рис. 7.8 — Принцип перемещения зарядовых пакетов в сдвиговом регистре ПЗС

Каждый электрод прибора подключен к одной из 3 тактовых шин $\Phi 1$, $\Phi 2$, $\Phi 3$. 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 $\Phi 1$ называют режимом хранения. В t_2 на электрод $\Phi 2$ подается $+U_3$, значение которого в (1,5...2) раза больше U_2 (U записи). Под этими электродами образуются более глубокие ямы в которые перетекают электроны из электродов $\Phi 1$. Режим при

котором электроны перетекают из одних из одних потенциальных ям в другие, называют режимом записи. В t_3 $U\Phi 1$, $U\Phi 3$ уменьшается до значения U_2 , что соответствует режиму хранения, а до значение $U\Phi 2$ до U_1 , что предотвращает возврат зарядового пакета назад.

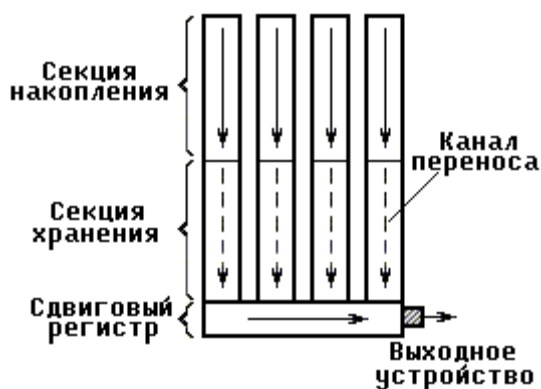


Рис.7.9. Способ организации параллельного считывания

ФЭП на ПЗС делятся на 2 класса:

линейные (одномерные) и матричные (двумерные). Твердотельным аналогом передающей трубки являются матричные ПЗС, где сканирование осуществляется по координатам X и Y . Существует несколько способов считывания матричных ПЗС, однако, наиболее предпочтительным оказывается организация с кадровым переносом (см. рис. 7.9). В этом случае 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, и во время следующего кадра построчно перемещаются в секцию переноса заряда — регистр сдвига. Сдвиг строк в секцию переноса осуществляется во время обратного хода по строкам. Затем зарядовые пакеты строки поэлементно выводятся на выходное устройство.

Световая характеристика ПЗС в рабочем диапазоне освещенностей линейна, спектральная имеет подъем в длинноволновой области спектра и спад на $(0,4...0,5)$ мкм за счет поглощения кремниевой подложкой. Для борьбы с этим в подложке делаются окна. Разрешающая способность определяется числом элементов, которое ограничено технологическими трудностями.

Основным недостатком ПЗС матриц является их большая сложность изготовления, так как неисправность одного элемента вызывает потерю информации всей строки или столбца.

8. ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

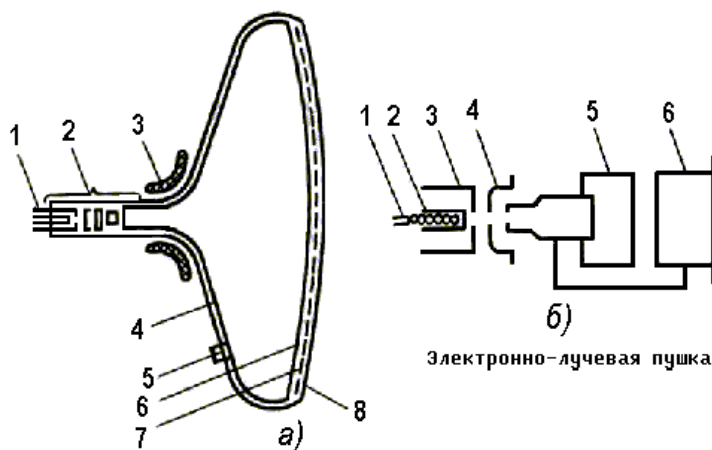
8.1. Кинескопы черно-белого ТВ

Исторически первыми электронно-оптическими преобразователями, нашедшими массовое применение в технике ТВ, явились кинескопы, основанные на использовании эффекта катодolumинесценции - свечения вещества под действием бомбардировки быстролетающих электронов, эмитируемых с катода. Отсюда и наименование этого класса устройств *CRT* (англ. *Catode Ray Tube* — электронно-лучевая трубка (ЭЛТ)).

Кинескопом называется ЭЛТ 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.

Устройство кинескопа прямого наблюдения показано на рис. 8.1.



- 1- цоколь;
- 2- электронно-оптическая система;
- 3- отклоняющая система;
- 4- внутреннее токопроводящее покрытие (аквадаг);
- 5- вывод второго анода;
- 6- тонкое алюминиевое покрытие;
- 7- люминофор;
- 8- стеклянная колба.

Рис.8.1 — Устройство черно-белого кинескопа

Конструктивно кинескоп состоит из 3 основных частей: стеклянной колбы 8, электронно-оптической системы 2, формирующей электронный луч, и люминофорного экрана 7.

Экран представляет собой слой люминофора 7, покрытый тонкой пленкой алюминия 6. На горловине кинескопа помещается отклоняющая система 3, с помощью которой формируется магнитное поле, обеспечивающее перемещение электронного луча в процессе развертки изображения.

Электронно-оптическая система, или электронная пушка, 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 он должен обладать крутой модуляционной характеристикой. Фокусировка луча может осуществляться как электромагнитными, так и электростатическими полями. В большинстве современных кинескопов используется электростатическая фокусировка, чтобы отказаться от дополнительных фокусирующих катушек.

Конструктивно электронная пушка представляет собой систему цилиндрических электродов (рис. 8.1,б) и состоит из подогревателя 1, термокатода 2, модулятора 3, ускоряющего 4 и фокусирующего 5 электродов, второго анода 6. Построенная по такой схеме пушка называется пентодной и соответствует двухлинзовой оптической схеме, фокусировка луча осуществляется в двух зонах: в поле иммерсионного объектива и в поле главной фокусирующей линзы. В иммерсионный объектив входят термокатод 2, модулятор 3 и ускоряющий электрод 4. Благодаря высокой разности потенциалов между катодом и ускоряющим электродом (катод заземлен $U_k = 0$, $U_y = (500...800) \text{ В}$) 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 (при увеличении отрицательного напряжения на модуляторе до $- (10...40)$ В уменьшается 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. В ТВ используется катодолюминесценция – свечение вещества под действием электронной бомбардировки быстролетящих 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 используется люминофор БМ-5, являющийся смесью сульфида цинка ($ZnS(AgZn)$ -47%) и сульфида кадмия ($Cd(Ag)$ -53%), имеющий голубоватый оттенок свечения экрана.

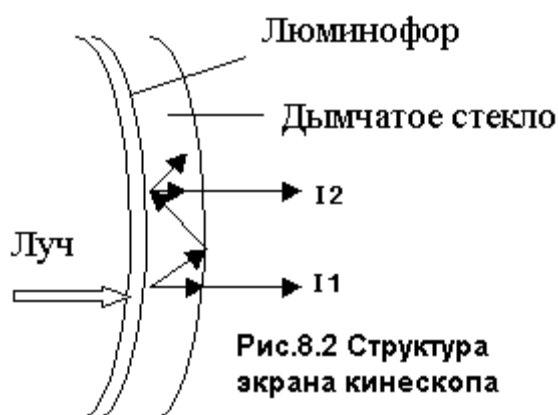
Инерционность определяет длительность возгорания и послесвечения люминофора. Длительность возгорания достаточно мала, поэтому основной составляющей инерционности является длительность послесвечения (время, в течение которого яркость уменьшается до $0,01B_{\text{макс}}$ после прекращения возбуждения). 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 кд/Вт до 15 кд/Вт.

С достаточной точностью можно считать, что

$$I = kP = k i_{\text{л}} u_2.$$

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 заметной расфокусировке, то необходимо повышать ускоряющее напряжение. Потенциал экрана необходимо поддерживать равным потенциалу второго анода (для черно-белых ТВ составляет (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, повышая светоотдачу 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.



Существенно снижает контраст мелких и средних деталей явление ореола, который образуется вследствие того, что часть расходящихся световых лучей, пройдя сквозь толщу стекла экрана (см. рис. 8.2), на границе стекло-воздух отражается обратно, освещая соседние участки. В результате яркая точка экрана оказывается окруженной

менее ярким кольцом — ореолом, что и является причиной снижения контраста. Для борьбы с этим явлением экран современного кинескопа изготавливают из специального стекла, являющегося нейтральным фильтром — дымчатого, контрастного, противоореольного, которое повышает контраст примерно в 15 раз.

8.2. Цветной дельта кинескоп

Для получения цветного изображения в большинстве современных ТВ приемников используется один электровакуумный прибор — цветной кинескоп, в котором цветные изображения формируются из трех цветоделенных методом пространственного смещения цветов. При этом используется трехрастровая система: формируются 3 отдельных раstra (красный, зеленый, синий), с достаточной степенью точности совмещенные друг с другом. Эта система предполагает наличие трех электронных пушек и трех люминофорных групп, спектральное излучение которых соответствует красному, синему и зеленому цветам, а правильность попадания каждого из лучей на люминофор своего цвета обеспечивается специальной мелкоячеистой стальной сеткой, расположенной перед люминофорами, которая называется теневой маской. Поэтому такие кинескопы называются масочными. По способу расположения электронных пушек и люминофорных групп различают дельта-кинескопы, в которых пушки и люминофоры расположены в вершинах равностороннего треугольника и на компланарные, в которых пушки и люминофорные группы находятся в одной плоскости.

Структура дельта кинескопа показана на рис. 8.3, на котором обозначено:

- 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.

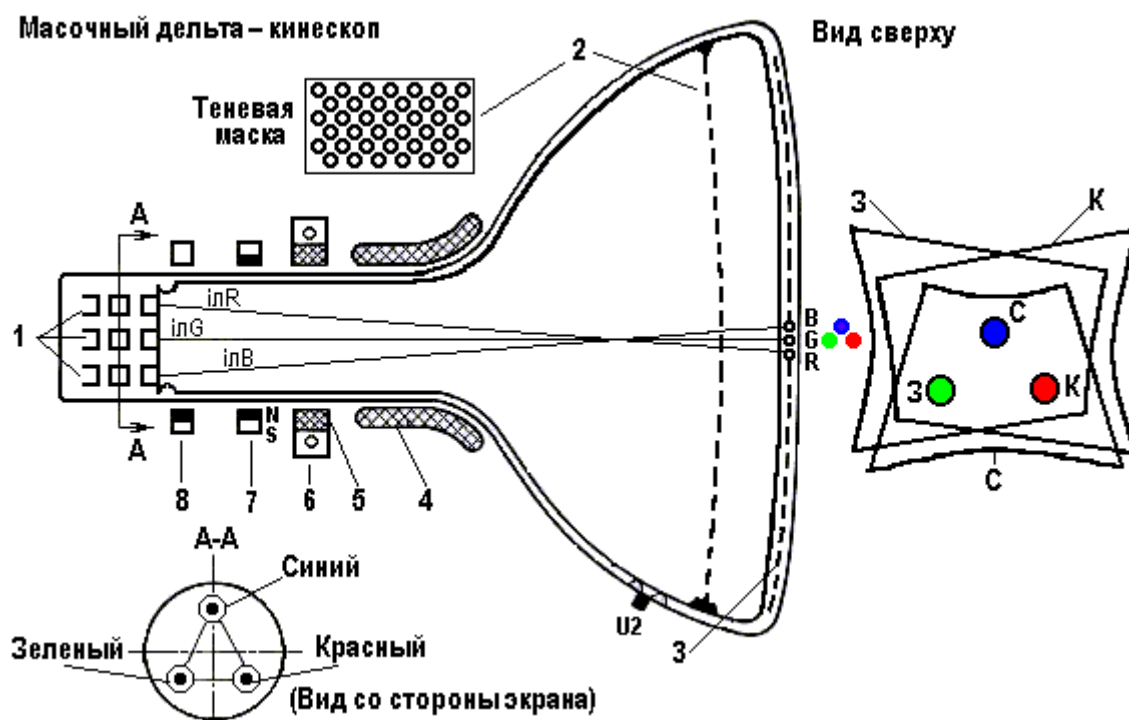


Рис. 8.3 — Конструкция масочного дельта-кинескопа

Конструктивно кинескоп представляет собой стеклянную колбу с люминофорным мозаичным экраном 3, внутри которого расположены 3 электронные пушки для красного, синего и зеленого цвета (*RGB*), которые расположены в вершинах равностороннего треугольника и имеют наклон к оси кинескопа примерно 1 градус. Для направления электронных лучей на «свои» люминофоры используется тенева маска 2 установленная на расстоянии 12 мм от экрана, которая выполнена из листовой стали толщиной 0.15мм, имеющая отверстия диаметром 0,25 мм, число которых равно числу люминофорных триад ($550000 \times 3 = 1650000$). Для отклонения лучей используется внешняя отклоняющая система 4.

Из-за особенностей конструкции дельта-кинескопов, в них возникает большое количество специфических искажений, для устранения которых приходится вводить дополнительные внешние элементы: магниты чистоты цвета 7 и 8, корректирующие неточность установочных углов пушек, положение отклоняющей системы и магнитного поля Земли, устройства статического и динамического сведения лучей 5 и 6, обеспечивающие точность

сведения лучей в центре и по краям экрана. Эти узлы значительно усложняют конструкцию и настройку ТВ.

Кроме того, теневая маска имеет низкую прозрачность (примерно 20%), поэтому чтобы не падала яркость свечения экрана приходится увеличивать напряжение 2 анода до (25...30) кВ.

Недостатки:

- сложность регулировки динамического сведения лучей, поскольку 3 смещенные относительно оси кинескопа пушки формируют 3 смещенных относительно друг друга трапецеидальных раstra;
- малая прозрачность теневой маски (20%) требует большой мощности источника питания второго анода 25 кВ;
- повышенная электронная бомбардировка маски может вызвать ее термическую деформацию, что нарушает режим сведения лучей.

8.3. Цветной компланарный кинескоп

Конструкция масочного планарного цветного кинескопа в целом аналогична конструкции дельта кинескопу, но с другим расположением пушек и люминофорных групп (рис. 8.4).

Конструктивно кинескоп представляет собой стеклянную колбу с люминофорным мозаичным экраном 3, внутри которого расположены 3 электронные пушки для красного, синего и зеленого цвета (*RGB*), которые, в отличие от дельта кинескопа, 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 теневая маска 2, установленная на расстоянии 12 мм от экрана. Маска выполнена из листовой стали толщиной 0,15 мм и имеет отверстия в виде щелевых прорезей с горизонтальными перемычками для прочности, как показано на рис. 8.4; число щелей равно числу люминофорных триад ($550000 \times 3 = 1\ 650\ 000$). Для отклонения лучей используется внешняя отклоняющая система 4.

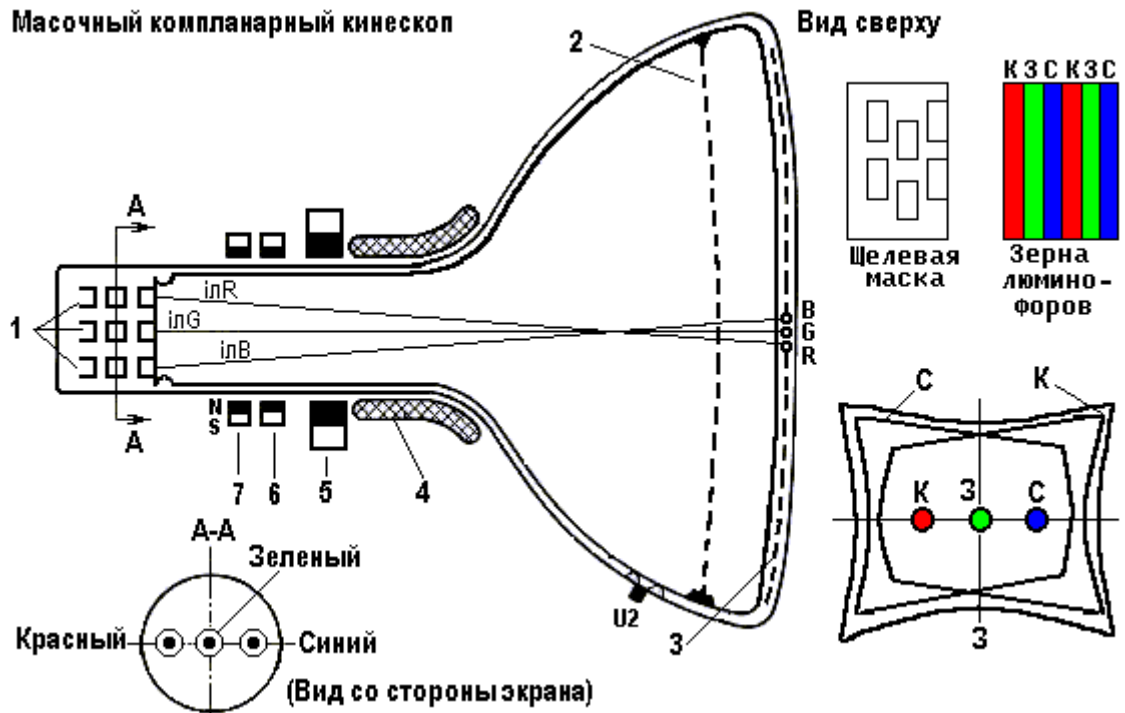


Рис. 8.4. — Конструкция компланарного кинескопа

Основные преимущества такого кинескопа:

- расположение прожекторов в одной плоскости упрощает механизм динамического сведения лучей, так как отклонения растров симметричны и проявляются для красного и синего лучей; совмещение растров необходимо только в горизонтальной плоскости;
- повышается яркость свечения экрана, так как у щелевой маски прозрачность выше;
- улучшается чистота цвета, так как «чужой» луч может попасть на другую полосу только в горизонтальном направлении;
- появляется возможность построить кинескопы по принципу самосведения лучей. В равномерном магнитном поле отклонение лучей приводит к расслоению вертикальных линий слева и справа, а оно может быть скорректировано неравномерным магнитным полем. Это достигается подбором формы и плотности распределения витков

катушек отклоняющих систем, и позволяет отказаться от сложных схем динамического и статического сведения лучей.

8.4. Жидкокристаллические воспроизводящие устройства

8.4.1. Технические характеристики жидкокристаллических воспроизводящих устройств

Жидкокристаллическое (ЖК) индикаторное устройство или *LCD (Liquid crystal display)* — плоский дисплей на основе жидких кристаллов [1].

Воспроизводящее устройство на жидких кристаллах используется для отображения графической информации в телевизионных приемниках, компьютерных мониторах (также и в ноутбуках, телефонах, цифровых фотоаппаратах, электронных книгах, навигаторах, электронных переводчиках, калькуляторах, часах, а также во многих других электронных устройствах). Изображение в нём формируется с помощью отдельных элементов, как правило, через систему развёртки. Многоцветное изображение формируется с помощью *RGB*-триад.

Производители жидкокристаллических телевизионных воспроизводящих устройств выделяют следующие важнейшие характеристики:

- разрешение — горизонтальный и вертикальный размеры, выраженные в пикселях; в отличие от ЭЛТ-экранов, ЖК имеют одно фиксированное разрешение, остальные достигаются интерполяцией;

- размер точки (размер пикселя) — расстояние между центрами соседних пикселей; этот параметр непосредственно связан с физическим разрешением;

- соотношение сторон экрана (пропорциональный формат) — отношение ширины к высоте (5:4, 4:3, 3:2, 8:5, 5:3, 16:9, 16:10 и др.);

- видимая диагональ — размер самого экрана, измеренный по диагонали; площадь дисплеев зависит также от формата: экран с форматом 4:3 имеет большую площадь, чем с форматом 16:9 при одинаковой диагонали;

- контрастность — отношение яркостей самой светлой и самой тёмной

точек; в некоторых воспроизводящих устройствах используется адаптивный уровень подсветки с использованием дополнительных ламп, приведённая для них цифра контрастности (так называемая динамическая) не относится к статическому изображению;

— яркость — количество света, излучаемое дисплеем, обычно измеряется в канделах на квадратный метр ;

— время отклика — минимальное время, необходимое пикселю для изменения своей яркости;

— угол обзора — угол, при котором падение контраста достигает заданного; Этот угол для разных типов матриц и разными производителями вычисляется по-разному, и часто не подлежит сравнению (некоторые производители указывают в технических параметрах своих мониторов параметр *CR*). Аббревиатура *CR* (*contrast rate*) обозначает уровень контрастности при указанных углах обзора относительно перпендикуляра к экрану. При углах обзора $170^{\circ}/160^{\circ}$ контрастность в центре экрана снижается до значения не ниже, чем 10:1, при углах обзора $176^{\circ}/176^{\circ}$ — не ниже, чем до значения 5:1;

— тип матрицы: технология, по которой изготовлен ЖК экран [2].

8.4.2. Устройство и принцип действия жидкокристаллического индикаторного устройства

Конструктивно такое воспроизводящее устройство состоит из ЖК матрицы (стеклянной пластины, между слоями которой располагаются жидкие кристаллы), источников света для подсветки, контактного жгута и обрамления (корпуса), чаще всего пластикового, с металлической рамкой жёсткости. Каждый пиксель ЖК матрицы состоит из слоя молекул между двумя прозрачными электродами, и двух поляризационных фильтров, плоскости поляризации которых (как правило) перпендикулярны.

Устройство субпиксела цветного жидкокристаллического экрана изображено на рис. 8.5.

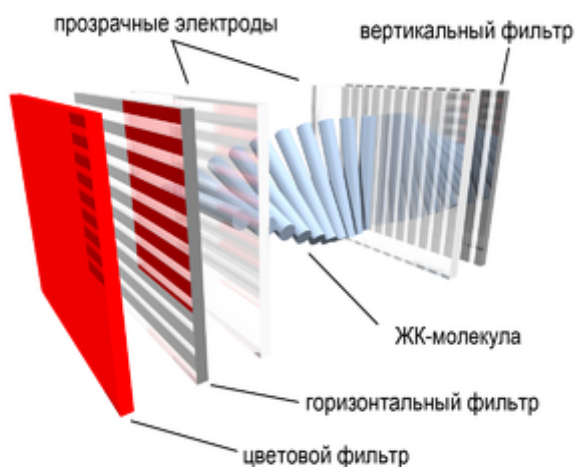


Рис. 8.5 — Устройство субпиксела цветного жидкокристаллического экрана

В отсутствие жидких кристаллов свет, пропускаемый первым фильтром, практически полностью блокируется вторым. Поверхность электродов, контактирующая с жидкими кристаллами, специально обработана для изначальной ориентации молекул в одном направлении.

В *TN* (*Twisted Nematic*)-матрице эти направления взаимно перпендикулярны, поэтому молекулы в отсутствие напряжения выстраиваются в винтовую структуру. Эта структура преломляет свет таким образом, что до второго фильтра плоскость его поляризации поворачивается и через него свет проходит уже без потерь. Если не считать поглощения первым фильтром половины неполяризованного света, ячейку можно считать прозрачной. Если же к электродам приложено напряжение, то молекулы стремятся выстроиться в направлении электрического поля, что искажает винтовую структуру. При этом силы упругости противодействуют этому, и при отключении напряжения молекулы возвращаются в исходное положение.

При достаточной величине поля практически все молекулы становятся параллельны, что приводит к непрозрачности структуры. Варьируя напряжение, можно управлять степенью прозрачности. Если постоянное напряжение приложено в течение долгого времени, жидкокристаллическая структура может деградировать из-за миграции ионов. Для решения этой

проблемы применяется переменный ток или изменение полярности поля при каждой адресации ячейки (так как изменение прозрачности происходит при включении тока, вне зависимости от его полярности).

Во всей матрице можно управлять каждой из ячеек индивидуально, но при увеличении их количества это становится трудновыполнимо, так как растёт число требуемых электродов. Поэтому практически везде применяется адресация по строкам и столбцам.

Проходящий через ячейки свет может быть естественным — отражённым от подложки (в ЖК дисплеях без подсветки). Но чаще применяют искусственный источник света, кроме независимости от внешнего освещения это также стабилизирует свойства полученного изображения.

ЖК матрицы разделяют на пассивные и активные. Для управления ячейками пассивной матрицы используются прозрачные полосы-электроды. Они нанесены на стекла, между которыми находится ЖК вещество, причем с одной стороны полосы нанесены горизонтально, а с другой вертикально, образуя решетчатую структуру.

На пересечении электродов как раз и находятся ячейки. В пассивной матрице можно управлять одновременно только ячейками одной строки. При переходе к управлению следующей строкой, изображение, сформированное на предыдущей строке, постепенно исчезает.

Такая матрица требует довольно большого времени для обновления изображения, то есть частота мельканий довольно низкая. Пассивные матрицы применяются только там, где не требуется высокой частоты обновления экрана — в часах, сотовых телефонах и т.д.

Устройство активной ЖК матрицы показано на рис. 8.6.

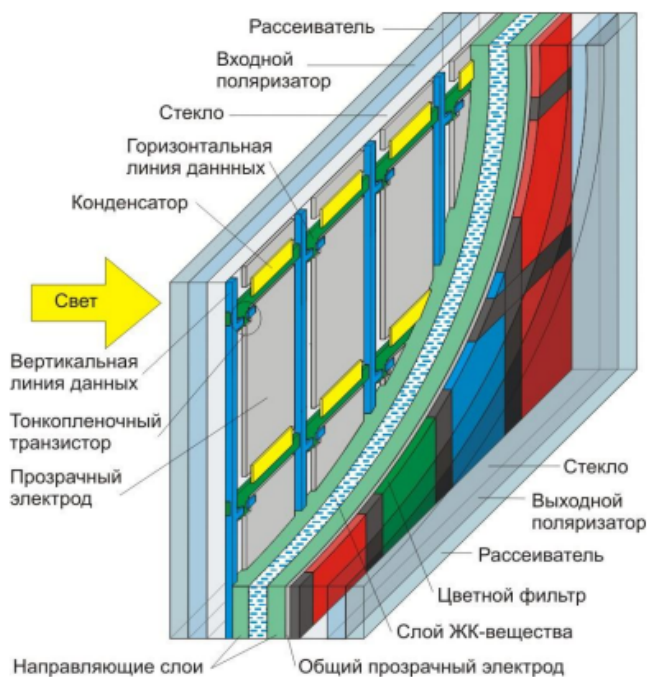


Рис. 8.6 — Устройство активной ЖК матрицы

8.4.3. Достоинства и недостатки ЖК воспроизводящих устройств

К преимуществам жидкокристаллических воспроизводящих устройств можно отнести прежде всего малый размер «в глубину» и вес в сравнении с ЭЛТ. Кроме того у ЖК ТВ приемников, в отличие от ЭЛТ, нет видимого мерцания, дефектов фокусировки лучей, помех от магнитных полей, проблем с геометрией изображения и четкостью. Энергопотребление ЖК телевизионного приемника в зависимости от модели, настроек и выводимого изображения может как совпадать с потреблением ЭЛТ и плазменных экранов сравнимых размеров, так и быть существенно меньше — до пяти раз. Энергопотребление ЖК воспроизводящего устройства на 95% определяется мощностью ламп подсветки или светодиодной матрицы подсветки (англ. *backlight* — задний свет) ЖК матрицы. Во многих воспроизводящих устройствах для настройки пользователем яркости свечения экрана используется широтно-импульсная модуляция ламп подсветки частотой от 150 Гц до 400 Гц и более.

Жидкокристаллические ТВ приемники имеют и некоторые недостатки, часто принципиально трудноустраняемые. В отличие от ЭЛТ, ЖК воспроизводящие устройства могут отображать чёткое изображение лишь в

одном («штатном») разрешении. Остальные достигаются интерполяцией с потерей чёткости. Причем слишком низкие разрешения (например 320×200 точек) вообще не могут быть отображены на многих мониторах. Цветовой охват и точность цветопередачи ниже, чем у плазменных панелей и ЭЛТ соответственно. Это связано с тем, что субпиксели ЖК матрицы не являются светоизлучающими элементами, а представляют собой фильтры, пропускающие свет от белых ламп подсветки. Спектральные характеристики пропускания фильтров делают широкими, чтобы увеличить яркость. Поэтому цвета субпикселей получаются ненасыщенными, а значит, панель имеет небольшой цветовой охват [4]. Это означает, что хоть она и передает 16,8 миллионов цветов, среди них нет таких, которые может передать, например, ЭЛТ или плазменная панель. Важно не только количество передаваемых цветов, но и то, какие это цвета. На рис. 8.7 изображены градации основных цветов для ЭЛТ и *LCD*.

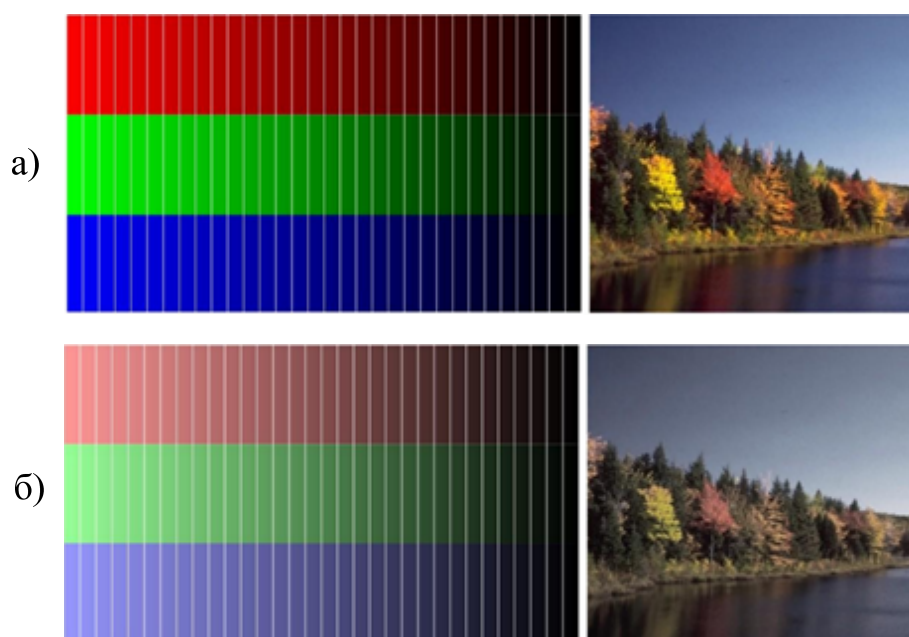


Рис. 8.7 — Сравнение цветопередачи ЭЛТ (а) и *LCD* (б)

В обоих случаях количество градаций одинаково, то есть оба устройства передают одинаковое количество цветов. Однако цвета, передаваемые ЭЛТ, имеют насыщенность, изменяющуюся в больших пределах, чем цвета, передаваемые *LCD*.

Также на многих ТВ жидкокристаллических приемниках есть неустраняемая неравномерность передачи яркости (полосы в градиентах). Многие из них имеют сравнительно малый контраст и глубину чёрного цвета. Повышение фактического контраста часто связано с простым усилением яркости подсветки, вплоть до некомфортных значений. Широко применяемое глянцевое покрытие матрицы влияет лишь на субъективную контрастность в условиях внешнего освещения. Из-за жёстких требований к постоянной толщине матриц существует проблема неравномерности однородного цвета (неравномерность подсветки). Фактическая скорость смены изображения также остаётся ниже, чем у ЭЛТ и плазменных дисплеев. Зависимость контраста от угла обзора до сих пор остаётся существенным минусом технологии. Массово производимые *LCD* ТВ приемники плохо защищены от повреждений. Особенно чувствительна матрица, незащищённая стеклом. При сильном нажатии возможна необратимая деградация. Также существует проблема дефектных пикселей. В процессе использования пиксели ТВ приемника ЖК технологии деградируют, хотя скорость деградации наименьшая из всех технологий отображения, за исключением лазерных дисплеев, не подверженных деградации пикселей.

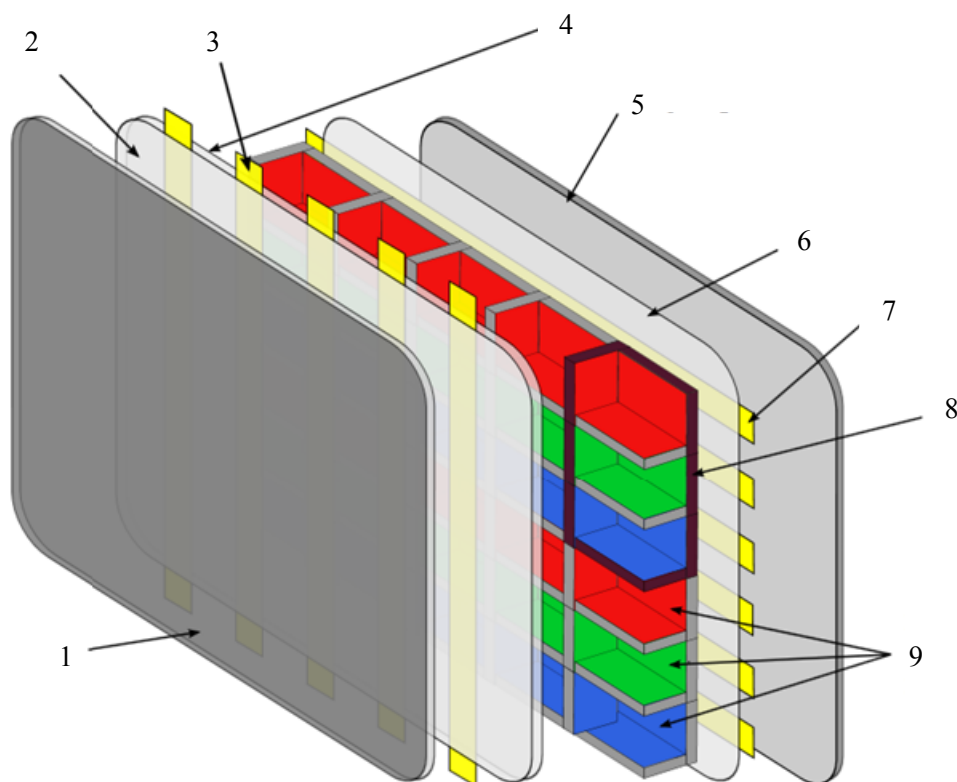
8.5. Воспроизводящие устройства на основе плазменной технологии

8.5.1. Устройство и принцип действия воспроизводящего устройства на основе плазменной технологии

Плазменный экран или *PDP* (*Plasma Display Panel*) — это газоразрядный экран, основанный на явлении свечения люминофора под воздействием ультрафиолетовых лучей, возникающих при электрическом разряде в ионизированном газе (в плазме).

ТВ приемник с плазменным воспроизводящим устройством представляет собой матрицу газонаполненных ячеек, заключенных между двумя параллельными стеклянными пластинами, внутри которых расположены прозрачные электроды, образующие соответственно шины сканирования,

подсветки и адресации (см. рис. 8.8).



1 — передняя стеклянная панель; 2 — диэлектрический слой; 3 — экранирующие электроды; 4 — окисное покрытие; 5 — тыльное зеркальное стекло; 6 — диэлектрический слой; 7 — адресные электроды; 8 — пиксель; 9 — фосфорное покрытие плазменной ячейки.

Рис. 8.8 — Устройство экрана ТВ приемника с плазменным воспроизводящим устройством

Разряд в газе протекает между разрядными электродами (сканирования и подсветки) на лицевой стороне экрана и электродом адресации на задней стороне. Передний электрод изготавливается из оксида индия и олова, который является токопроводящим и максимально прозрачен. При протекании больших токов по относительно большому плазменному экрану из-за сопротивления проводников возникает существенное падение напряжения, приводящее к искажениям сигнала, в связи с чем добавляют промежуточные проводники из хрома, несмотря на его непрозрачность. Для создания плазмы ячейки обычно

заполняются газом — неоном или ксеноном (реже используется *He* и/или *Ar*, или, чаще, их смеси).

Существующая проблема в адресации миллионов пикселей решается расположением пары передних дорожек в виде строк (шины сканирования и подсветки), а каждой задней дорожки в виде столбцов (шина адресации). Внутренняя электроника плазменных экранов автоматически выбирает нужные пиксели. Эта операция проходит быстрее, чем сканирование лучом на электролучевых ТВ приемниках. В последних моделях *PDP* обновление экрана происходит на частотах (400...600) Гц, что не позволяет человеческому глазу замечать мерцания экрана. На рис. 8.9 показана схема плазменной ячейки.

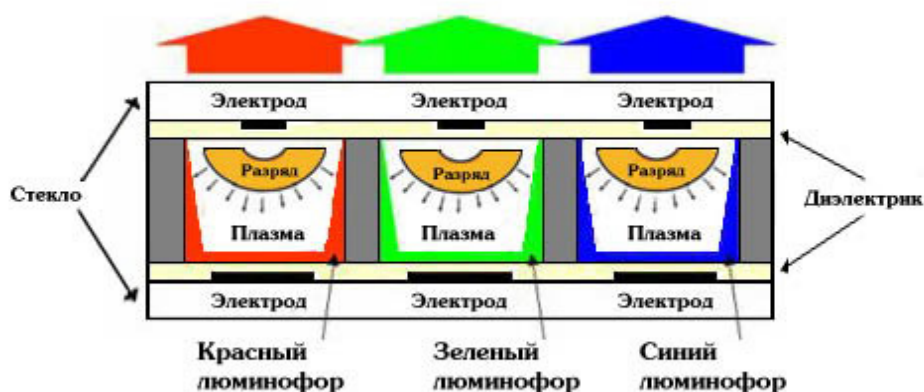


Рис. 8.9 — Схема плазменной ячейки (пикселя).

Работа ТВ приемника с плазменным воспроизводящим устройством состоит из трех следующих этапов:

— инициализация, в ходе которой 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. На первой ступени этого импульса происходит упорядочивание расположения ионной газовой среды, на второй

ступени разряд в газе, а на третьей — завершение упорядочивания;

— адресация, в ходе которой происходит подготовка пикселя к подсвечиванию. На шину адресации подается положительный импульс (+75 В), а на шину сканирования отрицательный (–75 В). На шине подсветки напряжение устанавливается равным +150 В;

— подсветка, в ходе которой на шину сканирования подается положительный, а на шину подсветки отрицательный импульс, равный 190 В. Сумма потенциалов ионов на каждой шине и дополнительных импульсов приводит к превышению порогового потенциала и разряду 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 ячейки.

Один цикл «инициализация — адресация — подсветка» образует 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 ультрафиолетовому излучению, которое вызывает свечение люминофора: красное, зелёное или синее. Это свечение, проходящее через переднюю стеклянную пластину, и наблюдает зритель.

8.5.2. Достоинства и недостатки воспроизводящего устройства на основе плазменной технологии

ТВ приемники с плазменным воспроизводящим устройством имеют ряд достоинств. Среди них — высокая контрастность, лучшая, по сравнению с жидкокристаллическими и электrolучевыми ТВ приемниками. *PDP* не имеют инерционности, свойственной ЖК приемникам; время отклика *PDP* невелико.

По сравнению с ЖК ТВ приемниками, плазменные имеют большой угол обзора; свойства и качество картинки не изменяются в зависимости от позиции наблюдателя. По сравнению с ЭЛТ, они имеют очень высокую чёткость изображения, обусловленную тем, что нет проблем со сведением лучей, характерных для ЭЛТ. Также по сравнению с ЭЛТ нет мерцания изображения, следовательно, при длительном просмотре не устают глаза. Они нечувствительны к электромагнитным полям.

К недостаткам можно отнести высокое энергопотребление, высокую стоимость, выгорание люминофора в неподвижных частях экрана; размер пикселя больше, чем у *LCD*.

Перспективной технологией, которая может заменить ЖК и плазменные ТВ приемники, часто считают *OLED* (матрица с органическими светодиодами).

8.6. Воспроизводящие устройства на основе органических светодиодов

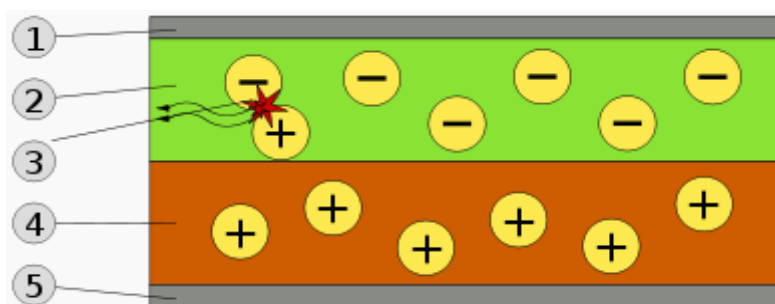
8.6.1. Устройство и принцип действия воспроизводящих устройств *OLED* технологии

Данная технология основана на использовании органических светодиодах (*Organic Light-Emitting Diode (OLED)*). Органический светоизлучающий диод — это полупроводниковый прибор, изготовленный из органических соединений, который эффективно излучает свет, если пропустить через него электрический ток.

Для создания органических светодиодов используются тонкопленочные многослойные структуры, состоящие из слоев нескольких полимеров. При подаче на анод положительного относительно катода напряжения, поток электронов протекает через прибор от катода к аноду. Таким образом, катод отдает электроны в эмиссионный слой, а анод забирает электроны из проводящего слоя, или другими словами анод отдает дырки в проводящий слой. Эмиссионный слой получает отрицательный заряд, а проводящий слой положительный. Под действием электростатических сил электроны и дырки

двигаются навстречу друг к другу и при встрече рекомбинируют. Это происходит ближе к эмиссионному слою, потому что в органических полупроводниках дырки обладают большей подвижностью, чем электроны. При рекомбинации происходит понижение энергии электрона, которое сопровождается испусканием (эмиссией) электромагнитного излучения в области видимого света. Поэтому слой и называется эмиссионным.

Структура 2х-слойного *OLED* воспроизводящего устройства изображена на рис. 8.10.



1 — катод; 2 — эмиссионный слой; 3 — испускаемое излучение; 4 — проводящий слой; 5 — анод.

Рис. 8.10 — Структура 2-хслойного *OLED* воспроизводящего устройства

8.6.2. Модификации воспроизводящих устройств, выполненных по технологии *OLED*

Как и все *OLED*, *PHOLED* (*Phosphorescent OLED*) функционируют следующим образом: электрический ток подводится к органическим молекулам, которые испускают яркий свет. Однако, *PHOLED* используют принцип электрофосфоресценции, чтобы преобразовать до 100% электрической энергии в свет. Тогда как традиционные флуоресцентные *OLED* преобразовывают в свет приблизительно (25...30)% электрической энергии. Из-за их чрезвычайно высокого уровня эффективности преобразования энергии, даже по сравнению с другим *OLED*, *PHOLED* изучаются для потенциального использования в больших дисплеях типа телевизионных мониторов или

экранов для потребностей освещения. Также к преимуществам *PHOLED*-дисплеев можно отнести яркие, насыщенные цвета, а также достаточно долгий срок службы.

SOLED (Staked OLED) — технология экрана от *UDC* (сложенные *OLED*). *SOLED* используют следующую архитектуру: изображение подпикселей складывается (красные, синие и зеленые элементы в каждом пикселе) вертикально вместо того, чтобы располагаться рядом, как это происходит в ЖК-дисплее или электронно-лучевой трубке. В *SOLED* каждым элементом подпикселя можно управлять независимо. Цвет пикселя может быть отрегулирован при изменении тока, проходящего через три цветных элемента (в нецветных дисплеях используется модуляция ширины импульса). Яркостью управляют, меняя силу тока. Преимущества *SOLED*: высокая плотность заполнения дисплея органическими ячейками, посредством чего достигается хорошее разрешение, а значит, высококачественная картинка.

TOLED (Transparent and Top-emitting OLED) — технология, позволяющая создавать прозрачные (*Transparent*) ТВ приемники, а также достигнуть более высокого уровня контрастности.

Прозрачные *TOLED* дисплеи: направление излучения света может быть только вверх, только вниз или в оба направления (прозрачный). *TOLED* может существенно улучшить контраст, что улучшает читабельность экрана ТВ приемника при ярком солнечном свете.

Так как *TOLED* на 70% прозрачны при выключении, то их можно крепить прямо на лобовое стекло автомобиля, на витрины магазинов или для установки в шлеме виртуальной реальности. Также прозрачность *TOLED* позволяет использовать их с металлом, фольгой, кремниевым кристаллом и другими непрозрачными подложками для дисплеев с отображением вперед (могут использоваться в будущих динамических кредитных картах). Прозрачность экрана достигается при использовании прозрачных органических элементов и материалов для изготовления электродов.

За счёт использования поглотителя с низким коэффициентом отражения

для подложки *TOLED* воспроизводящего устройства ТВ приемника контрастное отношение может на порядок превзойти ЖК. По технологии *TOLED* также можно изготавливать многослойные устройства (например *SOLED*) и гибридные матрицы.

FOLED (Flexible OLED) — главная особенность — гибкость *OLED* воспроизводящего устройства ТВ приемника. Используется пластик или гибкая металлическая пластина в качестве подложки с одной стороны и *OLED* ячейки в герметичной тонкой защитной пленке — с другой. Преимущества *FOLED*: ультратонкость дисплея, сверхнизкий вес, прочность, долговечность и гибкость, которая позволяет *OLED* телевизионным устройствам иметь очень широкое применение.

8.6.3. Достоинства и недостатки воспроизводящих устройств *OLED* технологии

В сравнении с плазменными телевизионными приемниками *OLED* имеют меньшие габариты и вес, более низкое энергопотребление при той же яркости, возможность создания гибких экранов.

В сравнении с *LCD*, *OLED* имеют меньшие габариты и вес, отсутствует необходимость в подсветке, отсутствует такой параметр как угол обзора — изображение видно без потери качества с любого угла, отклик на порядок выше, чем у *LCD* (практически полное отсутствие инерционности), более качественная цветопередача (высокий контраст), возможность создания гибких экранов, большой диапазон рабочих температур: от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Телевизионные приемники с *OLED* экранами обеспечивают яркость излучения от нескольких кд/м^2 (для ночной работы) до очень высоких яркостей — свыше $100\,000\text{ кд/м}^2$, причем их яркость может регулироваться в очень широком динамическом диапазоне. Так как срок службы дисплея обратно пропорционален его яркости, для приборов рекомендуется работа при более умеренных уровнях яркости до 1000 кд/м^2 . При освещении *LCD* ярким лучом света появляются блики, а картинка на *OLED* ТВ приемнике останется яркой и насыщенной при любом уровне освещенности (даже при прямом попадании

солнечных лучей на дисплей). *OLED* обладают контрастностью 1000000:1 (для сравнения: контрастность *LCD* — 5000:1, ЭЛТ — 2000:1). Технология *OLED* позволяет смотреть на поверхность воспроизводящего устройства с любой стороны и под любым углом, причем без потери качества изображения. Впрочем, современные ЖК телевизионные приемники (за исключением основанных на *TN+Film* матрицах) также сохраняют приемлемое качество картинки при больших углах обзора.

Однако существует и ряд недостатков: маленький срок службы люминофоров некоторых цветов (порядка (2...3) лет), как следствие первого, невозможность создания долговечных полноценных *TrueColor* дисплеев, дороговизна и неотработанность технологии по созданию больших матриц.

Главная проблема для *OLED* — время непрерывной работы должно быть более 15 тыс. часов. Одна проблема, которая в настоящее время препятствует широкому распространению этой технологии, состоит в том, что «красный» *OLED* и «зелёный» *OLED* могут непрерывно работать на десятки тысяч часов дольше, чем «синий» *OLED*. Это визуально искажает изображение, причем время качественного показа неприемлемо для коммерчески жизнеспособного устройства. На сегодняшний день время непрерывной работы «синего» *OLED* достигает отметки 17,5 тыс. часов.

9. ИСКАЖЕНИЯ ТВ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Качество ТВ изображения. Для полностью тождественной передачи изображения окружающего нас мира необходима стереоцветная система с очень высокими качественными параметрами. Пока подобную систему реализовать не представляется возможным, и поэтому к качественным параметрам ТВ изображения относятся: число строк, число кадров, число мельканий в одну с, число полутонов и их распределение в динамическом диапазоне изменения яркости, цветовой охват и др, которые определяют номинальное качество ТВ изображения, воспроизводимого данной системой. Кроме этих ограничений соответствие изображения оригиналу уменьшается из-за искажений, возникающих практически во всех элементах ТВ системы. Объективная и субъективная оценки параметров и искажений ТВ системы, условия наблюдения и обработка результатов также регламентированы.

Рассмотрим основные виды искажений и методы их оценки.

9.1. Геометрические (координатные) искажения

Геометрические искажения возникают из-за изменения координат передаваемых элементов, проявляются в виде нарушения геометрического подобия ТВ изображения оригиналу. Геометрическое подобие нарушается в основном из-за не идентичности формы раstra и относительных скоростей строчной и кадровой разверток при анализе и синтезе изображения.

Различают линейные и нелинейные растровые искажения.

На рис. 9.1 представлены основные типы линейных растровых искажений, к которым относятся: подушкообразные, бочкообразные, трапецеидальные.

Оценка производится по специальным квадратным или прямоугольным элементам, входящим в состав специализированных или универсальных испытательных таблиц с помощью коэффициентов геометрических искажений, визуально ее легче производить по испытательным элементам в форме окружностей и по всему полю изображения.

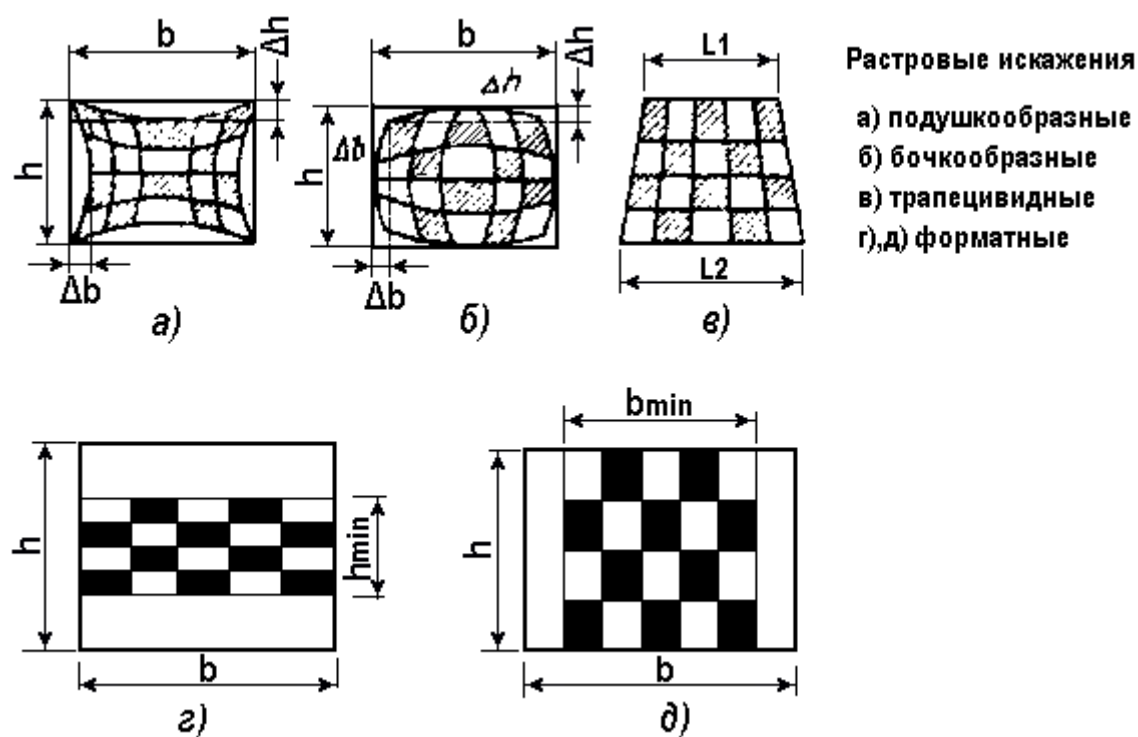


Рис. 9.1 — Геометрические искажения изображения «шахматного поля», возникающие из-за искажений формы раstra

Подушкообразные искажения раstra возникают из-за несоответствия линейной скорости развертывающего луча в центральной и периферийной части экрана за счет проекции на плоский экран электронных лучей отклоняемых по радиусу. При постоянной угловой скорости движения луча по мере удаления от центра экрана увеличивается длина луча, что приводит к возрастанию его линейной скорости, а следовательно к растягиванию изображения в по краям экрана (рис. 9.1,а). Для борьбы с подушкообразными искажениями применяют специальные методы коррекции формы отклоняющего тока, замедляющие скорость перемещения луча периферийной части экрана или изменяя размеры сорок, увеличивая центральные и сжимая по краям.

Бочкообразные искажения возникают в результате перекоррекции подушкообразных (рис 9.1,б). Подушкообразные и бочкообразные искажения оцениваются коэффициентом геометрических искажений по формулам

$$\kappa_z = \frac{\Delta h}{b} 100\% \quad \text{или} \quad \kappa_z = \frac{\Delta b}{h} 100\% .$$

Трапециидальные искажения возникают из-за нарушения оптической и электрической оси к плоскости изображения (рис. 9.1,в).

$$k_{zm} = 2 \frac{L2 - L1}{L1 + L2} * 100\% .$$

Искажения формата кадра могут возникать из-за нарушения соотношения величин отклоняющих токов строчной и кадровой разверток (рис.9.1.г, д.). Оценка величин данного типа искажений нецелесообразна, так как они легко корректируются органами регулировок размеров изображения по горизонтали и вертикали. Нелинейные геометрические искажения (рис. 9.2) возникают из-за непостоянства скоростей движения лучей по вертикали или горизонтали, то есть из-за нелинейности токов кадровой (рис. 9.2,а) или строчной развертки (рис. 9.2,б).

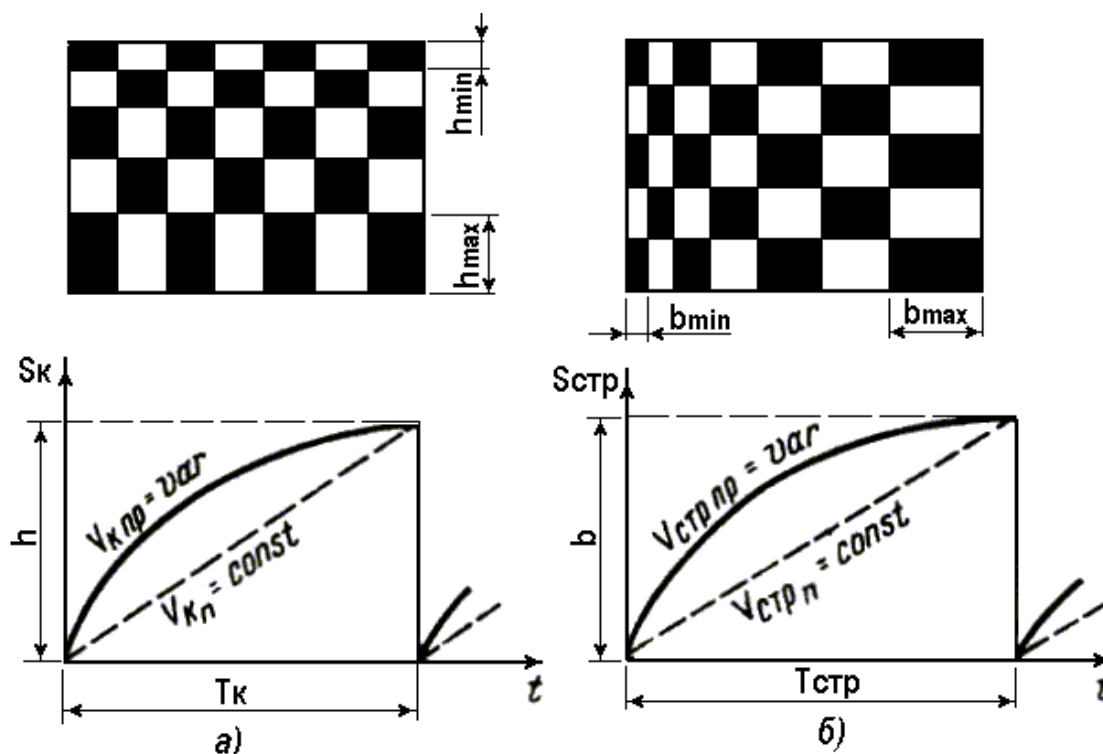


Рис. 9.2 — Геометрические искажения изображения, возникающие из-за нелинейности строчной и кадровой разверток

Коэффициенты геометрических искажений в вертикальном и горизонтальном направлении оцениваются следующим образом

$$k_{\text{зв}} = 2 \frac{h_{\text{max}} - h_{\text{min}}}{h_{\text{max}} + h_{\text{min}}} * 100\%; \quad k_{\text{зг}} = 2 \frac{b_{\text{max}} - b_{\text{min}}}{b_{\text{max}} + b_{\text{min}}} * 100\%.$$

Человеческий глаз слабо замечает нелинейные искажения. Так нелинейность развертки до 5% в любом направлении практически незаметны, а при (8...12)% изображение воспринимается как хорошее.

9.2. Полутонные (градационные) искажения

При воспроизведении ТВ изображений динамический диапазон изменения яркости — контраст и число воспроизводимых градаций ограничиваются:

- параметрами кинескопа: размером экрана, максимальной яркостью, контрастом в крупных и мелких деталях и др.;
- рациональным выбором режима работы кинескопа: яркостью и контрастностью и т.д.

В результате число полутонов ТВ изображения уменьшается по сравнению с наблюдаемым объектом. Для улучшения распознаваемости деталей приходится перераспределять число градаций по динамическому диапазону изменения яркости – увеличивать это число в сюжетно важном участке диапазона. Подобная операция производится с помощью γ -корректора.



Форма характеристики передачи уровней яркости системы определяется формой световых характеристик преобразователей свет-сигнал и сигнал-свет. При $\gamma=1$ — линейная зависимость яркости деталей изображения от яркости оригинала (рис. 9.3).

При $\gamma < 1$ улучшается разборчивость темных деталей и ухудшается светлых.

При $\gamma > 1$ улучшается разборчивость светлых деталей и ухудшается темных. Этот случай наиболее приемлем для черно-белых и цветных ТВ систем, несмотря на некоторые искажения цветности объектов. Практически установлено, что наилучшее качество изображения наблюдается при $\gamma=1,2\dots1,3$.

Для оценки качества передачи полутонов используется 10-градационный клин горизонтальная шкала уровней (перепадов) яркости от макс до мин, получаемая с помощью 10-ступенчатого сигнала с равномерными перепадами напряжения (ступеньками).

Искажения четкости и резкости (яркости мелких деталей). Четкость оценивается минимальным размером детали, воспроизводимой ТВ системой, а резкость — относительным размером границы между фоном и деталью. В ТВ

различают четкость по вертикали и по горизонтали, т.к. они обусловлены разными факторами.

Номинальная четкость по вертикали определяется дискретной структурой раstra — числом строк разложения и зависит от качества чересстрочной развертки: если взять изображение горизонтальных черно-белых полос и постепенно отодвигать его от камеры, то, наконец, наступит момент, когда количество линий совпадет с количеством строк разложения, т.е. на каждой строке будет другая яркость — предельная (номинальная) четкость. На практике этого добиться не удастся. Если изображение или наклон камеры только чуть сдвинуться, изображение полос может попасть между строками, тогда мы вообще не увидим полос на экране, т.к. луч будет считывать и передавать среднюю яркость, а мы получим серый фон. К такому же явлению слияния приводит наклон или изгиб развертывающих строк из-за нестабильности источников питания, различная плотность строк по вертикали из-за нелинейности развертки и т.п.

Оценка качества чересстрочной развертки производится по искажению наклонных линий электронной испытательной таблице — они не должны быть ступенчатыми.

Номинальная четкость по горизонтали определяется шириной спектра сигнала яркости. Четкость принципиально не может быть выше номинальной и определяется различными факторами: качеством фокусировки и формой апертурных (контрастно-частотных) характеристик электронно-оптических систем преобразователей, реальной шириной спектра ТВ сигнала — линейными искажениями в области ВЧ тракта. На рис. 9.4 показан принцип возникновения апертурных искажений, где объект с переменной длительностью (а) сканируется развертывающим элементом диаметром (D).

Резкому перепаду яркостей L_{min} - L_{max} соответствует сигнал с плавным переходом от i_{min} к i_{max} длительностью $\tau_{уст}$. Как видно из рисунка, при размерах деталей меньше размера развертывающего пятна (a_2), размах сигнала уменьшается, а при размерах деталей меньше половины диаметра апертуры,

сигнал пропорционален их средней яркости и поэтому не воспроизводится, что приводит к потере четкости мелких деталей. Для коррекции апертурных искажений применяют специальные корректоры, а также стараются обеспечить лучшую фокусировку развертывающих лучей.

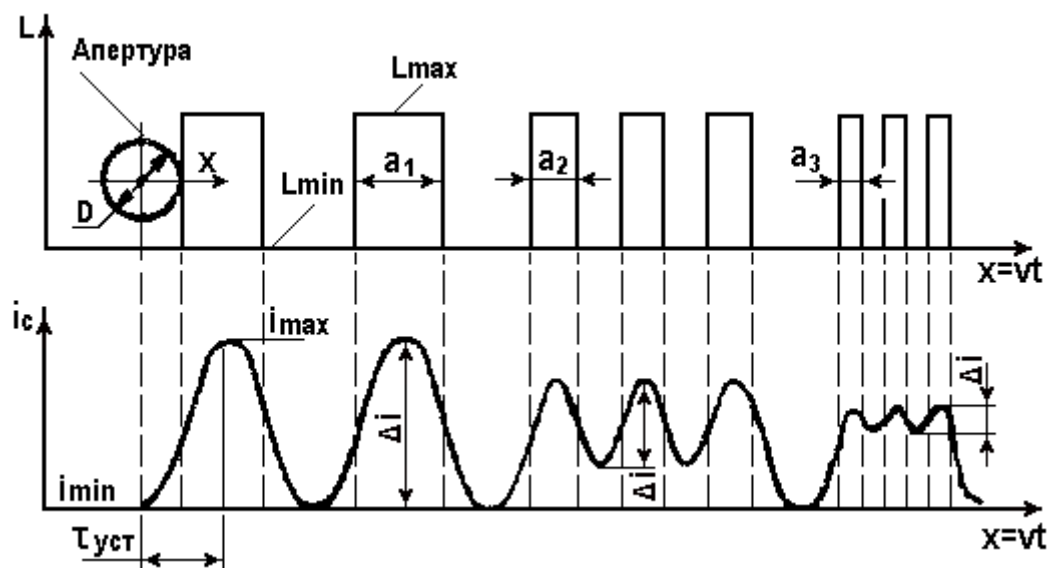


Рис. 9.4 — Апертурные искажения видеосигнала

Кроме того, на горизонтальную четкость влияет форма АЧХ ТВ тракта, поскольку спад АЧХ в области ВЧ влияет на передачу резких скачков сигнала — границ изображения. За счет этого спада увеличивается время переходных процессов, то есть граница как бы размывается, а четкость и резкость уменьшаются. Четкость по горизонтали оценивается по вертикальным штриховым мирам и может составлять (200...500 линий).

9.3. Восстановление постоянной составляющей

Одной из особенностей ТВ сигнала является то, что он однополярный, то есть содержит постоянную (яркостную) составляющую, величина которой определяется сюжетом передаваемого изображения, например, при передаче черных и ярких изображений (рис.9.5,а).

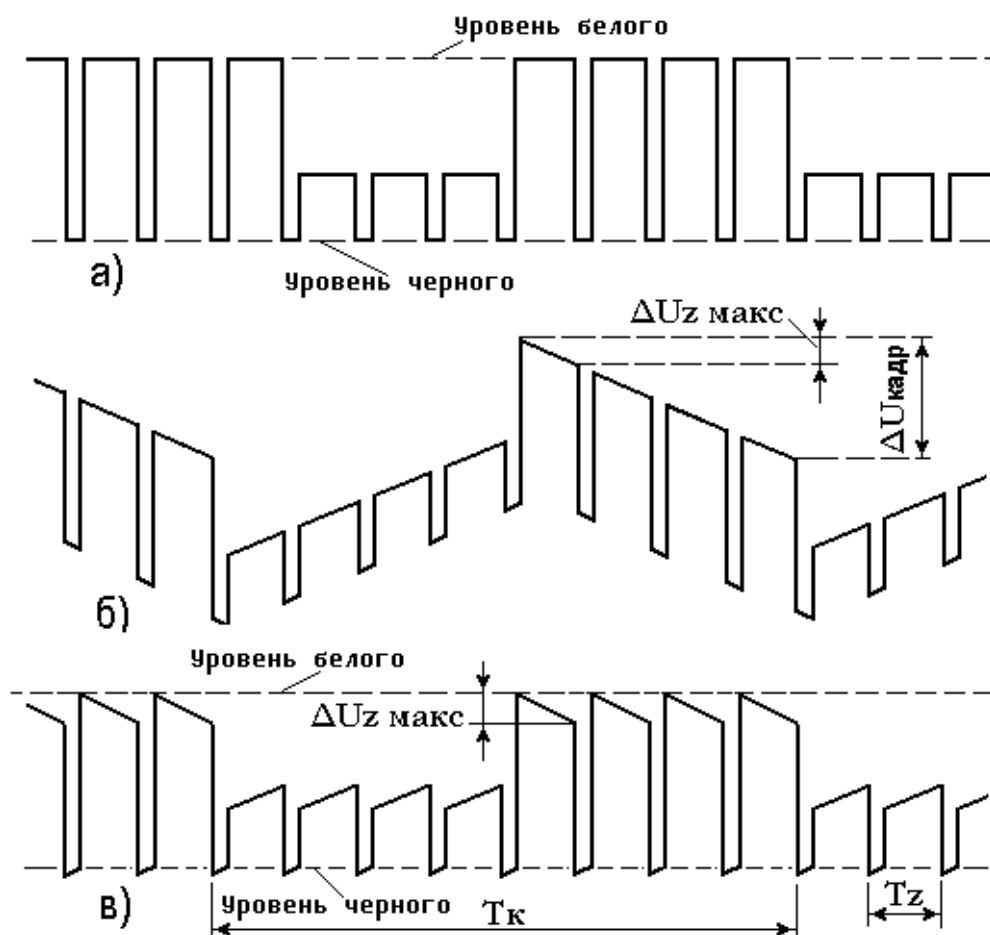


Рис. 9.5 — Коррекция НЧ искажений ТВ сигнала с помощью схемы фиксации

Но так как в усилительных блоках ТВ устройств часто содержатся разделительные конденсаторы, не пропускающие постоянную составляющую, то ТВ сигнал становится симметричным и его положение относительно нуля начнет меняться в зависимости от изменения сюжета изображения (рис. 9.5, б), что приводит к возникновению искажений яркости изображения.

Для устранения этого недостатка в ТВ устройствах применяют специальные схемы фиксации уровня «черного» ТВ сигнала, которые восстанавливают утраченную постоянную составляющую. Наиболее простая в реализации является неуправляемая схема фиксации уровня черного, представленная на рис. 9.6 и состоящая из конденсатора $C1$ и диода $VD1$.

Для обеспечения работоспособности схем фиксации необходимо чтобы постоянная времени заряда была много меньше разряда, причем, $\tau_p \gg T_z$. Для

выполнения этого условия необходимо чтобы внутреннее сопротивление источника сигнала было мало меньше R_n , (например, при использовании эмиттерных повторителей на $VT1$ и $VT2$).

При передачи видеосигнала (положительная часть сигнала) диод $VD1$ заперт и сигнал проходит на выход без изменения, а при передачи

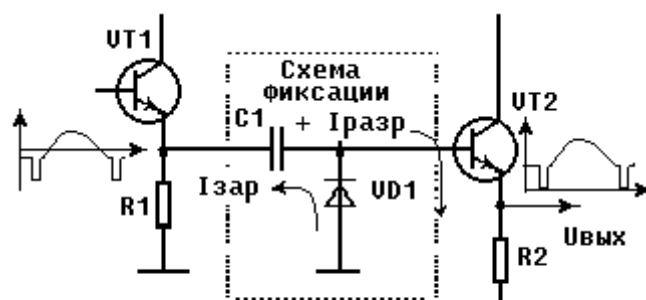


Рис.9.6. Неуправляемая схема фиксации

синхроимпульсов (отрицательная полярность) $VD1$ открывается и происходит заряд $C1$ через $R1$, при этом на его правой обкладке устанавливается положительный потенциал и весь сигнал подымается вверх (рис. 9.5,в) по уровню

синхроимпульсов. После окончания действия синхроимпульсов $VD1$ закрывается и $C1$ начинает медленно разряжаться на высокоомный вход эмиттерного повторителя $VT2$. При этом напряжение на $C1$ к моменту окончания строки станет меньше начального на величину ΔU_z макс, что приводит к искажению горизонтальной яркости экрана. Поэтому емкость $C1$ выбирается так чтобы ΔU_{zmax} не превышала (1...5)%. Таким образом схема фиксации обеспечивает на входе $VT2$ один и тот же уровень синхроимпульсов, то есть производит его фиксацию независимо от сюжета изображения.

Основным достоинством неуправляемой схемы фиксации является ее простота, а недостатком является ее инерционность и невозможность подавления фоновой помехи переменного тока. Поэтому на практике часто используются более сложные схемы управляемой фиксации уровней.

10. ПРОЦЕССЫ И УСТРОЙСТВА СИНХРОНИЗАЦИИ

10.1. Требования к сигналам синхронизации

Развертывающие устройства ТВ системы должны работать синхронно и синфазно. 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.

10.2. Выделение и разделение синхроимпульсов из ТВ сигнала

Развертывающие устройства ТВ системы должны работать синхронно и синфазно. 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.

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. 10.1).

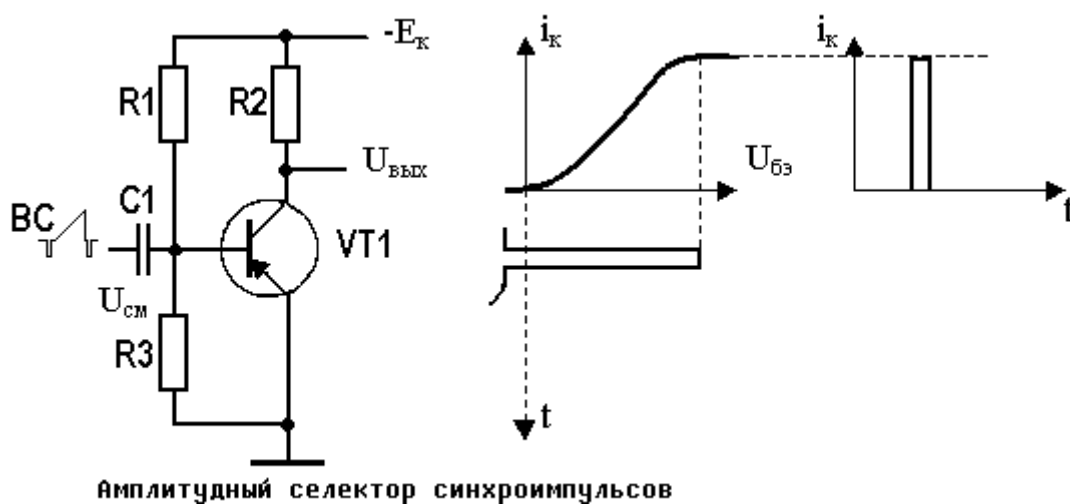


Рис. 10.1 — Выделение синхронизирующих импульсов из синхросмеси

Для упрощения задачи разделения синхроимпульсов по строкам и кадрам их делают разной длительности, которые затем разделяются при помощи дифференцирующих и интегрирующих цепей преобразуется в разницу амплитуд, как показано на рис. 10.2.

Эффективность разделение синхроимпульсов достигается подбором постоянных времени. Для работы дифференцирующей цепи $\tau = t_{cси}/2$. От кадрового импульса остаются крутые перепады, играющие роль ССИ, врезки сформированы так, что также совпадают с ССИ.

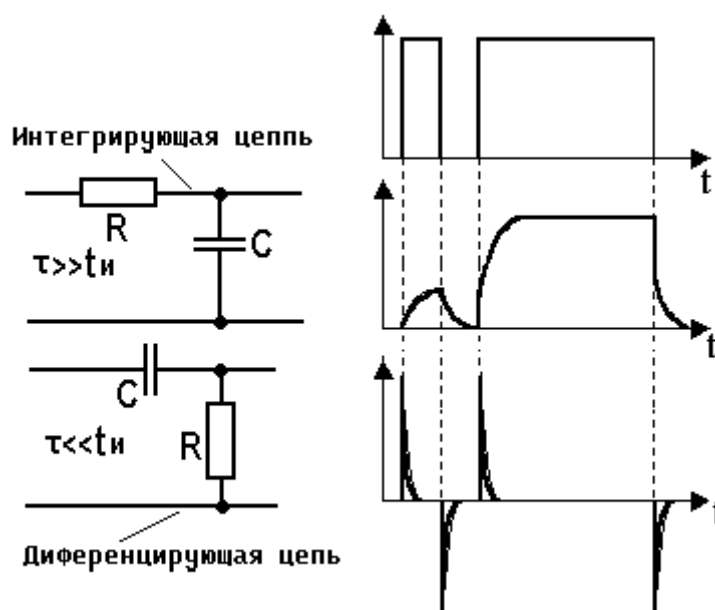


Рис. 10.2 — Разделение синхроимпульсов RC цепями

КСИ выделяются интегрирующей цепочкой. Т.к. длительность КСИ = 37,5 ССИ за время следования ССИ емкость не успевает заметно зарядиться. Следовательно, 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 или 3-звенные интегрирующие цепи.

10.3. 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.10.3.



Рис. 10.3 — 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).

11. РАЗВЕРТКА ТВ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Развертка изображения осуществляется путем отклонения электронного луча по определенному закону. В современных кинескопах из-за большого размера используется электромагнитная система отклонения – катушками индуктивности. Эквивалентная схема такой системы имеет вид:

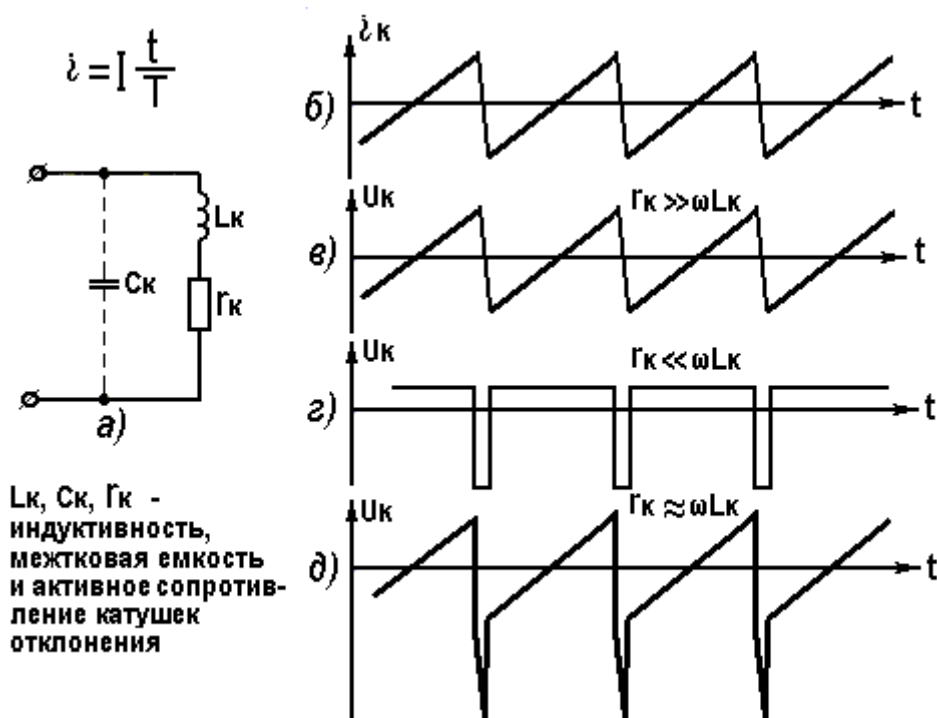


Рис. 11.1 — Формирование отклоняющего тока в отклоняющих катушках

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 описывается 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.

При $r_k \gg \omega L_k$, приложенное напряжение должно иметь пилообразную форму

$r_k \ll \omega L_k$ — напряжение должно иметь импульсную форму, т.к. форма его определяется производной тока.

$\omega L_k \approx r_k$ — напряжение должно быть импульсно-пилообразной формы, причем их соотношение определяется значениями L_k и r_k .

Таким образом, для формирования пилообразного тока в катушках отклонения всякая система развертки должна иметь задающий генератор, специальное формирующее устройство, и выходной каскад.

Поскольку частоты строчной и кадровой развертки отличаются в 312,5 раз, то отсюда вытекает различие в конструкции и принципе работы этих устройств.

11.1. Строчная развертка

Основной особенностью строчной развертки 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. 11.1,г). Для этого наиболее простой и эффективной является схема выходного устройства строчной развертки с двухсторонним ключом. На рис. 11.2. представлена практическая схема генератора СР черно-белого кинескопа.

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.

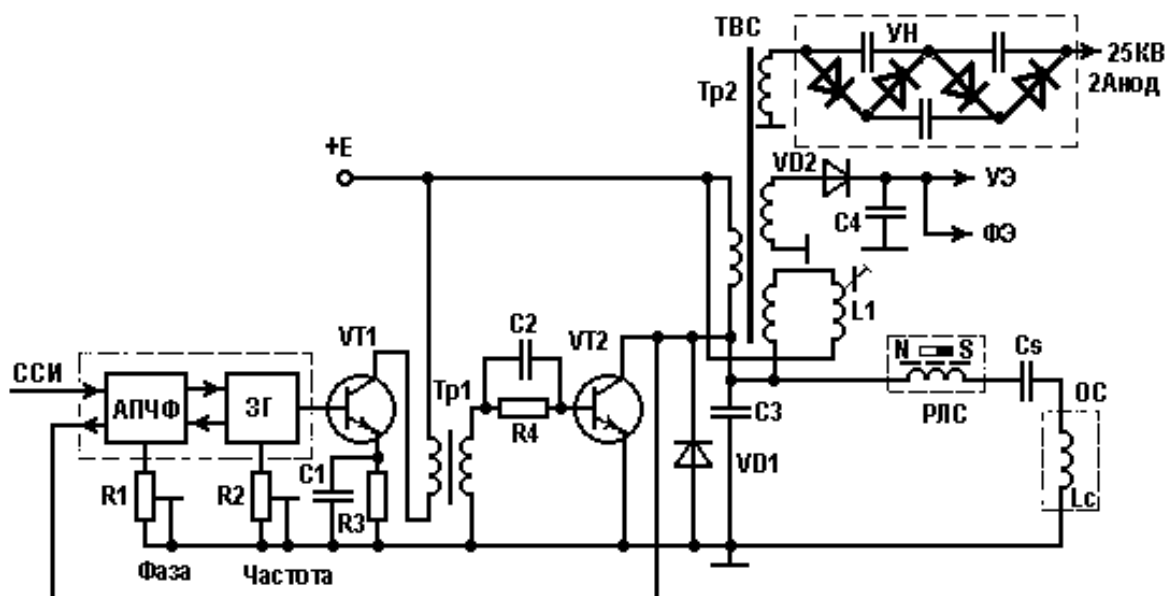


Рис. 11.2 — Схема генератора СР черно-белого телевизора

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...1) кВ и фокусирующего электродов (4,7...5,5) кВ). 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.

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.

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 C_s , который с индуктивностью отклоняющих катушек L_s 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 Tr_2 подключается встречно включенная компенсационная обмотка нагруженная на регулируемый дроссель L_1 .

Для управления выходным каскадом требуются довольно мощные импульсы базового тока $(0,5 \dots 0,7)$ А, поэтому каскад предварительного усиления на $VT1$ часто делают с согласующим трансформатором $Tr1$, имеющим коэффициент трансформации $4 \dots 5$ и обеспечивающим при заданных токах напряжение на выходе каскада не менее $4 \dots 5$ В.

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

В современных телевизорах задающие генераторы выполняются на ИМС типа 174АФ1, 174АГ1, 174ХА11 в которых, как правило, производятся 2 автоматические регулировки со своими фазовыми детекторами (ФД):

1. Частоты « $R2$ » при помощи отдельного ФД, сравнивающего частоты ЗГ и ССИ.
2. Фазы импульсов « $R1$ » при помощи другого ФД, сравнивающего фазы импульсов обратного хода выходного каскада с импульсами ЗГ, что обеспечивает управление цветовой синхронизации в многостандартных цветных телевизорах.

Кроме того, в цветных телевизорах для коррекции подушкообразных искажений используются более сложные устройства:

1. В дельтакинескопах применялся специальный трансформатор-трансдуктор, в котором строчная пила модулировалась кадровой, а кадровая пила — строчной.
2. В компланарных кинескопах обычно применяют широтно-импульсный модулятор.

11.2. 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 меньшее время обратного хода требуется, тем больше необходимо напряжение питания, т.е. тем меньше К.П.Д. каскада. На рис. 11.3 представлена обобщенная схема выходного каскада кадровой развертки.

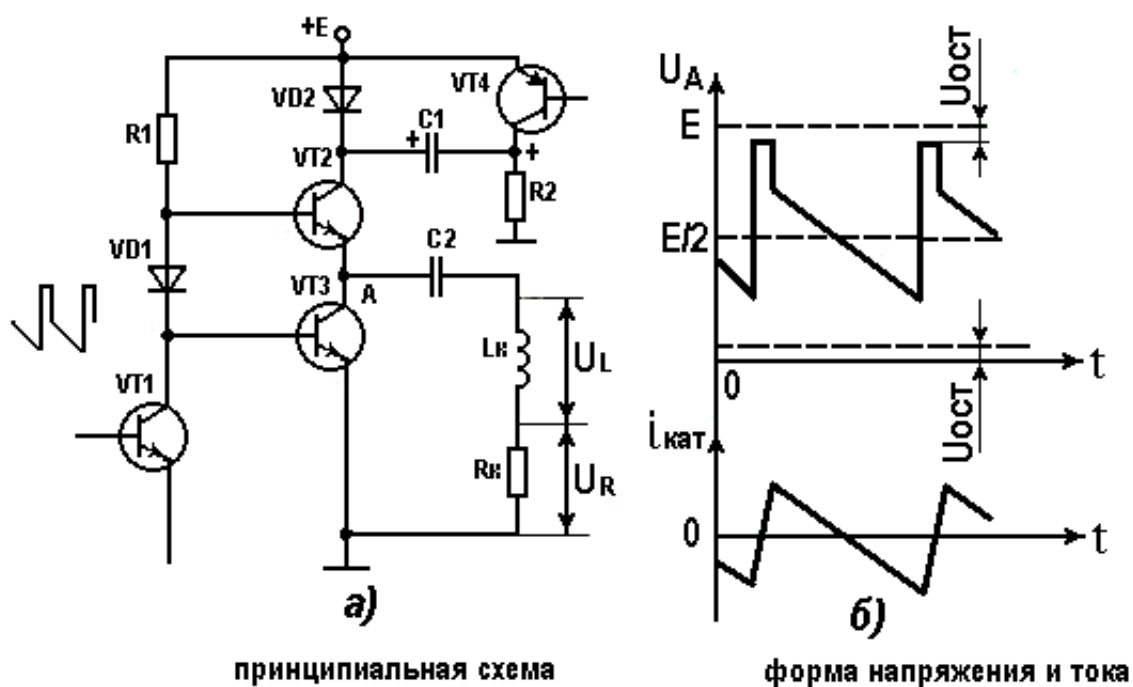


Рис.11.3 — Обобщенная схема выходного каскада кадровой развертки

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. 10.3б транзистор VT_2 , открытый во время обратного хода развертки рассеивает значительно большую мощность, чем нижний, через который происходит разряд конденсатора C_2 во время второй половины прямого хода. Эта несимметрия загрузки транзисторов тем больше, чем больше постоянная времени катушек $\tau = L_k/R_k$, то есть, 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 напряжения питания, а во время формирования обратного хода $VT4$ должен быть полностью открыт. При этом к верхнему концу резистору $R2$, 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.

12. ОРГАНИЗАЦИЯ ТВ ВЕЩАНИЯ

12.1. Телевизионные центры

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 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 киноленту, 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. 12.1.



Рис.12.1 — 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 аппаратурные.

Обобщенная структурная схема АСБ представлена на рис. 12.2.

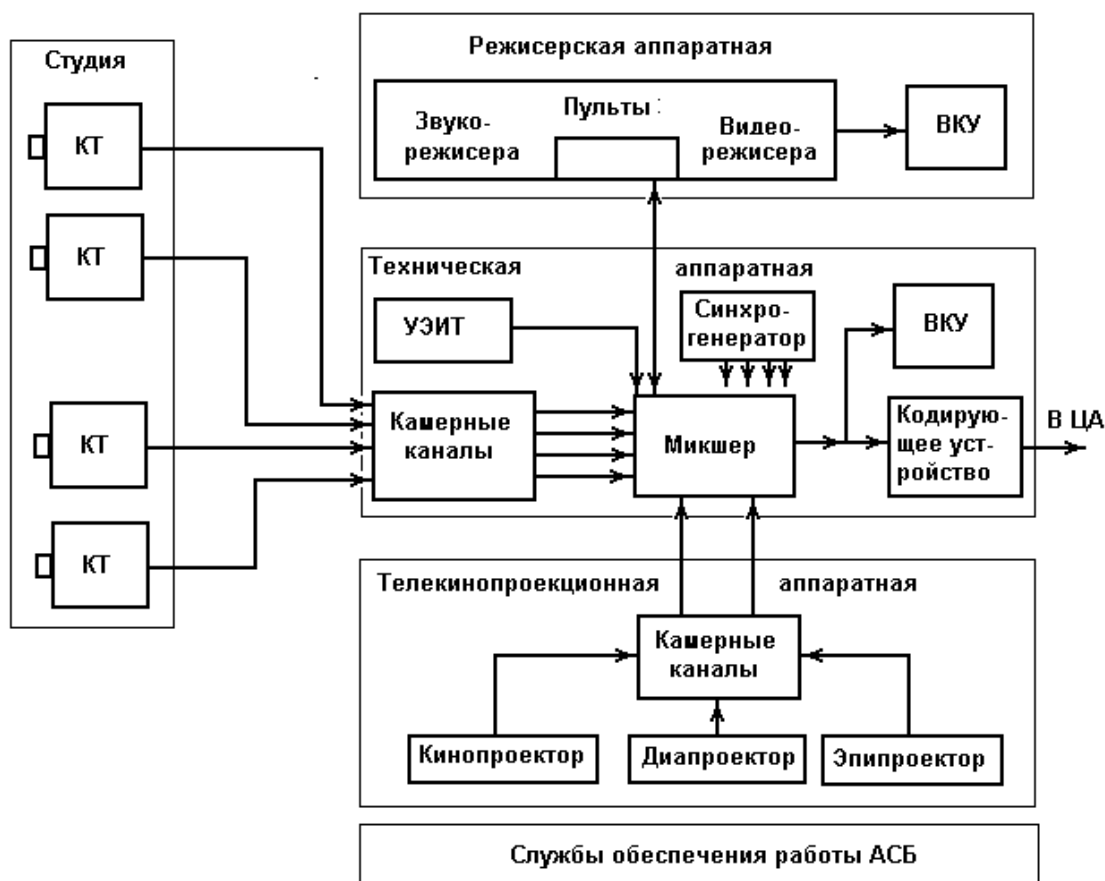


Рис. 12.2 — Обобщенная структурная схема АСБ

Аппаратно-студийный блок (АСБ) - основное технологическое звено ТЦ, обеспечивающее подготовку передач. Сюда входят студии, режиссерская и техническая аппаратурные. 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. 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.

В режиссерской и технической аппаратных собрана аппаратура управления, контроля, синхронизации — пульты видео и звукорежиссера. 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 видеомэгнитофоны выделены в отдельном блоке записи программ. Часть программ из АСБ отправляется также на запись.

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.

Блок внестудийного вещания имеет в составе передвижные ТВ станции (ПТС), передвижные видеозаписывающие станции (ПВС) и др. оборудование.

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

12.2. Принцип работы передающей цветной ТВ камеры

Для проведения высококачественных студийных и внестудийных телепередач предназначены студийные цветные ТВ камеры (ТК), которые обеспечивают преобразование светового потока, отраженного от объекта, в электрические сигналы трех основных цветов, подаваемые в блок камерного канала по камерному кабелю. На рис.12.2 представлена обобщенная

структурная схема трех трубочной цветной передающей ТВ камеры, которая включает в себя:

- ВО — вариообъектив;
- ОГ — оптическая головка;
- ПТ — передающая трубка;
- ПУ — предварительный усилитель.

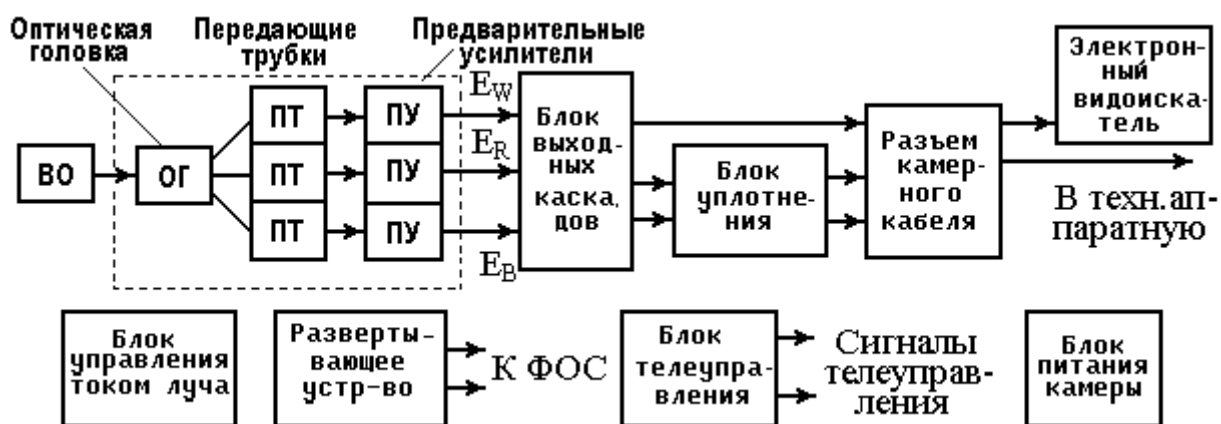


Рис. 12.2. — Обобщенная структурная схема 3-х трубочной цветной передающей камеры

Оптическая головка представляет собой собранные в единое целое вариообъектив, светоделительный блок, встроенный или подключаемый диапроектор, систему подсветки мишени, смены светофильтров и систему автоматического управления.

Светоделительный блок состоит из призм с дихроическим покрытием - дихроическими зеркалами, принцип работы которых основан на интерференции света в тонких пленках. Световой поток попадая на первую дихроическую поверхность разделяется в соответствии со спектральной характеристикой покрытия: синяя составляющая отражается на передающую трубку синего канала B , световой поток прошедший через дихроическую поверхность первой призмы попадает на дихроическую поверхность второй призмы отражающую зеленую составляющую изображения, которая поступает на трубку яркостного канала W , а красная составляющая проходит сквозь

призму на ПТ красного канала R . Применение призмного блока позволяет сделать более жесткую конструкцию цветоделительной системы и упростить юстировку системы при снижении потерь света за счет отражения на границе воздух-стекло, а также ввести световой поток от диапроектора, проецирующего изображение тест-таблицы на фотокатоды 3 передающих трубок.

Оптическая головка конструктивно объединена с 3 блоками ПТ типа плюмбикон или глетикон. В блок каждой трубки входят фокусирующая и отклоняющая система (ФОС) и предварительный усилитель (ПУ).

В самой камере размещены блоки выходных каскадов, синхронизации, развертывающих устройств, телеуправления, управления тока луча высокочастотного уплотнения и питания. Для контроля изображения на камере установлен черно-белый видеоискатель (видеоконтрольное устройство (ВКУ) с высоким разрешением и яркостью).

Камера работает следующим образом. Изображение передаваемой сцены через вариообъектив и цветоделительную систему проецируется на мишени плюмбиконов красного R , синего B , и псевдояркого W каналов. Использование псевдояркого сигнала вместо зеленого G позволяет улучшить чувствительность камеры при допустимом ухудшении цветопередачи. Далее цветоделенные сигналы E_R , E_W и E_B с сигнальных пластин ПТ поступают на соответствующие ПУ, размещенные непосредственно на ФОС ПТ, в которых осуществляется противошумовая коррекция. Затем сигналы с выходов ПУ поступают на блок выходных каскадов, где сигналы усиливаются, ограничиваются их полосы частот, вводятся строчные гасящие импульсы и замешиваются импульсы телеуправления. Далее усиленные выходные сигналы по камерному кабелю поступают в камерный канал.

Блок уплотнения предназначен для передачи по двум коаксиальным жилам камерного кабеля во встречных направлениях сигналов: основных цветов E_R , E_B , звукового сопровождения, передаваемых из камеры в канал, и сложного сигнала телеуправления ССТУ, передаваемого из канала в камеру.

Сигнал ССТУ представляет собой смесь сигналов, уплотненных во

времени: сигнал яркости для электронного видеискателя, сигнал синхронизации разверток передающих трубок, сигнал звука для служебной связи с оператором и сигналы телеуправления. Сигналы яркости, звука и ССТУ передаются на своей несущей частоте. Электронный видеискатель содержит малогабаритный кинескоп, генераторы строчной и кадровой разверток, усилитель.

Транспортирование сигналов осуществляется с помощью приемопередатчиков сигнала яркости, ССТУ и звука, а разделение сигналов и согласование входных и выходных сопротивлений осуществляется системой фильтров.

Камера соединяется со стойкой камерных каналов либо тройным коаксиальным кабелем длиной до 1 км при работе камеры в составе передвижной ТВ станции (ПТС) и передвижной ТВ видеозаписывающей станции (ПТВС), либо многожильным кабелем длиной до 300 м при работе в составе аппаратно-студийного блока (АСБ) и аппаратно-программного блока (АПБ).

Состав блоков в вещательных камерах может существенно различаться. Например, в репортажных камерах происходит только предварительное усиление сигналов, а вся последующая обработка происходит уже в камерном канале. Если же камера обеспечивает полное формирование сигнала для ввода на стандартную вещательную систему с возможностью видеозаписи (видеокамера), то вся обработка сигналов должна входить в камеру.

12.3. Структура усилительного тракта (камерный канал)

Каждая студия на ТЦ имеет свою техническую аппаратную (ТА) в которой находится оборудование для усиления, синхронизации и окончательного формирования полного цветового ТВ сигнала, а также НЧ оборудование звукового сопровождения. В ТА каждая камера подключается специальному оборудованию называемому камерным каналом, обобщенная структурная схема которого представлена на рис. 12.3.

От каждой передающей камеры по коаксиальным кабелям поступают

псевдояркостной сигнал в полосе 6,5 МГц и два цветных в полосе 1,5 МГц, прошедших в предварительных усилителях противошумовую коррекцию. В усилительном тракте происходит установочная регулировка усиления, замешивание и ограничение гасящих импульсов (для устранения с площадки обратного хода флуктуационных помех и паразитных сигналов строчной частоты), коррекция неравномерности фона изображения замешиванием сигналов параболической и пилообразной формы частотой строк и полей. Затем сигналы цветности поступают непосредственно на цветокорректор, а псевдояркостной – через апертурный корректор. В апертурном корректоре осуществляется коррекция апертурных искажений передающей трубки, а также разделение сигнала на НЧ 1,5 МГц и ВЧ 4 МГц части. НЧ часть поступает в цветокорректор. В цветокорректоре осуществляется как коррекция ошибок цветоанализа, вызванных несоответствием спектральных характеристик камеры кривым смещения основных цветов приемника, так и формирование сигналов E_R , E_G , E_B . В гамма-корректоре происходит замешивание ВЧ части псевдояркостного сигнала и осуществляется коррекция модуляционной характеристики приемной трубки. После усилителя мы имеем три полных цветных сигнала, поступающих: на кодирующее устройство, где происходит формирование ПЦТВС, и для контроля на ВКУ. Часть сигнала отправляется на электронный видеоискатель ПТК. В микшере происходит смешивание сигналов нескольких камерных каналов для создания различных видеоэффектов при формировании программы.

Кроме того, в технической аппаратуре располагаются синхрогенератор, измерительная аппаратура. В состав усилительных трактов АСБ входят также блоки спецэффектов:

- стоп-кадр;
- электронное увеличение или уменьшение масштаба и изменение формы изображения;
- переворот изображения (зеркальный эффект);
- формирование «следов» за движущимися объектами;

- «размножение» изображения;
- разделение изображения на части и перемешивание их или всего сжатого изображения по любому закону по кадру;
- создание полиэкранных изображений из нескольких первичных и др.

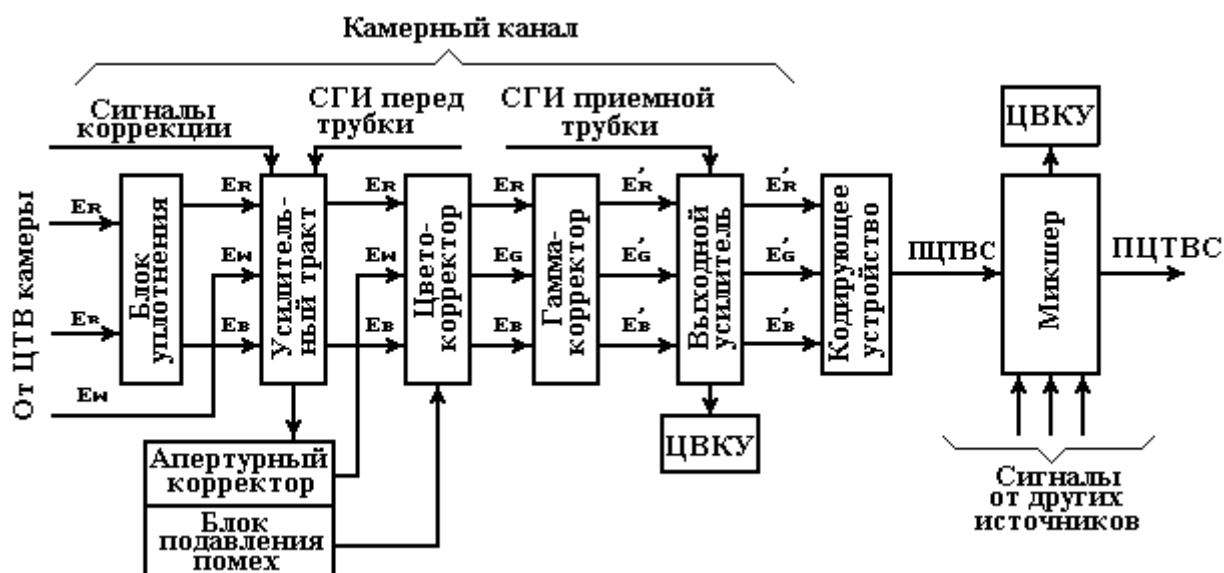


Рис.12.3 — Обобщенная структурная схема камерного канала

Сейчас часть операций над сигналами может происходить в цифровой форме. Такая сложная система предкоррекции и обработок обусловлена тем, что стремятся за счет усложнения передающего тракта упростить ТВ приемники.

12.4. Особенности наземного ТВ вещания

Вид модуляции и ширина спектра радиосигналов ТВ вещания. Согласно ГОСТ радиосигнал изображения формируется с помощью амплитудной модуляции несущей изображения полным цветовым ТВ сигналом с частичным подавлением нижней боковой полосы частот, а радиосигнал звукового сопровождения — с помощью ЧМ несущей звука сигналом звукового сопровождения. При этом номинальная полоса частот радиоканала изображения 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. 12.4.

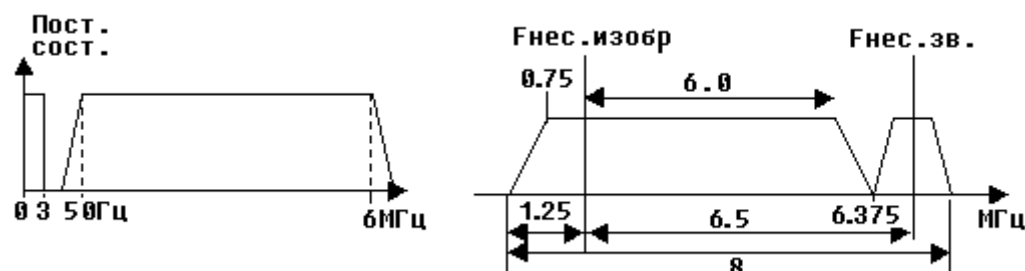


Рис.12.4 — Номинальные АЧХ НЧ ТВ сигнала боковых полос радиопередатчика

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.

Полярность модуляции радиосигнала изображения. В большинстве стран принята негативная полярность модуляции, при которой максимум мощности несущей соответствует уровню сигнала синхронизации, а минимум — уровню белого (рис.12.5,а).

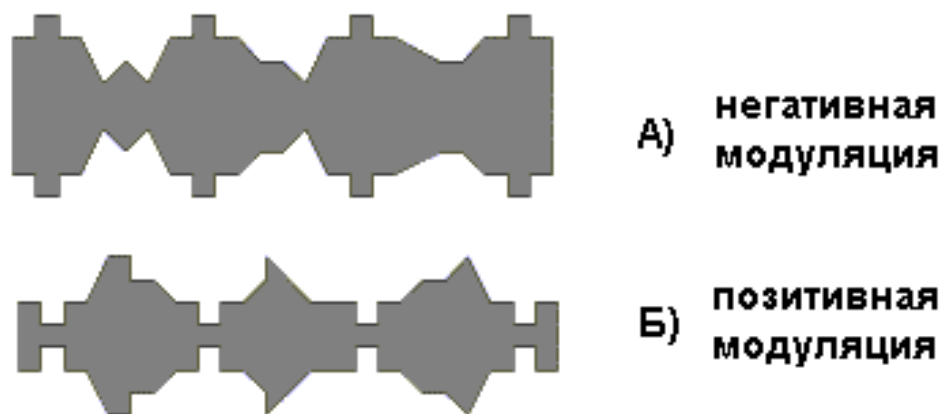


Рис.12.5 — Вид амплитудно-модулированных сигналов изображения

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.

В ТВ не допускается 100% модуляция при этом для черно-белого ТВ остаточный уровень несущей составляет 15%, а для цветного вещания – 7%.

Диапазоны волн. В ТВ вещании используют УКВ: метровые и дециметровые. В пределах 5 частотных диапазонов 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 I диапазона определяется тем, что для выделения 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. Верхняя граница V диапазона ограничена длинами волн, на которых начинают сказываться значительное поглощение излучения в атмосфере и влияние ее неоднородностей — дождя, тумана. 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 ПТС.

Зона обслуживания ТВ 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.

Зона уверенного приема для УКВ диапазона, в котором ведется ТВ вещание, лежит в пределах прямой видимости из-за того, что эти волны плохо дифрагируют, 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

$$E = \frac{2,18 h_1 h_2 \sqrt{PD}}{\lambda r^2},$$

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;

$$r \approx 4,12(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}).$$

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. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ТВ ПРИЕМНИКОВ

13.1. Структурная схема и принцип работы монохромного ТВ приемника

В настоящее время все ТВ приемники строятся по супергетеродинной схеме с однократным преобразованием несущей изображения и двукратным преобразованием несущей звука. Схемы черно-белого и цветного приемников отличаются блоками формирования сигналов цветности, устройств сведения лучей и более жесткими требованиями к радиотракту. Рассмотрим структурную схему монохромного ТВ приемника.

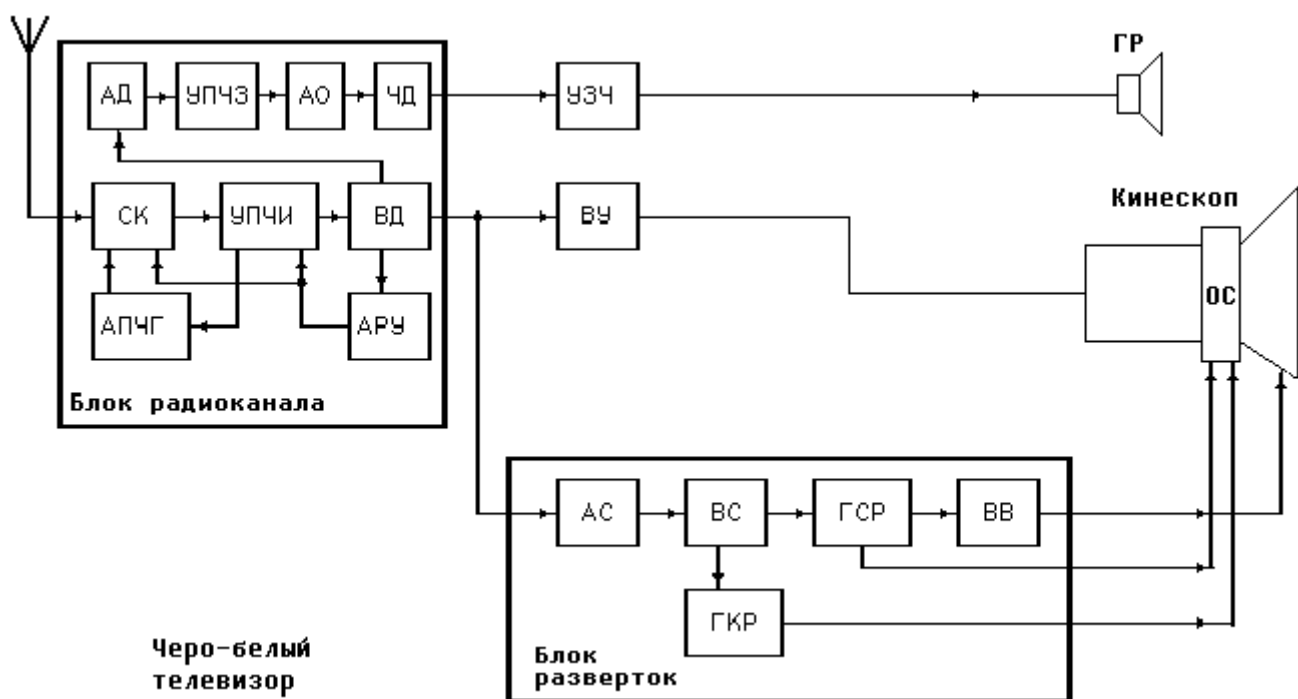


Рис.13.1 — Структурная схема монохромного ТВ приемника

Радиосигнал, принятый антенной, поступает на селектор (переключатель) каналов СК (ПТК), в состав которого входят УВЧ, смеситель и гетеродин. Для приема радиосигналов различных каналов колебательные контура этого узла в диапазонах перестраиваются с помощью варикапов, которые позволяют осуществлять выбор программ и автоматическую подстройку частоты гетеродина. В УВЧ происходит предварительное усиление. Его шумовые

параметры во многом определяют чувствительность приемника, поэтому к нему предъявляются жесткие требования. Смеситель и гетердин служат для преобразования несущих изображения и звука в соответствующие промежуточные частоты $f_{ПЧИ}=f_I-f_{НИ}=38$ МГц, $f_{ПЧЗ\phi}=f_I-f_{НЗ\phi}=31,5$ МГц. Преобразованные сигналы поступают на общий УПЧИ, где происходит основное усиление сигнала изображения и формируется ЧХ приемника, чем обеспечивается избирательность по соседнему каналу. УВЧ и УПЧИ охвачены системой АРУ, как правило ключевой, в которой анализ сигнала после детектора производится только во время обратного хода строчной развертки по фиксированным уровням видеосигнала. Чтобы уменьшить помехи от несущей звука используется специальный режекторный фильтр перед видеодетектором (ВД), а сигнал в канал звукового сопровождения снимается с него и поступает на УПЧЗ. Продетектированный ВД сигнал усиливается ВУ до уровня 90-200В и подается на модулятор кинескопа.

Канал синхронизации содержит амплитудный АС и временной ВС селекторы. АС выделяет из ПТВС сигнал синхронизации разверток, а ВС – дифференцирующая и интегрирующие цепочки – разделяют строчные и кадровые синхронизирующие импульсы. Отклоняющие токи для кинескопа формируются в блоке разверток соответственно в генераторах строчной и кадровой разверток

Канал звукового сопровождения начинается с АД, где происходит второе преобразование промежуточной частоты звука. Можно было бы обойтись и однократным преобразованием частоты, но при этом необходимо очень точное сопряжение настроек и обеспечение стабильности параметров УПЧИ и УПЧЗ. Чтобы избежать взаимозависимости настроек и обеспечить при одном гетеродине прием двух сигналов, используются биения между промежуточными частотами звука и изображения, которые возникают на нелинейном элементе АД. Здесь вместо частоты второго гетеродина используется достаточно большой сигнал промежуточной изображения: $f_{ПЧЗ\phi 2}=f_{ПЧИ}-f_{ПЧЗ\phi 1}=38-31,5=6,5$ МГц. Для того, чтобы не пропал сигнал звука,

диапазонах перестраиваются с помощью варикапов, которые позволяют осуществлять выбор программ и автоматическую подстройку частоты гетеродина. В УВЧ происходит предварительное усиление. Его шумовые параметры во многом определяют чувствительность приемника, поэтому к нему предъявляются жесткие требования. См и Г служат для преобразования несущих изображения и звука в соответствующие промежуточные частоты $f_{ПЧИ}=f_{Г}-f_{НИ}=38$ МГц, $f_{ПЧЗв}=f_{Г}-f_{НЗв}=31,5$ МГц. Преобразованные сигналы поступают на общий УПЧИ, где происходит основное усиление сигнала изображения и формируется ЧХ приемника, чем обеспечивается избирательность по соседнему каналу. УВЧ и УПЧИ охвачены системой АРУ, как правило ключевой, в которой анализ сигнала после детектора производится только во время обратного хода строчной развертки по фиксированным уровням видеосигнала. Чтобы уменьшить помехи от несущей звука используется специальный режекторный фильтр перед видеодетектором (ВД), а сигнал в канал звукового сопровождения снимается с него и поступает через дополнительный детектор АД на УПЧЗ. Продетектированный ВД сигнал усиливается ВУ блока цветности и в качестве яркостного подается на объединенные катоды цветного кинескопа (дельта). Получение цветоразностных сигналов происходит в декодирующем устройстве блока цветности. Причем в дельта-кинескопах сигналы основных цветов получают опосредованно на соответствующих парах электродов кинескопа модулятор-катод, управляя токами лучей, а в кинескопах с самосведением необходимо включать дополнительную матрицу для их получения.

Канал синхронизации содержит амплитудный АС и временной ВС селекторы. АС выделяет из ПТВС сигнал синхронизации разверток, а ВС — дифференцирующая и интегрирующие цепочки — разделяют строчные и кадровые синхронизирующие импульсы. Отклоняющие токи для кинескопа формируются в блоке разверток, а корректирующие токи, обеспечивающие сведение лучей (дельта) формируются в блоке динамического сведения лучей и подаются на катушки сведения. В кинескопах с самосведением эти токи не

нужны, что упрощает схему ТВ.

Канал звукового сопровождения начинается с АД, где происходит второе преобразование промежуточной частоты звука. Можно было бы обойтись и однократным преобразованием частоты, но при этом необходимо очень точное сопряжение настроек и обеспечение стабильности параметров УПЧИ и УПЧЗ. Чтобы избежать взаимозависимости настроек и обеспечить при одном гетеродине прием двух сигналов, используются биения между промежуточными частотами звука и изображения, которые возникают на нелинейном элементе АД. Здесь вместо частоты второго гетеродина используется достаточно большой сигнал промежуточной изображения: $f_{ПЧЗ\&2} = f_{ПЧИ} - f_{ПЧЗ\&1} = 38 - 31,5 = 6,5 \text{ МГц}$. Для того, чтобы не пропал сигнал звука, необходимо постоянное присутствие несущей изображения, для чего и оставляется в ч-б 15%, а в цветном 7%. Чтобы устранить паразитную АМ сигнал звукового сопровождения на 2-ой промежуточной подвергается граничению в АО, затем детектируется в ЧД и через УЗЧ поступает на громкоговорители.

14. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ЦИФРОВОГО ТВ

14.1. Основные понятия

ТВ системы, где для передачи, консервации, обработки и приема используется аналоговый сигнал, называются аналоговыми. Эти системы имеют ряд недостатков, серьезно, сужающие возможности развития ТВ. Одним из главных является низкая помехоустойчивость аналогового сигнала, который подвергается воздействию шумов и помех в каждом звене длиной цепи устройств преобразования и передачи сигналов, число звеньев которой с развитием ТВ сильно увеличивается. При аналоговой системе передачи помехи каждого звена накапливаются. Сейчас используется большое количество аппаратуры различных спецэффектов, разнообразящих передачу, но требующих дополнительных преобразований сигналов. Поэтому повышение помехозащищенности приобретает все более важное значение. Существенно уменьшить искажения от помех и решить ряд других задач позволяют цифровые методы.

Цифровое ТВ – область ТВ техники, в которой операции обработки, консервации и передачи ТВ сигнала связаны с его преобразованием в цифровую форму.

Цифровые системы ТВ различают 2 типов:

1. Полностью цифровой в которой аналого-цифровое и цифро-аналоговое, преобразование изображения производится непосредственно в преобразователях свет-сигнал и сигнал-свет и во всех звеньях тракта сигнал передается в цифровой форме. Однако на данном этапе развития техники таких систем еще не существует.

2. Комбинированные, в которых аналоговый сигнал, получаемый с датчиков, преобразуется в цифровую форму, подвергается всей необходимой обработке, передаче или консервации, а затем вновь приобретает аналоговую форму.

В таких системах на вход тракта цифрового ТВ поступает аналоговый сигнал, где он кодируется, то есть преобразуется в цифровую форму. Это

преобразование представляет комплекс операций, основными из которых являются: дискретизация, квантование и непосредственно кодирование.

Дискретизация — замена непрерывного аналогового сигнала последовательностью отдельных во времени значений уровня сигнала (отсчетов), которые при равномерной дискретизации, выбираются по теореме Котельникова. По этой теореме для того чтобы передать любой непрерывный сигнал, имеющий ограниченный спектр частот (рис 14.1,а), достаточно передавать его значения с частотой дискретизацией $\geq 2F_{max}$ (рис.14.1,б), где F_{max} — максимальная частота спектра исходного сигнала. Для восстановления исходного аналогового сигнала отсчеты необходимо пропустить через идеальный ФНЧ со срезом на F_{max} .

В ТВ чаще всего применяется дискретизация с постоянной частотой, которая может быть связана, или не связана с частотами развертки. При жесткой связи получается постоянное число отсчетов в строке, соответствующее одним и тем же элементам изображения, а на изображении получается фиксированная ортогональная структура дискретизации, где отсчеты располагаются в узлах прямоугольной решетки. Этот способ сейчас наиболее распространен в цифровых устройствах ТВ вещания.

После дискретизации следует процесс квантования — замене мгновенных значений отсчетов ближайшими из набора отдельных фиксированных уровней (уровней квантования). Это тоже дискретизация, но не времени, а по уровню (рис. 14.1,в). При этом разница между уровнями квантования называется шагом квантования, а округление отсчетов до верхнего или нижнего уровня определяется порогом квантования. По своему смыслу операция квантования предполагает появление ошибки между истинным значением сигнала и его квантованным приближением — ошибки или шумов квантования. Если собственные шумы аналоговой системы

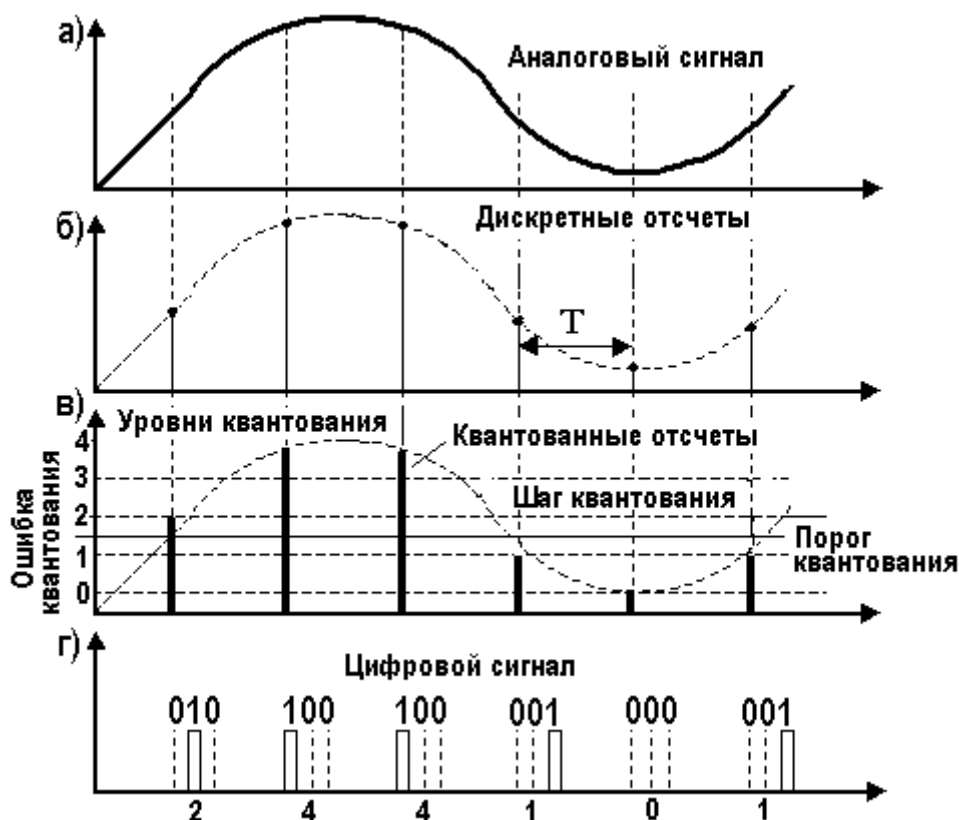


Рис.14.1. Преобразование аналогового сигнала в цифровую форму

невелики по сравнению с шагом квантования, то шумы квантования проявляются в виде ложных контуров, особенно заметных при «грубом» квантовании, когда число уровней недостаточно. Если же шумы аналоговой системы велики, шумы квантования сказываются как равномерно распределенные шумы, что зрительно увеличивает зашумленность изображения. На цветном изображении это сказывается в виде цветных узоров. Для улучшения качества изображения требуется увеличивать число уровней квантования, а для уменьшения размера цифрового потока применяют нелинейную шкалу квантования, основанную на законе Вебера-Фехнера (ощущение приращения яркости пропорционально логарифму отношения конечной яркости к начальной). При этом виде квантования шаги его увеличиваются к верхней части диапазона. Экспериментально доказано, что при 2^7 уровнях мы получаем качество изображения, соответствующее 2^8 . Возможность восстановления сигнала по его квантованному приближению вытекает из ограниченности контрастной и цветовой чувствительности

зрительной системы человека.

Заключительная операция преобразования аналогового сигнала в цифровую форму — кодирование — заменой квантованного значения отсчета соответствующим двоичным числом кодовой комбинацией символов (рис. 14.1,г). Способ кодирования, в котором значения отсчетов представляются натуральном двоичном коде, называется импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ).

Дискретизация, квантование и кодирование обычно выполняются одним устройством — аналого-цифровым преобразователем (АЦП), а обратное преобразование производится в цифро-аналоговом преобразователе (ЦАП).

Исследования цифрового способа передачи применительно к ТВ начались еще в 30-е годы, но лишь недавно началось его применение в вещательном ТВ. Это обусловлено жесткими требованиями к быстродействию устройств преобразования и передачи цифрового сигнала поскольку для вещательного ТВ сигнала с верхней частотой спектра 6 МГц необходима частота дискретизации $f_{\text{такт}}=12$ МГц. В системах ЦТВ для унификации цифрового ТВ сигнала стандартов различных стран ее устанавливают равной 13,5 МГц. Для обеспечения максимального числа градаций яркости различимых глазом, которое колеблется от 100 до 200 необходимо использовать 7 или 8 разрядный код, обеспечивающий 128 или 256 полутонов. При этом скорость передачи составит $C=Nf_{\text{такт}}=8 \cdot 13,5=108$ Мбит/с, где N — разрядность кода. Таким высоким быстродействием должны обладать как устройства обработки ТВ сигнала, так и каналы связи для его передачи, что технически трудно реализуемо

Для сокращения требуемой скорости передачи используют специальные методы сжатия ТВ сигналов, за счет устранения информационной избыточности, которую разделяют условно на статистическую и физиологическую.

Статистическая избыточность определяется свойствами изображений, которые не являются в общем случае хаотическим распределением яркостей, а

описываются законами, устанавливающими определенные связи (корреляцию) между яркостями отдельных элементов. Особенно велика корреляция между соседними в пространстве и времени элементами изображения, что позволяет не передавать многократно одну и ту же информацию, и тем самым сократить цифровой поток.

Физиологическая избыточность обуславливается ограниченностью возможностей зрительного аппарата человека, то есть можно не передавать в сигнале информацию, которая не будет воспринята нашим зрением.

Экспериментально установлено, что в зрительном анализаторе человека существуют совокупности рецепторов — рецептивные поля — которые обрабатывают одновременно большие группы элементов, причем реагируя не столько на яркость, сколько на форму, выделяя наиболее информативные части — контуры, перепады яркости. Это позволяет восстанавливать целостные контуры, даже когда они нарушены из-за помех. Т.е. и в ТВ можно ограничиться передачей определенных конфигураций и при этом сократить число передаваемых элементов. Например, при ортогональной структуре дискретизации обнаруживается чрезмерная избыточность по диагональным направлениям. Для устранения этого используют более совершенную шахматную структуру.

Большое значение на эффективность цифрового сигнала оказывает способ кодирования. Так ИКМ имеет низкую чувствительность к шумам, помехам и искажениям, простоту восстановления, однако требует очень высоких скоростей передачи, поскольку не устраняет избыточной информации в соседних элементах. Поэтому сейчас нашли применение более эффективные методы кодирования, которые можно условно разбить на три группы: кодирование с предсказанием, групповое кодирование с преобразованием и адаптивное групповое кодирование.

Кодирование с предсказанием заключается в передаче вместо истинного значения сигнала закодированной разности истинного и предсказанного значений, из-за чего они получили название систем с дифференциальной ИКМ

— ДИКМ.

Групповые методы кодирования основаны на передаче вместо каждого из дискретных отсчетов определенных линейных комбинаций из совокупности этих отсчетов. Групповые методы кодирования обеспечивают более высокие качественные показатели, чем ДИКМ. Их эффективность меньше зависит от статистических свойств изображений и они менее подвержены канальным ошибкам. В наиболее совершенных системах на элемент изображения требуется только $(0,5 \dots 1)$ бит. Их недостатком является сложность реализации.

14.2. Общие характеристики форматов сжатия MPEG

В настоящее время разработаны высокоэффективные алгоритмы сжатия ТВ изображений использующиеся в форматах представления данных *MPEG-1*, *MPEG-2*, *MPEG-4*.

MPEG-1 разработан в 1991 году специальной рабочей «группе экспертов по подвижным изображениям» (*MPEG — Moving Picture Experts Group*), созданной Международным союзом телекоммуникаций *ITU* для разработки алгоритмов кодирования видеосигналов, удалось найти очень удачный и эффективный алгоритм *MPEG-1*. Первоначально он предназначался только для записи подвижного видеоизображения на компьютерные *CD-ROM*, но затем область применения стандарта была значительно расширена. К примеру, на основе этого алгоритма фирмой *Philips* был создан интерактивный носитель *CD-i*, получивший, в свою очередь, дальнейшее развитие в дисках формата *Video-CD*. С помощью *MPEG-1* цветная картинка с уровнем качества *VHS* (разрешением 320×240 элементов да еще и со стереозвуковым сопровождением «качества компакт-диска») удавалось ужать до скоростей порядка 1,5 Мбит/с. Однако в ТВ вещании он не находит применения, поскольку не поддерживает через сточную развертку и в настоящее время из-за низкого качества практически не используется.

MPEG-2 разработан в 1994 г. и дает возможность более эффективно «упаковывать» высококачественное цветное изображение вещательного стандарта с разрешением 768×576 элементов (в цифровой поток со средней

скоростью 3 Мбит/с. В принципе, *MPEG-2* позволяет передавать телевизионные сигналы как с большими (до 15 Мбит/с), так и с меньшими скоростями (начиная с 1,5 Мбит/с) цифрового потока, при этом качество изображения напрямую связано с величиной скорости передачи данных. Благодаря более совершенному алгоритму обработки видеоизображения даже при самой низкой скорости потока картинка *MPEG-2* все равно получается значительно лучшей, чем может обеспечить *MPEG-1*.

В настоящее время декодер *MPEG-2* является основным компонентом любого *DVD*-проигрывателя или ресивера *DVB-T* (*Digital Video Broadcasting-Terrestrial*), обеспечивая высокое качество изображений и звука спутникового и наземного цифрового ТВ вещания.

MPEG-4 разработан в 1998 г. для передачи видео и аудио данных по сетям Интернет.

14.3. Обобщенная структурная схема тракта цифрового ТВ

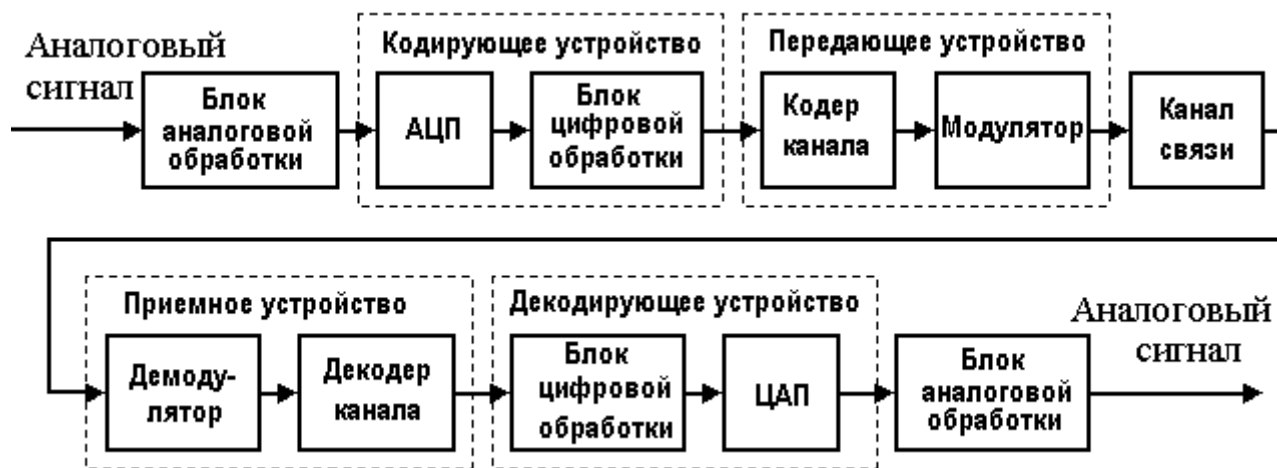


Рис. 14.2 — Обобщенная структурная схема тракта цифрового ТВ

Схема работает следующим образом. Аналоговый сигнал поступает на вход цифровой ТВ системы. Этот сигнал уже подвергнут определенной обработке для упрощения последующих цифровых преобразующих устройств. Например, цветной ТВС разделяется на яркостной и цветоразностные, чтобы цифровые преобразования производились над каждым сигналом отдельно,

вводятся необходимые предсказания и т.п. Далее сигнал поступает на АЦП, в котором он дискретизируется, квантуется и предварительно кодируется (например, ИКМ). Для устранения большой избыточности полученного сигнала в блоке цифровой обработки осуществляется дополнительное, более эффективное кодирование. Потом сигнал поступает в кодер канала, предназначенный для защиты цифрового сигнала от возможных помех путем применения специальных более помехозащищенных кодов. Далее сигнал поступает на модулятор передающего устройства - выходной преобразователь, после которого сигнал подается в канал связи. Под каналом связи понимаются линии связи, устройства консервации и коррекции ТВ сигнала, в которых происходит его обработка.

На приемном конце принятый сигнал демодулируется, подвергается обратному преобразованию в декодере канала и поступает в блок цифровой обработки декодирующего устройства. В нем принятый сигнал приобретает первоначальную форму (возвращается избыточность), затем в ЦАП преобразуется в аналоговый сигнал, который подвергается при необходимости дополнительным обработкам. Эта схема обобщенная. В зависимости от назначения системы, в ней могут отсутствовать некоторые звенья (блоки аналоговой обработки, или кодер и декодер канала, если канал не длинный и не требуется дополнительное кодирование, и т.п.).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Телевидение: учеб. вузов / В.Е. Джакония, А.А. Гоголь, Я.В. Друзин и др.; Под ред. В.Е. Джаконии.— М.: Горячая линия — Телеком, 2007.— 616 с.
2. Мухин И.А. Современные плоскочелюстные отображающие устройства / И.А. Мухин // BROADCASTING. Телевидение и радиовещание.— 2004.— № 1(37). — С. 43—47.
3. Параметры современных жидкокристаллических мониторов [Электронный ресурс] / Ф-центр. — <http://www.fcenter.ru/online.shtml?articles/hardware/monitors/10071>.—14.03.2011.
4. Мухин И.А. Развитие жидкокристаллических мониторов / И.А. Мухин // BROADCASTING. Телевидение и радиовещание.— 2005.— 1 часть. — № 2(46).— С. 55—56.— 2 часть.— № 4(48).— С. 71—73.
5. Украинский О.В. Способы улучшения качества телевизионного изображения, воспроизводимого жидкокристаллическими панелями / О.В. Украинский, И.А. Мухин // Современное телевидение: матер. науч.-техн. конф., Москва, 12 марта 2006 г.— М., 2006.— Т.1.— С. 211—213.
6. The plasma behind the plasma TV screen [Электронный ресурс] / PlasmaTVScience.—<http://www.plasmatvscience.org/theinnerworkings.html>.— 15.03.2011.
7. Мухин И. А. Принципы развертки изображения и модуляция яркости свечения ячейки плазменной панели / И.А. Мухин // Труды учебных заведений связи.— 2002.—№ 168.— С.134—140.
8. Органический светодиод [Электронный ресурс] / Creative Commons Attribution.—http://ru.wikipedia.org/wiki/Органический_светодиод.— 18.03.11.
9. OLED-Display TV [Электронный ресурс] / <http://www.oled-display.net/>.— 25.03.2011.