

Міністерство освіти і науки України  
Державний Університет Телекомунікацій

Кафедра радіотехнологій

**Лекція 1**

з дисципліни: “Основи телебачення”

на тему: “Принципи радіозв’язку”

Доцент Пархоменко В.Л.

Київ-2015

# 1. ПРИНЦИПЫ РАДИОСВЯЗИ

- 1.1 Вступление
- 1.2 Исторический экскурс
- 1.3 Генератор высокой частоты
- 1.4 Радиосвязь
- 1.5 Радиолокация
- 1.6 Радиоволны
- 1.7 Антенны
- 1.8 Применение радиосвязи

## 1.1 Вступление

Радиосвязь является наиболее распространенным способом передачи информации на расстояние. Телевидение, сотовая телефония, спутниковая связь – все это и многое другое работает на основе передачи сигналов посредством электромагнитных колебаний определенной частоты. Несомненно, она является предметом стратегического значения, и поэтому находится под контролем организаций разного ранга, и в конечном итоге – государственных.

## 1.2 Исторический экскурс

**Джеймс Максвелл** в 1860-1865 создал теорию электромагнитного поля (ЭМП), которую он сформулировал в виде системы уравнений, описывающих все основные закономерности электромагнитных явлений:

- 1-е – уравнение выражало электромагнитную индукцию Фарадея;
- 2-е – магнитоэлектрическую индукцию, открытую Максвеллом и основанную на представлениях о токах смещения;
- 3-е – закон сохранения количества электричества;
- 4-е – вихревой характер магнитного поля.

Продолжая развивать эти идеи, Максвелл пришел к выводу, что любые изменения электрического и магнитного полей должны вызывать изменения в силовых линиях, пронизывающих окружающее пространство, т.е. должны существовать импульсы (или волны), распространяющиеся в среде. Скорость распространения этих волн (электромагнитного возмущения) зависит от диэлектрической и магнитной проницаемости среды и равна отношению электромагнитной единицы электричества к электростатической. По данным Максвелла и других исследователей, это отношение составляет примерно 300 000 000 м/с, что очень близко к скорости света, измеренной семью годами ранее французским физиком А. Физо. В октябре 1861 Максвелл сообщил Фарадею о своем открытии: свет - это электромагнитное возмущение, распространяющееся в непроводящей среде, т.е. разновидность электромагнитных волн (ЭМВ). Этот завершающий этап был отражен в работе Максвелла «Динамическая теория электромагнитного поля», а итог его работ по электродинамике подвел знаменитый «Трактат об электричестве и магнетизме» (1873). Таким образом, Максвелл математически обосновал существование ЭМВ.

Генрих Герц в 1888 году экспериментально открыл электромагнитные волны и опубликовал результаты своих работ. В результате экспериментов Герц создал источник электромагнитных волн, названный им «вибратором», который представлял собой так называемый открытый колебательный контур (ОКК).

В обычном колебательном контуре, чтобы уменьшить ёмкость конденсатора, надо увеличивать расстояние между пластинами и уменьшать площадь пластин. Чтобы уменьшить индуктивность катушки, надо уменьшать её число витков. В результате этих преобразований получается просто кусок провода или ОКК.

Суть происходящих в вибраторе явлений коротко заключается в следующем. Индуктор Румкорфа создает на концах своей вторичной обмотки очень высокое, порядка десятков киловольт, напряжение, заряжающее сферы вибратора зарядами противоположных знаков. В определенный момент в искровом промежутке вибратора возникает электрическая искра, делающая сопротивление его воздушного промежутка столь малым, что в вибраторе возникают высокочастотные затухающие колебания, продолжающиеся во все время существования искры. Поскольку вибратор представляет собой открытый колебательный контур, происходит излучение электромагнитных волн в окружающее пространство.

В качестве детектора, или приемника, Герц использовал кольцо с разрывом – искровым промежутком, который можно было регулировать. Диаметр кольца с величины более метра в первых опытах к их концу уменьшился до 7 см.

Приемное кольцо было названо Герцем «резонатором». Опыты показали, что изменением геометрии резонатора – размерами, взаимоположением и расстоянием относительно вибратора – можно добиться резонанса между источником ЭМВ и приемником. Наличие резонанса выразилось в возникновении искр в искровом промежутке резонатора в ответ на искру, возникающую в вибраторе. В опытах Герца посылаемая искра была длиной 3-7 мм, а искра в резонаторе – всего несколько десятых долей миллиметра. Увидеть такую искру можно было только в темноте с помощью увеличительного стекла.

После огромной серии трудоемких и чрезвычайно остроумно поставленных опытов с использованием простейших, так сказать, подручных средств Герц достиг цели. Удалось измерить длины волн и рассчитать скорость их распространения. Были доказаны:

- отражение
- преломление
- дифракция
- интерференция
- поляризация
- измерена скорость ЭМВ

После своего доклада 13 декабря 1888 года в Берлинском университете и публикаций 1877 - 78 гг. Герц сделался одним из самых популярных ученых, а электромагнитные волны стали повсеместно именоваться «лучами Герца».

Таким образом, Генрих Герц экспериментально доказал существование ЭМВ.

Александр Степанович Попов с марта 1890 г. неоднократно выступал с лекциями об открытии Герцем ЭМВ и демонстрацией его опытов. В начале 1895 г. создал приемник этих волн, показав возможность регистрации последовательности электрических сигналов на расстоянии без проводов (радиосвязь). 7 мая 1895 г. сделал публичный доклад о результатах исследований в этой области и продемонстрировал прием коротких и продолжительных сигналов, переданных с помощью вибратора Герца. На основе радиоприемника построил так называемый «грозоотметчик» (с автоматической записью атмосферных разрядов на бумажную ленту) и летом 1895 г. установил его на метеостанции Лесного института в Петербурге. В 1896-1899 гг. продолжал публичные демонстрации и эксперименты по радиосвязи, в том числе с 1897 г. на судах ВМФ. В июле

1899 г. разработал чувствительный телефонный приемник, основанный на детекторном эффекте (открытом его помощниками П.Н.Рыбкиным и Д.С.Троицким), на который получил патенты в России, Англии и Франции. В 1899-1900 гг. руководил созданием первой в мире практической радиоперехватной линии между г. Котка и островом Гогланд протяженностью 47 км. Во время опытов беспроводного телеграфирования на судах Балтийского флота, стоящих на Кронштадтском рейде, обнаружил явление отражения от кораблей ЭМВ и указал на возможность его практического использования в радиолокации (подробнее – далее).

Промышленное производство изобретенных им приборов радиотелеграфа началось в 1898 г. фирмой Э. Дюкрете (Париж, Франция), в 1901 г. Кронштадтской радиомастерской, в 1904 г. петербургской фирмой «Сименс и Гальске» (с участием капитала немецкой фирмы «Телефункен»).

В 1945 г. в СССР установлен праздник «День радио», ежегодно отмечаемый 7 мая. Именно А.С. Попов заложил основные принципы радиосвязи и доказал возможность практического применения ЭМВ – радиоволн – для передачи информации.

### 1.3 Генератор высокой частоты

Как осуществляется связь «по радио»?

Для того чтобы передать информацию по радио нужно создать в пространстве ЭМВ. Для этого, в свою очередь, необходимо некое устройство, которое будет вырабатывать переменный ток высокой частоты. Дело в том, что энергия ЭМВ пропорциональна четвёртой степени частоты. Следовательно, чем больше частота, тем мощнее волна, тем на большее расстояние она может распространиться и перенести информацию. Это рассуждение довольно примитивно и не отражает всех особенностей создания, передачи, распространения и приёма электромагнитных ВЧ-колебаний.

Схема Герца создавала свободные, т.е. затухающие колебания, а для передачи сколь-нибудь серьёзной информации надо создать незатухающие колебания. Устройство, генерирующее незатухающие колебания, в физике называется «автогенератор».

Общий принцип действия автогенератора таков: из источника энергия поступает порциями через регулятор в колебательную систему. Величина порции энергии (кванта) такова, что её хватает как раз на то, чтобы скомпенсировать затраты колебательной системы на преодоление сопротивления (трения) за одно колебание. Затем колебательная система через обратную связь посылает сигнал регулятору о том, что надо подать следующий квант энергии. Этот квант поступает в колебательную систему, снова совершается полное колебание с прежней амплитудой, снова подаётся сигнал через обратную связь, снова поступает квант энергии и т.д. Таким образом, колебательная система совершает колебания с постоянной частотой и амплитудой до тех пор, пока не иссякнет энергия источника.

Поскольку для осуществления необходимо создать незатухающие электромагнитные колебания, рассмотрим классические схемы (на уровне средней школы) генераторов ВЧ на вакуумном триоде и транзисторе.

Итак, основой радиопередающего устройства – далее сокращённо «радиопередатчика» - является автогенератор. Генератор вырабатывает незатухающие колебания ВЧ, называемые «несущей» .

Если передатчик излучает незатухающую ЭМВ, то в антенне приёмника электромагнитные колебания будут регистрироваться, но никакой информации при этом нести не будут. Для того, чтобы передавать какие-либо сигналы, речь, музыку, надо менять определённый параметр ВЧ-колебаний, например, амплитуду или частоту. Этот процесс называется модуляцией. Например, телеграфная модуляция состоит в прерывании

излучения с помощью ключа, т.е. в посылке коротких (точка) и длинных (тире) сигналов – азбука Морзе.

Посмотрим, каким образом можно реализовать автогенератор на транзисторе. Транзистор последовательно соединяют с колебательным контуром, который и является колебательной системой, при этом эмиттер подключают к «+», а коллектор – к «-» источника питания. Базу транзистора соединяют катушкой связи LCB, которая индуктивно связана с контурной катушкой LK. В этом случае в процессе ЭМК в контуре поступающий на базу потенциал периодически меняет свой знак относительно потенциала эмиттера.

Когда на базу подаётся отрицательный потенциал, транзистор открыт и пропускает ток, который в этот момент совпадает по направлению с током в контуре и усиливает его за счёт энергии источника. Когда ток в контуре меняет направление на обратное, на базу поступает положительный потенциал, транзистор закрывается и прерывает ток. Ток в цепи прекращается и не препятствует перезарядке контурного конденсатора СК.

Таким образом, за счёт периодически поступающих порций энергии от источника в колебательном контуре поддерживаются незатухающие ЭМК.

С помощью ключа Кл можно прерывать этот процесс в соответствии с азбукой Морзе. Для передачи звука нужно подать в генератор ВЧ электрические колебания звуковой частоты так, чтобы при их наложении амплитуда колебаний ВЧ менялась бы в такт звуковым колебаниям или колебаниям НЧ. Этот процесс называется амплитудной модуляцией (АМ).

#### **1.4. Радиосвязь**

Когда-то радио называли «беспроводным телеграфом» или «газетой без бумаги» за то, что информация передавалась от передатчика к приёмнику без посредства какой-либо среды. Итак, каков же принцип работы радиосвязи :

Микрофон передатчика под воздействием звуковых колебаний вырабатывает слабый электрический ток низкой частоты . С УНЧ сигнал поступает в модулятор М.

ГВЧ вырабатывает незатухающие колебания ВЧ , которые также поступают в модулятор, где они модулируются по амплитуде колебаниями НЧ и поступают в антенну . Антенна излучает в окружающее пространство ЭМВ, амплитуда которых также модулирована по НЧ. Частота ГВЧ является несущей, она и определяет частоту передающей станции.

Итак, радиоволна «запущена» в эфир. Теперь надо её «поймать».

В антенне приёмника радиоволны возбуждают переменные ЭДС индукции разных частот. Для выделения частоты нужной радиостанции применяется входной колебательный контур, который может иметь конденсатор переменной ёмкости или катушку с изменяемой индуктивностью. В любом случае изменение ёмкости или индуктивности приводит к изменению собственной частоты входного контура и, в тот момент, когда эта частота совпадает с несущей частотой радиостанции, наблюдается резонанс. Этот эффект позволяет выделить сигнал какой-то определённой радиостанции среди других. Тем не менее, сигнал остаётся очень слабым и его усиливает УВЧ приёмника. Детектор выделяет одну половинку амплитудно-модулированного сигнала , сглаживает пульсации, превращая его в низкочастотный сигнал . УНЧ усиливает НЧ-сигнал, а громкоговоритель преобразует усиленный электрический сигнал в звуковые колебания.

Так осуществляется радиосвязь с амплитудной модуляцией.

Существует радиосвязь с частотной модуляцией (ЧМ или FM), когда амплитуда несущей остаётся постоянно, за то меняется её частота.

#### **1.5. Радиолокация**

Суть радиолокации заключается в следующем - передатчик вырабатывает высокочастотный импульс и с помощью специальной параболической антенны посылает его в направлении объекта, например, самолёта. Радиоволна, достигая объекта, отражается от него во все стороны. Часть отражённой волны, энергия которой очень мала, улавливает приёмная параболическая антенна. Зная время  $t$  между моментом излучения и

моментом приёма сигнала, легко рассчитать  $R$  расстояние до объекта:  $R = \frac{ct}{2}$ , где  $c$  – скорость распространения радиоволны .

Разумеется, это самая примитивная схема радиолокации. В настоящее время анализ принятого сигнала выполняется специализированным компьютером, который определяет не только расстояние, но и скорость, тип объекта, автоматически анализирует «свой-чужой», сравнивает с базой данных и выдает его тактико-технические характеристики и т.д.

## 1.6. Радиоволны

### 1.6.1. Что такое радиоволны

Радиоволны – это электромагнитные колебания, распространяющиеся в пространстве со скоростью света (300 000 км/сек).

Радиоволны переносят через пространство энергию, излучаемую генератором электромагнитных колебаний. Электромагнитное излучение характеризуется частотой, длиной волны и мощностью переносимой энергии. Частота ЭМВ показывает, сколько раз в секунду изменяется в излучателе направление электрического тока и, следовательно, сколько раз в секунду изменяется в каждой точке пространства величина электрического и магнитного полей. Измеряется частота в герцах (Гц) – единицах, названных именем великого немецкого ученого Генриха Рудольфа Герца. 1 Гц – это одно колебание в секунду, 1 мегагерц (МГц) – миллион колебаний в секунду. Зная, что скорость движения электромагнитных волн равна скорости света, можно определить расстояние между точками пространства, где электрическое (или магнитное) поле находится в одинаковой фазе. Это расстояние называется длиной волны. Длина волны (в метрах) рассчитывается

по формуле:  $\lambda = \frac{c}{\nu}$ , где  $c$  – скорость света в м/с,  $\nu$  – частота в Гц.

Из формулы видно, что, например,  $\nu=1$  МГц соответствует  $\lambda=300$  м. С увеличением частоты длина волны уменьшается, с уменьшением – наоборот. Электромагнитные волны свободно проходят через воздух или космическое пространство (вакуум). Но если на пути волны встречается металлический провод, антенна или любое другое проводящее тело, то они отдают ему свою энергию, вызывая тем самым в этом проводнике переменный электрический ток. Не вся энергия волны поглощается проводником, часть ее отражается от поверхности. Еще одним полезным свойством электромагнитных волн (впрочем, как и всяких других волн) является их способность огибать тела на своем пути – это явление получило название дифракция. Оно возможно лишь в том случае, когда размеры тела меньше, чем длина волны, или сравнимы с ней.

Энергия, которую несут электромагнитные волны, зависит от мощности генератора (излучателя) и расстояния до него. По-научному это звучит так: поток энергии, приходящийся на единицу площади, прямо пропорционален мощности излучения и обратно пропорционален квадрату расстояния до излучателя. Это значит, что дальность связи зависит от мощности передатчика, но в гораздо большей степени от расстояния до него. Например, поток энергии электромагнитного излучения Солнца на поверхность Земли достигает 1 киловатта на квадратный метр, а поток энергии средневолновой вещательной радиостанции – всего тысячные и даже миллионные доли ватта на квадратный метр.

### 1.6.2. Распределение спектра

Радиоволны (радиочастоты), используемые в радиотехнике, занимают область, или спектр от 10 000 м (30 кГц) до 0,1 мм (3 000 ГГц). Это только часть обширного спектра ЭМВ. Международными соглашениями весь спектр радиоволн, применяемых в радиосвязи, разбит на диапазоны:

Диапазон частот	Наименование диапазона (сокращенное наименование)	Наименование диапазона волн	Длина волны
3–30 кГц	Очень низкие частоты (ОНЧ)	Мириаметровые	100–10 км
30–300 кГц	Низкие частоты (НЧ)	Километровые	10–1 км
300–3000 кГц	Средние частоты (СЧ)	Гектометровые	1–0,1 км
3–30 МГц	Высокие частоты (ВЧ)	Декаметровые	100–10 м
30–300 МГц	Очень высокие частоты (ОВЧ)	Метровые	10–1 м
300–3000 МГц	Ультра высокие частоты (УВЧ)	Дециметровые	1–0,1 м
3–30 ГГц	Сверхвысокие частоты (СВЧ)	Сантиметровые	10–1 см
30–300 ГГц	Крайне высокие частоты (КВЧ)	Миллиметровые	10–1 мм
300–3000 ГГц	Гипервысокие частоты (ГВЧ)	Децимиллиметровые	1–0,1 мм

Но эти диапазоны весьма обширны и, в свою очередь, разбиты на участки, куда входят так называемые радиовещательные и телевизионные диапазоны, диапазоны для наземной и авиационной, космической и морской связи, для передачи данных и медицины, для радиолокации и радионавигации и т.д. Каждой радиослужбе выделен свой участок диапазона или фиксированные частоты.

### 1.6.3. Как распространяются радиоволны

Радиоволны излучаются через антенну в пространство и распространяются в виде энергии ЭМП. И хотя природа радиоволн одинакова, их способность к распространению сильно зависит от длины волны.

Земля для радиоволн представляет проводник электричества (хотя и не очень хороший). Проходя над поверхностью земли, радиоволны постепенно ослабевают. Это связано с тем, что электромагнитные волны возбуждают в поверхности земли электротоки, на что и тратится часть энергии. Т.е. энергия поглощается землей, причем тем больше, чем короче длина волны (выше частота). Кроме того, энергия волны ослабевает еще и потому, что излучение распространяется во все стороны пространства и, следовательно, чем дальше от передатчика находится приемник, тем меньшее количество энергии приходится на единицу площади и тем меньше ее попадает в антенну.

Передачи длинноволновых (ДВ) вещательных станций можно принимать на расстоянии до нескольких тысяч километров, причем уровень сигнала уменьшается плавно, без скачков. Средневолновые (СВ) станции слышны в пределах тысячи километров. Что же касается коротких волн (КВ), то их энергия резко убывает по мере удаления от передатчика. Этим объясняется тот факт, что на заре развития радио для связи в основном применялись волны от 1 до 30 км. Волны короче 100 метров вообще считались непригодными для дальней связи. На рис. 24 показано прохождение коротких и длинных радиоволн в атмосфере Земли.

Однако дальнейшие исследования коротких и ультракоротких волн (УКВ) показали, что они быстро затухают, когда идут у поверхности Земли. При направлении излучения вверх, короткие волны возвращаются обратно.

Еще в 1902 английский математик Оливер Хевисайд и американский инженер-электрик Артур Эдвин Кеннелли практически одновременно предсказали, что над Землей

существует ионизированный слой воздуха – естественное зеркало, отражающее электромагнитные волны. Этот слой был назван ионосферой. Ионосфера Земли должна была позволить увеличить дальность распространения радиоволн на расстояния, превышающие прямую видимость. Экспериментально это предположение было доказано в 1923 году. Радиочастотные импульсы передавались вертикально вверх, и принимались вернувшиеся сигналы. Измерения времени между посылкой и приемом импульсов позволили определить высоту и количество слоев отражения.

Отразившись от ионосферы, короткие волны возвращаются к Земле, оставив под собой сотни километров «мертвой зоны». Пропутешествовав к ионосфере и обратно, волна не «успокаивается», а отражается от поверхности Земли и вновь устремляется к ионосфере, где опять отражается и т. д. Так, многократно отражаясь, радиоволна может несколько раз обогнуть земной шар.

Установлено, что высота отражения зависит в первую очередь от длины волны. Чем короче волна, тем на большей высоте происходит ее отражение и, следовательно, больше «мертвая зона». Эта зависимость верна лишь для коротковолновой части спектра (примерно до 25–30 МГц). Для более коротких волн ионосфера прозрачна. Волны пронизывают ее насквозь и уходят в космическое пространство.

Отражение зависит не только от частоты, но и от времени суток. Это связано с тем, что ионосфера ионизируется солнечным излучением и с наступлением темноты постепенно теряет свою отражательную способность. Степень ионизации также зависит от солнечной активности, которая меняется в течение года и из года в год по семилетнему циклу.

Радиоволны УКВ диапазона по свойствам в большей степени напоминают световые лучи. Они практически не отражаются от ионосферы, очень незначительно огибают земную поверхность и распространяются в пределах прямой видимости. Поэтому дальность действия ультракоротких волн невелика. Но в этом есть определенное преимущество для радиосвязи. Поскольку в диапазоне УКВ

волны распространяются в пределах прямой видимости, то можно располагать радиостанции на расстоянии 150–200 км друг от друга без взаимного влияния. А это позволяет многократно использовать одну и ту же частоту соседним станциям.

Свойства радиоволн диапазонов ДЦВ и 800 МГц еще более близки к световым лучам и потому обладают еще одним интересным и важным свойством. Вспомним, как устроен фонарик. Свет от лампочки, расположенной в фокусе рефлектора, собирается в узкий пучок лучей, который можно послать в любом направлении. Примерно то же самое можно проделать и с высокочастотными радиоволнами. Можно их собирать зеркалами-антеннами и посылать узкими пучками. Для низкочастотных волн такую антенну построить невозможно, так как слишком велики были бы ее размеры (диаметр зеркала должен быть намного больше, чем длина волны). Возможность направленного излучения волн позволяет повысить эффективность системы связи.

Связано это с тем, что узкий луч обеспечивает меньшее рассеивание энергии в побочных направлениях, что позволяет применять менее мощные передатчики для достижения заданной дальности связи. Направленное излучение создает меньше помех другим системам связи, находящихся не в створе луча.

При приеме радиоволн также могут использоваться достоинства направленного излучения. Например, многие знакомы с параболическими спутниковыми антеннами, фокусирующими излучение спутникового передатчика в точку, где установлен приемный датчик. Применение направленных приемных антенн в радиоастрономии позволило сделать множество фундаментальных научных открытий.

Необходимо отметить, что с уменьшением длины волны возрастает их затухание и поглощение в атмосфере. В частности, на распространение волн короче 1 см начинают влиять такие явления как туман, дождь, облака, которые могут стать серьезной помехой, сильно ограничивающей дальность связи.

Таким образом, мы выяснили, что волны радиодиапазона обладают различными



свойствами распространения, и каждый участок этого диапазона применяется там, где лучше всего могут быть использованы его преимущества.

### 1.7. Антенны

Антенна — устройство, предназначенное для излучения или приёма радиоволн. Антенны в зависимости от назначения подразделяются на приёмные, передающие и приёмопередающие. Антенна в режиме передачи преобразует энергию поступающего от радиопередатчика электромагнитного колебания в распространяющуюся в пространстве электромагнитную волну. Антенна в режиме приёма преобразует энергию падающей на антенну электромагнитной волны в электромагнитное колебание, поступающее в радиоприёмник. Таким образом, антенна является преобразователем подводимого к ней по линии питания электромагнитного колебания (переменного электрического тока, канализированной в волноводе электромагнитной волны) в электромагнитное излучение и наоборот.

Первые антенны были созданы в 1888 году Генрихом Герцем в ходе его экспериментов по доказательству существования электромагнитной волны (Вибратор Герца).[3] Форма, размеры и конструкция созданных впоследствии антенн чрезвычайно разнообразны и зависят от рабочей длины волны и назначения антенны.

Упрощённо принцип действия антенны состоит в следующем. Как правило, конструкция антенны содержит металлические (токопроводящие) элементы, соединённые электрически (непосредственно или через питающую линию — фидер) с радиопередатчиком или с радиоприёмником. В режиме передачи переменный электрический ток, создаваемый источником (например, радиопередатчиком), протекающий по токопроводящим элементам такой антенны, в соответствии с законом Ампера порождает в пространстве вокруг себя переменное магнитное поле. Это меняющееся во времени магнитное поле, в свою очередь, не только воздействует на породивший его электрический ток в соответствии с законом Фарадея, но и создаёт вокруг себя меняющееся во времени электрическое поле. Это переменное электрическое поле создаёт вокруг себя переменное магнитное поле и так далее — возникает взаимосвязанное переменное электромагнитное поле, образующее электромагнитную волну, распространяющуюся от антенны в пространство.

Тип конструкции антенны зависит от длины волн, на которых она должна работать. Чтобы эффективно излучать энергию, антенна должна иметь размеры, близкие к длине рабочей волны. Поэтому на низких частотах, использовавшихся в свое время для трансатлантической радиотелеграфной и радиотелефонной связи (частоты от 16 до 70 кГц, т.е. волны длиной от 19 до 4,3 км), огромная система антенных проводов общей протяженностью до 2 км представляла собой электрически короткую антенну и оказывалась, следовательно, неэффективным излучателем. Если такая антенна должна была иметь заметную направленность, то ее эффективность получалась очень низкой. Напротив, на сверхвысоких частотах (СВЧ) использование полуволнового симметричного вибратора длиной менее 1 см и отполированного металлического рефлектора диаметром всего лишь несколько сантиметров позволяет весьма эффективно фокусировать излучение такого вибратора в узкий луч.

Основные характеристики:

- характеристика направленности
- диаграмма направленности (ДН)
- ширина ДН по заданному уровню
- уровень боковых лепестков (УБЛ)
- коэффициент рассеяния

- фазовая диаграмма
- поляризационная диаграмма
- коэффициент направленного действия (КНД)
- коэффициент усиления (КУ)
- Коэффициент использования поверхности (КИП) апертуры антенны
- эффективная площадь рассеяния (ЭПР) антенны

#### Основные типы антенн

- Симметричный вибратор (диполь)
- Несимметричный вибратор
- Укороченная штыревая антенна
- Турникетная антенна
- Директорная антенна
- Щелевая антенна
- Рупорная антенна
- Зеркальная антенна
- Спутниковая антенна

### **1.8. Применение радиосвязи**

В наш технический век радиосвязь так глубоко проникла в повседневную жизнь, что многие люди не только не понимают, но даже не пытаются задумываться над тем, откуда что берётся, как и почему оно работает.

Приведу несколько примеров.

#### **1.8.1. Мобильная связь**

Абсолютное большинство современных людей не мыслят своей жизни без мобильного телефона. Но редко кто из них догадывается о том, что мобильный телефон – это аппарат, совмещающий в себе функции приёмника и передатчика, а мобильная связь осуществляется с помощью тех же обыкновенных РАДИОВОЛН.

#### **1.8.2. Радиотелефонная связь**

Там, где используют рации – различные приёмопередающие устройства (полиция, скорая помощь, МЧС и т.п.), связь также осуществляется с помощью радиоволн.

**1.8.3. Приём телевизионных сигналов** с помощью антенн, которые устанавливаются на крышах домов, постепенно уходит в прошлое. Тем не менее, те же самые радиоволны переносят изображение

**1.8.4. Спутниковые телевидение, телефонная связь, Интернет** – всё это существует, благодаря радиоволнам, которые излучаются передатчиком, ретранслируются спутником и достигают приёмника.

**1.8.5. Беспроводные мыш, клавиатура и гарнитура** также содержат миниатюрные приёмопередатчики, работающие в радиоволновом диапазоне.

**1.8.6. GPS, ГЛОНАСС** – глобальные системы позиционирования, с помощью которых можно определить не только своё место положения, но и многое другое – работают также в радиоволновом диапазоне.

**1.8.7. Bluetooth , Wi-Fi, беспроводные компьютерные сети** – это также передатчики и приёмники радиоволн .

**1.8.8. Различные радиоуправляемые модели** обязательно имеют блок управления (передатчик) и приёмник в самой модели.

## Список літератури

### 1.Основна

1. Телебачення / Під ред. В.Е. Джаконії. – М.: Радіо та зв'язок , 1986.
2. Домбругов Р.М. Телебачення. – Київ : Вища школа , 1988.
3. Проектування та технічна експлуатація телевізійної апаратури / Під ред. С.В. Новаковського. – М : Радіо та зв'язок , 1989.
4. Ю.Б. Зубарьов , Г.Л. Глоріозов . Передача зображень – М. : Радіо та зв'язок , 1989.
5. А.В. Виходець , В.І. Коваленко , М.Т. Кохно – Звукове та телевізійне мовлення ; - М. : Радіо та зв'язок , 1987.
6. Цифрове телебачення / Під ред. М.І. Кривошеєва. - М. : Радіо та зв'язок , 1980.
7. Певзнер Б.М. Якість кольорових ТВ зображень : видання друге ; М. : Радіо та зв'язок , 1988.
8. Радіорелейні та супутникові системи передачі : Підручник для вузів / Під ред. А.С. Немировського . - М. : Радіо та зв'язок , 1986. – 392 с
9. Системи радіозв'язку : Підручник для вузів / Під ред Л.Я. Калашникова - М. : Радіо та зв'язок , 1987. – 352 с
10. Посібник по радіорелейному зв'язку / Під ред С.В. Бородича - М. : Радіо та зв'язок , 1981. – 416 с
11. Супутниковий зв'язок та мовлення. Посібник / Під ред. Л.Я. Кантора - М. : Радіо та зв'язок , 1988. – 344 с
12. Системи космічного зв'язку. Посібник під ред. Б.В. Одинцова , Е. А. Сукачова; Одеса 1989.
13. Сучасні системи радіозв'язку в прикладах та задачах. Посібник під ред. Б.В. Одинцова , Е. А. Сукачова; Одеса 1990.
14. Мамчев Г.В. «Основы радиосвязи и телевидения», 2007 год;
15. Джакония В.Е., Гоголь В.А., Друзин Я.В. «Телевидение (4-е издание), 2007
16. Локшин Б.А. «Телевизионное вещание. От студии к телезрителю», 2001
17. Кириллов В.И., Ткаченко А.П. «Телевидение и передача изображения», 1988
18. Самойлов В.Ф., Хромой Б.П. «Основы цветного телевидения», 1982
19. Ельяшкевич С.А., Юкер А.М. «Усовершенствование телевизоров ЗУСЦТ и 4УСЦТ», 1994
20. Быков Р.Е., Сигалов В.М., Эйсенгардт Г.А. «Телевидение», 1988
21. Ельяшкевич С.А. «Справочное пособие. Цветные телевизоры ЗУСЦТ», 1990
22. Зубарев Е.Б., Кривошеев М.И., Красносельский И.Н. «Цифровое телевизионное вещание. Основы и методы», 2001

23. Корытов В.И «Телевизоры ЗУСЦТ. Ремонт и настройка», 1999
24. Смирнов А.В. «Основы цифрового телевидения», 2001
25. Ельяшкевич С.А., Песков А.Е. «Телевизоры ЗУСЦТ, 4УСЦТ, 5УСЦТ. Устройство, регулировки, ремонт»
26. Шумихин Ю.А. «Телевизионный сигнал», 1968
27. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 1 Принципи радіозв'язку, 2014
28. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 2 Радіопередавальні пристрої, 2014
29. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 3 Радиоприймні устройства, 2014
30. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 4 Физические основы телевидения, 2014
31. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 5 Основные принципы функционирования телевизионных систем, 2014
32. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 6 Формирование телевизионного сигнала, 2014
33. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 7 Конструктивні особливості телевізійної апаратури, 2014
34. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 8 Особенности построения телевизионных систем, 2014
35. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 9 Сети телевизионного вещания, 2014

## 2.Додаткова

1. Мордуховіч Л.Г., Степанов А.П. Системи радіозв'язку. Курсове проектування. - М. : Радіо та зв'язок , 1987. – 192 с
2. Спілкер Дж. Цифровий супутниковий зв'язок / пер. з англ. ; Під ред. В.В. Маркова - М. : Зв'язок , 1979. – 592 с
3. Одинцов Б.В., Сукачов Е.А. , Гуцаюк А.К. Цифрові системи радіозв'язку : Навчальний посібник / ОЕІС ім. А.С. Попова – Одеса , 1988. – 56 с.
4. Одинцов Б.В., Сукачов Е.А. , Гуцаюк А.К. Космічний зв'язок : Навчальний посібник / ОЕІС ім. А.С. Попова – Одеса , 1989. – 56 с.
5. Новаковський С.В. Колір в кольоровому телебаченні - М. : Радіо та зв'язок, 1988.
6. Кривошеєв М.І. Основи телевізійних вимірювань. : видання 3 – е. - М. : Радіо та зв'язок , 1989.
7. ГОСТ 7845 – 79. Система мовленнєвого телебачення. Основні параметри , методи вимірювань.
8. Прием телебачення та радіомовлення з супутників / Д.Ю. Бем , М.Є. Ільченко , А.П. Житков, Л.Г. Гассанов. – К.: Техніка , 1992. – 176 с.
9. Довідник. Індивідуальні відео – засоби. С.А. Сєдов – Київ 1990.
10. В.Бондарьов , Г.Трьостер , В. Чернега. Цифрова обробка сигналів : методи та засоби. Навчальний посібник для вузів. Харків 2001.

## **2.РАДІОПЕРЕДАВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ**

1.1 Загальні відомості.

1.2. Основні функціональні вузли радіопередавача.

1.3. Класифікація радіопередавальних пристроїв.

1.4. Технічні показники радіопередавача.

1.5. Особливості підсилювачів потужності радіопередавальних пристроїв

1.6 Загальні відомості про генератор із зовнішнім збудженням і використовуваних активних елементах.

1.7. Принцип роботи генераторів з зовнішнім збудженням.

1.8. Генерування високочастотних коливань.

### **2.Радіопередавальні пристрої**

#### **1.1.Загальні відомості**

Радіопередавальний пристрій - комплекс обладнання, призначений для формування і випромінювання радіосигналів.

Основними вузлами РПДП є генератор несучої частоти і модулятор. У сучасних системах зв'язку РПДП містить і інше устаткування, що забезпечує спільну роботу засобів зв'язку: джерела живлення, системи синхронізації, автоматичного управління, контролю і сигналізації, захисту і т.д.

Функції радіопередавального пристрою включають в себе перетворення енергії постійного струму джерел живлення в електромагнітні коливання та управління цими коливаннями.

Ці коливання за допомогою антени випромінюються в простір у вигляді радіохвиль.

У зв'язку зі зростанням числа радіостанцій і підвищенням вимог до якості передачі інформації електроакустичні і технічні показники радіопередавачів постійно удосконалюються.

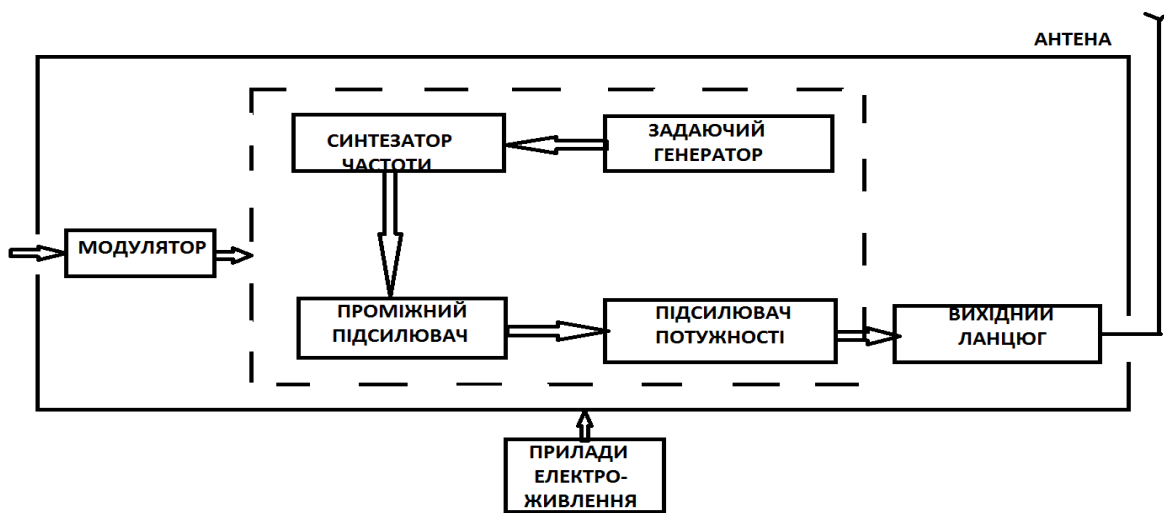
#### **1.2.Основні функціональні вузли радіопередавача**

Схема і конструкція радіопередавача залежать від різних факторів: призначення, діапазону робочих частот, потужності і т.д. Проте можна виділити деякі типові блоки, які однак є в більшості передавачів.

Структура передавача (рис. 1) визначається його основними загальними функціональними можливостями, до яких відносяться:

- Отримання високочастотних коливань потрібної частоти і потужності;
- Модуляція високочастотних коливань переданим сигналом;
- Фільтрація гармонік та інших коливань, частоти яких виходять за межі необхідної смуги випромінювання і можуть створити перешкоди іншим радіостанціям;
- Випромінювання коливань через антену.

## Функціональна схема радіопередавача



ача  
ача і виду

модуляції (амплітудна, частотна, односмугова і ін.)

**Синтезатор** перетворює частоту коливань опорного генератора, яка зазвичай постійна, в будь-яку іншу частоту, яка в даний час необхідна для радіозв'язку або мовлення.

Завдяки проміжному підсилювачу з досить великим коефіцієнтом підсилення від опорного генератора і синтезатора не вимагається значної потужності. Застосування проміжного підсилювача між синтезатором і потужним підсилювачем послаблює вплив на генератор і синтезатор можливих регулювань в потужних каскадах передавача і в антені.

**Генератор високої частоти**, часто званий задаючим або опорним генератором, служить для отримання високочастотних коливань, частота яких відповідає високим вимогам до точності і стабільності частоти радіопередавачів.

**Підсилювач потужності** (його називають генератором із зовнішнім збудженням) збільшує потужність радіосигналу до рівня, обумовленого вимогами системи радіозв'язку. Головним вимогам до підсилювача потужності є забезпечення їм високих економічних показників, зокрема ККД.

**Пристрій електроживлення** забезпечує підведення до всіх блоків струмів і напруг, необхідних для нормальної роботи входять до їх складу транзисторів, ламп та інших електронних елементів, а також систем автоматичного управління, пристроїв захисту від аварійних режимів та інших допоміжних ланцюгів і пристроїв.

**Вихідний ланцюг** служить для передачі посиленних коливань в антенну, для фільтрації високочастотних коливань і для узгодження виходу потужного крайового підсилювача з антенною, тобто для забезпечення умов максимальної передачі потужності.

### 1.3. Класифікація радіопередавальних пристроїв

- за призначенням - зв'язкові, радіомовні, телевізійні, радіолокаційні, радіонавігаційні, телеметричні і т.д.;
- за потужністю - малопотужні (до 100 Вт), середньої потужності (до 10 кВт), потужні (до 1000 кВт) і надпотужні (понад 1000 кВт);

- за родом роботи (виду випромінювання) - телеграфні, телефонні, однополосні, імпульсні і т.д. Види випромінювання позначаються трьома індексами: перший (літера) характеризує вид модуляції: А-амплітудна, F - частотна, Р-імпульсна; другий (цифра) визначає тип передачі: 0 - випромінювання немодульованої несучої, 1 - телеграфування без модулюючої звукової частоти, 2 - тональна телеграфія і т. д.; третій індекс (літера) визначає допоміжні характеристики;
- за способом транспортування - стаціонарні та рухомі (переносні, автомобільні, корабельні, літакові і т.д.).

#### 1.4. Технічні показники радіопередавача

До основних показників радіопередавача відносяться: діапазон хвиль, потужність, коефіцієнт корисної дії, вид і якість переданих сигналів.

Відповідно до класифікації радіохвиль (див. Табл. 1.1) розрізняють передавачі кілометрових, гектометрових, декаметрових та інших хвиль. З цим розходженням пов'язані відповідні особливості конструкцій, так як в різних діапазонах різні конструкції коливальних контурів і типів підсилюючих елементів. Передавач може працювати на одній або декількох виділених для нього фіксованих хвилях, або він може налаштовуватись на будь-яку довжину хвилі в безперервному діапазоні хвиль.

Потужність передавача зазвичай визначається як максимальна потужність високочастотних коливань, що надходить в антену при відсутності модуляції і при безперервному випромінюванні. Однак цієї характеристики недостатньо для оцінки потужності радіопередавача. Справа в тому, що в техніці радіозв'язку часто доводиться мати справу з сигналами, напруга яких змінюється в дуже широких межах і в порівняно короткі проміжки часу може приймати значення, у кілька разів перевершують середній рівень.

Характерним прикладом подібного режиму може служити радіолокаційний передавач, що випромінює імпульси тривалістю близько 1 мікросекунди, розділені інтервалами близько 1 мілісекунди, тобто в 1000 разів більшої тривалості. Якби при проектуванні передавача розрахунок вівся на те, що в моменти цих викидів потужність випромінювання відповідала б номінальній, то фактична середня потужність випромінювання була б у багато разів менше. Передавач був би використаний значно слабкіше своїх можливостей, а при необхідності забезпечити більшу дальність радіозв'язку треба було б застосувати передавач значно більшої потужності.

У системах радіомовлення проміжки часу, в яких амплітуда коливань досягає максимальних значень, займають зазвичай більшу частину загального часу роботи передавача (приклад, 40 ... 20%), тривалість їх доходить до десятків мілісекунд, а в «цьому випадку описане тимчасове форсування передатчика можливо, хоча і в менших межах.

Відповідно до викладеного потужність передавача, крім цифри максимальної потужності, при безперервній роботі характеризують значеннями пікової потужності, яка може бути забезпечена протягом обмежених проміжків часу. Наприклад, якщо середня потужність передавача при безперервній роботі 100 кВт, то вона може доходити до 200 кВт, якщо тривалість імпульсів не перевищує інтервалів між ними.

Найважливішими показниками радіопередавача є стабільність випромінюваної їм частоти і рівень побічних випромінювань. Справа в тому, що якщо суворо дотримується привласнена даному передатчику частота сигналу, то налаштований на цю частоту приймач починає приймати сигнали, що передаються негайно після включення, не вимагаючи підстроювань; це сприяє зручності експлуатації і високої надійності радіозв'язку, а також полегшує автоматизацію обладнання. Крім того, частотні діапазони, використані для радіозв'язку і мовлення, переповнені сигналами одночасно працюючих радіостанцій, тому якщо частота передавача відрізняється від дозволеного значення, то вона може наблизитися до частоти іншого передавача, що викличе перешкоди прийому його сигналів.

За існуючим міжнародним нормам відхилення від номіналу частоти передавача для радіозв'язку на гектометрових хвилях не повинно перевищувати 0,005%; для радіомовних передатчиків відхилення частоти в цьому діапазоні не повинно перевищувати 10 Гц. На декаметрових хвилях допустима нестабільність частоти для передавачів потужністю більше 0,5 кВт дорівнює 15-10 "б, що відповідає в діапазоні 4 ... 30 МГц абсолютного відхилення частоти від 60 до 450 Гц. Деякі системи радіозв'язку за своїм принципом роботи вимагають, щоб стабільність частоти була значно кращою, ніж передбачається зазначеними нормами.

Побічними випромінюваннями радіопередавача називаються випромінювання на частотах, розташованих за межами смуги, яку займає передавальний радіосигнал. До побічних випромінювань відносяться гармонічні випромінювання передавача, паразитні випромінювання і шкідливі продукти взаємної модуляції.

Гармонічними випромінюваннями (гармоніками) передавача називаються випромінювання на частотах, в ціле число разів перевищують частоту переданого радіосигналу.

Паразитними випромінюваннями називаються виникаючі іноді в передавачах коливання, частоти яких ніяк не пов'язані з частотою радіосигналу або з частотами допоміжних коливань, використаних в процесі синтезу частот, модуляції та інших процесів обробки сигналу.

Відомо, що при дії в нелінійного ланцюга, наприклад, двох ЕРС з частотами  $f_1$  і  $f_2$  спектр струму містить, крім складових з цими частотами і їх гармонік, також складові з частотами виду  $mf_1 \pm nf_2$ , де  $m, n$  - цілі числа. Це явище і лежить в основі взаємної модуляції; воно обумовлено наявністю в передатчику елементів, що володіють нелінійними характеристиками, головним чином транзисторів або електронних ламп.

Інтенсивність побічних випромінювань характеризується потужністю відповідних коливань в антені передавача. Наприклад, за чинним міжнародним нормам радіопередавачі на частотах до 30 МГц повинні мати потужність побічних випромінювання не менше ніж в 10 000 разів (на 40 дБ) нижче потужності основного випромінювання і не більше 50 мВт.

Показники, що визначають якість передачі мовного сигналу (електроакустичні показники), в принципі не відрізняються від аналогічних параметрів електричного каналу мовлення, що природньо, оскільки передавач є частиною каналу - трактом вторинного розподілу.

Деяка відмінність полягає лише в тому, що ці показники нормуються і вимірюються щодо рівня сигналу, відповідного до певного коефіцієнту модуляції сигналом частотою 1000 Гц.

Для допустимого відхилення амплітудно-частотної характеристики цей коефіцієнт дорівнює 50%.

Коефіцієнт гармонік визначається при коефіцієнті модуляції 50, 90, а також 10%, що обумовлено наявністю в модуляторі передавача специфічних викривлень виду двостороннього обмеження, помітних при великому коефіцієнті модуляції, виду «центральної відсічення», помітних при малому коефіцієнті модуляції. Захищеність від інтегральної перешкоди і від психоакустичного шуму вимірюється щодо рівня модулюючого сигналу, відповідного 100%-ї модуляції. Експлуатаційний персонал часто вживає термін «рівень шумів», який оцінюється в децибелах щодо рівня модулюючого сигналу з частотою 1000 Гц, відповідного коефіцієнту модуляції 100%. Чисельно він дорівнює величині захищеності від інтегральної перешкоди, взятої зі знаком «мінус».

## 1.5. Особливості підсилювачів потужності радіопередавальних пристроїв

Підсилювачі потужності в техніці радіопередавальних пристроїв прийнято називати генераторами із зовнішнім збудженням. Отже, **генератор із зовнішнім збудженням (ГЗЗ)** - пристрій, що перетворює енергію джерела постійного струму в енергію струму високої частоти. В якості підсилювального приладу ГЗЗ в сучасних радіопередавачах використовуються електровакуумні лампи, біполярні та польові транзистори, діоди Ганна, лавинно-пролітні діоди (ЛПД), магнетрони та ін.



### 1.6. Загальні відомості про генератор із зовнішнім збудженням і використовуваних активних елементах

Найпоширенішим каскадом сучасних радіопередавачів є генератор із зовнішнім збудженням. До його складу входять активний елемент (АЕ), навантаження, ланцюги живлення і зсуву АЕ і ланцюг збудження, по якому на вхід АЕ подається радіочастотний сигнал від збудника. В якості збудника виступає попередній каскад передавача. Ланцюга збудження і зміщення утворюють вхідний ланцюг АЕ, який повинен вирішувати також завдання вхідного ланцюга узгодження. В свою чергу ланцюг живлення і навантаження утворюють вихідний ланцюг АЕ, що виконує функції вихідного узгоджувального ланцюга.

Нагадаємо, що ланцюги узгодження служать, по-перше, для трансформації (погодження) опорів; по-друге, для формування спільно з ланцюгами живлення і усунення необхідної форми струмів і напруг, що забезпечують необхідний режим роботи ГЗЗ, і, в третіх, для фільтрації вищих гармонік. Узагальнена структурна схема ГЗЗ зображена на рис.2

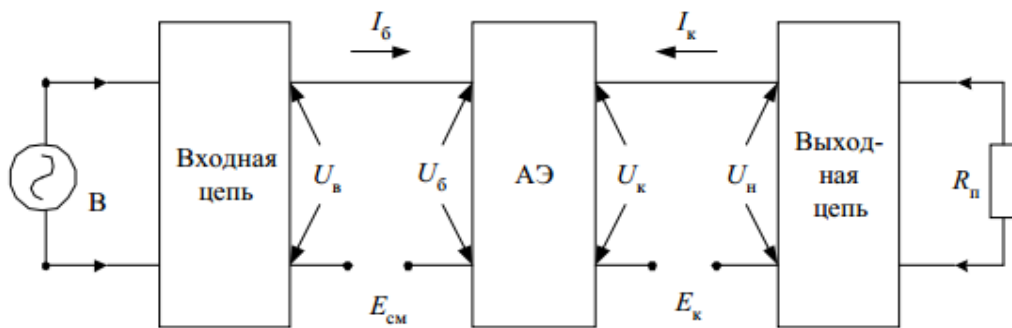


Рис.2

Вихідний ланцюг узгодження трансформує вхідний опір АЕ в опір, рівний внутрішньому опору  $R$  і збуджувача ( $B$ ), а вихідний ланцюг узгодження - опір споживача  $R_n$  (вхідний опір наступного каскаду, антени) в оптимальне опір навантаження АЕ.

В передавачах ГЗЗ можуть виконувати три різні функції: посилювати радіочастотні коливання (підсилювачі), підвищувати частоту цих коливань в ціле число раз і змінювати амплітуду коливань радіочастоти за законом НЧ-сигналу повідомлення (амплітудні модулятори).

В якості АЕ в ГЗЗ використовуються електровакуумні лампи, біполярні і польові транзистори.

Найпростіша схема ГЗЗ на транзисторі приведена на рис.3

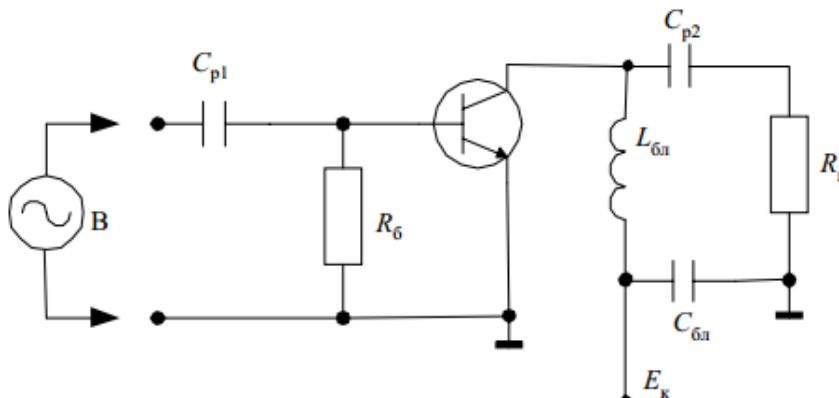


Рис.3

Вхідний ланцюг містить розділовий конденсатор  $C_{p1}$  і резистор  $R_b$ , який слугує для замикання постійної складової струму бази. Колекторний ланцюг транзистора живиться від джерела з напругою  $E_c$ . Вихідний ланцюг має розділюючий конденсатор  $C_{p2}$  і ланцюг живлення, яка складається з блокуючи елементів  $L_{bl}$ ,  $S_{bl}$ , перешкоджають замикання змінної складової колекторного струму через джерело.

ГЗЗ в передатчиках використовують схеми включення транзисторів або зі спільним емітером (СЕ), або ж зі спільною базою (СБ).

### 1.7. Принцип роботи генераторів з зовнішнім збудженням

Розглянемо генератор із зовнішнім збудженням, зображений на рис. 4. В якості навантаження використовується коливальний контур. Статична стокозатвірна характеристика та побудова, що пояснюють процеси в генераторі показані на рис.4 та рис.5.

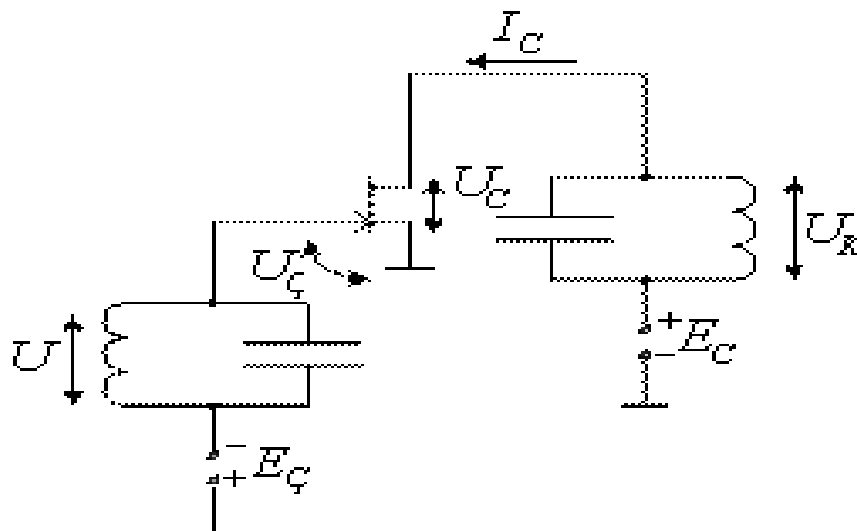


Рис. 4 Генератор з зовнішнім збудженням

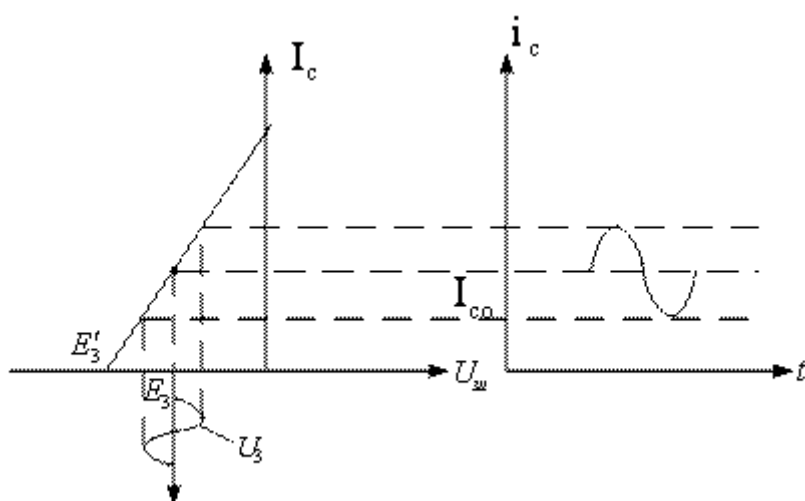


Рис.5

Пояснення до роботи генератора

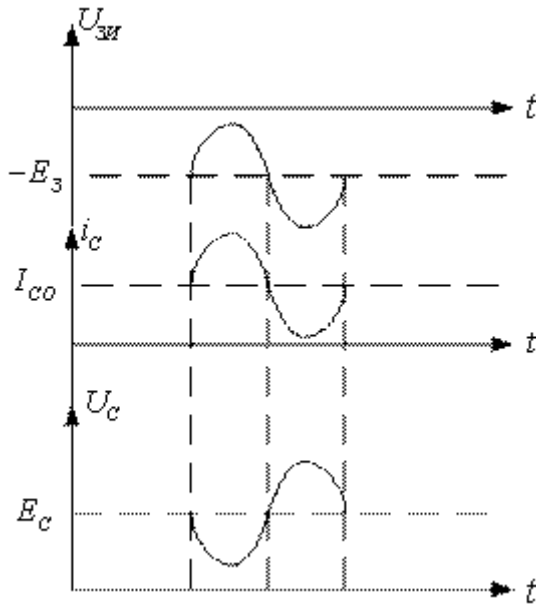


Рис.6 Часові залежності процесів в генераторі

Очевидні наступні співвідношення для генератора:

$$U_3 = E_3 + U_3 \cos wt ;$$

$$i_c = I_{co} + I_1 \cos wt.$$

Амплітуда на контурі :

$$U_k = I_1 \cdot Z_p$$

Напруга на стоці:

$$U_c = E_c - U_k \cos wt$$

Основне рівняння транзисторів  $i_c = (U_3 + E'_3)$ . Звідки  $I_{co} = S(E_3 + E'_3)$ ;  $I_{c1} = SU_3$

Залежно від співвідношення величин  $E_3$ , і  $U_3$  розрізняють два режими роботи транзистора в генераторах:

- Режим коливань 1-го роду;
  - Режим коливань 2-го роду.
- Розглянемо докладніше ці режими.

**Режим коливань 1-го роду.** Цей режим без відсічення струму стоку, тобто робота на лінійній ділянці стоконатворної характеристики.

При цьому необхідно дотримуватися умови  $I_{c1} \leq I_{co}$ , але щоб струм відтоку був, то

необхідно  $E_c - U_k \cos wt \geq 0$ . Із цієї умови можна зробити висновок  $\xi = \frac{E_k}{E_c} \leq 1$ .

Співвідношення називається коефіцієнтом використання ерс джерела.

Знайдемо коефіцієнт корисної дії генератора  $r = \frac{P_1}{P_0}$ , де  $P_1$  - потужність, що виділяється в контурі (корисна потужність);  $P_0$  - потужність, споживана від джерела.

Підставимо значення цих потужностей в формулу, визначаючи, що  $P_1 = I_{c0} \cdot E_c$  и  $P_1 = 1/2 I_{c1} \cdot U_k$

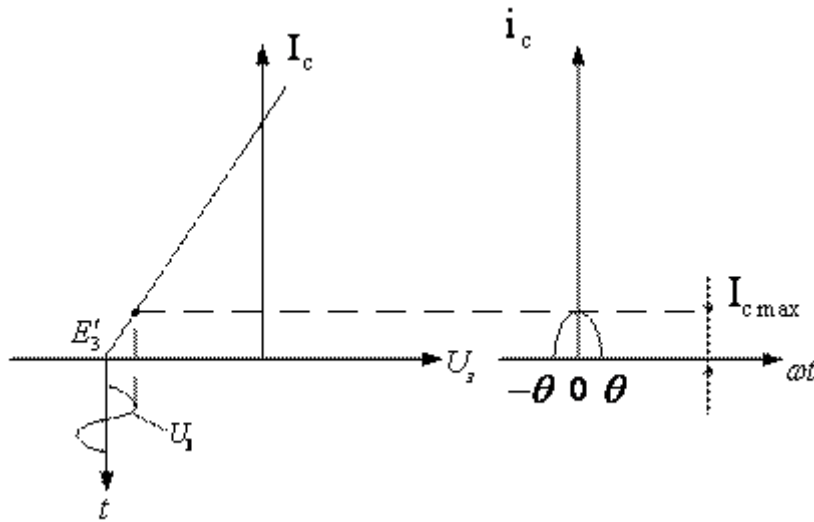
$$r = \frac{1 I_{c1}}{2 I_{c0}} \cdot \frac{U_k}{E_c} .$$

Враховуючи граничне значення співвідношень, отримаємо :

$$r_{max} = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 1 = 0,5.$$

В низькому значенні ККД основний недолік роботи генератора в режимі коливань 1-го роду.

**Режим коливань 2-го роду.** Ідеалізована стокзатворна характеристика польового транзистора і відповідні побудови представлені на рис.7.



**Рис.7** Робота транзистора в режимі коливань 2-го роду:  
 $\theta$  - Кут відсічення струму стоку

Робота транзистора в режимі коливань 2-го роду підрозділяється ще на три режими:  
 - Недонапруга;  
 - Критичний;  
 - Перенапружений.

Перший з названих - це робота без вихідного струму транзистора, т. е. Коли  $I_3 = 0$

,Перенапружений - режим роботи з вхідним струмом, т. е.  $I_3 > 0$

Критичний режим - щось середнє між названими режимами.

Для аналізу особливостей режиму коливань 2-го роду виконаємо гармонійний аналіз струму стоку.

Скористаємося основним рівнянням транзистора:

$$i_c = S(U_3 + E_3') = S(U_3 + E_3' + U_3 \cos wt).$$

З метою отримання зручного для аналізу виразу проведемо наступні перетворення.

Відповідно до рис. 3.4 при  $wt = Q, i_c = Q$ , тому  $Q = S(U_3 + E_3' + U_3 \cos Q)$ .

$i_c = S U_3 (\cos wt - \cos Q)$ . Далі при  $wt = 0, i_c = I_{max}$ . Тоді  $I_{c max} = S U_3 (1 - \cos Q)$

$i_c = I_{max} \frac{\cos \omega t - \cos Q}{1 - \cos Q}$ . Тепер знайдемо кут відсічки  $\theta$ :

$$\cos Q = -\frac{E_3 + E_3'}{U_3}$$

В отриманому виразі зміщення  $E_3$  і потенціал затирання транзистора  $E_3'$  необхідно підставляти з урахуванням знака.

З метою гармонійного аналізу розкладемо вираз  $i_c$  в ряд Фур'є:

$$I_{c0} = \frac{1}{\pi} \int_0^\theta i_c d\omega t; I_{c1} = \frac{2}{\pi} \int_0^\theta i_c \cdot \cos \omega t d\omega t; I_{cn} = \frac{2}{\pi} \int_0^\theta i_c \cos n\omega t d\omega t,$$

де  $I_{c0}$  - постійна складова струму;  $I_{cn}$  - амплітуди змінних складових, де  $n = 1, 2, 3 \dots$

Введемо поняття коефіцієнта розкладання (коефіцієнти Берга)

$$\alpha_n(Q) = \frac{I_{cn}}{I_{cmax}}$$

Оптимальний кут відсічення для отримання максимальної амплітуди  $n$ -й гармоніки обчислюється за формулою

$$\theta_{c opt} = \frac{120^\circ}{n}$$

Залежність коефіцієнтів Берга від кута відсічення представлені на рис.8.

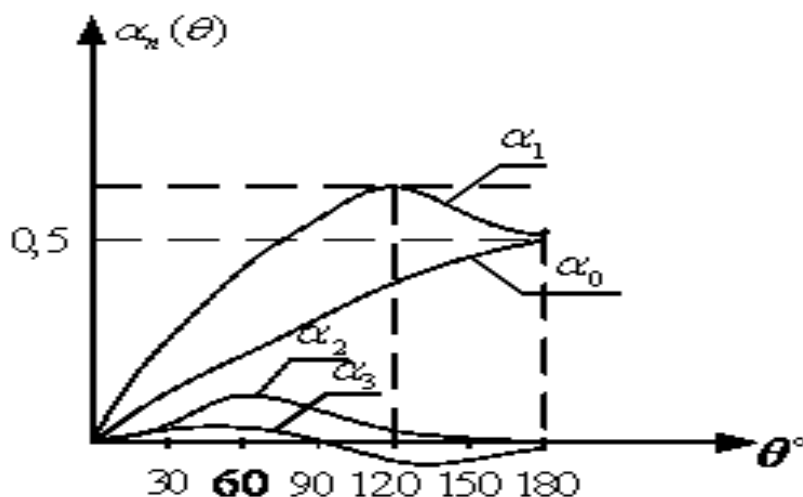


Рис.8 Залежність коефіцієнтів Берга від вузла відсічки

Розглянемо енергетичні відносини в режимі коливаний 2-го роду.

$$P_1 = \frac{1}{2} I_{c1} \cdot U_k - \text{корисна потужність в загрузці}$$

$$P_0 = I_{c0} \cdot E_c - \text{споживана потужність від джерела}$$

$$\text{Коефіцієнт корисної дії: } \eta = \frac{P_1}{P_0} = \frac{1}{2} \cdot \frac{I_{c1}}{I_{c0}} \cdot \frac{U_k}{E_c}$$

$$\frac{I_{c1}}{I_{c0}} = \frac{\alpha_1 \cdot I_{cmax}}{\alpha_0 \cdot I_{cmax}} = \frac{\alpha_1}{\alpha_0} = 1 \div 2$$

$$\frac{U_k}{E_c} = 0,7 \div 1,05; \text{поэтому } \eta = 0,6 \div 0,8$$

Як бачимо, коефіцієнт корисної дії в режимі коливань 2-го роду значно більше такого в режимі коливань 1-го роду.

В цьому велика вигода використання такого режиму в генераторах.

### 1.8. Генерування високочастотних коливань

Розглянутий вище генератор вимагає для своєї роботи зовнішнє збудження.

Разом з тим існує клас коливань, виникнення яких не пов'язане з будь-яким зовнішнім впливом. Вони з'являються як би самі собою в спеціальних пристроях, мають цілком певну форму, параметри, свої особливості. Зрозуміло, з нічого ці коливання з'явитися не можуть. Для їх виникнення необхідні певні умови, причини; про них будемо говорити пізніше. Зараз же звернемо увагу на те, що коливання формуються самостійно, без стороннього впливу. Такі коливання називаються автоколиваннями, а пристрої, їх породжують, - автогенераторами, які надалі будемо називати просто генераторами.

Визначимо ті передумови, які необхідні для самовільного виникнення автоколивань. Для цього звернемося до звичайного паралельного коливального LC-контурі. Якщо контур піддати короткочасному впливу (наприклад, імпульсного), у ньому виникнуть електричні коливання, змінні за синусоїдальним законом. З електротехніки відомо, що коливальний процес в контурі не може тривати нескінченно довго, рано чи пізно він згасне. Причина загасання теж відома: через втрати в контурі енергія коливання неперервно зменшується, розсіюється. Зрештою коливання зменшаться до нуля.

Значить, для того щоб коливання не зникло, необхідно постійно поповнювати розсіювальну енергію. Оскільки в контурі відсутнє джерело енергії, доведеться це робити за рахунок зовнішнього джерела. В якості нього можна взяти джерело постійної напруги або струму.

Звернемося до схеми рис.9. Якщо за відсутності LC-контурі коливання, ключ перевести в положення 2, конденсатор С зарядиться до напруги джерела Е, отримавши деяку кількість енергії. При переключенні ключа в положення 1 в контурі виникнуть вільні коливання. Щоб коливання не загасали), будемо періодично в такт з коливальним процесом підключати конденсатор С до джерела Е. В результаті конденсатор буде постійно порціями підзаряджатися від джерела, поповнюючи свою енергію. За рахунок цього коливання в контурі стануть незатухаючими.

Для підтримки в контурі коливань необхідно синхронне з ними перемикання ключа К. Для цього необхідна ланцюг управління (ланцюг зворотного зв'язку), що передає відповідні команди на перемикання. Очевидно, джерелом команд повинен бути сам контур, який визначає періодичність коливань з частотою  $\omega = 1 / T$ .

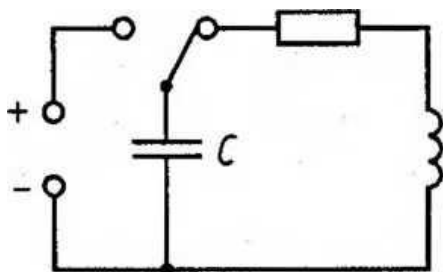


Рис.9 Коливання в LC-контурі

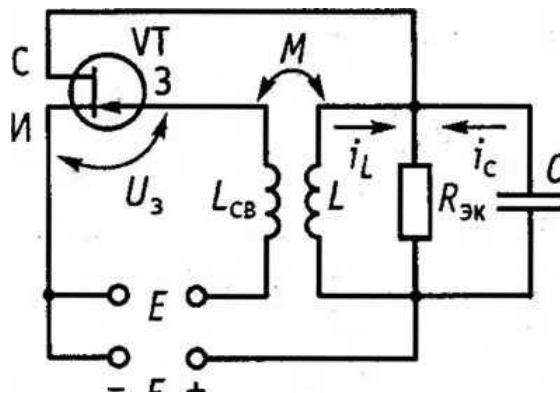


Рис. 10 Принципова схема автогенератора

Розглянута найпростіша схема може вважатися моделлю автогенератора гармонійних коливань. Практична реалізація цієї моделі представлена схемою на рис. 2.8. Частотнозадаючою ланкою є LC-контур, джерелом енергії - джерело постійної напруги  $E_c$ , включений в ланцюг стоку польового транзистора УТ. Роль ключа К виконує затвір транзистора. Напруга  $U_3$  на затворі управляє струмом стоку  $I$ . Змінна складова цього струму поповнює енергію контуру. Зворотній зв'язок забезпечується котушкою зв'язку Цв, індуктивнозв'язаною з котушкою контуру. Ступінь зворотнього зв'язку визначається коефіцієнтом взаємодукції  $M$ . Транзистор не тільки виконує функцію ключа К, а й «допомагає» зворотньому зв'язку, забезпечуючи за рахунок свого посилення надходження в контур необхідних порцій енергії. Додаткове джерело  $E$  в ланцюзі затвору відіграє допоміжну роль, встановлення, як побачимо далі, необхідний режим роботи транзистора.

Таким чином, всі необхідні для генерації елементи, визначені моделлю генератора (див рис.10) Знаходимо в принциповій схемі рис.10. Однак для генерації коливань необхідно ще виконати певні умови, які потрібні, по-перше, для появи коливань (і, по-друге, для підтримання виникли коливань з певною амплітудою і частотою (баланс амплітуд).

Спочатку розглянемо фізичну картину самозбудження.

У генераторі, як і в будь-якій схемі і ланцюги, коливання з нічого з'явитися не можуть. Необхідний якийсь поштовх зсередини або ззовні. Таким внутрішнім поштовхом можуть бути флуктуації напруги або струму, викликані тепловим рухом носіїв зарядів (електронів). Ці флуктуації дуже малі по інтенсивності, але при певних умовах можуть стати джерелом впорядкованих коливань.

Розглянемо більш просту ситуацію, пов'язану з появою струму в момент включення джерела напруги  $E_c$ . При появі струму стоку / конденсатор контуру  $C$  зарядиться і в контурі почнуться вільні затухаючі коливання. Змінний струм, який проходить по котушці за рахунок взаємодукції викликає появу змінної напруги  $U_3$  на котушці зв'язку Цв. Це напруга, прикладена до затвора, викликає пульсацію струму стоку. У ньому є змінна складова, яка створює на контурі змінне напруга  $U_3$ . Фактично напруга  $U_3$  є посиленням транзистором змінною напругою затвора. Частота напруги на затворі дорівнює частоті власних коливань контуру. Отже, і змінна складова струму стоку має ту ж частоту. Тому в контурі автоматично завжди буде резонанс струмів і LC-контур для змінної складової струму стоку представляє великий резистивний опір ЯЕК.

Для самозбудження зворотній зв'язок повинен бути досить великою, інакше змінну напругу на затворі викличе дуже малу змінну складову струму стоку, енергія якої виявиться недостатньою для компенсації втрат в контурі.

В принципі генератор схожий на підсилювач. Коливання, виникнені в контурі, за допомогою зворотного зв'язку подаються на вхід підсилюючого елементу (в даному випадку транзистора), посилюються їм і виділяються на контурі, далі знову надходять на вхід транзистора, знову посилюються і т.д. Амплітуда коливань зростає і доходить до певної межі. По суті генератор є підсилювачем власних коливань контуру. З цієї причини (якщо виконуються умови самозбудження) будь підсилювач може перетворитися в генератор. Наприклад, мікрофонний підсилювач стає генератором звукових коливань, якщо через невдалу акустику приміщення чи поганий екранування ланцюгів виникають канали акустичної або електричної зворотного зв'язку, що призводять до самозбудження підсилювача. В даному випадку зворотний зв'язок відіграє шкідливу роль.

### 3. РАДИОПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА

- 1.1 Назначение и виды радиоприёмных устройств
- 1.2. Основные показатели радиоприёмных устройств
- 1.3 Структурные схемы радиоприемников

#### 3. Радиоприемные устройства

##### 1.1. Назначение и виды радиоприёмных устройств

Назначение радиоприёмника, как услужливо нам подсказывает название – принимать радиосигналы. Принимать и преобразовывать в первичные электрические импульсы достаточной мощности, чтобы можно было воспроизвести изначальную информацию. Такой процесс носит название **демодуляции**.

Энергию электромагнитных волн улавливает приёмная антенна, преобразуя её в энергию высокочастотных колебаний. По отношению к радиоприёмнику, приёмная антенна является *источником радиосигналов*.

Схематически она может быть представлена в виде источника ЭДС с внутренним сопротивлением  $Z_A = r_A + jx_a$  :



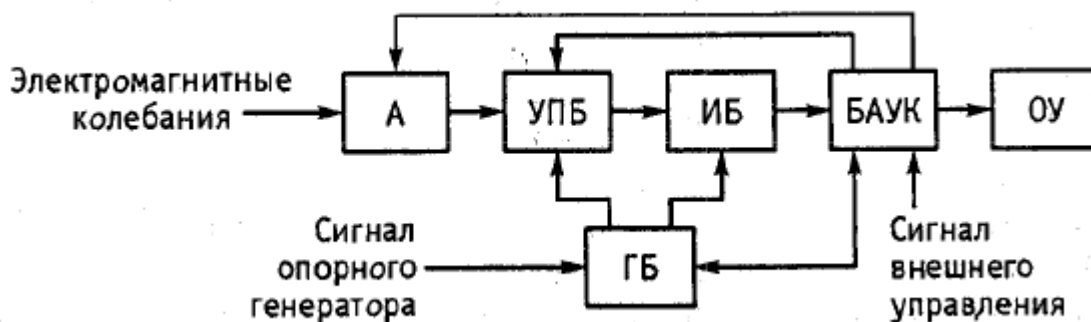
Просто уловить сигнал явно недостаточно, нужно ведь уловить именно *свой* сигнал, который принято называть **полезным**. Наиболее популярным и практичным является различение сигналов по частоте. Затем полезный сигнал усиливается, а также принимаются меры для ослабления уровня помех.

Всё это стандартные решения, для обеспечения какого-либо приёма. Однако, если качество сигнала является недостаточным, то дополнительно принимаются такие меры как:



- ❖ **частотное преобразование принимаемого сигнала** (чтобы перенести его в спектр частот, где возможна наилучшая его обработка);
- ❖ **изменение некоторых отдельных параметров**, для адаптации к конкретной электромагнитной обстановке.

В общих чертах структурную схему приёмника можно представить так:



*А* – антенна;  
*УПБ* – усилительно-преобразовательный блок;  
*ИБ* – информационный блок;  
*ГБ* – гетеродинный блок;  
*БАУК* – блок адаптации, управления и контроля;  
*ОУ* – окончательное устройство.

Как раз **УПБ** и отвечает за выделения полезного сигнала из множества других, так что он является важнейшим элементом, в совокупности с **информационным блоком**, который осуществляет собственно демодуляцию и ослабление помех. УПБ должен обеспечивать усиление при незначительном добавлении собственных помех. В ИБ может использоваться специальный фильтр для обеспечения оптимального приёма. Составной частью блока может быть УПЧ (усилитель промежуточных частот), который обеспечивает основную избирательность.

**Гетеродинный блок** синтезирует частоты, которые необходимы для работы УПБ и информационного блока. При переносе сигнала из одной полосы частот в другую общий характер модуляции должен оставаться неизменным. Для преобразования используется нелинейный элемент, на который одновременно подаются две частоты: частота сигнала и собственная частота гетеродина.

**БАУК** позволяет вручную или автоматически настраивать частоту, громкость, включать и выключать устройство и отображает эти данные на различных индикаторах. То есть, по сути это все те ручки и переключатели, которые мы видим и можем поворачивать. Регулировка громкости, например, происходит с помощью плавной потенциометрической регулировки усиления, а автоматическая подстройка частоты осуществляется с помощью ввода специальной цепи, содержащей измерительный элемент, фильтра и регулятора частоты.

**Оконечным устройством** может являться, например, динамик в телефоне, либо кинескоп в телевизоре, и его вид зависит от требуемого выходного эффекта (акустический, оптический или механический).

Конечно же, как и любые устройства, радиоприёмники подлежат некой *классификации*. Так как более подробно она представлена в конце данного раздела, то сейчас рассмотрим лишь наиболее распространённые **признаки классификации**:

- по функциональному назначению;
- по спектру используемых частот;
- по виду принимаемых сигналов;
- по характеру принимаемой информации;
- по виду модуляции;
- по месту установки;
- по способу управления.

## 1.2. Основные показатели радиоприёмных устройств

Чтобы понять, что же это за зверь такой - “радиоприёмник”, расскажем о трёх его основных функциях:

1. Выделение полезного сигнала из всех остальных и его приём;
2. Преобразование радиосигнала в первичный электрический сигнал;
3. Обеспечение усиления принимаемых слабых сигналов до нормального уровня.

Качество и применение готового радиоприёмника определяют его различные параметры. По сути, все характеристики радиоприёмных устройств делятся также на три типа:

- *электрические* (диапазон рабочих частот, чувствительность, частотная избирательность, частотная точность приёмника, искажения сигналов);
- *конструктивно-эксплуатационные* (стабильность параметров и показателей, эргономичность, надёжность, ремонтпригодность);
- *производственно-экономические* (стоимость, энергетическая экономичность, массо-габаритные показатели, надёжность).

Естественно, нас больше всего интересуют электрические характеристики приёмника, так как именно они задают самые важные параметры, определяют тип, класс и назначение приёмника, ведь всё три основные функции зависят именно от них. Поэтому, для начала, дадим определение каждой из его электрических характеристик.

*Диапазон рабочих частот* - определяется двумя граничными частотами и коэффициентом перекрытия диапазона по частоте.

$$K_f = f_{max}/f_{min}$$

*Чувствительность* - это способность приёмника принимать и выделять из общего шума слабые сигналы. Пожалуй, самая важная из характеристик.

*Частотная избирательность*- характеризует способность выделять полезный сигнал из совокупности радиосигналов и помех, действующих на вход приёмника.

*Частотная точность*- определяет способность устанавливать и поддерживать с допустимой погрешностью заданное значение частоты.

*Искажения сигналов*- определяют качество конечного (получаемого) сигнала. Разумеется, чем они меньше, тем выше качество и ниже вероятность ошибки приёма.

*Количество частот*, на которых может работать приёмник напрямую зависит от его *диапазона* и может быть вычислено по формуле:

$$N_{pч} = \frac{(f_{max} - f_{min})}{\Delta f_{pч}} + 1 ; \text{ где } \Delta f_{pч} - \text{ интервал между соседними частотами.}$$

Рассмотрим *чувствительность* подробнее. Количественно она оценивается минимальной ЭДС в антенне или номинальной мощностью модулированного сигнала, при которых сигнал воспроизводится и удовлетворяет требованиям качества. Частично, чувствительность обеспечивает усилитель на входе, но, фактически, он усиливает также и шум, из-за чего становится возможным принять более слабый сигнал, усиливая заодно и шумы.

Поэтому, наименьший уровень сигнала определяется не уровнем сигнала, а уровнем помех. Помехи бывают как *внешние* так *внутренние*. К внешним относятся помехи от других радиосистем и природные помехи, а внутренние присутствуют всегда, даже при полном отсутствии внешних (идеализированные условия). В таком случае, чувствительность радиоприёмника определяется его внутренними (флуктуационными) шумами.

*Избирательность* довольно важный параметр и имеет несколько видов:

- ❖ **Пространственная** - достигается при использовании остронаправленных антенн или методом электронного управления синтезированной диаграммы направленности;
- ❖ **Поляризационная** - реализуется настройкой антенны на определённый вид поляризации;
- ❖ **Временная** - это когда антенна включается только на время приёма полезного сигнала (как по мне, то самый неудобный и непрактичный вид);
- ❖ **Частотная избирательность** - выше оговоренная способность принимать только “свою” частоту.

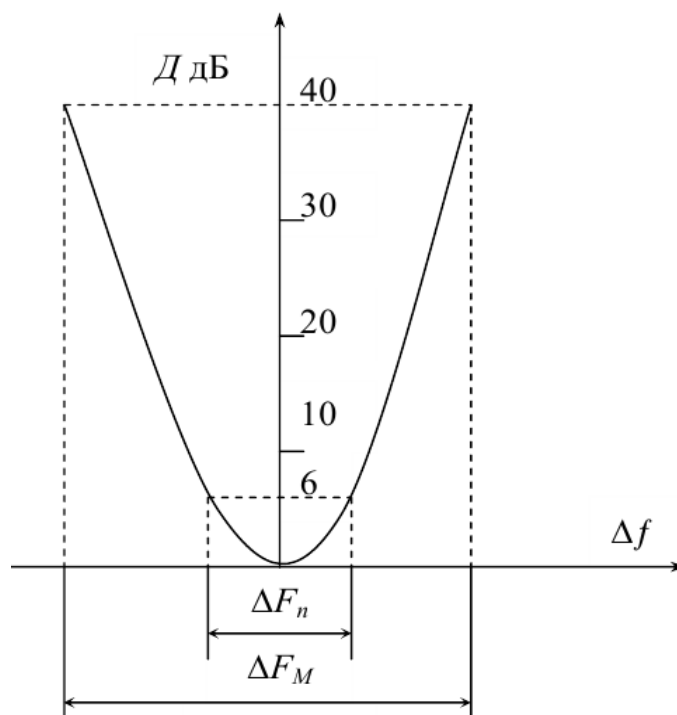
Наиболее эффективной, и одновременно, более сложной является именно *частотная избирательность*. В случае её правильного использования, возможно принимать сигнал только на нужной частоте (на практике это скорее диапазон частот) и ослабить помехи, которые будут идти на других частотах. Существует два вида частотной избирательности:

- линейная;
- реальная.

Линейная предполагает, что весь тракт приёма линейный, а на его действует радиосигнал только одной частоты с относительно небольшой амплитудой. Определяется графиком зависимости ослабления чувствительности радиоприёмника  $D \text{ (дБ)} = 20 \lg(E_A/E_{A0})$  от изменения частоты входного сигнала  $\Delta f = f - f_c$  относительно рабочей частоты приёмника.

Такой график называют *характеристикой избирательности*. С помощью неё можно определить *параметры избирательности*:

- ➔ *полоса пропускания приёмника*  $\Delta F_n$ , которая равна удвоенному значению расстройки  $2\Delta f$ , при которой чувствительность приёмника уменьшается на 6 дБ;



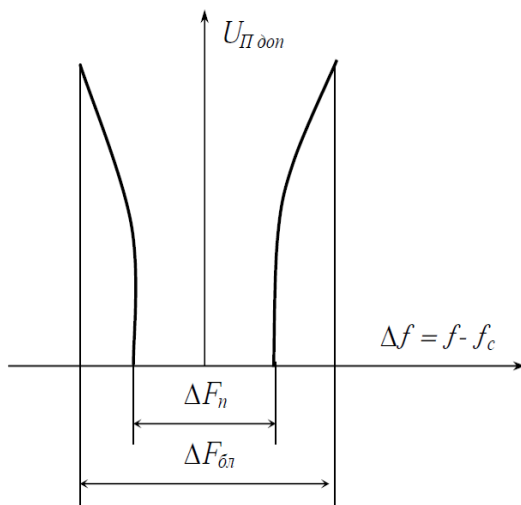
- *полоса мешания*  $\Delta F_M$  - полоса частот, на границах которой чувствительность приёмника уменьшается на 20 (40) дБ;
- *коэффициент прямоугольности*  $K_{\Pi} = \Delta F_n / \Delta F_M$  - определяет степень приближения характеристики к идеальной прямоугольной форме (для реальных характеристик всегда меньше единицы).

Однако, линейная избирательность не может нам дать полного представления о работе приёмника в реальных условиях (имеется ввиду наличие мешающих сигналов), поэтому вводится понятие **реальной избирательности** (также называется **эффективная** или **многосигнальная частотная избирательность**).

Её сейчас разберём более детально, но сначала кратко о нескольких видах помех, которые чаще всего мешают приёму сигнала:

- ❖ **перекрёстная модуляция** - перенос модуляции помехи на полезный сигнал;
- ❖ **сжатие амплитуды** - нарушает линейную зависимость между амплитудами сигнала на входе и на выходе;
- ❖ **блокирование сигнала** - эффект ослабления сигнала, вызванный нелинейностью приёмного тракта под воздействием сильной помехи;
- ❖ **интермодуляция** - подвид нелинейных искажений, возникающих в усилителе (искажения данного вида могут возникнуть при действии по крайней мере двух помех).

Итак, **реальная избирательность** представляет собой график зависимости допустимых амплитуд помехи от её расстройки относительно частоты принимаемого сигнала (см. рисунок ниже).



Хотя, на самом деле, чаще всего, реальную избирательность характеризуют полосой блокирования.

**Полоса блокирования (забития)** - это удвоенное значение расстройки помехи относительно сигнала, при котором происходит блокирование сигнала помехой определённой амплитуды (указывается значение амплитуды помехи относительно амплитуды сигнала).

Существует так же такое понятие, как **частотная точность радиоприёмника**. Она определяет его способность устанавливать и поддерживать определённую частоту. То есть, при хорошей частотной точности возможно

входить в связь без поиска и вести связь без подстройки.

Обычно, для повышения надёжности и устойчивости связи, погрешность установки частоты компенсируют более широкой полосой пропускания на входе приёмника, хоть это и приводит к снижению чувствительности приёмника:

$$\Delta F_{\Pi} = \Delta F_C + 2\Delta f_{\text{ПР}}, \text{ где}$$

$\Delta F_C$  - спектр принимаемого сигнала;

$\Delta f_{\text{ПР}}$  - абсолютная расстройка приёмника, определяемая его частотной точностью.

Свою лепту в качество сигнала вносят и **искажения**, которые бывают:

- нелинейные;
- амплитудно-частотные;

- фазочастотные.

**Нелинейные** возникают из-за нелинейности характеристик элементов приёмного тракта. Они искажают форму первичных сигналов и количественно оцениваются коэффициентом гармоник:

$$K_{\Gamma} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_1}, \text{ где}$$

$U_2 \dots U_n$  - амплитуды высших гармоник;

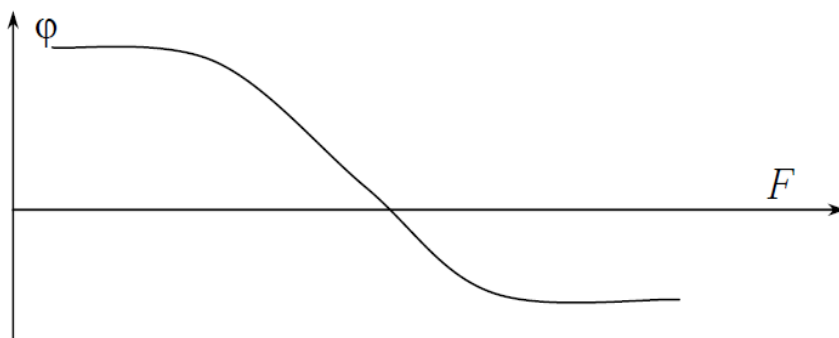
$U_1$  - амплитуда первой гармоники.

**Амплитудно-частотные искажения** объясняются различием в коэффициенте усиления для различных составляющих спектра первичного сигнала. Оцениваются с помощью АЧХ (график зависимости амплитуды первичного сигнала от частоты). Для количественной же оценки искажений данного вида пользуются *коэффициентом частотных искажений*:

$$M_H = \frac{U_{Fmax}}{U_{FH}}; M_B = \frac{U_{Fmax}}{U_{FB}}, \text{ где}$$

$U_{MH}$  и  $U_{MB}$  - амплитуда первичного сигнала на выходе на нижней и верхней частотах.

**Фазочастотные** - обусловлены нелинейностью фазовой характеристики приёмника, под которой имеется ввиду зависимость фазы первичного сигнала на выходе приёмника от частоты (пример на рисунке ниже).



Для разных типов сигналов те или иные искажения имеют разную критичность. Скажем, при приёме телефонных сигналов, решающую роль играют нелинейные искажения, а фазочастотным можно пренебречь (так как

человеческое ухо не чувствительно к изменению фазы звуковых колебаний). Однако, при приёме радиоимпульсных сигналов те же фазочастотные искажения довольно сильно искажают выходные видеоимпульсы.

### 1.3 Структурные схемы радиоприемников

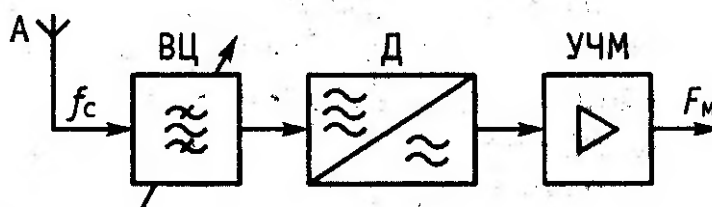
По принципу усиления сигнала и способам его преобразования все радиоприемники можно разделить на три группы: детекторные, прямого усиления и супергетеродинные.

Детекторные приемники — это приемники, в которых принимаемый сигнал высокой частоты подвергается преобразованию (детектированию) в напряжение низкой частоты без усиления (даже с некоторым ослаблением в ступени преобразования) и подается на выходное устройство.

Чувствительность и избирательность детекторных приемников очень низка и практического применения для обеспечения радиосвязи в диапазонах ДВ — КВ они не находят. Следует также отметить что, наиболее простым является принцип построения приемника прямого детектирования (детекторного), структурная схема которого представлена на рисунке ниже. Входная цепь (ВЦ) в виде резонансной системы или фильтра обеспечивает частотную избирательность радиоприемного устройства, настройка на частоту принимаемого сигнала

осуществляется перестройкой или переключением ВЦ. Принципиальным является отсутствие усиления сигнала до детектора (Д), ведущее к значительному упрощению устройства приемника, но одновременно обуславливающее его низкую чувствительность и избирательность. Указанные недостатки такой схемы не устраняются наличием усилителя частоты модуляции (УЧМ). Вследствие этого в настоящее время радиоприемные устройства прямого детектирования применяются практически лишь в миллиметровом, деци миллиметровом и оптическом диапазонах волн.

*Структурная схема приемника прямого детектирования*  
 ВЦ – входная цепь;

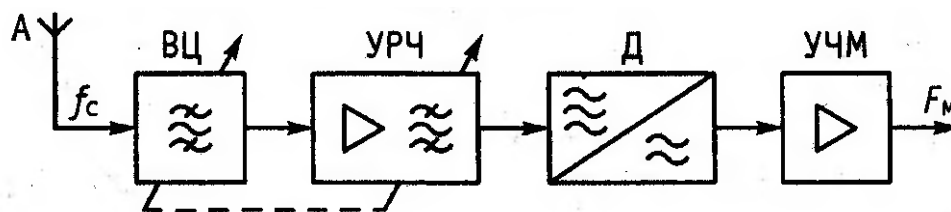


*Д – детектор;*  
*УЧМ – усилитель частоты модуляции.*

В некоторой степени недостатки детекторных приемников устранены в приемниках прямого усиления. В них основное усиление сигнала происходит на несущей частоте с последующим детектированием и усилением его по низкой частоте. Однако и у них есть серьезные недостатки: неравномерность усиления, чувствительности и избирательности по диапазону, низкая чувствительность и избирательность, большое количество регулировок в процессе работы и т. д.

Структурная схема приемника прямого усиления представлена на рисунке. От описанного выше этот приемник отличается наличием усилителя радиочастоты (УРЧ) и, как следствие, значительно большими чувствительностью и избирательностью. Входная цепь и избирательные цепи УРЧ настроены на частоту принимаемого радиосигнала, на которой и осуществляется усиление, причем ВЦ обеспечивает предварительную, а УРЧ основную частотную избирательность и значительное (до  $10^6 \dots 10^7$  по напряжению) усиление сигнала.

*Структурная схема приемника прямого усиления*

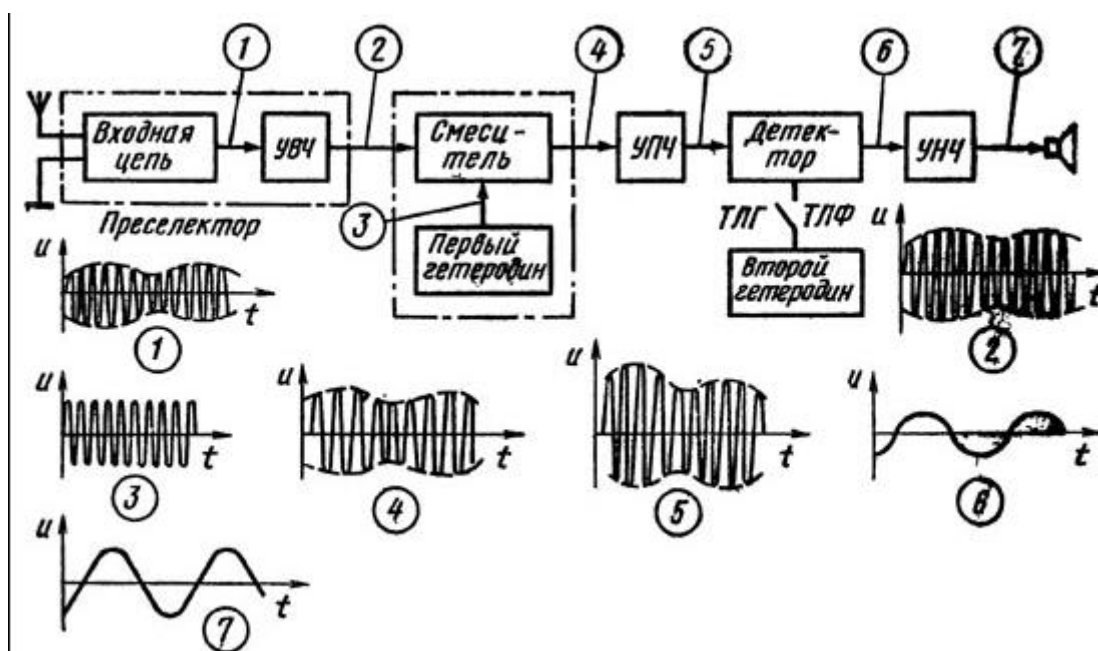


*ВЦ – входная цепь;*  
*УРЧ – усилитель радиочастоты;*  
*Д – детектор;*  
*УЧМ – усилитель частоты модуляции.*

Недостатки приемников прямого усиления устраняются в супергетеродинных приемниках 3.3. Принцип супергетеродинного приема заключается в том, что сигналы несущих частот всего диапазона приемника преобразуются в более низкие

промежуточные частоты (с сохранением модуляции), на которых ведется основное усиление сигнала с последующим детектированием и усилением его по низкой частоте.

Структурная схема супергетеродинного приемника



- УВЧ – усилитель высоких частот;
- УПЧ – усилитель промежуточных частот;
- УНЧ – усилитель низких частот;
- ТЛГ – телеграф;
- ТЛФ – телефон.

По сравнению с приемниками прямого усиления супергетеродинные приемники имеют более высокую чувствительность и избирательность, больший коэффициент усиления при меньшем количестве усилительных каскадов (основное усиление сигнала ведется на более низкой, чем несущая, промежуточной частоте). В супергетеродинных приемниках ослабляются паразитные связи между каскадами высокой, промежуточной и низкой частот из-за большого разноса частот, на которых они работают. В то же время применение супергетеродинных приемников привело к появлению некоторых недостатков, несвойственных приемникам прямого усиления.

Во-первых, появились условия приема сигналов по симметричному (зеркальному) каналу. Так как приемник одинаково усиливает сигналы двух частот, отличающихся друг от друга по величине двух промежуточных частот. Рассмотрим работу супергетеродинного приемника по структурной (функциональной) схеме.

Напряжение сигнала с антенны поступает на входное устройство, а затем на усилитель высокой частоты, где происходит предварительное его усиление и подается на смеситель. Одновременно на смеситель поступает и напряжение гетеродина которое выделяется в анодном контуре смесителя, настроенного в резонанс с промежуточной частотой. Со смесителя сигнал поступает на усилитель промежуточной частоты, где он проходит основное усиление по напряжению. Если принимается модулированный сигнал, то он проходит преобразование (детектирование) в низкую частоту в детекторной ступени, и затем подается на усилитель низкой частоты. При приеме незатухающих колебаний (телеграфный режим) сигнал промежуточной частоты подвергается

вторичному преобразованию в низкую частоту. Для этой цели в схему приемника вводится второй преобразователь с гетеродином. Выработанные вторым гетеродином колебания подаются на смеситель (детектор), где происходит их смешение (модуляция) с промежуточной частотой, в результате чего получается низкая частота. Обычно разность между  $f_{пр}$  и частотой второго гетеродина выбирается в пределах  $\pm 1—3$  кГц.

Таким образом, телеграфные посылки незатухающих колебаний оказываются модулированными частотой  $\pm 1—3$  кГц. После смешения (второго преобразования) модулированный телеграфный сигнал поступает на детектор, детектируется и, пройдя усиление в УНЧ, подается на выходное устройство приемника.

## Список літератури

### 1.Основна

36. Телебачення / Під ред. В.Е. Джаконії. – М.: Радіо та зв'язок, 1986.
37. Домбругов Р.М. Телебачення. – Київ : Вища школа, 1988.
38. Проектування та технічна експлуатація телевізійної апаратури / Під ред. С.В. Новаковського. – М : Радіо та зв'язок, 1989.
39. Ю.Б. Зубарьов, Г.Л. Глоріозов. Передача зображень – М. : Радіо та зв'язок, 1989.
40. А.В. Виходець, В.І. Коваленко, М.Т. Кохно – Звукове та телевізійне мовлення ; - М. : Радіо та зв'язок, 1987.
41. Цифрове телебачення / Під ред. М.І. Кривошеєва. - М. : Радіо та зв'язок, 1980.
42. Певзнер Б.М. Якість кольорових ТВ зображень : видання друге ; М. : Радіо та зв'язок, 1988.
43. Радіорелейні та супутникові системи передачі : Підручник для вузів / Під ред. А.С. Немировського. - М. : Радіо та зв'язок, 1986. – 392 с
44. Системи радіозв'язку : Підручник для вузів / Під ред Л.Я. Калашникова - М. : Радіо та зв'язок, 1987. – 352 с
45. Посібник по радіорелейному зв'язку / Під ред С.В. Бородича - М. : Радіо та зв'язок, 1981. – 416 с
46. Супутниковий зв'язок та мовлення. Посібник / Під ред. Л.Я. Кантора - М. : Радіо та зв'язок, 1988. – 344 с
47. Системи космічного зв'язку. Посібник під ред. Б.В. Одинцова, Е. А. Сукачова; Одеса 1989.
48. Сучасні системи радіозв'язку в прикладах та задачах. Посібник під ред. Б.В. Одинцова, Е. А. Сукачова; Одеса 1990.
49. Мамчев Г.В. «Основы радиосвязи и телевидения», 2007 год;
50. Джакония В.Е., Гоголь В.А., Друзин Я.В. «Телевидение (4-е издание), 2007
51. Локшин Б.А. «Телевизионное вещание. От студии к телезрителю», 2001
52. Кириллов В.И., Ткаченко А.П. «Телевидение и передача изображения», 1988
53. Самойлов В.Ф., Хромой Б.П. «Основы цветного телевидения», 1982
54. Ельяшкевич С.А., Юкер А.М. «Усовершенствование телевизоров ЗУСЦТ и 4УСЦТ», 1994
55. Быков Р.Е., Сигалов В.М., Эйсенгардт Г.А. «Телевидение», 1988
56. Ельяшкевич С.А. «Справочное пособие. Цветные телевизоры ЗУСЦТ», 1990
57. Зубарев Е.Б., Кривошеев М.И., Красносельский И.Н. «Цифровое телевизионное вещание. Основы и методы», 2001
58. Корытов В.И «Телевизоры ЗУСЦТ. Ремонт и настройка», 1999
59. Смирнов А.В. «Основы цифрового телевиденья», 2001



60. Ельяшкевич С.А., Песков А.Е. «Телевизоры ЗУСЦТ, 4УСЦТ, 5УСЦТ. Устройство, регулировки, ремонт»
61. Шумихин Ю.А. «Телевизионный сигнал», 1968
62. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 1 Принципи радіозв'язку, 2014
63. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 2 Радіопередавальні пристрої, 2014
64. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 3 Радиоприйёмные устройства, 2014
65. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 4 Физические основы телевидения, 2014
66. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 5 Основные принципы функционирования телевизионных систем, 2014
67. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 6 Формирование телевизионного сигнала, 2014
68. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 7 Конструктивні особливості телевізійної апаратури, 2014
69. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 8 Особенности построения телевизионных систем, 2014
70. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 9 Сети телевизионного вещания, 2014

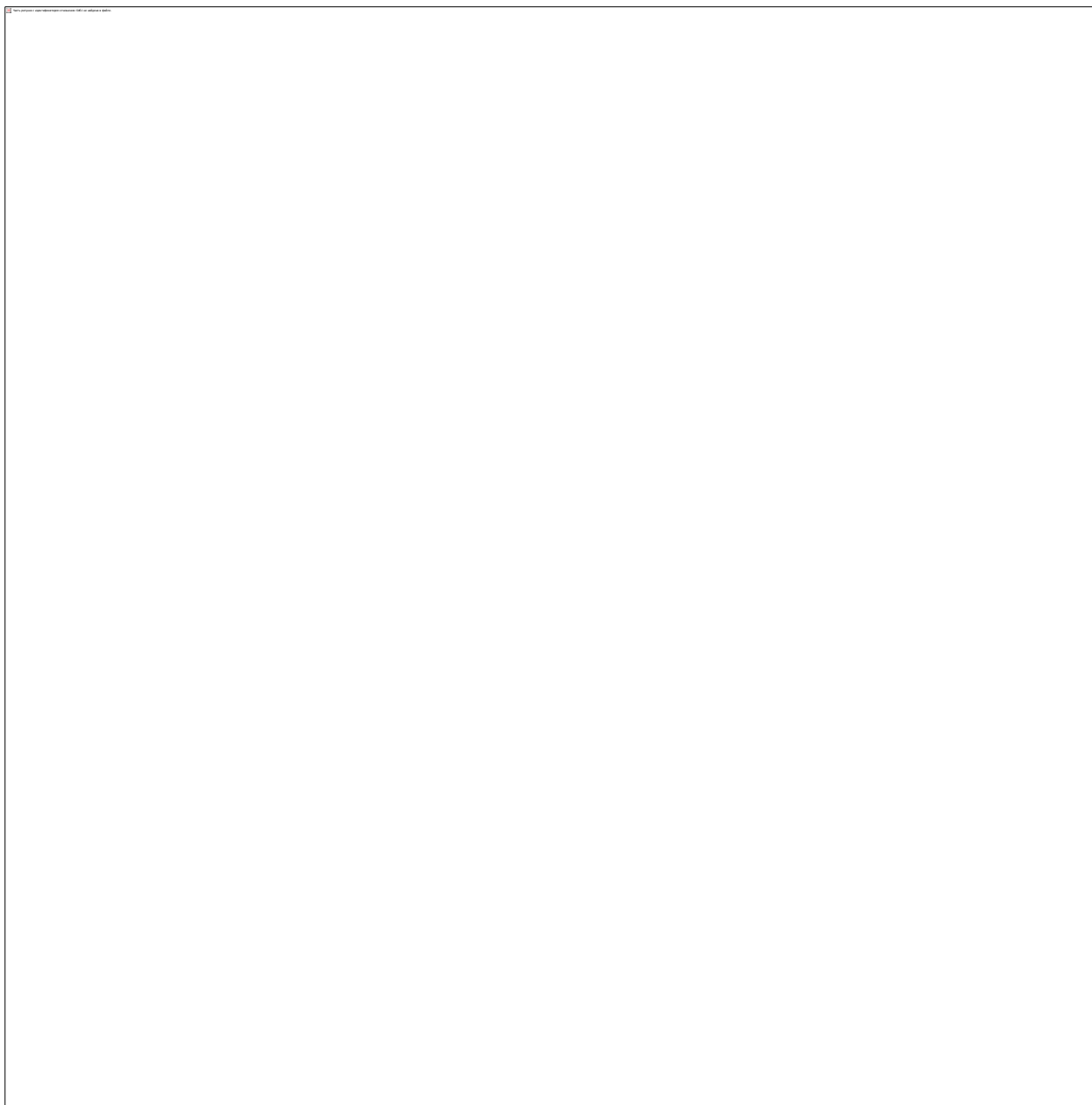
## 2.Додаткова

11. Мордуховіч Л.Г., Степанов А.П. Системи радіозв'язку. Курсове проектування. - М. : Радіо та зв'язок , 1987. – 192 с
12. Спілкер Дж. Цифровий супутниковий зв'язок / пер. з англ. ; Під ред. В.В. Маркова - М. : Зв'язок , 1979. – 592 с
13. Одинцов Б.В., Сукачов Е.А. , Гуцаюк А.К. Цифрові системи радіозв'язку : Навчальний посібник / ОЕІС ім. А.С. Попова – Одеса , 1988. – 56 с.
14. Одинцов Б.В., Сукачов Е.А. , Гуцаюк А.К. Космічний зв'язок : Навчальний посібник / ОЕІС ім. А.С. Попова – Одеса , 1989. – 56 с.
15. Новаковський С.В. Колір в кольоровому телебаченні - М. : Радіо та зв'язок, 1988.
16. Кривошеєв М.І. Основи телевізійних вимірювань. : видання 3 – е. - М. : Радіо та зв'язок , 1989.
17. ГОСТ 7845 – 79. Система мовленнєвого телебачення. Основні параметри , методи вимірювань.
18. Прийом телебачення та радіомовлення з супутників / Д.Ю. Бем , М.Є. Ільченко , А.П. Житков, Л.Г. Гассанов. – К.: Техніка , 1992. – 176 с.
19. Довідник. Індивідуальні відео – засоби. С.А. Седов – Київ 1990.
20. В.Бондарьов , Г.Трьостер , В. Чернега. Цифрова обробка сигналів : методи та засоби. Навчальний посібник для вузів. Харків 2001.

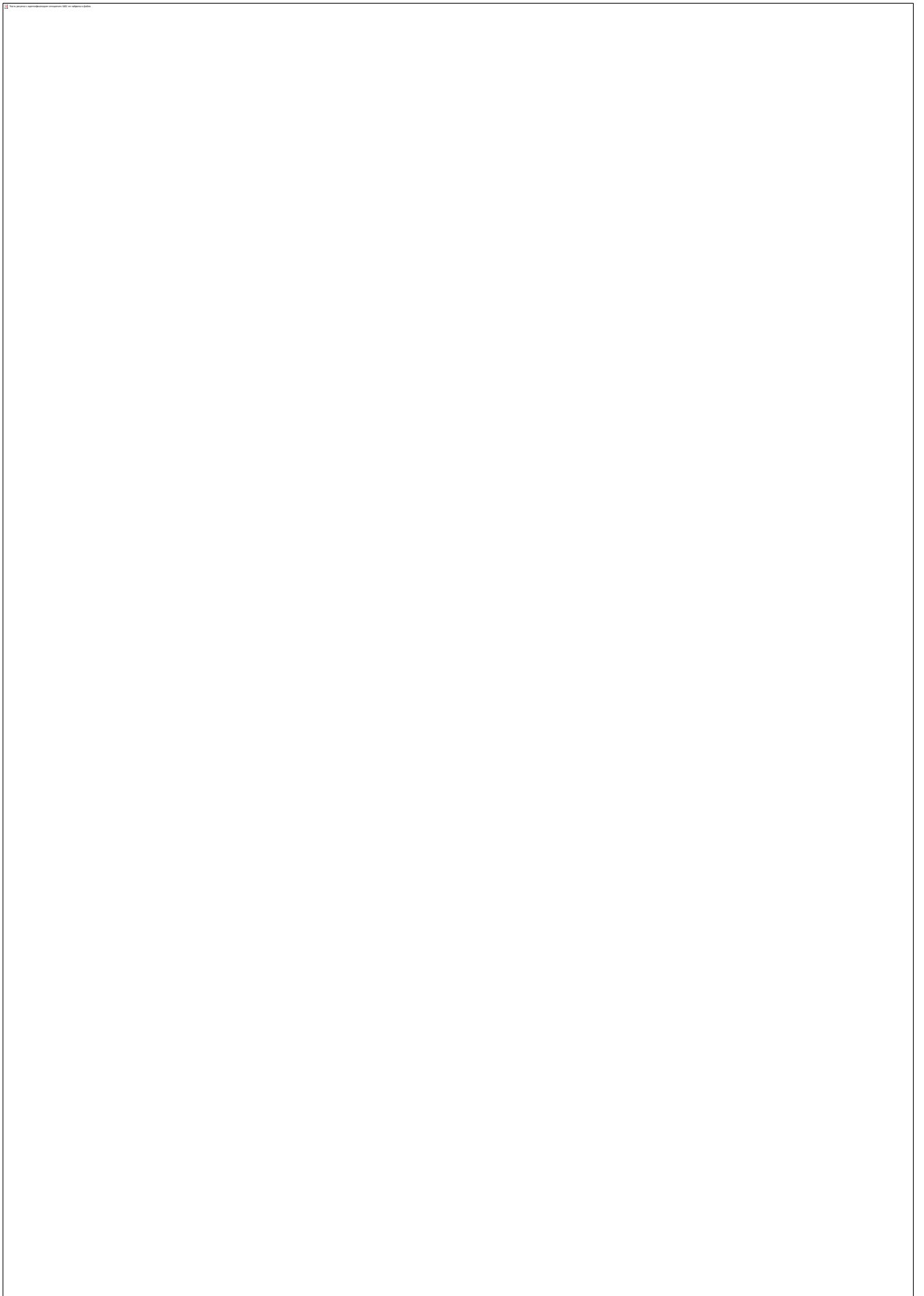
## **4.ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕЛЕВИДЕНИЯ**

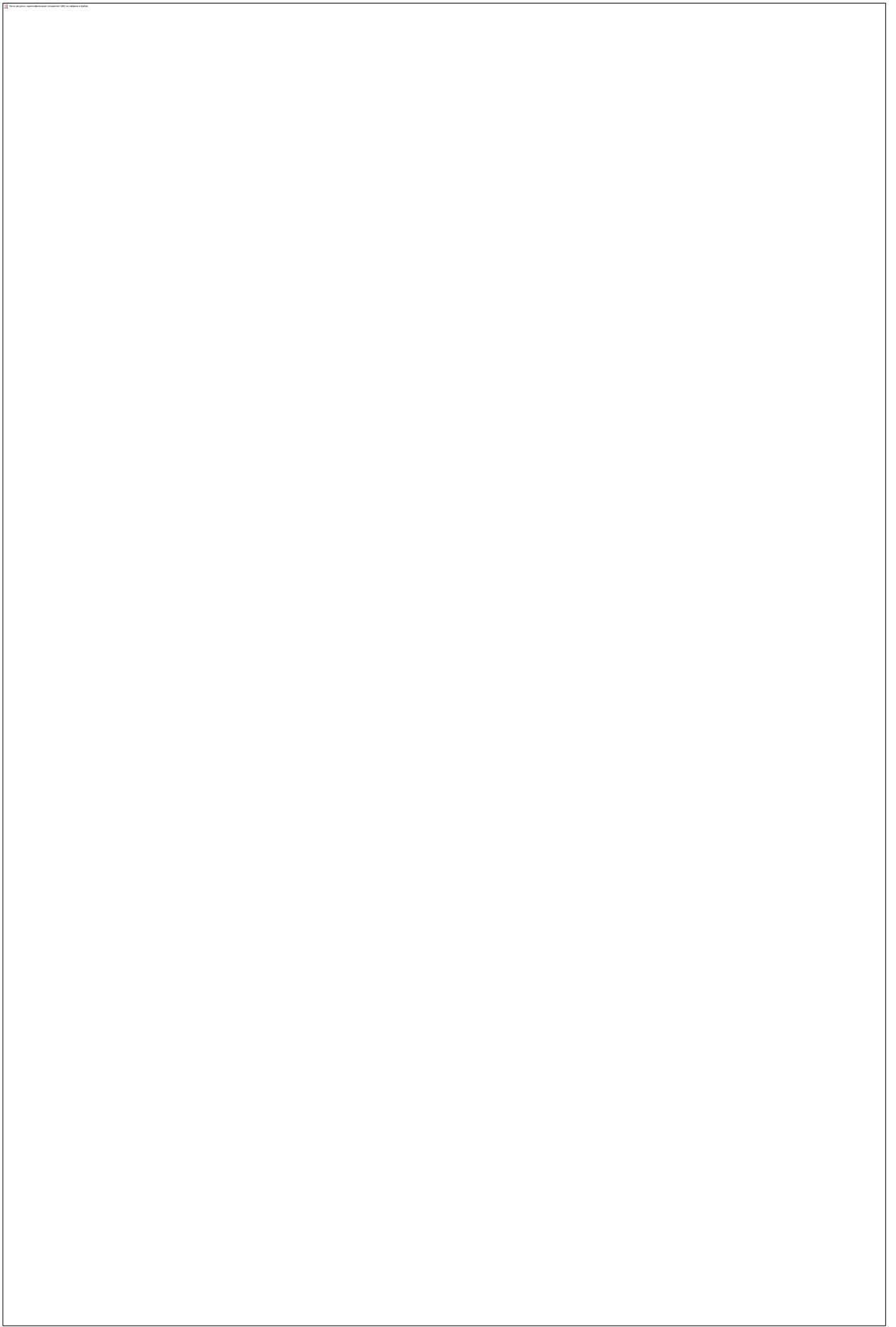
- 1.1. Введение
- 1.2. Основные характеристики зрительного анализатора
- 1.3. Физические основы передачи зображення
- 1.4. Приёмопередающая трубка
- 1.5. Апаратные средства использованияПТ
- 1.6. Передача цветного изображения
- 1.7. Физические основы построения телевизионного приёмника
- 1.8. Блок розвертки
- 1.9. Модуль цветности
- 1.10. Видеотракт телевизионного приёмника
- 1.11.УЕИТ
- 1.12. Список условных обозначений и покрощений

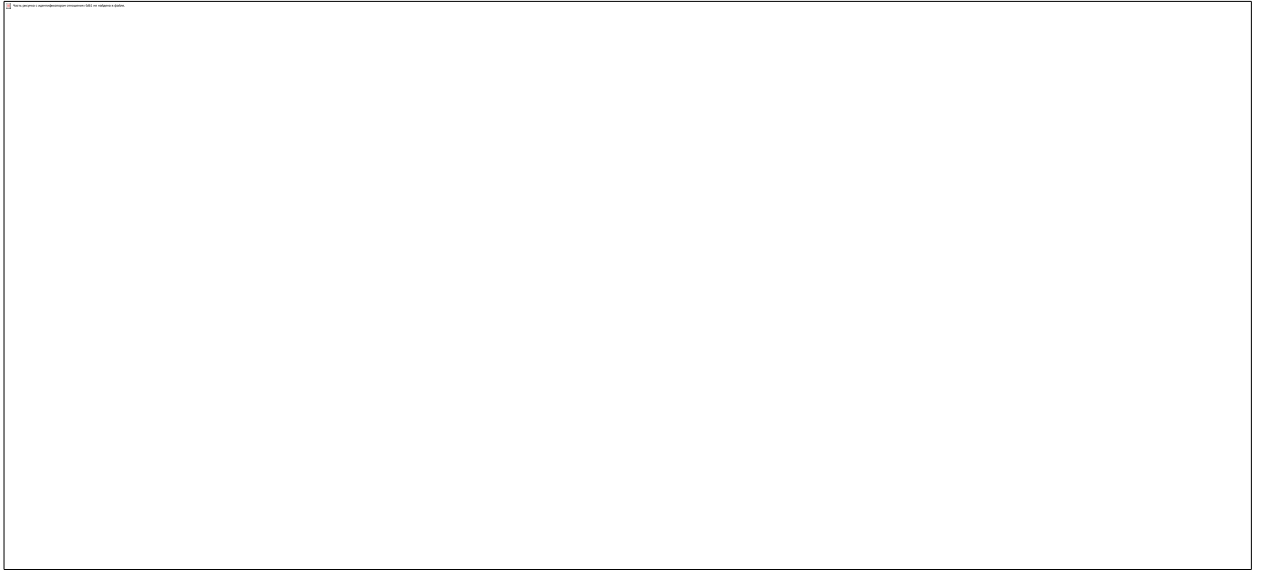
### **Введение**

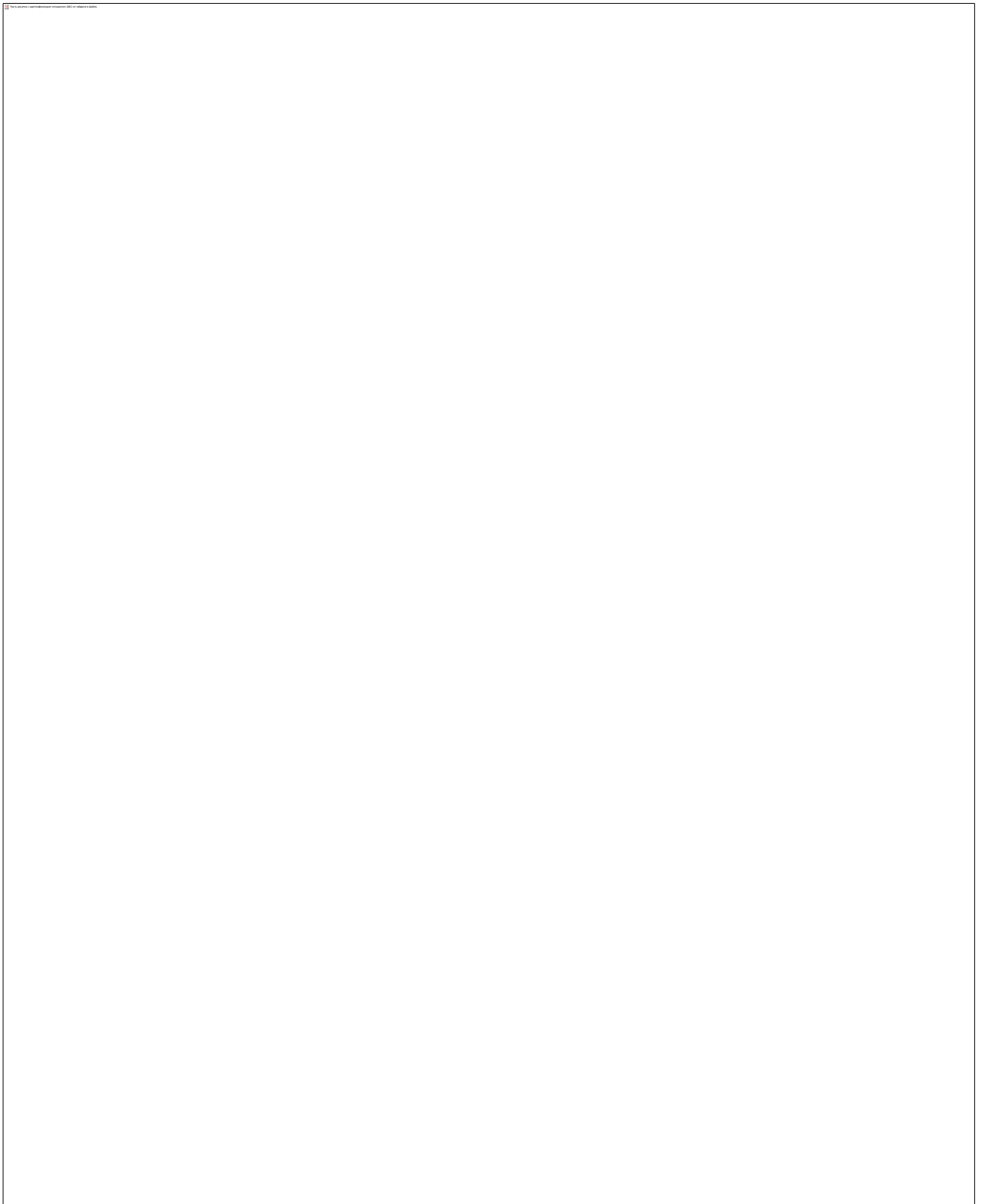


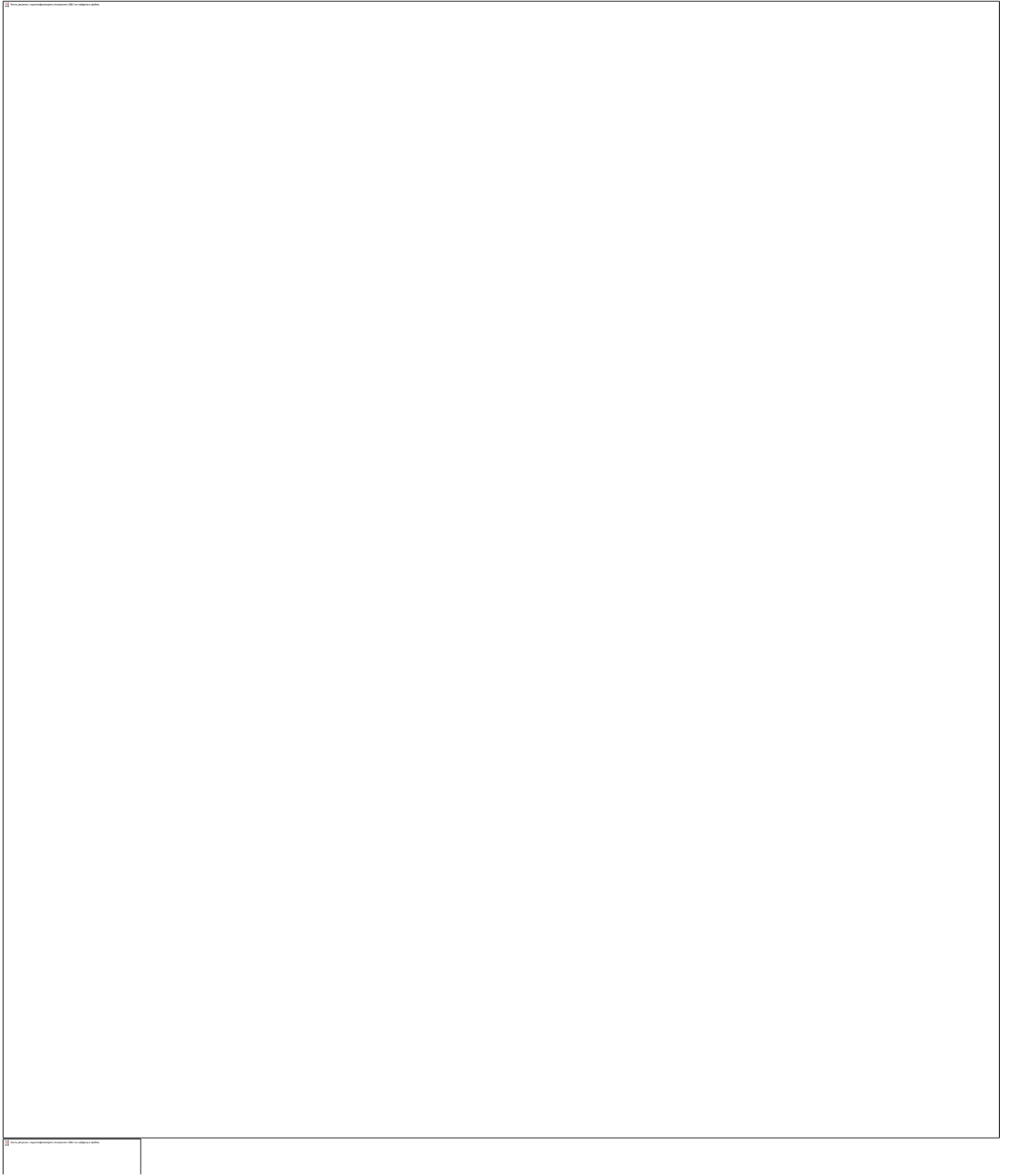




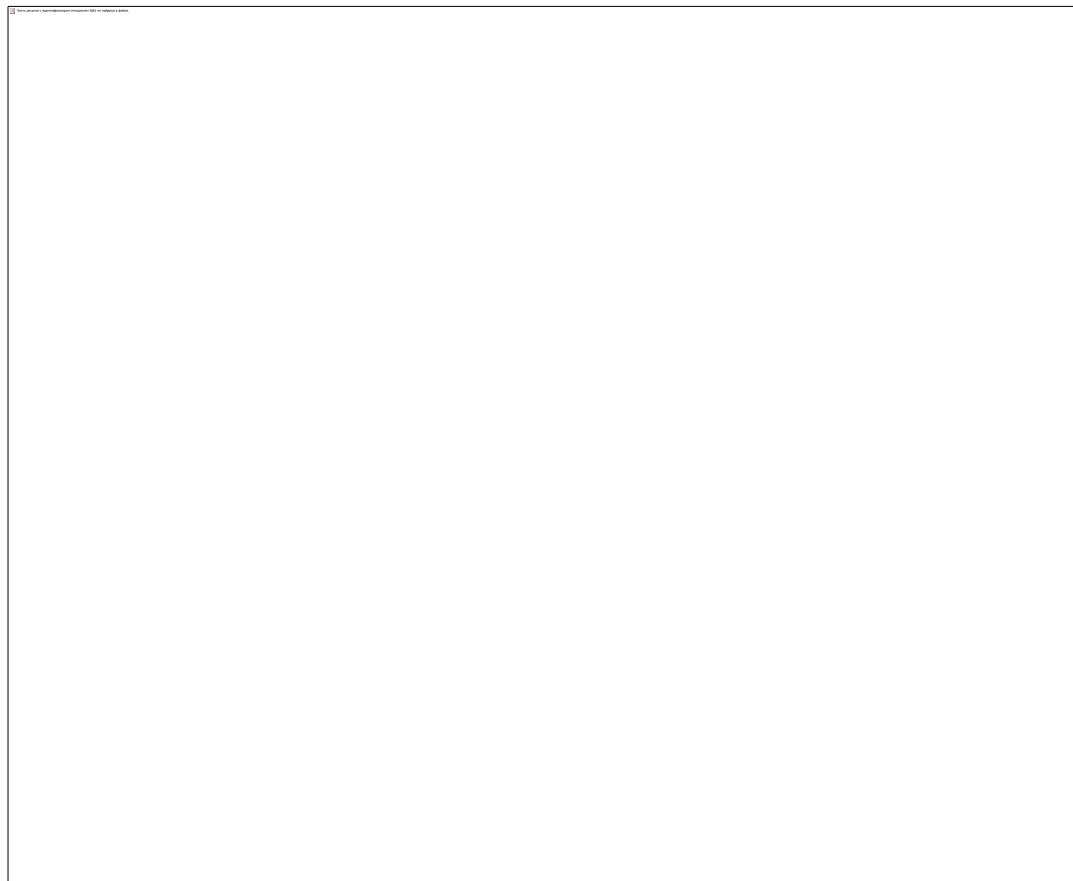












#### Физические основы передачи изображения

Телевидение – это передача изображения на расстояние с помощью электронных устройств. При передаче изображения формируются электрические сигналы элементов изображения, при этом один кадр изображения разбивается на строки. Количество строк строго фиксированно по стандарту 625/50 или 575/60. При формировании отдельных строк элементы изображения преобразуются в электрические сигналы аналоговой или цифровой формы. Для преобразования элементов изображения в сигнал применяют приёмопередающие элементы, которые позволяют преобразовать квант световой энергии в электрический сигнал.

Световая энергия, полученная приёмопередающей трубкой (ППТ) (или, другое название, электронным “глазом”), вначале поступает на потенциальный (резистивный) рельеф изображения. Он представляется в виде элементов матрицы. В каждый момент времени на рельеф поступает световая энергия определённой интенсивности. Для преобразования световой энергии в электрическую каждого отдельного резистивного элемента изображения применяется электронный луч. Он обеспечивает ток в цепи, в которую включён резистор элементов изображения (рис. 1). Изображение со временем меняется, поэтому со временем меняется и ток в цепи каждого элемента изображения. С учётом интенсивности световой энергии и величин потенциалов отдельных резистивных элементов соответственно будут изменяться величины электрических сигналов.

#### Приёмопередающая трубка

Основными элементами ППТ являются:

1. Фоторезистивный слой (фотомишень).
2. Мелкоструктурная сетка, обеспечивающая дискретное представление фотомишени и находящаяся перед фоторезистивным слоем.

3. Электронная пушка.
  4. Отклоняющая система, обеспечивающая формирование магнитного поля, которое изменяется по закону пилообразного напряжения.
  5. Катушка индуктивности, обеспечивающая линейность луча и перпендикулярность попадания его на фотомшень по всей её плоскости.
  6. Токосъёмное кольцо, контактирующее со всем резистивным слоем.
- В результате в ППТ электронный луч перемещается строго по закону: слева направо, сверху вниз. Изображение на экране прямоугольное. Для обеспечения этого длительность одной строки строго фиксирована – ровно 64мкс.



Устройство приёмопередающей трубки

Принцип работы. Сформированный электронный луч под воздействием положительного напряжения мишени обеспечивает ток в цепи, которая включает в себя сопротивление элементов фотомишени и сопротивление нагрузки  $R_n$ . Полезный сигнал элемента изображения снимается непосредственно с токосъёмного кольца, так как при протекании тока через сопротивление нагрузки  $R_n$  на ней образуется падение напряжения.

Аппаратные средства формирования ПТС

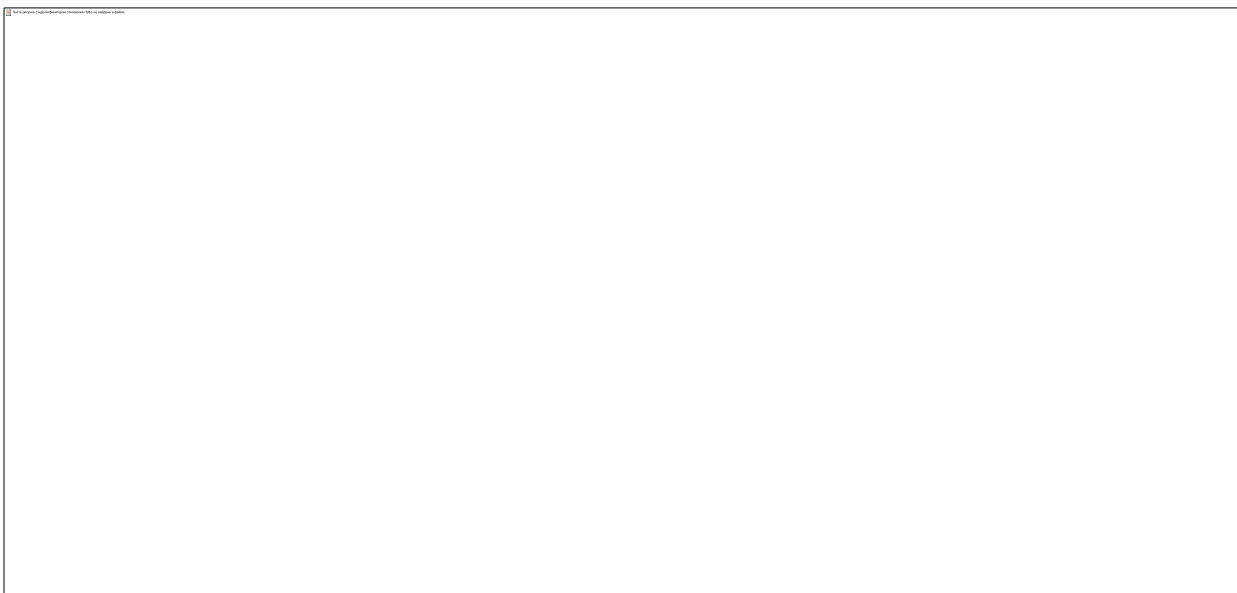
Полный телевизионный сигнал (ПТС) – сложный по структуре телевизионный сигнал, состоящий из синхроимпульсов строк, кадров, уравнивающих импульсов, гасящих импульсов строк и кадров, а также видеoinформации в виде аналоговых сигналов, изменяющихся от 10 до 70 % от уровня ПТС.

При формировании ПТС строго по стандарту определяются длительности всех сигналов, составляющих ПТС:

- длительность строчных синхроимпульсов – 4,7 ... 5 мкс;
- длительность гасящих строчных импульсов – 10 мкс;
- длительность кадровых синхроимпульсов – 160 мкс;
- длительность гасящих кадровых импульсов – 1612 мкс.

Для формирования ПТС как низкочастотного сигнала и последующей передачи его в эфир применяют следующие аппаратные средства.

1. ППТ, предназначенная для преобразования излучаемой световой энергии в упорядоченную серию сигналов строк и кадров.
2. Синхрогенератор, необходимый для формирования кадровых, строчных и уравнивающих синхроимпульсов (синхросмеси), а также кадровых и строчных синхроимпульсов.
3. Генератор развёртки ППТ, который обеспечивает формирование сигналов.
4. Промежуточный усилитель, который усиливает сформированные сигналы ППТ.
5. Линейный усилитель, который формирует окончательно ПТС с учётом энергетических уровней. Максимальный уровень синхросмеси – 100 %; максимальный уровень видеосигналов (уровень чёрного), соответствующий минимуму синхросмеси – 75 %; минимальный уровень видеосигналов изображения (уровень белого) составляет от 10 до 12 %.



Полный телевизионный сигнал чёрно-белого телевизора

Для обеспечения жёсткой синхронизации в область кадровых синхроимпульсов “врезают” 25 уравнивающих импульсов с частотой 30 кГц доКСИ и 25 – после, то есть всего 50 штук. А КСИ представляет собой пачку из 5 импульсов. Для передачи в эфир этот низкочастотный сигнал ПТС подаётся на модулятор передатчика.

Для сужения спектра передачи ПТС телецентричную боковую частоту несущей изображения, промодулированную высокой частотой (ВЧ), подавляют при помощи фильтра. Усиленная верхняя боковая несущая частота изображения подаётся в антенну для преобразования высокочастотных колебаний в электромагнитную волну. Передача изображения осуществляется методом амплитудной модуляции.

Одновременно синхронно, в такт с изображением, передаётся звуковое сопровождение методом частотной модуляции. При этом несущая звука по отечественному стандарту больше, чем несущая изображения телецентра, на 6,5 МГц. Нижняя боковая частота полностью не подавлена, и она занимает ширину 1,25 МГц. Участок нижней боковой полосы оставлен ввиду того, что в случае его отсутствия, в

приборах, подавляющих нижнюю боковую полосу, возможны фазовые искажения, значительно ухудшающие качество изображения. Это особенно заметно, если искажения возникают на частотах, близких к несущей.

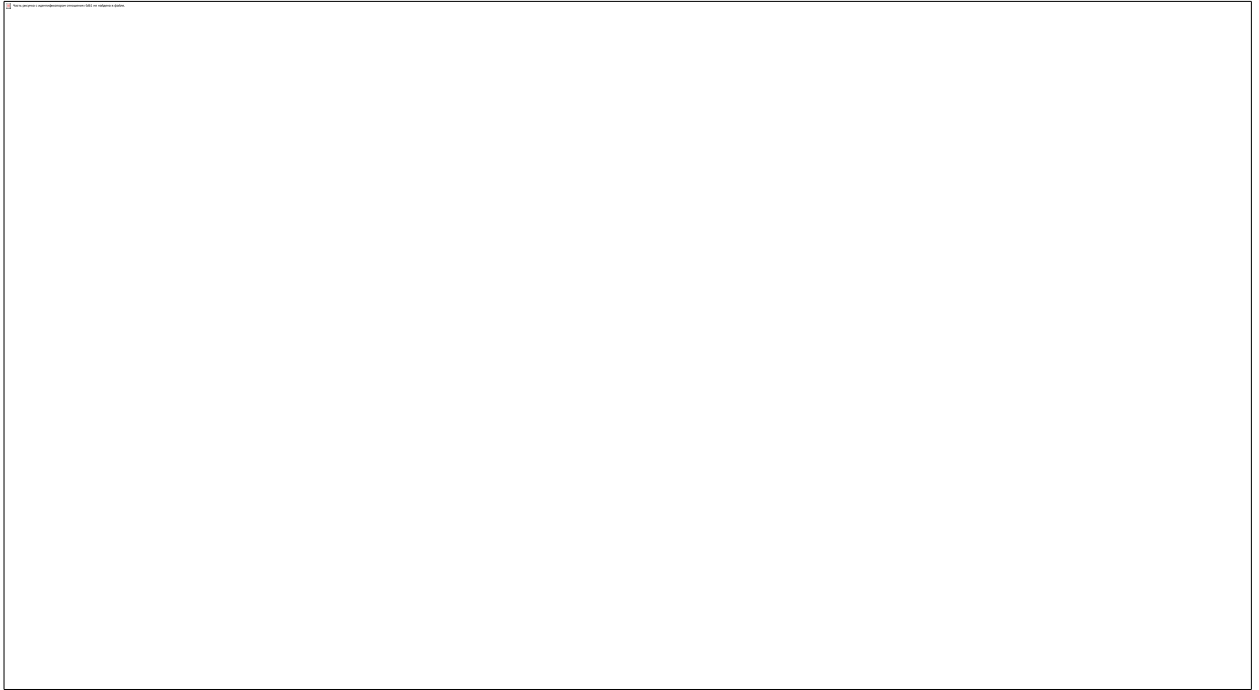
#### Передача цветного изображения

В основу цветного телевидения положен принцип расщепления цветовой энергии от элемента изображения на три составляющих цвета – красный, синий и зелёный. В соответствии с волновой теорией цвета, красный цвет имеет длину волны 687 нм, зелёный цвет – 527 нм, синий цвет – 485 нм.

Для получения чистых красных, синих и зелёных цветов применяется система дихроических зеркал (это специальные составные зеркала, которые позволяют пропускать или отражать определённую волну света).

В видеокамере применяют два дихроических зеркала, расположенных взаимно перпендикулярно. При этом первое зеркало отражает красный цвет и пропускает зелёный и синий. Второе зеркало отражает синий и пропускает оставшийся зелёный цвет.

Для получения электрических сигналов аналоговой или цифровой формы ER, EG и EB (R – red – красный, G – green – зелёный, B – blue – синий) отражённые цвета подаются на приёмопередающие трубки, которые и формируют электрические сигналы цветов каждого элемента изображения.



### Схема получения электрических сигналов цветного изображения

ЕУ – яркостный сигнал. Полученные сигналы обеспечивают формирование ЦПТС. Сигнал яркости ЕУ передаётся основной несущей изображения. Этот сигнал является основным, который обеспечивает совмещение различных телевизионных систем. В телевизионном приёмнике получается сигнал зелёного цвета EG, который не передаётся, а формируется по следующей формуле:

$$EY = 0,3 ER + 0,59 EG + 0,11 EB.$$

### **Физические основы построения телевизионного приёмника**

В основу построения любого телевизионного приёмника положена структура ПТС и методы его передачи. В соответствии с общими принципами построения ПТС и его передачи телевизионный приёмник должен обеспечивать следующие виды работ.

1. Осуществлять селекцию ВЧ сигналов телецентров. Для этой цели в структуру телевизионного приёмника включаются селекторы каналов метрового (СКМ) и дециметрового (СКД) диапазонов волн, образующих СКВ (тюнер). Такие блоки обеспечивают настройку на один телевизионный канал и выработку двух промежуточных частот изображения  $f_{пчи}$  и звука  $f_{пчз}$  со строго фиксированными частотами:  $f_{пчи} = 38$  МГц,  $f_{пчз} = 31,5$  МГц. Эти частоты остаются неизменными при переходе с канала на канал, так как телевизионные приёмники строятся по одноканальной схеме.
2. Усиление промежуточной частоты звука и изображения с последующим формированием НЧ сигналов изображения и звука. Такие сигналы формируются отдельным модулем или в ИМС с составе submodule радиоканала (СМРК).
3. Сформированный ПТС уже как низкочастотный сигнал с выхода СМРК подаётся на модуль цветности в канале изображения и на канал синхронизации (КС). Низкочастотный сигнал звука подаётся на вход УМЗЧ, собранного, обычно, на ИМС К174УН7 или К174УН14. ПТС подаётся на

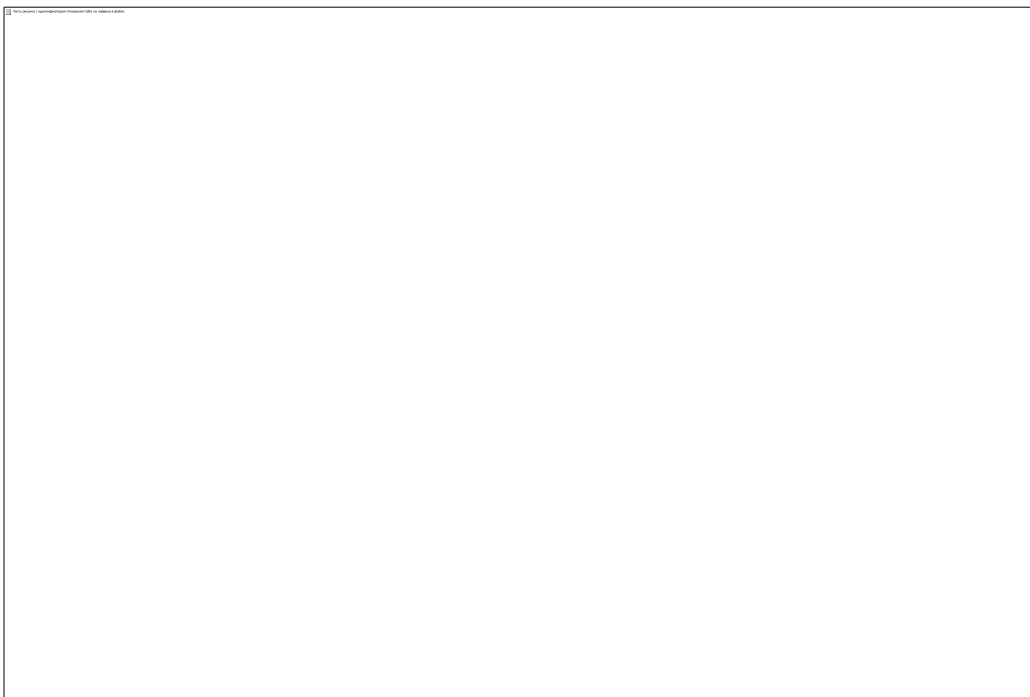
канал синхронизации, который обеспечивает отделение от ПТС синхросмеси и на её основе формируются кадровые, строчные синхроимпульсы и импульсы запуска для модуля строчной развёртки.

4. Блок развёртки, в котором на базе КСИ и ССИ формируются два пилообразных напряжения развёртки – кадров и строк. Эти напряжения подаются на соответствующие катушки отклоняющей системы (ОС) кинескопа. На базе блока развёртки в основном модуле строчной развёртки строится блок формирования высоких напряжений (800 ... 1000 В) и напряжения фокусировки (5 ... 6 кВ), ускоряющего напряжения и напряжения второго анода до +25 кВ, которое подаётся на аквадаг. При этом ток через второй анод будет около 1,2 мА. Блок развёртки цветного телевизора должен быть значительно более мощным, чем в чёрно-белом.

5. На базе ЦПТСа, который подаётся в модуль цветности, формируются, независимо от системы передачи цветного изображения, три основных сигнала: яркостный сигнал ЕУ и, после декодера, два цветоразностных сигнала. На основе ЕУ, ЕR-У, ЕВ-У методом матрицирования формируются электрические сигналы трёх основных цветов ER, EG, EB. После усиления этих сигналов они подаются на соответствующие катоды электронных пушек кинескопа. Под воздействием этих сигналов формируется изображение.

### **Блок развёртки**

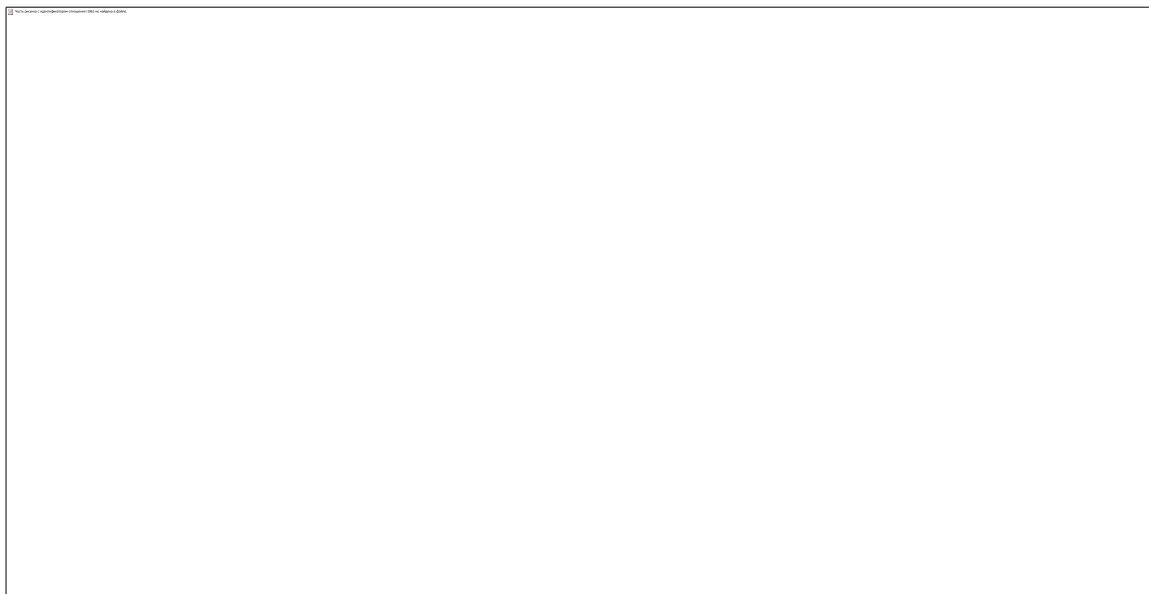
В структуре телевизионного приёмника блок развёртки (БР) предназначен для формирования двух пилообразных напряжений, необходимых для развёртки электронного луча по стандарту слева направо, сверху вниз, а также формирования напряжения накала (6,3 В) и высокого напряжения (до 25 кВ). Кроме этого, в блоке развёртки формируются импульсы обратного хода луча по строкам. В состав блока развёртки входят модуль кадровой развёртки и элементы модуля строчной развёртки.



## Модуль цветности

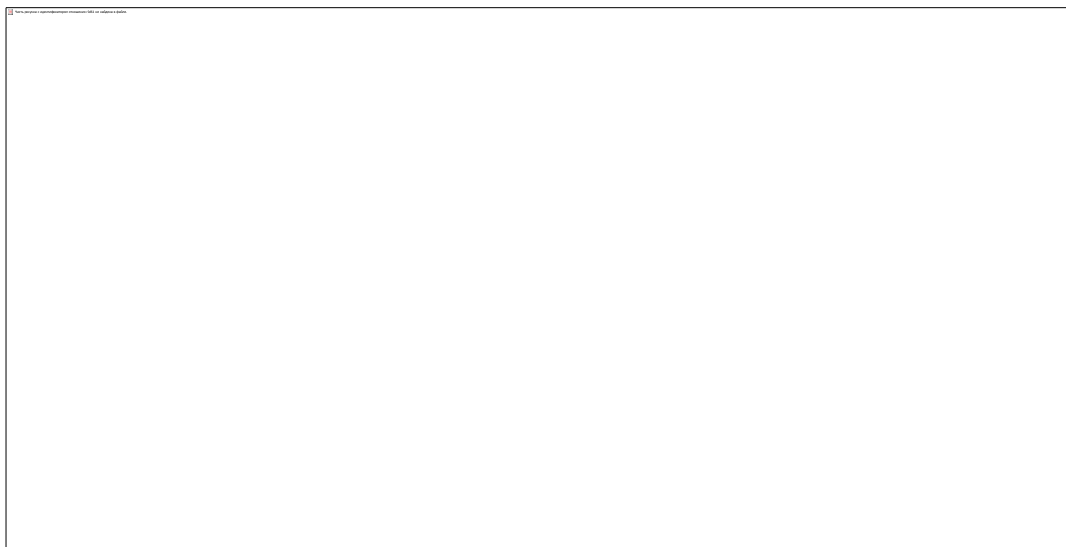
В структуре БОС модуль цветности предназначен для формирования яркостного низкочастотного сигнала ЕУ, на основе которого формируются сигналы трёх основных цветов, а также осуществляется регулирование яркости, контрастности и цветонасыщенности изображения.

В канале яркости осуществляется подавление поднесущих частот цветоразностных сигналов FR-Y и FB-Y с помощью гасящих импульсов строк и кадров. В соответствии со структурой спектра ЦПТС и в зависимости от системы цветопередачи в модуле цветности осуществляется распознавание системы поднесущих частот. Схема распознавания коммутирует ЦПТС на соответствующий декодер, который обеспечивает формирование низкочастотных цветоразностных сигналов ER-Y и EB-Y. На основе сформированных низкочастотных сигналов ЕУ, ER-Y и EB-Y методом матрицирования формируются низкочастотные сигналы трёх основных цветов: ER, EG, EB. После усиления составными или дифференциальными усилителями эти сигналы подаются на соответствующие катоды пушек ЭЛТ, с помощью которых осуществляется модуляция, или, другими словами, регулирование токов лучей пушек. Для обеспечения запирающего импульса на время обратного хода луча в планарных кинескопах закрытие пушек осуществляется методом подачи управляющих напряжений на их катоды. А сам модулятор в планарных кинескопах подключается к корпусу. Формирование сигналов ER, EG, EB осуществляется в яркостном канале и канале матрицы. В масочных кинескопах запирающее импульсное формирование в модуле цветности смеси гасящих кадровых и строчных импульсов, которые подаются на модулятор.



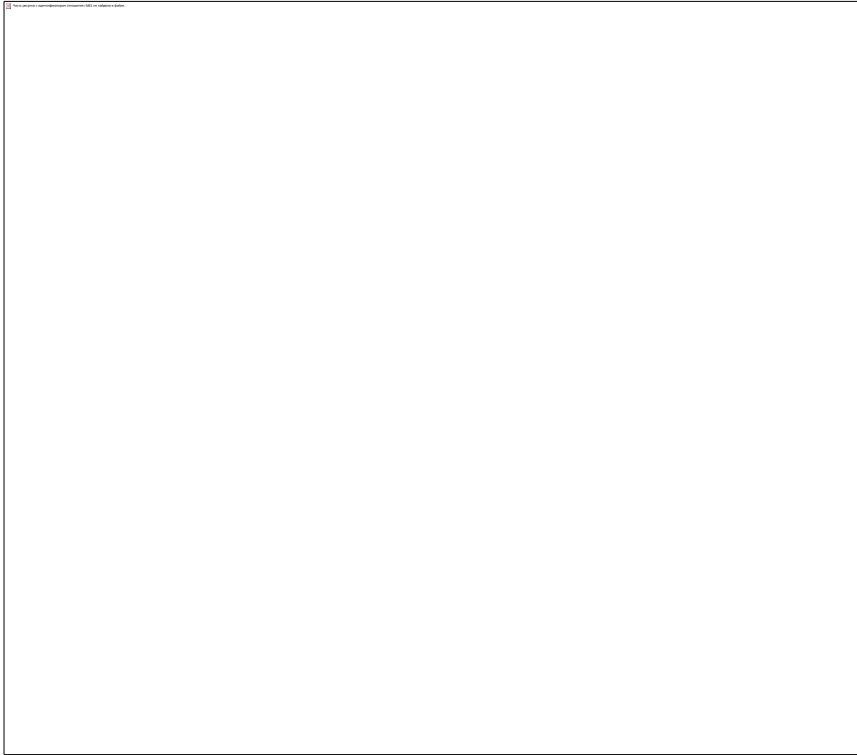
## Видеотракт телевизионного приёмника

В телевизионном приёмнике видеотракт обеспечивает формирование сигналов трёх основных цветов с подачей их на соответствующие электроды электронных пушек. В видеотракте основное внимание уделяется работе видеоусилителей (ВУ), которые должны усиливать сигналы трёх основных цветов при выполнении условия минимальных искажений и чёткого формирования сигналов изображения. Непосредственное формирование изображения осуществляется тремя пушками методом модуляции токов лучей пушек управляющими напряжениями. Формирование цветного изображения осуществляется на основе цветового треугольника, который обеспечивает получение широкого спектра цвета при изменении токов лучей пушек. Если токи пушек одинаковы, то лучи в равных пропорциях высвечивают составляющие цветов R, G, B и при этом получается белый цвет.



УЭИТ служит для проверки качества воспроизводимого изображения. Для УЭИТ имеются следующие обозначения. Каждый квадрат по вертикали обозначается цифрами от 1 до 20 сверху вниз, а по горизонтали – буквами от А до Э. В телевизионных приёмниках, использующих формат изображения 4:3, УЭИТ отображается так, как показано на рис. 24. В телевизионных приёмниках, использующих формат 5:4, при отображении таблицы мы не увидим двух крайних вертикальных рядов.





Универсальная электрическая испытательная таблица (УЭИТ)

### **Список условных обозначений и сокращений**

ППТ — приёмопередающая трубка, электронный “глаз”.

ПТС — полный телевизионный сигнал.

КСИ — кадровые синхроимпульсы.

ВЧ — высокая частота.

НЧ — низкая частота.

ЧМ — частотная модуляция.

ЛУ — линейный усилитель.

УФ — усилитель – формирователь.

ЦПТС — цветной полный телевизионный сигнал.

СКМ — селектор канала метрового диапазона волн.

СКД — селектор канала дециметрового диапазона волн.

$f_{пчи}$  — промежуточная частота изображения.

$f_{пчз}$  — промежуточная частота звука.

СМРК — submodule радиоканалов.

КС — канал синхронизации.

УМЗЧ — усилитель мощности звуковой частоты.

ОС — отклоняющая система.

БФВН — блок формирования высокого напряжения.

МЦ — модуль цветности.

БОС — блок обработки сигналов.

ДМВ — дециметровые волны.  
МВ — метровые волны.  
УПЧИ — усилитель промежуточной частоты изображения.  
СК — селекторы каналов.  
КС — канал синхронизации.  
УПЧЗ — усилитель промежуточной частоты звука.  
ФСС — фильтр сосредоточенной селекции.  
ПФ — полосовой фильтр.  
АД — амплитудный детектор.  
АЧХ — амплитудно-частотная характеристика.  
ССИ — строчные синхроимпульсы.  
АС — амплитудный селектор.  
ИЦ — интегрирующая цепь.  
ДЦ — дифференцирующая цепь.  
ККОС — кадровые катушки отклоняющей системы.  
СКОС — строчные катушки отклоняющей системы.  
МКР — модуль кадровой развёртки.  
МСР — модуль строчной развёртки.  
СКПН — схема коррекции пилообразного напряжения.

СФИОХ — схема формирования импульсов обратного хода.  
ТВС — трансформатор выходной строк.  
ПУК — предварительный усилительный каскад.  
ПСК — предварительный согласующий каскад.  
ЛЗ — линия задержки.  
ВУ — видеоусилитель.  
СДУ — система дистанционного управления.  
ПДУ — пульт дистанционного управления.  
УЭИТ — универсальная электрическая испытательная таблица.

## Список літератури

### 1.Основна

71. Телебачення / Під ред. В.Е. Джаконії. – М.: Радіо та зв'язок , 1986.
72. Домбругов Р.М. Телебачення. – Київ : Вища школа , 1988.
73. Проектування та технічна експлуатація телевізійної апаратури / Під ред. С.В. Новаковського. – М : Радіо та зв'язок , 1989.
74. Ю.Б. Зубарьов , Г.Л. Глоріозов . Передача зображень – М. : Радіо та зв'язок , 1989.
75. А.В. Виходець , В.І. Коваленко , М.Т. Кохно – Звукове та телевізійне мовлення ; - М. : Радіо та зв'язок , 1987.
76. Цифрове телебачення / Під ред. М.І. Кривошеєва. - М. : Радіо та зв'язок , 1980.
77. Певзнер Б.М. Якість кольорових ТВ зображень : видання друге ; М. : Радіо та зв'язок , 1988.
78. Радіорелейні та супутникові системи передачі : Підручник для вузів / Під ред. А.С. Немировського . - М. : Радіо та зв'язок , 1986. – 392 с
79. Системи радіозв'язку : Підручник для вузів / Під ред Л.Я. Калашникова - М. : Радіо та зв'язок , 1987. – 352 с

80. Посібник по радіорелейному зв'язку / Під ред С.В. Бородича - М. : Радіо та зв'язок , 1981. – 416 с
81. Супутниковий зв'язок та мовлення. Посібник / Під ред. Л.Я. Кантора - М. : Радіо та зв'язок , 1988. – 344 с
82. Системи космічного зв'язку. Посібник під ред. Б.В. Одинцова , Е. А. Сукачова; Одеса 1989.
83. Сучасні системи радіозв'язку в прикладах та задачах. Посібник під ред. Б.В. Одинцова , Е. А. Сукачова; Одеса 1990.
84. Мамчев Г.В. «Основы радиосвязи и телевидения», 2007 год;
85. Джакония В.Е., Гоголь В.А., Друзин Я.В. «Телевидение (4-е издание), 2007
86. Локшин Б.А. «Телевизионное вещание. От студии к телезрителю», 2001
87. Кириллов В.И., Ткаченко А.П. «Телевидение и передача изображения», 1988
88. Самойлов В.Ф., Хромой Б.П. «Основы цветного телевидения», 1982
89. Ельяшкевич С.А., Юкер А.М. «Усовершенствование телевизоров ЗУСЦТ и 4УСЦТ», 1994
90. Быков Р.Е., Сигалов В.М., Эйсенгардт Г.А. «Телевидение», 1988
91. Ельяшкевич С.А. «Справочное пособие. Цветные телевизоры ЗУСЦТ», 1990
92. Зубарев Е.Б., Кривошеев М.И., Красносельский И.Н. «Цифровое телевизионное вещание. Основы и методы», 2001
93. Корытов В.И «Телевизоры ЗУСЦТ. Ремонт и настройка», 1999
94. Смирнов А.В. «Основы цифрового телевиденья», 2001
95. Ельяшкевич С.А., Песков А.Е. «Телевизоры ЗУСЦТ, 4УСЦТ, 5УСЦТ. Устройство, регулировки, ремонт»
96. Шумихин Ю.А. «Телевизионный сигнал», 1968
97. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 1 Принципи радіозв'язку, 2014
98. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 2 Радіопередавальні пристрої, 2014
99. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 3 Радиоприймніе устройства, 2014
100. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 4 Физические основы телевидения, 2014
101. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 5 Основные принципы функционирования телевизионных систем, 2014
102. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 6 Формирование телевизионного сигнала, 2014
103. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 7 Конструктивні особливості телевізійної апаратури, 2014
104. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 8 Особенности построения телевизионных систем, 2014
105. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 9 Сети телевизионного вещания, 2014

## **2.Додаткова**

21. Мордуховіч Л.Г., Степанов А.П. Системи радіозв'язку. Курсове проектування. - М. : Радіо та зв'язок , 1987. – 192 с

22. Спілкер Дж. Цифровий супутниковий зв'язок / пер. з англ. ; Під ред. В.В. Маркова - М. : Зв'язок , 1979. – 592 с
23. Одинцов Б.В., Сукачов Е.А. , Гуцаюк А.К. Цифрові системи радіозв'язку : Навчальний посібник / ОЕІС ім. А.С. Попова – Одеса , 1988. – 56 с.
24. Одинцов Б.В., Сукачов Е.А. , Гуцаюк А.К. Космічний зв'язок : Навчальний посібник / ОЕІС ім. А.С. Попова – Одеса , 1989. – 56 с.
25. Новаковський С.В. Колір в кольоровому телебаченні - М. : Радіо та зв'язок, 1988.
26. Кривошеєв М.І. Основи телевізійних вимірювань. : видання 3 – е. - М. : Радіо та зв'язок , 1989.
27. ГОСТ 7845 – 79. Система мовленнєвого телебачення. Основні параметри , методи вимірювань.
28. Прийом телебачення та радіомовлення з супутників / Д.Ю. Бем , М.Є. Ільченко , А.П. Житков, Л.Г. Гассанов. – К.: Техніка , 1992. – 176 с.
29. Довідник. Індивідуальні відео – засоби. С.А. Седов – Київ 1990.
  
30. В.Бондарьов , Г.Трьостер , В. Чернега. Цифрова обробка сигналів : методи та засоби. Навчальний посібник для вузів. Харків 2001.

## **5. Основные принципы функционирования телевизионных систем**

- 1.1. Введение
- 1.2. Приёмная и принимающая части ТВ-приёмника
- 1.3. Электронно-оптические преобразователи
  - 1.3.1. Передающие телевизионные трубки
  - 1.3.2. Твердотельные преобразователи на основе ПЗС
  - 1.3.3. Конструкция цветного масочного кинескопа
- 1.4. Особенности телевизионной развёртки
- 1.5. Общая структурная схема телевизионной системы

## **1. Основные принципы функционирования телевизионных систем**

### **1.1. Введение**

Телевидение основано на принципе последовательной передачи элементов изображения с помощью радиосигнала или по проводам. Разложение изображения на элементы происходит при помощи диска Нипкова, электронно-лучевой трубки или полупроводниковой матрицы. Количество элементов изображения выбирается в соответствии с полосой пропускания радиоканала и физиологическими критериями. Для сужения полосы передаваемых частот и уменьшения заметности мерцания экрана телевизора применяют чересстрочную развёртку. Также она позволяет увеличить плавность передачи движения.

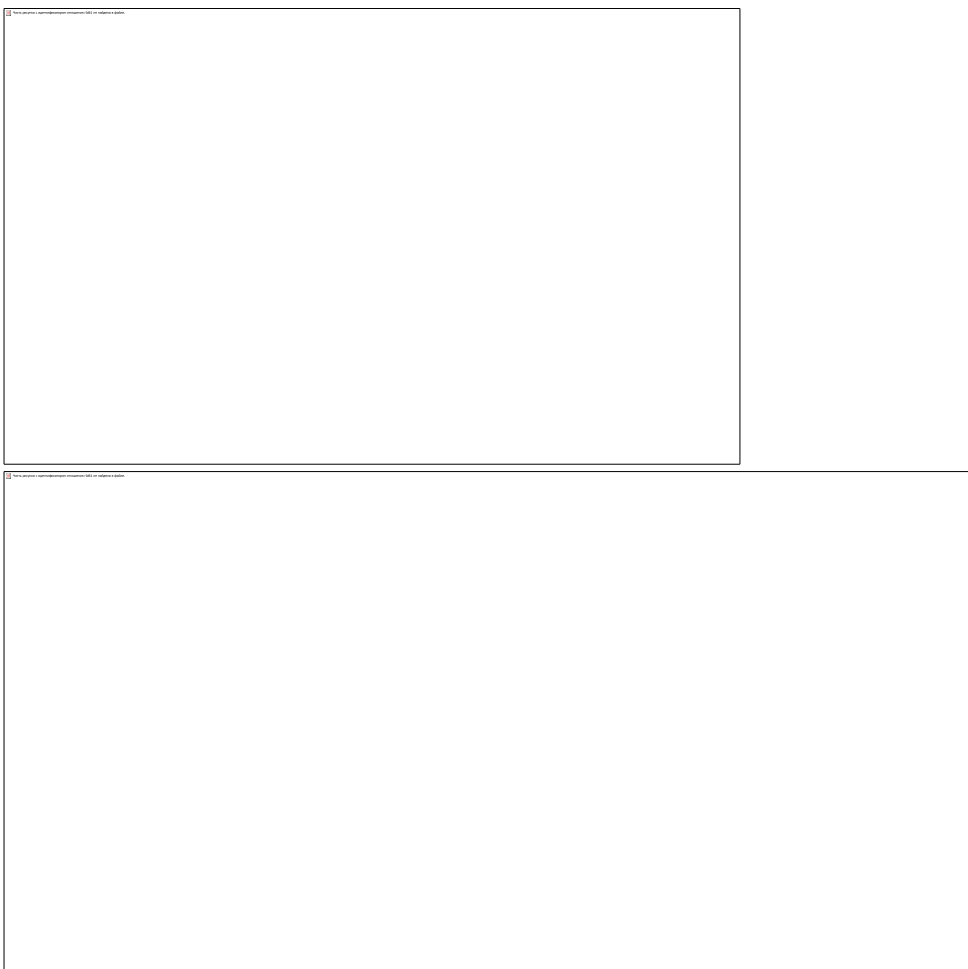
Телевизионный тракт в общем виде включает в себя следующие устройства:

1. Телевизионная передающая камера. Служит для преобразования изображения, получаемого при помощи объектива на мишени передающей трубки или полупроводниковой матрицы, в телевизионный видеосигнал.
2. Телекинопроектор. Преобразует изображение и звук на киноплёнке в телевизионный сигнал, и позволяет демонстрировать кинофильмы по телевидению.
3. Видеомагнитофон. Записывает и в нужный момент воспроизводит видеосигнал, сформированный передающей камерой или телекинопроектором.
4. Видеомикшер. Позволяет переключаться между несколькими источниками изображения: камерами, видеомагнитофонами и другими.
5. Передатчик. Несущий сигнал высокой частоты модулируется телевизионным сигналом и передается по радио или по проводам.
6. Приёмник — телевизор. С помощью синхроимпульсов, содержащихся в видеосигнале, телевизионное изображение воспроизводится на экране приемника (кинескоп, ЖК-дисплей, плазменная панель).

Кроме того, для создания телевизионной передачи используется звуковой тракт, аналогичный тракту радиопередачи. Звук передаётся на отдельной частоте обычно при помощи частотной модуляции, по технологии, аналогичной FM-радиостанциям. В цифровом телевидении звуковое сопровождение, часто многоканальное, передаётся в общем с изображением потоке данных.

## 1.2. Передающая и принимающая части ТВ-приёмника

Современная ТВ система (рис.1) состоит из двух частей: передающей и приемной, соединенных линией связи. В передающей части системы изображение наблюдаемого объекта с помощью объектива 2 проецируется на передающую трубку 3, находящуюся в передающей ТВ камере 1.



**Рис. 1. Структурная схема ТВ системы.**

Передающая трубка в процессе развертки формирует видеосигнал, который после предварительного усиления в усилителе ТВ камеры 5 поступает в ТВ канал 7. Для ТВ развертки на отклоняющую систему 4 передающей трубки подаются электрические сигналы пилообразной формы строчной частоты и частоты полей. Эти сигналы вырабатываются в блоке разверток 6 передающей камеры. В ТВ канале происходит дальнейшее усиление видеосигнала, коррекция его искажений и формирование полного ТВ сигнала, для чего в видеосигнал замешиваются гасящие и СИ строк и полей. Эти импульсы заводятся в ТВ канал от специального генератора импульсов – синхрогенератора 9. Синхрогенератор вырабатывает импульсы, необходимые для работы всей ТВ системы, и обеспечивает строгое соотношение частот между ними.

Вырабатываемые синхрогенератором СИ обеспечивают синхронность и синфазность разверток приемной и передающей трубок. Поскольку блок разверток передающей трубки находится непосредственно в передающей камере, то КСИ и ССИ отдельно подводятся к соответствующим генераторам блока разверток непосредственно от синхрогенератора. Необходимая для синхронизации блока разверток приемной трубки смесь синхроимпульсов передается вместе с видеосигналом.

Сформированный и усиленный полный ТВ сигнал поступает на модулятор радиопередатчика 8, где модулирует его несущую частоту, а затем в виде высокочастотных колебаний поступает в передающую антенну.

Принятые приемной антенной радиосигналы непосредственно поступают в ТВ приемник. Современные ТВ приемники строятся только по супергетеродинной схеме. В телевизорах применяется совместное усиление высокочастотным трактом сигналов изображения и звукового сопровождения с последующим их разделением и дополнительным усилением. В зависимости от точки разделения сигналов усилительный тракт ТВ приемника строится по одному из двух вариантов, называемых одноканальным и двухканальным.

Одноканальная схема предполагает общее усиление на промежуточной частоте ТВ сигнала и сигнала звукового сопровождения (см. рис. 4). Поэтому в высокочастотной части телевизора 10 осуществляются выбор соответствующего канала, предварительное усиление радиосигналов и их частотное преобразование в промежуточные частоты изображения (38 МГц) и звукового сопровождения (31,5 МГц). Оба сигнала после преобразования усиливаются одним многокаскадным услителем промежуточной частоты 11, который имеет достаточно широкую полосу пропускания, а затем детектируются амплитудным детектором 12. Видеодетектор представляет собой нелинейный элемент и выполняет функцию простейшего преобразователя. Поэтому на его входе, кроме видеоспектра, образуется также сигнал частоты биений между промежуточными несущими частотами, изображения и звука. Разностный сигнал с частотой  $f_{пч\ из} - f_{пч\ зв} = 38 - 31,5$  МГц модулирован по частоте и амплитуде. Полезная информация, соответствующая сигналу звукового сопровождения, определяется ЧМ сигнала разностной частоты.

Основное преимущество одноканальной схемы ТВ приемника состоит не только в отсутствии необходимости иметь отдельные гетеродины и смесители для сигналов изображения и звука, но и в том, что отсутствует нестабильность настройки сигнала звукового сопровождения, связанная с изменением частоты гетеродина в блоке 10. В данном случае отклонение частоты генератора высокочастотного блока телевизора от номинала приводит к равному изменению промежуточных частот видеосигнала и сигнала звука, а разностная частота, равная 6,5 МГц, остается неизменной.

На разностную частоту настроены усилитель промежуточной частоты звука, амплитудный ограничитель и частотный детектор, входящие в канал звукового сопровождения 13. Кроме того, в блок 13 входит усилитель низкой частоты, с выхода которого усиленный сигнал звуковой частоты подается на акустическую систему 14. Усиленный видеоуслителем 15 полный ТВ сигнал подается на блок цветности 16, в котором формируются видеосигналы основных цветов, подводимые к цветному кинескопу 17.

С выхода видеоусилителя сигнал поступает также в канал синхронизации 18, в котором обеспечивается отделение синхроимпульсов от видеосигнала и разделение ССИ и КСИ.

Далее эти импульсы синхронизируют задающие генераторы блоков кадровой 19 и строчной 20 разверток электронных лучей кинескопа соответственно. Формируемые генераторами разверток отклоняющие токи подаются на отклоняющую систему кинескопа. Кроме того, выходной каскад генератора строчной развертки одновременно служит источником высокого напряжения для питания кинескопа, которое получается путем выпрямления импульсов строчной частоты, образуемых в обмотке автотрансформатора этого каскада. В современных ТВ приемниках используются автоматические регулировки ряда параметров, например яркости, размера раstra. Блоки 10, 11 приемника, как правило, охвачены схемой АРУ, обеспечивающей поддержание выходного уровня видеосигнала как при переходе приема с одной программы на другую, так и при изменении условий распространения радиоволн и других факторов, влияющих на величину видеосигнала.

Современное цветное телевидение базируется на теории трехкомпонентного цветового зрения, из которой следует, что смешением трех основных спектральных цветов, взятых в определенных пропорциях, можно получить все возможные цвета. При этом основные цвета должны быть линейно-независимыми, т.е. ни один из них не может быть получен путем смешения двух других. В качестве основных обычно берутся следующие цвета монохроматического излучения: красный (R) с длиной волны 700,1 нм, зеленый (G) с длиной волны 546,1 нм, синий (B) с длиной волны 435,8 нм. Например, равноэнергетический белый цвет можно получить смешением в равной пропорции основных цветов R, G, B.

### **1.3. Электронно-оптические преобразователи**

#### **1.3.1. Передающие телевизионные трубки**

На передающей стороне ТВ системы необходимо преобразовать оптическое изображение передаваемого объекта в ТВ сигнал. Подобное преобразование можно осуществлять как с помощью электронно-лучевых (вакуумных), так и твердотельных преобразователей. Вакуумные преобразователи (передающие трубки) по виду используемого в них фотоэффекта классифицируются на две

группы: с внешним и внутренним фотоэффектом. В настоящее время в большинстве ТВ камер применяются передающие трубки с внутренним фотоэффектом видиконной конструкции (видикон, плюмбикон, сатикон, кремникон и др.), отличающиеся только составом фотопроводящей мишени, а также твердотельные матрицы на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС).





**Рис. 2. Конструкция передающей трубки видикон типа ММ.**

Для примера на рис.2 показано устройство типовой передающей трубки с фотопроводящей мишенью, магнитной фокусировкой и магнитным отклонением. Объектив 1 проецирует оптически сфокусированное изображение передаваемого объекта на фотопроводящий слой 6, нанесенный на сигнальную пластину 5, которая напылена на планшайбу 7. Сигнальная пластина электрически соединена с кольцевым выводом 8. Электронно-оптическая система передающей трубки состоит из катода 12, модулятора 11, первого анода 10, второго анода 9 и выравнивающей сетки 13. Электронный луч фокусируется катушкой 2, а отклоняется горизонтальными и вертикальными катушками отклонения 4. Назначение корректирующей катушки 3 сводится в основном к компенсации погрешностей, вносимых магнитной и электронно-оптической системами. Модулятор 11 предназначен для регулировки тока электронного луча, а первый и второй аноды – для его формирования. Магнитное поле катушки 2 фокусирует электронный луч в плоскости мишени. Перед мишенью установлена выравнивающая сетка. Между мишенью и сеткой создается однородное тормозящее поле по всей сканируемой площади фоточувствительного слоя, что позволяет сохранить фокусировку луча и равномерность сигнала по полю изображения.

При работе трубки в режиме медленных электронов на сигнальной пластине устанавливается напряжение в пределах от 10 до 30 В по отношению к катоду. На катоде – нулевой потенциал, а на анод подается напряжение около 300 В. Рассмотрим действие трубки при развертке медленным электронным лучом.

В процессе развертки на внутренней поверхности фотопроводника (обращенной к электронному лучу) создается потенциал, близкий к потенциалу катода.

Вследствие этого между противоположными поверхностями фотопроводящего слоя устанавливается разность потенциалов. После ухода луча с рассматриваемой точки потенциал внутренней поверхности мишени растет, так как элементарная емкость каждого из участков фотопроводника разряжается через поперечное сопротивление слоя. При проецировании изображения на мишень проводимость различно освещенных участков фотослоя будет неодинаковой. В фотопроводнике возникает "рельеф проводимости", соответствующий рельефу яркости передаваемой сцены. Поэтому в течение времени кадра каждая из элементарных емкостей в зависимости от ее освещенности разряжается по-разному.

В результате к концу кадра на стороне мишени, обращенной к лучу, возникает потенциальный рельеф. При развертке электронный луч, доведя поверхность всех

участков мишени до одинакового потенциала, теряет на освещенных участках фотослоя большее количество электронов, чем на затемненных. При этом токи дозаряда элементарных емкостей несут в себе информацию о распределении освещенностей на фотомишени. Протекая через нагрузочное сопротивление, они создают напряжение видеосигнала, который содержит информацию о средней яркости изображения.

Первым практически разработанным преобразователем свет-сигнал с внутренним фотоэффектом была малогабаритная передающая трубка видикон, в которой применялась фотопроводящая мишень, изготовленная из стибнита (трехсернистая сурьма –  $Sb_2S_3$ ).

Применение в видиконе светочувствительного фотодиодного слоя, представляющего собой  $pin$  – структуру на основе пористой пленки монооксида свинца, позволило создать передающую трубку плюмбикон. Трубку данного типа иногда еще называют леддикон, глетиконом. По сравнению с видиконом плюмбикон имеет следующие особенности: меньшая инерционность сигнала (остаточный сигнал составляет не более 5 % основного сигнала через 60 мс после прекращения освещения); темновой ток примерно в 100 раз меньше тока сигнала, что позволяет обеспечивать хорошую равномерность сигнала по всему полю изображения; высокая стабильность световой характеристики при достаточно хорошей ее линейности.

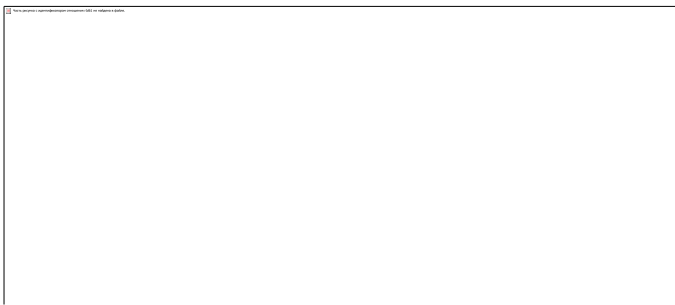
Видиконную конструкцию имеет передающая трубка кремникон, мишень которой дискретна и представляет собой упорядоченную фотодиодную матрицу, выполненную по планарной технологии. Кремниконы в сравнении с плюмбиконами имеют более высокую чувствительность, больший световой динамический диапазон, требуемую спектральную характеристику чувствительности и повышенную температурную стойкость мишени. Фотопроводящий слой кремникона представляет собой аморфную среду в виде халькогенидного стекла, состоящего из селена, легированного мышьяком и теллуrom. Применяемый фотопроводник имеет структуру, названную гетеропереходом, благодаря которой обеспечивается высокое разрешение. Спектральная характеристика сатикона позволяет использовать его в цветных передающих камерах без каких-либо ограничений.

В настоящее время в большинстве конструкций вещательных телекамер в основном используются передающие трубки типа плюмбикон и сатикон, в телекамерах прикладного и бытового назначения – плюмбикон, видикон, кремникон.

### **1.3.2. Твердотельные преобразователи на основе ПЗС**

Матричные твердотельные преобразователи свет-сигнал обеспечивают электронную развертку по обеим осям. Они представляют собой двумерную матрицу светочувствительных элементов, в которых накапливаются и переносятся заряды. ПЗС матрицы можно классифицировать на приборы с кадровым (рис. 3, а), строчным и строчно-кадровым переносом за рядов (см. рис.3, б). Приборы с кадровым переносом зарядов состоят из секций накопления и хранения и выходного регистра. При подаче напряжений в определенных фазах под электродами в светочувствительной секции накапливаются заряды, пропорциональные падающему световому потоку.

В течение длительности КГИ при подаче импульсов переноса все накопленные заряды быстро сдвигаются из секции накопления в экранированную от света секцию памяти, откуда построчно выводятся в выходной регистр во время действия СГИ, а затем последовательно считываются во время активной части строки. В ПЗС с кадровым переносом зарядов может применяться двух-, трех- или четырех фазная система электродов. Благодаря чересстрочной организации считывания удается удвоить число строк на изображении по сравнению с числом элементов по вертикали.



**Рис. 3. Конструкция твердотельных матричных преобразователей ПЗС типа.**

**а) устройство с кадровым переносом зарядов;**

**б) устройство со строчно-кадровым переносом зарядов;**

**1 - секция накопления; 2 - регистры памяти; 3 - выходной регистр.**

Для осуществления чересстрочной развертки наиболее удобны двух- и четырехфазные системы электродов. Серьезным недостатком ПЗС с кадровым переносом является довольно сильный эффект смаза – появление вертикальных светлых столбов от ярких участков на изображении.

Чтобы исключить смаз, следует перекрыть световой поток в интервале КГИ, когда заряды переносятся в секцию хранения. Для этого в телекамерах, где применяется ПЗС с кадровым переносом, устанавливается механический obturator. В матрицах со строчным переносом зарядов секция хранения зарядов размещена внутри секции накопления так, что столбцы светочувствительных элементов разделены столбцами вертикальных регистров сдвига. Поэтому заряды из секции светочувствительных элементов попадают в регистр сдвига за очень короткое время. В итоге эффект смаза в матрицах со строчным переносом оказывается существенно меньшим, чем в матрицах с кадровым переносом. В телекамерах бытового и прикладного назначения такой уровень смаза приемлем, поэтому ПЗС матрицы со строчным переносом используются в подобных устройствах. Для ТВ вещания уровень смаза, характерный для матриц со строчным переносом, в ряде случаев неприемлем, если не принять меры по его снижению.

Компромисс был найден – к матрице со строчным переносом была добавлена секция хранения, подобная используемой в матрицах с кадровым переносом. В этих матрицах эффект смаза снижен до тысячной доли процента и практически незаметен.

В ПЗС со строчно-кадровым переносом зарядов (см. рис. 3, б) светочувствительные ячейки секции накопления примыкают в каждом столбце к вертикальному регистру сдвига, закрытому непрозрачным экраном. Заряды, накопленные в светочувствительных ячейках, при подаче отпирающего напряжения на фотозатвор в течение части КГИ быстро сдвигаются (четные строки в первом поле, нечетные – во втором) в вертикальные регистры и затем во время обратного хода строчной развертки периодически перемещаются вдоль вертикального регистра на один такт, попадая в горизонтальный регистр, который выполнен так же, как и в ПЗС с кадровым переносом зарядов. Преимуществом матриц со строчно-кадровым переносом зарядов (см. рис. 3, б), по сравнению с матрицами с кадровым переносом (см. рис. 3, а), является отсутствие секции памяти, более высокая разрешающая способность по вертикали, более точная чересстрочность развертки, а также более простое устройство стока избыточных зарядов. В то же время конструкция ПЗС со строчно-кадровым переносом, как правило, сложнее, чем ПЗС с кадровым переносом, а светочувствительная поверхность у них меньше, так

как вертикальные регистры, находящиеся в поле изображения, экранируются для предотвращения попадания света. По этой причине в ПЗС с кадровым переносом удается разместить по горизонтали в 1,5-2 раза большее число элементов, чем в ПЗС со строчно-кадровым переносом.

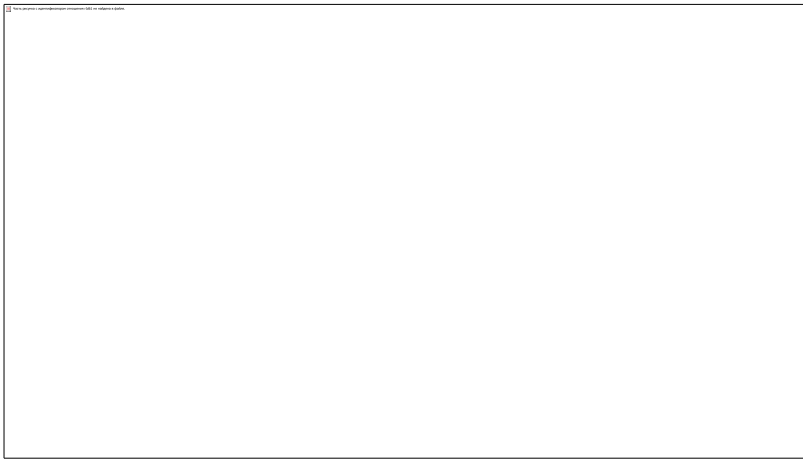
Для получения видеосигналов трех основных цветов в современных цветных передающих камерах, как правило, используются три однотипные трубки или твердотельные матрицы с цветоделительной системой, которая из многоцветного изображения объекта формирует три одноцветных изображения.

### **1.3.3. Конструкция цветного масочного кинескопа**

Конечным звеном ТВ системы является преобразователь видеосигнала в оптическое изображение. В большинстве случаев ТВ изображения воспроизводят при помощи электронно-лучевых трубок с люминесцирующими экранами. Такие трубки принято называть приемными или кинескопами. В кинескопах цветного ТВ используется трехрастровая система, при которой на экране формируются три одноцветных раstra –  $R$ ,  $G$ ,  $B$ , совмещенные с достаточной степенью точности друг с другом. Трехрастровая система предполагает наличие в кинескопе трех электронных прожекторов, формирующих три электронных луча, и трех люминофорных групп, спектральное излучение которых соответствует основным цветам. Разделение одноцветных изображений, т.е. обеспечение правильного попадания каждого из электронных лучей на люминофорные элементы экрана "своего" цвета, обеспечивается с помощью теневой маски. Такие кинескопы называются масочными.

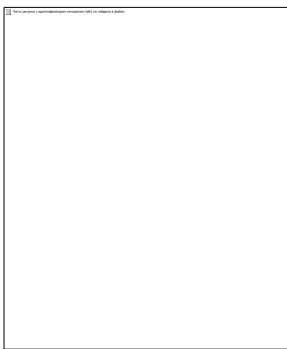
Основные физические принципы работы и конструктивные особенности кинескопов любого типа заключаются в следующем. Электронные прожекторы и люминесцирующий экран помещаются в стеклянную колбу, из которой откачан воздух до получения высокого вакуума. Причем люминесцирующий экран наносится на внутреннюю поверхность переднего стекла колбы кинескопа. Отклонение электронных лучей осуществляется отклоняющими катушками, надеваемыми на горловину трубки. Каждый электронный прожектор кинескопа состоит из подогревного катода с нитью накала, управляющего электрода или модулятора и первого анода. Электростатическая фокусировка электронных лучей осуществляется электрическими полями дополнительных электродов, помещаемых в горловину трубки.

Электронные лучи под действием сильного ускоряющего электрического поля бомбардируют люминесцирующий экран, который начинает светиться под действием бомбардировки. Магнитное поле отклоняющих катушек заставляет электронные лучи перемещаться по экрану трубки в горизонтальном и вертикальном направлениях, в результате чего на экране образуются растры одноцветных изображений в виде совокупности отдельных сфокусированных строк. Если на управляющие электроды кинескопа подать видеосигналы основных цветов  $E_r$ ,  $E_g$ ,  $E_b$ , которые будут изменять количество электронов в соответствующих электронных лучах, то на экране кинескопа появится цветное изображение, полностью соответствующее объекту наблюдения.

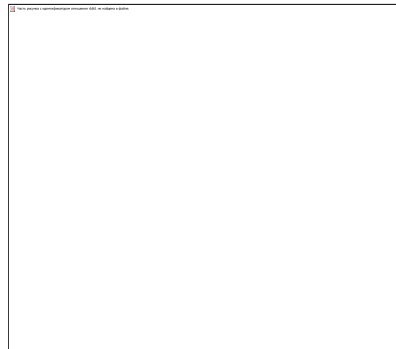


**Рис. 4. Конструкция цветного масочного кинескопа компланарного типа.**

Наибольшее применение получили масочные кинескопы компланарного типа (с самосведением электронных лучей) (рис. 4), в которых электронные прожекторы расположены в горизонтальной плоскости, щелевая маска 5 имеет вертикальные прорезы (рис. 5), а люминофорное покрытие 6 представляет собой совокупность линейчатых вертикальных полосок трехцветных люминофоров (рис. 5а).



**Рис. 5. Щелевая маска.**



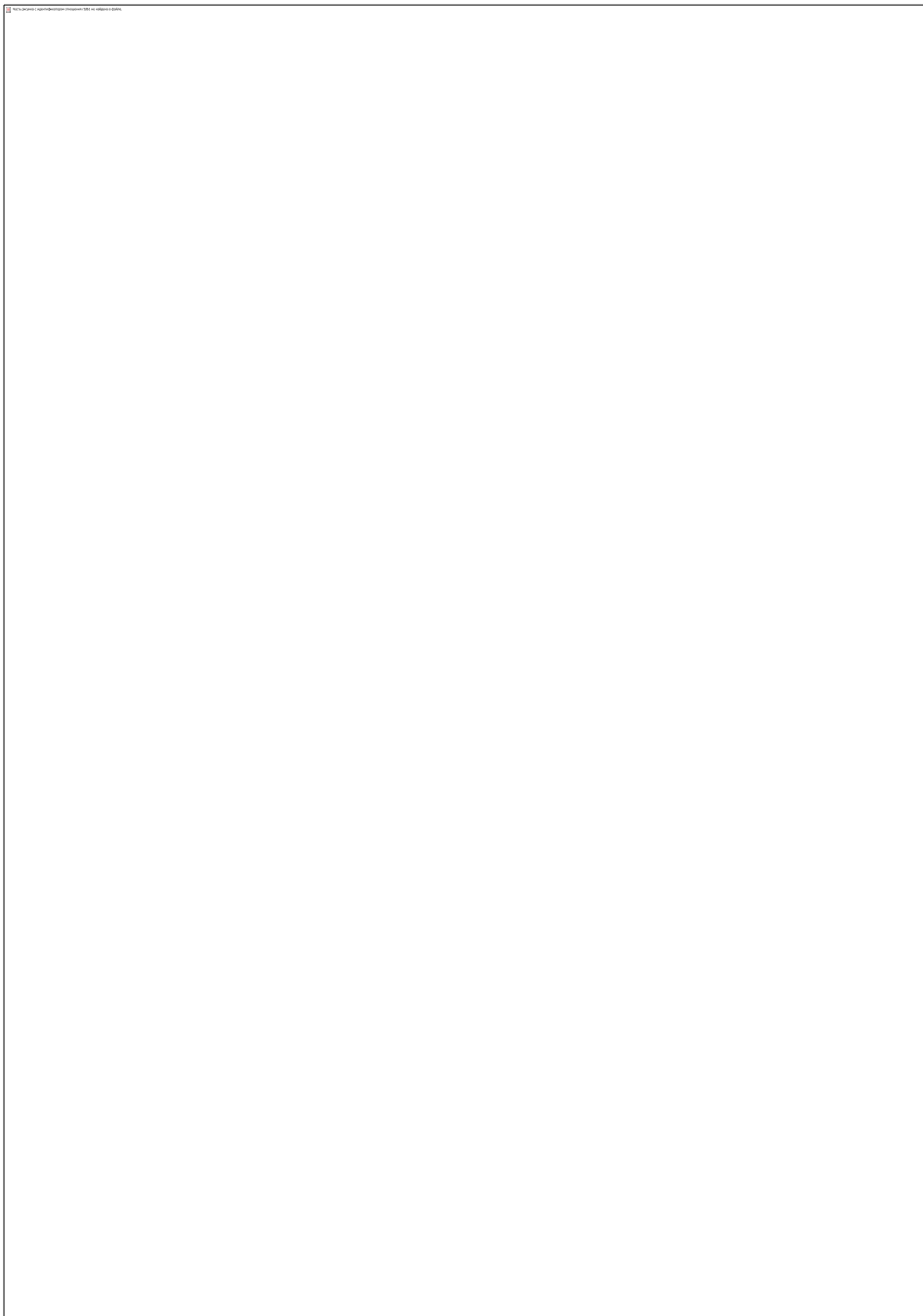
**Рис. 5.0. Структура штрихового экрана.**

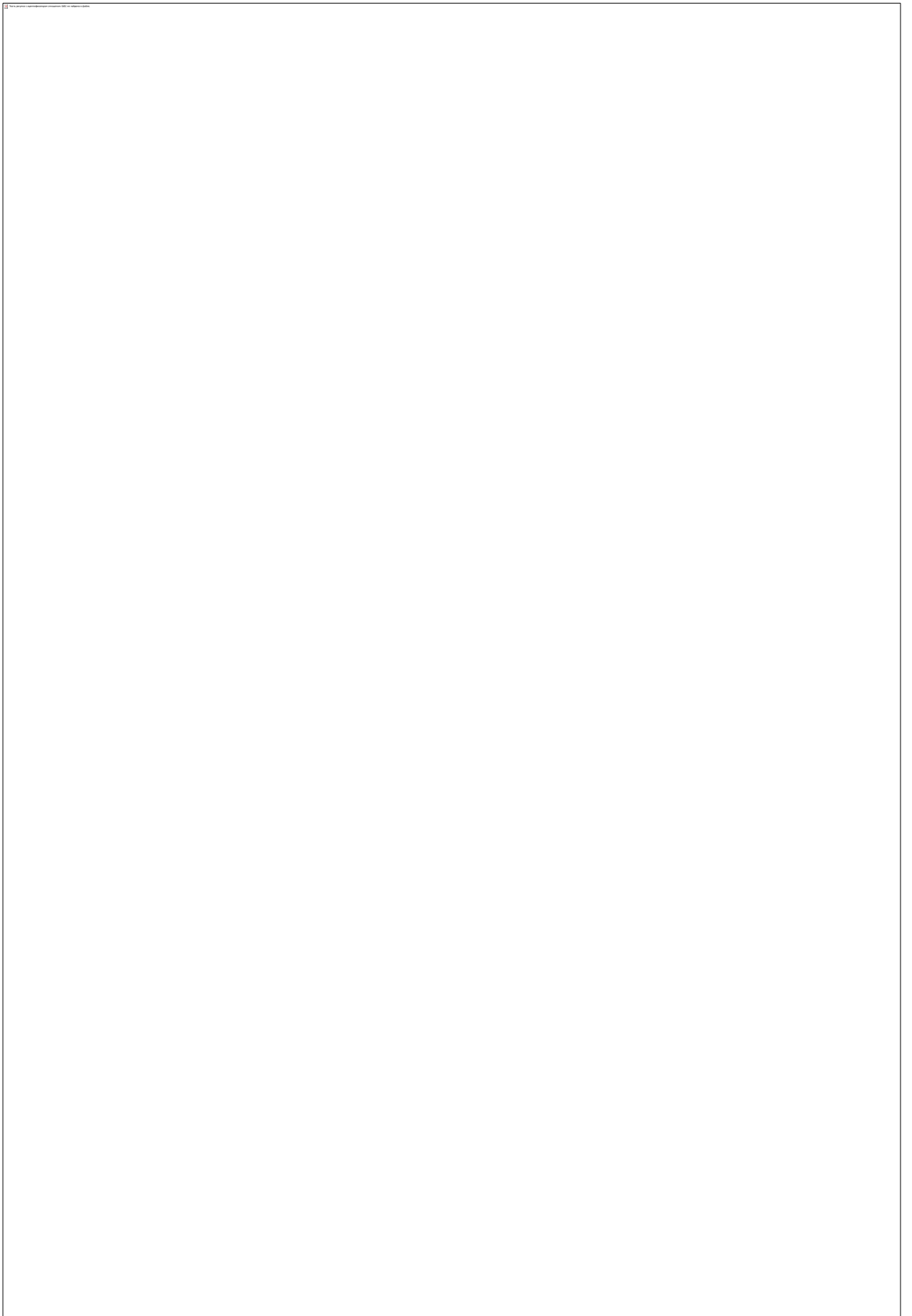
Ось среднего прожектора (как правило,  $G$ ) направлена вдоль оси симметрии кинескопа, а два боковых прожектора ( $R$  и  $B$ ) наклонены к ней симметрично в горизонтальной плоскости под углом  $1,5^\circ$  так, что все три электронных луча сходятся в точке, лежащей на поверхности теневой маски. Через щелевые отверстия электронные лучи попадают на чередующиеся по цвету свечения вертикальные люминофорные полоски  $R, G, B$ . При одновременном возбуждении электронными лучами трех элементарных люминофорных полосок  $R, G, B$  свечение будет воспроизводить  $U$  один элемент цветного ТВ изображения. Для более точного совмещения одноцветных изображений на горловине кинескопа дополнительно устанавливаются магниты чистоты цвета 2 и статического сведения электронных лучей 3. В тороидальной  $B$  отклоняющей системе 4 компланарных кинескопов, помимо отклоняющих катушек, размещаются дополнительные обмотки магнитной квадрупольной линзы.

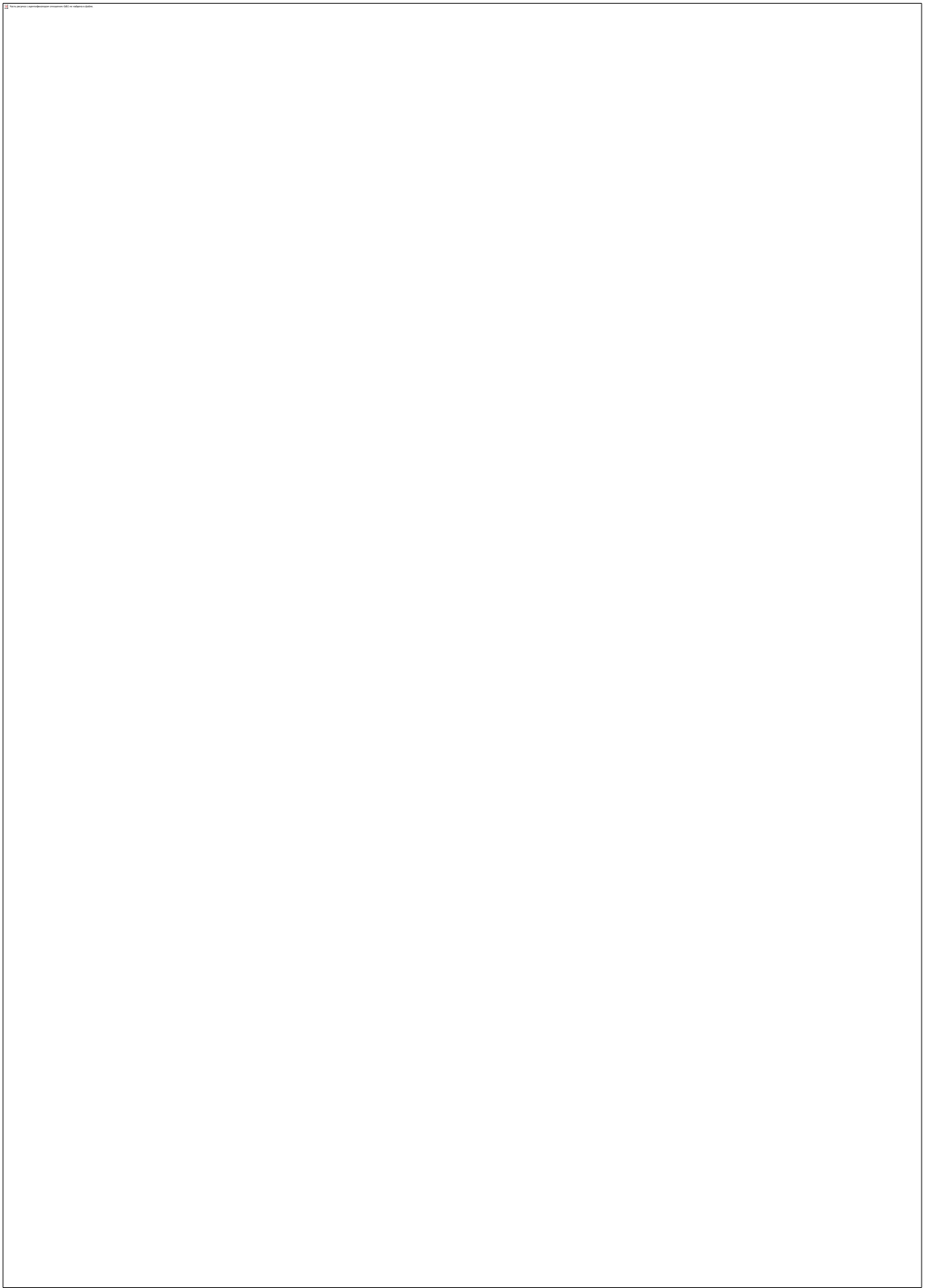
Магнитное поле квадрупольной линзы осуществляет сближение электронных лучей в горизонтальном направлении в любой точке экрана, что обеспечивает их динамическое сведение. Обмотки квадрупольной линзы питаются от генератора кадровой развертки. Для повышения светоотдачи внутреннюю поверхность передней части колбы кинескопа

покрывают токопроводящим слоем 7, выполняющим роль второго анода, на который подается достаточно высокое ускоряющее напряжение (до 25 кВ). Ускоряющее напряжение второго анода обеспечивает ускорение до больших скоростей электронов, бомбардирующих люминофорное покрытие.

#### **1.4. Особенности телевизионной развертки**



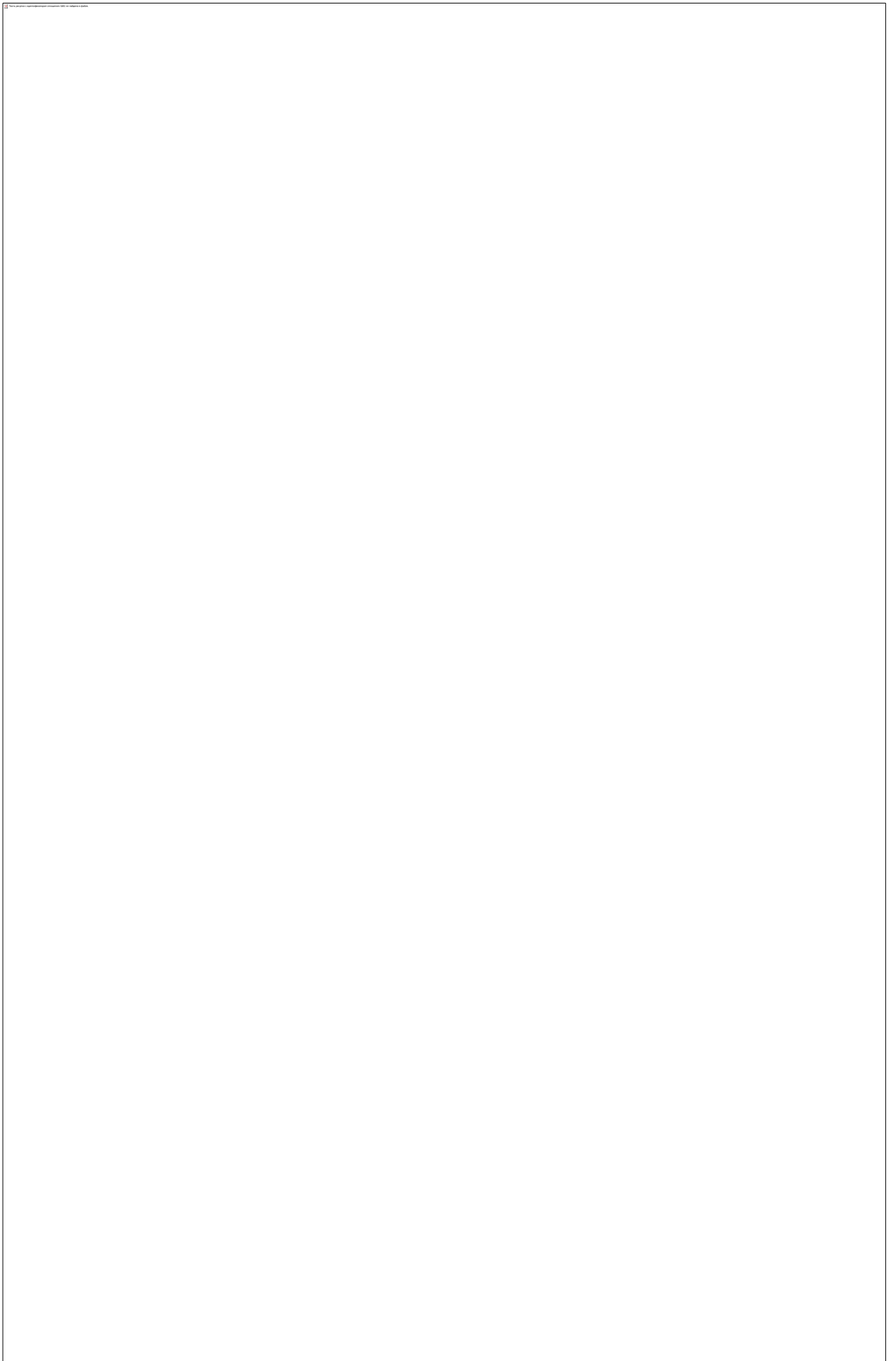






## 1.5. Общая структурная схема телевизионной системы





## Список літератури

### 1.Основна

106. Телебачення / Під ред. В.Е. Джаконії. – М.: Радіо та зв'язок , 1986.
107. Домбругов Р.М. Телебачення. – Київ : Вища школа , 1988.
108. Проектування та технічна експлуатація телевізійної апаратури / Під ред. С.В. Новаковського. – М : Радіо та зв'язок , 1989.
109. Ю.Б. Зубарьов , Г.Л. Глоріозов . Передача зображень – М. : Радіо та зв'язок , 1989.
110. А.В. Виходєц , В.І. Коваленко , М.Т. Кохно – Звукове та телевізійне мовлення ; - М. : Радіо та зв'язок , 1987.
111. Цифрове телебачення / Під ред. М.І. Кривошеєва. - М. : Радіо та зв'язок , 1980.
112. Певзнер Б.М. Якість кольорових ТВ зображень : видання друге ; М. : Радіо та зв'язок , 1988.
113. Радіорелейні та супутникові системи передачі : Підручник для вузів / Під ред. А.С. Немировського . - М. : Радіо та зв'язок , 1986. – 392 с
114. Системи радіозв'язку : Підручник для вузів / Під ред Л.Я. Калашникова - М. : Радіо та зв'язок , 1987. – 352 с
115. Посібник по радіорелейному зв'язку / Під ред С.В. Бородича - М. : Радіо та зв'язок , 1981. – 416 с
116. Супутниковий зв'язок та мовлення. Посібник / Під ред. Л.Я. Кантора - М. : Радіо та зв'язок , 1988. – 344 с
117. Системи космічного зв'язку. Посібник під ред. Б.В. Одинцова , Е. А. Сукачова; Одеса 1989.
118. Сучасні системи радіозв'язку в прикладах та задачах. Посібник під ред. Б.В. Одинцова , Е. А. Сукачова; Одеса 1990.
119. Мамчев Г.В. «Основы радиосвязи и телевидения», 2007 год;
120. Джакония В.Е., Гоголь В.А., Друзин Я.В. «Телевидение (4-е издание), 2007
121. Локшин Б.А. «Телевизионное вещание. От студии к телезрителю», 2001
122. Кириллов В.И., Ткаченко А.П. «Телевидение и передача изображения», 1988
123. Самойлов В.Ф., Хромой Б.П. «Основы цветного телевидения», 1982
124. Ельяшкевич С.А., Юкер А.М. «Усовершенствование телевизоров ЗУСЦТ и 4УСЦТ», 1994
125. Быков Р.Е., Сигалов В.М., Эйсенгардт Г.А. «Телевидение», 1988
126. Ельяшкевич С.А. «Справочное пособие. Цветные телевизоры ЗУСЦТ», 1990
127. Зубарев Е.Б., Кривошеев М.И., Красносельский И.Н. «Цифровое телевизионное вещание. Основы и методы», 2001
128. Корытов В.И «Телевизоры ЗУСЦТ. Ремонт и настройка», 1999
129. Смирнов А.В. «Основы цифрового телевидения», 2001

130. Ельяшкевич С.А., Песков А.Е. «Телевизоры ЗУСЦТ, 4УСЦТ, 5УСЦТ. Устройство, регулировки, ремонт»
131. Шумихин Ю.А. «Телевизионный сигнал», 1968
132. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 1 Принципи радіозв'язку, 2014
133. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 2 Радіопередавальні пристрої, 2014
134. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 3 Радиоприймніе устройства, 2014
135. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 4 Физические основы телевидения, 2014
136. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 5 Основные принципы функционирования телевизионных систем, 2014
137. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 6 Формирование телевизионного сигнала, 2014
138. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 7 Конструктивні особливості телевізійної апаратури, 2014
139. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 8 Особенности построения телевизионных систем, 2014
140. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 9 Сети телевизионного вещания, 2014

## **2.Додаткова**

31. Мордуховіч Л.Г., Степанов А.П. Системи радіозв'язку. Курсове проектування. - М. : Радіо та зв'язок , 1987. – 192 с
32. Спілкер Дж. Цифровий супутниковий зв'язок / пер. з англ. ; Під ред. В.В. Маркова - М. : Зв'язок , 1979. – 592 с
33. Одинцов Б.В., Сукачов Е.А. , Гуцаюк А.К. Цифрові системи радіозв'язку : Навчальний посібник / ОЕІС ім. А.С. Попова – Одеса , 1988. – 56 с.
34. Одинцов Б.В., Сукачов Е.А. , Гуцаюк А.К. Космічний зв'язок : Навчальний посібник / ОЕІС ім. А.С. Попова – Одеса , 1989. – 56 с.
35. Новаковський С.В. Колір в кольоровому телебаченні - М. : Радіо та зв'язок, 1988.
36. Кривошеєв М.І. Основи телевізійних вимірювань. : видання 3 – е. - М. : Радіо та зв'язок , 1989.
37. ГОСТ 7845 – 79. Система мовленнєвого телебачення. Основні параметри , методи вимірювань.
38. Прием телебачення та радіомовлення з супутників / Д.Ю. Бем , М.Є. Ільченко , А.П. Житков, Л.Г. Гассанов. – К.: Техніка , 1992. – 176 с.
39. Довідник. Індивідуальні відео – засоби. С.А. Сєдов – Київ 1990.
40. В.Бондарьов , Г.Трьостер , В. Чернега. Цифрова обробка сигналів : методи та засоби. Навчальний посібник для вузів. Харків 2001.

## **6. Формирование телевизионного сигнала**

- 1.1. Общие положения
- 1.2. Принцип передачи цветного изображения
- 1.3. Совместимость цветного телевидения

1.4. Частотный спектр полного цветного телевизионного сигнала

1.5. Системы цветного телевидения

1.6. Система цветного телевидения NTSC

1.7. Особенности кодирования и декодирования системы PAL

1.8. Особенности кодирования системы SECAM

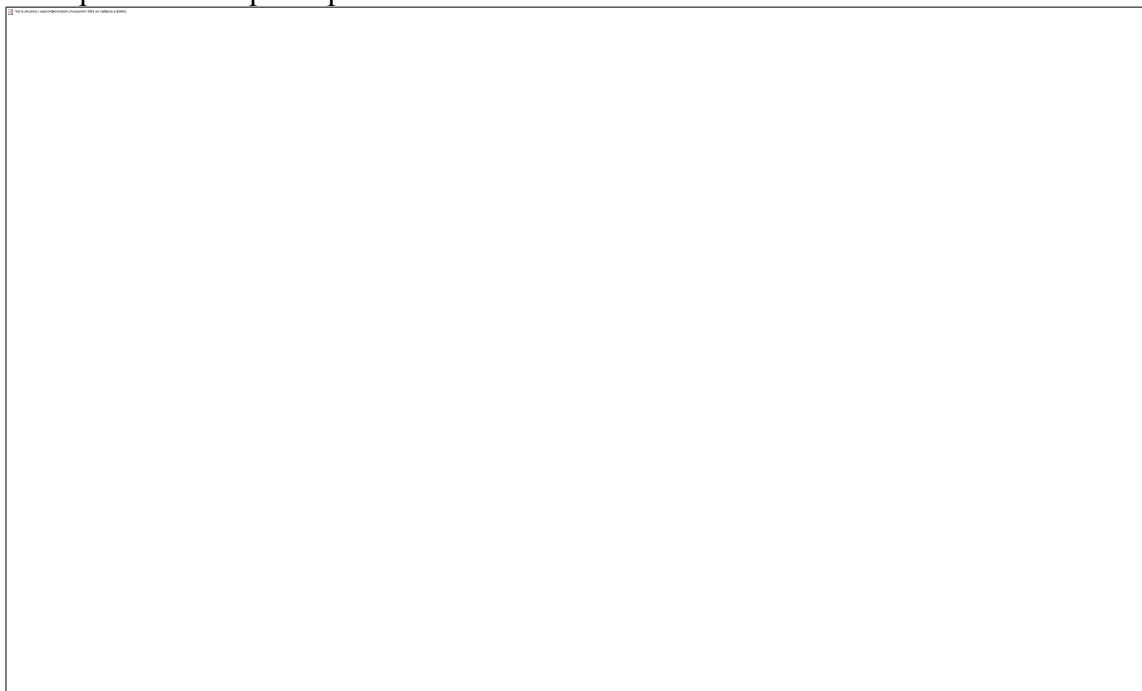
1.9. Особенности декодирования системы SECAM

## 1.1. Формирование телевизионного сигнала

Телевизио́нный сигна́л — совокупность электрических сигналов, содержащая информацию о [телевизионном изображении](#) и [звуке](#). Телевизионный сигнал может передаваться по [радио](#) или по кабелю. Термин употребляется в большинстве случаев применительно к [аналоговому телевидению](#), потому что [цифровое](#) оперирует таким понятием, как [поток данных](#).

Начинать знакомство с телевизионной техникой лучше всего с получения изображения и формирования полного телевизионного сигнала. В вещательном телевидении принят метод поочередного преобразования каждого элемента изображения в электрический сигнал с последующей передачей этого сигнала по одному каналу связи.

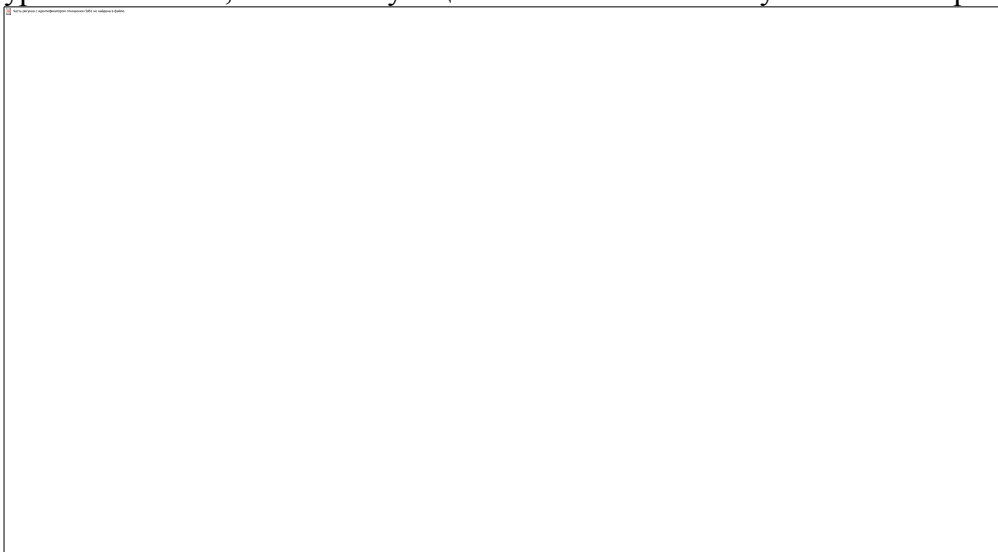
Для реализации такого принципа на передающей стороне применяются специальные электронно-лучевые трубки, преобразующие изображение передаваемого объекта в развернутый во времени электрический видеосигнал. Промышленность выпускает большое количество передающих трубок, различающихся по конструкции, назначению, электрическим параметрам .



В качестве примера на рис.А. представлен в упрощенном виде один из вариантов передающей трубки. Внутри стеклянной колбы, находящейся под высоким вакуумом, расположены полупрозрачный фотокатод (мишень) и электронный прожектор (ЭП).

Снаружи на горловину трубки надета отклоняющая система (ОС). Проектор формирует тонкий электронный луч, который под воздействием ускоряющего поля направляется к мишени. При помощи отклоняющей системы луч перемещается слева направо (по строкам) и сверху вниз (по кадру), обегая всю поверхность мишени.

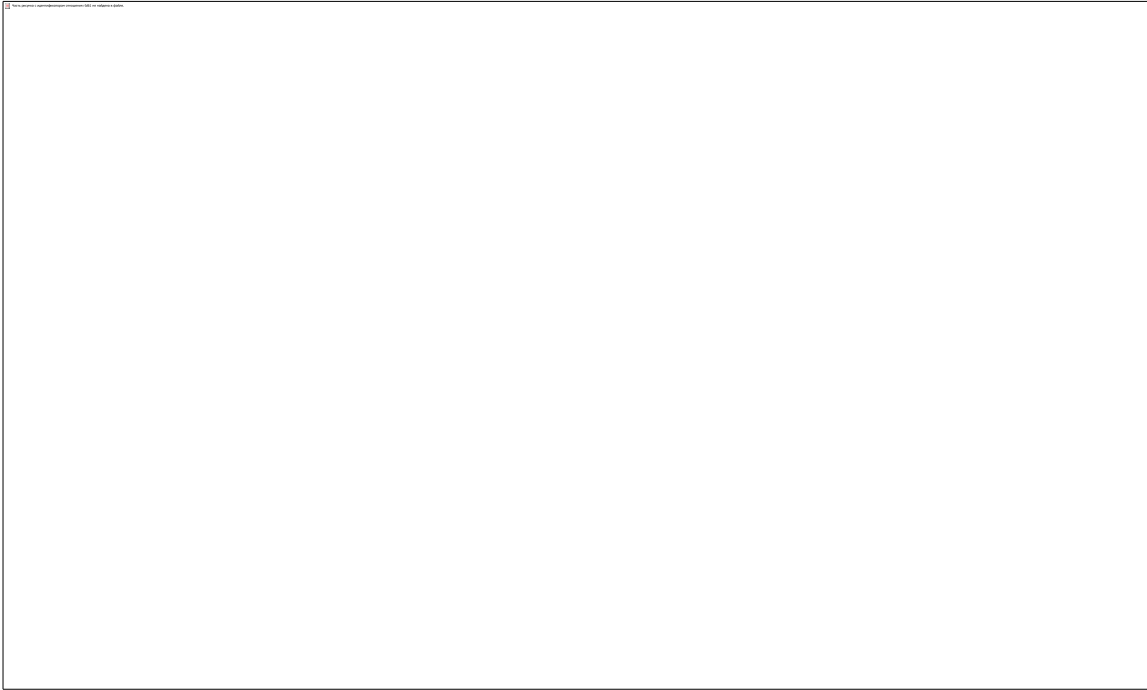
На мишень трубки, покрытую светочувствительным слоем, проецируется изображение. В результате каждый элементарный участок мишени приобретает электрический заряд. Образуется так называемый потенциальный рельеф. Электронный луч, взаимодействуя с каждым участком (точкой) потенциального рельефа, как бы стирает (нейтрализует) ее потенциал. Ток, который течет через сопротивление нагрузки  $R_n$ , будет зависеть от освещенности участка мишени, на который попадает электронный луч, и на нагрузку выделится видеосигнал  $U_c$  (рис.В). Напряжение видеосигнала будет изменяться от уровня "черного", соответствующего наиболее темным участкам передаваемого изображения, до уровня "белого", соответствующего наиболее светлым участкам изображения.



Если в видеосигнале уровню "белого" соответствует максимальное значение сигнала, а уровню "черного" - минимальное, то такой видеосигнал будет называться позитивным (позитивной полярности). Если же уровню "белого" будет соответствовать минимальное значение сигнала, а уровню "черного" - максимальное, то видеосигнал будет являться негативным (негативной полярности). Характер видеосигнала зависит от конструкции и принципа действия передающей трубки. Видеосигнал, изображенный на рис.В, является негативным.

Телевизионный сигнал является импульсным однополярным (так как он является функцией яркости, которая не может быть разнополярной) сигналом. Он имеет сложную форму, и его можно представить в виде суммы постоянной и гармонических составляющих колебаний различных частот.

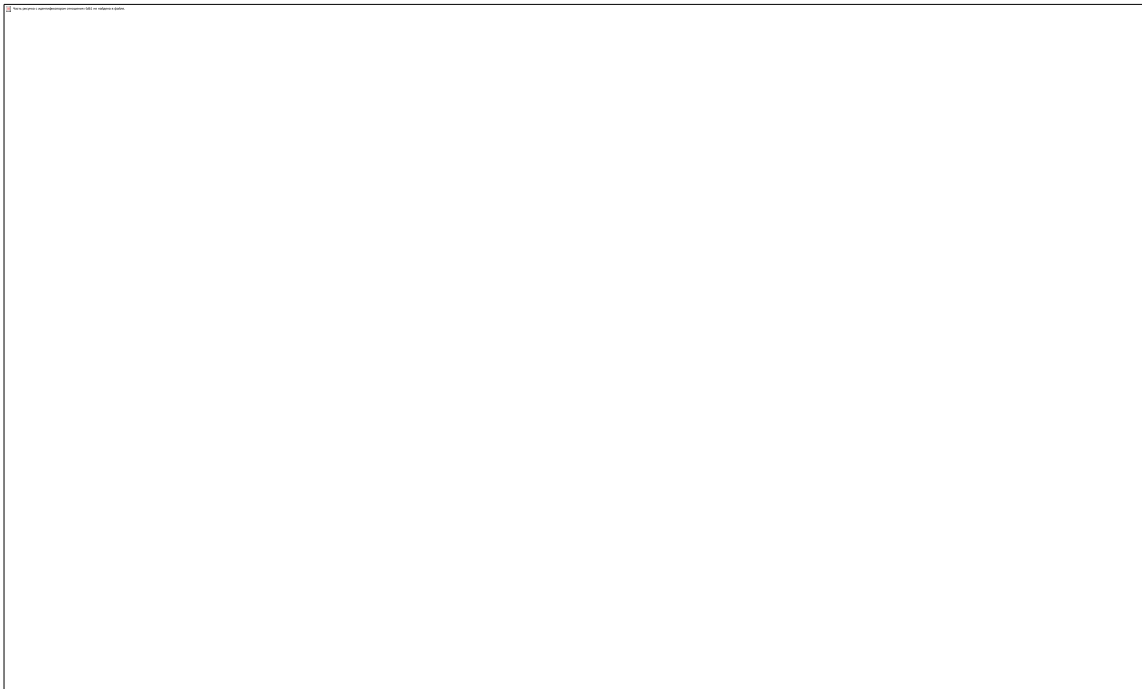
Уровень постоянной составляющей характеризует среднюю яркость передаваемого изображения. При передаче подвижных изображений величина постоянной составляющей будет непрерывно меняться в соответствии с освещенностью. Эти изменения происходят с очень низкими частотами (0-3 Гц). С помощью нижних частот спектра видеосигнала воспроизводятся крупные детали изображения. Например, минимальная частота спектра видеосигнала получится при передаче изображения, представляющего собой сочетание светлой и темной половины раstra (рис.С.).



Форма сигнала (рис.Д.) представляет собой прямоугольные импульсы. Минимальная частота этого сигнала будет соответствовать при чересстрочной развертке частоте полей, т.е.  $f_n = f_{п} = 50$  Гц.



С помощью верхних частот передаются наиболее мелкие детали изображения. Такое изображение можно представить в виде чередующихся по яркости мелких черных и белых квадратов (рис.Е.), которые располагаются вдоль строки и имеют размеры, равные толщине луча. Это и будет наиболее сложным изображением, так как будет содержать максимальное количество элементов изображения.



Для определения верхней граничной частоты такого видеосигнала можно произвести несложные расчеты: за время прямого и обратного хода кадровой развертки строчная развертка должна обойти 625 строк (принятый в нашей стране ТВ стандарт). Каждая строка может разместить (при формате кадра 4\*3) 800 элементов изображения. Это будет соответствовать 400 периодам гармонических колебаний, так как один период этого колебания создается при чередовании темных и светлых элементов изображения.

При движении электронного луча вдоль отдельной строки на мишени передающей трубки из-за конечных размеров считывающего луча на нагрузке будет выделяться сигнал, величина которого будет изменяться по закону, близкому к синусоидальному.

Если принять, что частота смены кадров равна 50 в секунду (т.е. 50 Гц), то за 1 секунду должно быть:

$$50 \cdot 625 \cdot 400 = 12,5 \cdot 1000000 \text{ периодов колебаний (Гц, или 12,5 МГц).}$$

Итак, заданный спектр телевизионного сигнала занимает диапазон от 0 до 12,5 МГц. Но передача сигнала со столь широким спектром сопряжена со значительными техническими трудностями, поэтому, чтобы уменьшить полосу передаваемых частот, но при этом не потерять разрешающую способность по вертикали, применяется так называемая чересстрочная развертка, суть которой заключается в том, что каждый кадр разбивается на два полукадра (или поля), в течение которых передается по 312,5 строк, т.е. в два раза меньше, чем при построчной развертке.

Причем в течение первого поля передаются нечетные, а в течение второго поля - четные строки. В результате верхний частотный спектр сокращается вдвое, т.е. 6,25 МГц. Ну а если учесть, что, примерно, по 25 строк каждого поля обычно не воспроизводятся, так как приходится на время обратного хода кадровой развертки, то полоса передаваемых частот может быть определена в 6 МГц. Необходимо, также отметить, что, поскольку форма видеосигнала сложна и может отличаться от синусоидальной, то это значит, что кроме основной частоты сигнал содержит и гармонические составляющие, имеющие более высокие частоты, кратные основной частоте сигнала. Однако, при передаче сигнала, соответствующего малым размерам изображения, ограничиваются передачей только основной частоты видеосигнала.

## **1.2. Принцип передачи цветного изображения:**

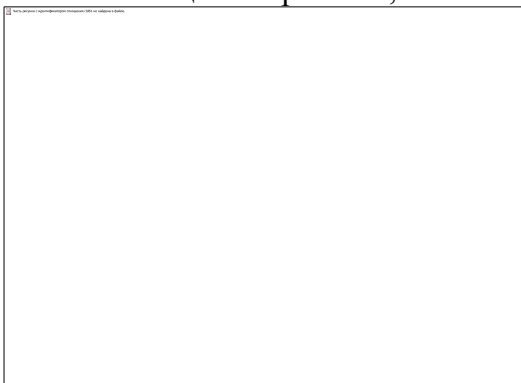


Принцип передачи цветного изображения основан на так называемой трехкомпонентной теории цветового зрения, согласно которой практически все цвета, существующие в природе,

можно получить с помощью смешения трех основных - красного, зеленого, синего, - взятых в определенной пропорции.

В телевидении их обозначают начальными буквами соответствующих английских слов: R (Red), G (Green) и B (Blue). Вспомним известный опыт: если с помощью фонарей одинаковой

интенсивности источников с красным, зеленым и синим светофильтрами осветить экран таким образом, чтобы разные цвета частично совместились (рис.1), то зеленый и красный в смеси дадут желтый цвет, красный и синий - пурпурный, синий и зеленый - голубой, а место совмещения красного, зеленого и синего даст в сумме белый цвет.



Если теперь в одинаковой пропорции увеличивать или уменьшать мощности всех источников,

то яркость белого пятна будет соответственно увеличиваться или уменьшаться, а цветовой

тон смеси при этом останется неизменным.

Если же изменять мощность источников в разных пропорциях, то тогда каждый цветовой участок будет менять свой цвет, включая и белый участок. При рассмотрении каждого источника в отдельности можно отметить неодинаковую их яркость: зеленый источник будет казаться ярче красного и синего, а красный - ярче синего. Все дело в различной чувствительности глаза к яркости каждого цвета в отдельности.

### 1.3. Совместимость цветного телевидения:

При построении вещательного цветного телевидения кроме трех сигналов, несущих информацию о цвете, необходимо передавать и сигнал, соответствующий черно-белому изображению. Этот сигнал должен обеспечить совместимость цветного и черно-белого телевидения, т. е. возможность принимать на экране черно-белого телевизора цветную программу в черно-белом виде, а на экране цветного телевизора - черно-белую программу в черно-белом изображении.

Этот сигнал называется яркостным и обозначается  $E_y$ . Он может быть получен при смешении в определенной пропорции сигналов основных цветов (обозначаются  $E_r, E_g$  и  $E_b$ ).

Соотношение между сигналом яркости  $E_y$  и сигналами основных цветов  $E_r, E_g$  и  $E_b$  было найдено с учетом кажущейся различной яркости основных цветов. Сигнал яркости можно выразить уравнением:

$$E_y = 0,30 E_r + 0,59 E_g + 0,11 E_b.$$

Сигнал яркости  $E_y$  формируется в специальной **матрице** (матрицей в цветном телевидении

называют устройства, которые выполняют операции сложения или вычитания. Они могут

быть выполнены с помощью резисторов и фазоинверторов).

При наличии сигнала яркости  $E_y$  нет необходимости передавать все три цветовых сигнала,

так как один из них всегда можно получить при сложении, используя приведенное выше соотношение между яркостным сигналом и сигналами основных цветов. В телевидении принято не передавать зеленый  $E_g$  сигнал, так как он наиболее широкополосный, в яркостном

сигнале содержится 59% зеленого.

Кроме того, во всех совместимых системах передаются не сигналы  $E_r$  и  $E_b$ , а так называемые цветоразностные сигналы  $E_r-u$  и  $E_b-u$ . Это связано с тем, что информация о яркости, которая содержится в цветовых сигналах  $E_r$  и  $E_b$ , излишня, поскольку она содержится в яркостном сигнале  $E_y$ . На экране же черно-белого телевизора эти сигналы создавали бы помеху в виде мелкоструктурной сетки. Цветоразностные сигналы  $E_r-u$  и  $E_b-u$

формируются в матрицах путем вычитания сигнала  $E_y$  из сигналов  $E_r$  и  $E_b$ .

Наиболее наглядно формирование яркостного сигнала  $E_y$  и цветоразностных сигналов  $E_r-u$  и

$E_b-u$  можно проследить на примере формирования испытательного сигнала цветных полос в

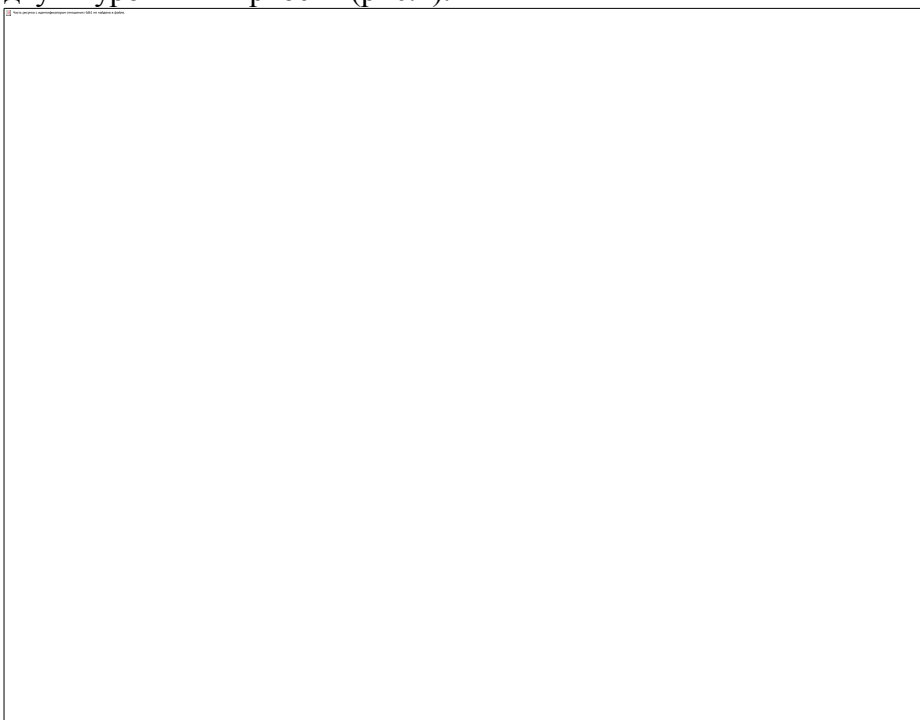
специальных генераторах-телетестах, предназначенных для проверки и настройки телевизионных приемников. С помощью такого генератора можно получить на экране телевизора восемь цветных полос - белую (или бело-серую), желтую, голубую, зеленую, пурпурную, красную, синюю и черную.

Генератор цветных полос вырабатывает три видеосигнала основных цветов, представляющие собой напряжения прямоугольной формы строчной частоты для сигнала  $E_g$ ; двойной строчной

для  $E_r$  и учетверенной строчной для  $E_b$ . Размах этих сигналов составляет в относительных

единицах - 1 (на белой полосе) и 0,75 на других полосах при формировании белой полосы с

двумя уровнями яркости (рис.2).



Сигнал яркости  $E_y$  образуется путем сложения сигналов  $E_r$ ,  $E_g$ ,  $E_b$  и представляет собой сигнал ступенчатой ниспадающей формы.

Цветоразностные сигналы  $E_r$ -у и  $E_b$ -у получаются путем вычитания из сигналов  $E_r$  и  $E_b$  сигнала яркости  $E_y$ .  
Дальнейшее формирование сигналов зависит от выбора системы цветного телевидения.

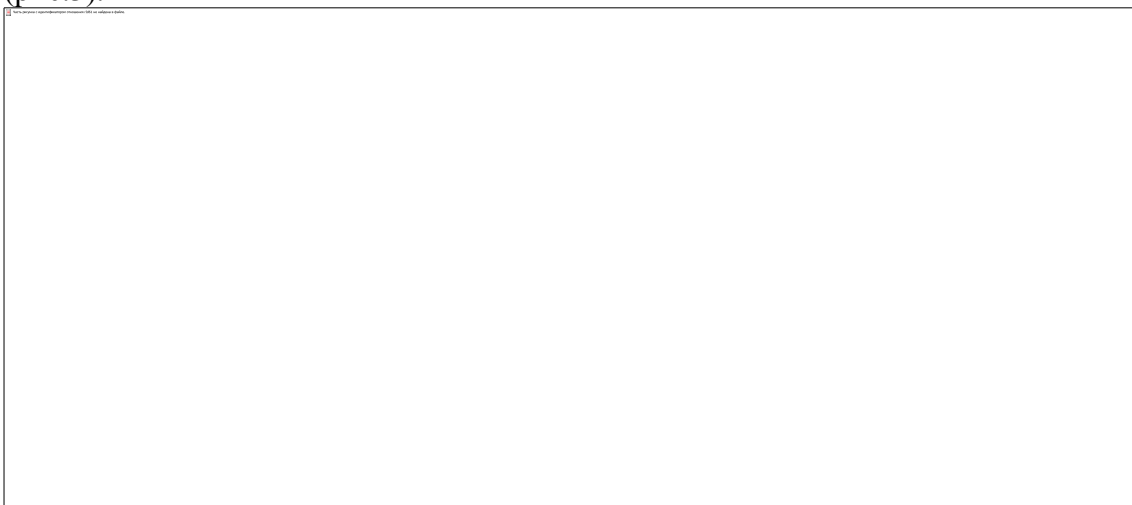
#### 1.4. Частотный спектр полного цветного телевизионного сигнала:

Итак, в совместимой системе цветного телевидения передаются сигнал яркости  $E_y$  и два цветоразностных сигнала  $E_r$ -у и  $E_b$ -у.

Для того, чтобы обеспечить возможность передачи цветного изображения в стандартной полосе частот, отведенной для черно-белого телевидения, используется метод уплотнения,

при котором спектр частот сигналов цветности располагается в спектре яркостного сигнала

(рис.3).



Для этого используется так называемая цветовая поднесущая частота, которая располагается в верхней части спектра яркостного сигнала и модулируется цветовым сигналом при передаче цветовой информации.

Так как глаз не ощущает мелких деталей изображения, то полосу цветоразностных сигналов

ограничивают до 1,5МГц. Передаваемые в общем спектре частот сигналы цветности и яркости могут создавать взаимные помехи. Для их уменьшения существует ряд мер.

Например, поднесущая сигнала цветности располагается в верхней части спектра яркостного

сигнала, что в значительной мере снижает помехи на экране черно-белого телевизора, так как проявляются лишь в виде мелкоструктурной сетки, что менее заметно. Существуют и другие способы снижения уровня помех.

#### 1.5. СИСТЕМЫ ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

**NTSC**

**SECAM**

**PAL or PAL/SECAM**



### 1.6. Система цветного телевидения NTSC.

Система NTSC была разработана и внедрена в США в 1953 году и явилась первой совме-

стимой системой цветного телевидения. Это одновременная совместимая система цветного ТВ, в которой передается яркостной сигнал и расположенная в пределах его спектра поднесущая, квадратурно модулированная двумя цветоразностными сигналами. В приемнике осуществляется синхронное детектирование цветоразностных сигналов, для чего в пределах гасящего строчного импульса передается частота поднесущего колебания с опорной фазой.

Принцип квадратурной модуляции заключается в том, что оба цветоразностных сигнала  $E_{г-у}$

и  $E_{б-у}$  модулируют по амплитуде две составляющие одной и той же поднесущей, сдвинутые

одна относительно другой по фазе на 90 градусов. Частота поднесущей равна  $f_0 = 3,579545$

МГц. Модуляция осуществляется с помощью балансных модуляторов, в которых поднесущая цветности подавляется, а остаются лишь боковые полосы.

Подавление цветовой поднесущей существенно уменьшает помехи на экране телевизора.

Затем выходные сигналы складываются, образуя геометрическую сумму этих сигналов, т. е. полный сигнал цветности, который будет изменяться как по амплитуде, так и по фазе.

При этом амплитуда этого сигнала определяет насыщенность, а фаза - цветовой тон передаваемого изображения. В передающем устройстве сигнал цветности складывается с яркостным сигналом, куда поступают также строчные и кадровые синхроимпульсы, гасящие импульсы и сигнал цветовой синхронизации, который необходим на приемной

стороне, чтобы восстановить подавленную поднесущую для последующего детектирования сигналов активности.

Так образуется полный цветовой телевизионный сигнал (ПЦТС).

В цветных телевизорах системы NTSC полный сигнал цветности разделяется на два цветоразностных сигнала с помощью синхронных детекторов.

Синхронные детекторы, в отличие от ранее применяемых амплитудных, обладают более высокой линейностью преобразования при малых уровнях сигнала.

Итак, для нормального синхронного детектирования необходимо восстановить подавленную

поднесущую. Для этого в составе ПЦТС передается сигнал цветовой синхронизаций, который представляет собой колебание поднесущей из 8-10 периодов, размещенных на задней

площадке строчного гасящего импульса.

Этот сигнал называют сигналом вспышки. Система NTSC обеспечивает высокую четкость

цветного изображения, легко осуществляет разделение цветоразностных сигналов без применения линии задержки, но обладает большой чувствительностью к фазовым искажениям, которые приводят к зависимости цветового тона от амплитуды сигнала яркости.

Кроме фазовых искажений, система NTSC подвержена амплитудно-частотным искажениям,

которые вызывают изменение насыщенности цвета темных и светлых участков изображения.

Система NTSC обеспечивает самое высокое качество цветного изображения, но требует высокого технического качества приемопередающей аппаратуры.

Европейский вариант NTSC: число строк 525, частота полей 60 Гц, поднесущая цветности 4.42 МГц, ширина полосы 1.3 МГц, несущая звука 6.5 МГц. Американский вариант NTSC: число строк 525, частота полей 60 Гц, поднесущая цветности 3.58 МГц, ширина полосы 1.3 и 0.5 МГц, несущая звука 4.5 МГц.

### **1.7. Особенности кодирования и декодирования системы PAL.**

Система PAL была разработана и внедрена в начале 60-х годов фирмой "Телефункен" (ФРГ).

Система PAL является более совершенной, чем NTSC. Она позволяет существенно уменьшить присущие системе NTSC фазовые искажения.

Впоследствии выяснился еще ряд преимуществ этой системы.

Основные характеристики системы PAL: число строк 525, частота полей 60 Гц, поднесущая цветности 4.433 618 МГц, ширина полосы 1.3 МГц, несущая звука 4.5 МГц.

Рассмотрим эту систему более подробно. Как и в системе NTSC, в системе PAL применена

квадратурная модуляция (цветовой) поднесущей, но в отличие от нее фаза составляющей поднесущей, которая модулируется красным цветоразностным сигналом, меняется от строки

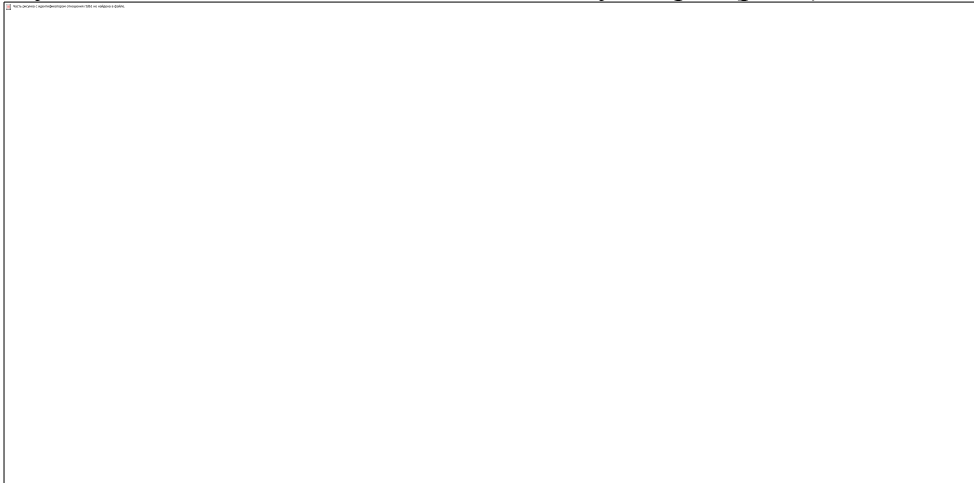
к строке на 180 градусов (рис.4). Модуляция осуществляется сигналами  $E_u = 0,493E_b$ -у и  $E_v$

$= 0,877E_r$ -у.



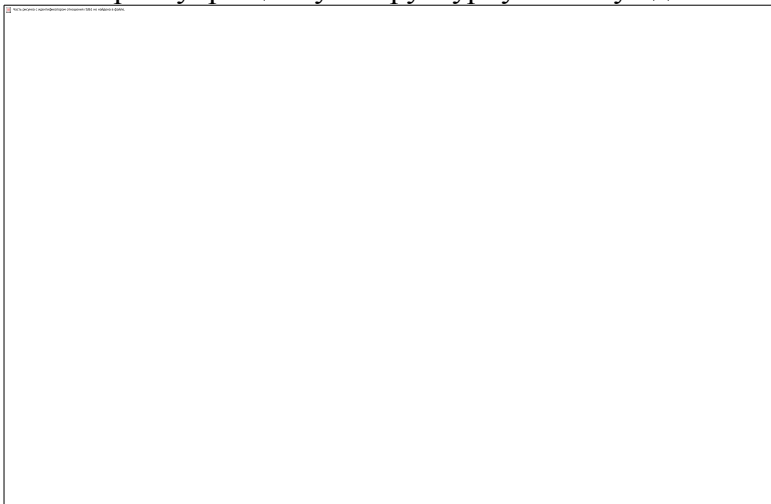
Составляющая поднесущей, модулируемая синим цветоразностным сигналом, имеет постоянную фазу. Частота поднесущей выбрана равной  $f_0 = 4,43361875$  МГц с учетом минимальной заметности этой поднесущей на окрашенных участках цветного изображения.

На черно-белых участках изображения помеха от поднесущей отсутствует, так как она подавляется при передаче черно-белого изображения. Модуляция поднесущей осуществляется с помощью балансных модуляторов (рис.5).

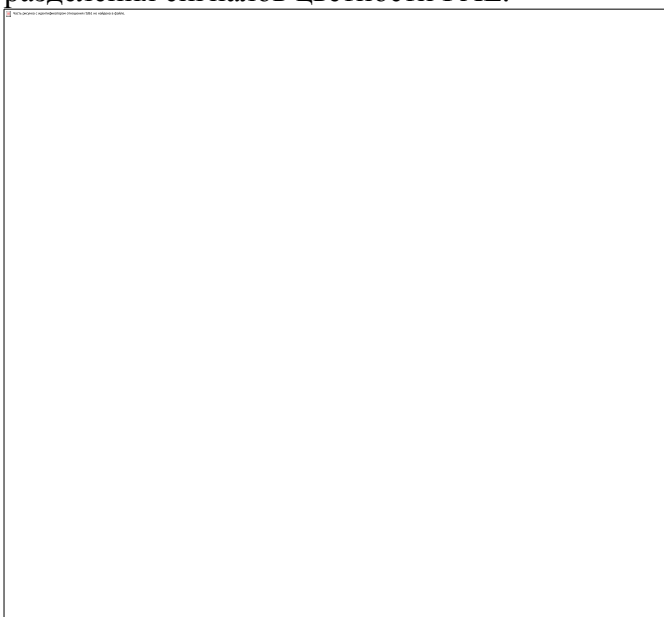


Сигналы, получаемые на выходах балансных модуляторов, складываются в суммирующем устройстве, образуя результирующий сигнал цветности  $V_{рез}$ . Из рис.5 видно, что поднесущая, которая подается на модулятор "В-У" с генератора Г, подается непосредственно (фаза 0 градусов), а на модулятор "R-У" через электронный коммутатор ЭК, переключаемый сигналом полустрочной частоты  $f_{стр}$  : 2. Причем в одной строке поднесущая поступает на модулятор через фазовращатель 90 градусов, а в другой - через инвертор 180 градусов. Как и в системе NTSC, результирующее колебание  $V_{рез}$  имеет одновременно амплитудную и фазовую модуляции. При этом амплитуда сигнала цветности определяет насыщенность, а фаза - цветовой тон передаваемого изображения. Для восстановления в телевизоре подавленной поднесущей цветности, как и в системе NTSC, на задней площадке строчного гасящего импульса передается вспышка поднесущей, состоящая из десяти периодов цветовой поднесущей. В отличие от NTSC фаза вспышки равна +45 градусов и - 45 градусов относительно отрицательного направления оси R-У в четной и нечетной строках соответственно. По фазе вспышки в телевизоре определяется знак составляющей  $U_v$ .

Рассмотрим упрощенную структурную схему одного из вариантов декодера PAL (рис.6).



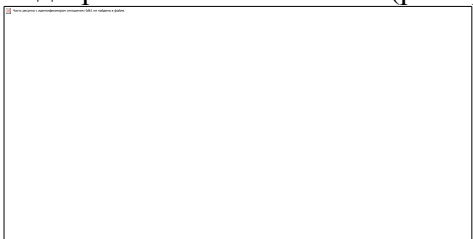
Полный цветовой телевизионный сигнал поступает на полосовой фильтр ПФ, настроенный на полосу частот, которую занимает сигнал цветности в спектре видеосигнала. Выделенный полосовым фильтром сигнал цветности поступает на вход ультразвуковой линии задержки УЛЗ на время одной строки (64 мкс), на электронный ключ К, выделяющий сигнал цветовой синхронизации (вспышку), и на устройство сложения (+) и вычитания (-). В результате сложения прямого сигнала  $U_0$  с задержанным подавляются составляющие  $U_v$  и выделяются удвоенные составляющие  $U_u$  с постоянным знаком. При вычитании задержанного сигнала из прямого подавляются составляющие  $U_u$  и выделяются удвоенные составляющие  $U_v$ . Знак  $U_u$  чередуется от строки к строке. На рис.7 показаны векторограммы, поясняющие принцип разделения сигналов цветности PAL.



Для получения из компонент  $U_v$  и  $U_u$  цветоразностных сигналов необходимо их протектировать. Применяется синхронное детектирование. Для его работы нужно иметь опорный сигнал, частота и фаза которого равны сигналу подавленной цветовой поднесущей.

Сигнал формируется из вспышки, которая выделяется с помощью электронного ключа К из ПЦТС.

Вспышка подается на генератор, выполненный по системе фазовой автоматической подстройки частоты ФАПЧ (рис.8).



Система ФАПЧ состоит из генератора, управляемого напряжением ГУН, фазового детектора ФД и фильтра нижних частот ФНЧ.

Напряжение ГУН воздействует на один из входов фазового детектора, на другой вход - сигнал вспышки. Если частота ГУН близка частоте вспышки, то происходит захват ГУН по

частоте и фазе. В установившемся режиме опорный сигнал на выходе ГУН равен частоте вспышки, т. е. частоте цветовой поднесущей, а его фаза совпадает с осью R-Y и равна  $90^\circ$ .

Для повышения стабильности работы ФАПЧ а также его помехозащищенности частоту ГУН стабилизируют кварцем.

Разделенные сигналы цветности поступают на входы синхронных детекторов СД.

В установившемся режиме фаза опорной поднесущей на выходе ГУН совпадает с осью выхода R-Y и равна  $90$  градусам.

Для правильного детектирования необходимо обеспечить совпадение фаз опорного сигнала с

сигналами цветности. Для этого на СД сигнала цветности (B-Y) опорный сигнал необходимо

подавать через фазовращатель на  $90$  градусов, на СД сигнала цветности (R-Y) опорный сигнал подают на один из входов электронного коммутатора ЭК непосредственно, а на другой - через фазоинвертор на  $180$  градусов.

ЭК переключается с помощью сигнала полустрочной частоты  $f_{стр}/2$ . Фаза работы ЭК засинхронизирована с помощью блока цветовой синхронизации (на рис.6 не показан).

Если во входном сигнале есть фазовые искажения, то при сложении (вычитании) прямого и

задержанного сигналов во время их разделения эти искажения компенсируются.

Система PAL обладает рядом достоинств:

- Отсутствует помеха от поднесущей на неокрашенных участках изображения, так как поднесущая не передается.
- Фазовые искажения отсутствуют и поэтому не вызывают нарушений цветного тона.
- Малая чувствительность к "асимметрии" полосы пропускания канала цветности.
- При разделении сигналов цветности выделяется удвоенная амплитуда составляющих  $U_v$  и  $U_u$ , что повышает отношение сигнал/шум.
- Уменьшаются "перекрестные" искажения, возникающие между сигналами яркости и цветности (определяется оптимальным выбором частота поднесущей).

Недостатком системы PAL является понижение четкости изображения из-за усреднения сигнала цветности в двух последующих строках.

## 1.8. Особенности кодирования системы SECAM.



Система SECAM была предложена французским инженером Анри де Франсом в 1958 году, затем велись совместные работы советских и французских инженеров, и 1 октября 1967 года система была введена в эксплуатацию в СССР и Франции.

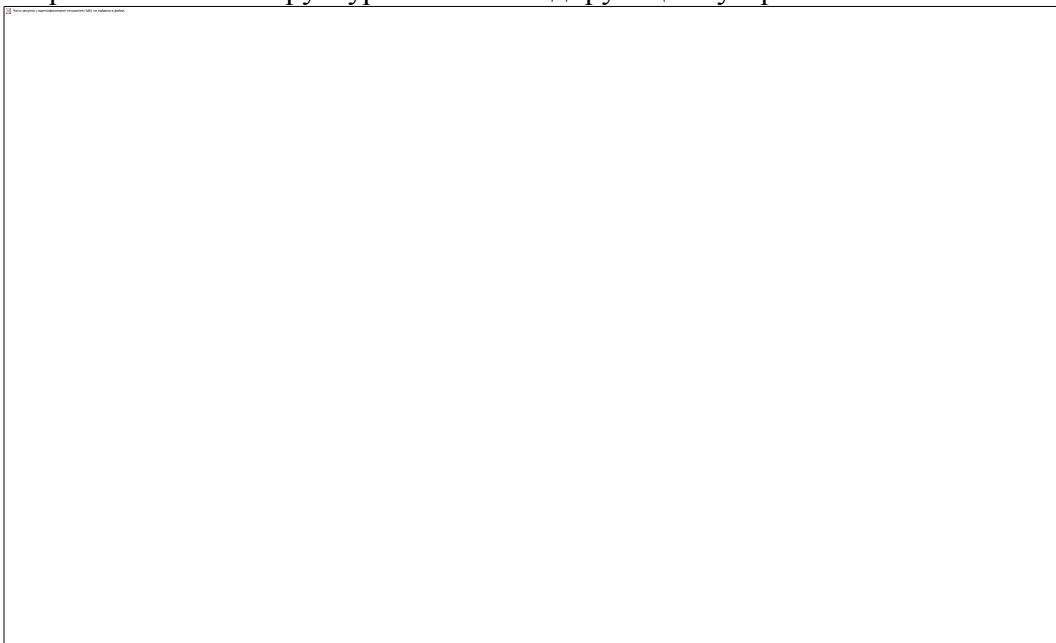
Основные характеристики системы SECAM: число строк 625, частота полей 50 Гц, поднесущая цветности В-У 4.25 МГц  $\pm$  230 кГц, R-У 4.406 МГц  $\pm$  280 кГц, несущая звука 6.5 МГц .

В этой системе цветоразностные сигналы передаются поочередно: в течении одной строки передаются, например, красный, в течении следующей - синий цветоразностный сигнал и т.д.

Цветоразностные сигналы передаются с помощью двух поднесущих частот:  
 $f_{or}=4,406$  МГц  
 $f_{ob}=4,250$  МГц.

Эти частоты являются гармониками строчной развертки (первая в 282 раза, а вторая в 272 раза выше частоты строчной развертки). Выбор частот поднесущих, как было отмечено ранее, произведен из условий максимального подавления помех от поднесущих на экранах телевизоров.

На рис.9 показана структурная схема кодирующего устройства системы SECAM.



С помощью специальных цветоделительных зеркал, входящих в состав передающей камеры, изображение раскладывается на три основные составляющие светового потока - красную R, зеленую G и синюю B.

В передающей камере световые потоки с помощью трех передающих трубок преобразуются в электрические сигналы  $E_r$ ,  $E_g$  и  $E_b$ , несущие информацию только об определенном цвете.

Сигналы  $E_r$ ,  $E_g$  и  $E_b$  проходят через гамма-корректор ГК, где происходит компенсация искажений, вызванных нелинейной зависимостью яркости свечения экрана кинескопа от амплитуды модулирующего сигнала. (Сигналы, прошедшие через гамма-корректоры ГК

принято обозначать со штрихом. В дальнейшем для упрощения штрихи в тексте опущены.)

В матрице  $M$  все три сигнала  $E_r$ ,  $E_g$ ,  $E_b$  складываются в определенной пропорции для получения яркостного сигнала  $E_y$ .

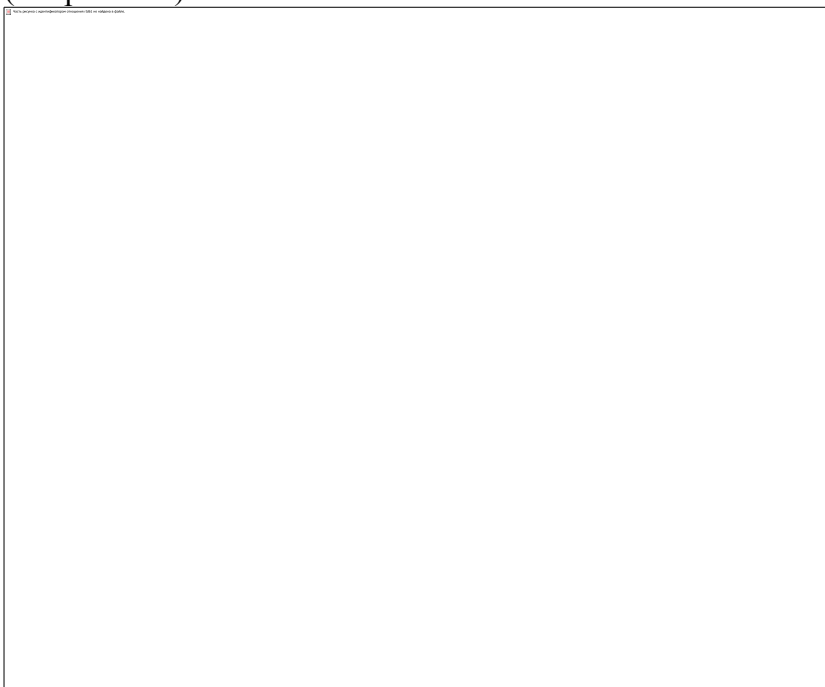
В вычитающих устройствах из сигналов основных цветов  $E_r$  и  $E_b$  вычитается сигнал яркости

$E_y$ , в результате чего на выходах образуются цветоразностные сигналы  $E_r-y$  и  $E_b-y$ .

Сигнал  $E_r-y$  поступает на смеситель и фазоинвертор. Здесь сигнал  $E_r-y$  усиливается и преобразуется в сигнал  $D_r = -1,9 E_r-y$ . Сигнал же  $E_b-y$  преобразуется в сигнал  $D_b = 1,5 E_b-$

$y$

(см. рис.10 а).



Использование несколько видоизмененных цветоразностных сигналов значительно улучшает

совместимость и помехоустойчивость системы. В смесителях сигналы  $D_r$  и  $D_b$  вводят сигналы цветовой синхронизации (сигналы опознавания строк), необходимые для правильной

работы электронного коммутатора в телевизоре.

Сигналы цветовой синхронизации представляют собой девять импульсов в форме усеченной

трапеции с полярностью, изменяющейся от строки к строке (рис.11а). Эти импульсы модулируют по частоте поднесущие цветности  $f_{og}$  и  $f_{ob}$ , увеличивая в красных строках или

уменьшая в синих строках их частоту (рис.11б).



Сигналы цветовой синхронизации передаются во время кадрового гасящего импульса КГИ в

строках 7-15 и 320-328 (рис.11б).

Согласно рекомендации международной консультативной комиссии - МККР, покадровая цветная синхронизация в дальнейшем будет исключена, чтобы освободить место для передачи другой информации, например, сигналов телетекста.

В качестве сигналов цветовой синхронизации можно использовать защитные пакеты (вспышки), передаваемые на задней площадке строчного гасящего импульса .

Защитные пакеты имеют частоту поднесущих сигналов цветности  $f_{og}$  и  $f_{ob}$  и служат для завершения переходных процессов в канале цветности телевизора до начала активной части

строки. Используются защитные пакеты и для формирования в цветоразностных сигналах плоских участков для фиксации уровня черного.

Затем сигналы  $D_r$  и  $D_b$  проходят фильтры нижних частот - ФНЧ, в которых спектр этих сигналов ограничивается до 1,5 МГц.

С выхода ФНЧ сигналы поступают на устройство НЧ предискажений НЧП, где происходит

подъем высокочастотных составляющих сигналов  $D_r$  и  $D_b$ . Предварительная коррекция этих

сигналов производится с целью повышения их помехоустойчивости. На рис.12 показана цепь,

выполняющая подобную коррекцию.



На рис.13 приведена амплитудно-частотная характеристика этой цепи. Форма сигналов  $D_r$  и  $D_b$  после НЧ-коррекции представлена на рис.10б.

В результате

НЧ-коррекции в сигналах появляются выбросы на переходах. Амплитуда выбросов

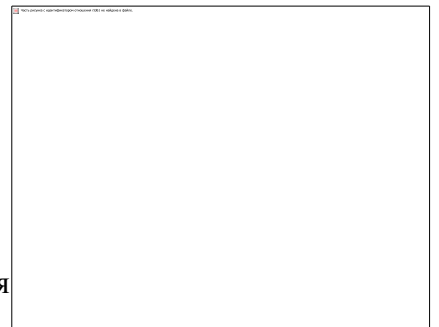
ограничивается таким образом, чтобы не допустить чрезмерного

увеличения девиации

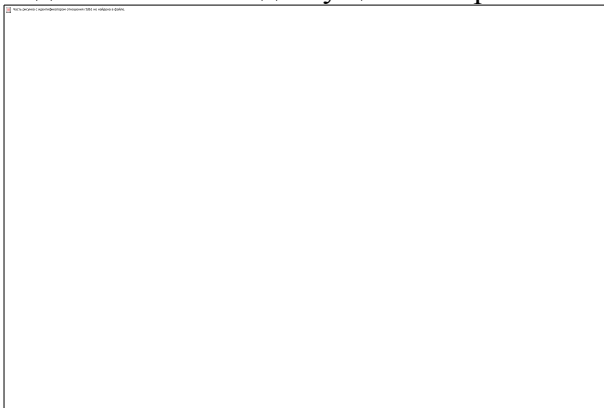
частоты поднесущих. Далее сигналы  $D_r$  и  $D_b$  поступают на частотный модулятор ЧМ через

электронный коммутатор ЭК, управляемый импульсами полустрочной частоты.

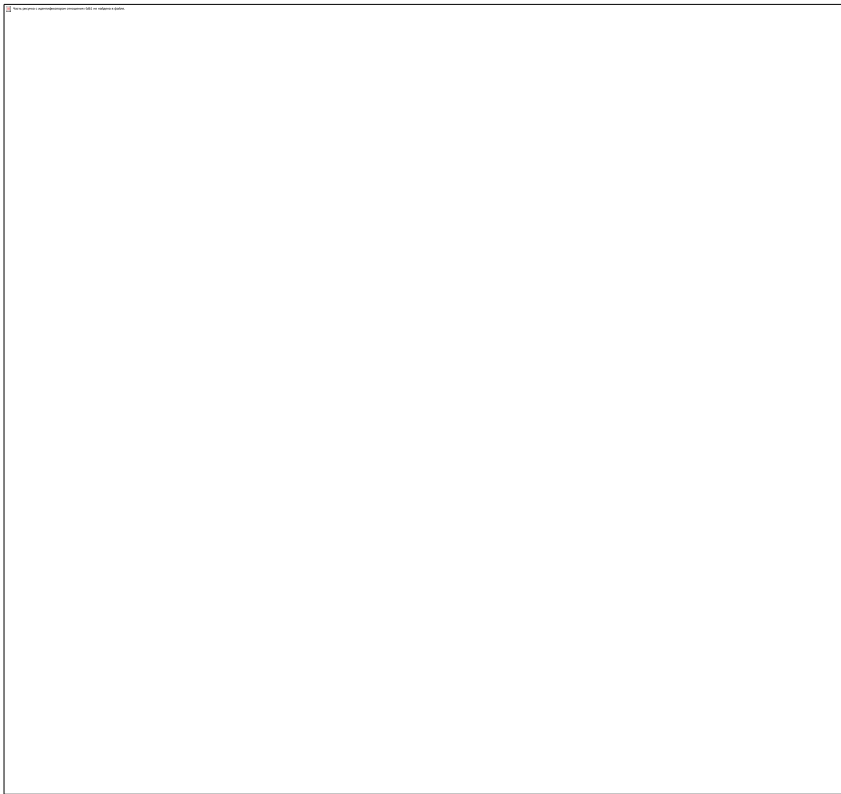
Коммутатор ЭК попеременно подключает цветоразностные сигналы к частотному модулятору. На второй вход модулятора через другой коммутатор поступают, также попеременно, поднесущие частоты красного и синего цветоразностных сигналов.



Оба коммутатора работают синхронно, поэтому, когда передается красный цветоразностный сигнал, на модулятор поступает поднесущая частотой  $f_{0r} = 4,406$  МГц, а когда передается синий цветоразностный сигнал, на модулятор поступает соответственно поднесущая частотой  $f_{0b} = 4,250$  МГц. Следует отметить, что поскольку поднесущие частоты  $f_{0r}$  и  $f_{0b}$  передаются поочередно, то усматривается целесообразность выбора значения одной частоты. Так, собственно, и было сделано в первом варианте системы SECAM. Однако дальнейший опыт эксплуатации показал, что наилучшие условия помехозащищенности возникают, когда цветоразностные сигналы модулируют свою поднесущую. Этим и объясняется использование двух поднесущих частот  $f_{0r}$  и  $f_{0b}$ . Для уменьшения заметности на экране телевизора помех от поднесущих в коммутаторе фазы осуществляется переключение фазы каждой из поднесущих на 180 градусов через две строки. В блоке высокочастотных предискажений ВЧП сигналы цветности пропускаются через специальный фильтр, в котором поднесущие подавляются, также с целью ослабления видимости этих поднесущих на черно-белом изображении.



Амплитудно-частотная характеристика (рис.14) этого фильтра имеет форму перевернутого колокола - "антикlesh" (франц.). После прохождения через цепь ВЧ-предискажений амплитуда сигналов цветности делается зависимой от частоты девиации (при частотной модуляции частота модулированного колебания отклоняется от своего среднего значения, равного несущей частоте  $f_0$ , в большую и меньшую сторону на определенную величину, называемую девиацией частоты). Форма сигналов цветности после высокочастотных предискажений показана на рис.15а.

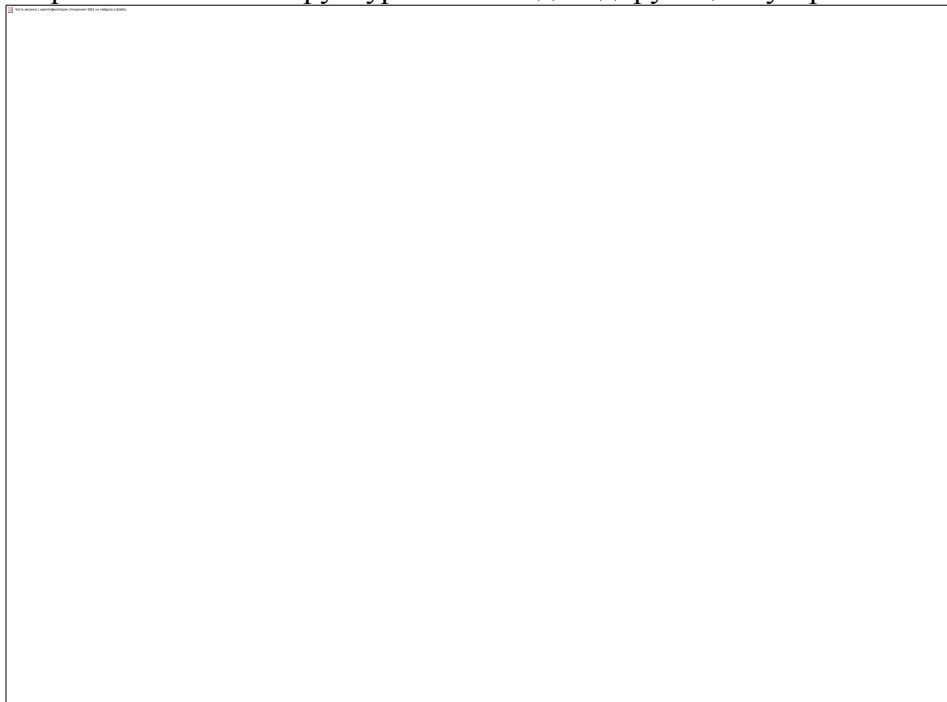


Далее сигналы цветности подвергаются дополнительной амплитудной модуляции. Для этого в специальном устройстве (на структурной схеме не указано) из сигнала  $E_y$  вырабатывается напряжение с частотами, близкими к частотам поднесущих. Эти напряжения и подаются на амплитудный модулятор. Дополнительная амплитудная модуляция сигналов цветности уменьшает помехи, вызываемые сигналом яркости  $E_y$  в канале цветности телевизора. Сигнал яркости  $E_y$  с выхода матрицы  $M$  поступает на смеситель, где смешивается с синхроимпульсами. Затем сигнал яркости проходит линию задержки на  $0,4$  мкс, чтобы компенсировать запаздывание сигналов цветности. В блоке сложения сигнал яркости смешивается с сигналами цветности, образуя полный цветовой телевизионный сигнал (рис.15б).

Следует добавить, что перед поступлением в блок сложения сигналы цветности проходят коммутатор  $K$ , где происходит подавление поднесущих при поступлении кадровых и строчных синхроимпульсов. Таким образом, цветовые поднесущие присутствуют постоянно во время передачи видеосигнала, кроме моментов времени, когда передаются синхросигналы. Это необходимо для нормальной работы строчной и кадровой разверток в телевизоре.

### **1.9. Особенности декодирования системы SECAM.**

На рис.16 показана структурная схема декодирующего устройства системы SECAM.



Полный цветовой телевизионный сигнал поступает на полосовой фильтр "Клеш" (или корректор высокочастотных предискажений КВП), настроенный на частоту 4,286 МГц. Фильтр выделяет сигналы цветности из ПЦТС и, кроме того, производит обратную коррекцию высокочастотных предискажений, вводимых на передатчике для повышения помехоустойчивости системы. После фильтра "Клеш" сигналы цветности поступают на усилитель-ограничитель, где они усиливаются и ограничиваются по амплитуде. Затем сигналы цветности поступают одновременно в прямой и задержанный каналы. По

прямому каналу сигналы поступают на вход 1 электронного коммутатора, а в задержанном канале сигналы цветности попадают на ультразвуковую линию задержки УЛЗ, где задерживаются

на длительность одной строки 64 мкс, затем поступают на вход 2 коммутатора ЭК.

Коммутатор ЭК переключается с помощью симметричного триггера Тр, который вырабатывает прямоугольные импульсы длительностью в одну строку.

Триггер запускается специальными стробирующими импульсами, чередующимися с частотой строк  $f_{стр}$ .

В течение одной строки ЭК находится в положении, когда соединен вход 1 с выходом 1' и вход 2 с выходом 2', а в течение следующей строки вход 1 соединен с выходом 2' и вход 2 - с выходом 1'. Так как УЛЗ задерживает сигнал цветности на время строки, то на входах электронного коммутатора будут всегда действовать одновременно сигнал цветности красной строки и сигнал цветности синей строки.

При правильной фазе работы триггера Тр электронный коммутатор будет направлять в канал

"красного" сигнал цветности красной строки, а в канал "синего" - сигнал цветности синей строки.

Для правильной работы триггера, чтобы сигналы попадали в "свои" каналы, на него подаются импульсы с блока цветовой синхронизации БЦС.

Напомним, что импульсы цветовой синхронизации передаются в течение девяти строк на задней площадке кадрового гасящего импульса. Блок цветовой синхронизации отпирается

кадровыми гасящими импульсами КГИ, т. е. во время действия импульсов опознавания.

На

второй вход БЦС поступают сигналы опознавания из канала "красного" (можно использовать сигналы опознавания из канала "синего").

При правильной фазе работы триггера на блок цветовой синхронизации будут поступать сигналы опознавания красной строки (частотой 4,67 МГц), на выходе БЦС будут действовать импульсы с полярностью, которая не повлияет на работу триггера. При неправильной фазе работы триггера на БЦС будет поступать сигнал опознавания синей строки (частотой 3,9 МГц). Тогда на выходе БЦС будут действовать импульсы с полярностью, которая изменит фазу работы триггера Тр.

Итак, с выхода электронного коммутатора сигналы цветности поступают на соответствующие частотные детекторы ЧД. Так как на входе частотного детектора красного действует сигнал Ег-у, а на входе детектора синего - сигнал Еб-у, то наклоны амплитудных характеристик частотных детекторов должны иметь противоположное значение, для того чтобы на их выходах образовались цветоразностные сигналы одной полярности.

С выхода частотных детекторов цветоразностные сигналы Ег-у и Еб-у поступают на корректоры низкочастотных предискажений КНЧ, после которых форма цветоразностных сигналов будет соответствовать форме исходных цветоразностных сигналов Ег-у и Еб-у. После усиления в усилителях У1 и У2 цветоразностные сигналы поступают на матрицу М1, где в результате их сложения в определенной пропорции выделяется цветоразностный сигнал Ег-у. В матрицах М2, М3, М4 в результате сложения цветоразностных сигналов с яркостным сигналом Еу выделяются сигналы основных цветов Ег, Ег и Еб.

С выходов матриц сигналы Ег, Ег и Еб поступают на выходные усилители, где усиливаются до уровня, необходимого для модуляции токов лучей кинескопа.

Система SECAM, как и другие системы цветного телевидения, имеет свои достоинства и недостатки. Так, например, по сравнению с NTSC фазовые искажения не приводят к искажению цветового тона изображения. Однако в системе SECAM цветовая четкость снижена вдвое, так как сигналы цветности передаются через строку и в телевизионном приемнике недостающий сигнал заимствуется из предыдущей строки.

Сравнивая между собой все три системы по разрешающей способности, можно отметить, что самую высокую цветовую четкость по вертикали имеет система NTSC, за ней следует система PAL, а система SECAM занимает третье место.

## Список літератури

### 1.Основна

141. Телебачення / Під ред. В.Е. Джаконії. – М.: Радіо та зв'язок , 1986.
142. Домбругов Р.М. Телебачення. – Київ : Вища школа , 1988.
143. Проектування та технічна експлуатація телевізійної апаратури / Під ред. С.В. Новаковского. – М : Радіо та зв'язок , 1989.
144. Ю.Б. Зубарьов , Г.Л. Глоріозов . Передача зображень – М. : Радіо та зв'язок , 1989.

145. А.В. Виходець, В.І. Коваленко, М.Т. Кохно – Звукове та телевізійне мовлення; - М.: Радіо та зв'язок, 1987.
146. Цифрове телебачення / Під ред. М.І. Кривошеєва. - М.: Радіо та зв'язок, 1980.
147. Певзнер Б.М. Якість кольорових ТВ зображень: видання друге; М.: Радіо та зв'язок, 1988.
148. Радіорелейні та супутникові системи передачі: Підручник для вузів / Під ред. А.С. Немировського. - М.: Радіо та зв'язок, 1986. – 392 с
149. Системи радіозв'язку: Підручник для вузів / Під ред. Л.Я. Калашникова - М.: Радіо та зв'язок, 1987. – 352 с
150. Посібник по радіорелейному зв'язку / Під ред. С.В. Бородича - М.: Радіо та зв'язок, 1981. – 416 с
151. Супутниковий зв'язок та мовлення. Посібник / Під ред. Л.Я. Кантора - М.: Радіо та зв'язок, 1988. – 344 с
152. Системи космічного зв'язку. Посібник під ред. Б.В. Одинцова, Е. А. Сукачова; Одеса 1989.
153. Сучасні системи радіозв'язку в прикладах та задачах. Посібник під ред. Б.В. Одинцова, Е. А. Сукачова; Одеса 1990.
154. Мамчев Г.В. «Основы радиосвязи и телевидения», 2007 год;
155. Джакония В.Е., Гоголь В.А., Друзин Я.В. «Телевидение (4-е издание), 2007
156. Локшин Б.А. «Телевизионное вещание. От студии к телезрителю», 2001
157. Кириллов В.И., Ткаченко А.П. «Телевидение и передача изображения», 1988
158. Самойлов В.Ф., Хромой Б.П. «Основы цветного телевидения», 1982
159. Ельяшкевич С.А., Юкер А.М. «Усовершенствование телевизоров ЗУСЦТ и 4УСЦТ», 1994
160. Быков Р.Е., Сигалов В.М., Эйсенгардт Г.А. «Телевидение», 1988
161. Ельяшкевич С.А. «Справочное пособие. Цветные телевизоры ЗУСЦТ», 1990
162. Зубарев Е.Б., Кривошеев М.И., Красносельский И.Н. «Цифровое телевизионное вещание. Основы и методы», 2001
163. Кoryтов В.И «Телевизоры ЗУСЦТ. Ремонт и настройка», 1999
164. Смирнов А.В. «Основы цифрового телевидения», 2001
165. Ельяшкевич С.А., Песков А.Е. «Телевизоры ЗУСЦТ, 4УСЦТ, 5УСЦТ. Устройство, регулировки, ремонт»
166. Шумихин Ю.А. «Телевизионный сигнал», 1968
167. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 1 Принципи радіозв'язку, 2014
168. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 2 Радіопередавальні пристрої, 2014
169. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 3 Радиоприймні устройства, 2014
170. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 4 Физические основы телевидения, 2014
171. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 5 Основные принципы функционирования телевизионных систем, 2014
172. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 6 Формирование телевизионного сигнала, 2014
173. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 7 Конструктивні особливості телевізійної апаратури, 2014



174. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 8 Особности построения телевизионных систем, 2014
175. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 9 Сети телевизионного вещания, 2014

## **2.Додаткова**

41. Мордуховіч Л.Г., Степанов А.П. Системи радіозв'язку. Курсове проектування. - М. : Радіо та зв'язок , 1987. – 192 с
42. Спілкер Дж. Цифровий супутниковий зв'язок / пер. з англ. ; Під ред. В.В. Маркова - М. : Зв'язок , 1979. – 592 с
43. Одинцов Б.В., Сукачов Е.А. , Гуцаюк А.К. Цифрові системи радіозв'язку : Навчальний посібник / ОЕІС ім. А.С. Попова – Одеса , 1988. – 56 с.
44. Одинцов Б.В., Сукачов Е.А. , Гуцаюк А.К. Космічний зв'язок : Навчальний посібник / ОЕІС ім. А.С. Попова – Одеса , 1989. – 56 с.
45. Новаковський С.В. Колір в кольоровому телебаченні - М. : Радіо та зв'язок, 1988.
46. Кривошеєв М.І. Основи телевізійних вимірювань. : видання 3 – е. - М. : Радіо та зв'язок , 1989.
47. ГОСТ 7845 – 79. Система мовленнєвого телебачення. Основні параметри , методи вимірювань.
48. Прийом телебачення та радіомовлення з супутників / Д.Ю. Бем , М.Є. Ільченко , А.П. Житков, Л.Г. Гассанов. – К.: Техніка , 1992. – 176 с.
49. Довідник. Індивідуальні відео – засоби. С.А. Сєдов – Київ 1990.
50. В.Бондарьов , Г.Трьостер , В. Чернега. Цифрова обробка сигналів : методи та засоби. Навчальний посібник для вузів. Харків 2001.

## **7. Конструктивні особливості телевізійної апаратури.**

- 1.1. Історія розвитку телебачення.
- 1.2. Принципи передачі відео зображення.
- 1.3. Принципи передачі відео зображень рухомих об'єктів.
- 1.4. Узагальнена структурна схема телевізійної системи.
- 1.5. Способи розгортки зображення.

- 1.6. Основні параметри розкладу зображення і відеосигналу.
- 1.7. Види модуляції, які використовуються в телебаченні.
- 1.8. Сприйняття кольору.
- 1.9. Основні закони змішування кольорів.
- 1.10. Класифікація давачів ТВ сигналів.
- 1.11. Принцип накопичення світлової енергії.
- 1.12. Передавальні трубки з фотодіодним шаром.
- 1.13. Передавальні трубки з електронним перенесенням зображення.
- 1.14. Твердотільні здавачі.
- 1.15. Давачі сигналу для кольорового телебачення.
- 1.16. Класифікація відтворювальних пристроїв.
- 1.17. Кінескопи чорно-білого телебачення
- 1.18. Електронний прожектор.
- 1.19. Кінескопи кольорового телебачення.
- 1.20. Загальні відомості.
  
- 1.21. Масочний кінескоп із дельтовидним розташуванням прожекторів.
- 1.22. Плазмові панелі.
- 1.23. Рідкокристалічні (LCD) панелі/матриці, TFT-панелі.
- 1.24. Проекційні телевізори і прожектори.
- 1.25. Загальні принципи побудови системи цифрового телебачення.
- 1.26. Узагальнена структурна схема системи цифрового телебачення.
- 1.27. Цифрова фільтрація телевізійного сигналу.

## **1. Конструктивні особливості телевізійної апаратури.**

Сучасний етап розвитку електронної галузі характеризується бурхливим впровадженням цифрових технологій, алгоритмів, методів. Телебачення є однією з найбільш динамічних галузей радіоелектроніки, де застосування сучасних технічних досягнень є питанням не тільки функціональних можливостей, конкурентоспроможності, але і можливістю використовувати телевізійні системи в системах діагностики, зв'язку тощо.

Для широкого практичного застосування сучасних телевізійних систем необхідно ознайомитися з основами функціонування телебачення. Рекомендований конспект лекцій спрямований на збільшення частки самостійної роботи студента в навчальному процесі і вказує основні шляхи вивчення дисципліни "Основи телебачення". Пропонований матеріал допоможе студенту набути знань про фізичні основи телебачення; основні принципи перетворення світлового зображення в електричний сигнал; характеристики сигналу зображення; якість відтворюваного зображення; передачі та прийому сигналів і їх обробки в телевізійній апаратурі; загальні характеристики телевізійних систем; структуру головних ланок телевізійних приймачів; принципи отримання кольорового зображення; елементи колориметрії; тенденції розвитку мовного телебачення тощо.

### **1.1. Історія розвитку телебачення.**

Ідея створення першої телевізійної системи була запропонована в 1875 р. Дж. Керрі (США). В його проєкті була закладена ідея розкладу (розбиття) зображення на окремі елементи і передача середньої яскравості кожного елемента. Метод поелементної передачі – основа всіх наступних телевізійних систем, у тому числі і сучасних.

В 1879 р. португальський учений де-Пайва запропонував проєкт одноканальної системи телебачення. Проєкт базувався на врахуванні інерційності зорового сприйняття, завдяки якій можлива передача інформації про яскравість всіх елементів зображення не одночасно, а послідовно (почергово).

Практична проблема послідовної передачі елементів була розв'язана в проєкті польського вченого П. Ніпкова, який в 1884 р. отримав патент на оптико-механічний пристрій, відомий під назвою диск Ніпкова. Непрозорий диск містить ряд отворів, розташованих по спіралі біля зовнішнього краю. Розмір отвору визначає величину елемента зображення. Кожний отвір зміщений по радіусу до центра диска відносно попереднього на висоту отвору.

Перші практичні системи телебачення з механічною розгорткою були втілені в життя в 1925 р. Дж. Бердом в Англії.

Ідею розгортки зображення електронним променем запропонував в 1908 р. англійський інженер Кембелл-Суїнтон, а в 1911 р. дав принципову схему повністю електронної системи передачі зображень.

Одна з перших телевізійних систем була створена в 1929 р. в Ленінграді. Така система була оптико-механічною з розкладом в 40 рядків. В 1934 р. система була вдосконалена до 180 рядків розкладу, 1937–1938 рр. – 343 рядки, 1948 р. – 625 рядків.

Подальший розвиток телебачення як окремої самостійної галузі (але тісно пов'язаної з доробками в електроніці) привів до впровадження кольорового телебачення 1 жовтня 1967 р.

Сучасний стан телебачення характеризується бурхливим розвитком як елементної бази, так і технологій. Цифрове телебачення, супутникове телебачення – останні досягнення людства в цій галузі.

## 1.2 Принципи передачі відео зображення.

*Телебаченням* називається галузь сучасної радіоелектроніки, яка займається питанням передачі і прийому рухомих і нерухомих зображень електричними засобами зв'язку в реальному і зміненому масштабі часу. *Задачею телебачення* є отримання на приймальному телевізійному пристрої зображення, яке відповідає об'єкту передачі. Ця задача вирішується складним комплексом апаратури передачі, кодування, декодування, перетворення, відображення та іншими операціями з обробки візуальної інформації.

*В основі телебачення лежать три фізичні процеси:*

- перетворення світлової енергії в електричні сигнали;
- передача і прийом електричних сигналів;
- перетворення електричних сигналів в оптичне зображення.

*Сучасне телебачення базується на двох принципах:*

§ розбивка зображення об'єкта, що передається, на окремі елементарні площини (елементи);

§ почергова передача яскравостей цих елементарних площ (послідовна передача елементів зображення).

Нерухомі оптичні зображення (фото, слайд) – це двовимірний розподіл яскравості  $I$  (рисунок 1.1) (для чорно-білого зображення), або розподіл трьох основних кольорів RGB:  $I_R(x, y)$ ,  $I_G(x, y)$ ,  $I_B(x, y)$ .

Для рухомих об'єктів додають час:  $I(x, y, t)$ .



**Рисунок 1.1– Приклад двовимірного розподілу яскравості**

В 1875 р. американський фізик Керрі запропонував паралельний спосіб передачі інформації. Він пропонував зображення, що передається, спроектувати оптичним об'єктивом на панель селенових фоторезисторів, кожний із яких через свій канал зв'язку і електричну батарею з'єднувався з приймальною електролампю. Таким чином, Керрі та інші винахідники намагалися зробити електричну модель людського ока (рисунок 1.2).



**Рисунок 1.2 – Модель паралельної передачі яскравості про об'єкт**

Однак практично реалізувати сотні тисяч каналів зв'язку, батарей, приймальних електроламп та інших деталей пристрою було неможливо ( $N \gg 500000$ ).

В 1880 р. був запропонований метод послідовної передачі інформації по одному каналу зв'язку (через комутатор) (рисунок 1.3).



**Рисунок 1.3 – Модель послідовної передачі яскравості про об'єкт**

Цей принцип – поелементне розкладення зображення і послідовна передача сигналів через одновимірний канал зв'язку.

Він складається з таких етапів:

- 1) вимірюється яскравість 1-го елемента зображення;
- 2) перемикачі на передавальній і приймальній сторонах встановлюються в перше положення;
- 3) сигнал 1-го фотоелемента передається по одновимірному каналу зв'язку і запалює першу лампочку.
- 4) перемикачі на передавальній і приймальній стороні синхронно переміщуються в друге положення;
- 5) друга лампа запалюється з яскравістю, яка пропорційна освітленості другого елемента і т.д.

При такому способі передачі сигнал кожного фотоелемента корисно використовується лише той час, коли до нього під'єднаний комутатор ( $\gg 1$  500000 частки часу).

Такі системи є системами без накопичення сигналу.

На приймальній стороні можна або запам'ятовувати значення сигналу, який був прийнятий для кожної лампи, і обновлювати при переході до наступного сигналу, або використовувати інерційність зору.

### 1.3 Принципи передачі відеозображень рухомих об'єктів.

Для рухомих об'єктів яскравість у кожній точці безперервно змінюється. В телебаченні ці зміни дискретизуються і замінюються послідовною передачею нерухомих кадрів (рисунок 1.4). На приймальній стороні ці кадри зливаються в безперервне зображення за рахунок інерційності органів зору людини.



**Рисунок. 1.4 – Приклад дискретизації рухомих об'єктів на кадри**

у фіксовані моменти часу

Таким чином, зображення в ТБ підлягає таким операціям:

- 1) розбиття на послідовні кадри;
  - 2) передача кожного елемента з передавальної на приймальну сторону.
- Така обробка отримала назву розкладання зображення в рядково-кадрову структуру.

Для скорочення обсягу інформації, що передається по каналу зв'язку, на передавальній і приймальній стороні вводиться *єдиний протокол розкладу відтворення*:

- 1) швидкість рядкової розгортки (частота, період);
- 2) кількість рядків у кожному кадрі;
- 3) частота кадрів і полів;
- 4) спосіб синхронізації і часові інтервали, які виділяються на передачу синхроімпульсів.

### 1.4Узагальнена структурна схема телевізійної системи.

*Телевізійна система* являє собою комплекс технічних засобів, що забезпечують передачу і прийом зорової інформації (рисунок 1.5). За допомогою об'єктива формується плоске оптичне зображення на фотокатоді перетворювача світло-сигнал. В останньому промениста енергія перетворюється в електричну і здійснюється розгортка зображення. У результаті розгортки на виході перетворювача виходить часовий сигнал, що називається *вихідним сигналом яскравості*  $E_c$ , миттєві значення якого пропорційні значенням яскравості переданого в даний момент елемента зображення.



**Рисунок. 1.5 – Узагальнена структурна схема телевізійної системи**

Сигнал з виходу перетворювача піддається підсиленню і у нього вводяться імпульси, призначені для запирання перетворювача сигнал-світло в перервах між розгорткою рядків і кадрів. Цей сигнал називається *сигналом гасіння*. Ці імпульси перевищують за тривалістю імпульси гасіння для передавальних трубок. Це дозволяє перекрити можливі зсуви сигналів у часі, наприклад при перемиканні камер, що мають кабелі різної довжини.

Для забезпечення синхронності розгорток на передачі і прийомі використовується примусова синхронізація – 1 раз протягом тривалості рядка й 1 раз протягом тривалості кадру *сигналом синхронізації*, що виробляється синхрогенератором і передається під час передачі імпульси гасіння. Сигнал синхронізації генераторів розгорток приймача передається в одному каналі з телевізійним сигналом. З цією метою імпульси синхронізації вводяться в область рівнів „чорніше чорного”.

Сигнал, що складається із сигналу яскравості і сигналу синхронізації, називається *повним телевізійним сигналом*.

Повний ТВ сигнал далі надходить у канал зв'язку. У процесі передачі по каналу зв'язку ТВ сигнал може піддаватися різним перетворенням, але на виході повинний відновлюватися початковий повний ТВ сигнал, що надходить на *підсилювач-селектор*.

Підсилювач забезпечує рівень сигналу, необхідний для керування перетворювачем сигнал-світло. У селекторі з повного ТВ сигналу виділяються імпульси синхронізації і подаються на *пристрої розгортки* перетворювача сигнал-світло для синхронізації його розгорток.

У перетворювачі сигнал-світло передане зображення поелементно синтезується. Синхронна розгортка забезпечує геометричну подібність синтезованого зображення переданому.

### **1.5 Способи розгортки зображення**

Розгортки можна розділити на *детерміновані*, при яких траєкторія руху розгортального елемента чітко визначена і наперед задана, і *недетерміновані*, в яких напрямок руху розгортального елемента автоматично встановлюється залежно від змісту зображення.

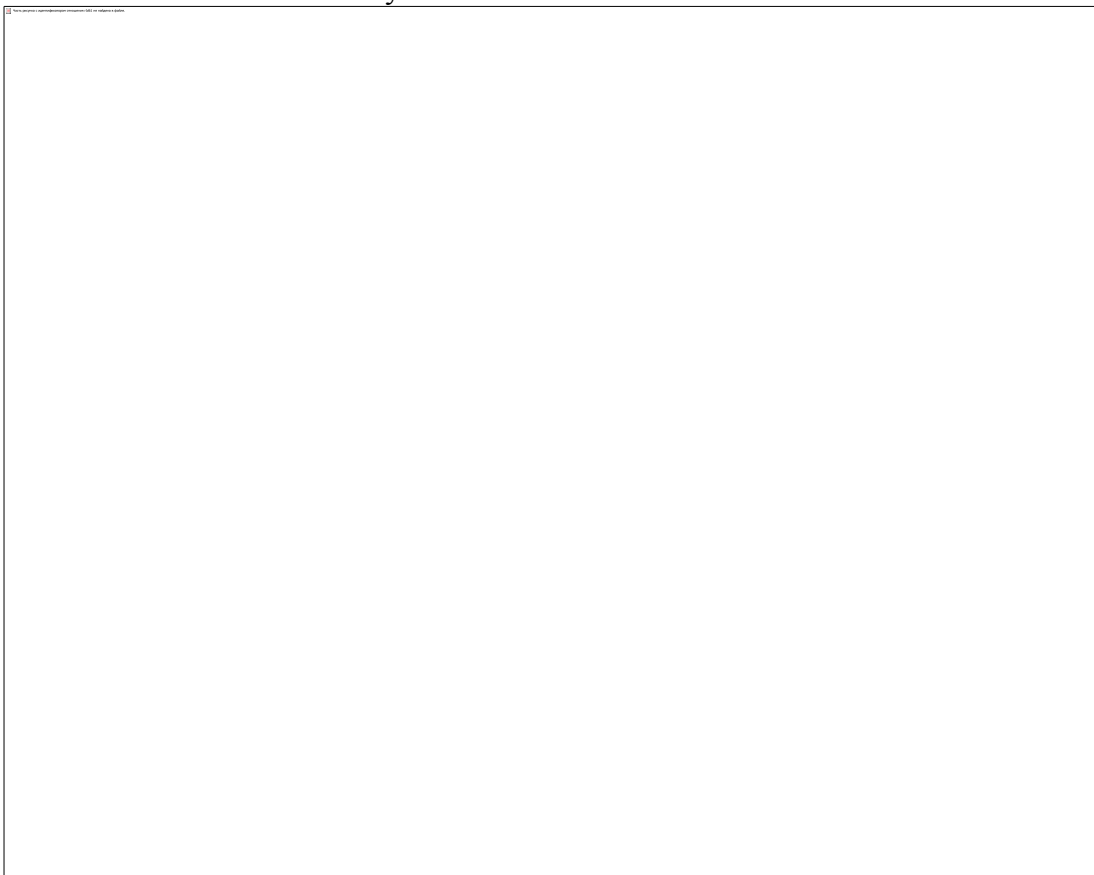
Детерміновані розгортки. Найкращою вважається така розгортка, яка забезпечує розклад при задоволенні таких вимог:

1. За повний цикл розгортки передаються всі елементи розкладу, причому кожний однократно і за такий самий час.
2. Частота кадрів найменша.
3. Невиробничі втрати часу (на зворотний хід розгортки) мінімальні.
4. Простота технічної реалізації.

Деякі найбільш поширені види розгорток наведені на рисунку 1.13.



Першій вимозі відповідають всі лінійні розгортки (а–д). В черезточковій розгортці (г) весь кадр передається за чотири поля. При реалізації лінійних розгорток оптико-механічними пристроями (наприклад диск Ніпкова) вони відповідають і вимозі 3. В електронних системах вимога 3 не виконується.



**Рисунок 1.6 – Основні способи розгортки в телевізійних системах**

Найгірше вимогу 2 задовольняє рядково-реверсивна розгортка (б), оскільки вона призводить до зниження повторення крайніх рядків у порівнянні з рядковою (а) розгорткою і в результаті до необхідності підвищення частоти кадрів. Найкраще цю вимогу задовольняє черезточкова розгортка (г), проте вона не задовольняє умову 4. Компромісним варіантом, що задовольняє вимоги 2 і 4, є черезрядкова розгортка (в). Зигзагоподібні розгортки (е, ж) задовольняють вимогу 3, проте не задовольняють інші. Синусоїдальна розгортка (з) задовольняє вимоги 3 і 4, проте не задовольняє 1 і 2.

Спіральна розгортка (і) з постійною кутовою швидкістю достатньо добре задовольняє всі вимоги, крім 1. При змінній кутовій швидкості вона може задовольняти вимогу 1, проте тоді не буде задовольняти 4. Найбільш доцільною для систем телевізійного мовлення є черезрядкова розгортка. Недолік: розмиті контури рухомих зображень.

### **1.6 Основні параметри розкладу зображення і відеосигналу**

До основних параметрів розкладу зображення належать:

- кількість рядків  $Z$ ;
- формат кадру  $k_f$ ;
- кількість елементів розкладу  $N$ ;
- кількість кадрів, що передаються,  $n_p$ , і що відтворюються,  $n_v$  в секунду;

· контраст зображення  $K$ .

Значення цих параметрів можуть мінятися в широких межах залежно від призначення ТВС.

*Елемент розкладу.* Зображення при телевізійній передачі поділяється на окремі елементи розкладу. У межах елемента розкладу можуть бути дрібні деталі переданого оптичного зображення, але телевізійна система усереднює їхню яскравість по площі елемента і дає сигнал, що відповідає цій середній яскравості. Передати деталі зображення розмірами менше елемента розкладу телевізійна система не в змозі.

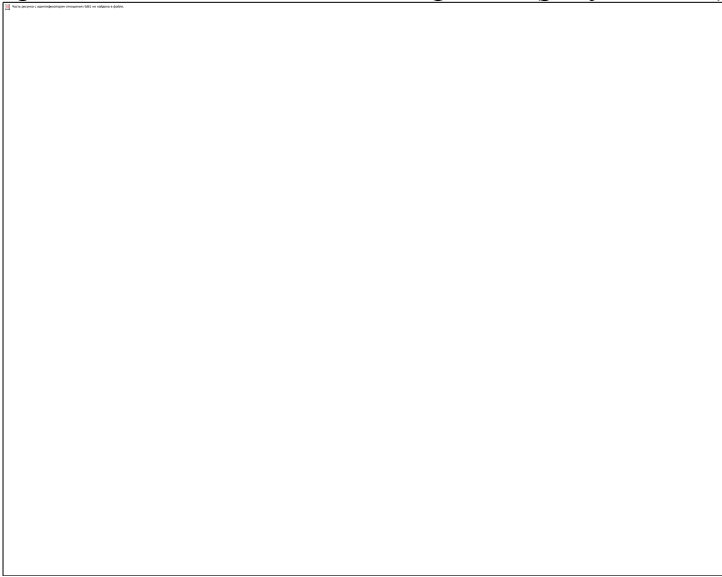
*Розгортка зображення* – процес послідовного перетворення за заздалегідь установленим законом яскравості (і кольоровості в кольоровому телевізорі) елементів зображення в електричні сигнали. Іншими словами, це спосіб здобування растру.

*Кадр* – однократна розгортка всієї площі зображення.

*Поле* – частина елементів розкладу зображення.

*Растр* – це заздалегідь установлений малюнок рядків розгортки, що забезпечує істотно рівномірне покриття всієї площі кадру. Іншими словами, растр являє собою траєкторію руху елемента розгортки по площині кадру.

*Форматом кадру* називається відношення ширини переданого зображення  $b$  до його висоти  $h$ :  $k_f = b/h$  (рисунок 1.14).

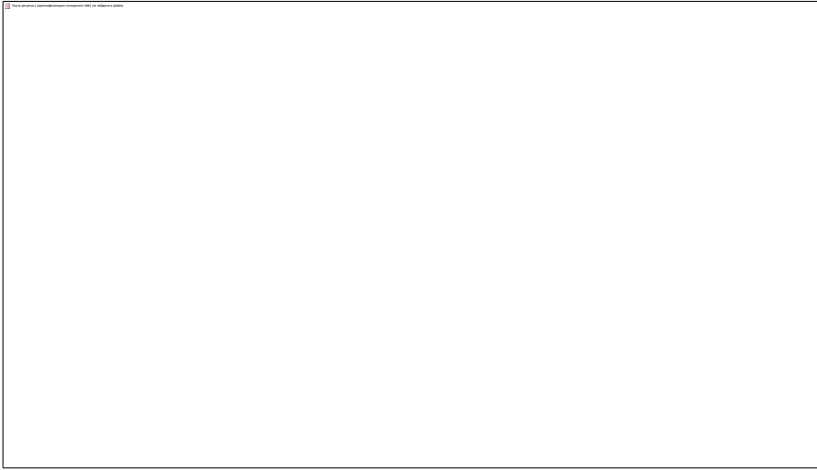


**Рисунок 1.7 – Поелементне розбиття телевізійного кадру**

Смуга частот відеосигналу залежить від багатьох факторів, у тому числі і від способу розгортки. Розглянемо рядкову і черезрядкову (кадр передається за 2 поля) розгортки.

Спроекуємо шахову дошку на передавальну трубку, кожна клітина якої дорівнює за площиною одному елементу розкладу (рисунок 1.8).

Оскільки у мовному телебаченні  $N \gg 500000$ , то чорних і білих клітинок буде по 250 000. Очевидно, що на кожні 2 клітинки – 1 перепад, на 1 кадр – 250 000 перепадів або  $N/2$ . Частота сигналу визначається кількістю перепадів в 1 с. Отже,  $F_{\max} = n \times N/2$ , де  $n$  – кількість кадрів в 1 с. Враховуючи це все, спектр сигналу простягається від 0 до  $F_{\max}$ , або  $F = 50 \times 500000 / 2 = 12,5 \text{ МГц}$ .



**Рисунок 1.8 – Принцип обрахунку спектра телевізійного сигналу на прикладі максимально можливих перепадах яскравості**

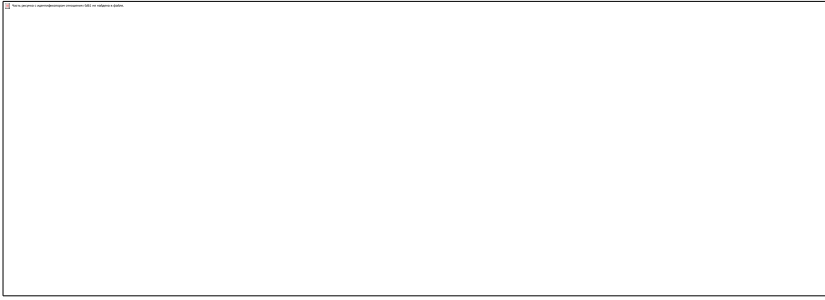
Для того щоб зменшити  $F$ , застосовують черезрядкову розгортку (як у кіно: 1 кадр показують 2 рази). В ТБ спочатку передають спочатку всі непарні рядки – 1 поле, а потім парні – 2 поле. Кожне поле – за 1 50п. При цьому  $n_p = n_v$  і  $F = 6,25\text{МГц}$ .

### **1.7 Види модуляції, які використовуються**

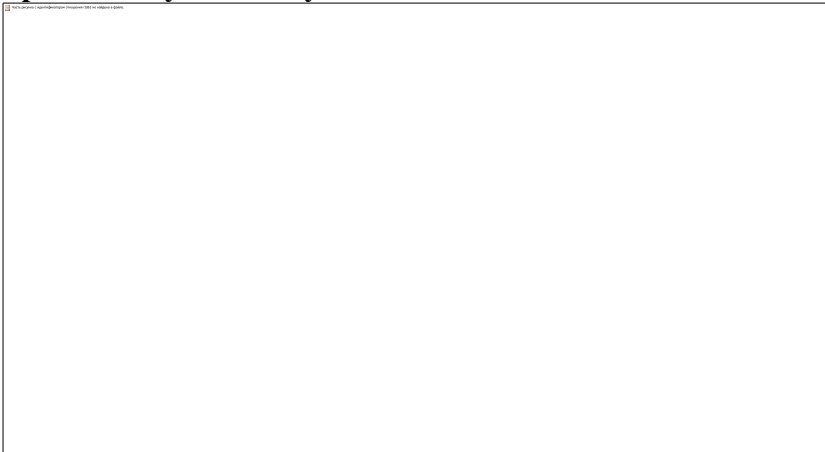
Відеосигнал у прямому вигляді використовувати не можна, оскільки він займе весь ефір і програми змішаються. Для цього використовують модуляцію, тобто накладання коливань одне на одне. Несуча частота береться не менш 50–60 МГц (УКХ і ДХ) – пряма видимість. Сантиметрові хвилі через велике поглинання в атмосфері застосовуються тільки для пересувних телевізійних станцій.

Для обмеження смуги частот, яку займає телевізійний радіоканал, застосовують амплітудну модуляцію для сигналу зображення (рис.1.9), а для звукового сигналу – частотну модуляцію (ЧМ) (рис.1.10).





**Рисунок 1.9 – Види сигналів (а) і відповідні їм частотні спектри (б) при амплітудній модуляції**



**Рисунок 1.10 – Види сигналів (а) і відповідні їм частотні спектри (б) при частотній модуляції**

Для ЧМ характерний параметр

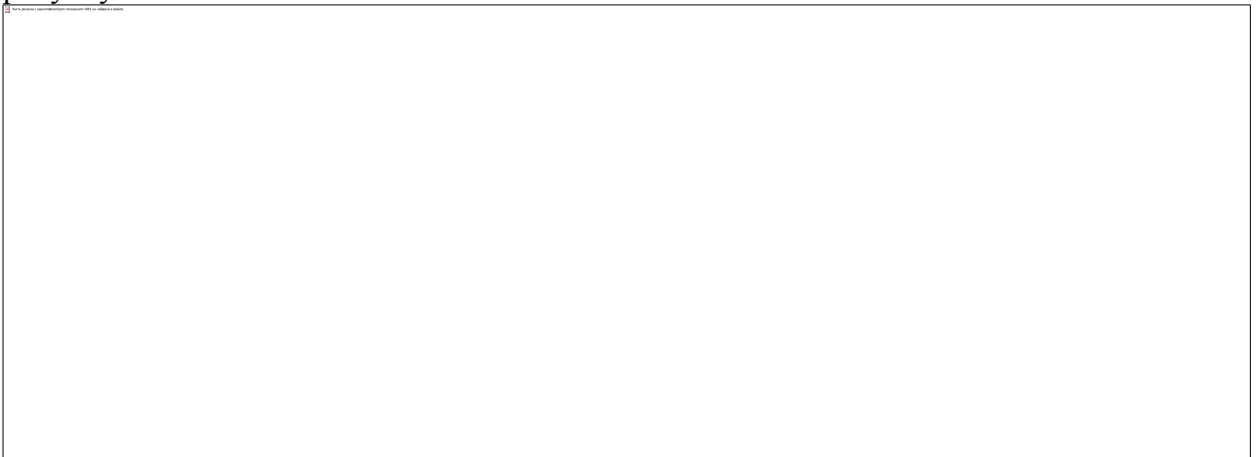
$F$

$$m = Df,$$

де  $m$  – коефіцієнт модуляції;  $Df$  – девіація частоти;  $F$  – частота модулювального коливання.

У результаті модуляції спектр частот утвореного радіосигналу значно більший спектра модулювального: АМ – в 2 рази від  $f_n - F$  до  $f_n + F$  ( $f_n$  – несуча частота); ЧМ – залежно від  $m$ :  $m < 1 - 2F$ ;  $m > 1 - 2mF$ .

Процес виділення висхідного модулювального сигналу називається *демодуляцією*, або \_\_\_\_\_ (9) Тїдетектуванням (АД, ЧД). Інформація про модулювальний сигнал міститься в нижній і верхній бокових смугах ( $f_n - F$ ;  $f_n + F$ ). В ТБ передають повністю верхню бокову смугу, а нижню частково заглушують. Це роблять для того, щоб вмістити більше каналів в діапазоні. При цьому спектр сигналу буде мати вигляд, зображений на рисунку 1.18.



## Рисунок 1.11 – Спектр телевізійного сигналу

Звуковий супровід передається на своїй піднесучій при ЧМ для високої якості. Спектр радіосигналу звукового супроводу безпосередньо примикає до спектра сигналу зображення. Частота піднесучої залежить від номера каналу.

### 1.8 Сприйняття кольору

Вплив на око світлового випромінювання визначеної довжини хвилі відчувається у вигляді кольору. Короткохвильовій межі світлового діапазону відповідає фіолетовий колір, який із підвищенням довжини хвилі поступово переходить у синій, потім у голубий, зелений, жовтий, оранжевий і, насамкінець, червоний, що замикає довгохвильову межу світлового діапазону.

Відносна спектральна чутливість ока (рисунок 1.12) має максимум на хвилі 555 нм, що відповідає жовто-зеленому кольору, і спадає при віддаленні від цієї ділянки, практично досягаючи нуля при довжинах хвиль 380 і 770–800 нм. Інша чутливість ока до основних кольорів R, G, B наведена на рисунку 2.10.

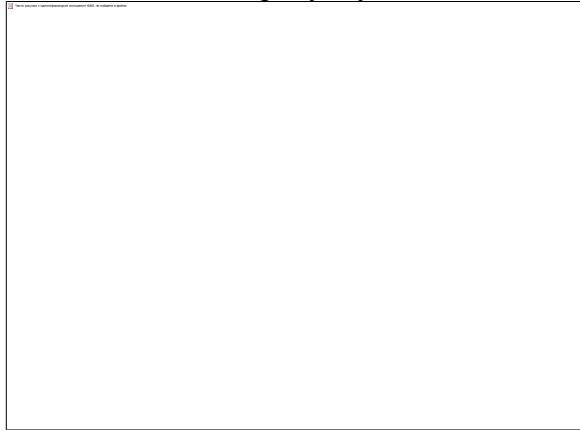


Рисунок 1.12 – Залежність відносної спектральної чутливості ока від довжини хвилі

### Рисунок 1.13 – Криві чутливості ока до основних кольорів R, G, B

Колір може оцінюватися суб'єктивно і об'єктивно.

*Суб'єктивно* колір оцінюється *світлістю, колірним тоном і насиченістю колірного тону*. Наприклад, білий, світло-сірий і темно-сірий кольори відрізняються світлістю, жовтий і зелений – колірним тоном, червоний і рожевий – насиченістю.

Суб'єктивні характеристики дають лише якісну оцінку випромінювання.

Для *об'єктивної* характеристики кольору *світлість* оцінюють за *яскравістю*; *колірний тон* – за *домінуючою довжиною хвилі*, тобто за довжиною хвилі того спектрального кольору, який при змішуванні у певній пропорції з білим забезпечує зорову тотожність кольору суміші з кольором досліджуваного випромінювання; *насиченість* – за *чистотою кольору*  $p$ , під якою розуміють частку спектрального кольору (для якого  $p = 1$ ), яка забезпечує в суміші з білим (для якого  $p = 0$ ) зорову тотожність із досліджуваним випромінюванням.

У зоровому апараті поруч з адаптацією за яскравістю існує і колірна адаптація. Вона виражається в тому, що колір, на який адаптується око, немов вицвітає. Це призводить до зміни кольору в результаті попереднього впливу на око інших кольорів (*послідовний колірний контраст*), або при зміні кольору фону (*одночасний колірний контраст*). Наприклад, сіре на червоному набуває зеленуватого відтінку, а на синьому – жовтуватого і т. д.

Характерним є і те, що в будь-яких умовах освітлення (свічка, лампа розжарювання, денне світло) білі деталі завжди легко впізнаються, оскільки вони найсвітліші, а вже відносно їх око оцінює всі інші кольори. Це явище називається *контрастністю кольору*, або *поправкою наосвітлення*, і відіграє важливу роль у пристосуванні зору до різноманітних умов освітлення.

Здатність апарату денного зору розрізняти кольори пояснюється наявністю трьох груп колбочок. Вважають, що одна з груп чутлива до червоного, друга – до синього, а третя – до зеленого кольору. Сукупність подразнення цих груп світлочутливих елементів створює враження даного кольору.

Наоснові цих уявлень створена трикомпонентна теорія кольору, що добре виправдала себе на практиці.

### **1.9 Основні закони змішування кольорів**

Існують *три основні закони змішування кольорів*:

1. Будь-які чотири кольори знаходяться в лінійній залежності, однак існує необмежена кількість комбінацій із трьох кольорів, що є лінійно незалежними. Тобто, змішуючи два кольори, неможливо отримати третій.
2. Безперервній зміні випромінювання відповідає безперервна зміна кольору.
3. Колір суміші залежить тільки від кольору компонентів, що змішуються, і не залежить від способу їх одержання, зокрема від їхнього спектрального складу.

В ТБ широко використовується джерело білого кольору  $C$ , що відповідає денному освітленню:

$$C = 0,3R + 0,59G + 0,11B.$$

В 1931 р. Міжнародна комісія по освітленню (МКО) стандартизувала кольори:  $R : l = 700\text{нм}$ ;  $G : l = 546,1\text{нм}$ ;  $B : l = 435,8\text{нм}$ .

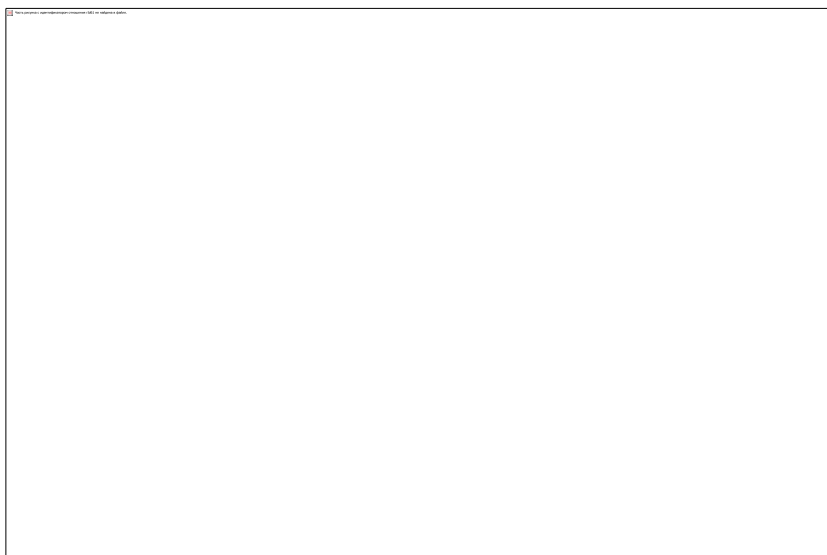
Оскільки колір–тривимірна величина, то він може бути представлений вектором у тривимірному просторі (рисунок 2.15). При цьому довжина вектора – кількість кольору, а напрямок – якість (кольоровість).

Будь-який колір при виконанні колірних розрахунків можна представити у вигляді довільного кольору  $D$ :

$$D = rR + gG + bB,$$

де  $r, g, b$  – триколірні коефіцієнти і  $r + g + b = 1$ .

Кольоровість – двовимірна величина, оскільки визначається двома з коефіцієнтів.



**Рисунок 1.14 – Представлення кольору у тривимірному просторі**

Пропорційна зміна  $r, g, b$  не змінює кольору, змінюється тільки яскравість.

Будь-якій точці на площині відповідає визначена кольоровість.

Прийнятий уколориметрії принцип незалежних від яскравості кольорів є лише компромісом між зручністю математичної моделі і даними практичних спостережень: відомо, що при зменшенні яскравості червоні кольори сприймаються коричневими, жовті червоніють, блакитні синіють тощо.

Для вивчення законів змішування кольорів у колориметрії використовують колірний графік – це прямокутний трикутник, всередині якого розміщена фігура – *локус* (рисунок 1.14).



**Рисунок 1.15 – Колірний графік**

Колірний графік, зображений на рисунку 1.15, є графіком Міжнародної колориметричної системи МКО, яка була прийнята на Міжнародному конгресі, що відбувся в 1931 р. у Кембриджі.

Графік кольоровості побудований таким чином, що зовнішня його крива (локус) відповідає абсолютно чистим колірним тонам (насиченість 100%). По периметру локусу

відмічені довжини хвиль у нанометрах, що відповідають насиченим спектральним кольорам. Локус має дві характерні точки фіолетового і червоного кольорів, що відповідають крайнім значенням довжини хвилі видимого світла. Між цими крапками по прямій розташовані пурпурні кольори. Насиченість убуває при русі до білого кольору С, який розташований у центрі. Для білого кольору  $X = Y = 0,33$ .

Взаємне розташування кольорів підпорядковується законам змішування кольорів. При цьому кожен два кольори, що є додатковими, розташовуються діаметрально протилежно відносно білого.

### **1.10.Класифікаціядавачів ТВ сигналів**

Давачі ТВ сигналів призначені для перетворення двовимірного оптичного зображення в електричний сигнал. Прилади розділяють на три групи:

- передавальні ТВ трубки;
- пристрої з біжучим променем;
- твердотільні фотоелектричні перетворювачі.

**Передавальні трубки** – найбільш розповсюджена група фотоелектричних перетворювачів. Це електровакуумні прилади з використанням розгортки зображення електронним променем. Працюють за принципом накопичення світлової енергії у вигляді електричних зарядів на мішені трубки.

Існує декілька типів класифікації передавальних трубок:

- 1) з внутрішнім та зовнішнім фотоэффектом;
- 2) з накопиченням сигналу і без накопичення;
- 3) вакуумні і твердотільні;
- 4) монохроматичні і кольорові.

Найбільш характерні для цієї групи приладів трубки з *вторинно-емісійним, фотопровідним та фотодіодним* накопичувачами.

Типовим прикладом з вторинно-емісійним накопиченням є суперіконоскоп, суперортікон (ці два типи трубок вже не використовуються), суперізокон (тільки для наукових цілей, мають велику вихідну напругу і динамічний діапазон).

В ТВ пристроях використовують давачі з фотопровідним накопичувачем (це різноманітні варіанти *відіконів*) і фотодіодним накопиченням (*пльомбікон і кремнікон*).

Трубки з накопиченням мають високу чутливість, універсальність, працюють у різноманітних умовах освітленості, як у межах світлового діапазону, так і за його межами. Існують трубки миттєвої дії – *дисектори*, які характеризуються високою лінійністю світлової характеристики, але мають низьку чутливість.

**Пристрої з біжучим променем** використовують у спеціалізованих і телепроекційних системах.

40

**Твердотільні фотоелектричні перетворювачі** (ФЕП) на основі МОН давачів і приладів із зарядовим зв'язком (ПЗЗ) впроваджені в 70-х роках ХХ ст. Це малі розміри і високі технічні показники. Дозволяють допускати багатоканальне зчитування і багато видів обробки ТВ зображень.

### **1.11ПРИНЦИП НАКОПИЧЕННЯ СВІТЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ**

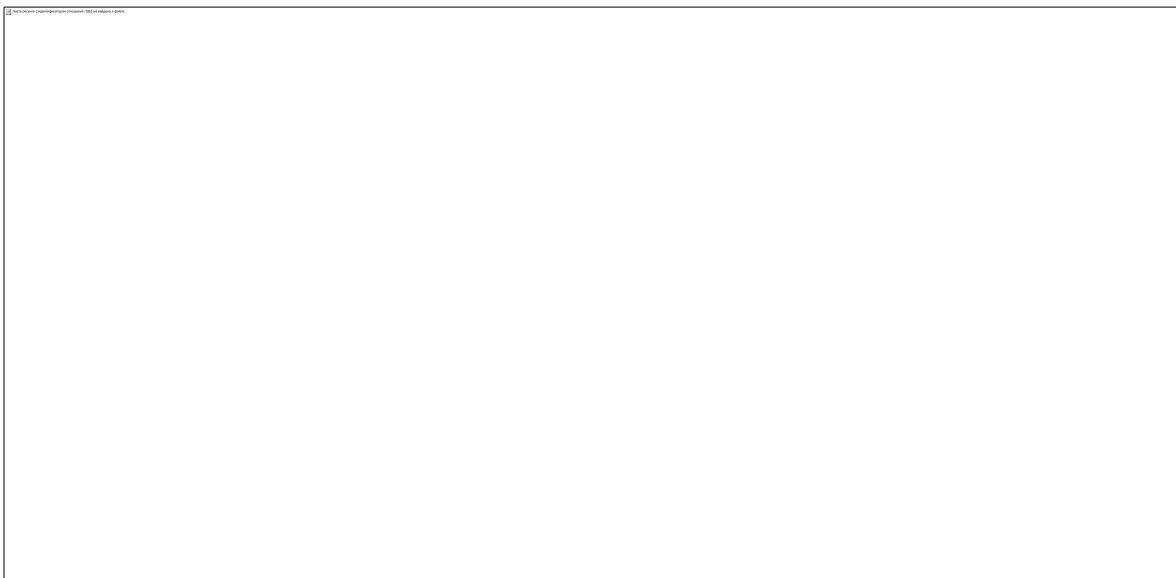


В системах миттєвої дії фотоелектронна емісія з кожного елемента зображення використовується тільки протягом інтервалу часу, що відповідає часу комутації цього елемента. Світлова енергія, яка діє на елемент зображення в проміжках між комутаціями, в утворенні сигналу зображення участі не бере.

Ефективність використання світлового потоку в цих системах зворотно пропорційна кількості елементів розкладу.

Підвищити ефективність можна при використанні принципу накопичення заряду (світлова енергія, яка опромінює елемент зображення в міжкомутаційний період, не зникає безкорисно, а накопичується на елементі).

Починаючи з іконоскопа, у всіх наступних передавальних телевізійних трубках реалізований принцип накопичення зарядів. Відмінною рисою пристроїв із накопиченням зарядів є наявність накопичувальної ємності СЕ (рисунок 3.1)



**Рисунок 1.16 – Еквівалентна схема:**

- а) елемента зображення;**
- б) мозаїки з фотоелементів**

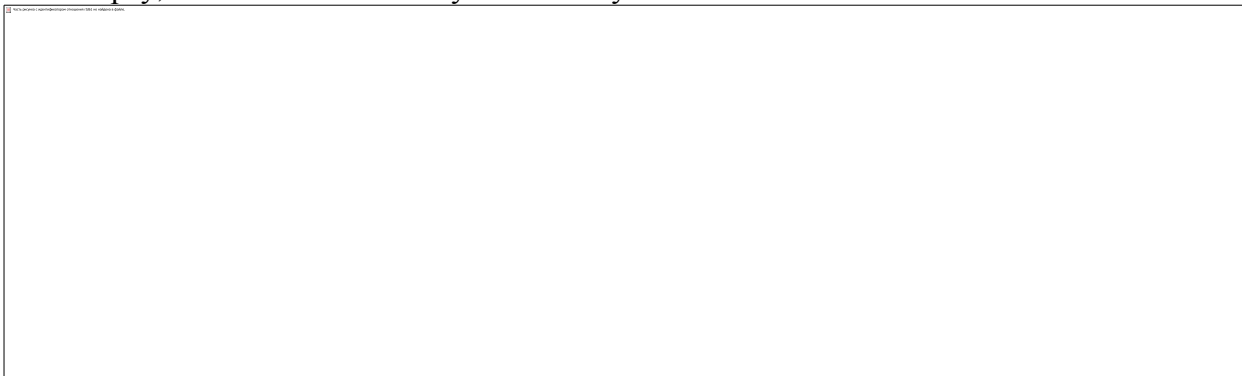
### **1.12 ПЕРЕДАВАЛЬНІ ТРУБКИ З ФОТОДІОДНИМШАРОМ**

Широкому використанню відіконів в апаратурі мовного телебачення заважає велика фотоелектрична і комутаційна інерційність. Для зменшення інерційності фоторезистивну мішень заміняють мішенню фотодіодного типу.

Плюмбикон (вітчизняний аналог – глетікон) – відрізняється від відікона тим, що застосована фотодіодна мішень з р-і-п структурою, яка має малу інерційність і лінійну світлову характеристику.

Оксидно-свинцева мішень наноситься на напівпрозору *сигнальну пластину* 1, в коло якої ввімкнений резистор навантаження  $R_H$  (рисунок 1.16). Мішень містить *прошарок напівпровідника* 2 з електропровідністю n-типу, монокристалічного *шару оксиду свинцю* ( $PbO$ ) 3 з провідністю і-типу (власна провідність), який має властивості фотопровідника, і *напівпровідниковий шар* 4 з електропровідністю р-типу. Мішень, у

свою чергу, наноситься на скляну планшайбу.



**Рисунок 1.17 – Будова мішені та її еквівалентна схема**

Сигнальна пластина і тонкий шар напівпровідника n-типу достатньо прозорі, тому світло проходить через них з малими втратами. Поглинання світла відбувається в основному шарі оксиду свинцю. Він робиться товстим (10–15 мкм) для більш повного поглинання світлової енергії.

Формування потенційного рельєфу відбувається на поверхні шару 4. Він має більш високу провідність у порівнянні з чистим оксидом свинцю, тому для попередження „розтіканню” потенційного рельєфу вздовж цього шару (між сусідніми елементами мішені, які мають різний потенційний рельєф) його товщина береться дуже малою, що забезпечує високий опір шару в напрямку вздовж мішені. Комутація потенційного рельєфу здійснюється пучком повільних

електронів, отже, шар 4 доводиться до потенціалу катода. Вихідний сигнал знімається з навантажувального резистора. При тому, що на сигнальну пластину подається додатний потенціал, вся система являє собою мозаїку p-i-n фотодіодів, які ввімкнені у зворотному напрямку. Це призводить до зниження темного струму мішені.

Завдяки відносно високій напруженості електричного поля у товщі мішені і низькій концентрації „пасток” забезпечується ефективно розділення генерованих світлом електронно-діркових пар. Тому характеристика „сигнал-світло” має високу лінійність.

Плюмбікони мають малу інерційність. Комутаційна складова інерційності зменшується в результаті зниження накопичувальної ємності. Остання є наслідком збільшення товщини мішені і її пористості. Зменшення фотоелектричної складової відбувається як внаслідок створення в шарі відбірного електричного поля високої напруженості, так і через властивості самого матеріалу мішені.

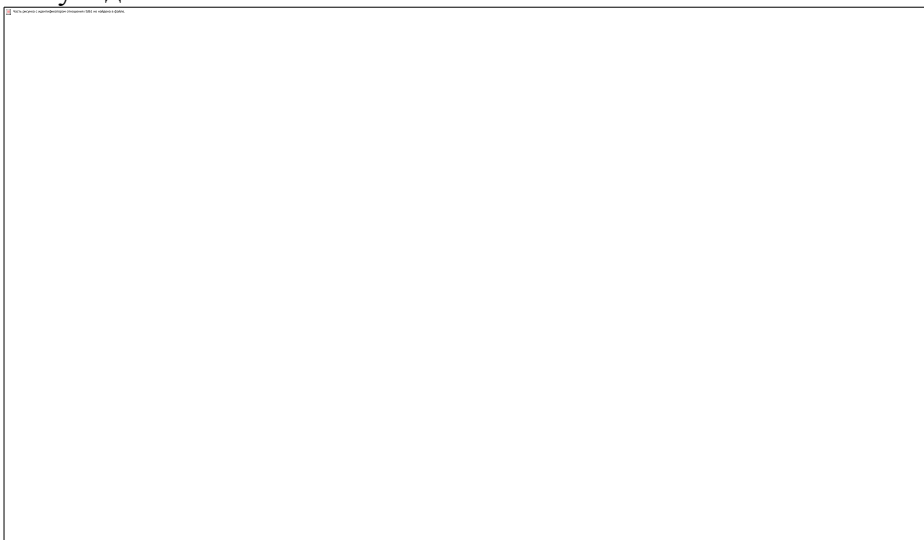
Для попередження ефектам, пов’язаним із відбиттям від зовнішньої поверхні планшайби плюмбікону дифузно розсіяного світла використовують *протиореольний диск 6*, товщиною приблизно 7 мм.

### **1.13 ПЕРЕДАВАЛЬНІ ТРУБКИ З ЕЛЕКТРОННИМ ПЕРЕНЕСЕННЯМ ЗОБРАЖЕННЯ**

**Секон** – це трубка з дуже високою чутливістю. Зображення проектується на *фотоємисійний катод 1*, нанесений на внутрішню поверхню скляного балона (рисунок 1.18).

Електронне зображення з фотокатода за допомогою системи електродів, що утворюють прискорювальне поле, і довгої фокусувальної ко-

тушки переноситься на мішень, що містить прозору для електронів підкладку 2 з окису алюмінію, на яку нанесена прозора для електронів сигнальна пластина 3, а поверх неї – пористий шар діелектрика 4, у якому фотоелектрони цілком втрачають свою енергію. Сітка 5 служить для добору вторинних електронів. Інші елементи секона такі ж, як у звичайному відіконі.



**Рисунок 1.18 – Будова секона**

Завдяки позитивному потенціалові сигнальної пластини, вторинної електронної провідності і вторинної емісії на простір у шарі 4 на ньому утворюється позитивний потенційний рельєф, що при зчитуванні пучком повільних електронів утворює на навантажувальному резисторі, ввімкненому в ланцюг сигнальної пластини, відеосигнал.

Переваги секона: незначна фотоелектрична і комутаційна інерційність, висока розрізнявальна здатність (до 1000–1200 рядків у трубок з великим розміром мішені), високий динамічний діапазон, висока чутливість (мінімальна освітленість на фотокатоді  $\gg 5 \times 10^{-3}$  Лк), можливість роботи в режимі тривалого накопичення і збереження (протягом доби) світлових зображень на мішені трубки.

Недолік трубки полягає в утворенні на зображенні чорних і білих плям, смуг, зумовлених неоднорідністю структури мішені.

### ***Дисектор***

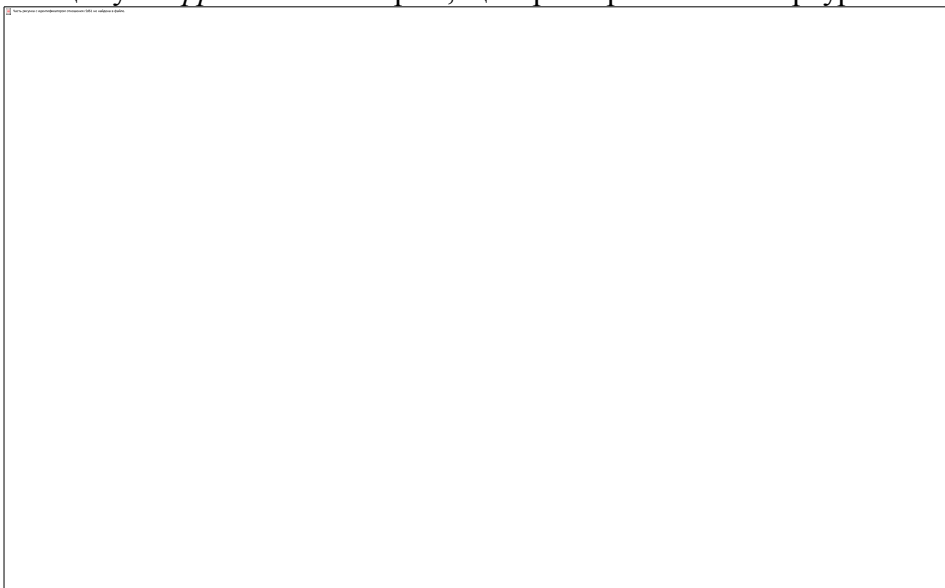
Дисектор – передавальна телевізійна трубка миттєвої дії (тобто без накопичення заряду), яка працює на використання зовнішнього фото-ефекту. На відміну від інших передавальних трубок, в дисекторі відсутній електронний прожектор, тому розгортка здійснюється відхиленням електронного зображення, а не променя.

В дисекторі розрізняють три секції (рисунок 1.19):

- 1) утворення сфокусованого електронного зображення;
- 2) відхилення електронного зображення;
- 3) вторинно-електронного множення (ВЕМ).

В першій секції перетворення оптичного зображення в електронне здійснюється напівпрозорим *фотокатодом* 1, який нанесений на внутрішню поверхню планшайби трубки, а фокусування – магнітним полем

фокусувальної котушки 7. Прискорювальною електричною напругою, яка прикладена до *електрода* 2, електронне зображення переноситься в площину *діафрагми* 3 з отвором, що є розгортальною апертурою.



**Рисунок 1.19 – Будова дисектора**

В секції відхилення за допомогою *системи котушок* 6 здійснюється відхилення електронного зображення перед отвором *діафрагми* 3. В секції ВЕМ здійснюється підсилення миттєвих значень фотострумів, який проходить через отвір. Ця секція складається з 14 *діодів* 4 і *колектора* 5, в коло якого ввімкнений резистор навантаження  $R_H$ . Коефіцієнт підсилення ВЕМ досягає 107, що при його малих внутрішніх завадах забезпечує значне перевищення рівня вихідного сигналу дисектора над завадами попереднього підсилювача.

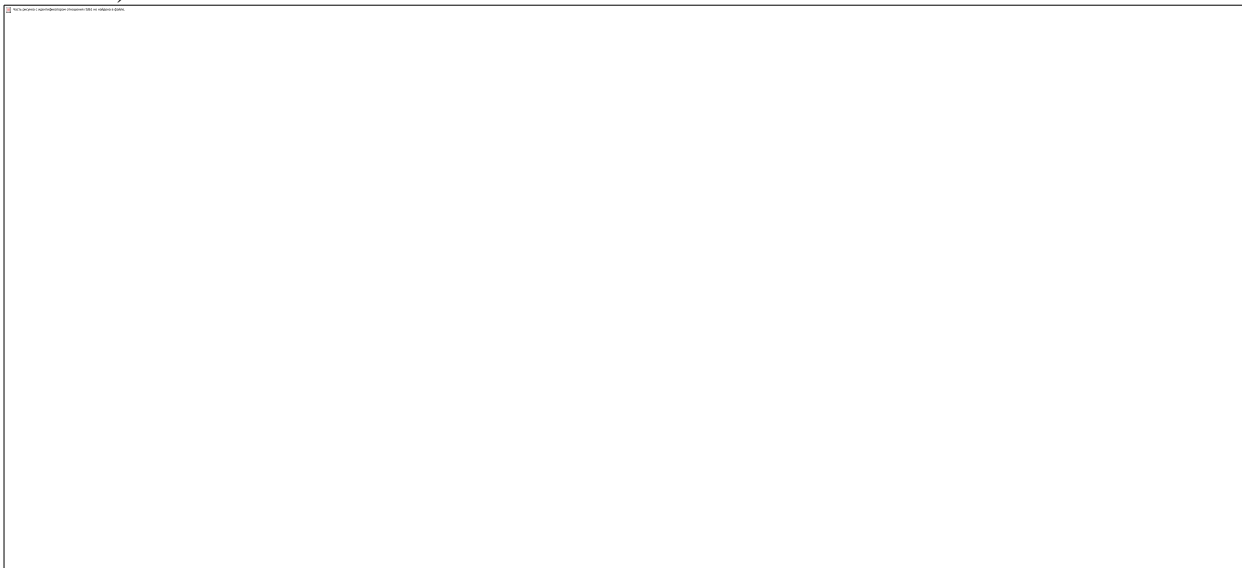
Дисектори забезпечують добре відтворення градацій яскравості, мають високу розрізняльну здатність, відрізняються миттєвою готовністю до роботи після ввімкнення напруг живлення (в них відсутній інерційний термокатод).

#### **1.14 ТВЕРДОТІЛЬНІ ДАВАЧІ**

Мініатюризація ТВ передавальної апаратури гальмується використанням у ній як перетворювача світло-сигнал електровакуумного приладу, що має великі габаритні розміри і складну систему керування електронним променем. У зв'язку з цим велися роботи зі створення безвакуумних аналізованих пристроїв. У 1969 р. винайшли прилади із зарядовим зв'язком, що дозволило створити твердотільні ФЕП (фотоелектронні перетворювачі) з кількістю елементів розкладання, що відповідає стандарту ТВ мовлення.

В основі *приладу із зарядовим зв'язком (ПЗЗ)* лежать структури МОН або МДН, здатні збирати, зберігати, накопичувати зарядові пакети неосновних носіїв у локалізованих потенційних ямах, що утворюються в поверхні напівпровідника під дією електричного поля (рису-

нок 1.20).

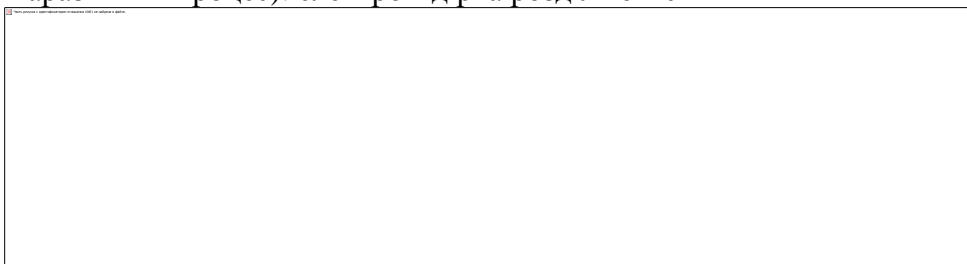


**Рисунок 1.20 – Конденсатор МОН структури**

Зарядові пакети виникають під дією світлового випромінювання, а переносяться шляхом керованого переміщення потенційних ям у необхідному напрямку (рисунок 1.21). У такий спосіб ПЗЗ працює як зсувний регістр, що має здатність збирати, накопичувати і зберігати зарядову інформацію.

Основне достоїнство ПЗЗ: принцип послідовного перенесення зарядової інформації від окремих елементів матриці до єдиного вихідного пристрою, де зарядові пакети перетворюються в сигнал. Потенційна яма буде залежати від напруги на затворі, ступеня легування напівпровідника, товщини окисла. Час життя потенційної ями обмежений і визначається процесом термогенерації неосновних носіїв, і яма заповнюється за час релаксації (це паразитний процес): електрон-дірка розділяються і

заповнюють яму.



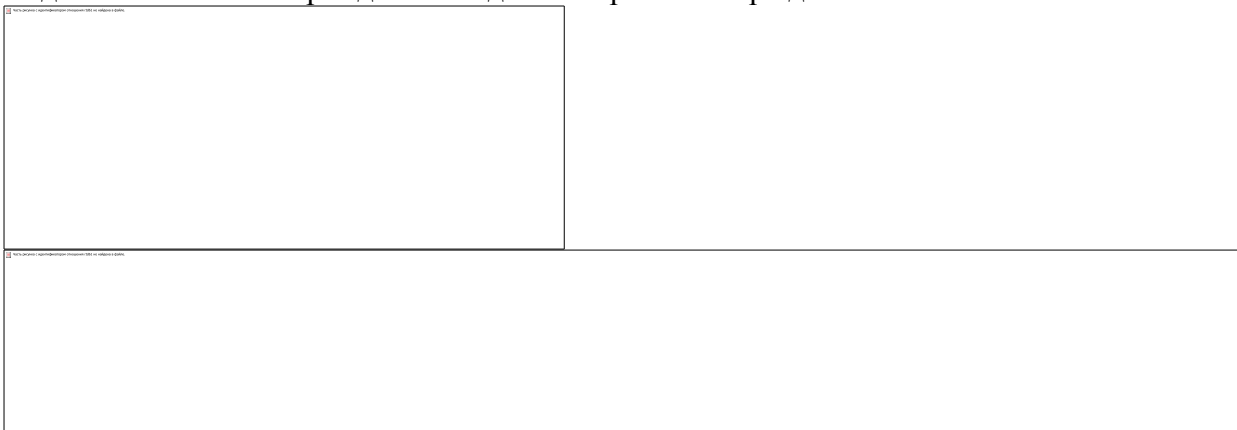
**Рисунок 1.21 – Перенесення зарядових пакетів шляхом переключення потенціалів електродів двох поруч розташованих МОН конденсаторів**

У такий спосіб максимальний час збереження зарядової інформації – це мінімальна частота роботи цифрових та аналогових пристроїв на ПЗЗ і визначається часом релаксації. Зарядовий пакет у ПЗЗ може бути введений електричним шляхом або за допомогою світлової генерації. При світловій генерації фотоелектронні процеси приведуть до нагромадження неосновних носіїв у потенційних ямах. Накопичений заряд у потенційних ямах буде визначатися освітленістю і часом нагромадження.

### ***Трифазний зсувний регістр***

Лінійка з МОН конденсаторів виконується на спільній підкладці (рисунок 3.19). Відстань між електродами настільки мала, що збідненні області при подачі на електрод позитивного потенціалу простягаються

практично до сусідніх електродів. Електроди такої трифазної структури з'єднані між собою через два і складають паралельні тріади.



**Рисунок 1.22– Будова трифазного зсувного реєстра**

Подамо на шину 1, яка з'єднує перші елементи тріад, позитивний потенціал  $U_1 = U_{збер}$ , а на дві інші шини – нульовий потенціал відносно заземленої підкладки. В цьому випадку під всіма електродами 1 утворюються потенційні ями, в яких можуть зберігатися від'ємні заряди. Змінимо потенціал на шині 2 до значення  $U_2 = 1,5U_{збер}$ . Тоді під електродом 2 утворюються більш глибокі потенційні ями, і заряди пере-

течуть під цей електрод. Після цього встановимо  $U_1 = 0$ , а  $U_2 = U_{збер}$ . Тепер заряд зберігається під електродом 2.

Встановимо потенціал шини 3, що дорівнює  $U_3 = 1,5U_{збер}$ . При цьому заряди з-під електрода 2 перетечуть під електрод 3 в більш глибоку потенційну яму. Цей процес можна повторювати доти, поки заряд не опиниться у колі навантаження і створить на ньому падіння напруги, яке пропорційне величині заряду. Технологічно трифазна структура найбільш проста.

## **1.15 ДАВАЧІ СИГНАЛУ ДЛЯ КОЛЬОРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ**

Для кольорового телебачення використовуються давачі, які складаються з декількох монохромних чи спеціальних кольорових трубок, або прилади з біжучим променем.

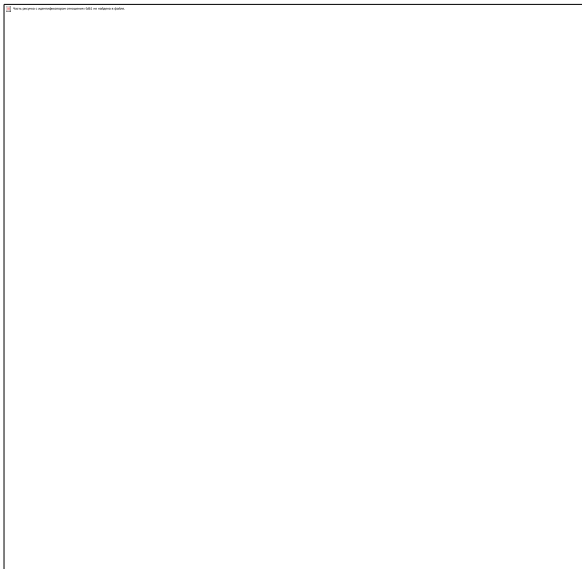
### ***Прилад із біжучим променем***

Він є найбільш простим давачем без накопичення заряду для зчитування нерухомих об'єктів.

Прилад із біжучим променем складається з джерела біжучого променя, який розгортає зображення, і трьох фотоприймачів – ФЕП, перед якими встановлені відповідно червоний, синій і зелений світлофільтри (рисунок 1.23).

На виході відповідних ФЕП утворюються сигнали  $E_R$ ,  $E_G$ ,  $E_B$ .

Давач забезпечує високу якість передачі завдяки відсутності проблеми суміщення зображень, а також високій лінійності світлової характеристики. Проте він має малу чутливість, тому застосовується для передачі кінофільмів.



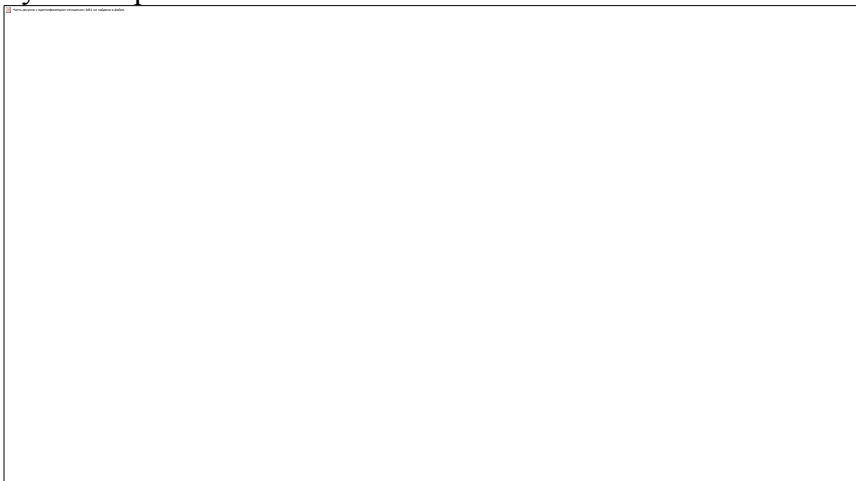
**Рисунок 1.23 – Утворення сигналу в приладі з біжучим променем**

### ***Тритрубчаті камери***

Вони будуються за принципом формування сигналів основних кольорів ER ,EG ,EB шляхом розщеплення пучка світла по спектру. В тритрубчатих камерах використовуються один об'єктив і система оптики, яка розщеплює промінь (рисунок 1.24). Зокрема, вона може бути виконана з двох дихронічних дзеркал ДДзR і ДДзВі двох звичайних дзеркал, які розділяють початковий світловий потік на три пучки.

Дихронічні дзеркала мають вибірковість:

- синє дзеркало ДДзВпропускає всі кольори, які відповідають довжинам хвиль від 500 нм і вище, і відбиває сині кольори, які відповідають довжинам хвиль до 460 нм;
- червоне дзеркало ДДзRвідбиває хвилі довжиною понад 580 нм і пропускає короткі.



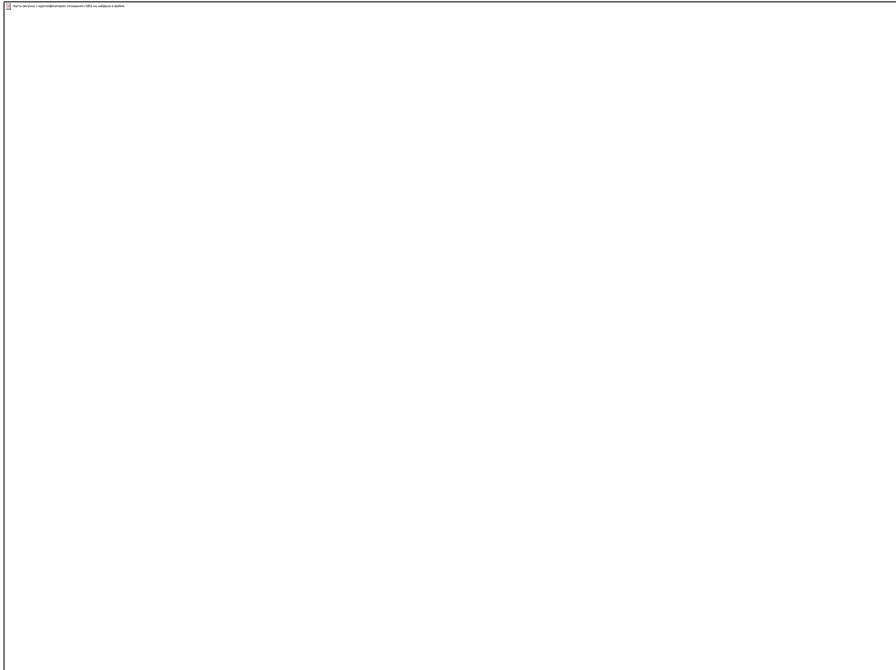
**Рисунок 1.24 – Утворення сигналу в тритрубчатій камері**

Вибіркове відбиття досягається за рахунок почергового нанесення на поверхню скла шарів прозорих матеріалів із різними спеціально підібраними коефіцієнтами заломлення.

### ***Однотрубчаті камери***

Вони відрізняються простотою конструкції, мають малі габарити і масу і використовуються в репортажних установках. Як передавальні трубки в цих камерах використовуються, наприклад, кольорові відікони.

Сигнальна пластина 2 складається з трьох ізольованих одна від одної вертикальних решіток, які чергуються (рисунок 1.25). Кількість смуг у кожній решітці відповідає кількості елементів розкладу зображення вздовж рядка. По суті це три розділені між собою сигнальні пластини, вкриті з боку розгортального електронного променя шаром фотоопору 3, а з протилежного боку – світлофільтрами 1 основних кольорів – R,G,B. В кола решіток ввімкнені навантажувальні резистори, з яких знімаються сигнали ER ,EG ,EB .



**Рисунок 1.25 – Мішень кольорового відікона**

### **1.16 КЛАСИФІКАЦІЯ ВІДТВОРЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ**

Відтворювальні пристрої призначені для перетворення електричного сигналу у світлове зображення. Їх можна розділити на пристрої безпосереднього спостереження, в яких зображення створюється на екрані самого пристрою, і проєкційні, в яких зображення проєктується на окремий екран (рисунок 1.26).





**Рисунок 1.26 – Класифікація відтворювальних пристроїв**

Пристрої безпосереднього спостереження виконуються або на основі вакуумних електронно-променевих трубок (ЕПТ) або на базі матричних плоских екранів.

Найбільш розповсюджені нині вакуумні ЕПТ – кінескопи (від гр. – пристрій для спостереження руху). Кінескопи бувають монохромні (чорно-білі) і кольорові. Останні поділяються на трипроменеві і однопроменеві. За допомогою кінескопів утворюється зображення площиною 0,5 м<sup>2</sup>. Матричні екрани можуть бути реалізовані на основі електролюмінісценції в плівкових люмінофорах, динамічного розсіювання світла в рідких кристалах, газорозрядних комірках.

Проекційні відтворювальні пристрої призначені для утворення зображень великих розмірів – від одиниць до десятків квадратних метрів. Це проекційні кінескопи, світлоклапанні пристрої і лазерні проектори.

Як проекційні кінескопи можуть бути використані ЕПТ, які працюють при дуже великих напругах (до 60–80 кВ) і великих струмах променя, завдяки чому утворюється зображення великої яскравості, яке проектується безпосередньо на екран за допомогою дзеркально-лінзової оптики. Основні недоліки подібних пристроїв в невеликому ККД, недовговічності екрана кінескопа.

Був створений проекційний кінескоп із лазерним екраном у вигляді напівпровідникової пластинки, кожна точка якої являє собою елементарний лазер, який збуджується (накачується) електронним променем.

При зміні інтенсивності електронного променя змінюється й інтенсивність лазерного світіння. Яскравість світіння лазерного екрана перевищує яскравість світіння люмінофорного.

Робота світлоклапанних пристроїв ґрунтується на модуляції відеосигналом інтенсивності світлового потоку потужного зовнішнього джерела світла. Модуляція здійснюється за рахунок зміни оптичних властивостей матеріалу модулятора під дією електронного променя.

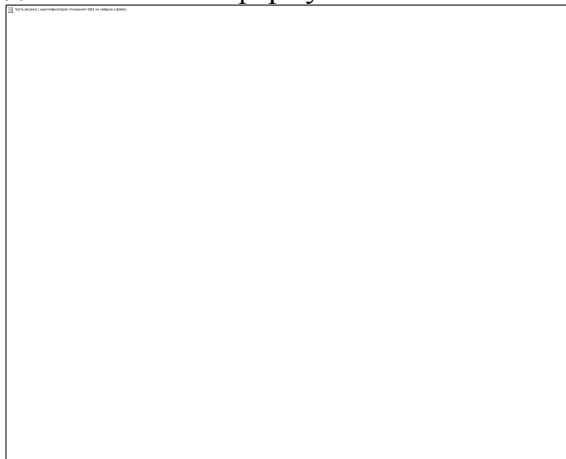
Лазерні проектори формують зображення так само, що й ЕПТ, лише з тією різницею, що замість електронного променя, який обходить люмінофорний екран, використовується світловий промінь лазера, який обходить звичайний кіноекран. Перевагою лазерного відтворювального

пристрою є великий контраст яскравості і висока насиченість кольорів.

### 1.17 КІНЕСКОПИ ЧОРНО-БІЛОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ

**Кінескопи** – приймальні телевізійні трубки, які є електронно-променевими приладами з люмінофорними екранами, на яких здійснюється перетворення енергії електронів променя у світлове випромінювання. Відтворення зображення на екрані забезпечується відхиленням електронного променя за законом телевізійної розгортки, щільність якого модулюється сигналом зображення.

На передню стінку *скляної колби* 8 нанесений екран, який являє собою *шар люмінофору* 7, вкритий тонкою *плівкою алюмінію* 6 (рисунок 1.27). В циліндричній горловині колби розміщений *електронний прожектор* 2. Другий анод прожектора з'єднаний з *провідним покриттям* 4, яке нанесене на внутрішню поверхню колби і горловини. *Вивід другого анода* 5 зроблений через колбу, а інших електродів – через *цокль* 1. На горловину кінескопа надівається *відхиляюча система* 3, за допомогою якої формується магнітне поле потрібної конфігурації.



**Рисунок 1.27 – Схема кінескопа безпосереднього спостереження**

Алюмінієве покриття на екрані попереджає появу на ньому іонної плями (жовта пляма в центрі екрана). Така пляма зумовлена бомбардуванням екрана негативними іонами, які вилітають з катода, прискорюються напругою другого анода і, практично не відхиляючись магнітним полем, бомбардують центральну частину екрана, викликаючи його часткову руйнацію. Алюмінієва плівка затримує масивні негативні іони.

### 1.18 Електронний прожектор

Електронний прожектор – конструктивний вузол ЕПТ, який складається з анода і ряду електродів, що забезпечують прискорення, фокусування та керування щільністю електронів променя.

Електронний прожектор складається з *підігрівача* 1, *термокатода* 2, *модулятора* 3, *прискорювального електрода* 4, *фокусувального електрода* 5 і *другого анода* 6 (рисунок 1.28). Такий прожектор називається пентодним і дозволяє зменшити вплив прискорювального електрода на якість фокусування.



**Рисунок 1.28 – Конструкція електронного прожектора**

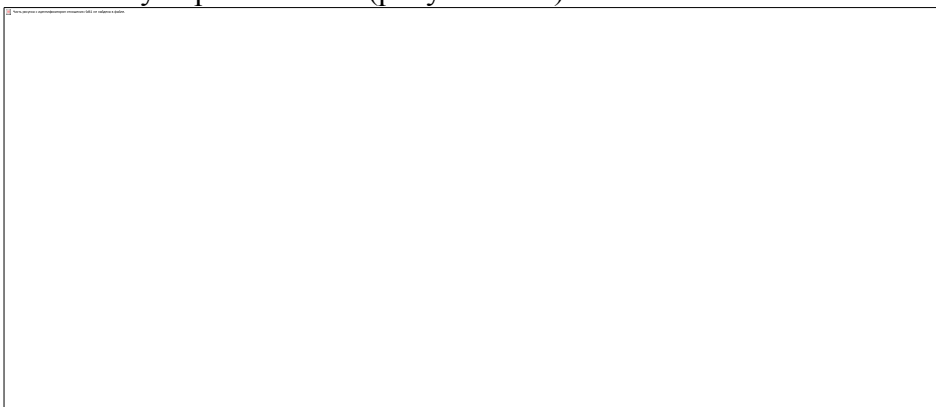
### **1.19 Кінескопикольорового телебачення**

#### **1.20 Загальні відомості**

Для одержання кольорового зображення в більшості сучасних кольорових ТБ приймачів і відеоконтрольних пристроїв використовується один електровакуумний прилад – кольоровий кінескоп, у якому кольорові зображення формуються з трьох кольорорізнисних сигналів методом *просторового змішання кольорів*. У більшості розроблених кінескопів використовується *трирастрова система*, при якій на екрані кінескопа формуються три одноколірні растри – червоний, зелений і синій, – сполучені з достатнім ступенем точності один з одним. Трирастрова система припускає наявність у кінескопі трьох електронних прожекторів і трьох люмінофорних груп, спектральне випромінювання яких відповідає червоному, зеленому і синьому кольорам. Поділ кольорів, тобто озабезпечення правильного влучення кожного з променів на люмінофорні елементи екрана «свого» кольору, забезпечується за допомогою *тіньової маски*. Такі кінескопи часто називають *масочними кінескопами*. За способом розташування прожекторів кінескопи поділяються на *дельта-кінескопи*, прожектори яких, а також люмінофорні групи розташовані у вершинах рівностороннього трикутника, і на *компланарні кінескопи* з розташуванням прожекторів в одній площині і *лінійчатим люмінофорними групами*.

#### **1.21 Масочний кінескоп із дельтовидним розташуванням прожекторів**

Особливістю його будови є розташування трьох електронних прожекторів у горловині колби симетрично щодо осі і наявність мозаїчного люмінофорного екрана. Прожектори кінескопа кріпляться у вершинах рівностороннього трикутника (див. розріз *A-A*) і нахилені до осі кінескопа на кут приблизно  $1^\circ$  (рисунок 1.29).



**Рисунок 1.29 – Схематичне зображення кольорового масочного дельта-кінескопа**

Екран кінескопа являє собою сферу зі скла з великим радіусом кривизни, на внутрішню поверхню якої у визначеній послідовності нанесені групи люмінофорних зерен трьох кольорів: червоного, зеленого і синього. Люмінофорна група, що складається з трьох різнобарвних зерен, називається *тріадою*. Так само як у монохромному кінескопі, люмінофори з внутрішньої сторони екрана покриті тонкою алюмінієвою плівкою, з'єднаною з другим анодом.

Для направлення електронних променів на «свої» люмінофорні зерна використовується тінюва маска, встановлена на відстані 12 мм від екрана (рисунок 1.30). Вона виготовлена з листової сталі товщиною 0,15 мм і практично повторює форму екрана. У масці вирізані круглі отвори діаметром 0,25 мм, кількість яких дорівнює кількості люмінофорних тріад, тобто  $555 \times 103$ .



**Рисунок 1.30 – Застосування тінювої маски**

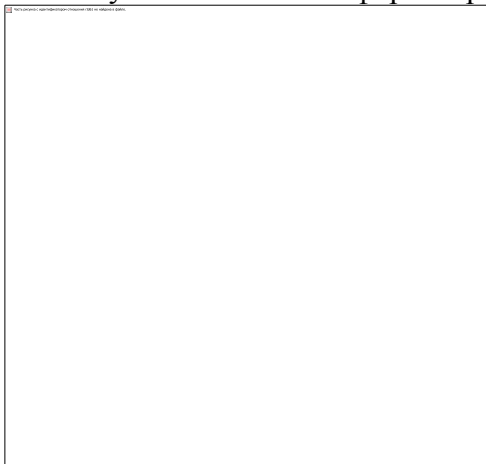
Принцип влучення електронних променів на «свої» люмінофорні зерна полягає в тому, що три промені, спрямовані з трьох рознесених на площині  $XOY$  точок, що є центрами електронних прожекторів, перетинаються в одній точці, геометричне місце якої відповідає отворі маски, і, проходячи крізь неї, потрапляють на відповідні люмінофорні зерна тріад. Центри люмінофорних зерен тріад розташовуються у вершинах рівностороннього трикутника і є проекцією центрів електронних прожекторів.

***Специфічні для кольорового кінескопа спотворення зображення:***

**1.Порушення чистоти кольору**, зумовлене влученням електронного променя частково або цілком на «чужі» люмінофорні зерна, що виникає при бічному зміщенні або нахилі блоку електронних прожекторів щодо осі кінескопа, неправильному положенні відхиляючої системи щодо екрана кінескопа, а також під впливом зовнішніх магнітних полів, зокрема магнітного поля Землі.

Порушення чистоти кольору, викликане недостатньо точною установкою блоку електронних прожекторів і впливом зовнішніх магнітних полів, коректується за допомогою розташованого на горловині кінескопа *магніту чистоти кольору* МЧ (рисунок 4.11), що дозволяє змінювати величину і напрямок магнітного поля і тим самим здійснювати одночасне переміщення трьох променів в одному напрямку, домагаючись їх-

нього правильного влучення на люмінофорні зерна.



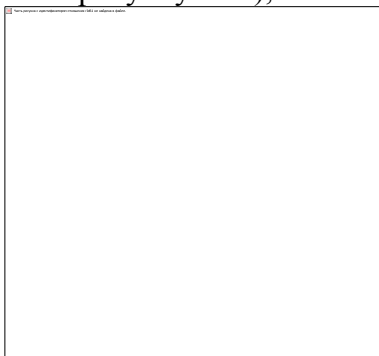
**Рисунок 1.31 – Корекція порушення чистоти кольору за допомогою магніту чистоти кольору**

Конструктивно МЧ зазвичай виконуються у вигляді двох намагнічених по діаметру кілець, укладених одне в одне. Кільця дозволяють здійснити одночасний або незалежний поворот навколо осі кінескопа (рисунок 1.31 а). Магнітне поле змінюється від максимального до мінімального поворотом кілець одне відносно одного на кут  $\alpha$  (рисунок 1.31б). Магнітне поле максимальне при  $\alpha = 0$  і мінімальне при  $\alpha = 180^\circ$ . Для зміни напрямку магнітного поля обидва кільця повертаються разом (рисунок 1.31 б).

**2. Неспівпадання зображень** від різних растрів обумовлене влученням невідхилених променів не в один отвір тіньової маски, а в сусідні або віддалені один від одного на деякій відстані, що виникає при неточному виготовленні і збиранні блоку електронних прожекторів, наприклад недотриманні заданих кутових величин тощо.

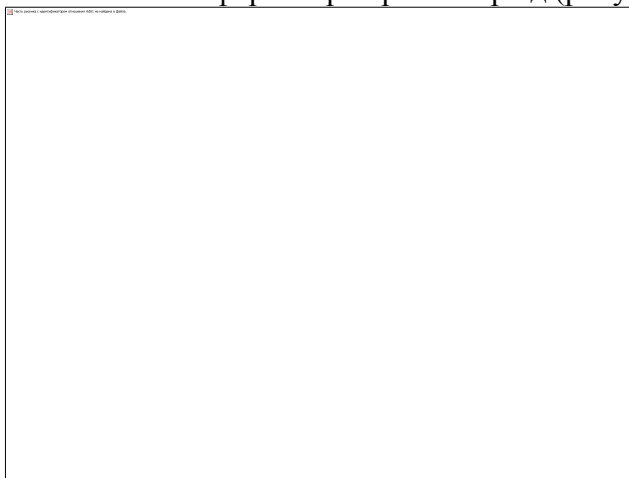
Для корекції цього неспівпадання, тобто зведення трьох невідхилених електронних променів в одну люмінофорну тріаду, служать *постійні магніти регулятора зведення* б (рисунок 4.14), що забезпечують можливість незалежного переміщення променів у радіальному напрямку, що коректує їхню траєкторію.

**3. Розсуміщення електронних променів** при їхньому відхиленні від центра до краю екрана обумовлене такими основними причинами:  
а) наявність трьох електронних прожекторів, що зміщені щодо осі кінескопа і мають з нею кут нахилу  $1^\circ$ ; це приводить до появи на екрані кінескопа трьох зміщених відносно один одного *трапецеїдальних растрів* (зображених на рисунку 1.32);



**Рисунок 1.32 – Розсуміщення кольорових растрів на екрані кінескопа**

б) геометричні місця перетинання трьох променів при їхньому відхиленні знаходяться на поверхні сфери, радіус кривизни якої визначений кутом нахилу прожекторів ( $1^\circ$ ) і значно менше радіуса кривизни екрана. Тому при відхиленні від центра до периферії екрана електронні промені будуть досягати площини маски у вигляді розбіжних пучків і потрапляти на люмінофорні зерна різних тріад (рисунок 1.33).



**Рисунок 1.33 – Розсміщення електронних променів при відхиленні**

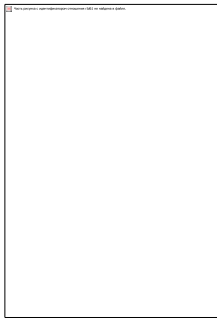
Для корекції цих спотворень використовується система динамічного зведення, конструктивно об'єднана із системою статичного зведення (рисунок 1.34).

Пристрій динамічного і статичного зведення складається з введеного в конструкцію електронного прожектора *циліндра зведення* 1, що містить усередині *екрани* 2 і *полюсні наконечники* 3, і трьох пар *П-подібних магнітопроводів регуляторів зведення* 4. Динамічне зведення забезпечується шляхом пропускання через обмотки *електромагнітів* 5 регулятора зведення струмів кадрової і рядкової частот спеціальної форми. Статичне зведення досягається обертанням поміщених у зазорах середньої частини П-подібного сердечника *постійних магнітів* 6, що забезпечують незалежне радіальне переміщення променів.



**Рисунок 1.34 – Пристрій динамічного і статичного зведення**

У деяких випадках тільки радіальне зміщення променів не забезпечує повне їхнє зведення в одну тріаду. Потрібне додаткове тангенціальне переміщення одного з променів, що звичайно забезпечується за допомогою магніту бічного зміщення синього променя, поміщеного на горловині кінескопа (рисунок 1.35).



**Рисунок 1.35 – Забезпечення бічного зміщення синього кольору**

Масочний кінескоп із триадним дельтоподібним розташуванням прожекторів має істотні недоліки, основними з яких є:

- необхідність складних схем динамічного зведення променів;
- мала прозорість тіньової маски, що затримує більше 80 % струму в кожному електронному промені.

### **1.22 Плазмові панелі**

Принцип роботи плазмової панелі базується на керованому холодному розряді розрідженого газу (ксенону або неону), що перебуває в іонізованому стані (холодна плазма). Робочим елементом (пікселем), що формує окрему точку зображення, є група із трьох підпікселів, відповідальних за три основні кольори відповідно. Кожен підпіксель являє собою окрему мікрокамеру, на стінках якої перебуває флюоресціювальна речовина одного з основних кольорів. Пікселі перебувають у точках перетинання прозорих керувальних хром-мідь-хромових електродів, що утворюють прямокутну сітку.

Для того щоб "запалився" піксель, відбувається приблизно таке. На два ортогональні один одному живильний і керуючий електроди, у точці перетинання яких перебуває потрібний піксель, подається висока керуюча змінна напруга прямокутної форми. Газ в осередку віддає більшу частину своїх валентних електронів і переходить у стан плазми. Іони й електрони поперемінно збираються біля електродів по різні боки камери залежно від фази керуючої напруги. Для „підпалу” подається синфазний імпульс на сканувальний електрод, однойменні потенціали складаються, вектор електростатичного поля подвоює свою величину. Відбувається розряд: частина заряджених іонів віддає енергію у вигляді випромінювання квантів світла в ультрафіолетовому діапазоні (залежно від газу). У свою чергу, флюоресціювальне покриття, перебуваючи в зоні розряду, починає випромінювати світло у видимому діапазоні, що і сприймає спостерігач. 97 % ультрафіолетової складової випромінювання, шкідливого для очей, поглинається зовнішнім склом. Яскравість світіння люмінофора визначається величиною керуючої напруги.

Недоліки: у першу чергу, це вартість. Крім того, саме зображення формується з точок (пікселів) тліючого, плазмового розряду, але цей розряд важко погасити. Крім того, внаслідок великої кількості пікселів (мільйони) зростає ймовірність відмови.

Інші, не настільки важливі, недоліки, – це небажаність тривалого перегляду нерухомих зображень (інтенсивність світіння постійно палаючих елементів згодом падає), велике енергоспоживання, недостатня точність передачі кольору. Однак фірми-виробники постійно працюють над усуненням усіх цих недоліків, і досить успішно.

Зате все інше – самі переваги: великий, до 60", плоский, яскравий

екран невеликої товщини і повна відсутність проблем зведення, лінійності, фокусу тощо, характерних для кінескопних телевізорів. Якість відтворення ефірних програм визначається якістю окремого блоку, – 82

тюнера, – що у більшості випадків у комплект до плазмової панелі не входить і купується окремо. Інші пристрої звичайно підключаються до плазмової панелі через RGB або компонентний вхід.

### **1.23 Рідкокристалічні (LCD) панелі/матриці, TFT-панелі**

Даний тип електронних пристроїв сьогодні вважається найперспективнішим. Застосовується ефект керованої напруженою поляризації світла рідкими кристалами, що приводить до керованого світлопропускання. Використовується екран просвітного типу, тобто екран підсвічується зі зворотної сторони лампою білого кольору, а комірки основних кольорів RGB, розташовані на трьох панелях відповідних кольорів, пропускають або не пропускають світло, залежно від керування.

Керуючі елементи виготовлені методом напилювання на екран (TFT – Thin Film Transistor – тонкоплівкові транзистори).

Основні недоліки на сьогодні: висока вартість, помітна залежність відтінку і яскравості від кута перегляду, деяка нерівномірність яскравості, неідеальна передача кольору, недостатня швидкодія.

Переваги: плоске, досить якісне зображення, мала товщина, низьке енергоспоживання, повна відсутність проблем, характерних для кінескопів. У цілому, якщо порівнювати кінескопні телевізори з LCD і плазмовими панелями, то переваги двох останніх досить значні. У LCD і плазмових панелях не помітний ефект "мерехтіння", очі не втомлюються. Якість зображення чудова. Конструкція компактна, LCD і плазмові панелі незрівнянно більш вузькі, ніж кінескопні телевізори. Основний недолік – висока ціна (але поступово падає, і купівельний попит зростає). Однак на даний момент кінескопні телевізори все-таки дешевше, і, до того ж, звичні.

Якщо порівнювати рідкокристалічні і плазмові телевізори, то можна помітити таке. У більшості LCD розміри екрана поки що обмежені (близько 40"), у плазмовій панелі розмір може бути значно більший (близько 60"). Роздільна здатність у LCD вище, ніж у плазмових панелях. Час відклику для LCD може бути досить помітним.

### **1.24 Проекційні телевізори і проектори**

Зображення виходить на просвітному (для проекційних ТВ) або відбиваючому (для проекторів) екрані, граничний розмір якого для проекційних ТВ становить близько 60", і до декількох метрів – для проекторів. Для перегляду фільмів на проекторах приміщення повинне бути затемнене. За принципом дії серед відеопроєкторів і проекційних телевізорів виділяють такі різновиди.

*На кінескопах (CRT)*

У проекційних телевізорах і проекторах на кінескопах використовуються три дуже яскраві, невеликі кінескопи основних кольорів, зображення з яких через оптичну систему і дзеркало потрапляє на екран. Недоліки: невисока яскравість зображення, проблеми зведення, "вигоряння" нерухомої частини зображення при тривалому перегляді. Переваги: ці проектори цінуються аматорами HiEnd за природну



передачу кольору (а це суттєво). Проекційні ТВ цінуються за те ж, але вони громіздкі і важкі.

#### *На РК (LCD) матрицях*

Проекційні 088 Юс2телевізори і проектори на РК (LCD) матрицях мають три матриці основних RGB-кольорів або одну триколірну матрицю, зображення з яких проектується на екран через оптичну систему. Світло утворюється потужною лампою. Для триматричної системи характерний поділ спектра світла лампи на колірні складові оптичним способом. Недоліками LCD систем є неідеальна передача кольору і недостатня швидкість: за об'єктами, що рухаються, видний "шлейф". Крім того, оскільки ці матриці працюють на просвіт (а просвічує їх досить потужна лампа), виникає проблема відводу тепла від матриць. Якість триматричної системи істотно вища за одноматричну.

Переваги системи – порівняно невисока вартість, яскравий екран, невеликі габарити (проектори маленькі, зручні для перенесення). Останнім часом з'являються системи з LCD-матрицями відбиваючого типу, що позбавлені багатьох цих недоліків і наближаються за якістю до проекторів на основі мікродзеркальної технології при істотно меншій вартості.

#### *Проектори на мікродзеркалах (DLP – DigitalLightProcessing – "цифрова обробка світла")*

В основі системи лежить мікросхема – DMD-чіп, всередині якого знаходяться електростатично керовані мікродзеркала (близько двох мільйонів), кожне з яких формує точку зображення у визначеному місці екрана. DLP проектори розрізняють за кількістю DMD-чіпів (від одного до трьох).

Найякісніша система, – природно, із трьома DMD-чіпами. Промінь світла від потужної лампи розділяється призмами на три кольорові складові, кожна з яких потрапляє на свій мікродзеркальний чіп, і далі, через оптичну систему, – на екран.

Недоліків, крім вартості, не відзначено. Для DLP-проекторів, на відміну від інших систем, характерна висока контрастність. Дуже точна передача кольору, висока яскравість, дуже чіткі контури зображень.

Істотно знизити вартість системи дозволяє застосування тільки одного мікродзеркального чіпу, при цьому у систему додається обертовий кольороподільний диск. На диску знаходяться віконця, послідовно пофарбовані в основні (RGB, іноді і прозорий, для підвищення яскравості) кольори. Промінь від лампи, послідовно зафарбовуючись в основні кольори, потрапляє на мікродзеркальний чіп, далі на екран – використовується властивість ока усереднювати зображення. Однак є один недолік – за рахунок послідовної передачі кольору при переведенні погляду з однієї частини екрана на іншу, помічається на екрані щось подібне до веселки. В іншій системі практично не поступається тричіповим.

Є й інше рішення – тільки два чіпи, з тим же кольороподільним диском, тільки використовуються інші кольори. При цьому один чіп використовується тільки для червоного кольору, другий – для всього іншого. Усі переваги залишаються. Висока вартість DLP-систем зумовлена тим, що мікродзеркальні чіпи виготовляє тільки фірма Texas Instruments.

Загальним недоліком для проекційних систем з потужною лампою є термін служби лампи – кілька тисяч годин, це "витратний матеріал", що коштує залежно від типу від ста до тисячі доларів. Застосування такої потужної лампи потребує необхідності додаткового охолодження, але

це вентилятор, що шумить. При перепадах напруги живлення лампа різко перегрівається (вентилятор не працює, тепло не відводиться), і лампу доводиться міняти достроково.

*Відеопроєктори* на сьогодні дозволяють створити домашній кіно-театр найвищого рівня, максимально наближений до дійсного кінотеатру. Це позбавляє необхідності затемнення приміщення перед переглядом і придбання екрана. Відеопроєктор дозволяє одержати зображення найкращої якості, з найвищими показниками контрастності, яскравості тощо. Розміри зображення, що одержується, можуть досягати декількох метрів по діагоналі.

При цьому самі відеопроєктори досить невеликі за розмірами. Екран оснащується так, щоб його можна легко зібрати, загорнути, розгорнути, сховати, причому при відповідному устаткуванні ці операції виконуються за допомогою пульта ДУ.

## **1.25 ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ**

Аналоговий телевізійний сигнал відповідно до його природи повторює розподіл яскравості і кольоровості на шляху, по якому проводиться розгортка зображення, тобто він дійсно є електричним аналогом зображення. Тому системи телебачення, в яких використовується для передачі консервації або яких-небудь інших завдань обробки аналоговий сигнал, називаються системами аналогового телебачення. Впродовж декількох десятиліть телебачення було аналоговим, і лише в кінці 70-х років розробникам телевізійних систем довелося зіткнутися з обмеженнями аналогових методів що серйозно звужують можливості подальшого розвитку телебачення.

Однією з головних причин цих обмежень слід вважати слабку завадостійкість аналогового сигналу, який піддається в кожному з пристроїв телевізійного тракту дії шумів і інших завад. Сучасна ж мовна ТВ система є вельми довгим ланцюгом пристроїв перетворення і передачі сигналів, число ланок якої з розвитком телебачення значно збільшується.

У будь-якій ланці цього складного ланцюга виникає неминуча втрата якості зображення. Пов'язано це з тим, що в кожному пристрої, при будь-якому з перетворень, якому піддається сигнал, на нього впливають завади. При аналогових методах підсилення і обробки ТВ сигналу ці завади накопичуються від ланки до ланки, і зв'язно, тим сильніше, чим більше в ТВ системі процесів обробки, переприймання або перезаписів сигналу. Поки подібних перетворень небагато, сумарні спотворення ще можуть бути непомітні. Але з розвитком телебачення число перетворень дуже швидко зростає. Збільшуються відстані між передавальними і приймальними пунктами, зростає номенклатура і число різноманітних відеоефектів, що різноманітять передачу, але вимагають додаткових перетворень, ускладнюється технологія монтажу ТВ програм. У таких системах проблема забезпечення необхідної завадостійкості стає головною. Істотно зменшити спотворення від завад при формуванні телепередачі, її консервації або передачі дозволяють цифрові методи, вже відомі в техніці зв'язку. Тому останніми роками основна увага приділяється розвитку цифрового телебачення.

*Цифрове телебачення* – область телевізійної техніки, в якій операції обробки, консервації і передачі телевізійного сигналу пов'язані з його

го перетворенням в цифрову форму.

Цифрові методи окрім забезпечення високої якості зображення при дії значних завад мають і інші достоїнства. Так, при однаковій пропускній спроможності каналу вони дозволяють передавати більше число програм в порівнянні з аналоговим телебаченням; завдяки зменшенню необхідних операцій по налаштуванню на етапі виробництва вони є більш технологічними; при цьому буде вищою експлуатаційна надійність цифрової апаратури. Набагато легше, порівняно з аналоговою технікою, досягається універсальність роботи цифрової апаратури в різних світових стандартах телебачення. Краща завадозахищеність цифрового сигналу дозволяє понизити вимоги до його потужності в процесі доставки до приймальних пристроїв. Повторення зображення характерні для аналогового телебачення при багатопроменовому прийомі, цифровими методами можуть бути практично повністю виключені.

Нарешті, цифрові методи дозволять включити телебачення в єдину світову інформаційну систему через телевізійні інтерактивні канали, а також реалізувати можливість прийому телепередач через підключення до мережі Інтернет.

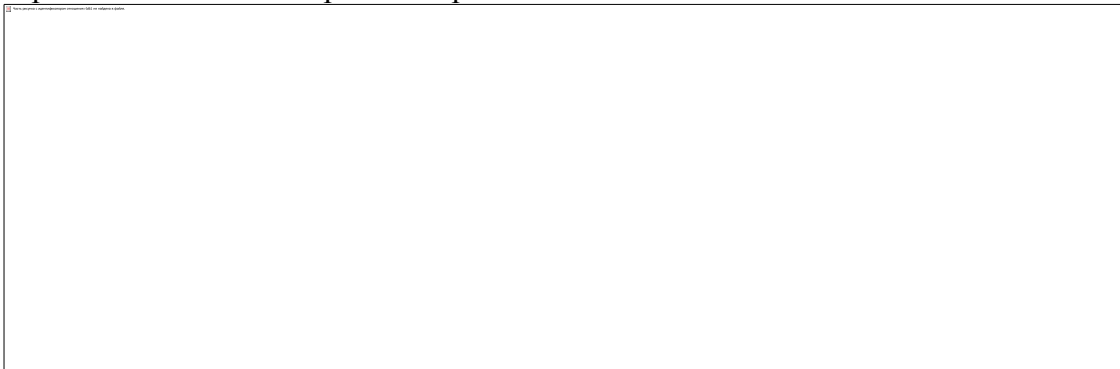
Можна представити системи цифрового телебачення двох типів. У системі першого типу, що є повністю цифровою, перетворення

необхідного для передачі зображення в цифровий сигнал і зворотне перетворення цифрового сигналу в зображення на екрані приймача здійснюються безпосередньо в перетворювачах світло-сигнал і сигнал-світло. У всіх ланках тракту передачі зображення інформація передається в цифровій формі. У перспективі створення таких перетворювачів цілком реально. Проте в даний час їх ще не існує, а тому доцільно розглядати цифрові ТВ системи другого типу, в яких з датчиків виходить аналоговий ТВ сигнал, потім він перетвориться в цифрову форму піддається необхідній обробці, передачі або консервації, а потім знову набуває аналогової форми. При цьому використовуються існуючі датчики аналогових ТВ сигналів і перетворювачі сигнал-світло в телевізійних приймачах. У цих системах на вхід тракту цифрового телебачення поступає аналоговий ТВ сигнал, потім він кодується, тобто перетворюється в цифрову форму.

## **1.26 УЗАГАЛЬНЕНА СТРУКТУРНА СХЕМА СИСТЕМИ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ**

Аналоговий сигнал, що підлягає перетворенню, поступає на вхід цифрової ТВ системи (рисунки 1.36). Цей сигнал піддається попередній обробці для спрощення наступних цифрових перетворюючих пристроїв. Наприклад, повний колірний сигнал розділяється в пристрої попередньої обробки на сигнал яскравості і кольороорієнтаційні сигнали з тим, щоб цифрові перетворення проводилися з кожним з трьох сигналів окремо. Можна ввести в аналоговий сигнал певні передспотворення для поліпшення суб'єктивної якості вихідного зображення і тому подібне. Не дивлячись на те що багато з цих попередніх операцій по обробці можуть бути зроблені і в цифровій формі на певному етапі розвитку технічно простіше їх виконувати в аналоговій формі. Далі, підготовлений для перетворення аналоговий сигнал поступає на пристрій кодування, в якому він дискретизується, квантується і проходить попереднє кодування. В отриманому таким чином сигналі міститься значна надлишковість, яка може бути певною мірою скорочена додатковим, ефективнішим коду-

ванням одним з методів компресії. Потім цифровий сигнал піддається так званій прямій корекції помилок, що виконується в пристрої каналного кодування, і нарешті поступає на вихідний перетворювач (наприклад, на модулятор передавального пристрою). У приймальному пристрої здійснюються зворотні операції.

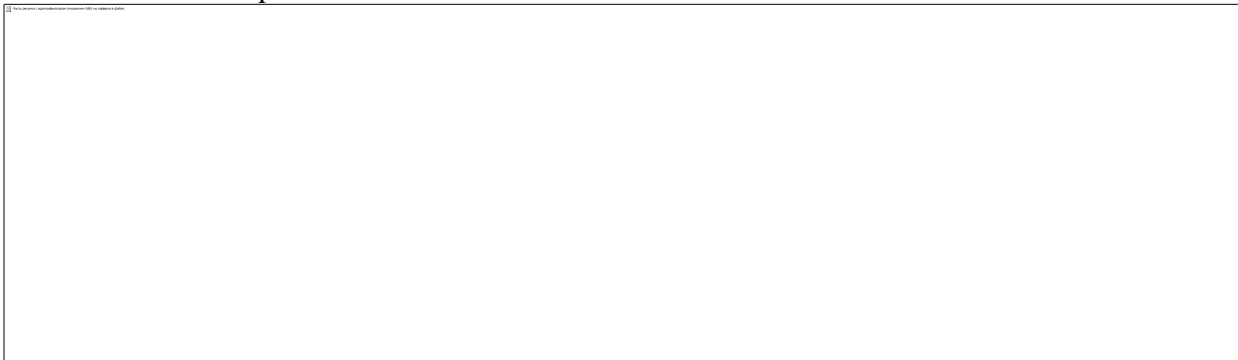


**Рисунок. 1.36**

Наведена на рисунку 1.36 схема є узагальненою і залежно від завдань, що стоять перед цифровою системою, вона може видозмінюватись. Наприклад, система взагалі не міститиме аналогових ланок, якщо використовувати перетворювачі світло-сигнал і сигнал-світло, що генерують і перетворюють сигнал в цифровому вигляді. В іншому випадку можуть бути відсутніми пристрої, що підвищують завадостійкість сигналу в каналах зв'язку. Це допустимо за відсутності протяжних ліній зв'язку і, зокрема, при цифровій обробці сигналу усередині одного телецентру. У тому ж випадку не обов'язкові і пристрої, що усувають в ТВ сигналі надлишковість і скорочують цифровий потік.

**1.27 ЦИФРОВА ФІЛЬТРАЦІЯ ТЕЛЕВІЗІЙНОГО СИГНАЛУ**

Однією з важливих особливостей цифрового сигналу є можливість здійснення різних перетворень над ним, що дозволяє у багатьох випадках поліпшити якість зображення, збагатити технологію ТВ мовлення, зробити надійнішим і простішим в експлуатації устаткування. Звичайно, і в аналоговому телебаченні здійснюється всіляка обробка сигналу. Проте цифрові методи у багатьох випадках мають переваги в точності, простоті алгоритму перетворення, в компактності устаткування. Розглянемо узагальнену структурну схему пристрою обробки ТВ сигналу (рисунок 1.37). В аналогово-цифровому перетворювачі (АЦП) проводяться операції дискретизації, квантування і кодування, що розглядалися раніше. Швидкість цифрового потоку ІКМ сигналу може бути достатньо високою, тому для забезпечення роботи процесора, що здійснює обробку сигналу в реальному масштабі часу, цей потік розподіляють на декілька паралельних каналів.



## Рисунок 1.37

твореного в АЦП сигналу і пропорційна числу каналів. Операція розпаралелювання цифрового потоку виконується в демультимплексорі (ДМ). Процесор складається з запам'ятовуючого пристрою (ЗП), арифметичного пристрою (АП) і пристрою управління (ПУ), що узгоджує роботу складових частин процесора. Арифметичний пристрій, яким керує за заданою програмою ПУ, реалізує спільно з ЗП заданий алгоритм обробки. Іншими словами, АП виконує цифрову фільтрацію сигналу. Сукупність ЗП і ПУ забезпечує необхідні часові перетворення сигналу. Ці перетворення пов'язані з вимогою узгодження в часі вхідного сигналу з процесом обробки, з необхідністю усунення часових спотворень у вхідному сигналі, зі всілякими завданнями, що виникають при створенні спецефектів, при синхронізації джерел сигналу та ін. Сигнали, що знімаються з паралельних каналів процесора, об'єднуються в один цифровий потік в мультимплексорі (М). При необхідності зворотного перетворення цифрового сигналу в аналоговий після мультимплексора включають цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП).

Цифрова фільтрація здійснюється в пристрої, що об'єднує в собі функції пам'яті окремих відліків сигналу і логічних елементів, в яких виконуються арифметичні операції над цими відліками. Цю сукупність пристроїв називають цифровими фільтрами. Сама ж фільтрація зводиться до перетворення послідовності відліків вхідного сигналу  $x_0, x_1, x_2, \dots, x_m$  в послідовність відліків вихідного сигналу  $y_0, y_1, y_2, \dots, y_m$  у відповідності до вибраного алгоритму перетворення. Від аналогової фільтрації цифрова фільтрація сигналу відрізняється лише способом фізичної реалізації. До достоїнств цифрової фільтрації відносяться: висока часова і температурна стабільність характеристик, простота перебудови фільтра зміною частоти дискретизації, можливість повторення фільтра з ідентичними параметрами. Проте не у всіх випадках технічна реалізація цифрових фільтрів простіше аналогових; крім того, цифрова фільтрація може супроводжуватися проявом в зображенні шумів квантування.

## Список літератури

### 1.Основна

176. Телебачення / Під ред. В.Е. Джаконії. – М.: Радіо та зв'язок, 1986.
177. Домбругов Р.М. Телебачення. – Київ : Вища школа, 1988.
178. Проектування та технічна експлуатація телевізійної апаратури / Під ред. С.В. Новаковського. – М : Радіо та зв'язок, 1989.
179. Ю.Б. Зубарьов, Г.Л. Глоріозов. Передача зображень – М. : Радіо та зв'язок, 1989.
180. А.В. Виходець, В.І. Коваленко, М.Т. Кохно – Звукове та телевізійне мовлення; - М. : Радіо та зв'язок, 1987.
181. Цифрове телебачення / Під ред. М.І. Кривошеєва. - М. : Радіо та зв'язок, 1980.
182. Певзнер Б.М. Якість кольорових ТВ зображень : видання друге ; М. : Радіо та зв'язок, 1988.
183. Радіорелейні та супутникові системи передачі : Підручник для вузів / Під ред. А.С. Немировського. - М. : Радіо та зв'язок, 1986. – 392 с

184. Системи радіозв'язку : Підручник для вузів / Під ред Л.Я. Калашникова - М. : Радіо та зв'язок , 1987. – 352 с
185. Посібник по радіорелейному зв'язку / Під ред С.В. Бородича - М. : Радіо та зв'язок , 1981. – 416 с
186. Супутниковий зв'язок та мовлення. Посібник / Під ред. Л.Я. Кантора - М. : Радіо та зв'язок , 1988. – 344 с
187. Системи космічного зв'язку. Посібник під ред. Б.В. Одинцова , Е. А. Сукачова; Одеса 1989.
188. Сучасні системи радіозв'язку в прикладах та задачах. Посібник під ред. Б.В. Одинцова , Е. А. Сукачова; Одеса 1990.
189. Мамчев Г.В. «Основы радиосвязи и телевидения», 2007 год;
190. Джакония В.Е., Гоголь В.А., Друзин Я.В. «Телевидение (4-е издание), 2007
191. Локшин Б.А. «Телевизионное вещание. От студии к телезрителю», 2001
192. Кириллов В.И., Ткаченко А.П. «Телевидение и передача изображения», 1988
193. Самойлов В.Ф., Хромой Б.П. «Основы цветного телевидения», 1982
194. Ельяшкевич С.А., Юкер А.М. «Усовершенствование телевизоров ЗУСЦТ и 4УСЦТ», 1994
195. Быков Р.Е., Сигалов В.М., Эйсенгардт Г.А. «Телевидение», 1988
196. Ельяшкевич С.А. «Справочное пособие. Цветные телевизоры ЗУСЦТ», 1990
197. Зубарев Е.Б., Кривошеев М.И., Красносельский И.Н. «Цифровое телевизионное вещание. Основы и методы», 2001
198. Корытов В.И «Телевизоры ЗУСЦТ. Ремонт и настройка», 1999
199. Смирнов А.В. «Основы цифрового телевиденья», 2001
200. Ельяшкевич С.А., Песков А.Е. «Телевизоры ЗУСЦТ, 4УСЦТ, 5УСЦТ. Устройство, регулировки, ремонт»
201. Шумихин Ю.А. «Телевизионный сигнал», 1968
202. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 1 Принципи радіозв'язку, 2014
203. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 2 Радіопередавальні пристрої, 2014
204. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 3 Радиоприймніе устройства, 2014
205. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 4 Физические основы телевидения, 2014
206. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 5 Основные принципы функционирования телевизионных систем, 2014
207. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 6 Формирование телевизионного сигнала, 2014
208. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 7 Конструктивні особливості телевізійної апаратури, 2014
209. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 8 Особенности построения телевизионных систем, 2014
210. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 9 Сети телевизионного вещания, 2014

## 2.Додаткова

51. Мордуховіч Л.Г., Степанов А.П. Системи радіозв'язку. Курсове проектування. - М. : Радіо та зв'язок , 1987. – 192 с
52. Спілкер Дж. Цифровий супутниковий зв'язок / пер. з англ. ; Під ред. В.В. Маркова - М. : Зв'язок , 1979. – 592 с
53. Одинцов Б.В., Сукачов Е.А. , Гуцаюк А.К. Цифрові системи радіозв'язку : Навчальний посібник / ОЕІС ім. А.С. Попова – Одеса , 1988. – 56 с.
54. Одинцов Б.В., Сукачов Е.А. , Гуцаюк А.К. Космічний зв'язок : Навчальний посібник / ОЕІС ім. А.С. Попова – Одеса , 1989. – 56 с.
55. Новаковський С.В. Колір в кольоровому телебаченні - М. : Радіо та зв'язок, 1988.
56. Кривошеєв М.І. Основи телевізійних вимірювань. : видання 3 – е. - М. : Радіо та зв'язок , 1989.
57. ГОСТ 7845 – 79. Система мовленнєвого телебачення. Основні параметри , методи вимірювань.
58. Прийом телебачення та радіомовлення з супутників / Д.Ю. Бем , М.Є. Ільченко , А.П. Житков, Л.Г. Гассанов. – К.: Техніка , 1992. – 176 с.
59. Довідник. Індивідуальні відео – засоби. С.А. Сєдов – Київ 1990.
60. В.Бондарьов , Г.Трьостер , В. Чернега. Цифрова обробка сигналів : методи та засоби. Навчальний посібник для вузів. Харків 2001.

## **9. Особенности построения телевизионных систем**

- 1.1. Принципы передачи сигналов вещательного телевидения по Радиоканалу
- 1.2. Принципы передачи сигнала вещательного телевидения по радиоканалу
- 1.3. Вещательные системы цветного телевидения
- 1.4. Система цветного телевидения SECAM-III
- 1.5. Краткие сведения о системах цветного телевидения NTSC, PAL
- 1.6. Способы модуляции, используемые в цифровом телевидении
- 1.7. Квадратурная амплитудная модуляция (QAM)
- 1.8. Квадратурная фазовая манипуляция (QPSK)
- 1.9. Способ частотного уплотнения с ортогональными несущими (OFDM)
- 1.10. Многоуровневая амплитудная модуляция с частично подавленной несущей и боковой полосой частот (VSB)
- 1.11. Стандарты цифрового наземного телевизионного вещания
- 1.12. Концепция построения цифровых телевизионных систем
- 1.13. Принципы функционирования стандарта цифрового наземного телевидения DVB-T
- 1.14. Классификация отечественных современных приемников
- 1.15. Структурная схема телевизора унифицированной модели четвертого поколения
- 1.16. Конструкция телевизоров пятого поколения.
- 1.17. Приемные устройства цифровых телевизионных сигналов.

## 1.18. Современные телевизоры. Телевизоры с технологией SMARTTV

### 1. Особенности построения телевизионных систем

#### 1.1. Принципы передачи сигналов вещательного телевидения по радиоканалу.

##### История появления телевидения

Считается, что британским ученым, а именно Айртону и Пери, принадлежит идея использовать *фотоэлементы*, для того чтобы передавать изображения при помощи электричества. Но в 1880 году воплотить в жизнь эту идею было просто невозможно, так как ток, который генерировался, был еще очень слабым.

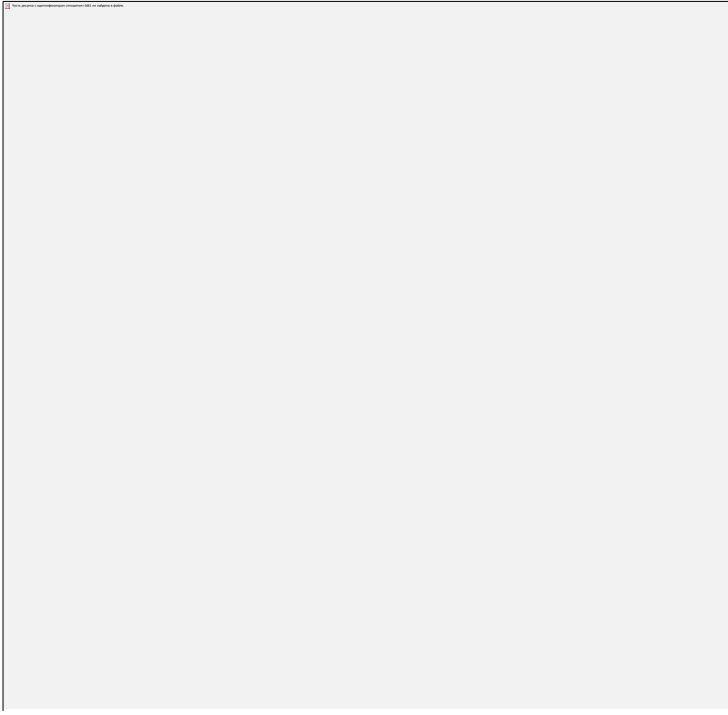
Очередной важный шаг принадлежит немецкому ученому Паулю Нипкову, который в 1884 г. дал начало идее о вращающихся дисках с расположенными на них по спирали круглыми отверстиями, через которые пропускали свет к фотоэлементу от участков изображения (поверхности предмета) в конкретной последовательности (рис.1). В теории, изменения силы тока, который генерируется фотоэлементом мог соответствовать изменениям яркости свечения лампы приемника. Диск, такой же, как в передатчике, мог воспроизводить *изображение*, которое пропускало свет и меняло яркости на экране в той же последовательности. Но для того чтобы вместо ярких вспышек появлялось четкое *изображение*, то диск должен вращаться гораздо быстрее, чем это заметить мог глаз. Но этот диск тоже не получилось применить на практике по причине которая возникла у ученых Айртона и Перри.

Первая работоспособная система *телевидения* появилась после того как американец Ли де Форестом изобрел электронную лампу-триода, которая позволила усилить слабый сигнал. Шотландский изобретатель Джон Берд в 1926 г., объединил в одно целое изобретения Нипкова и де Фореста, и продемонстрировал передачу телевизионных сигналов посредством радиоволн. После этого в 1929-31 годах почти одновременно в нескольких развитых странах начало стремительно развиваться телевизионное вещание на базе оптико-механических систем.

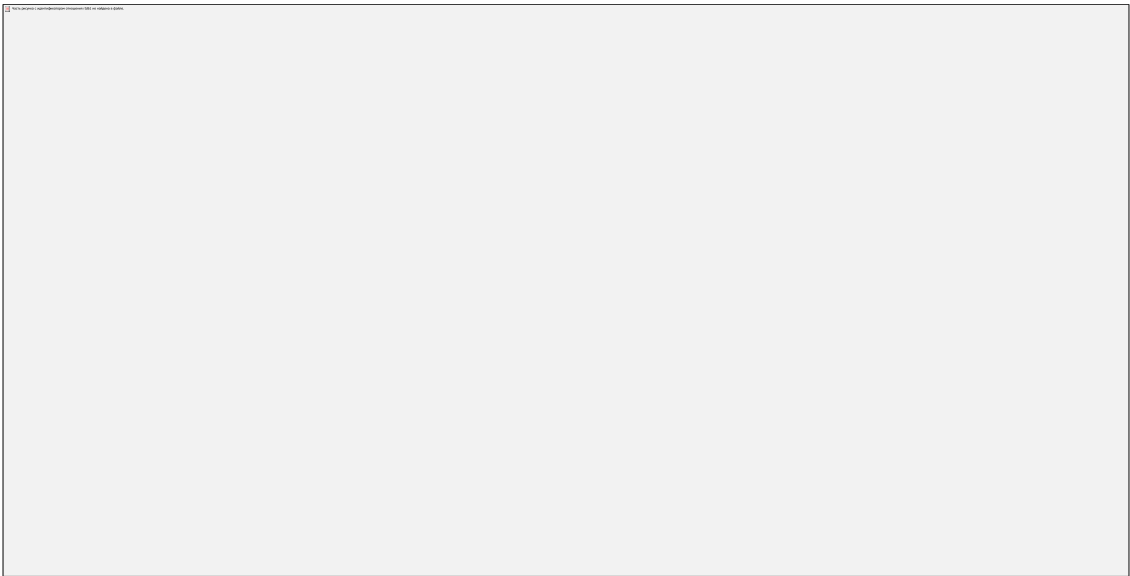
Владимир Зворыкин создал в 1931 году в Соединенных Штатах Америки первую передающую *электронную трубку (икonosкоп)*, что в свою очередь положило начало электронному телевидению (рис. 2). Первые телевизионные системы Зворыкина имели картинку, которая разбивалась на 343 строки, но в послевоенное время горизонтальная линейная развертка в серийных системах была увеличена до 625 строк, а в США до 525 строк. Это очень значительно увеличивало качество изображения.

Для телевизионного вещания стандартизованы три системы цветного телевидения: NTSC, SECAM и PAL. В результате исследований, была разработана система SECAM, которая стала актуальной для работы, так же как и система PAL. Регулярное цветное вещание по данным системам началось в 1967 году.





**Рис. 1. Первое изобретение Пауля Нипкова для передачи изображения**



**Рис. 2. Иконоскоп созданный Владимиром Зворыкиным**

## **1.2. Принципы передачи сигнала вещательного телевидения по радиоканалу**

Для передачи телевизионных сигналов по радиоканалам в принципе можно использовать как АМ, так и ЧМ. В случае ЧМ для обеспечения высокой помехоустойчивости передачи необходимо, чтобы индекс модуляции  $m_{\text{чм}}$  был равным 3...5. При этом полоса частот  $\Delta f_{\text{чм}}$ , занимаемая частотно-модулированным сигналом, будет определяться соотношением:

$$\Delta f_{\text{чм}} \cong 2f_B + 2\Delta f_a, \quad (1)$$

где  $\Delta f_{\text{чм}} = m_{\text{чм}} f_B$  - девиация частоты.

Следовательно, для передачи одного телевизионного сигнала потребуется радиоканал с полосой частот порядка 50...70 МГц. Такое расширение полосы частот радиоканала привело бы к резкому сокращению общего числа передаваемых телевизионных сигналов в диапазоне частот, отведенном для телевизионного вещания. В современной сети телевизионного вещания для передачи телевизионных сигналов по радиоканалам используется только АМ, несмотря на более низкую помехоустойчивость и худшие энергетические показатели радиопередатчиков по сравнению с ЧМ. Основное достоинство АМ заключается в том, что амплитудно-модулированный сигнал занимает сравнительно узкую полосу частот.

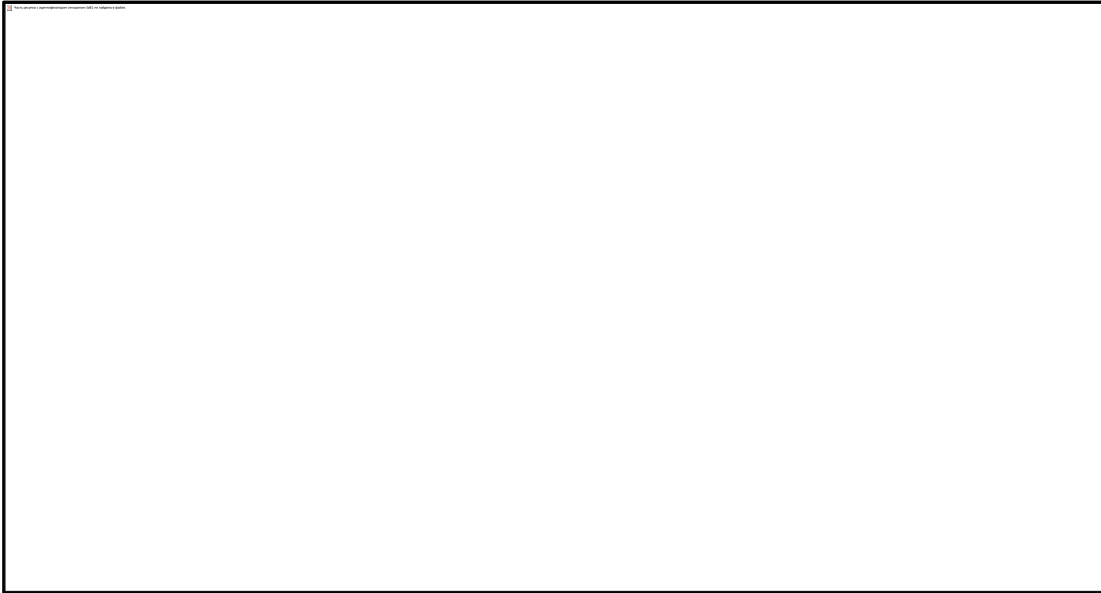
Как известно, АМ несущей частоты  $f_0$  приводит к образованию двух боковых частотных полос - нижней и верхней, каждая из которых равна ширине полосы частот модулирующего сигнала. Если максимальная модулирующая частота  $f_m = 6$  МГц, что соответствует верхней частоте телевизионного сигнала, то спектр модулированных частот будет равным  $f_0 \pm f_m$ , т.е. займет полосу приблизительно в 12 МГц. Поэтому для возможности передачи модулированного телевизионного сигнала в стандартном радиоканале, имеющем полосу пропускания 8 МГц, нижняя боковая полоса частот модулированного телевизионного сигнала частично подавляется, что приводит к устранению избыточности информации в амплитудно-модулированном телевизионном сигнале.

Остаток нижней боковой полосы частот составляет 1,25 МГц. При этом номинальная полоса частот радиоканала, отводимая для передачи непосредственно телевизионного сигнала составляет 7,625 МГц (рис.3).

Причем ослабление частотных составляющих -1,25 и 6,375 МГц относительно несущей частоты изображения составляет 20 дБ. Часть спектра нижней боковой полосы частот шириной 0,75 МГц передается в неискаженном виде.

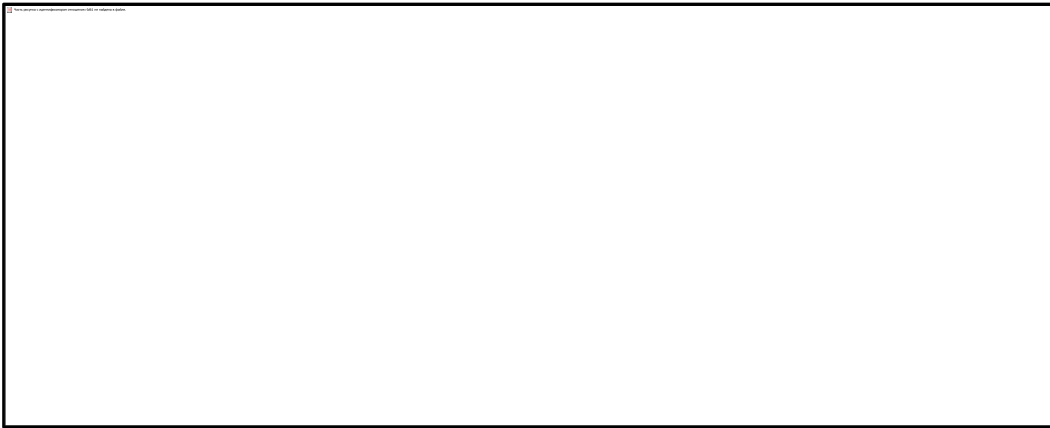
Крутизна склона нижней боковой полосы частот, начинающегося от 0,75 МГц ниже несущей частоты изображения, составляет 40 дБ/МГц.

При этом крутизна склона верхней боковой полосы частот, рядом с которым расположен спектр сигнала звукового сопровождения, оценивается величиной более 50 дБ/МГц.

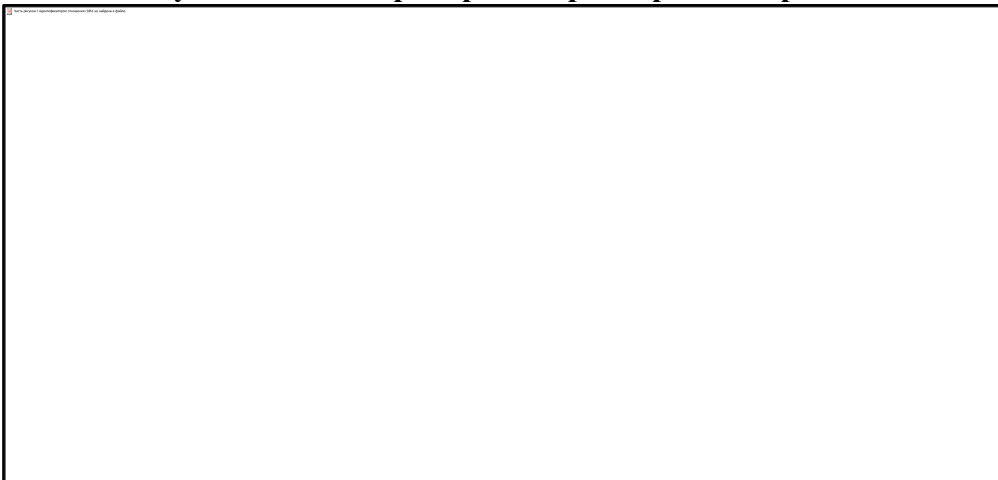


**Рис. 3. Номинальные амплитудно-частотные характеристики радиопередатчиков изображения и звукового сопровождения**

При таком способе передачи телевизионного сигнала по радиоканалу амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) тракта изображения телевизионного приемника должна иметь форму, представленную на рис. 4.



**Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика радиотракта изображения телевизионного приемника**



**Рис. 5. АЧХ усилителя промежуточной частоты изображения телевизионного приемника**

Из рис. 5 следует, что в телевизионных приемниках уровень несущей частоты изображения должен ослабляться на 6 дБ, т.е. в 2 раза, а частотная составляющая 0,75

МГц нижней боковой полосы должна быть ослаблена на 20 дБ, т.е. в 10 раз, по сравнению с уровнем опорной частоты 1,5 МГц в спектре верхней боковой полосы. При выполнении данных условий после детектирования телевизионного радиосигнала суммарное номинальное напряжение, образующееся на нагрузке детектора от одинаковых частотных составляющих нижней и верхней боковых полос, на любой частоте спектра в пределах 0...6 МГц всегда будет равно единице, если отсчет вести в относительных величинах. На практике это означает, что форма результирующей АЧХ тракта передачи телевизионного радиосигнала от модулятора радиопередатчика до нагрузки детектора телевизора будет равномерной в заданной полосе частот 6 МГц.

В каждом стандартном радиоканале шириной 8 МГц кроме телевизионного сигнала передается соответствующий ему сигнал звукового сопровождения (см. рис. 3). Причем радиосигнал звукового сопровождения передается с помощью ЧМ несущей частоты звука, что обеспечивает высокую помехоустойчивость тракта звукового сопровождения. Максимальная девиация частоты составляет  $\pm 50$  кГц при номинальной ширине полосы частот, занимаемой радиосигналом звукового сопровождения, не более 0,25 МГц.

Разные виды модуляции телевизионного и звукового радиосигналов в значительной мере облегчают их разделение в телевизорах. На практике мощность радиопередатчика звукового сопровождения составляет 10...20% от мощности телевизионного радиопередатчика в моменты передачи СИ. Соотношение мощностей радиопередатчиков изображения и звукового сопровождения выбирается из условия создания одинаковых радиусов действия обоих передатчиков при приеме на стандартные телевизионные приемники.

Способ установки элементов передающей телевизионной антенны ориентирует электрический и магнитный векторы электромагнитной волны, т.е. определяет плоскость поляризации электромагнитного излучения. В свободном пространстве горизонтальная и вертикальная поляризации электромагнитных волн не имеют друг перед другом каких-либо преимуществ. Однако в реальных условиях, особенно в городах с большим количеством вертикально отражающих объектов, например домов, при горизонтальной поляризации обеспечивается меньший уровень отраженных интерферирующих волн, которые вызывают замирание сигнала и помехи на телевизионном изображении в виде дополнительных контуров. Кроме того, при горизонтальной поляризации наблюдается меньшее воздействие промышленных помех, в частности помех от систем зажигания автотранспорта, которые имеют вертикально поляризованную составляющую.

Наконец, конструкции телевизионных антенн с узкими диаграммами направленности для приема горизонтально поляризованных электромагнитных волн оказываются более простыми, их легче устанавливать на металлических опорах. Поэтому при организации телевизионного вещания в большинстве стран мира предпочтение было отдано горизонтальной поляризации электромагнитного излучения.

### **1.3. Вещательные системы цветного телевидения**

На сегодняшний день существуют три основных стандарта цветного телевидения, использующиеся для аналогового вещания.

Первым в мире стандартом, получившим массовое распространение, стал NTSC. Второй после США страной, утвердившей его в качестве вещательного, в 1958 году стала Куба, но после революции с 1959 года вплоть до 1975 цветное вещание было прекращено.

Следующими территориями действия NTSC стали Япония (в 1960 году), Мексика (1963) и Канада (1966). Постепенно система распространилась почти на весь

американский континент, в том числе, на часть Южной Америки. В процессе эксплуатации выявился главный недостаток NTSC, обусловленный особенностями квадратурной модуляции: неустойчивость цветового тона изображения, который нужно было постоянно подстраивать регулятором «NTSC Tint». В США появился даже шуточный бэкроним названия системы: «Никогда дважды тот же цвет» (англ. *NeverTwicetheSameColor*), отражающий её особенности. Попытки решить проблему зависимости цвета от фазовых искажений поднесущей привели к созданию двух других систем, появившихся в Европе.

Здесь внедрение цветного телевидения происходило гораздо медленнее из-за послевоенной разрухи. Американский стандарт с нестабильной цветопередачей не находил поддержки у местных специалистов. Разработка собственных систем затянулась до конца 1960-х годов, и регулярное цветное вещание не велось. Но к моменту принятия стандартов основные технологические проблемы производства приёмников и студийного оборудования уже были решены за океаном, поэтому распространение цветного телевидения в Европе происходило гораздо быстрее, хотя и позже. Большинство стран Западной Европы в 1966 году в качестве стандарта выбрали PAL, а Франция и страны СЭВ годом позже — SECAM. Позднее система PAL начала использоваться в Азии, Австралии и ряде стран Африки, а SECAM — на Ближнем Востоке. К середине 1970-х чёрно-белое вещание было практически прекращено во всём мире. Дальнейшее развитие технологий выявило недостатки стандарта SECAM, от которого отказались в большинстве стран бывшего советского блока. В то же время, PAL получил наиболее широкое распространение: в конце 1990-х годов передачи по этому стандарту смотрели в 62 странах 67,8 % телезрителей всего мира.

Современные стандарты аналогового цветного телевидения предусматривают передачу сигнала яркости и двух цветоразностных, до сих пор поддерживая совместимость с чёрно-белыми приёмниками. При этом, цветоразностные сигналы несут информацию о соотношении синего и красного сигналов с яркостным, а зелёный сигнал получается путём их вычитания непосредственно в декодере приёмника. Соотношение сигналов подбирается, исходя из спектральной чувствительности человеческого глаза, и стандартизировано для основных систем. При этом, полоса частот, занимаемая цветоразностными сигналами, может быть ограничена благодаря пониженной чувствительности человеческого зрения к чёткости цветного изображения.

С распространением цифрового телевидения новые стандарты ATSC, DVB-T, DVB-T2 и ISDB-T пришли на смену существовавшим аналоговым в большинстве стран мира. Развитие новых типов устройств отображения, таких как плазменные панели и жидкокристаллические дисплеи, не привнесло принципиальных изменений в способ синтеза цвета. Такие экраны используют ту же технологию пространственного аддитивного цветосмещения, ставшую основой цветных кинескопов с мозаичным люминофором трёх основных цветов.

#### **1.4. Система цветного телевидения SECAM-III**

**SECAM** или **SÉCAM** (от фр. *Séquentiel couleur avec mémoire*, позднее *Séquentiel couleur à mémoire* — последовательный цвет с памятью; произносится [секáм]) —

система аналогового цветного телевидения, разработка которой началась во Франции в конце 1950-х годов. В 1965—66 годах совместно с СССР была доработана, став первым европейским стандартом цветного телевидения. В результате дальнейшего совершенствования, проходившего в процессе эксплуатации, система приобрела окончательный вид и название SECAM—III. Регулярное вещание в этом стандарте было начато 1 октября 1967 года одновременно в Москве и Париже.

### Описание



**Рис. 6. Спектр телевизионного сигнала SECAM. Серое поле соответствует сигналу яркости, а жёлтое — сигналу цветности. Вертикальные линии обозначают составляющие поднесущей, соответствующие красному (4,406 МГц) и синему (4,25 МГц) цветоразностным сигналам при отсутствии модуляции.**

Так же, как в других системах цветного телевидения — NTSC и PAL — для совместимости с чёрно-белыми телевизионными приёмниками вместо непосредственной передачи трёх сигналов основных цветов осуществляется передача сигнала яркости **Y**, соответствующего чёрно-белому изображению, и двух цветоразностных сигналов **R-Y** и **B-Y**, несущих информацию о красном и синем цветах соответственно. Недостающая информация о зелёном цвете **G** восстанавливается в приёмном устройстве вычитанием суммы цветоразностных сигналов из яркостного в соответствии с соотношением:

$$\text{[Blank box]}, \quad (2)$$

В случае просмотра программы на чёрно-белом телевизоре используется только сигнал яркости, ничем не отличающийся от видеосигнала чёрно-белого телевидения. *Сигнал цветности*, который содержит информацию о цветоразностных сигналах, чёрно-белым телевизором не принимается. Он передается на вспомогательной несущей частоте — *поднесущей*, которая принимается блоком цветности цветных телевизоров, содержащим декодер, преобразующий сигналы поднесущей и яркости в сигналы трёх цветов. Сигнал цветности передается при помощи частотной модуляции поднесущей, для повышения устойчивости к амплитудным и фазовым искажениям, к которым особенно чувствительна система NTSC, разработанная ранее. Для уменьшения видимости поднесущей на экране её амплитуда не превышает 25% от размаха сигнала яркости, а сигналы цветности подвергаются в передающем устройстве предискажениям для повышения помехозащищённости.

**Формирование всех сигналов системы SECAM**, передаваемых по каналу связи, осуществляется в кодирующем устройстве. Видеосигналы основных цветов  $E'_R, E'_G, E'_B$ , подвергнутые гамма-коррекции (знак «штрих» означает гамма-коррекцию сигналов), с

выхода камерного канала поступают на кодирующую матрицу 1, с помощью которой формируется сигнал яркости  $E'_Y$  и два разностных сигнала  $D'_R$  и  $D'_B$ .

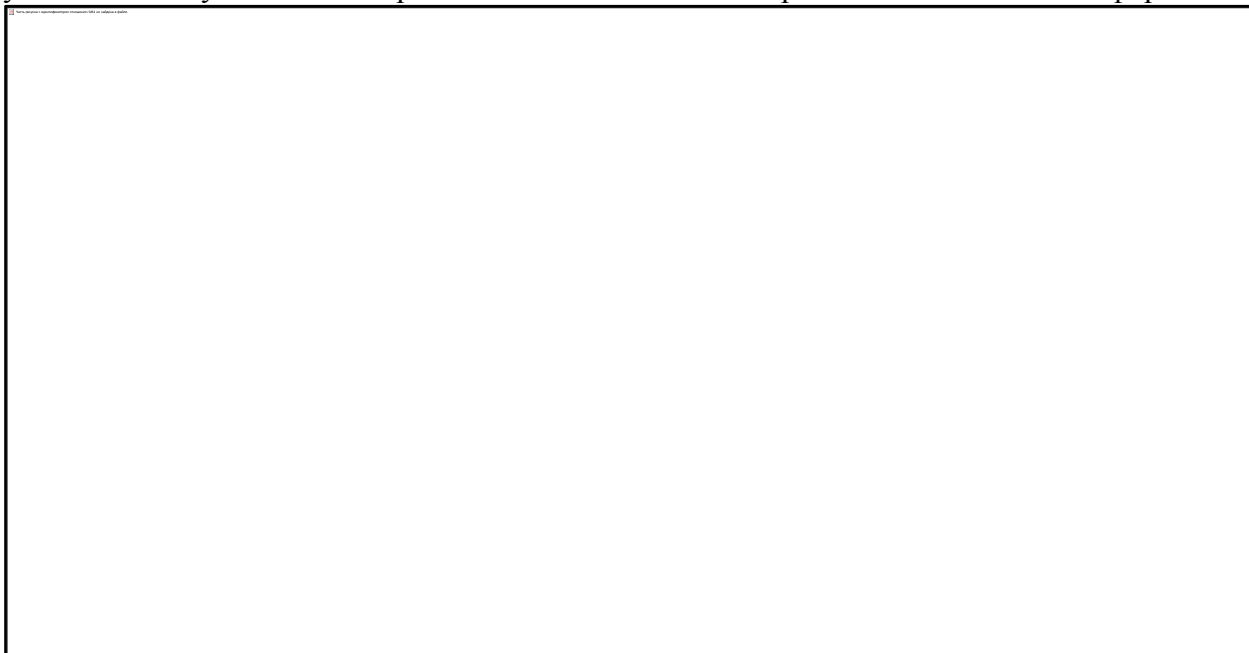


**Рис. 7. Структурная схема кодирующего устройства SECAM-III**

В устройствах 6,7 сигналы  $D'_R$  и  $D'_B$  подвергаются низкочастотным предискажениям. Электронный коммутатор 8 обеспечивает поочередное переключение цветоразностных сигналов от строки к строке. Ограничение спектра частот чередующихся во времени сигналов  $D'_R$  и  $D'_B$  осуществляется с помощью ФНЧ 9. Перед передачей сигналов  $D'_R$  и  $D'_B$  на вход частотно-модулированного генератора (ЧМГ) 11 они подвергаются ограничению по амплитуде в амплитудном ограничителе 10. Необходимость амплитудного ограничения объясняется появлением в сигналах цветности выбросов, возникающих на цветовых переходах в результате действия низкочастотных предискажений. В ЧМГ осуществляются генерирование и модуляция поднесущих, при чем сигналы  $D'_R$  и  $D'_B$  моделируют разные поднесущие. Поэтому на ЧМГ подается напряжение  $U_1$ , представляющее собой симметричные импульсы полустрочной частоты, изменяющие частоту покоя частотного модулятора от строки к строке. После ЧМГ сигнал поступает на блок коммутации фазы поднесущих 12, который меняет на  $180^\circ$  фазу поднесущих частот в начале каждой третьей строки и каждого поля. Это делается для улучшения совместимости, так как уменьшает заметность помех от поднесущих на экранах телевизоров. Следующим элементом кодирующего устройства, через который проходят сигналы цветности, является схема высокочастотных предискажений 14, увеличивающая амплитуда частотно-модулированных составляющих, формируемых ЧМГ. В блоке подавления поднесущих 13 канал цветности отключается в интервалы времени, соответствующие передаче сигналов синхронизации для телевизионных приемников. Это необходимо для того, чтобы колебания поднесущих не наложились на импульсы синхронизации.

В канал яркости кодирующего устройства входят усилитель 2, линия задержки 3, корректор перекрестных искажений 4. В суммирующем устройстве 5 складываются сигналы цветности с яркостным сигналом и импульсами синхронизации для приемных устройств. С помощью линии задержки (ЛЗ) осуществляется совмещение по времени сигналов яркости и цветности, которые поступают на сумматор 5. Необходимость включения ЛЗ обусловлена дополнительной задержкой сигналов  $D'_R$  и  $D'_B$  в устройствах предискажений, ФНЧ и ЧМГ. Корректор перекрестных искажений предназначен для уменьшения помех в телевизоре, возникающих из-за биений между сигналами цветности и высокочастотными составляющими яркостного сигнала.

В приемном декодирующем устройстве полный сигнал  $E'_Y$  после видеодетектора усиливается в усилителе 1 и разделяется на два канала: яркостной и цветовой информации.



**Рис. 8. Структурная схема декодирующего устройства SECAM-III**

Сигнал  $E'_Y$  проходит через ЛЗ 2, аналогичную таковой в кодирующем устройстве, и режекторный фильтр 3, подавляющий в сигнале яркости частотно-модулированный сигнал цветности.

В канале цветности сигналы  $D'_R$  и  $D'_B$  поступают на корректор высокочастотных предискажений 4, устраняющий АМ поднесущей, вызванную высокочастотной предкоррекцией в кодирующем устройстве. Таким образом, на выходе устройства 4 существует последовательность частотно-модулированных, чередующихся от строки к строке цветоразностных сигналов  $D'_R$  и  $D'_B$ .

Необходимым условием получения в приемном устройстве цветоразностного сигнала  $E'_{G-Y}$  является одновременное наличие двух цветоразностных сигналов, для чего в телевизор вводится ультразвуковая ЛЗ 5 на 64 мкс. Функцию разделения цветных сигналов  $D'_B$ ,  $D'_R$  выполняет электронный коммутатор 6, переключающий с частотой строк каналы прямого и задержанного сигналов на входе каналов демодуляции сигналов  $D'_R$ ,  $D'_B$ . Здесь сигналы  $D'_R$  и  $D'_B$  поступают на амплитудные ограничители 7, 11, которые устраняют паразитную АМ, возникающую в ЛЗ и коммутаторе. Частотные детекторы 8, 12 преобразуют частотно-модулированные сигналы  $D'_R$  и  $D'_B$  в низкочастотные цветоразностные сигналы.

Демодулированные цветоразностные сигналы поступают на ходы корректоров низкочастотных предискажений 9, 13, которые компенсируют изменения частотной характеристики, вводимые в кодирующем передающем устройстве. После этого сигналы  $E'_{R-Y}$  и  $E'_{B-Y}$  усиливаются и подаются на цветной кинескоп. Одновременно с помощью матрицы 14 формируется третий цветоразностный сигнал  $E'_{G-Y}$ .

Важным узлом декодирующего устройства телевизора являются цепи цветовой синхронизации. Необходимо обеспечить, чтобы сигналы  $D'_R$  и  $D'_B$  поступали на свой частотный детектор. Для этого требуется установить правильную начальную фазу работы



электронного коммутатора. Эту функцию выполняют цепи цветовой синхронизации, состоящие из управляющего генератора прямоугольных импульсов 10 и блока опознавания 15, управляемого сигналом  $U_{on}$ .

**Главной особенностью системы SECAM**, отражённой в её названии, является передача во время интервала одной строки только одного цветоразностного сигнала из двух, передаваемых поочерёдно. В приёмнике сигнал, передаваемый в течение одной строки, воспроизводится в течение двух строк за счёт использования строчной памяти. В момент передачи сигнала **R-Y**, из строчной памяти в декодер поступает сигнал предыдущей строки **B-Y** и наоборот. Поскольку система SECAM используется только с европейским стандартом разложения 625/50, длительность запоминания, равная периоду одной строки, составляет 64 микросекунды.

В аналоговых телевизионных приемниках для реализации памяти первоначально использовались ультразвуковые линии задержки, а в настоящее время применяются более устойчивые цифровые устройства запоминания. Во время строчного гасящего импульса производится двойная коммутация, чтобы направить входящий сигнал на один вход декодирующего устройства, а сигнал из строчной памяти на другой. В результате на оба входа блока цветности одновременно поступают два цветоразностных сигнала, один из текущей строки, а другой — из предыдущей. Полученные сигналы, вычитаемые из яркостного, дают на выходе блока цветности три сигнала, соответствующие основным цветам, которые подаются на электронные пушки кинескопа.

Поочерёдная передача цветоразностных сигналов требует согласованной работы коммутаторов передающего и принимающего устройств, которые должны переключаться синхронно и синфазно. Для этого используется сигнал цветовой синхронизации, или как его часто называют, сигнал цветового опознавания. Он состоит из серии 9 импульсов трапецеидальной формы, добавляемых в цветоразностные сигналы во время кадровых гасящих импульсов с 7-й по 15-ю строки нечётного и с 320-й по 328-ю чётного полукадров. Начало и конец каждого импульса совпадают с началом и концом активной части строки. Опознавание происходит за счёт разницы в частотах соседних импульсов, принимающих крайние значения 4,756 МГц для «красных» и 3,9 МГц для «синих» строк. В современных телевизорах вместо сигналов опознавания для цветовой синхронизации используются защитные вставки немодулированной поднесущей, следующие на задней площадке строчных гасящих импульсов. Частота этих пакетов, также используемых для настройки амплитудного ограничителя сигнала цветности, соответствует частоте несущей передаваемого в соответствующей строке цветоразностного сигнала.

### **Достоинства и недостатки**

**Основным преимуществом** системы SECAM является отсутствие перекрёстных искажений между цветоразностными сигналами, достигаемое за счёт их последовательной передачи. Однако, на практике это преимущество может быть реализовано не всегда из-за несовершенства коммутаторов сигнала цветности в декодирующем устройстве. Система SECAM практически нечувствительна к дифференциально-фазовым искажениям, особенно критичным для системы NTSC. За счёт применения частотной модуляции высока

устойчивость к изменениям амплитуды поднесущей, возникающим вследствие неравномерности АФЧХ тракта передачи. Система NTSC, использующая квадратурную модуляцию, более чувствительна к таким искажениям, проявляющимся как изменение цветовой насыщенности. По этим же причинам SECAM менее чувствителен к колебаниям скорости магнитной ленты видеомэгнитофона.

**К недостаткам системы** стоит отнести в первую очередь, низкую помехозащищённость, проявляющуюся при соотношении сигнал/шум принимаемого сигнала менее 18 дБ. В этом случае качество цветного изображения резко падает, и становятся видны низкочастотные цветные помехи. Другим недостатком является более низкая, чем у NTSC и PAL совместимость с чёрно-белыми телевизорами. В таких приёмниках, не оснащённых фильтром поднесущей, помехи от неё сильно заметны, особенно на вертикальных границах между цветами. Из-за использования частотной модуляции поднесущей в системе SECAM сильнее, чем в других, проявляются перекрёстные искажения между сигналами яркости и цветности, особенно заметные в виде цветных «факелов» в детализированных сюжетах с малой цветовой насыщенностью. Подавление возможных перекрёстных помех достигается за счёт снижения качества сигнала яркости, в котором подавляется значительная часть высокочастотного спектра, ответственная за горизонтальную чёткость. Благодаря последовательной передаче цвета цветное изображение стандарта SECAM имеет в два раза меньшую чёткость по вертикали, чем монохромное. Это считается допустимым, в силу большей чувствительности глаза к яркостной составляющей: на среднестатистических сюжетах такое ухудшение почти незаметно. Гораздо более заметны искажения, проявляющиеся на резких вертикальных цветовых переходах, и усугубляемые чересстрочной развёрткой. Такие искажения проявляются как заметное глазу дрожание горизонтальных границ с частотой 12,5 Гц. Неточность линии задержки может приводить к искажениям, проявляющимся в «зубчатости» вертикальных цветовых границ, непрерывно скользящей из-за чересстрочной развёртки.

Согласно всесторонним исследованиям, проведённым в 1965–66 г. г. в ОСЦТ-2 (*Опытная станция цветного телевидения*) для сравнения различных систем цветного телевидения, при выборе лучшей для широкого внедрения в СССР, на тот момент ни одна из конкурирующих систем не показала решающих технических или экономических преимуществ перед другой. Преимуществом системы SECAM была меньшая чувствительность к искажениям при передаче по междугородным линиям и при видеозаписи; недостатком — усложнение устройства видеомикшеров.

### **Версии SECAM-III**

В мире используются несколько модификаций стандарта SECAM, не отличающихся друг от друга способом передачи цветоразностных сигналов, включая так называемые предыскажения. Отличаются только несущие частоты яркостного видеосигнала, звукового сопровождения и способ модуляции звука. Одним из важных отличий в настоящее время является способ опознавания цвета. Для этого могут применяться как стандартные сигналы цветного опознавания SECAM, так и пакеты импульсов поднесущей во время строчного гашения. В настоящее время последний способ считается основным, хотя в России

передаются оба сигнала одновременно, а во Франции — только «вспышки» в строчном гасящем импульсе. Во всех случаях используется только европейский стандарт разложения 625/50.

**Таблица 1. Версии SECAM-III**

Стандарт	Полоса канала	Полоса сигнала яркости	Полярность видеосигнала	Несущая звука	Модуляция звука	Страна
<b>SECAM-L</b>	8 МГц	6 МГц	Позитивная	+6,5 МГц	АМ	Франция
<b>SECAM-K1</b>	8 МГц	6 МГц	Негативная	+6,5 МГц	ЧМ	Бывшие заморские владения Франции
<b>SECAM B/G</b>	7 МГц (МВ), 8 МГц (ДМВ)	5 МГц	Негативная	+5,5 МГц	ЧМ	Греция, некоторые страны Ближнего Востока, Индия
<b>SECAM D/K</b>	8 МГц	6 МГц	Негативная	+6,5 МГц	ЧМ	Россия, СНГ

Вариант **MESECAM** (англ. *MiddleEastSECAM* — SECAM Ближнего Востока) не является вещательным стандартом и используется только при записи на магнитную ленту в формате VHS на видеомэгнитофоны, предназначенные для стандарта PAL. При записи на магнитную ленту во всех бытовых стандартах цветоразностному сигналу отводится область более низких частот, а спектр в целом оказывается инвертированным, по сравнению со спектром исходного телесигнала. Описанный стандартом процесс обработки цветоразностных сигналов для системы SECAM включает деление поднесущих на 4 и подавление верхней боковой полосы. В варианте MESECAM для упрощения схемы видеомэгнитофона используется та же схема обработки сигнала, что и для стандарта PAL — сигнал переносится в низкочастотную область с помощью дополнительного гетеродина, при этом в сигналах системы PAL сохраняются не только частотные, но и фазовые соотношения сигналов, не обязательные для системы SECAM.

- 1956 год – начало разработки стандарта во Франции;
- 1961 год — разработана первая версия стандарта SECAM I, в этой версии цветные поднесущие передавались на одной частоте;
- 1965 год — SECAM III (он же SECAM Optimised) представлена на ассамблее CCIR (Международный консультативный комитет по радио). Это и есть используемый в настоящее время стандарт SECAM («III» больше не указывается). В этом же году в СССР разработан и запатентован собственный улучшенный стандарт НИИР (он же SECAM-IV, он же NIR или NIIR);
- 1967 год — началось цветное телевизионное вещание в стандарте SECAM (SECAM-IIIВ)

во Франции и СССР;

Бытует расхожее мнение, что стандарт SECAM был принят в СССР по политическим мотивам, в пику США с их стандартом NTSC. На самом деле, выбор осуществлялся на конкурентной основе из четырёх существовавших тогда вариантов (НИИР, PAL, SECAM и NTSC). Сравнение проводилось путём трансляции сигналов по существующим тогда радиорелейным линиям (не самого подходящего качества) и записи на видеомэгнитофон «Кадр-1Ц». Считается, что SECAM в этих условиях показал наилучшее качество. Стандарт НИИР тогда был только в макете и потенциально мог превосходить своих конкурентов. Когда стало очевидно, что выбор может остановиться на отечественной системе НИИР, французы признали систему SECAM совместной советско-французской, что избавило наших производителей телевизоров от патентных отчислений. Это и стало решающим фактором при принятии нового стандарта в СССР.

Также существует версия, что в пользу SECAM сыграл тот факт, что в декодерах этого стандарта не требуется кварцевый резонатор — дефицитный и дорогой на тот момент радиокомпонент, а к ультразвуковой линии задержки предъявлялись более скромные требования по точности, чем в стандарте PAL. Из-за особенностей последнего, отклонения времени задержки не должно превышать 5 наносекунд, тогда как в системе SECAM этот же параметр составляет 30 наносекунд.

### География распространения



**Рис. 9. Системы телевидения стран мира**

Система SECAM в настоящее время является основной системой цветного аналогового телевидения в России и Франции. Основные параметры отечественного телевидения этого стандарта определяются в рамках ГОСТ 7845—92. Кроме этих двух стран система также применяется в ряде стран Африки и Ближнего Востока, Монако, Люксембурге, а также в бывших странах СЭВ. С падением СССР в Восточной Европе система SECAM стала постепенно вытесняться системой PAL.

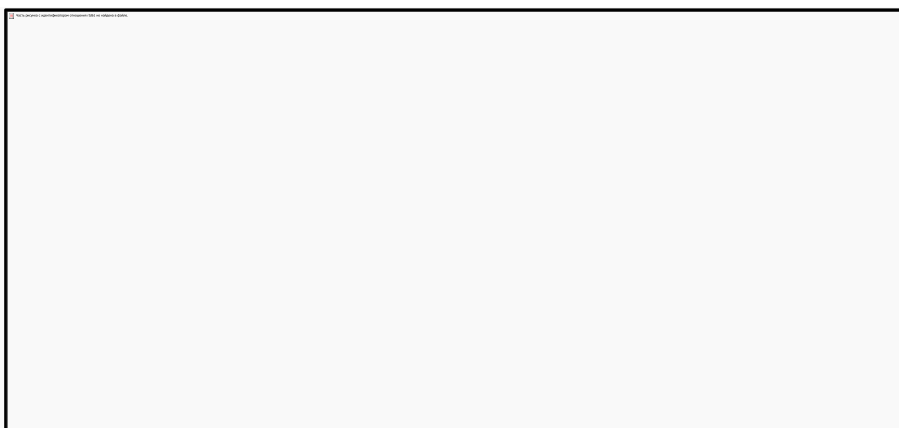
В 1990-х годах неоднократно поднимался вопрос о переходе российского вещания на систему PAL, но наличие огромного парка телевизионных приёмников, поддерживающих

единственный стандарт SÉCAM, сделало такой переход невозможным. В настоящее время эфирное аналоговое вещание телевизионных каналов в России продолжается в системе SÉCAM. Однако, многие телевизионные каналы, транслирующиеся по кабельным сетям, и даже в открытом эфире, передаются в системе PAL, что делает невозможным их просмотр на старых советских телевизорах в цвете. Студийное видеооборудование стандарта SÉCAM не производится уже более 20 лет, и все программы производятся в системе PAL в европейском стандарте разложения, а в эфир видеосигнал поступает после транскодирования в систему SECAM.

Ныне переход на систему PAL абсолютно неактуален, в связи с моральным устареванием всех аналоговых стандартов цветного телевидения и переходом на цифровые технологии высокой чёткости. С другой стороны, для подавляющего большинства современных телеприёмников не составляет никакой проблемы поддерживать все три телевизионных системы передачи цвета.

В шутку SECAM расшифровывают как «System Essentially Contrary to American Method» (система, по сути противоположная американскому методу).

### 1.5. Краткие сведения о системах цветного телевидения NTSC, PAL



**Рис. 10. Спектр телевизионного сигнала PAL. Показан PAL-I с разносом частот 6,0 МГц между несущими изображения и звука (используется в Великобритании, Гонконге и Сингапуре). Коричневым цветом показан спектр поднесущей (Chroma)**

**PAL** (англ. *Phase Alternating Line* — построчное изменение фазы) — система аналогового цветного телевидения, разработанная инженером немецкой компании «Telefunken» Вальтером Брухом и принятая в качестве стандарта телевизионного вещания в 1966 году в Германии, Великобритании и ряде других стран Западной Европы. В настоящее время система PAL является самой распространённой в мире. В конце 1990-х годов передачи по этому стандарту смотрели в 62 странах 67,8 % телезрителей всего мира.

#### Технические особенности

Как и остальные системы цветного телевидения, PAL совместим с чёрно-белым телевидением. Созданная в качестве альтернативы NTSC с присущими последней недостатками, система PAL может рассматриваться, как её удачная модернизация. Вместо непосредственной передачи основных цветов система предусматривает передачу сигнала

яркости  $Y$ , как в чёрно-белом телевидении, и двух цветоразностных сигналов  $R-Y$  и  $B-Y$ , несущих информацию о красном и синем цветах соответственно. Недостающая информация о зелёном цвете  $G$  восстанавливается в приёмнике вычитанием цветоразностных сигналов из яркостного. В случае просмотра программы на чёрно-белом телевизоре используется только сигнал яркости, ничем не отличающийся от видеосигнала чёрно-белого телевидения. Сигнал цветности, который содержит информацию о цветоразностных сигналах, чёрно-белыми телевизорами не принимается. Он передается в высокочастотной области спектра сигнала яркости при помощи вспомогательной несущей частоты — *поднесущей*, которая принимается блоком цветности цветных телевизоров.

Передача сигнала цветности происходит так же, как в NTSC с использованием квадратурной модуляции поднесущей. Отличие состоит в том, что фаза одной из квадратурных составляющих ( $R-Y$ ) сигнала цветности PAL меняется от строки к строке на противоположную.

Для уменьшения видимости помех от поднесущей, её частота выбрана равной сумме нечётной гармоники четвертьстрочной частоты и частоты кадров. Учитывая то, что система PAL в большинстве случаев используется в сочетании с европейским стандартом разложения 576i, эта частота составляет 4433618,75 Гц (4,43 МГц), обеспечивая «четвертьстрочный сдвиг» поднесущей. Исключения составляют разновидности: PAL-M, используемая в Бразилии и основанная на стандарте разложения 480i, и PAL-N, хотя и основанная на разложении 576i, но с уменьшенной шириной полосы радиосигнала. В этом случае частота поднесущей выбирается близкой к стандарту NTSC, то есть 3,58 МГц, а вместо цветоразностных сигналов  $U$  и  $V$  передаются модифицированные  $I$  и  $Q$ .

При передаче сигнала цветности «красный» цветоразностный сигнал повторяют в следующей строке с поворотом фазы на 180 градусов. Для устранения фазовой ошибки декодер PAL складывает текущую строку и предыдущую из памяти, благодаря чему полностью устраняет фазовые ошибки, типичные для системы NTSC. При сложении двух сигналов взаимно уничтожаются «красные» цветоразностные компоненты из-за изменения их знака. При вычитании двух сигналов взаимно уничтожаются «синие». Таким образом, на выходах сумматора-вычитателя получаются разделённые сигналы  $U$  и  $V$ , являющиеся масштабно изменёнными  $R-Y$  и  $B-Y$ . Эти особенности системы кроме очевидных преимуществ приводят к удорожанию декодера, поскольку требуют повышенной точности линии задержки. Для правильного суммирования и вычитания необходимо, чтобы прямой и задержанный сигналы находились в фазе или в противофазе. Это достигается только в случае задержки на целое число полупериодов поднесущей. Поэтому, отклонение времени задержки для декодеров PAL не должно превышать 5 наносекунд, что в шесть раз меньше того же показателя для декодеров SECAM. При выборе системы отечественного цветного телевидения этот фактор сыграл немаловажную роль, поскольку такая точность в то время была трудно достижима. В то же время, повышенная точность линий задержки PAL делает их пригодными для использования в мультистандартных декодерах, поддерживающих систему SECAM. В аналоговых телевизионных приёмниках для запоминания цветоразностного сигнала от предыдущей строки используется ультразвуковая линия задержки, в цифровых — оперативная память на строку.

Для цветовой синхронизации в системе PAL, так же, как и в NTSC на задней площадке строчного гасящего импульса передаётся «вспышка» поднесущей (англ. *Colorburst*), состоящая из 8—10 периодов колебаний опорного генератора. В отличие от NTSC, где фаза вспышек постоянна, в системе PAL она изменяется на  $90^\circ$  от строки к строке, неся информацию о фазе красной составляющей поднесущей.

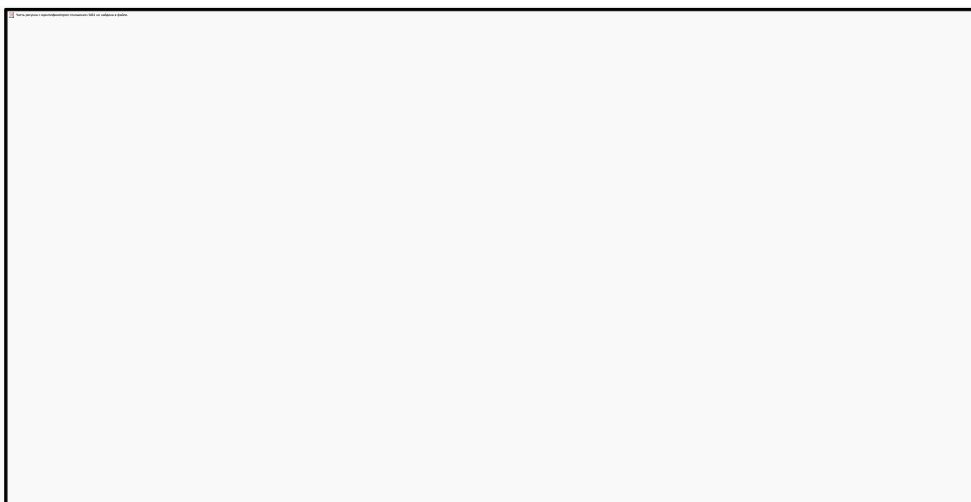
### **Достоинства и недостатки**

Система PAL обладает теми же достоинствами, что и NTSC за счёт использования тех же

принципов квадратурной модуляции: хорошая совместимость с чёрно-белыми телевизионными приёмниками, низкий уровень перекрёстных искажений сигналов яркости и цветности и высокая помехозащищённость. Использование линии задержки и фазовой коммутации повышает устойчивость системы к фазовым искажениям поднесущей. Особенности устройства блока задержки декодера PAL позволяют наилучшим образом выполнять разделение сигналов яркости и цветности. По этому параметру PAL значительно превосходит NTSC и, особенно SECAM. А использование задержки сигнала, в отличие от SECAM, не приводит к мерцанию горизонтальных цветовых границ, поскольку усредняется цветность, а не её отдельные составляющие для двух соседних строк.

Недостатками системы является относительная сложность приёмника по сравнению с NTSC из-за использования линии задержки, а также уменьшенная по вертикали разрешающая способность по цвету. Субъективно, в силу большей чувствительности глаза к яркостной составляющей, для большинства сюжетов такое ухудшение почти незаметно. При этом надо понимать, что в передаваемом сигнале цветное разрешение по вертикали — полное, ухудшение разрешения происходит лишь в аналоговых декодерах PAL. Применение цифрового декодирования позволяет восстановить как полное цветное разрешение по вертикали, так и улучшить разделение яркость/цветность за счет использования гребенчатой (или еще более сложной — так называемой 3D) фильтрации поднесущей.

### География распространения



**Рис. 11. Распространение разных систем по миру. Жёлтым цветом обозначены страны, использующие PAL**

Система PAL является основной системой цветного телевидения в Европе (кроме Франции, России, Белоруссии), Азии, Австралии и ряде стран Африки и Южной Америки (NTSC)

### Бэкронимы

Как и остальные системы цветного телевидения, PAL так же имеет «альтернативную» расшифровку своей аббревиатуры: англ. *PictureAtLast* (Наконец-то, картинка!) или англ. *PayforAddedLuxury* (Плати за дополнительную роскошь).

## NTSC

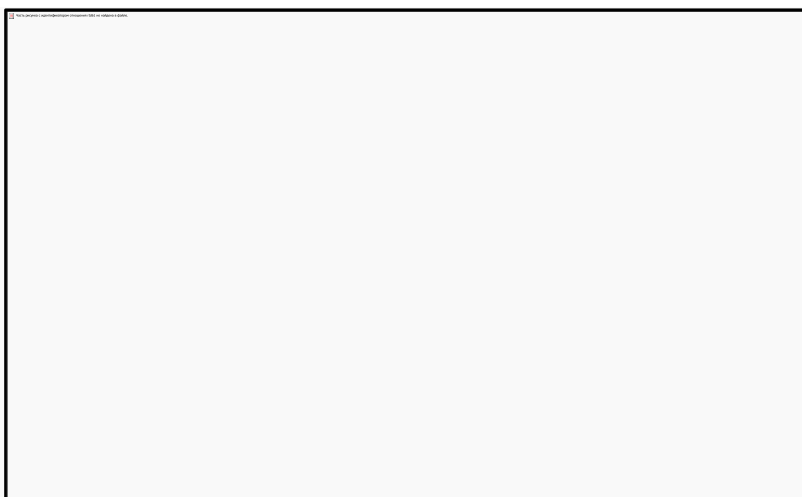
**NTSC** (от англ. *National Television Standards Committee* — Национальный комитет по телевизионным стандартам) — система аналогового цветного телевидения, разработанная в США. 18 декабря 1953 года было начато цветное телевизионное вещание с применением этой системы. NTSC принята в качестве стандартной системы цветного телевидения в

### Рис. 12. Страны, использующие систему NTSC, обозначены зелёным цветом

США, Канаде, Мексике, Японии, Южной Корее, Тайване, на Филиппинах и в ряде



стран Южной Америки.



### Рис. 13. Спектр телевизионного сигнала NTSC M

Базовая система NTSC, применяемая в США (т. н. NTSC-M), основана на использовании предыдущего стандарта чёрно-белого телевидения, принятого в 1941 году, со стандартом разложения 525/60. Для обеспечения совместимости вместо непосредственной передачи сигналов основных цветов используется передача сигнала яркости **Y**, соответствующего чёрно-белому изображению, и двух цветоразностных сигналов **R-Y** и **B-Y**, несущих информацию о красном и синем цветах соответственно. Недостающая информация о зелёном цвете **G** восстанавливается в приёмнике вычитанием суммы цветоразностных сигналов из яркостного. В случае просмотра программы на чёрно-белом телевизоре используется только сигнал яркости, ничем не отличающийся от видеосигнала чёрно-белого



телевидения. Сигнал цветности, который содержит информацию о цветоразностных сигналах, чёрно-белыми телевизорами не принимается. Его передача осуществляется в спектре яркостного сигнала на вспомогательной частоте (поднесущей) 3 579 545,5 Гц (3,58 МГц), которая принимается блоком цветности цветных телевизоров. Два цветоразностных сигнала  $E_{R-Y}$  и  $E_{B-Y}$  передаются с помощью квадратурной модуляции поднесущей.

Цветоразностные сигналы подаются на балансный модулятор, на котором они модулируются по амплитуде с подавлением поднесущей. Модулированные цветоразностные сигналы красного  $E_{R-Y}$  и синего  $E_{B-Y}$  сдвинуты относительно друг друга по фазе на  $90^\circ$ . При суммировании они образуют новый сигнал — сигнал цветности. Таким образом:

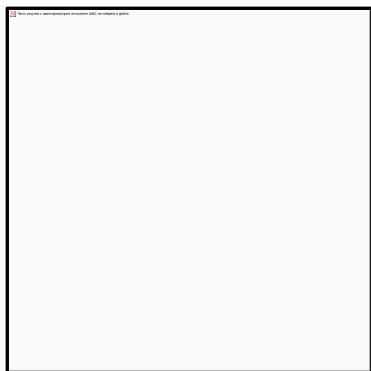
$$\text{[Blank Box]}, \quad (3)$$

$$\text{[Blank Box]}, \quad (4)$$

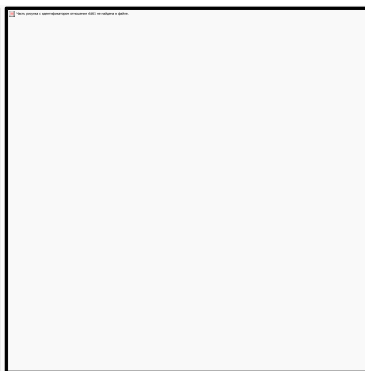
Таким образом, изменение фазы свидетельствует об изменении тона, а модуль вектора определяет насыщенность. При этом, на неокрашенных или слабо окрашенных участках изображения помехи нет, так как поднесущая подавлена.

Применение амплитудной модуляции с подавленной поднесущей порождает трудности при приёме. При детектировании важно чтобы совпадали фазы и частоты гетеродина и поднесущей. Для этого после каждого строчного синхроимпульса на площадке строчного гасящего импульса передаётся особый импульс-вспышка — англ. *Colorburst* — он содержит 8—10 периодов колебаний опорного генератора.

Частота поднесущей выбрана таким образом, чтобы как можно меньше влиять на приёмники чёрно-белого телевидения.



**Рис. 13. Помеха от поднесущей. 1-й кадр**



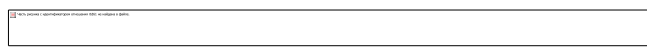
**Рис. 14. Помеха от поднесущей. 2-ой кадр**

При этом, в интервале строки размещается нечётное число полупериодов поднесущей (точно — 455), поэтому рисунок от помехи имеет вид шахматного поля. Такая структура менее заметная, чем вертикальные полосы.

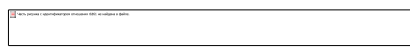
Полярность поднесущей в смежных кадрах изменяется на противоположную, таким образом, тёмные участки чередуются со светлыми. За счёт временной взаимной компенсации, помеха становится ещё менее заметной.

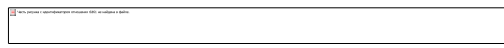
Особенностью системы NTSC является то, что информация о цветности передается не в системе координат  $E_{R-Y}$  и  $E_{B-Y}$ , а в системе  $E_I$  и  $E_Q$ , развернутой относительно  $E_{R-Y}$  и  $E_{B-Y}$  на  $33^\circ$ . Одновременно с этим применяется компрессия по амплитуде для повышения

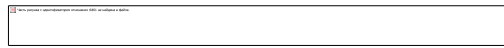
совместимости с чёрно-белым телевидением. Уменьшая размах амплитуды, компрессия обеспечивает отсутствие поднесущей на неокрашенных участках.

 (5)

 (6)

 (7)

 (8)

 (9)

Кроме того, полосы пропускания для сигналов  $E_I$  и  $E_Q$  выбраны различными — таким образом разработчиками учитывается тот факт, что человеческий глаз различает мелкие сине-зелёные детали лучше, чем красные. Для сигнала  $E_I$  ширина полосы пропускания — 1,3 МГц, для  $E_Q$  — 0,5 МГц.

Значения частот строк и полей, в чёрно-белом стандарте 525/60 составлявшие 15750 и 60 Гц, были изменены, для того, чтобы поднесущая звука стала точной 286-й гармоникой частоты строк. Это пришлось сделать потому, что иначе биения между поднесущими звука (4,5 МГц) и цвета (3,58 МГц) создавали крупноструктурную хорошо видимую помеху в виде перемещавшихся по экрану тёмных и светлых «волн». После коррекции строчная составляет приблизительно 15734 Гц, а кадровая — 59,94 Гц, не требуя переделки генераторов развёрток чёрно-белых телевизоров. «Волны» от этого не исчезли, но стали неподвижными и практически незаметны.

### Достоинства и недостатки

Главными достоинствами системы NTSC считаются хорошая совместимость с чёрно-белым телевидением, низкий уровень перекрёстных искажений сигналов яркости и цветности, а также хорошая помехоустойчивость и относительная простота приёмного устройства, не требующего ультразвуковых линий задержки, в отличие от PAL и SECAM. При этом канал передачи используется наиболее эффективно из всех существующих систем, позволяя при его относительной узости передавать изображение с хорошей цветовой чёткостью.

Система NTSC показала себя с хорошей стороны также при необходимости микширования разных сигналов, позволяя создавать относительно простые студийные видеомикшеры.

При этом, системе присущи существенные недостатки, прежде всего заключающиеся в высокой чувствительности к амплитудно-фазовым искажениям канала передачи.

Амплитудные искажения отражаются в изменении цветовой насыщенности изображения, неустранимые при помощи автоматической регулировки усиления. А фазовые искажения отражаются в изменении цветового тона в зависимости от яркости передаваемого участка. Это особенно заметно в тонах человеческой кожи, которые могут в ярких участках иметь зелёный оттенок. Необходимость коррекции этих искажений привела к появлению ручной регулировки цветового тона, отсутствующей на телевизорах других систем: *NTSC TINT*.

Жёсткие требования к каналу передачи и дороговизна передающего оборудования заставили разработчиков искать новые технические решения в период становления цветного телевидения в Европе. В результате этих усилий появились стандарты PAL и SECAM, в той или иной степени свободные от недостатков первой в мире системы.

### Бэкронимы

NTSC — англ. *NeverTwicetheSameColor* (никогда дважды не повторяющийся цвет) — намёк на искажения цветопередачи вследствие особенностей кодирования цветовой составляющей сигнала.

## 1.6. Способы модуляции, используемые в цифровом телевидении

### Общие требования к способам модуляции.

Один из основных вопросов, касающихся передачи данных с заданной скоростью, - распределение энергии в спектре электрического сигнала, переносящего данные, и согласование этого распределения с характеристиками канала связи. По своей природе двоичные сигналы - это последовательность прямоугольных импульсов, а для передачи таких импульсов без искажений требуется теоретически бесконечно большая полоса частот. Однако реальные каналы связи могут обеспечить лишь ограниченную полосу частот, поэтому необходимо согласовывать передаваемые сигналы с параметрами каналов. Такое согласование выполняется благодаря кодированию исходных данных за счет обеспечения специальной формы импульсов, переносящих данные, например, путем сглаживания прямоугольной формы спектральной плотности импульса по косинусоидальному закону, а также с помощью различных видов модуляции.

Если сообщения передаются двоичными символами, то скорость передачи данных не может превышать значения  $2 \Delta F_k$  бит/с или 2 бит/с на 1 Гц полосы пропускания канала связи  $\Delta F_k$ .

Предел удельной скорости передачи данных с помощью двоичных символов, равный 2 (бит/с) на 1 Гц, называется также **"барьером Найквиста"**. Теоретически **"барьер Найквиста"** может быть преодолен за счет повышения отношения сигнал-шум в канале связи до очень большого значения, что практически невозможно. Поэтому для повышения удельной скорости передачи данных (преодоления **"барьера Найквиста"**) необходимо перейти к многопозиционной (комбинированной) модуляции, при которой каждая электрическая посылка несет более 1 бита информации. К способам многопозиционной модуляции, используемым в системах цифрового телевидения, относятся: квадратурная амплитудная модуляция (QAM – Quadrature Amplitude Modulation), квадратурная фазовая манипуляция или четырехпозиционная фазовая манипуляция (QPSK – Quadrature Phase Shift Keying), частотное уплотнение с ортогональными несущими (OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing) и восьмиуровневая амплитудная модуляция с частично подавленной несущей и боковой полосой частот (8-VSB – Vestigial Side Band).

При выборе метода модуляции очень важно учитывать характеристики канала передачи. Для каналов спутниковой и кабельной цифровых систем телевидения в качестве оптимальных (обеспечивающих заданное качество при минимальной сложности ТВ приемников) были выбраны способы модуляции одной несущей. Причем в системах цифрового спутникового ТВ вещания, использующих каналы связи с полосой 27 МГц для непосредственного ТВ вещания и 30, 33, 36, 40, 46, 54 и 72 МГц для фиксированных служб спутниковой связи, целесообразно применять модуляцию типа QPSK. При этом обеспечиваются достаточно выгодное соотношение мощности и полосы пропускания бортового оборудования искусственного спутника Земли (ИСЗ), возможность работы в условиях характерной для транспондеров нелинейности, обусловленной амплитудной и фазовой характеристиками бортового усилителя, и простота реализации декодеров, встроженных в спутниковые приемники. В противоположность наземным вещательному и

кабельным каналам на спутниковый канал линейные помехи оказывают меньшее влияние. Модуляция типа QPSK применяется совместно со схемой опережающей коррекции ошибок FEC (Forward Error Correction), основанной на взаимодействии алгоритмов кода коррекции ошибок Рида-Соломона и сверточного кода. При этом сверточный код должен иметь гибкую структуру для работы при разных кодовых скоростях, равных 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8. (Знаменатель численного значения кодовой скорости соответствует общему количеству битов кодовой комбинации, а числитель - числу информационных битов. Следовательно, по значению кодовой скорости можно оценить число проверочных символов, добавляемых в каждую кодовую комбинацию.) В приемных устройствах в этом случае используются последовательная демодуляция и мягкое декодирование Витерби. Применение QPSK-модуляции позволяет обеспечить устойчивый прием при соотношении сигнал-шум на входе спутникового ТВ приемника до 6 дБ. Для цифровых кабельных ТВ систем, не имеющих ограничений по мощности, позволяющих регулировать отношение сигнал-шум и использующих каналы связи с полосой пропускания 8 МГц, предложено применить модуляцию типа QAM. За счет применения в кабельных цифровых ТВ системах модуляции типа QAM отсутствует необходимость во внутреннем коде системы опережающего исправления ошибок.

Каналы связи наземного телевидения со стандартными полосами частот 6,7 и 8 МГц значительно отличаются от каналов спутникового и кабельного телевидения. Практически в любом канале связи наземного телевидения возникают помехи из-за многолучевого приема, обусловленного рельефом местности, и отражений, вызванных как статическими объектами, например, зданиями, так и динамическими объектами, например, самолетами. Каналы связи наземного телевидения отличаются высоким уровнем промышленных помех. Из-за переполнения частотного диапазона, в котором возможно наземное вещание, велика вероятность интерференционных помех за счет взаимодействия с сигналами совмещенных и соседних каналов. При выборе способа модуляции в наземном цифровом телевидении следует учитывать способность работы в условиях приема на комнатные антенны и антенны портативных ТВ приемников, а также возможность функционирования в одночастотных сетях. При этом прием сигналов цифрового телевидения в мобильных условиях рассматривается не как обязательное требование, а как желательная возможность. Способность работы в условиях быстроменяющихся характеристик канала связи также не является абсолютным условием. В данном случае примером одночастотной сети может служить сеть радиопередатчиков малой мощности, располагающихся в зонах плохого приема сигнала основного передатчика и работающих на той же самой частоте, что и основной. Из всех известных способов модуляции сформулированным выше требованиям отвечают два вида многопозиционной модуляции: 8-VSB и OFDM.

### **1.7. Квадратурная амплитудная модуляция**

При квадратурной амплитудной модуляции (КАМ, QAM - Quadrature Amplitude Modulation) изменяется как фаза, так и амплитуда сигнала, что позволяет увеличить количество кодируемых бит и при этом существенно повысить помехоустойчивость. В настоящее время используются способы модуляции, в которых число кодируемых на одном модовом интервале информационных бит может достигать 8...9, а число позиций сигнала в сигнальном пространстве - 256...512. В случае QAM промодулированный сигнал представляет собой сумму двух ортогональных несущих: косинусоидальной и синусоидальной, амплитуды которых принимают независимые дискретные значения.

$$U_{QAM}(t) = U_c [c_1(t) \cos \omega_c t + c_{11}(t) \sin \omega_c t], \quad (10)$$

где  $U_c$  - амплитуда сигнала;  $\omega_c$  – частота несущей,  $c_1(t)$ ,  $c_{11}(t)$  – модулирующие сигналы в квадратурных каналах.

Квадратурное представление сигналов является удобным и достаточно универсальным средством их описания. Квадратурное представление заключается в выражении колебания линейной комбинацией двух ортогональных составляющих — синусоидальной и косинусоидальной:

$$S(t) = x(t) \sin(\omega t + p) + y(t) \cos(\omega t + p), \quad (11)$$

где  $x(t)$  и  $y(t)$  — биполярные дискретные величины. Такая дискретная модуляция (манипуляция) осуществляется по двум каналам на несущих, сдвинутых на  $90^\circ$  друг относительно друга, т.е. находящихся в квадратуре (отсюда и название представления и метода формирования сигналов).

Поясним работу квадратурной схемы (рис. 15) на примере формирования сигналов четырехфазной ФМ (ФМ-4).

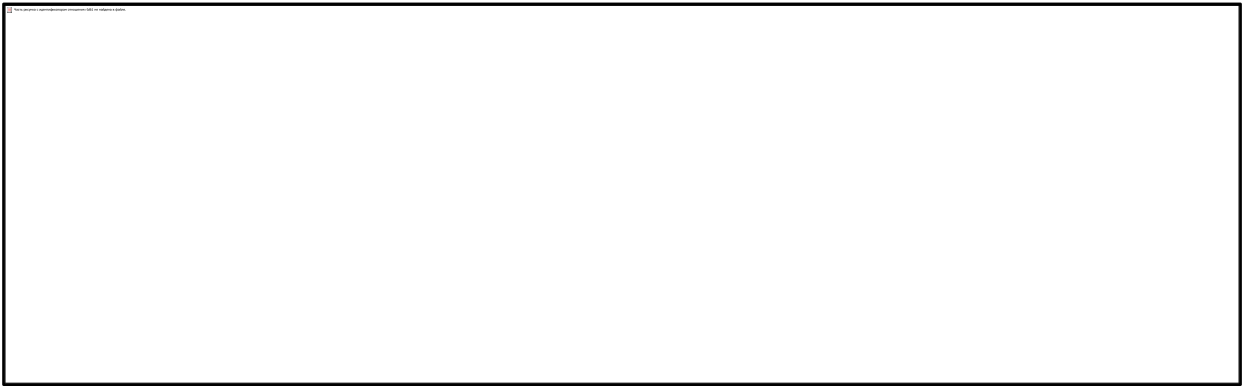
Исходная последовательность двоичных символов длительностью  $T$  при помощи регистра сдвига разделяется на нечетные импульсы  $y$ , которые подаются в квадратурный канал  $\cos(\omega t)$ , и четные —  $x$ , поступающие в синфазный канал  $\sin(\omega t)$ .

Обе последовательности импульсов поступают на входы соответствующих формирователей манипулирующих импульсов, на выходах которых образуются последовательности биполярных импульсов  $x(t)$  и  $y(t)$ . Манипулирующие импульсы имеют амплитуду  $\pm U_m$  и длительность  $2T$ . Импульсы  $x(t)$  и  $y(t)$  поступают на входы канальных перемножителей, на выходах которых формируются двухфазные  $(0, \pi)$  ФМ колебания. После суммирования они образуют сигнал ФМ-4. В соответствии с методом формирования сигнал ФМ-4 также называют квадратурным ФМ сигналом (QPSK — Quadrature PSK).

При одновременной смене символов в обоих каналах модулятора (с 10 на 01, или с 00 на 11) в сигнале ДОФМ происходит скачок фазы на  $180^\circ$ .



**Рис. 15.**Схема квадратурного модулятора



**Рис. 16. Формирование сигналов OQPSK**

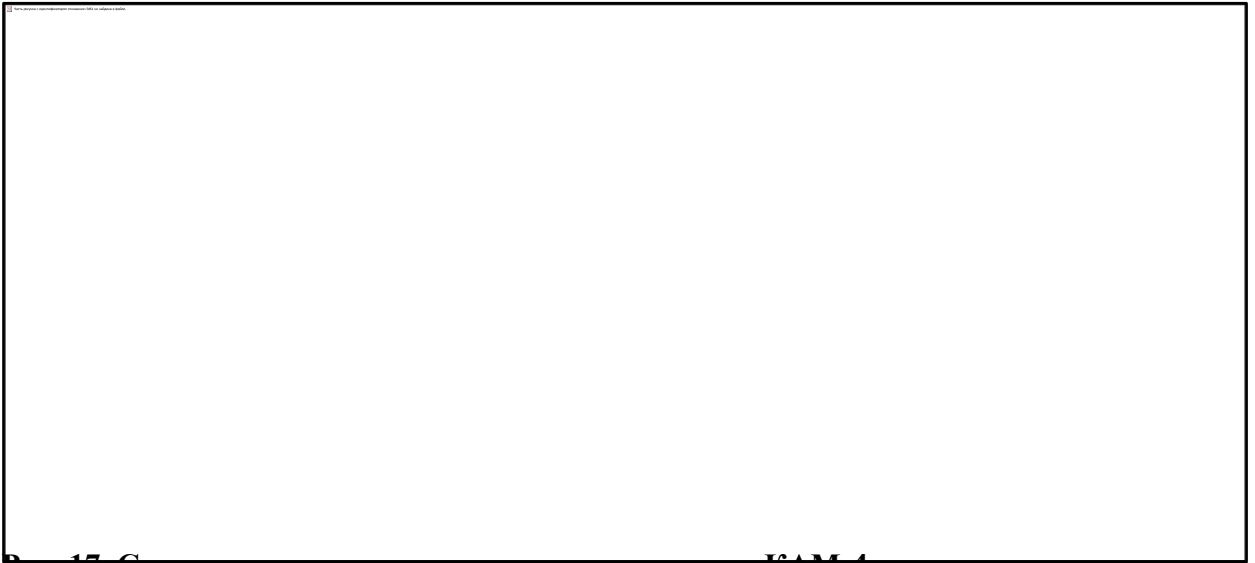
Такие скачки фазы, также имеющие место и при обыкновенной двухфазной модуляции (ФМ-2), вызывают паразитную амплитудную модуляцию огибающей сигнала. В результате этого при прохождении сигнала через узкополосный фильтр возникают провалы огибающей до нуля. Такие изменения сигнала нежелательны, поскольку приводят к увеличению энергии боковых полос и помех в канале связи.

Четырехфазная ФМ со сдвигом (OQPSK - Offset QPSK) (рис. 16) позволяет избежать скачков фазы на  $180^\circ$  и, следовательно, глубокой модуляции огибающей. Формирование сигнала в квадратурной схеме происходит так же, как и в модуляторе ФМ-4, за исключением того, что манипуляционные элементы информационной последовательности  $x(t)$  и  $y(t)$  смещены во времени на длительность одного элемента  $T$ , как показано на рис. 16, б, в. Изменение фазы при таком смещении модулирующих потоков определяется лишь одним элементом последовательности, а не двумя, как при ФМ-4. В результате скачки фазы на  $180^\circ$  отсутствуют, так как каждый элемент последовательности, поступающий на вход модулятора синфазного или квадратурного канала, может вызвать изменение фазы на  $0^\circ$ ,  $+90^\circ$  или  $-90^\circ$ .

Для приведенного в начале раздела выражения для описания сигнала характерна взаимная независимость многоуровневых манипулирующих импульсов  $x(t)$ ,  $y(t)$  в каналах, т.е. единичному уровню в одном канале может соответствовать единичный или нулевой уровень в другом канале. В результате выходной сигнал квадратурной схемы изменяется не только по фазе, но и по амплитуде. Поскольку в каждом канале осуществляется амплитудная манипуляция, этот вид модуляции называют квадратурной манипуляцией с изменением амплитуды (QASK — Quadrature Amplitude Shift Keying) или просто квадратурной амплитудной модуляцией — КАМ.

Пользуясь геометрической трактовкой, каждый сигнал КАМ можно изобразить вектором в сигнальном пространстве. Отмечая только концы векторов, для сигналов КАМ получаем изображение в виде сигнальной точки, координаты которой определяются значениями  $x(t)$  и  $y(t)$ . Совокупность сигнальных точек образует так называемое сигнальное созвездие (signal constellation).

На рис. 17 показана структурная схема модулятора и-сигнальное созвездие для случая, когда  $x(t)$  и  $y(t)$  принимают значения  $\pm 1$ ,  $\pm 3$  (4-х уровневая КАМ).



**Рис. 17. Схема модулятора и сигнальная диаграмма КАМ-4**

Величины  $\pm 1, \pm 3$  определяют уровни модуляции и имеют относительный характер. Созвездие содержит 16 сигнальных точек, каждая из которых соответствует четырем передаваемым информационным битам.

Комбинация уровней  $\pm 1, \pm 3, \pm 5$  может сформировать созвездие из 36 сигнальных точек. Однако из них в протоколах ITU-T используется только 16 равномерно распределенных в сигнальном пространстве точек.

Существует несколько способов практической реализации 4-х уровневой КАМ, наиболее распространенным из которых является так называемый способ модуляции наложением (SPM — Supersposed Modulation). В схеме, реализующей данный способ, используются два одинаковых 4-х фазных модулятора.

Структурная схема модулятора SPM и диаграммы, поясняющие его работу приведены на рис. 18.

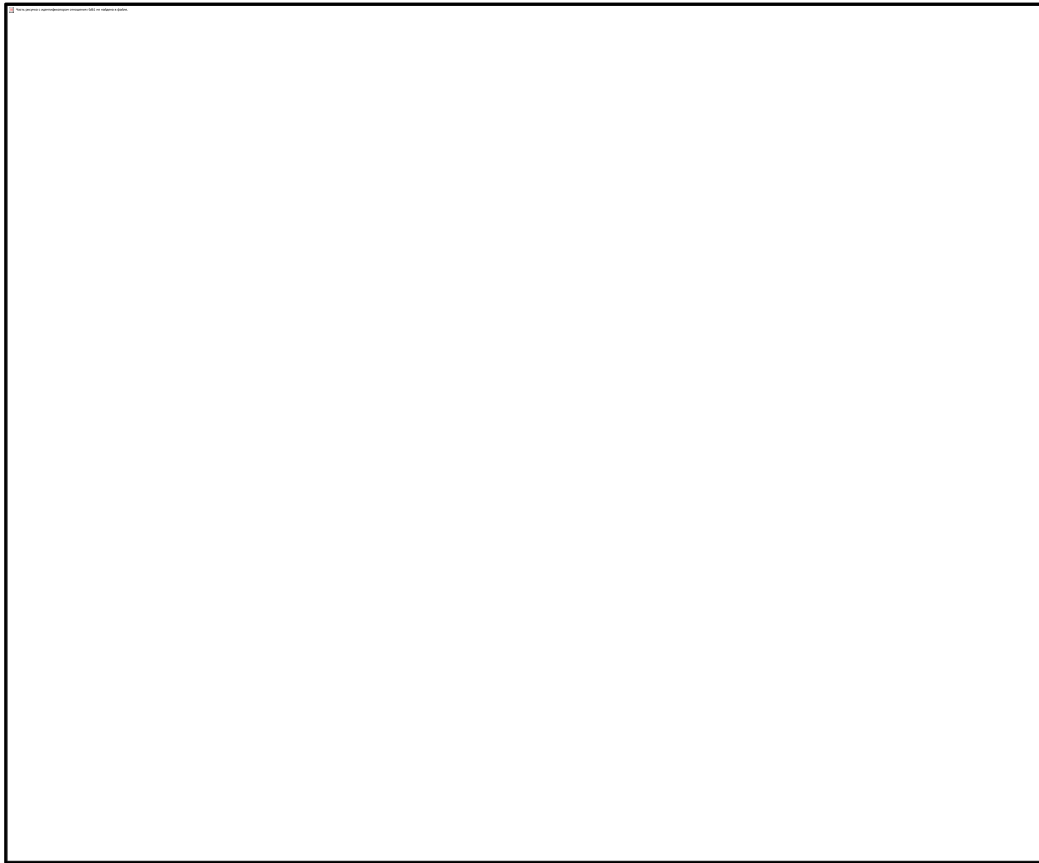
Из теории связи известно, что при равном числе точек в сигнальном созвездии спектр сигналов КАМ идентичен спектру сигналов ФМ. Однако помехоустойчивость систем ФМ и КАМ различна. При большом числе точек сигналы системы КАМ имеют лучшие характеристики, чем системы ФМ. Основная причина этого состоит в том, что расстояние между сигнальными точками в системе ФМ меньше расстояния между сигнальными точками в системе КАМ.

На рис. 19 представлены сигнальные созвездия систем КАМ-16 и ФМ-16 при одинаковой мощности сигнала. Расстояние  $d$  между соседними точками сигнального созвездия в системе КАМ с  $L$  уровнями модуляции определяется выражением:

$$d = \sqrt{2} / (L - 1), (12)$$

Аналогично для ФМ:

$$d = 2 \sin(n/M), \text{ где } M \text{ — число фаз, } (13)$$



**Рис.18.Схема модулятора КАМ-16**

Из приведенных выражений следует, что при увеличении значения  $M$  и одном и том же уровне мощности системы КАМ предпочтительнее систем ФМ. Например, при  $M = 16$  ( $L = 4$ ) –  $d_{КАМ} = 0.471$  и  $d_{ФМ} = 0,390$ , а при  $M = 32$  ( $L = 6$ ) –  $d_{КАМ} = 0,283$ ,  $d_{ФМ} = 0,196$

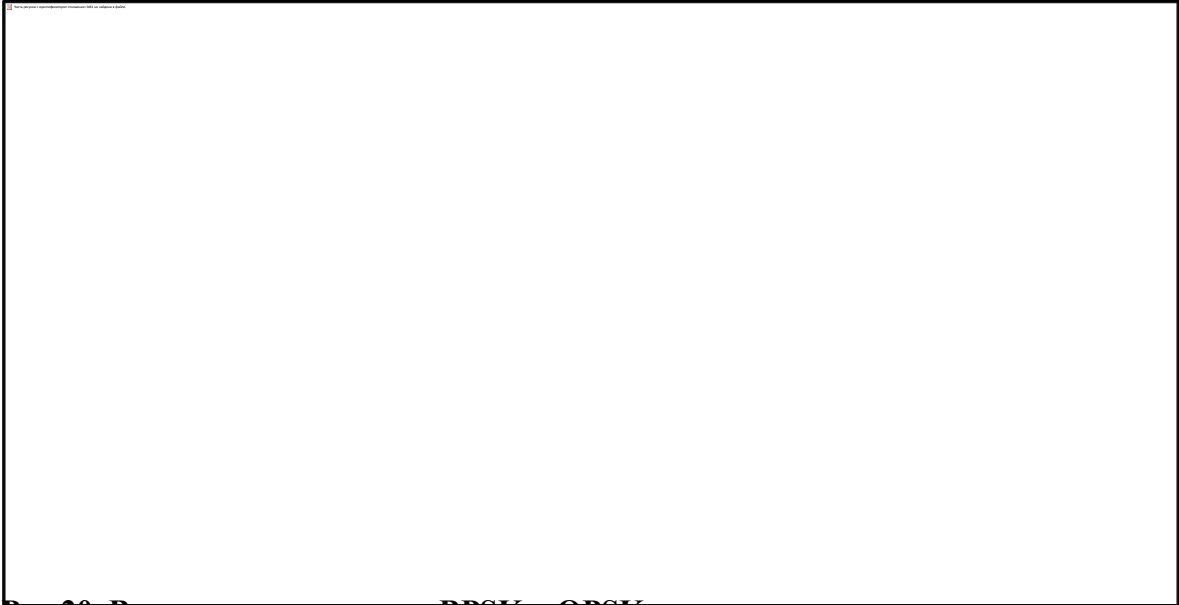


**Рис. 19. Сигнальные созвездия КАМ 16 и ФМ-16**

### **1.8. Квадратурная фазовая манипуляция (QPSK)**

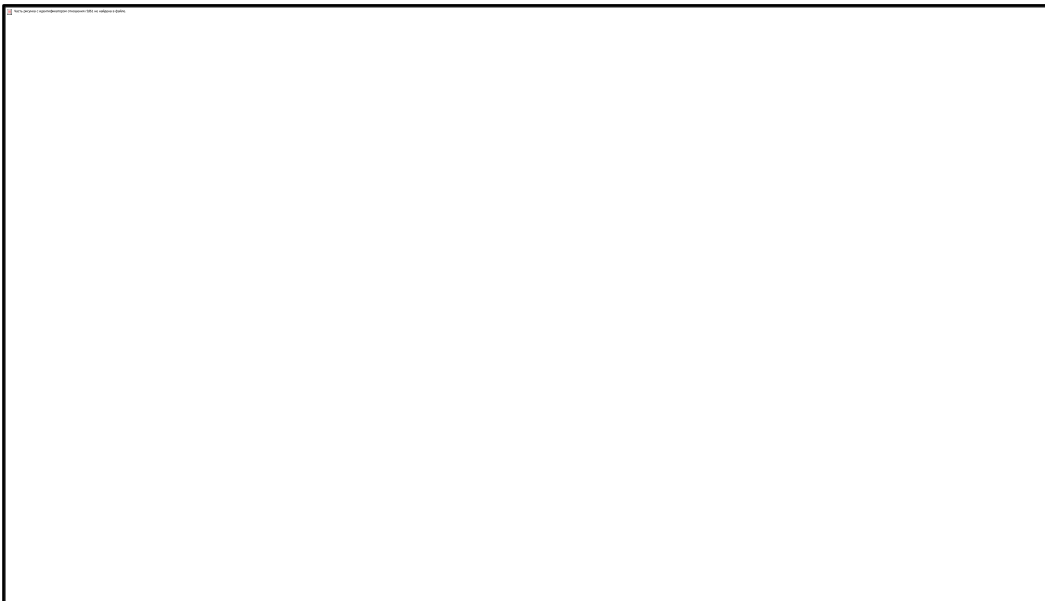
QPSK модуляция строится на основе кодирования двух бит передаваемой информации одним символом. При этом символьная скорость в два раза ниже скорости передачи информации. Для того чтобы понять, как один символ кодирует сразу два бита, рассмотрим рис. 20.





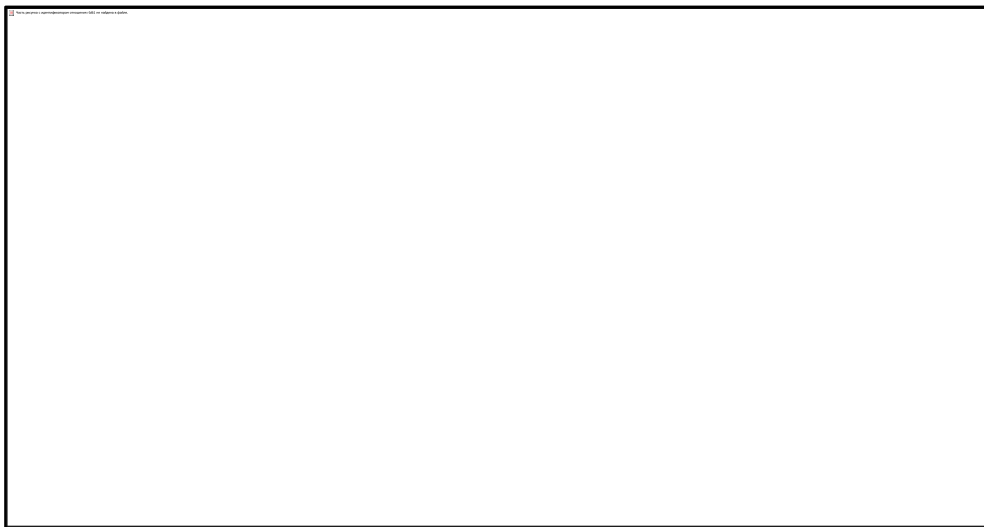
**Рис.20. Векторная диаграмма BPSK и QPSK сигналов**

На рис.20 показаны векторные диаграммы BPSK и QPSK сигналов. BPSK сигнал был рассмотрен ранее, и мы говорили, что один символ BPSK кодирует один бит информации, при этом на векторной диаграмме BPSK всего две точки на синфазной оси  $I(t)$ , соответствующие нулю и единице передаваемой информации. Квадратурный канал  $Q(t)$  в случае с BPSK всегда равен нулю. Точки на векторной диаграмме образуют созвездие фазовой манипуляции. Для того чтобы осуществить кодирование одним символом двух бит информации, необходимо, чтобы созвездие состояло из четырех точек, как это показано на векторной диаграмме QPSK рисунка 1. Тогда мы получим, что  $I(t)$  и  $Q(t)$  отличны от нуля, все точки созвездия расположены на единичной окружности. Тогда кодирование можно осуществить следующим образом: разбить битовый поток на четные и нечетные биты, тогда  $I(t)$  будет кодировать четные биты, а  $Q(t)$  – нечетные. Два последовательно идущих друг за другом бита информации кодируются одновременно синфазным  $I(t)$  и квадратурным  $Q(t)$  сигналами. Это наглядно показано на осциллограммах, приведенных на рисунке для информационного потока «1100101101100001».



### Рис.21 Синфазная и квадратурная составляющие QPSK сигнала

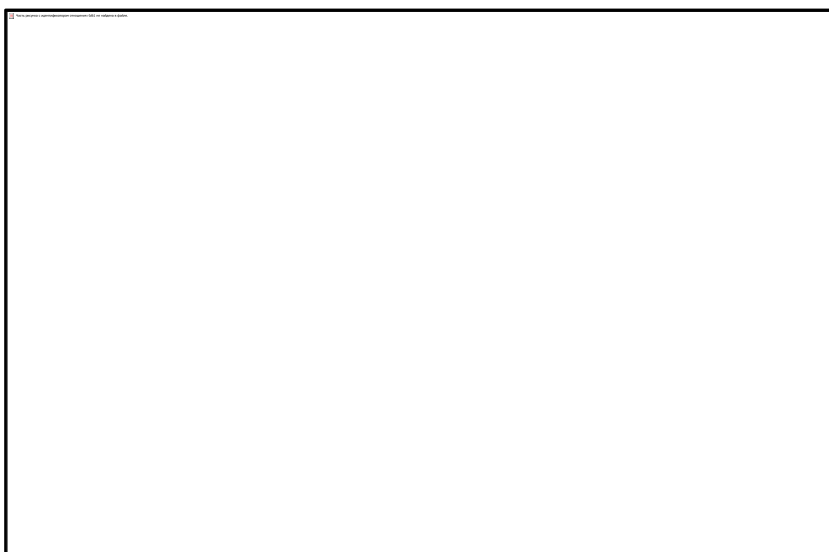
На верхнем графике входной поток разделен на пары бит, соответствующих одной точке созвездия QPSK, показанного на рис.21. На втором графике показана осциллограмма  $I(t)$ , соответствующая передаваемой информации.  $I(t) < 0$ . Если четный бит равен 1 (обратите внимание что биты нумеруются с нуля, а не с единицы, поэтому первый в очереди бит имеет номер 0, а значит он четный по порядку), и  $I(t) < 0$  если четный бит 0 (т.е.  $b_0(t) < 0$ ). Аналогично строится квадратурный канал  $Q(t)$  но только по нечетным битам. Длительность одного символа  $T=1/S_r$  в два раза больше длительности одного бита исходной информации. Устройство выполняющее такое кодирование  $I(t)$  и  $Q(t)$  согласно созвездию, QPSK условно показано на рис. 22.



### Рис. 22. Устройство кодирования синфазной и квадратурной составляющих на основе созвездия QPSK

В зависимости от пары бит  $b_0(t)$  на входе на выходе получаем постоянные в пределах длительности этой пары бит сигналы  $I(t)$  и  $Q(t)$ , значение которых зависит от передаваемой информации.

Структурная схема QPSK модулятора на основе универсального квадратурного модулятора показана на рис.23.



### Рис.23. Структурная схема QPSK модулятора

Сигнал SQPK(t) имеет вид:

$$\text{[Blank box]}, (14)$$

Синфазная  $I(t)$  и квадратурная  $Q(t)$  составляющие это ничто иное, как реальная и мнимая части комплексной огибающей QPSK SQPK(t) сигнала  $z(t) = I(t) + jQ(t)$ , которые являются входными сигналами квадратурного модулятора. Тогда можно представить через его комплексную огибающую  $z(t)$ :

$$\text{SQPK}(t) = \text{I}[z(t)\exp(j\omega_0 t)], (15)$$

Из комплексной огибающей можно выделить фазовую огибающую как:

$$\phi(t) = \arctan \frac{Q[z(t)]}{I[z(t)]} = \arctan \left( \frac{Q(t)}{I(t)} \right), (16)$$

Важно отметить, что арктангенс должен вычисляться с учетом четверти комплексной плоскости (функции арктангенс 2). Вид фазовой огибающей  $\Phi(t)$  для информационного потока «1100101101100001» показан на рис. 24.



**Рис. 24. Фазовая огибающая QPSK сигнала**

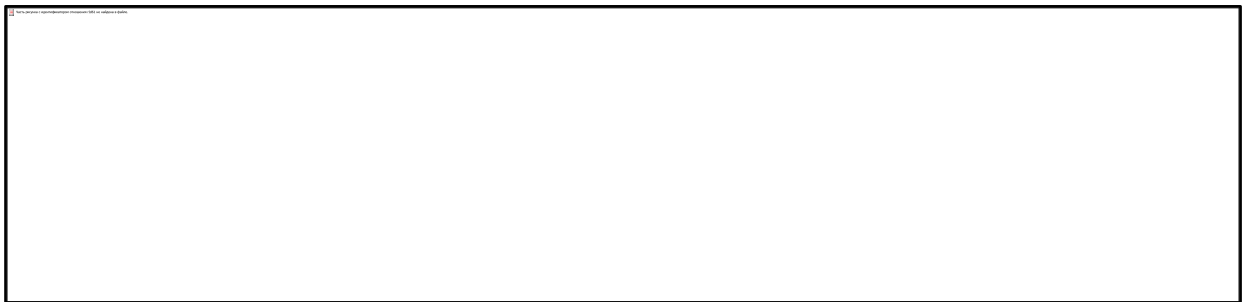
Фазовая огибающая представляет собой ступенчатую функцию времени, претерпевающую разрывы в моменты смены символа QPSK (напомним, что один символ QPSK несет два бита информации). При этом в пределах одного символа векторная диаграмма QPSK находится всегда в одной точке созвездия, как это показано внизу, а при смене символа – скачкообразно переходит в точку, соответствующую следующему символу. Поскольку у QPSK всего четыре точки в созвездии, то фазовая огибающая может принимать всего четыре значения:  $\pm \frac{\pi}{4}$  и  $\pm \frac{3\pi}{4}$ .

Амплитудная огибающая QPSK сигнала  $a(t)$  также может быть получена из комплексной огибающей  $z(t)$ :

$$\boxed{\phantom{a(t) = 2 \operatorname{Re}\{z(t)\}}}, \quad (17)$$

Отметим, что амплитудная огибающая QPSK сигнала равна единице всюду, за исключением моментов смены передаваемых символов, т. е. в моменты перескока фазы и перехода очередной точке созвездия.

Пример осциллограммы QPSK сигнала при входном битовом потоке «1100101101100001» при скорости передачи информации  $B_T=10$  кбит/с и несущей частоте 20 кГц показан на рис.25.



**Рис. 25. Осциллограмма QPSK сигнала**

Обратим внимание, что фаза несущего колебания может принимать четыре значения:  $\pm \frac{\pi}{4}$  и  $\pm \frac{3\pi}{4}$  радиан. При этом фаза следующего символа относительно предыдущего может не измениться, или измениться на  $\pm \frac{\pi}{2}$  или на  $\pm \pi$  радиан. Также отметим, что при скорости передачи информации  $B_T=10$  кбит/с мы имеем символьную скорость  $S_T=B_T/2=5$  кбит/с, и длительность одного символа  $T=1/S_T=0.2$  мс, что отчетливо видно на осциллограмме (скачок фазы происходит через 0.2 мс).

На рис.26 показан спектр BPSK  $|S_{BPSK}(f)|^2$  и спектр QPSK.

$|S_{QPSK}(f)|^2$  сигналов при  $B_T=10$  кбит/с и несущей частоте 100 кГц. Можно заметить, что ширина главного лепестка, а также боковых лепестков QPSK сигнала вдвое меньше чем у BPSK сигнала при одной скорости передачи информации. Это обусловлено тем, что символьная скорость  $S_T$  QPSK сигнала вдвое меньше скорости передачи информации  $B_T$ , в то время как символьная скорость BPSK равна скорости передачи информации. Уровни боковых лепестков QPSK и BPSK равны.

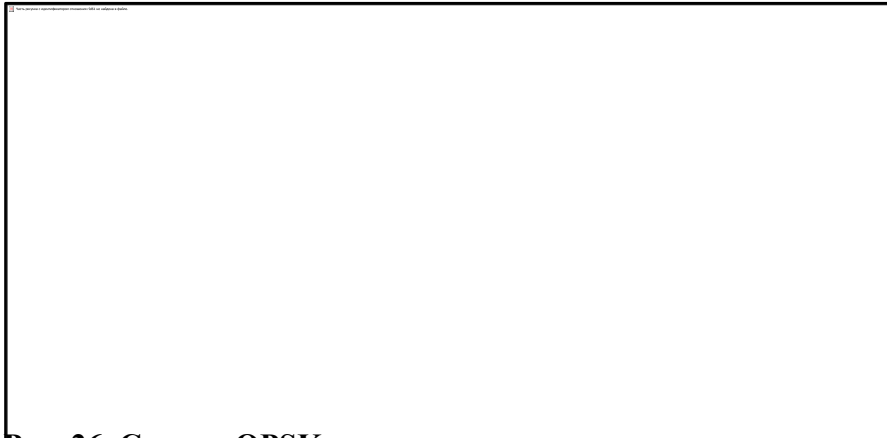


Рис. 26. Спектр QPSK сигнала

### 1.9. Способ частотного уплотнения с ортогональными несущими (OFDM)

При использовании модуляции типа OFDM поток данных передается с помощью большого числа несущих. Подобно квадратурной модуляции, способ OFDM использует ортогональные несущие, но в отличие от квадратурной модуляции частоты этих несущих не являются одинаковыми, они расположены в некотором диапазоне частот, отведенном для передачи данных путем модуляции и кратны некоторой основной частоте, в данном случае  $f_0$ . На практике частоты несущих соответствуют уравнению

$$U_n(t) = U_0 \cos \left[ 2\pi \left( f_0 + \frac{n}{T_s} \right) t \right], \quad (18)$$

где  $f_0$  - начало интервала, в котором производится частотное уплотнение;  $n$  - номер несущей, находящийся в диапазоне от 0 до  $(N-1)$ , т.е. всего несущих  $N$ ;  $T_s$  - длительность интервала передачи одного символа.

Анализ данного выражения подтверждает, что несущие действительно являются ортогональными, т.е. их среднее (по времени) произведение равно нулю. Это означает возможность их разделения на приеме даже при частичном перекрытии их боковых полос. Схема, иллюстрирующая принцип модуляции типа OFDM, приведена на рис.27 Сначала последовательный поток передаваемых данных демультиплексируется, т.е. разделяется на большое число ( $N$ ) параллельных потоков, трансформируясь в параллельную форму. Каждый из параллельных сигналов поступает на свой модулятор, в котором одна из ортогональных несущих подвергается модуляции какого-либо типа. Например, в качестве первичного метода модуляции отдельных несущих могут использоваться дифференциальная относительная фазовая модуляция (ДОФМ) и квадратурная амплитудная модуляция типа 16-QAM или 64-QAM, а также QPSK. Таким образом, каждая несущая переносит поток данных, уменьшенный в число раз, равное количеству несущих  $N$ . После сложения модулированных ортогональных колебаний формируется результирующий сигнал OFDM.



**Рис. 27. Функциональная схема устройства модуляции типа OFDM**

Даже в условиях сравнительно небольшой скорости потока данных, переносимого каждой несущей, возможны межсимвольные искажения, бороться с которыми позволяет защитный интервал перед каждым передаваемым символом. Причем структура и заполнение защитного интервала должны сократить ортогональность принимаемых несущих. Поэтому защитный интервал - это не просто пауза между полезными символами, достаточная для угасания сигнала символа до начала следующего. В защитном интервале передается фрагмент полезного сигнала, что и гарантирует сохранение ортогональности несущих принятого сигнала. Это обеспечивается только в том случае, если эхо-сигнал при многолучевом распространении задержан не более, чем на длительность защитного интервала. Поэтому величина защитного интервала зависит от расстояния между радиопередатчиками в одночастотных сетях ТВ вещания или от задержки естественного эхо-сигнала в сетях вещания с традиционным распределением частотных каналов. Чем больше время задержки, тем больше должна быть длительность защитного интервала. С другой стороны, для обеспечения максимальной скорости передаваемого потока данных защитный интервал должен быть как можно короче. Практически одна четвертая часть от величины полезного интервала является достаточной оценкой максимального значения длительности защитного интервала. Предварительные исследования показали, что если одночастотные сети будут строиться в основном с использованием существующих радиопередатчиков, то абсолютная величина защитного интервала должна быть около 250 мкс. Это позволяет создавать большие одночастотные сети регионального уровня. Если защитный интервал в 250 мкс составляет четвертую часть полезного интервала, то длительность самого полезного интервала должна быть установлена на уровне около 1 мс. Величина шага частот, несущих связана с шириной основного лепестка спектра одного модулированного несущего колебания и определяется величиной, обратной длительности полезного интервала, поэтому расстояние между соседними несущими будет равно примерно 1 кГц. При ширине полосы частот канала 8 МГц и шаге 1 кГц число несущих должно быть равно 8000.

Можно задаться вопросом об объеме данных, которые необходимо передавать с помощью одной несущей. Если он окажется слишком велик, то потребуется использовать многопозиционные модулирующие сигналы и помехозащищенность системы будет невелика. Для передачи данных даже в системе ТВЧ достаточно скорости потока данных 20 Мбит/с (с учетом применения компрессии), в этом случае за 1 мс (время одного символа) должно быть передано 20 кбит, что дает меньше 3 битов на одну несущую за время одного символа. Такая величина может быть реализована с использованием 8-позиционных символов, что дает довольно высокую степень помехозащищенности. При числе несущих в несколько тысяч возникает естественный вопрос о практической реализации функциональной схемы, представленной на рис.28. Применение восьми тысяч синтезаторов несущих колебаний и восьми тысяч модуляторов сделало бы такую систему передачи очень громоздкой и практически невозможной для реализации. Но разработки

алгоритмов и промышленный выпуск интегральных схем процессоров быстрого преобразования Фурье позволили решить эту проблему (рис.29). Ведь перемножение некоторых коэффициентов на гармонические колебания разных частот, удовлетворяющих вышеприведенным условиям, и суммирование полученных произведений представляет собой не что иное, как вычисление обратного преобразования Фурье (на схеме рис.29 соответствующий блок обозначен как ОБПФ - обратное быстрое преобразование Фурье), коэффициентами для вычисления которого являются распараллеленные потоки данных. Поскольку все вычисления производятся в цифровой форме, то на выходе появляется ЦАП. Демодуляция может быть построена на базе прямого преобразования Фурье (см. рис.29, б), где БПФ - устройство быстрого преобразования Фурье. Естественно, что в этом случае на входе должен стоять АЦП. В большинстве быстрых алгоритмов Фурье размер массива, подвергающегося преобразованию, кратен целой степени числа 2. Поэтому можно использовать, например, размер массива  $N = 8192 = 8k$  или  $N = 2048 = 2k$  (здесь  $k = 2^{10} = 1024$ ). На практике число несущих меньше, часть несущих не используется, поскольку между полосами соседних каналов должен быть оставлен некоторый зазор. В двух предложенных в настоящее время режимах используются 6817 и 1705 несущих, но по размерности массива быстрого преобразования Фурье системы модуляции называются соответственно 8k OFDM и 2k OFDM.



**Рис.29. Функциональные схемы модуляции и демодуляции типа OFDM с помощью обратного и прямого преобразований Фурье**

Режим 2k пригоден для вещания одиночным передатчиком и для построения малых одночастотных сетей с ограниченными расстояниями между передатчиками. Режим 8k применяется в тех случаях, когда необходимо построение больших одночастотных сетей. В канале связи с шириной полосы 8 МГц система модуляции OFDM занимает полосу 7,61 МГц, а разнос несущих равен 4464 Гц (режим 2k) или 1116 Гц (режим 8k).

Передаваемый сигнал, модулированный способом OFDM, организован в кадры. Четыре кадра образуют суперкадр. Каждый кадр состоит из 68 символов, каждый символ - из 6817 несущих (режим 8k = 8192), из которых часть используется для синхронизации и управления. Число полезных несущих равно 6048. Для режима 2k = 2048 из 1705 несущих полезными являются 1512.

Однако многолучевое распространение радиосигнала в точку приема (довольно типичное для наземного телевидения) приводит к ослаблению и даже полному подавлению некоторых несущих вследствие интерференции прямого и задержанного сигналов. Решению этой проблемы помогает кодирование с целью обнаружения и исправления ошибок в канале передачи данных.

Кодирование превращает OFDM в COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Почему же COFDM более эффективна в условиях многолучевого приема, чем система передачи с одной несущей? Если по каналу связи с резко выраженной неравномерностью частотной характеристики передается одна модулированная несущая, то ослабление отдельных частотных составляющих можно компенсировать с помощью частотного корректора (хотя и за счет уменьшения отношения сигнал-шум), но если какая-нибудь составляющая подавлена полностью, то корректирующий фильтр помочь не может в принципе и сигнал претерпевает необратимые искажения. Однако если данные передаются с помощью частотного уплотнения, то даже полное исчезновение сигналов отдельных несущих не является столь важным, поскольку данные, переносимые этими несущими, могут быть восстановлены за счет канального кодирования. Контейнер данных COFDM отлично приспособлен к условиям передачи данных в наземном телевидении благодаря возможности отдельной обработки сигналов большого числа несущих. Благодаря применению COFDM возможна организация сетей ТВ вещания с перекрытием частот передающих станций, работающих на одной частоте. Скорость передачи данных в канале связи с модуляцией типа COFDM зависит от вида модуляции несущих, установленных значений кодовой скорости и защитного интервала между символами. Если кодовая скорость находится в пределах от  $1/2$  до  $7/8$  (разность между знаменателем и числителем равна числу добавленных проверочных битов), то скорость цифровой передачи составляет: при ДОФМ - 4,98 ... 10,56 Мбит/с; при 16-QAM - 9,95 ... 21,11 Мбит/с; при 64-QAM - 14,93 ... 31,67 Мбит/с. Для достижения требуемой помехоустойчивости модулирующие потоки данных могут кодироваться кодами с разными скоростями.



### 1.10. Многоуровневая амплитудная модуляция с частично подавленной несущей и боковой полосой частот (VSB).

При амплитудной модуляции с частично подавленной боковой полосой VSB (Vestigial Sideband) возможно использование как двухуровневых модулирующих сигналов, так и многоуровневых. Сравним двухуровневый сигнал с восьмиуровневым (рис. 30)

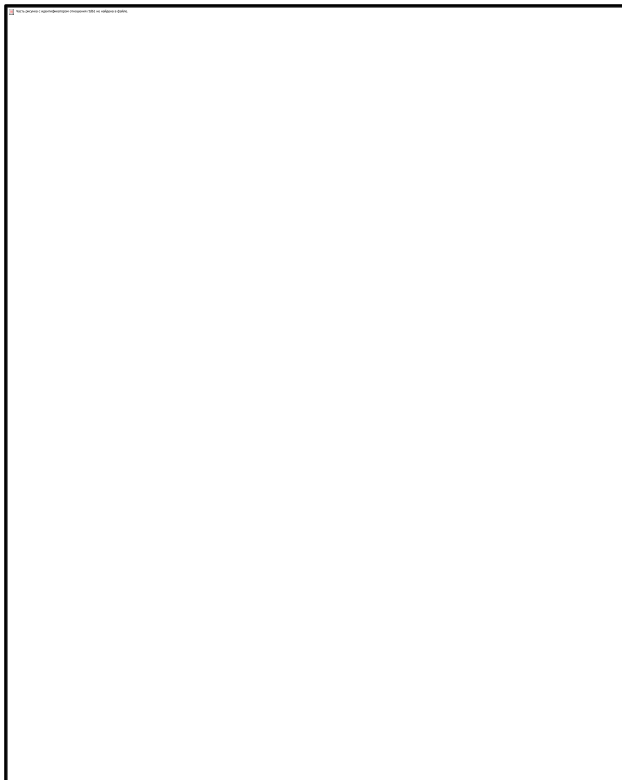


Рис. 30. Двухуровневые и восьмиуровневые модулирующие сигналы

При двухуровневом модулирующем сигнале, он полностью повторяет сигнал передаваемых данных. При высоком уровне - +1, при низком - -1. Таким образом один уровень может переносить информацию только одного бита. При восьмиуровневом, модулирующий сигнал на интервале одного символа может принимать один из восьми уровней, а значит переносить информацию сразу о трех битах. Ясно, что при одинаковой скорости передачи символов (что соответствует одинаковой полосе занимаемых частот) пропускная способность восьмиуровневой модуляции в три раза больше. Модуляция VSB может работать с разными модулирующими сигналами: 2-VSB, 4-VSB, 8-VSB, 16-VSB, N-VSB. Число показывает количество уровней модулирующего сигнала  $N=2^n$ , где n – количество бит, влияющих на выбор уровня модуляции. Итак, использование многоуровневой модуляции приводит к увеличению скорости передаваемых данных при той же полосе частот, или к уменьшению полосы частот при той же скорости данных. Но нельзя бесконечно увеличивать количество позиций модулирующего сигнала. Ведь на приемном конце демодулятор должен сделать выбор между этими разрешенными уровнями. Сигнал будет искажен и насыщен шумами, а детектировать сигнал необходимо точно. Ясно, что чем больше позиций у модулирующего сигнала, тем труднее приемнику будет сделать правильный выбор. Поэтому необходимо согласовывать выбор модуляции с характеристиками канала связи. В системе для кабельных сетей, где ниже уровни шума и отраженных сигналов используется модуляция 16-VSB, а для наземного вещания – 8T-VSB. Буква T означает использование внутреннего сверточного (трилисного) кодирования со скоростью 2/3. К двум информационным битам добавляется один проверочный, и именно эти три бита влияют на уровень модуляции.

И так в кабельных сетях (16-VSB) передается 4 бита информации на интервале одного символа, а в наземном вещании (8T-VSB) передается  $2=3-1$  бита. Таким образом, при одинаковой скорости передачи символов в той же полосе частот, в кабельных сетях система позволяет передавать в два раза больше информации  $2*19,39$  Мбит/с, чем в наземном вещании 19,39 Мбит/с.

Частота следования символов в обоих случаях равна  $F_S=10,76$  МГц, что обеспечивает высокую эффективность использования полосы частот канала и мощности передатчика (рис. 31).



**Рис. 31. Спектр сигнала**

Пределу Найквиста для такой скорости передачи символов соответствует полоса частот  $10,76/2=5,38$  МГц. Полоса частот, занимаемая сигналом, всего на 0,62 МГц больше теоретического предела.

Как отмечалось выше, входные данные подвергаются рандомизации, благодаря чему спектр сигнала имеет шумоподобную форму. Но появляется проблема: в цифровых данных после этой операции будет отсутствовать постоянная составляющая, что превратит амплитудную модуляцию в балансную (амплитудную модуляцию без несущей). Балансная модуляция намного сложнее для приема, поэтому в спектр сигнала вводят пилот сигнал (P). Он добавляет к мощности передатчика всего 0,3 дБ. Формируется пилот сигнал введением в модулирующие сигналы постоянной составляющей уровнем 1.25 единицы. Пилот сигнал позволяет восстановить несущую на приемном конце даже при отношении сигнал/шум 0дБ.

### **1.11. Стандарты цифрового наземного телевизионного вещания**

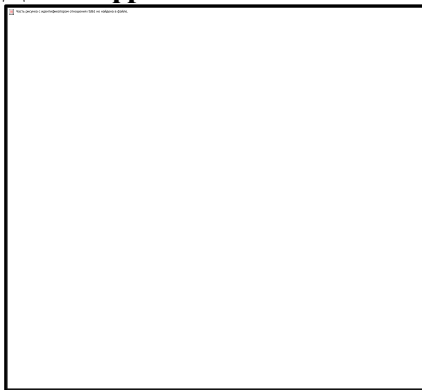
Международная стандартизация тракта передачи в наземном цифровом ТВ вещании основывается на обобщенной структурной схеме тракта цифрового телевидения и, как в случае ТВЧ, предусматривает возможность сохранения существующих наземных каналов с номинальными полосами частоты 6, 7 и 8 МГц (концепция 6-7-8).

В последние годы для цифрового наземного ТВ вещания на базе MPEG-2 предлагались три системы: ATSC, разработанная в США; DVB-T, разработанная в Европе, и ISDB-T, разработанная в Японии. ИК11 удалось минимизировать различия систем по функциональным средствам, а также гармонизировать их в отношении кодирования видео и звуковых сигналов и транспортного уровня. Гармонизированный набор функциональных средств позволяет создавать единый декодер. Благодаря этому удалось преобразовать три региональные системы в международные цифровые системы наземного вещания соответственно в Системы А, В и С

#### **Рекомендация ВТ.1306**

#### **Исправление ошибок, формат данных, методы модуляции и излучения**

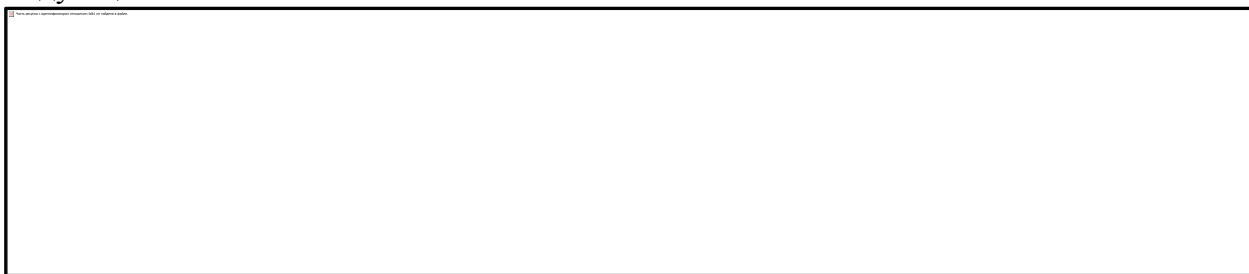
## Для цифрового наземного телевизионного вещания



**Рис. 31. Системы цифрового наземного ТВ вещания**

### 1.12. Концепция построения цифровых телевизионных систем Общая характеристика систем цифрового наземного ТВ вещания

Концепция построения систем наземного цифрового телевизионного вещания отвечает принципу модульности. В их структуре можно выделить три подсистемы, выполняющих кодирование источника, формирование транспортного потока, канальное кодирование и модуляцию



**Рис. 32. Цифровая система наземного телевизионного вещания**

В настоящее время разработаны, исследованы и предложены для международной стандартизации и внедрения три системы цифрового наземного ТВ вещания (ЦНТВ):  
-DVB-T (Европа) с многочастотной схемой модуляции OFDM (частотное распределение ортогональных несущих);

-ISDB-T (Япония) с многочастотной схемой модуляции BST-OFDM (частотное распределение ортогональных несущих в сегментах спектра);

-ATSC (США) с одночастотной схемой модуляции 8-VSB (однополосная АИМ).

В Европе в рамках консорциума DVB Project (Digital Video Broadcasting ' Project - проект цифрового видеовещания) разработаны стандарты DVB, которые применяются в системах цифрового аудио- и видеовещания, и передачи данных по спутниковым, кабельным и наземным сетям и определяют соответствующие системные рекомендации для кабельного (DVB-C), наземного (DVB-T) и спутникового (DVB-S) телевизионного вещания, а также для микроволнового многоточечного распределения (сотового телевидения).

Приступая к разработке системы эфирного (наземного) цифрового вещания, консорциум DVBProject определил следующие *требования к ее стандарту*:

- стандарт должен поддерживать концепцию контейнера данных и возможность переносить любые типы данных - телевидение стандартной (обычной) четкости, ТВЧ, звук, любую их комбинацию в пределах емкости контейнера;
- стандарт должен обеспечивать высокую помехозащищенность, максимальную гибкость использования спектра с возможным обменом емкости канала связи на размеры зоны обслуживания, возможность передачи служебных таблиц, телетекста, ввод данных системы условного доступа, т.е. реализацию системы платного телевидения;

- стандарт должен быть максимально унифицирован со стандартами на спутниковую и кабельную системы передачи с целью удешевления производства многостандартных декодеров;
- стандарт должен допускать обслуживание с существующих передающих центров и прием на уже используемые антенны;
- должен поддерживаться прием на комнатные антенны и переносимые телевизоры;
- стандарт должен поддерживать работу в одночастотной сети;
- приемник должен иметь выход цифровых данных для выделения сигналов дополнительных служб, желательно наличие модема для организации канала взаимодействия.

Система DVB-T была разработана с заложенным свойством существенной гибкости, обеспечиваемым за счет опций выбора широкого набора параметров, с целью адаптации ко всем каналам и режимам работы, включая фиксированный, мобильный и переносной приемы, а также построение одночастотных сетей.

Среди всех систем цифрового наземного ТВ вещания система DVB-T развивается наиболее динамично. Система DVB-T завоевывает все больше сторонников, поскольку обеспечивает наиболее высокое качество среди всех возможных применений. Успехам семейства систем DVB-T, -S, -C способствует широкая стандартизация всех подсистем и технологий, которые могут найти применение не только сегодня, но и в отдаленной перспективе с учетом прогресса других телекоммуникационных систем и изменения структуры и конъюнктуры рынка. Систему DVB-T из-за ее универсальности и многофункциональности приняли в качестве национального стандарта многие страны мира: Австралия, Бельгия, Великобритания, Венгрия, Германия, Греция, Дания, Индия, Ирландия, Испания, Италия, Литва, Нидерланды, Новая Зеландия, Норвегия, Польша, Португалия, Сингапур, Словакия, Словения, Турция, Украина, Финляндия, Франция, Хорватия, Чехия, Швейцария, Швеция.

Система DVB-T проходит испытания и является объектом рассмотрения для последующего решения о принятии в качестве стандарта в странах: Россия, Бразилия, Гонконг, Израиль, КНР, Куба, Тайвань, Чили.

Одним из первых, внедренных в эксплуатацию является разработанный в США стандарт цифрового телевизионного вещания ATSC (Advanced Television Systems Committee - Комитет по усовершенствованным системам телевидения). В значительной степени стандарт ATSC представляет собой подмножество стандарта MPEG-2. Стандарту MPEG-2, в частности, соответствуют подсистемы кодирования источника и транспортного мультиплексирования.

Стандарт ATSC не регламентирует форматы входных цифровых сигналов изображения, которые могут применяться при производстве телевизионных программ. Но в стандарте приводятся некоторые принятые в США форматы, которые могут использоваться в качестве входных для выполнения компрессии табл.2.

**Таблица 2. Допустимые параметры изображения стандарта ATSC**

Параметры	Стандарты		
	SMPTE 274M	SMPTE S17.392	МСЭ-Р ВТ.601-4
Число активных строк	1080	720	483
Число активных элементов в строке	1920 .	1280	720

Система 8-VSBATSC была разработана специально таким образом, чтобы к каждому существующему в США передатчику аналоговой системы NTSC можно было подключить

дополнительный цифровой передатчик с обеспечением сопоставимых зон охвата вещанием при фиксированном или, возможно, переносном приеме. Система ATSC принята в США, Канаде, Корее, Тайване. Аргентина ранее приняла систему ATSC в качестве национального стандарта, но в начале 2000 г. заявила о пересмотре данного решения и о выборе в перспективе либо DVB-T, либо ISDB-T. Основное отличие японского цифрового стандарта ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting - цифровое вещание с интеграцией служб) заключается в том, что интеграция различных телекоммуникационных служб является первоочередной целью, вытекающей из анализа роли телевидения в жизни японского общества.

Система ISDB-T принята в Японии и предлагается для испытаний и стандартизации в других странах. Система ISDB-T близка к системе DVB-T, но обладает расширенными возможностями передачи служб мультимедиа и по использованию радиоспектра в виде нескольких сегментированных полос частот, для каждой из которых могут быть установлены свои типы модуляции и корректирующего кодирования.

Системы ATSC, DVB-T и ISDB-T в основном различаются уровнем подсистемы адаптации к каналу вещания, в частности, применяемыми в них методами и параметрами цикловой синхронизации, корректирующего кодирования и модуляции, а также алгоритмами кодирования звукового сигнала. Полосы и диапазоны частот радиоканала в базовых вариантах систем совпадают с принятыми для аналогового вещания в странах-разработчиках.

Все системы — ATSC, DVB-T и ISDB-T используют методы мультиплексирования и формирования транспортных пакетов, соответствующих требованиям стандарта MPEG-2. Небольшие отличия связаны с выбором набора системных команд и обеспечиваемых функций, которые определяются передачей конкретных данных сервисной информации. Однако эти различия не носят принципиального характера, так как не препятствуют возможности создания единого декодера для всех видов систем. Поток транспортных пакетов перед передачей по каналу подвергается различным преобразованиям и аранжируется в кадры данных, специфические для каждой из систем.

Во всех системах цифрового наземного ТВ вещания используются такие виды борьбы с ошибками, как скремблирование, перемежение, внешнее кодирование Рида-Соломона, внутреннее кодирование сверточным кодом. Различия связаны с выбором параметров, указанных преобразований потоков данных.

Еще одно отличие систем ЦНТВ связано с выбранными методами кодирования звука. Система ATSC использует систему звукового кодирования Dolby AC-3. Системы DVB-T и ISDB-T используют алгоритм кодирования звука MPEG-2 уровня II, являющийся составной частью полного набора одноименных международных стандартов. Использование обеих систем звукового кодирования допускается Рекомендацией ВТ. 1299 МСЭ-Р.

Управление доступом очень важно для надлежащей эксплуатации систем цифрового наземного ТВ вещания, но оно вообще не входит в базовые спецификации систем. Любая система с ограниченным доступом, совместимая с транспортным потоком MPEG-2, может использоваться во всех трех системах. В системе DVB-T предлагается единый интерфейс для систем с ограниченным доступом.

### **1.13. Принципы функционирования стандарта цифрового наземного телевидения DVB-T**

#### **Общая характеристика и структура системы DVB-T**

Система цифрового наземного ТВ вещания DVB-T (*Система В* в МСЭ-Р) определяется как функциональный блок оборудования, обеспечивающий адаптацию цифрового ТВ сигнала, представленного в основной полосе частот на выходе транспортного

мультиплектора MPEG-2, с характеристиками стандартного наземного радиоканала вещания, имеющего ширину полосы частот 8 МГц.

Поскольку система DVB-T, как и любая другая система ЦНТВ, должна использовать существующие частотные планы и в течение достаточно длительного переходного периода обеспечивать вещание наряду с действующими аналоговыми ТВ системами (в России стандарта D.K/SECAM), она должна обладать требуемой помехозащищенностью со стороны аналоговых систем и не должна создавать недопустимых помех для них.

Для обеспечения всех необходимых требований по адаптации потока данных к радиоканалу вещания в составе передающего комплекта системы DVB-T имеются устройства кодирования для канала, мультиплексирования и модуляции. Структурная схема подсистемы адаптации к каналу наземного вещания показана на рис.33 На том же рисунке упрощенно показана также подсистема кодирования источников информации и их мультиплексирования в транспортный поток.



**Рис. 33. Структурная схема передающей части системы DVB-T.**

Выход транспортного мультиплекса является точкой стыка подсистем формирования и передачи транспортных пакетов. Таким образом, входным сигналом тракта адаптации является поток транспортных пакетов фиксированной длины 188 байт, из которых один (первый) байт служит для цикловой синхронизации. Для более равномерного распределения (дисперсии) энергии радиосигнала в полосе канала входной поток подвергается рандомизации (скремблированию).

В стандарте DVB-T используется сочетание двух видов кодирования - внешнего и внутреннего, рассчитанных на борьбу с ошибками различной структуры, частоты и статистических свойств и обеспечивающих при совместном применении практически безошибочную работу (такой подход типичен и для других сфер, например, для цифровой видеозаписи). Если благодаря работе внутреннего кодирования частота ошибок на выходе внутреннего декодера (рис.34) не превышает величины  $2 \times 10^{-4}$ , то система внешнего кодирования доводит частоту ошибок на входе демультимплекса MPEG-2 до значения  $10^{-11}$ , что соответствует практически безошибочной работе (ошибка появляется примерно один раз в течение часа).



**Рис. 34. Структурная схема приемного устройства преобразования сигналов и данных в приемнике DVB-T**

Кодирование обязательно связано с введением в поток данных некоторой избыточности и соответственно с уменьшением скорости передачи полезных данных, поэтому наращивание мощности кодирования за счет увеличения объема проверочных данных не всегда соответствует требованиям практики. Для увеличения эффективности кодирования, без снижения скорости кода, применяется перемежение данных.

Кодирование позволяет обнаруживать и исправлять ошибки, а перемежение увеличивает эффективность кодирования, поскольку пакеты ошибок дробятся на мелкие фрагменты, с которыми справляется система кодирования.

Система DVB-T имеет два идентичных по структуре тракта рандомизации и помехоустойчивого кодирования. Такое построение позволяет *использовать иерархические методы независимого кодирования двух потоков данных* для организации их приоритетного приема в зонах вещания с различной площадью покрытия. Общая часть тракта подсистемы адаптации служит для преобразования потоков данных в комбинации битов, соответствующих модулированным посылкам, ввода сигналов цикловой синхронизации и управления, *формирования защитных временных интервалов,*



преобразования цифровых сигналов в модулированный групповой спектр COFDM, переноса его в полосу канала вещания, усиления и излучения в эфир. Построение подсистемы кодовой защиты в системе DVB-T выполнено по традиционному для систем ЦНТВ каскадному принципу. Для защиты от ошибок в демодулируемом сигнале COFDM служит внутренний сверточный код с набором различных кодовых скоростей и относящийся к нему блок внутреннего перемежения-деперемежения битов. Для исправления пакетов ошибок и дополнительного снижения вероятности ошибки в декодированном сигнале служит внешний код Рида-Соломона и внешний перемежитель-деперемежитель байтов транспортного потока.

### **Защитные интервалы**

Для того чтобы избежать межсимвольных искажений, перед каждым символом вводится защитный интервал. Символ OFDM состоит из двух частей: полезной части и защитного интервала. Защитный интервал предшествует полезной части и является циклическим префиксом адекватной по длительности последней части символа.

Согласно стандарту, EN 300 744 в каждом из двух режимов системы DVB-T могут быть использованы четыре значения относительных защитных интервалов, приведенные в табл. 3.

**Таблица 3. Значения защитных интервалов в системе DVB-T**

--

### **Принцип иерархической передачи**

Особенность стандарта DVB-T - возможность иерархической передачи и приема. Данные на выходе мультиплексора транспортного потока расщепляются на два независимых транспортных потока MPEG-2 (см. рис. 8.3), которым присваиваются разные степени приоритета. Поток с высшим приоритетом кодируется с целью обеспечения высокой помехозащищенности, поток с низшим приоритетом (обозначен на рис. 8.3 пунктиром) - с целью обеспечения высокой скорости передаваемых данных. Затем оба кодированных потока объединяются и передаются вместе. Таким образом появляется возможность передачи по одному каналу двух различных программ или одной телевизионной программы в двух версиях. Первая версия характеризуется высокой помехозащищенностью, но ограниченной четкостью, вторая - высокой четкостью, но ограниченной помехозащищенностью. Это дает новые возможности. На стационарную антенну с помощью высокочастотного приемника может быть принята версия с высокой четкостью. Но эта же программа будет принята простым и дешевым приемником в варианте с ограниченной четкостью. Помехозащищенная версия будет также приниматься в тяжелых

условиях приема, например, в движении, на комнатную антенну. При меняющихся условиях приема возможно переключение приемника с одной версии на другую. Для работы одиночных передатчиков и сетей могут использоваться режимы работы с различным количеством несущих. Это обусловлено тем, что одни страны изначально планируют введение больших одночастотных сетей, а другие не предполагают этого делать. Стандарт DVB-T допускает два режима работы: 2k и 8k. Режим 2k подходит для одиночных передатчиков и малых сетей, 8k соответствует большим сетям, хотя он может использоваться и для отдельных передатчиков.

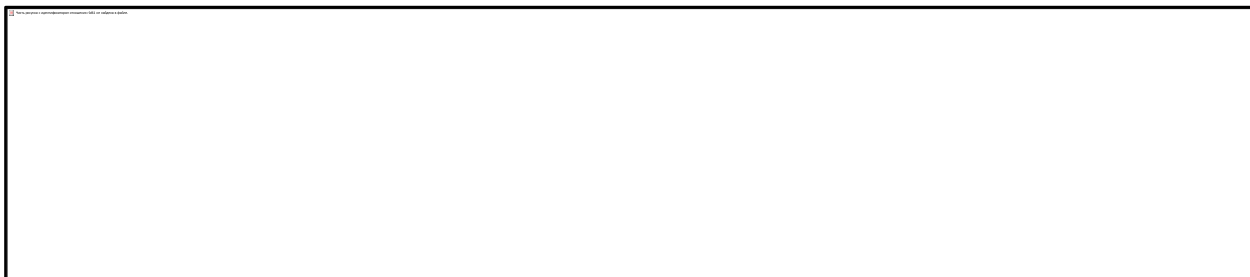
Стандарт DVB-T для достижения гибкости должен допускать обмен между скоростью передачи данных и помехозащищенностью. Введение защитного интервала позволяет эффективно бороться с неблагоприятными последствиями многолучевого приема. Однако платой за большой защитный интервал является уменьшение скорости передачи полезных данных. Для того чтобы сохранить большую скорость передачи данных в ситуациях, где не требуются большие одночастотные сети или не проявляется многолучевое распространение, предусмотрен целый набор возможных значений защитного интервала ( $1/4$ ,  $1/8$ ,  $1/16$  и  $1/32$  от длины полезного интервала). Скорость внутреннего кода, обнаруживающего и исправляющего ошибки, может быть установлена равной одному из значений следующего ряда:  $1/2$ ,  $2/3$ ,  $3/4$ ,  $5/6$ ,  $7/8$ . В стандарте DVB-T предусмотрена также возможность изменения числа позиций модулирующего сигнала от 4 до 64.

Поскольку распределение частотных каналов осуществляется в разных странах с различным шагом сетки частот, то переход от одного шага к другому в стандарте DVB-T выполняется путем замены системной тактовой частоты при сохранении всей структуры обработки сигналов. Разный шаг сетки частот обусловлен тем, что в отдельных странах стандартизованы различные номинальные полосы частот радиоканалов, предназначенных для передачи модулированных телевизионных сигналов, например, 8, 7 или 6 МГц.

### **Рандомизация данных**

Рандомизация данных является первой операцией, выполняемой в стандарте DVB-T (см. рис. 33). Ее цель - превратить цифровой сигнал в квазислучайный и тем самым решить две важные задачи. Во-первых, это позволяет создать в цифровом сигнале достаточно большое число перепадов уровня и обеспечить возможность выделения из него тактовых импульсов (такое свойство сигнала называется самосинхронизацией). Во-вторых, рандомизация приводит к более равномерному энергетическому спектру излучаемого радиосигнала (как известно, спектральная плотность мощности случайного шума постоянна на всех частотах, поэтому превращение сигнала в квазислучайный способствует выравниванию его спектра).

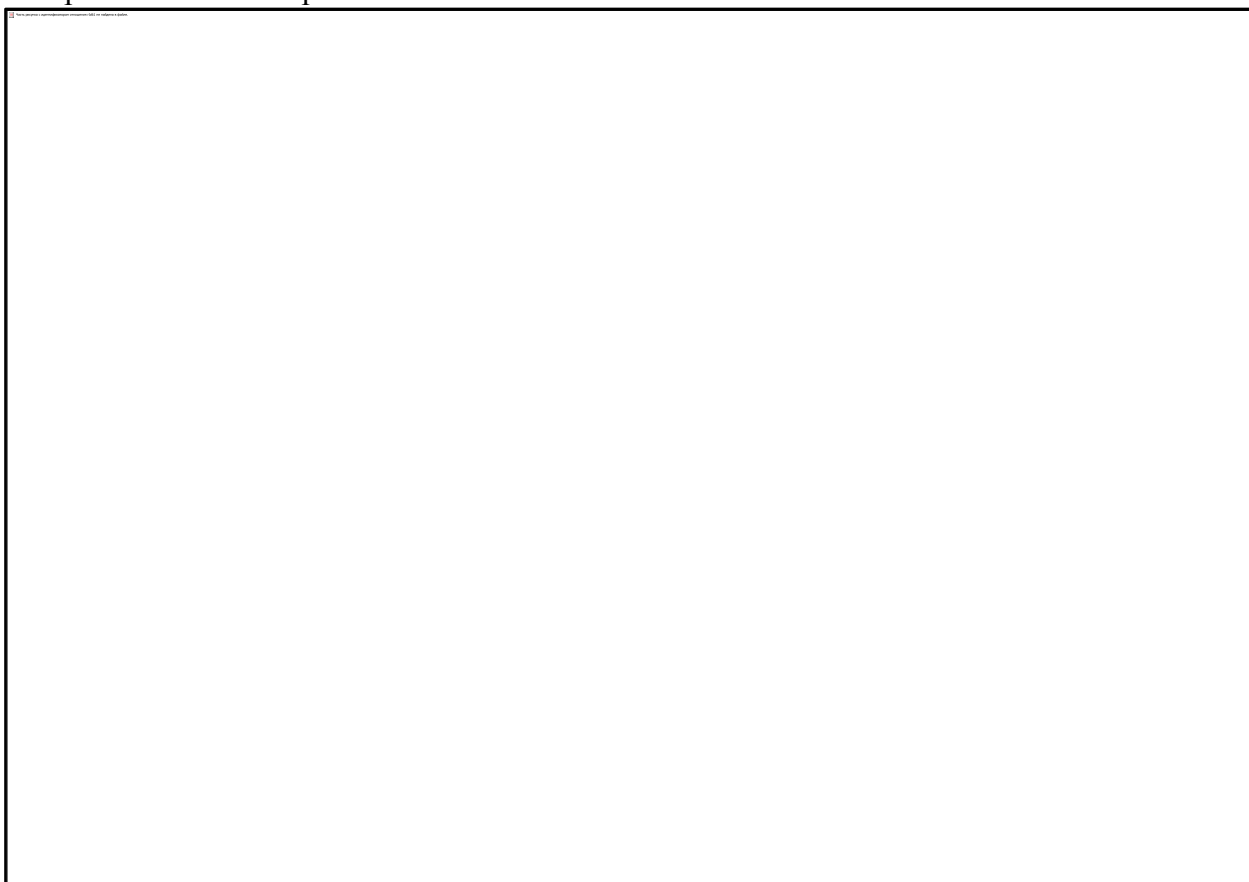
Чтобы обеспечить рассеивание энергии и близкую к случайной статистику переходов между битами потока, входной системный поток MPEG-2 должен быть рандомизирован. Рандомизации предшествует операция адаптации цифрового потока, представляющего собой последовательность транспортных пакетов MPEG-2 (рис. 35).



**Рис. 35. Адаптация транспортных пакетов MPEG-2**

Входящий поток битов организован в виде транспортных пакетов фиксированной длины 188 байт, которые со входа системы поступают в блок цикловой синхронизации и рандомизации. Каждый транспортный пакет содержит 1 байт слова синхронизации и 187 байтов мультиплексированных данных. Байты данных следуют старшим разрядом вперед. Байт синхронизации не скремблируется, его значение (01000111) инвертируется в каждом восьмом транспортном пакете и служит отметкой цикла из восьми пакетов.

Для рандомизации используется аддитивный 15-разрядный скремблер (аналогичное устройство выполняет также функции дескремблера в приемнике), структурная схема которого показана на рис. 36



**Рис. 36 Структурная схема скремблера-дескремблера в системе DVB-T**

В генераторе псевдослучайной двоичной последовательности скремблера используется генераторный полином вида

$$C(X) = 1 + X^{14} + X^{15}, \quad (19)$$

После загрузки в скремблер инициализирующей последовательности генерируется ПСП, которая воздействует на группу из восьми транспортных пакетов. Байты синхронизации последних не скремблируются — в эти моменты выход генератора ПСП блокируется. Для правильной синхронизации дескремблера в приемнике необходима групповая синхронизация: инвертируется первый синхробайт в группе из восьми транспортных пакетов.

### **Внешнее кодирование и перемежение**

Внешнее кодирование поступающих транспортных пакетов в системе DVB-T осуществляется укороченным кодом Рида-Соломона RS (204,188,  $t=8$ ), производимым из оригинального систематического кода RS (255,239,  $f=8$ ). Практически укорачивание кода обеспечивается добавлением на входе кодера RS (255,239, $t=8$ ) группы из 51 нулевого байта перед информационными байтами транспортного пакета. После кодирования эти нулевые байты отбрасываются, оставляя кодовое слово длиной 204 байта (рис. 37).



**Рис. 37 Формирование пакетов данных с защитой от ошибок**

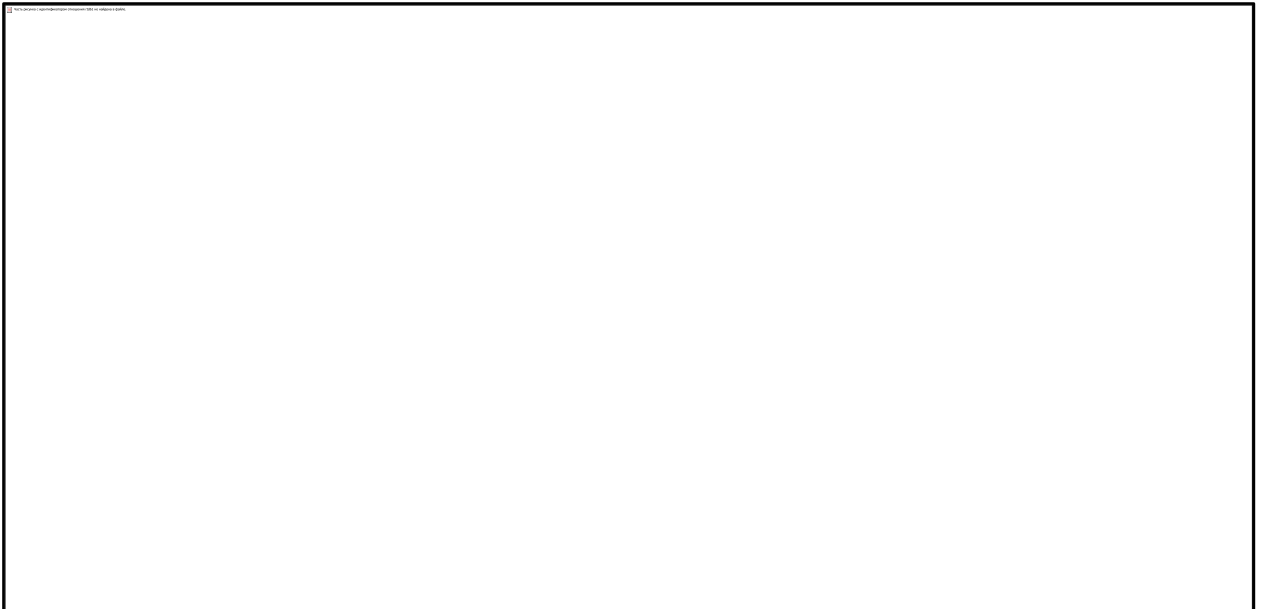
Кодированию подлежит целиком транспортный пакет длиной 188 байт, включая его синхробайт (как неинвертированный, так и инвертированный). Генераторный полином укороченного кода Рида-Соломона имеет вид:

$$g(x) = (x^N - X, 0)(x + X, 1)(x + X(2)) \dots (x^N - X, 15), \text{ где } \lambda = 02\text{не}x, \quad (20)$$

генераторный полином поля —

$$p(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1, \quad (21)$$

После внешнего кодирования производится операция внешнего перемежения в сверточном побайтовом перемежителе структуры Форни с глубиной перемежения  $I=12$ , структурная схема которого показана на рис. 38



**Рис. 38 Структурная схема устройства для внешнего сверточного перемежения-деперемежения в системе DVB**

Для деперемежения данных в приемнике используется аналогичная схема. Байты синхронизации пакетов не перемежаются, они все время проходят через перемежитель по ветви с нулевой задержкой, как показано на структурной схеме рис. Задержки в ветвях деперемежителя выбраны таким образом, чтобы во всех положениях 12-позиционного коммутатора суммарная задержка перемежителя-деперемежителя была равна  $17 \times 11$  байтов.

### **Внутреннее кодирование**

Для внутреннего кодирования в системе DVB-T используются выколотые сверточные коды с рядом скоростей от  $1/2$  до  $7/8$ . Все они получаются из исходного кода, имеющего скорость  $1/2$  с длиной кодового ограничения  $K=7$ , что соответствует 64 состояниям

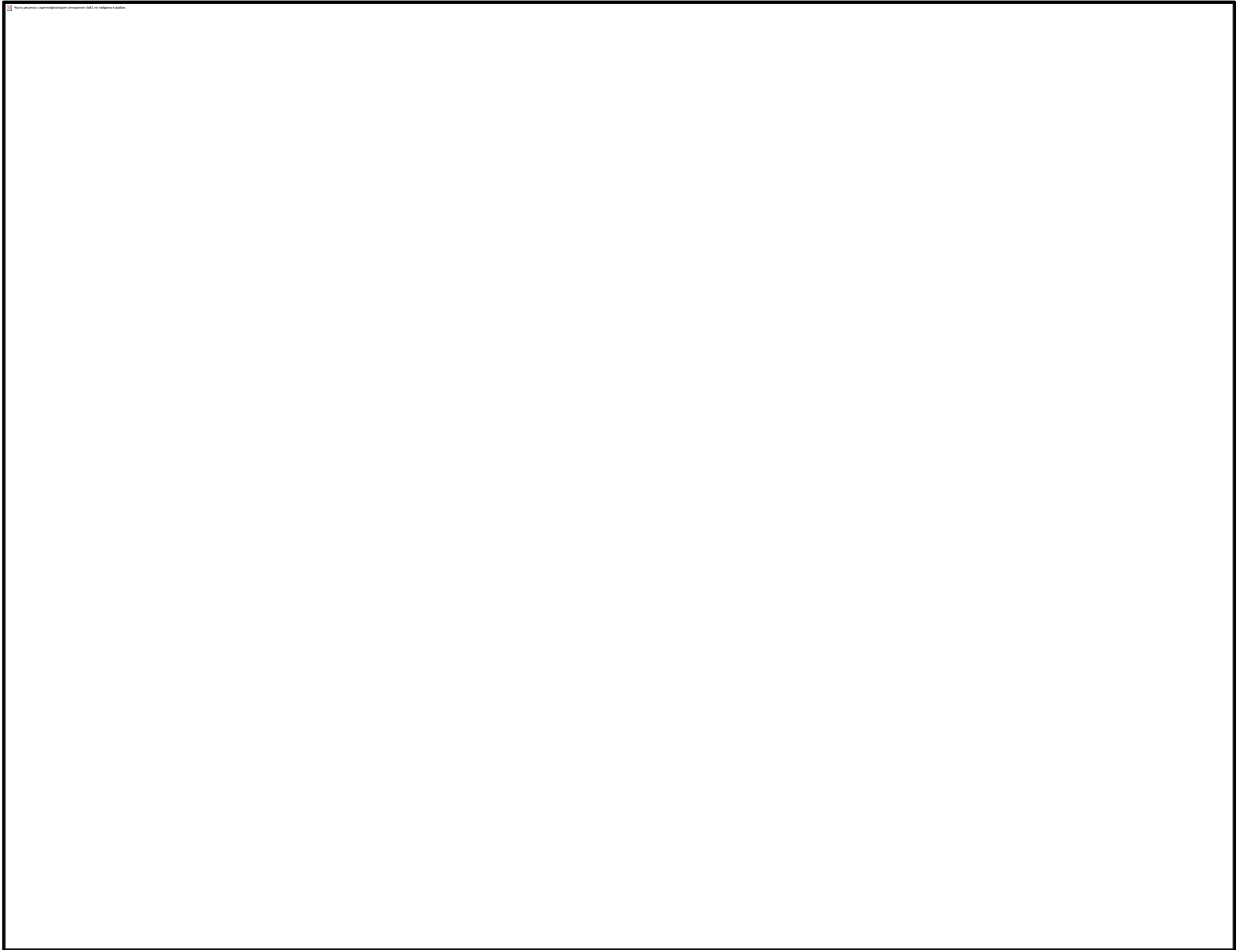
решетчатой диаграммы. Структурная схема сверточного кодера показана на рис. 39(1) Генераторные полиномы двух его ветвей определяются выражениями (в восьмиричном коде)  $G_1=171_{Oct}$  и  $G_2=133_{Oct}$ .

Как было отмечено, в системе DVB-T имеются два идентичных тракта с внутренними кодерами. При использовании иерархической передачи с двумя уровнями приоритетов в каждом из этих двух каналов кодирования может быть установлена своя собственная кодовая скорость.

Фактически следом за базовым сверточным кодером со скоростью  $1/2$ , схема которого показана на рис. 39(1), установлен перфоратор, который производит выкалывание кодированной последовательности, удаляя из нее часть проверочных битов. При этом кодовая скорость возрастает до более высоких значений —  $2/3$ ,  $3/4$ ,  $5/6$  и  $7/8$ .



**Рис. 39. 1) Структурная схема внутреннего сверточного кодера в системе DVB; 2) Кодирование с удалением проверочных битов; 3) Таблица кодирования**



**Рис. 40. Структурная схема внутреннего перемежителя в системе DVB-T**

### **Внутреннее перемежение**

Внутренний перемежитель расположен на входе единого тракта обработки данных, следующего за двумя параллельными подсистемами кодирования. Внутренний перемежитель состоит из перемежителя битов и следующего за ним перемежителя символов. Структура внутреннего перемежителя зависит от выбранных иерархического режима и схемы модуляции. Поэтому приведем для сведения самую сложную структурную схему, которая соответствует передаче двух иерархических потоков и схеме первичной модуляции 64-QAM (для каждой из несущих в группе COFDM).

Схема внутреннего перемежителя показана на рис. 40. На вход схемы поступают два кодированных потока данных  $[x_{00}, x_{10}, x_{20} \dots]$  и  $[x_{00}, x_{11}, x_{21} \dots]$ . Входные потоки данных демультиплексируются на  $V$  подпотоков, где  $V = 2$  для модуляции QPSK,  $V = 4$  для 16-QAM и  $V = 6$  для 64-QAM. Поток с высоким приоритетом демультиплексируется на два подпотока, а поток с низким приоритетом — на  $(V - 2)$  подпотока. Если используется неиерархический режим передачи, то работает только один канал кодирования и на вход перемежителя с выхода внутреннего кодера поступает один поток данных  $[x_0, x_1, x_2 \dots]$ , который демультиплексируется на  $v$  подпотоков.

После демультиплексирования каждый из подпотоков обрабатывается отдельным перемежителем битов. При перемежении в зависимости от числа  $v$  используется до 6 таких перемежителей, обозначаемых индексами  $I0-I5$ . Перемежители с индексами  $I0$  и  $I1$  применяются при QPSK, с индексами  $I0-I3$  — при 16-QAM, с индексами  $I0-I5$  — при 64-QAM.

Перемежению подвергаются только полезные данные. Длина блока каждого из перемежителей постоянна и равна 126 битам, но последовательности перемежения у всех

разные. Процесс перемежения блоков повторяется ровно 12 раз за время одного символа OFDM в режиме  $2k$  или 48 раз в режиме  $8k$ .

Выходы  $V$  перемежителей в каждом такте группируются в один цифровой символ данных (кодovou комбинацию), так что в символе присутствует по одному биту от каждого из  $V$  перемежителей. При этом бит с выхода перемежителя с индексом  $l_0$  является самым старшим битом комбинации. Сформированные символы далее подвергаются следующему этапу перемежения (по символам). Это означает, что каждый из символов модулирует по случайной выборке одну из несущих всей группы OFDM (1512 несущих в режиме  $2k$  или 6048 несущих в режиме  $8k$ ). Перемежение по битам эквивалентно перемежению во времени, тогда как перемежение по символам эквивалентно перемежению по частоте.

### Методы модуляции

В системе ЦНТВ DVB-T используется передача сигналов по многочастотной схеме модуляции с частотным распределением ортогональных несущих (OFDM). Возможен выбор одного из двух режимов вещания: режима  $2k$  с общим числом 1705 ортогональных несущих или режима  $8k$  с общим числом 6817 ортогональных несущих в одном символе OFDM. Каждая из несущих модулируется низкоскоростным цифровым потоком, являющимся частью общего транспортного потока системы, причем в качестве первичных видов модуляции для различных условий регламентируются QPSK, 16-QAM и 64-QAM. В зависимости от выбранной схемы передачи в системе DVB-T могут формироваться три группы сигнальных созвездий: равномерные для неиерархической передачи (используется QPSK, 16-QAM, 64-QAM) и неравномерные с двумя возможными коэффициентами неравномерности  $\alpha = 2$  и  $\alpha = 4$  (используется 16-QAM и 64-QAM). Форма сигнальных созвездий модулированных сигналов соответствует применительно к описанию схем модуляции QPSK и M-QAM.

Модулированные узкополосные ортогональные несущие объединяются в пределах полосы канала в группу COFDM. При модуляции несущих (при отображении битовых комбинаций в точки сигнального созвездия) для двух старших разрядов используется преобразование натурального кода в код Грея.

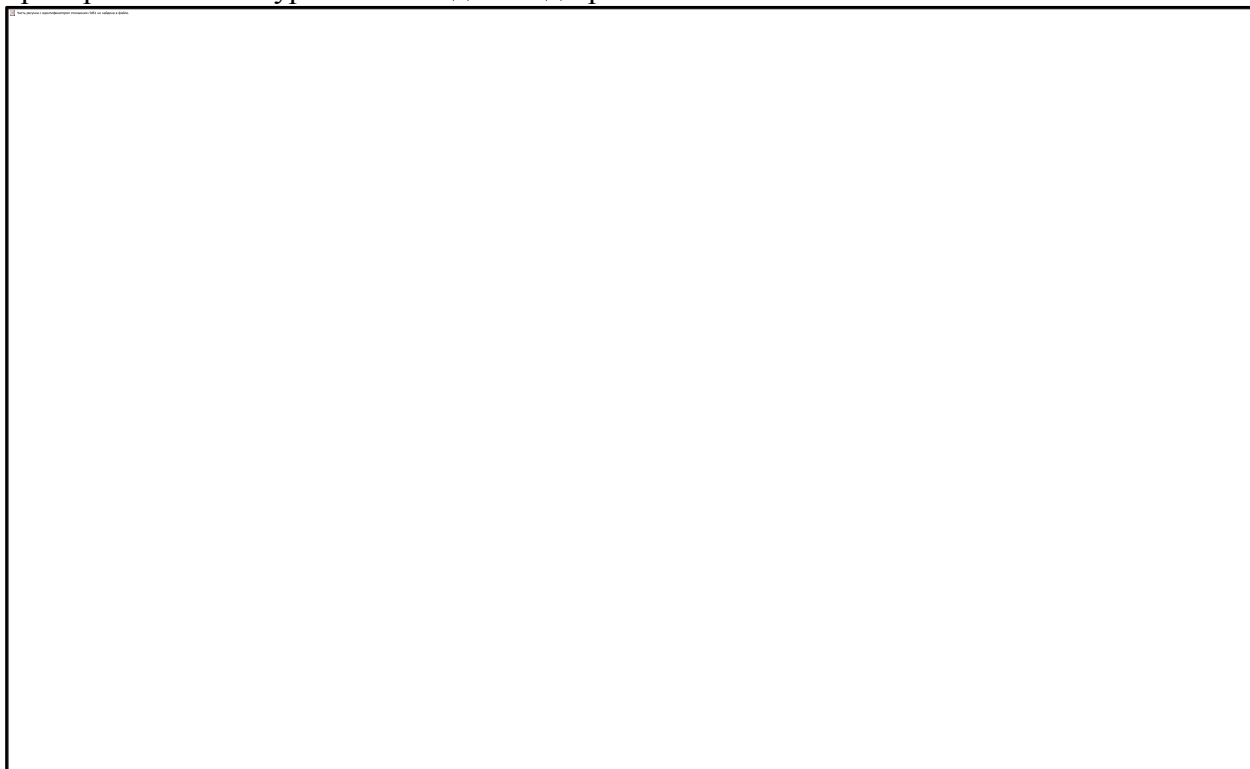


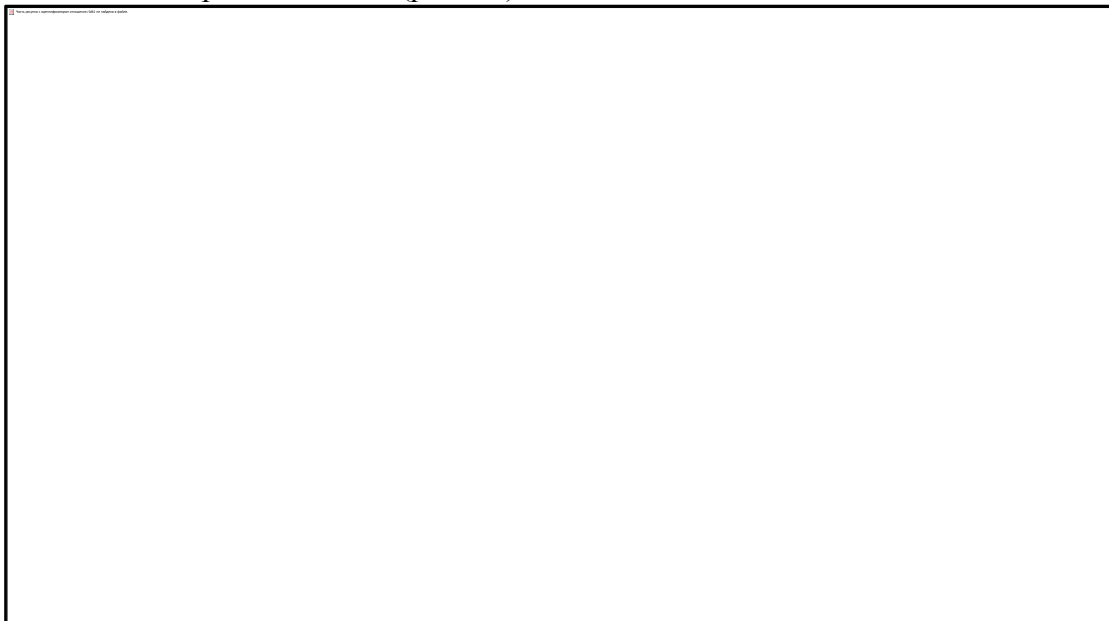
Рис. 41. Маска спектра системы DVB-T

В ТВ радиоканале спектр системы DVB-T за счет использования схемы модуляции OFDM имеет очень хорошую прямоугольность. Полная спектральная плотность мощности модулируемых несущих OFDM является суммой спектральных плотностей мощности множества несущих. Теоретический спектр сигнала OFDM для канала с полосой 8 МГц показан на рис. 41. Уровень спектра на частотах вне номинальной полосы радиосигнала 7,61 МГц может быть снижен с помощью применения дополнительной полосовой фильтрации.

### Формирование кадра данных

В системе DVB-T на выходе тракта внешнего кодирования и перемежения образуется поток кодированных пакетов длиной по 204 байта: 1 байт синхронизации, 187 байтов перемеженных данных транспортных пакетов и 16 байтов внешней кодозащиты. После внутреннего кодирования длина пакета возрастает пропорционально выбранной кодовой скорости сверточного кода. Полученный результирующий поток битов в процессе модуляции преобразуется в символы сигнала OFDM, которые организуются в кадры. Четыре кадра образуют один суперкадр.

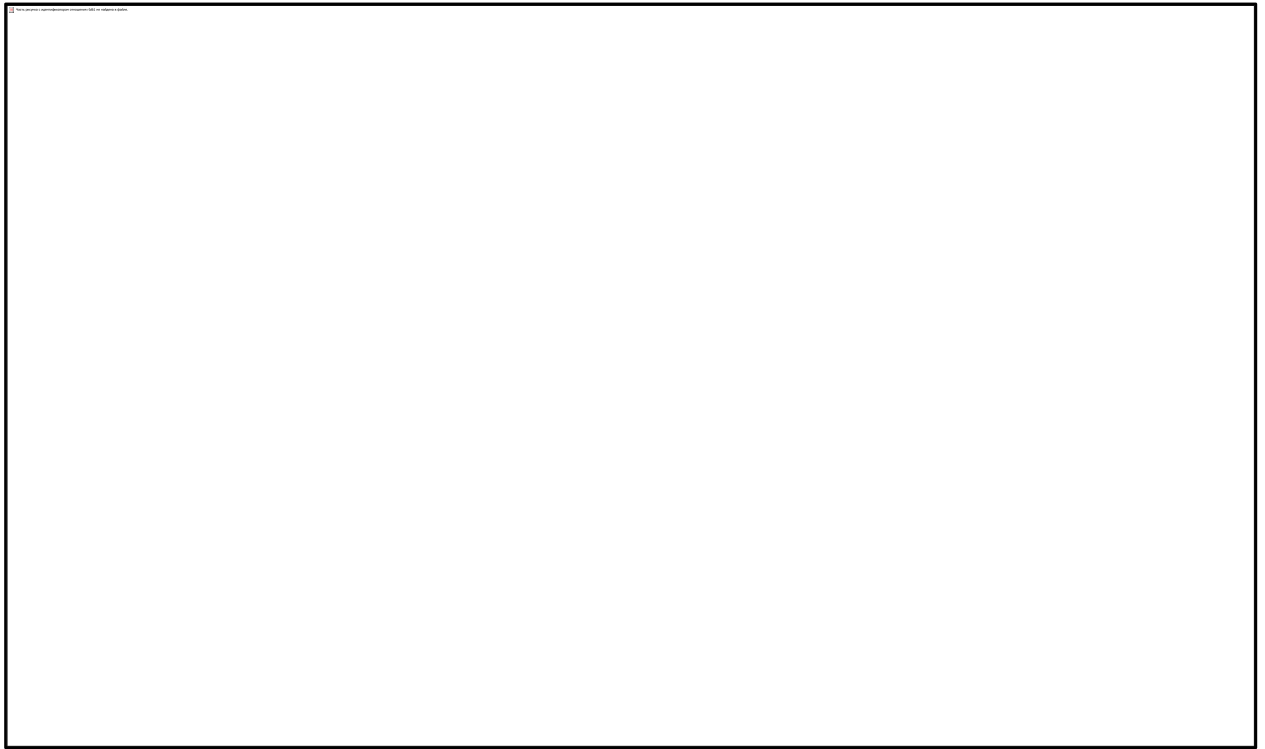
Каждый кадр системы DVB-T имеет длительность  $T_F$  и состоит из 68 символов с номерами от 0 до 67, которые содержат полезные данные и служебную информацию, требующуюся для обеспечения правильного декодирования в приемнике. Каждый символ OFDM длительностью  $T_s$  образуется путем модуляции 6817 несущих в режиме  $8k$  и 1705 несущих в режиме  $2k$ . Интервал  $T_s$  состоит из двух компонентов: интервала  $T_u$ , во время которого передаются входные данные передатчика, т.е. полезная информация (интервал  $T_u$  и называется «полезным»), и защитного интервала  $TG$ . Защитный интервал представляет собой копию, или циклическое повторение части полезного интервала, которая вставляется перед полезным (рис. 42).



**Рис. 42. Структура сигнала OFDM на интервале передачи одного символа OFDM**

Число несущих полезных данных является неизменным от символа к символу и за вычетом служебных несущих составляет 6048 несущих в режиме  $8k$  и 1512 несущих в режиме  $2k$ .





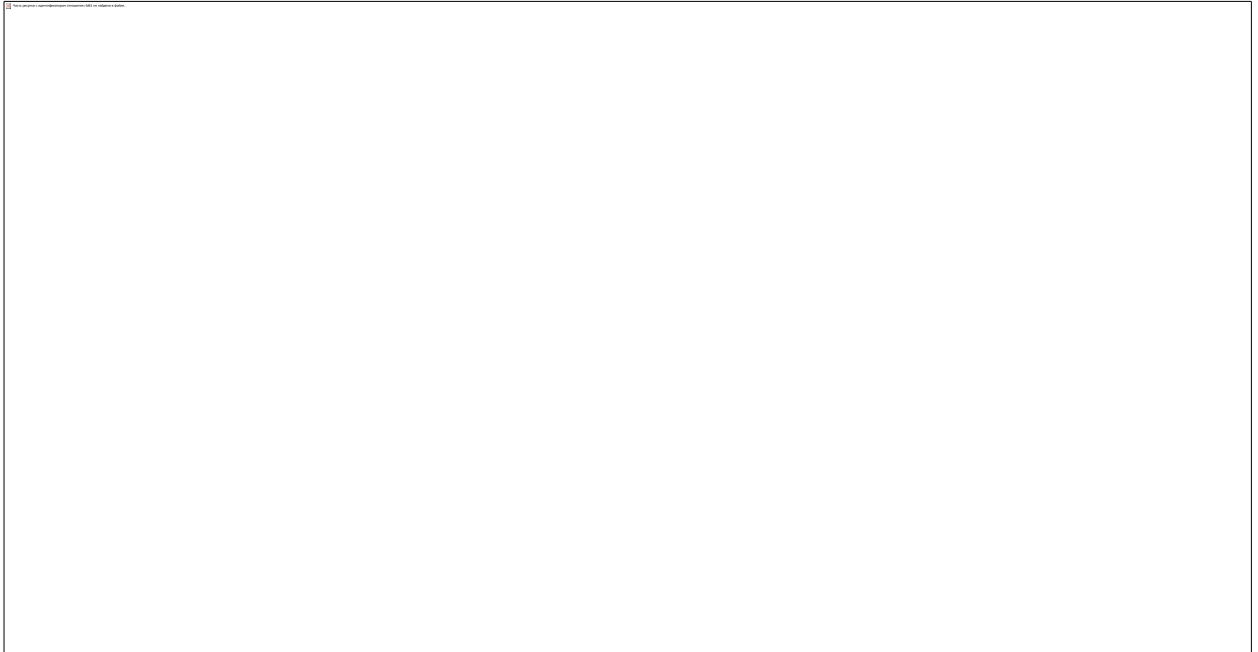
**Рис. 43. Структура кадра данных системы DVB-T**

Структура кадра данных системы DVB-T показана на рис. 43. Поскольку сигнал OFDM содержит много отдельно модулированных несущих, то каждый символ может быть поделен на ячейки, соответствующие отдельно взятой модулированной несущей в пределах одного символа. Передаваемая в пределах кадра служебная информация содержит:

- ячейки рассредоточенных пилот-сигналов;
- несущие с непрерывно повторяющимися пилот-сигналами;
- несущие сигнализации о параметрах передачи (TPS).

Перечисленные пилот-сигналы используются для кадровой синхронизации, частотной синхронизации, временной синхронизации, оценивания канала, идентификации режима передачи, компенсации фазового шума и пр. С помощью рассредоточенных и непрерывно повторяющихся пилот-сигналов в некоторых служебных ячейках кадра передается опорная информация, параметры которой априорно известны в приемнике. Несущие пилот-сигналов передаются с добавочной мощностью в соотношении 16/9 относительно мощности несущих полезных данных. Каждый непрерывно повторяющийся пилот-сигнал совпадает с рассредоточенными пилот-сигналами в каждом четвертом символе. Численные значения основных параметров кадра OFDM в системе DVB-T приведены в табл. 4.

**Таблица 4. Параметры кадра DVB-T**



### Сигнализация о параметрах передачи стандарта DVB-T

Несущие сигнализации о параметрах передачи (TPS) переносят информацию о параметрах, связанных со схемой передачи:

- вид первичной модуляции включая значение коэффициента неравномерности созвездия QAM;
- информацию об уровнях иерархии и приоритетах передаваемых программ;
- значение защитного интервала (требуется при реконфигурировании приемника);
- значения скоростей внутреннего кодирования; режим передачи ( $2k$  или  $8k$ ); номер кадра в суперкадре.

Сигнализация о параметрах передачи передается параллельно на 17-TPS несущих в режиме  $2k$  и на 68-TPS несущих в режиме  $8k$ . В каждом символе OFDM передается одна несущая TPS и один бит TPS; в каждом кадре OFDM передаются 68 бит TPS, распределенных следующим образом:

1 бит инициализации;

- 16 бит синхронизации;
- 37 бит информации;
- 14 бит кодовой защиты.

При неполном использовании всех 37 бит информации оставшаяся часть должна быть установлена в значение 0.

**Основные параметры**, характеризующие передачу данных в стандарте DVB-T, приведены в табл. 5. Число несущих, передающих полезную информацию, зависит только от режима и равно 1512 для режима  $2k$  и 6048 для режима  $8k$ . Число «полезных» несущих в обоих режимах отличается ровно в четыре раза. Если учесть, что и длительность полезного интервала при переходе от режима к режиму также меняется в четыре раза, то такой важный параметр, как частота следования символов данных  $R_s$ , оказывается в двух режимах одинаковым и равным 6,75 миллионам символов в секунду ( $R_s = 1512/224 \text{ мкс} = 6048/896 \text{ мкс} = 6,75 \text{ МГц} = 6,75 \text{ Мегасимвол/с}$ ).

Используя величину  $R_s$ , нетрудно найти скорость передачи данных в разных режимах и при различных сочетаниях параметров стандарта DVB-T:  $R_{su} = R_s * b * C R_i * C R_{sx} (T_u / T_s)$  (здесь  $b$  - ко-

личество битов, передаваемых в одном символе с помощью одной несущей,  $CR_i$  - скорость внутреннего сверточного кода;  $CR_s$  - скорость внешнего кода Рида-Соломона, равная 188/204;  $(T_u/T_s)$  - отношение длительности полезного интервала к общей длительности символа. Результаты такого подсчета скорости передачи полезных данных приведены в табл. 6.

В табл. 6 приведены расчетные значения отношения сигнал-шум  $C/N$  на выходе канала связи с гауссовым шумом при неиерархической передаче (при других характеристиках шума канала требуемые значения  $C/N$  будут конечно, другими). Этот показатель является пороговым, если отношение сигнал-шум выше приведенной в таблице величины, тогда внутренний декодер способен довести частоту ошибок до величины, меньшей, чем  $2 \times 10^{-11}$ , а внешний - до  $2 \times 10^{-11}$ . При таких показателях наблюдается одна нескорректированная ошибка за час работы на входе демультимплексора MPEG-2 в приемнике.

**Табл. 5. Скорости передачи данных в стандарте DVB-T**

Как видно из табл. 5, в стандарте DVB-T скорость передачи полезных данных может меняться в значительных пределах: от 4,98 до 31,67 Мбит/с (это покрывает весь диапазон потребностей, начиная с телевидения ограниченной четкости и заканчивая телевидением высокой четкости). Самое малое значение скорости 4,98

Мбит/с, имеющее место при модуляции несущих типа QPSK и скорости внутреннего кода, равной 1/2, характеризуется самой высокой помехозащищенностью системы передачи (для практически безошибочной работы достаточно отношение сигнал-шум в гауссовом канале всего 3,1 дБ). Но для достижения скорости 31,67 Мбит/с (модуляция несущих (QAM-64 и скорость внутреннего кода 7/8) должно быть обеспечено отношение сигнал-шум не менее 20,1 дБ.

Данные табл. 5 можно использовать также для определения скорости передачи данных в режиме иерархической передачи. Скорость для потока с высшим приоритетом соответствует модуляции несущих типа QPSK. При модуляции несущих QAM-16 скорость передачи данных для потока с низшим приоритетом находится в ячейках таблицы, где приведены данные для QPSK, а при модуляции QAM-64 - для QAM-16.

Таблицы 4 и 5 подтверждают чрезвычайную гибкость стандарта DVB-T. Представляя широкий спектр средств, система способна с высокой надежностью передавать цифровые данные, несущие информацию о сигнале телевидения стандартной и высокой четкости, в самых разнообразных условиях.

#### **1.14. Классификация отечественных современных приемников**

Современные отечественные стационарные телевизоры классифицируются на 3 группы:

- Унифицированные стационарные полупроводниково-интегральные телевизоры 3-го поколения – ЗУСЦТ;
- Унифицированные стационарные полупроводниково-интегральные телевизоры 4-го поколения - 4УСЦТ;
- Унифицированные стационарные полупроводниково-интегральные телевизоры 5-го поколения - 5УСЦТ;

#### **ЗУСЦТ**

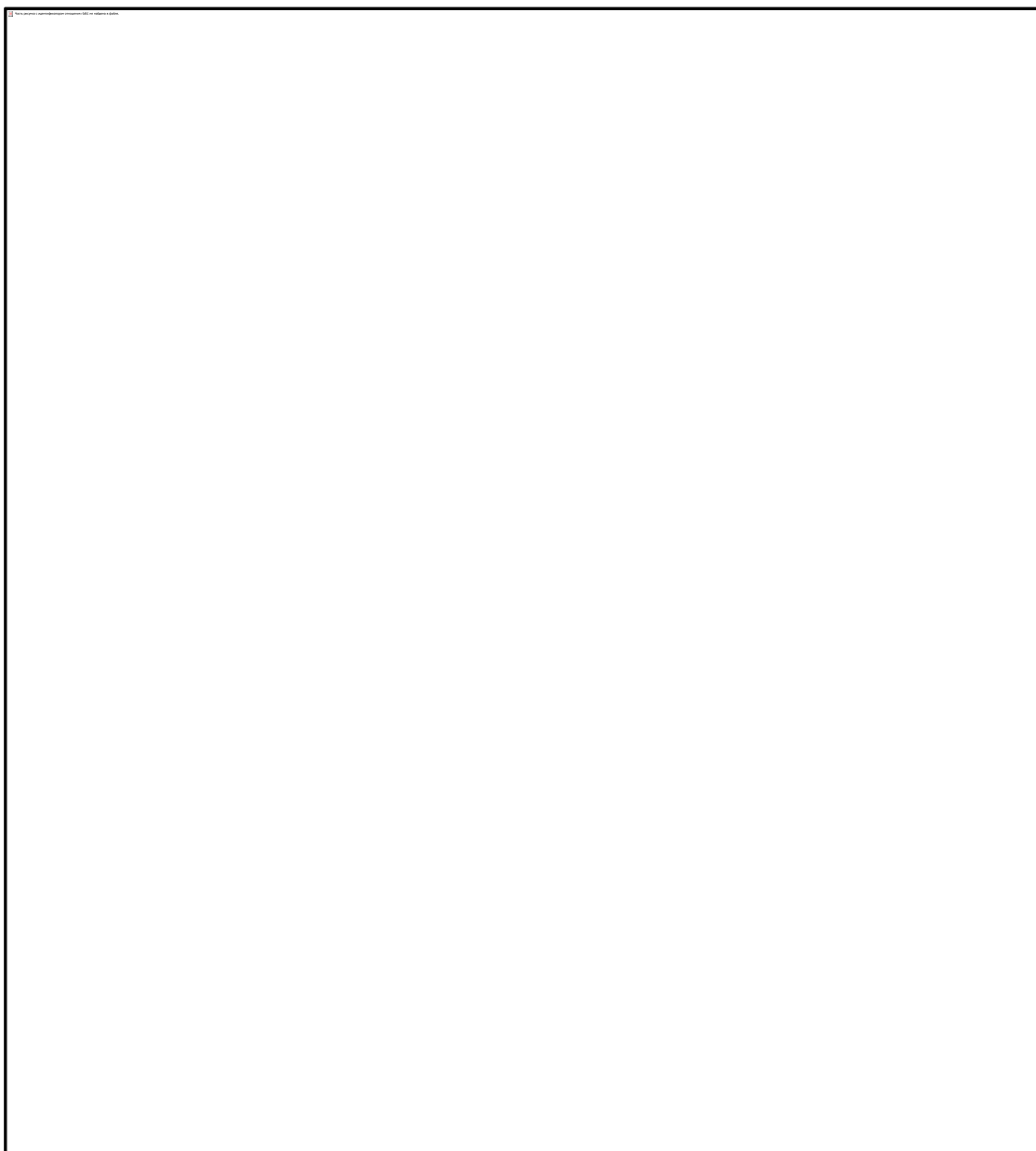
ЗУСЦТ – цветные стационарные телевизоры с самосведением электронных лучей (планарных) и блочно-модульную конструкцию.

Состоят из унифицированной и неунифицированной частей. К унифицированной части относятся кассетно-модульное базовое шасси (моно-шасси), объединяющее три кассеты: обработки сигналов, развертки и импульсного питания. К неунифицированной части относится блок управления.

На моно-шасси в кассетах установлены модуль цветности (1) с submodule цветности (2), модуль радиоканала (19) с submodule радиоканала (16), submodule синхронизации (15), селекторы каналов СК-Д-24 (17) и СК-М-24 (18), плата соединительная (11), модуль питания (8), модуль строчной развертки (5) с submodule коррекции раstra (7) и модуль кадровой развертки (6).

#### **Расположение модулей и submodule на моношасси телевизора ЗУСЦТ (рисунок):**

1 – модуль цветности; 2 – submodule цветности; 3 – плата кинескопа; 4 – высоковольтный соединитель; 5 – модуль строчной развертки; 6 – модуль кадровой развертки; 7 – submodule коррекции раstra; 8 – модуль питания; 9 – соединительная розетка модуля строчной развертки; 10 – соединительная розетка модуля кадровой развертки; 11 – соединительная плата; 12 – розетка для контроля импульсных и постоянных напряжений; 13 – соединительная розетка модуля цветности; 14 – соединительная розетка модуля радиоканала; 15 – submodule синхронизации; 16 – submodule радиоканала; 17 – селектор каналов СК-Д-24; 18 – селектор каналов СК-М-24; 19 – модуль радиоканала.



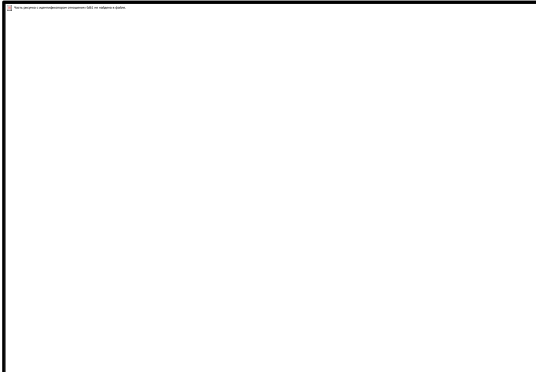
**Рис. 44. Расположение модулей и submodule на моношасси телевизора ЗУСЦТ**

Расположения блока управления платы с регуляторами тембра и цветовых тонов соединителей для подключения видеоманитона и главных телефонов, а также устройство выбора программ на передней части телевизора определяется внешним оформлением той или иной модели.

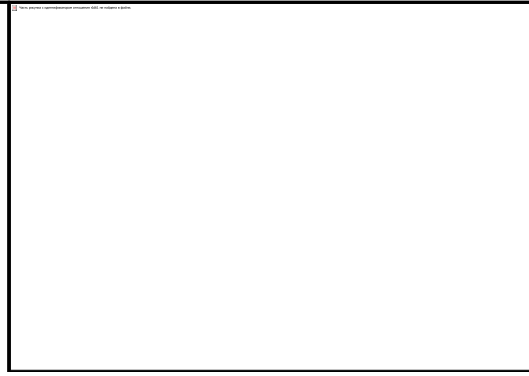
На плате кинескопа установлены регуляторы фокусирующего и ускоряющего напряжений.

Конструкция телевизора позволяет осуществить его модернизацию и выпускать модели на кинескопах, размером экрана по диагонали 51, 61 и 67 см.

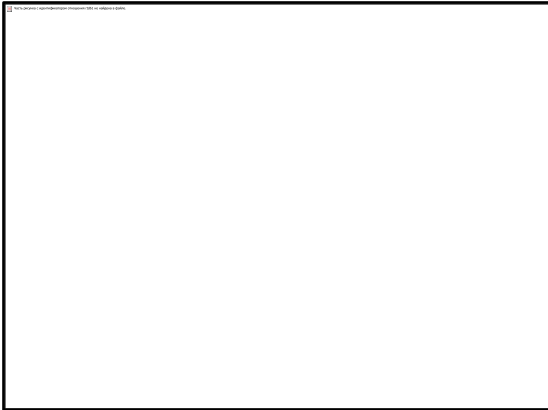
Примеры телевизоров группы ЗУСЦТ: «Электрон Ц-280, 282» (Рис. 45), «Рубин Ц-266» (Рис.46), «Рекорд Ц-381» (Рис. 47).



**Рис. 45. "Электрон Ц-280", 1985 год**

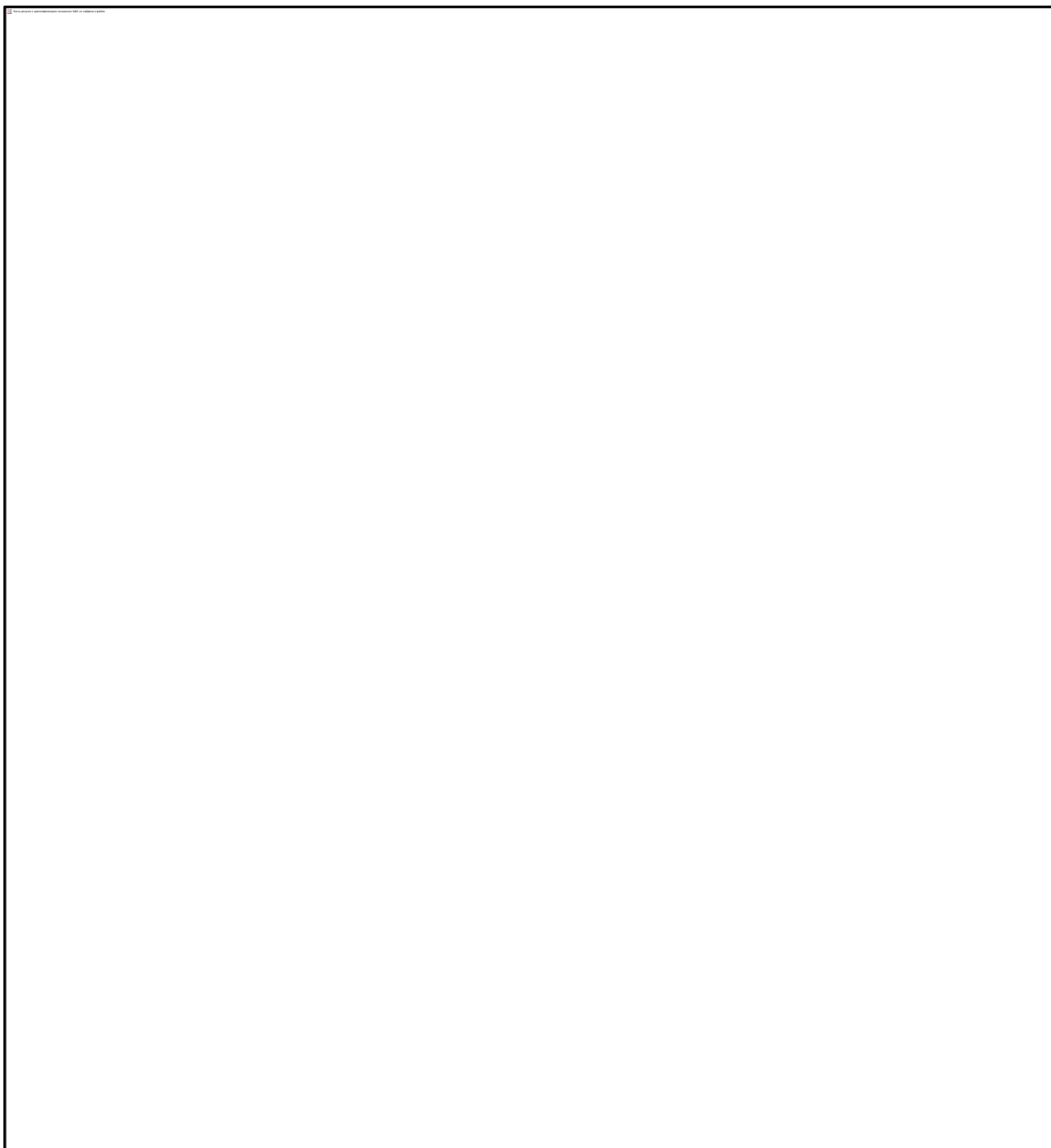


**Рис. 46. "Рекорд Ц-381", 1984 год**



**Рис.47. "Рубин Ц-266", 1984 год.**

## Структурная схема телевизора унифицированной модели третьего поколения



**Рис. 48. Структурная схема телевизора унифицированной модели третьего поколения**

Блок управления (БУ) А9 предназначен для оперативной регулировки громкости, яркости, насыщенности и контрастности, а так же для настройки на телевизионные программы, принимаемые в данной местности. В его состав входит плата регулировок А9.1 и модуль усилителя А9.2. С БУ связано конструктивное устройство сенсорного выбора телевизионные программ А10. Напряжение электрической цепи поступает через выключатель SB1, подается на плату фильтра питания А12, откуда поступает на модуль питания А4 и устройство размагничивания кинескопа А11.

Модуль радиоканала А1 предназначен для селекции радиосигналов вещательного телевиденья, их преобразования в сигналы промежуточной частоты, формирования полного цветового телевизионного сигнала и сигналов звуковой частоты. Селекция радиосигналов, которые поступают на выводы «МВ» и «Дециметровые Волны»,

производится электронными селекторами каналов А1.1 и А1.2. Постоянные напряжения, необходимые для переключения селектора каналов на требуемые диапазоны волн и для их настройки на выбранный телевизионный канал, поступают с устройства вывода А10. При приеме в диапазоне ДМВ смеситель селектора А1.1 используется как дополнительный усилитель.

Выход селектора каналов А1.1 связан с submodule А1.3, где происходит дальнейшее усиление сигналов промежуточной частоты изображения и подавления помех. С выхода усилителя промежуточной частоты сигналы изображения подаются на видеодетектор и устройство автоматической подстройки частоты гетеродина (АПЧГ). Напряжение АПЧГ, поступая в селекторы каналов, суммируется с напряжением предварительной настройки, которое устанавливается в устройстве выбора программ.

С выхода видеодетектора полный цветовой телевизионный сигнал поступает на устройство автоматической регулировки усиления (АРУ), в канал звукового сопровождения и через эмиттерный повторитель в submodule синхронизации А1.4, а через соединительную плату А3 в модуль цветности А2 и submodule цветности А2.1. Устройство АРУ охватывает своей регулировкой селекторы телевизионных каналов А1.1, А1.2 и усилитель промежуточной частоты сигналов изображения.

Канал звукового сопровождения состоит из усилителя второй промежуточной частоты звука (6,5МГц), частотного детектора и предварительного усилителя звуковой частоты, который связан с модулем звуковой частоты в блоке управления А9.

В submodule синхронизации А1.4 амплитудный селектор выделяет кадровые и строчные импульсы запуска из полного цветowego телевизионного сигнала. Кадровые строчные импульсы запуска через соединительную плату А3 поступают на вход задающего генератора в модуле кадровой развертки А6, а строчные – через устройство автоматической подстройки частоты и фазы корректируют частоту и фазу управляющих импульсов, которые создает задающий генератор строчной развертки в А1.4. В submodule А1.4 формируются так же специальные стробирующие импульсы, которые необходимы для работы устройства цветовой синхронизации в submodule цветности А2.1 и фиксации уровня черного модуля цветности А2.

С выхода задающего генератора через соединительную плату А3 импульсы запуска поступают в модуль строчной развертки А7.

В состав модуля цветности МЦ-2 входят submodule 2.1, предназначенный для выделения сигналов цветности из ПЦТС, усиления прямого и задержанного сигналов, разделения сигналов цветности электронным коммутатором, детектирования и усиления цветоразностных сигналов. В submodule А2.1 находится устройство цветовой синхронизации, автоматически включающее и выключающее канал цветности и режекторные фильтры в канале яркости в зависимости от принимаемой передачи (цветной или черно-белой) и корректирующее правильность переключения ветвей электронного коммутатора.

В модуле цветности А2 находится так же канал яркости, в котором осуществляется электронная регулировка контрастности, яркости, режекция сигналов цветности, усиление цветоразностных сигналов с регулировкой насыщенности и первая фиксация уровня черного, а также ограничения тока лучей.



Усиленные цветоразностные сигналы и сигнал яркости поступают на матрицы, где образуются сигналы основных цветов. С выхода матриц сигналы основных цветов подаются на оконечные видеоусилители, где происходит их усиление, необходимое для модуляции тока лучей кинескопа по катодам.

В модуле цветности МЦ-2 размещается формирователь импульсов гашения лучей на обратных ходах строчной и кадровой разверток. Он связан с модуляторами кинескопа. На вход формирователя поступают импульсы с выходного каскада строчной развертки и с модуля кадровой развертки А6.

Модули строчной А7 и кадровой А6 разверток предназначены для создания отклоняющих токов строчной и кадровой частоты и формирования ряда импульсных напряжений, необходимых для функционирования устройств стабилизации размеров, автоматическая подстройка частоты и фазы и устройства ограничения тока лучей (ОТЛ). Модуль строчной развертки А7 состоит из предварительного усилителя, выходного каскада и субмодуля коррекции раstra А7.1, предназначенный для устранения геометрических искажений вертикальных линий и стабилизация размера по горизонтали. Он является источником напряжения для питания анода, фокусирующего и ускоряющего электродов кинескопа, которые создается с помощью умножителя напряжения, а также напряжения 220В для питания выходных видеоусилителей. Напряжение на подогревателе кинескопа 6,3В снимается с одной из вторичных обмоток трансформатора выходного строчного. В модуль кадровой развертки А6 входят задающий генератор, формирователь импульсов гашения, каскад регулировки размера, линейности и режима, предварительный усилитель, выходной каскад и генератор импульсов обратного хода.

На плате кинескопа А8 размещены разрядники, ограничительные резисторы, а также регуляторы ускоряющего и фокусирующего напряжений.

Модуль напряжений А4 включает в себя выпрямитель напряжения сети, импульсный генератор, устройство стабилизации и защиты от перегрузки и устройство запуска. Импульсные выпрямители обеспечивают напряжение 130...150, 28 и 15 В и стабилизированное напряжение 12 В. Напряжение сети поступает на модуль напряжений через плату фильтра питания А12. На плату фильтра питания расположены помехоподавляющие цепи и позисторы устройства размагничивания кинескопа.

Модули связаны с источниками питания через соединительную плату ПС А3. На плате установлена розетка ХN1 для проверки коммутируемых в соединительной плате постоянных и импульсных напряжений.

### **1.15. 4УСЦТ. Структурная схема телевизора унифицированной модели четвертого поколения**

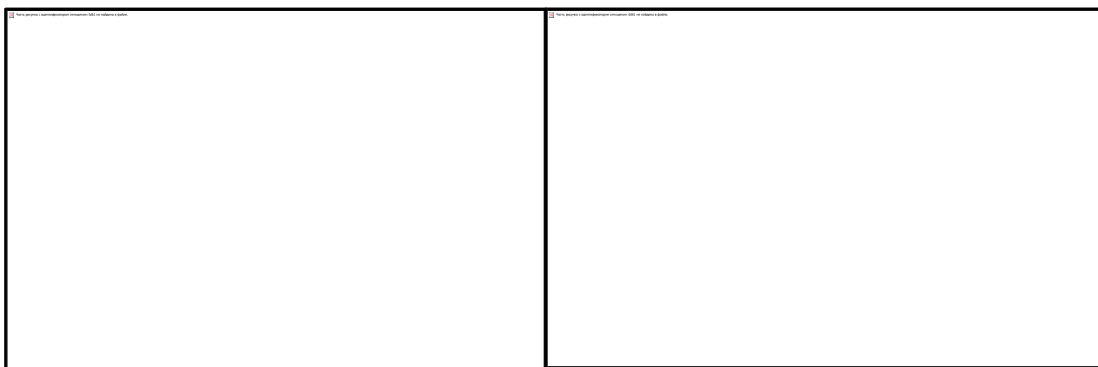
Телевизоры 4-ого поколения (модели 4УСЦТ) являлись модернизацией телевизионных приемников серии 3УСЦТ. Они рассчитаны на прием телевизионных передач цветного и черно-белого изображения на частотах советского и западноевропейского стандарта, кодированных по системе SECAM и PAL.

Модели 4УСЦТ имеют систему дистанционного управления на инфракрасных лучах , цифроаналоговые преобразователи для регулировки яркости, контрастности, насыщенности и громкости, декодирование сигналов по системам SECAMи PAL или декодирование сигналов по системе SECAM., но с возможностью установки дополнительного функционального узла для декодирования сигналов по системе PAL, возможность подключения видеомагнитофона для записи и воспроизведения телевизионных передач и видеофильмов в цветном изображении в системах SECAMи PAL, возможность установки соединителя в канале цветности для подключения компьютера.

Так же в дополнение к автоматическим регулировкам, имеющимся в телевизорах ЗУСЦТ, в нем предусмотрено автоматическое отклонение от электрической сети при аварийной ситуации (искрение в цепях высокого напряжения, чрезмерный ток лучей кинескопа) и при отсутствии сигнала на входе телевизора (например, по окончании телепередач).

Конструктивно телевизоры 4УСЦТ выполнены аналогично телевизорам ЗУСЦТ, а заводы-изготовители выпускали смешанные (переходные) модели из блоков для телевизоров ЗУСЦТ, 4УСЦТ и 5УСЦТ с частичным применением специально разработанной элементной базы.

Примеры телевизоров группы 4УСЦТ: «Электрон 51/61/67ТЦ-451Д» (Рис. 49), «Горизонт 51ТЦ-414Д» (Рис. 50), «Рубин 61ТЦ-4103».



**Рис. 49. "Электрон 61ТЦ - 451Д", 1990 год**

**Рис. 50. "Горизонт 51ТЦ - 414Д"**

## Структурная схема телевизора унифицированной модели четвертого поколения

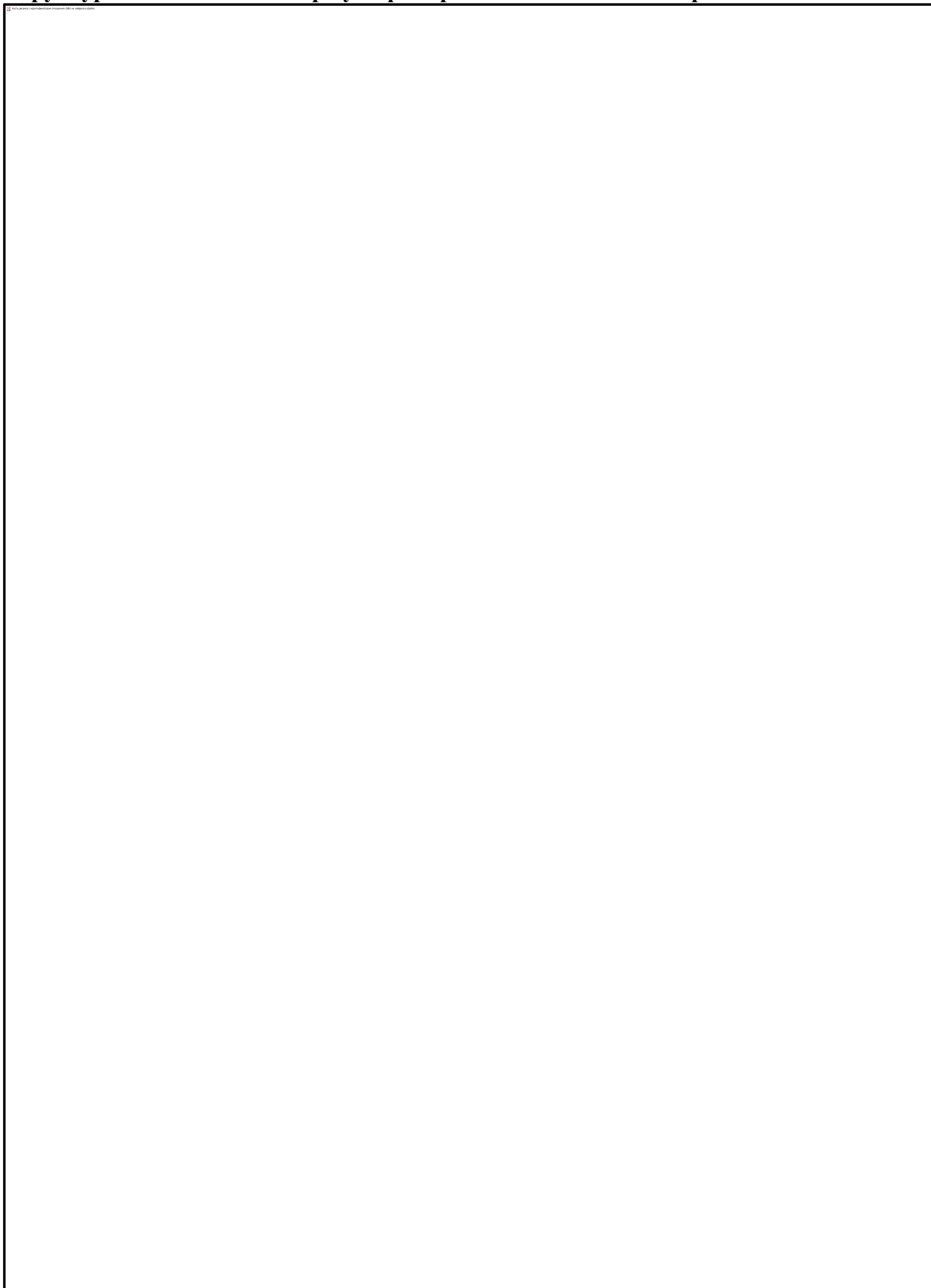
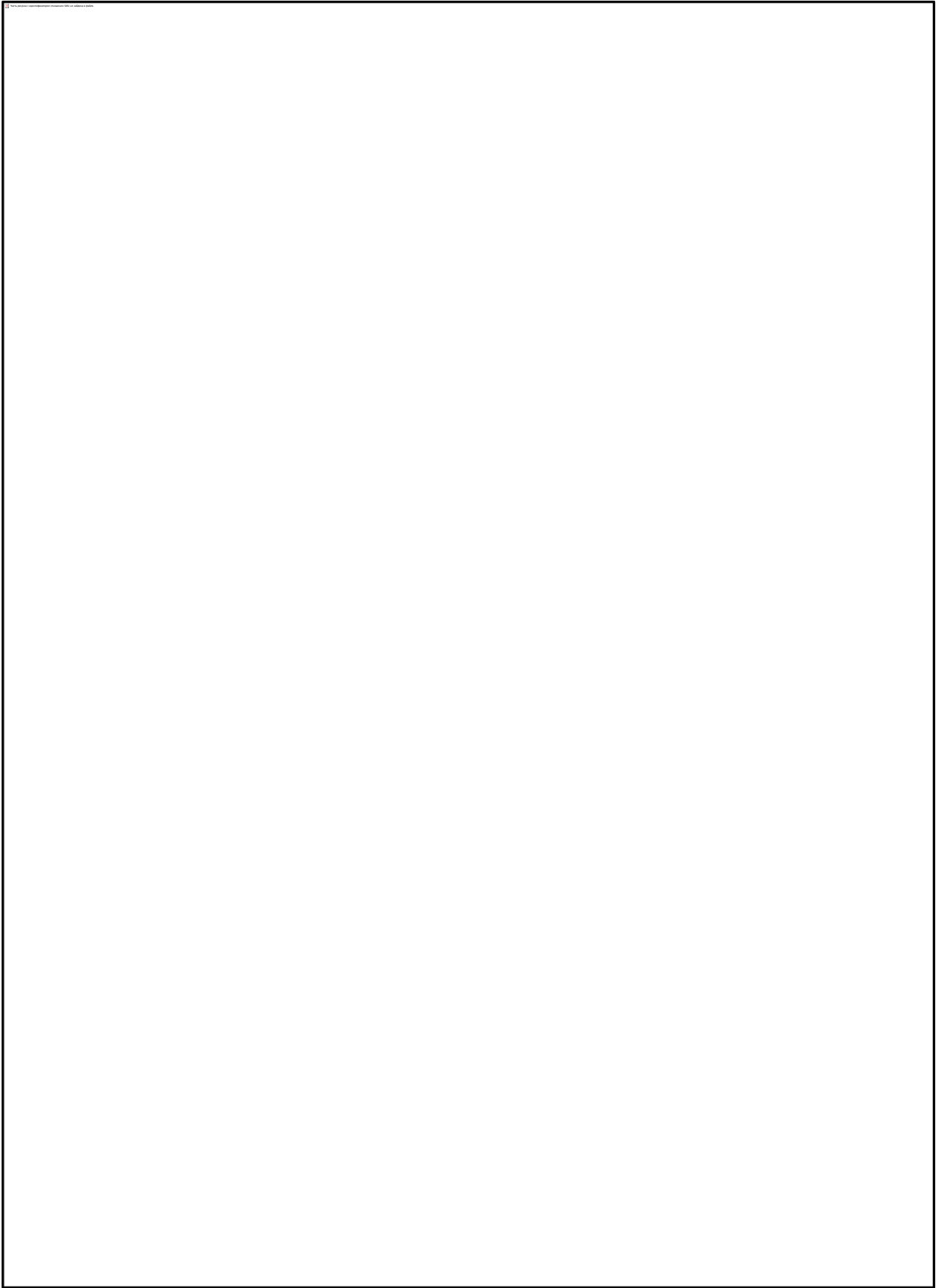


Рис. 51. (ч.1.) Структурная схема телевизора унифицированной модели четвертого поколения



**Рис. 51. (ч.2.) Структурная схема телевизора унифицированной модели четвертого поколения**

Модуль обработки сигналов МОС-4 (А1) содержит селекторы каналов метрового (СК-М-24-2С) и дециметрового (СК-Д-24-2С) диапазонов (А1.1, А1.2), submodule радиоканала (А1.3), звука (А1.4) и сопряжения (А1.5), канал цветности и усилитель ЗЧ.

На плате кинескопа ПК-4 (А4), в отличие от телевизоров серии ЗУСЦТ, расположены выходные усилители и каскады формирования сигналов АББ. При такой конструкции существенно уменьшаются паразитные емкости в цепях видеосигнала и повышается качество изображения.

Модуль разверток МР-11 (А3) не имеет submodule. На нем расположены каскады синхронизации, кадровой и строчной разверток.

Модуль питания МП-4 (А2) аналогичен по конструкции модулю МП-3, но собран на транзисторе КТ872А и микросхема управления К1033ЕУ1.

В устройство управления А9 входит плата индикации и переключения программ (А9.2), модуль выбора программ (А9.3), а также переменные резисторы оперативных регулировок (А9.1). Устройство дополнительных регулировок (А10) содержит регуляторы тембра, выключатель громкоговорителя и гнезда для подключения внешних устройств.

На плате сетевого фильтра (А12), кроме самого сетевого фильтра и устройства размагничивания кинескопа, расположено реле выключения телевизора и элементы его управления.

Катушка размагничивания (А7) и отклоняющая система (А5) определяется типом применяемого кинескопа.

Система дистанционного управления на ИК лучах обеспечивает управление телевизором на расстоянии не менее 6м. С пульта ДУ можно выбрать одну из 8 программ, включить и выключить звуковое сопровождение, регулировать громкость, яркость, контрастность и насыщенность, включить нормализованное изображение, а также выключить телевизор.

Через антенные входы телевизионные сигналы РЧ поступают на селекторы каналов метровых (М) и дециметровых (ДЦМ) волн. Селекторы коммутируются модулем выбора программ, который обеспечивает переключение поддиапазонов, настройку на станции и блокировку цепи автоматической подстройки частоты гетеродина (АПЧГ) при переключении программ.

Устройство переключения модуля выполнено на микросхеме К1106ХП2, которая формирует также сигналы для работы цифрового электролюминесцентного индикатора ИЛЦ-1/9.

С селектора МВ сигналы ПЧ приходят на предварительный усилитель ПЧ изображения (УПЧИ) в submodule радиоканала, а затем на фильтр поверхностных акустических волн (ПАВ), который обеспечивает необходимую АЧХ тракта ПЧ и избирательность телевизора по соседнему каналу. Кроме того, предварительного УПЧИ сигнал через фильтр поступает на первый усилитель ПЧ звукового сопровождения (1УПЧЗ).

Через фильтр ПАВ сигналы поступают на основной УПЧИ. На его выходе включены парафазный усилитель и микросхема КП1021УР1, которая усиливает и детектирует в

синхронном детекторе телевизионный сигнал, а также вырабатывает управляющее напряжение для устройств АПЧГ и АРУ селектора каналов. С синхронного детектора видеосигнал проходит на фильтр, режектирующий колебания частотой 6,5МГц, и далее на эмиттерный повторитель.

Первый УПЧЗ собран на микросхеме К175УР8, в которой сигналы ПЧ изображения усиливаются, а затем детектируются в синхронном детекторе, аналогичном детектору УПЧИ. На его выходе включен полосовой фильтр субмодуля звука, выделяющий сигнал звукового сопровождения разностной частоты (6,5МГц).

Такой радиоканал звука называется квазипараллельным. Уменьшение помех в нем объясняется двумя причинами. Во-первых, несущая ПЧ изображения, находясь на вершине АЧХ, не претерпевает фазовую модуляцию составляющими спектра видеосигнала в отличие от того, как это происходит в УПЧИ с расположением несущей на склоне характеристики. В последнем случае фазовая модуляция при детектировании частотным детектором звука проявляется как помеха от сигнала изображения. Во-вторых, в телевизионном сигнале, прошедшем через фильтр с двугорбой характеристикой, будут существенно ослаблены среднечастотные и высокочастотные составляющие, что приведет к уменьшению уровня модуляции, влияющей на воспроизведение мелких деталей и резких переходов. Это заметно уменьшает уровень помех в канале звука, проявляющихся на титровых сюжетах.

Выделение фильтром колебания разностной частоты поступают на второй УПЧЗ (2УПЧЗ) субмодуля звука, где усиливаются, ограничиваются и детектируются обычным способом. Усилитель собран на микросхеме К174У11. Она содержит также электронный переключатель, который подключает предварительный усилитель ЗЧ либо к частотному детектору канала звука, либо к цепи подачи звукового сигнала от внешних устройств. Он управляется напряжением переключения субмодуля сопряжения А1.5.

Предварительный усилитель ЗЧ включает в себя электронные устройства регулировки громкости и тембра. Регулятор громкости расположен в блоке оперативных регулировок А1.9, а регуляторы тембра – в устройстве дополнительных регулировок А10. С предварительного усилителя ЗЧ сигнал звукового сопровождения приходит на усилитель мощности ЗЧ модуля обработки сигналов, а затем через переключатель на громкоговоритель. В усилителе мощности ЗЧ применена микросхема К174УН14.

С эмиттерного повторителя радиоканала видеосигнал поступает в канал цветности. Он собран на микросхемах КР1021ХА4 и КР1021ХА3. Первая работает при приеме сигналов PAL, а вторая перекодирует сигнал SECAM в сигнал псевдо-PAL.

Структурная схема канала цветности представлена упрощенно (без устройств восстановления цветовой поднесущей с ФАПЧ, цветовой синхронизации распознавания сигналов систем PAL и SECAM, а также цветного и чёрно-белого изображения). Сигналы PAL проходят через первую линию задержки на 0,47 мкс, усилитель, фильтр режекции, эмиттерный повторитель, вторую линию задержки на 0,47 мкс и поступают на усилитель яркостного сигнала.

Сигналы цветности выделяются фильтром (4,43 МГц) и проходят через усилитель с АРУ и каскады регулировки их уровня регулятором насыщенности. Коммутатор прямого и задержанного, т.е. прошедшего через линию задержки на 64 мкс, сигналов разделяет составляющие сигнала цветности и направляет и на свои детекторы R – Y и B – Y. На них воздействуют так же колебания восстановленной поднесущей цветности, сдвинутые по фазе на 90°. С детекторов сигналы R – Y и B – Y поступают на матрицу, в которой из них формируется сигнал G – Y. Затем все три цветоразностные и яркостной сигналы приходят из матрицы цветовых изображений R, G и B с внешних устройств. Далее цветовые сигналы проходят через цепи регулировки яркости и контрастности на свои усилители.

При приеме сигналов SECAM составляющая цветности выделяется фильтром «клеш», усиливается, ограничиваются и детектируются широкополосным частотным детектором. Последний выделяет следующие один за другим через строку цветоразностные сигналы R – Y и B – Y. Они поступают на балансный модулятор, на выходе которого образуются сигналы цветности псевдо-PAL, попадающие потом на фильтр 4,43 МГц. Дальнейшие цепи те же, что и при приеме сигнала PAL. При таком способе детектирования с преобразователем сигналов исключается существенный недостаток системы SECAM – перекрестные искажения между модулированными цветоразностными сигналами, так как они не присутствуют одновременно.

С модуля обработки сигналы R, G и B приходят на выходные видеоусилители платы кинескопа. Здесь же расположены устройства АББ, формирующие напряжения в трех строках после кадрового гасящего импульса, пропорциональные току луча кинескопа на уровне, близком к его закрыванию. Они воздействуют на усилители микросхемы КР1021ХА4 и обеспечивают точную привязку по этому уровню.

С внешних устройств (например, видеоманитофона), видео- и звуковые сигналы поступают на submodule сопряжения А1.5. Submodule содержит ключи переключения режима работы телевизора и усилители-коммутаторы, переключающие сигналы в режим записи, или в режим воспроизведения.

С эмиттерного повторителя радиоканала видеосигнал приходит на селектор синхроимпульсов модуля разверток А3. Его микросхема КР1021ХА2 выполняет функции селектора синхроимпульсов, задающих генераторов строчной и кадровой развертки с соответствующими цепями синхронизации. Кроме того, она содержит устройство формирования трехуровневого стробирующего импульса (ССК) и сигнала опознавания станции (СОС). На выходе второго устройства появляется уровень логической единицы при наличии видеосигнала на входе селектора синхроимпульсов. При отсутствии видеосигнала он управляет выключением телевизора через устройства управления реле, а также блокирует звук в этом режиме. Стробирующие импульсы ССК подаются в канал цветности и обеспечивают гашение обратного хода лучей, запуск устройства АББ и коммутаторов, выделение вспышек цветовой поднесущей и привязку уровня черного.

Формируемые генератором строчные импульсы поступают на предварительный каскад и далее на выходной каскад строчной развертки. Последний вырабатывает напряжение строчного отклонения, анодное (25кВ), фокусирующее (7,5 кВ) и ускоряющее (650 В) напряжение для кинескопа, напряжение для выходных видеоусилителей (+200 В) и кадровой развертки (+26 В), а также накала кинескопа (+6,3 В). В выходном каскаде применен транзистор КТ872А.

На устройство коррекции и стабилизации раstra приходят импульсы строчной и кадровой частот, а также напряжение с датчика ограничения тока лучей (ОТЛ). Устройство через диодный модулятор выходного каскада обеспечивает коррекцию геометрический искажений раstra, установку размера изображения по горизонтали и его стабилизация. Датчик ОТЛ вырабатывает напряжение, уменьшающееся пропорционально току лучей кинескопа. Оно поступает в канал яркости на пороговое устройство ограничения тока лучей. При аварийных режимах, когда ток повышающей обмотки строчного трансформатора превысит 1,5 мА, на пороговом датчике модуля разверток появляется напряжение, включающее телевизор через устройство управления реле на плате сетевого фильтра.

Выходной каскад кадровой развертки выполнен на микросхеме КР1021ХА5. Для повышения КПД, в каскаде предусмотрен генератор обратного хода, увеличивающий напряжение питания во время обратного хода приблизительно в два раза. Каскад охвачен цепью глубокой ООС вместе с предварительным усилителем, находящимся в схеме КР1021ХА2. В цепи ООС включены регуляторы размера и линейности изображения по вертикали.

Сетевое напряжение через устройство сетевого фильтра и реле КУЦ проходит на мостовой выпрямитель модуля питания А2. Выпрямленное напряжение поступает на трансформатор модуля и управляющую микросхему К1033ЕУ1 устройства стабилизации и защиты. В блокинг-генераторе применен транзистор КТ872А. модуль вырабатывает стабилизированное напряжение +125В для выходного каскада строчной развертки, +15 В для выходного усилителя ЗЧ и +12 В для всех низковольтных цепей телевизора. Последнее стабилизируется дважды: в блокинг-генераторе и стабилизаторе на микросхеме КР142Е8Б.



### **1.16. 5УСЦТ. Структурная схема телевизора унифицированной модели пятого поколения**

К телевизорам 5-го поколения относят аналого-цифровые телевизоры с микропроцессорным управлением, но с аналоговой обработкой сигналов изображения и звука.

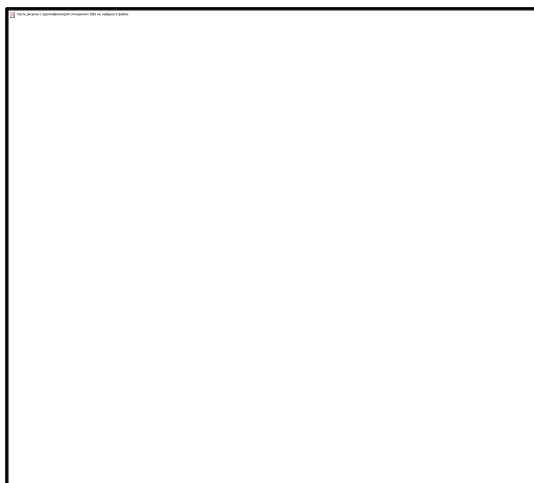
Итогом технологических и схемотехнических усовершенствований явилось также расширение функциональных возможностей телевизора 5 поколения: 1) способность распознавать различные системы ЦТ (SECAM, PAL, NTSC) и принимать сигналы, закодированные по этим системам и имеющие различные телевизионные стандарты;

2) наличие дистанционного управления телевизором;

3) защищенность от неправильной эксплуатации телевизора: его отключение в аварийном режиме, в отсутствие телевизионной передачи, при слишком длительной непрерывной эксплуатации и т.п.

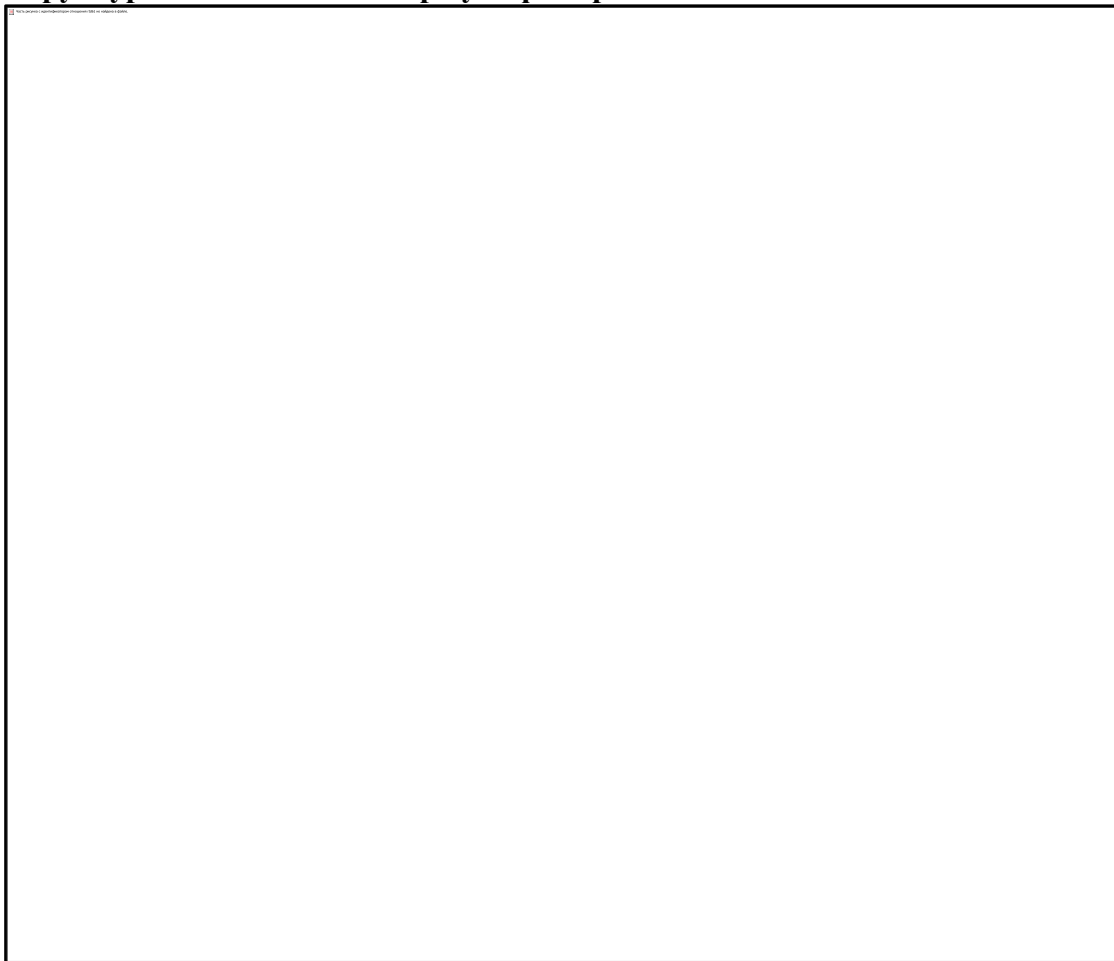
Анализ схем основных существующих моделей телевизоров пятого поколения телевизоров четвертого поколений позволяет сделать вывод, что существует лишь один отличительный признак: управление телевизором и его настройка осуществляются с помощью микропроцессора. При этом в основных функциональных узлах большинства моделей телевизоров пятого поколения, которые нередко называют переходными, используются модули телевизоров предыдущих поколений.

Пример телевизора группы 5УСЦТ: «Горизонт–51СТВ–510» (Рис. 52)



**Рис. 52. "Горизонт – 51СТВ – 510"**

## **Структурная схема телевизора унифицированной модели пятого поколения**



**Рис. 53. Структурная схема телевизора унифицированной модели пятого поколения**

В предложенной структурной схеме различные устройства объединены в узлы по функциональному признаку.

Назначение отдельных узлов, входящих в структурную схему, такое же, как и в телевизорах 4УСЦТ. Отличается только лишь узел настройки и управления, содержащий микропроцессор, в котором декодируются команды, принятые от ПДУ или от платы местного управления. И с учетом информации, хранящейся в энергонезависимой памяти, обеспечивается:

- 1) формирование напряжения настройки селектора каналов с учетом частотного диапазона (I-II.III.IV-V);
- 2) блокировка АПЧГ при настройке;
- 3) переключение стандартов вещания D/K, B/G;
- 4) формирование аналоговых управляющих сигналов для электронной регулировки яркости, контрастности, насыщенности, громкости;
- 5) формирование информации, которая выводится на экран кинескопа или на световое табло;
- 6) формирование сигналов управления реле включения дежурного режима;

- 7) формирование сигналов управления режимом работы телевизора (TV-монитор);
- 8) изменение постоянной времени АПЧФ при подключении видеомангитфона по ВЧ.

В существующих моделях телевизоров 5 поколения потенциальные возможности, обусловленные наличием микропроцессора, используются лишь частично, и следует ожидать, что в дальнейшем использование таких возможностей будет расширяться. С потребительской точки зрения в телевизорах пятого поколения предусмотрены следующие функции управления и настройки (дополнительные к тем, что имеются в телевизорах 4УСЦТ):

1. Запоминание данных о настройке на большое число принимаемых программ (от 16 до 90) позволяет обойтись без кнопочного переключения программ, при котором число кнопок равно числу программ. Настройка на ту или иную программу осуществляется вызовом из памяти соответствующих данных о настройке. При этом возможен непосредственный выбор программы путем набора ее номера и выбор программы переключением по кольцу в сторону увеличения или уменьшения номера.
2. Точная настройка на принимаемую станцию с ПДУ.
3. Внесение в память при заводской регулировке или при предварительной настройке потребителем информации об оптимальных значениях яркости, контрастности, насыщенности, громкости с возможностью последующего вызова этой информации из памяти.
4. Вывод на экран кинескопа данных об оперативных регулировках яркости, контрастности, насыщенности, громкости.
5. Вывод на экран кинескопа или на световое табло информации о номерах программы и диапазона, о дежурном режиме.
6. Вывод на экран кинескопа информации о текущем времени, состоянии таймера "сна".
7. Перевод телевизора в дежурный режим и обратно.
8. Автоматическое отключение телевизора 5 поколения через определенное время после прекращения передачи или в аварийном режиме.

Некоторые из перечисленных функций реализуются только с передней панели (ПП) телевизора, часть — только с ПДУ, некоторые функции дублируются. Конкретные возможности управления телевизором с ПП или с ПДУ.

### **1.17. Приемные устройства цифровых телевизионных сигналов**

#### **Декодеры и приемники-декодеры (ПД)**

Реализация преимуществ цифрового сжатия в немалой степени зависит от устройств, восстанавливающих исходное изображение и звуковое сопровождение – декодеров и приемники-декодеры (ПД). По функциональным возможностям и стоимости их можно разделить на две большие группы: устройства профессионального назначения и абонентские приемные устройства.

Профессиональные декодеры и ПД применяются для декодирования сжатых сигналов в студийных комплексах подготовки программ (для целей мониторинга и контроля, монтажа, преобразования сигналов), для приема сигналов в спутниковых распределительных системах с целью использования при подготовке программ или для ввода в сети кабельного телевидения на головных станциях, для приема компрессированных сигналов, передаваемых по существующим синхронным и асинхронным сетям связи, в системах делового телевидения для приема одновременно с телевидением потоков данных, для измерений и контроля качества цифровых сигналов с компрессией.

Основные признаки, по которым можно отличить приемное устройство профессионального класса:

1. возможность использования большого числа различных входных и выходных интерфейсов, в том числе цифровых выходов видеоданных и транспортного потока;
2. зачастую модульное построение с возможностью смены модулей и частичного изменения функций;
3. развитое программное обеспечение с обширным меню, позволяющим программно менять в широких пределах параметры приема и обработки сигналов;
4. поддержка различных уровней и профилей стандарта MPEG-2;
5. возможность как автоматической, так и ручной загрузки исходных данных о цифровых потоках;
6. наличие дисплея, отображающего параметры приема и состояние узлов самого устройства;
7. возможность как локального (с передней панели), так и дистанционного управления приемником и его функциями;

На рисунке приведена обобщенная схема профессионального ПД модульной конструкции, позволяющего принимать сигналы как в L-диапазоне первой ПЧ спутникового телевидения, так и в видеоспектре по различным сетям связи. Тракт обработки сигнала в

целом соответствует структуре, определяемой параметрами DVB, но имеется и большое число вспомогательных блоков и узлов.



**Рис. 54. Обобщенная структурная схема профессионального ПД модульной конструкции**

В схеме ПД условно можно выделить 3 основных узла: входное устройство, декодер и выходную часть. Входной узел поддерживает различные типы интерфейсов для приема цифрового сигнала в желаемой транспортной среде. Транспортный поток может поступать на декодер либо с входного узла, либо непосредственно из транспортной сети через интерфейсы DVB-ASI, либо RS-422. Декодер выполняет демультимплексирование и декодирование элементарных потоков видео, звука, данных, служебной информации. Выходной узел формирует видео- и звуковые сигналы, потоки данных, и может иметь различные интерфейсы.

Входное устройство для приема сигналов в полосе первой ПЧ спутникового телевидения включает в себя тюнер, демодулятор и схемы коррекции ошибок. Тюнер преобразует принятый сигнал в два квадратурных сигнала I и Q, которые оцифровываются двойным АЦП и поступают на демодулятор ФМ-4. Демодулированный сигнал проходит последовательно декодер Витерби, восстановитель перемежения и декодер Рида-Соломона и в формате транспортного потока MPEG-2 поступает на вход узла декодера.

Принятый транспортный поток поступает на вход демультимплексора, который выделяет элементарные потоки (ЭП) отдельных компонентов из общего цифрового потока. Далее потоки распределяются по назначению. ЭП

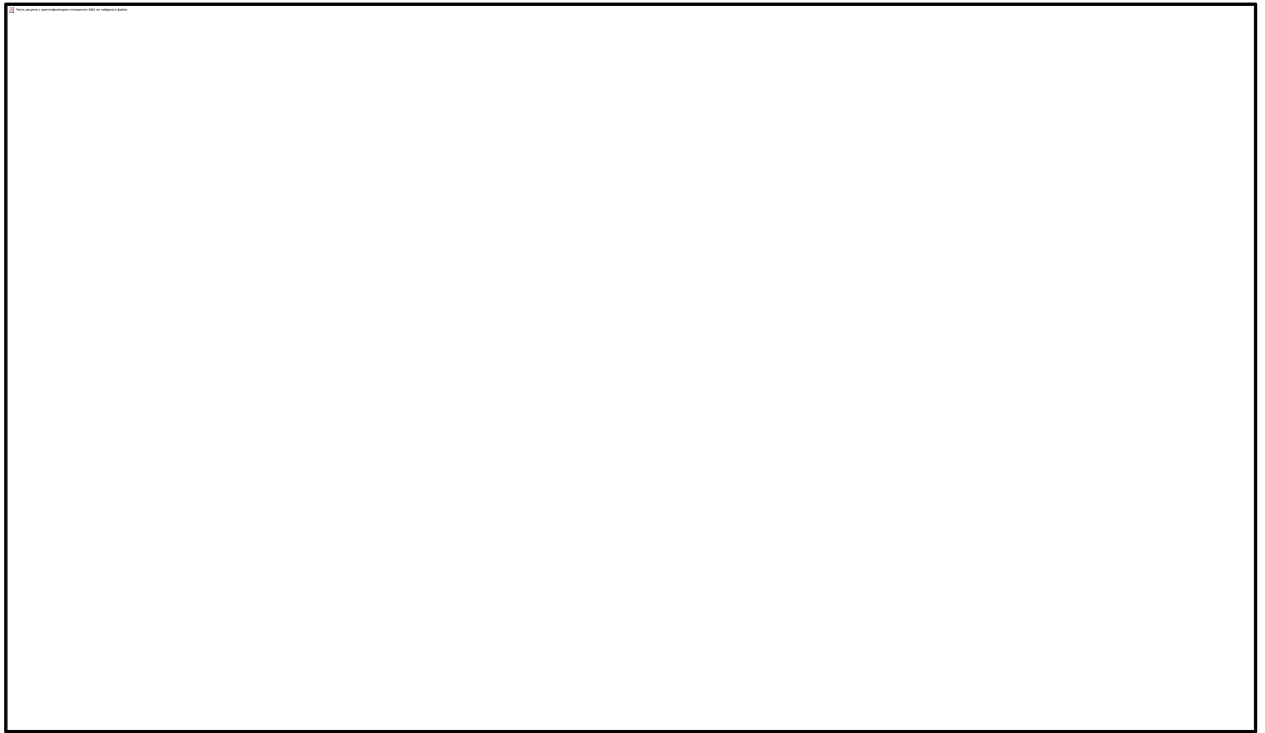
служебной информации поступают на центральный процессор, ЭП видео, звука и данных обрабатываются в специальных декодерах. Центральный процессор на основе служебной информации и установок пользователя управляет всеми узлами ПД, формирует необходимые сигналы для генератора синхросигналов и потоки данных пользователя через интерфейсы RS-232 и RS-422. Синхрогенератор, в свою очередь, осуществляет координацию работы интерфейса SDI (последовательный цифровой интерфейс), видеокодеров и графического процессора.

Видеодекoder осуществляет декомпрессию потока видеоданных. Восстановленный видеосигнал поступает на кодеры аналогового композитного сигнала и формирователь SDI сигнала через коммутатор, который в интервале кадрового гашения вводит в сигнал информацию от процессора кадрового гасящего импульса (телетекст, сигналы цветовой синхронизации SECAM...). Блок «Видеокoder 1» формирует сигнал PAL, SECAM или NTSC, в «Видеокодере 2» этот же сигнал проходит через графический процессор, где на него накладываются графические изображения, которые необходимо отобразить на экране контрольного монитора (экранное меню приемника, параметры сигнала...). Выходные усилители формируют необходимые параметры аналогового сигнала.

Декoder звукоданных принимает поток звукоданных с выхода демультимплексора, осуществляет его декомпрессию и направляет восстановленный сигнал на ЦАП. В большинстве профессиональных ПД имеется возможность получать как цифровые, так и аналоговые звуковые сигналы.

Абонентские приемные устройства, в отличие от профессиональных, восстанавливает после цифрового сжатия исходное изображение и звуковое сопровождение и подает их на в аналоговом виде на ТВ-приемник.

Структурная схема абонентского приемного устройства значительно проще, чем профессионального, хотя сигнал проходит те же основные этапы обработки: выделение в тюнере нужного канала, демодуляция, демультимплексирование, декодирование выбранных цифровых потоков, преобразование в аналоговую композитную форму в одном из выбранных каналов цветности.



**Рис. 55. Структурная схема типичного абонентского приемника-декодера**

В схеме можно условно выделить пять функциональных модулей: входного интерфейса, обработки MPEG-сигнала, условного доступа, модуль контроллера и выходной модуль.

Модуль входного интерфейса выполняет функции выделения и демодуляции принимаемого сигнала. В зависимости от назначения приемного устройства он может быть выполнен в спутниковом, кабельном или эфирном вариантах, различающихся диапазоном входных частот и методов модуляции.

На рисунке в качестве примера показана схема для спутникового приема.



**Рис. 56. Пример реализации тюнера и модуля входного сигнала.**

Сигнал с малошумящего конвертора в полосе частот 0,95 – 2,14 ГГц преобразуется в тюнере на более низкую промежуточную частоту, например, 480 МГц. Для облегчения фильтрации побочных составляющих в смесителе частота гетеродина выбирается обычно выше частоты сигнала, получающаяся при этом инверсия спектра компенсируется инвертированием цифрового сигнала. В качестве гетеродина используется генератор,

управляемый напряжением (ГУН) с выхода система ФАПЧ, подстраивающей его частоту по опорному генератору приемника. Сигнал с выхода смесителя фильтруется высокоизбирательным фильтром на поверхностных акустических волнах (ПАВ) и поступает на вход демодулятора ФМ-4. Как и в модуляторе, применяется квадратурная схема и раздельная обработка I и Q компонентов. После декодера Витерби, восстановителя перемежения и декодера Рида-Соломона на выходе модуля формируется транспортный поток MPEG-2.

Дальнейшая обработка транспортного потока осуществляется в микросхемах высокого уровня интеграции (БИС или СБИС – больших или сверхбольших интегральных схемах).

## 1.18. Современные телевизоры

Современные телевизоры уже давно вырвались из узких понятий устройств, предназначенных лишь для демонстрации приемлемого по качеству видео и звука. Ныне речь идет о высокотехнологичных приборах, объединяющих в себе функции TV-тюнера, компьютера и мультимедийного центра.

В современной телевизионной отрасли существует четыре основных типов телевизоров.

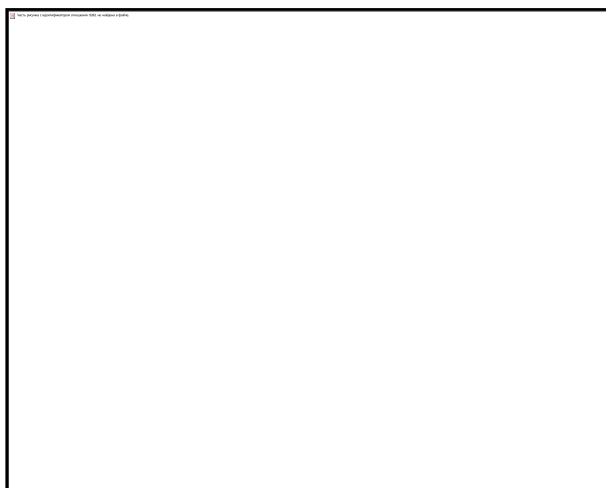
К ним относятся:

- 1) телевизоры с электронно-лучевой трубкой;
- 2) проекционные телевизоры;
- 3) жидкокристаллические телевизоры;
- 4) плазменные панели;

### Телевизоры с электронно-лучевой трубкой

Экран ЭЛТ-телевизора является пустотелой стеклянной трубкой — кинескопом, из которого выкачан воздух, а на внутренний обращенный к нам слой стекла нанесен люминофор, который светится при "бомбардировке" его пучками электронов, вылетающими из электронно-лучевой пушки.

Устройством, формирующим в ЭЛТ-телевизорах видимое изображение, является, как следует из их названия, электронно-лучевая трубка – кинескоп.



**Рис. 57. Схема цветного кинескопа с дельтаобразным расположением электронных пушек.**

Электронные лучи (2), излучаемые катодами (электронными пушками) (1) проходят через магнитное поле фокусирующей катушки и устройства сведения лучей (3). Затем магнитное поле

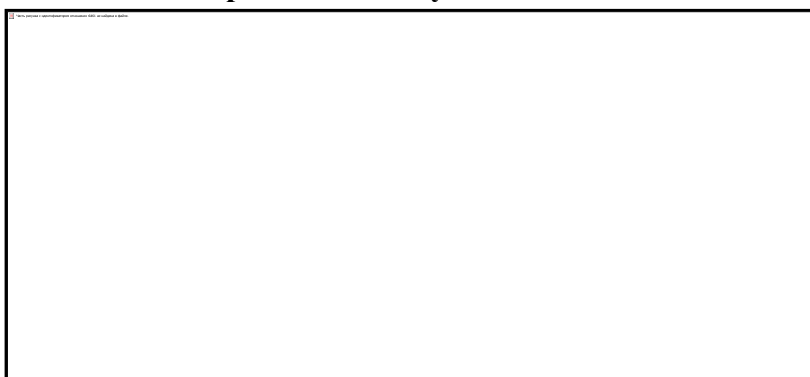


отклоняющих катушек (4) соответствующим образом отклоняет луч по вертикали и горизонтали. На анод (5) подается высокое напряжение (до 25-27 кВ). Ускоренные электрическим полем анода, электроны проходят через теньевую маску (6), которая служит для того чтобы луч от соответствующей электронной пушки попадал только на элементы люминофора (7) соответствующего цвета. Под воздействием электронной бомбардировки люминофор светится. Цифрой (8) на рисунке отмечен увеличенный фрагмент теньевой маски и решетки. Так как в любой отдельно взятый момент времени луч активирует только один пиксель, изображение в целом строится путем развертки: цельное изображение делится на строки, и луч по очереди «прорисовывает» их на экране. При медленном движении в одну сторону луч «рисует» изображение, затем он гасится и переходит в начало следующей строки.

Аналогично происходит и движение луча по вертикали: когда «прорисован» весь кадр луч гасится и перемещается в начало следующего кадра.

Как видно из схемы, кинескоп с дельтаобразным расположением электронных пушек получил свое название в силу того, что оси пушек образуют равносторонний треугольник, похожий на греческую букву «дельта»Δ.

**Рис. 58. Схема размещения пушек**



Другим вариантом является так называемое планарное размещение пушек - их оси лежат в одной плоскости. Соответственно их маски имеют другое строение, как показано на рисунке в середине и справа. Стрелками обозначен шаг пикселей.

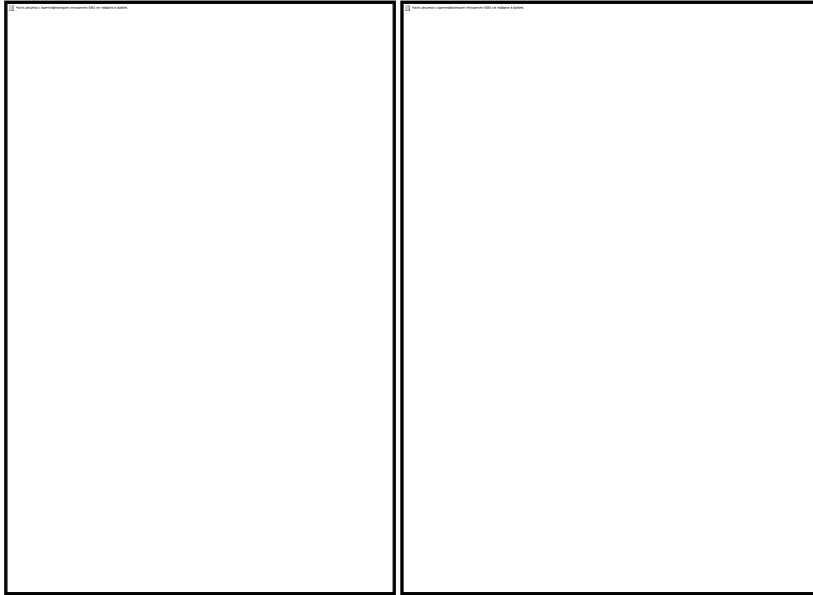
## **Проекционные телевизоры**

**Телевизор проекционный** — телевизор, изображение на котором выводится на просветном (для проекционных ТВ), или отражающем (для проекторов) экране, предельный размер которого для проекционных ТВ составляет около 110 дюймов (2,5-2,82 м и менее), и до нескольких метров (и более) для проекторов.

По принципу действия среди видеопроекторов и проекционных телевизоров выделяют следующие разновидности: на кинескопах (CRT), на ЖК (LCD) матрицах, на ЖК матрицах на кремниевой подложке (LCOS) и с микрозеркальным устройством (DLP или, они же, DMD).

### **Проекционные телевизоры на кинескопах**

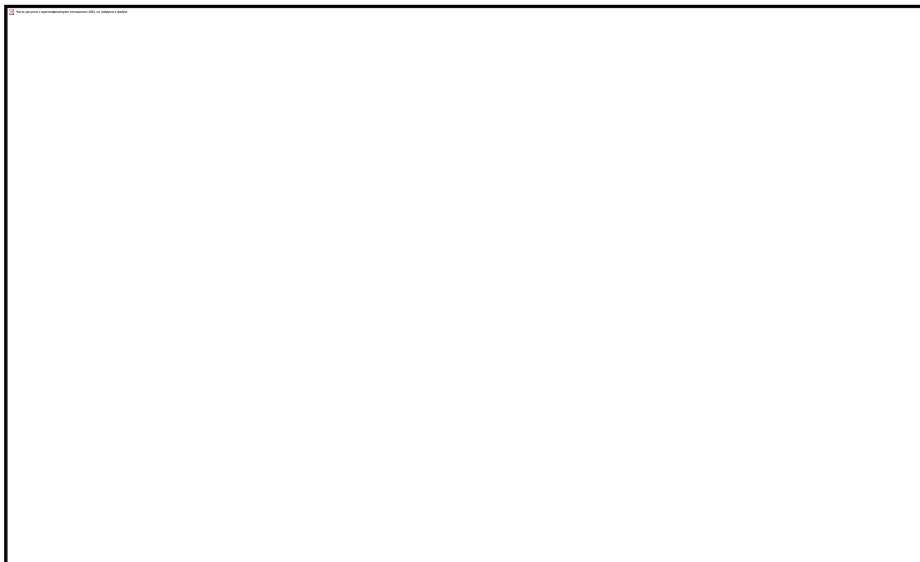
Обычно данные телевизоры представляют собой напольные аппараты, нижняя часть которых - проекционные трубки с объективами, акустическая система и электроника, а верхняя - зеркало и просветный экран. Изображение формируется следующим образом: от трех очень ярких небольших кинескопов свет основных цветов (RGB) проходит через систему оптических линз, зеркал, призм, спрятанных в корпусе телевизора и проецируется на экран. Это приводит к значительному увеличению изображения, которое выводится на достаточно большой экран.



**Рис. 59. Формирование изображения в проекционном кинескопном телевизоре и пример проекционного кинескопного телевизора**

### **Проекционные телевизоры на жидкокристаллических матрицах**

В таких телевизорах, вместо трёх кинескопов, используются три матрицы для основных цветов (RGB - красного, зелёного и синего) с последующим сведением трёх полученных изображений в одно, либо одна RGB (трехцветная) матрица. Свет создается мощной лампой, которая нуждается в постоянном теплоотводе (как и матрицы), даже после окончания работы проектора, встроенный кулер (вентилятор) всё ещё продолжает охлаждение несколько минут. Для трехматричной системы характерно разделение спектра света лампы на цветовые составляющие оптическим способом:



**Рис. 60. Схема проекционного телевизора на жидкокристаллических матрицах**

Свет поляризуется и проходит через дихроические зеркала, которые разделяют его на три основных цвета. Каждый "цвет" попадает на "свою" LCD матрицу и просвечивает её. Затем оптика собирает это всё обратно (в один сплошной цветовой поток) и, через объектив, передаёт на экран (в проекторе) либо зеркало (в проекционном телевизоре).

## Проекционные жидкокристаллические телевизоры на кремниевой подложке (LCoS)

Такие телевизоры на кремниевой подложке (LCoS) устроены следующим образом. ЖК-матрица расположена поверх единой зеркальной подложки. Свет от лампы падает на зеркальную поверхность через ЖК-матрицу. Таким образом, на экран отражается уже готовая «картинка». Для эффективного добавления цвета к черно-белому изображению используются различные способы. Изначально технология базировалась на одночиповом принципе. Свет добавлялся высокочастотным делением по времени — попеременно на экран проецировалась красная, зеленая или синяя картинка.

На сегодняшний день используется трехчиповая технология — как и обычный LCD, LCOS использует отдельную матрицу для каждого из трех цветов. Это позволяет отображать цвета значительно аккуратнее и реалистичней.

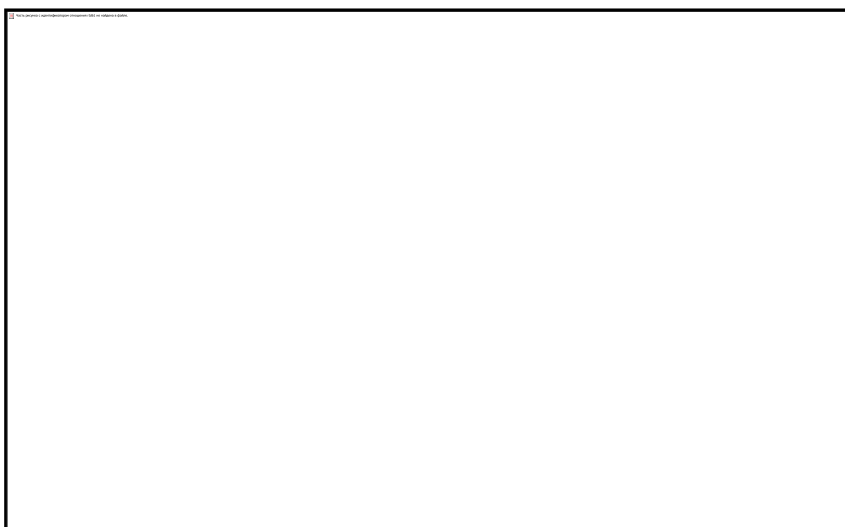


Рис. 61. Формирование изображение в LCoS телевизоре

## Проекционные телевизоры с микрозеркальным устройством (DLP или DMD)

В основе технологии DLP - оптический полупроводник и цифровое микрозеркальное устройство (DMD). DMD чип представляет собой матрицу, состоящую из огромного множества микрозеркал, способных не только отражать поступающий на них световой поток, но и изменять направление его отражения.

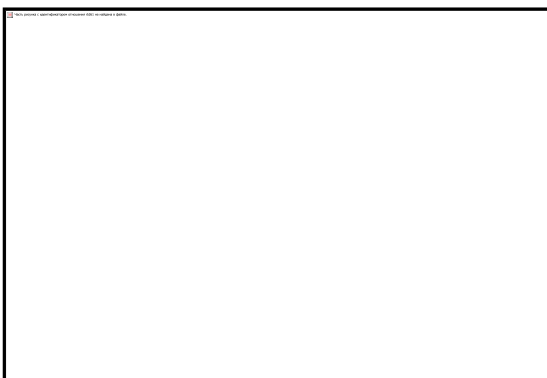


Рис. 62. DMB - чип

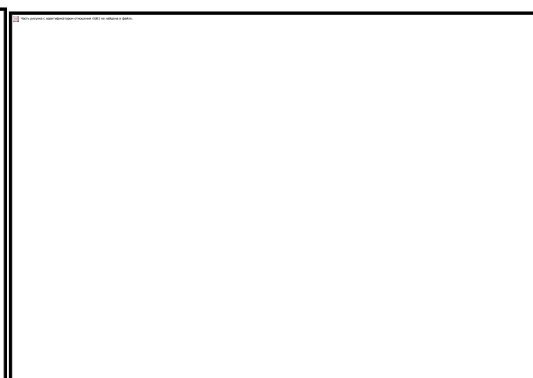


Рис. 63. Микрозеркала

Каждое микрозеркало – крошечная алюминиевая пластинка, размером порядка  $10 \times 10$  микрон, она соответствует одному "пикселю" изображения. Каждое микрозеркало может изменять угол наклона, поворачиваясь в одну либо другую сторону (два положения).

## Жидкокристаллические телевизоры

**Жидкокристаллический телевизор** – это телевизор с ЖК дисплеем и ламповой подсветкой.

Жидкие кристаллы состоят из молекул, которые, как правило, упорядочены в своем пространственном положении, могут согласованно менять это положение под действием электрических полей, и могут менять поляризацию проходящего через них света (последнее особенно характерно для «настоящих», твердых кристаллов).

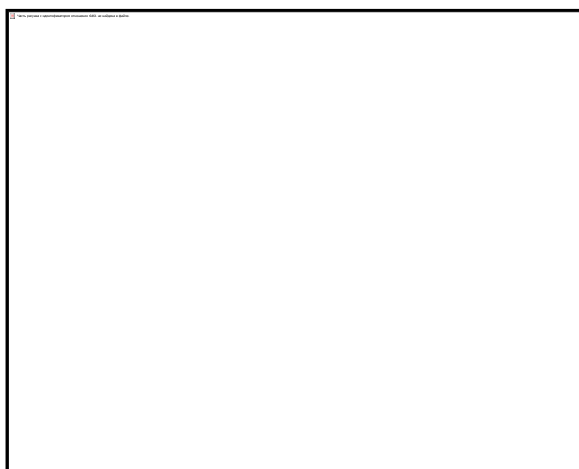
Конструктивно дисплей состоит из жидкокристаллической матрицы (ЖК-матрицы) (стеклянной пластины, между слоями которой и располагаются жидкие кристаллы), источников света для подсветки, контактного жгута и обрамления (корпуса), чаще пластикового, с металлической рамкой жесткости.

## Устройство и принцип работы ЖК телевизоров

Работа ЖК дисплея (ЖКД) основана на явлении поляризации светового потока. Известно, что так называемые кристаллы-поляроиды способны пропускать только ту составляющую света, вектор электромагнитной индукции которой лежит в плоскости, параллельной оптической плоскости поляроида. Для оставшейся части светового потока поляроид будет непрозрачным. Этот эффект называется поляризацией света.

LCD панель состоит из источника подсветки, первого поляризационного фильтра, слоя жидких кристаллов с управляющими электродами, второго поляризационного фильтра (с направлением поляризации перпендикулярным к первому фильтру) и цветного фильтра.

Управляя величиной электрического поля в ячейке можно регулировать степень поворота ЖК в ячейке, и, соответственно, угла поляризации света, а, следовательно, и яркости свечения пиксела.

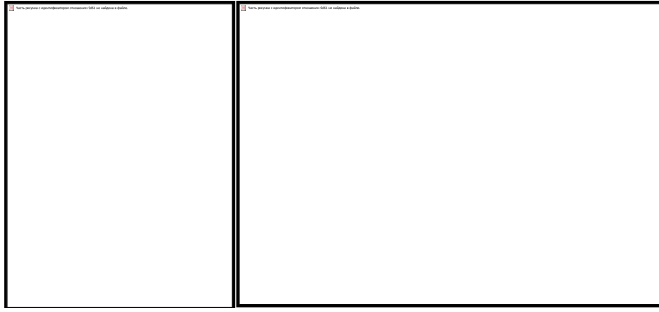


Каждый пиксель ЖК-матрицы состоит из слоя молекул между двумя прозрачными электродами, и двух поляризационных фильтров, плоскости поляризации которых (как правило) перпендикулярны. В отсутствие жидких кристаллов свет, пропускаемый первым фильтром, практически полностью блокируется вторым.

**Рис. 64. Пиксель ЖК-матрицы**

В качестве источника света (подсветки ЖК-матрицы) используются флуоресцентные лампы с холодным катодом. Вот так может выглядеть лампа для LCD телевизора, на правом фото - "ламповая сборка в работе" для телевизора с большой диагональю ЖК-дисплея:

**Рис.65. Флуоресцентная лампа.**



**Рис.66. Ламповая сборка в работе.**

Сами лампы (белого яркого свечения) располагаются в специальных корпусных фиксаторах, позади их - отражатель, для уменьшения потерь светового потока. Для того,



чтобы ЖК-матрица засветилась равномерно перед экраном находится рассеиватель, который равномерно распределяет световой поток по всей своей площади. К сожалению, в этом месте так же происходит немалая потеря "яркости" свечения ламп.

Важной особенностью жидкокристаллических телевизоров является то, что выведенное

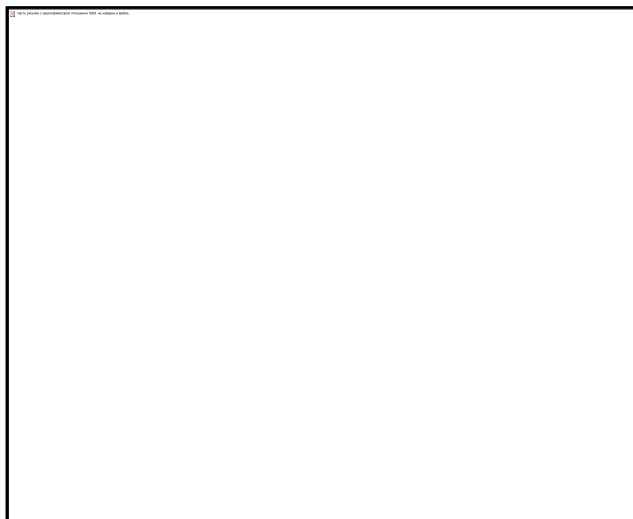
**Рис.67 Флуоресцентная лампа с холодным катодом**

изображение «запоминается» матрицей и остается на экране вплоть до смены кадра. Поэтому ЖК телевизоры никогда не мерцают, что благоприятно сказывается на глазах.



**Рис. 68. LCD - телевизор**

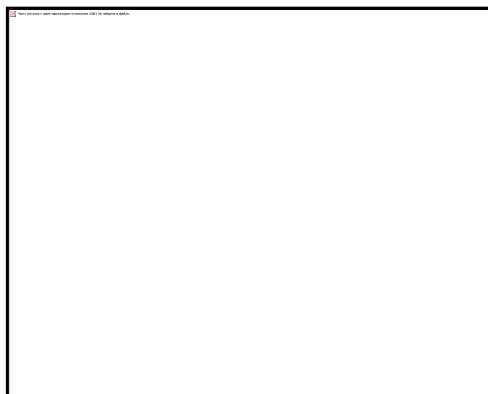
**LED телевизоры** это быстро набирающая популярность разновидность хорошо



известных LCD/ЖК телевизоров, которая представляет собой жидкокристаллический телевизор, в котором для подсветки экрана используются светодиоды. Конструктивно, LED телевизоры отличаются от LCD телевизоров только способом подсветки ЖК-дисплея. вместо ламп – светодиоды.

### Рис. 69. Конструкция LED телевизора

LED-подсветка разделяется на 2 типа: торцевая (она же EDGE-LED, когда светодиоды расположены по краям матрицы, их свет попадает на диффузор и рассеивается) и прямая (Full HD LED, LED Pro).



В прямом или заднем типе подсветки цветные элементы расположены за жидкокристаллической панелью. Светодиоды разных цветов включаются в зависимости от цвета изображения на текущий момент. Это позволяет достигать высокого уровня яркости и контрастности картинки, которое недостижимо для обычных LCD –экранов.

Торцевая подсветка матрицы предусматривает размещен

ие светодиоды по периметру внутренней рамки панели, а равномерное распределение подсветки осуществляется с помощью специальной рассеивающей панели, расположенной за ЖК экраном – как это делается в мобильных устройствах.

Светодиодная подсветка может быть из одноцветных диодов или с использованием трехцветных (красных, зеленых, синих) светодиодов. При использовании разноцветных диодов увеличивается цветовой охват, но из-за сложной схемы управления светодиодами возможны неестественное отображение цвета. На сегодня используется только подсветка из одноцветных белых светодиодов



Рис. 71. Торцевая свет



Рис.72. LED – телевизор

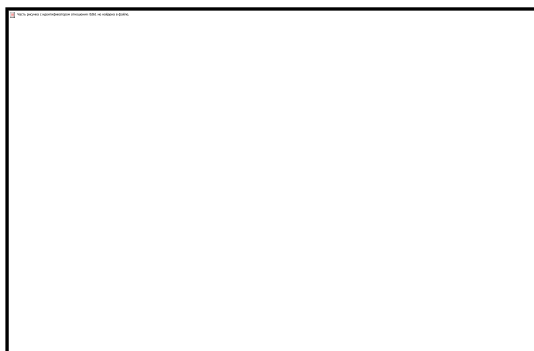
### OLED-телевизоры

**OLED телевизор** — это телевизор, в матрице которого основным функциональным элементом являются органические светодиоды.

Пропускание электрических импульсов через органические соединения приводит к яркому свечению последних. Использование различных люминофоров позволяет получить свечение заданного цвета. Так с помощью комбинирования свечения красного,

синего и зеленого органического светодиода можно получить на выходе большое количество качественных цветов.

Типичный OLED состоит из слоя органических материалов между двумя электродами (анодом и катодом), расположенными на подложке. Проводимость органических материалов колеблется в диапазоне от изоляторов до проводников, по этой причине их рассматривают как органические полупроводники.



**Рис. 73. Конструкция OLED-телевизора**

В качестве полупроводников их характеризуют такие параметры как наиболее высокая занятая и наиболее низкая незанятая молекулярная орбиталь.

Это аналоги валентной зоны и зоны проводимости неорганических полупроводников.

Наиболее простые полимерные OLED состоят из одного органического слоя. Тем не менее, для повышения эффективности могут изготавливаться и многослойные OLED.

### Принцип действия

Для создания органических светодиодов (OLED) используются тонкоплёночные 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 движутся 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.



**Рис.74.Схема 2-слойной OLED-панели:**

1. Катод(-),
2. Эмиссионный слой,
3. Испускаемое излучение,
4. Проводящий слой,
5. Анод (+)

Прибор не работает при подаче на анод отрицательного относительно катода напряжения. В этом случае дырки движутся к аноду, а электроны в противоположном направлении к катоду, и рекомбинации не происходит.

В качестве материала анода обычно используется оксид индия, легированный оловом. Он прозрачный для видимого света и имеет высокую работу выхода, которая способствует инжекции дырок в полимерный слой. Для изготовления катода часто используют

металлы, такие как алюминий и кальций, так как они обладают низкой работой выхода, способствующей инжекции электронов в полимерный слой.



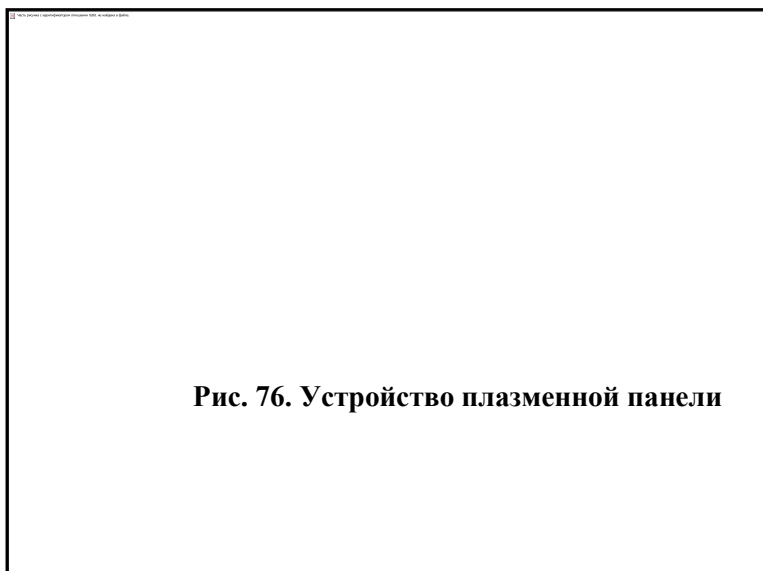
**Рис. 75. OLED – телевизор**

## **Плазменные панели**

**Газоразрядный экран (плазменная панель)** — устройство отображения информации, монитор, основанный на явлении свечения люминофора под воздействием ультрафиолетовых лучей, возникающих при электрическом разряде в ионизированном газе, иначе говоря в плазме.

### **Устройство плазменной панели**

В плазменных панелях ксенон и неон содержится в сотнях маленьких микрокамер, расположенных между двумя стеклами. С обеих сторон, между стеклами и микрокамерами, располагаются два длинных электрода.



**Рис. 76. Устройство плазменной панели**

Управляющие электроды расположены под микрокамерами, вдоль тылового стекла. Прозрачные сканирующие электроды, окруженные слоем диэлектрика и покрытые защитным слоем оксида магния, расположены над микрокамерами, вдоль фронтального стекла.

Электроды расположены крест-накрест во всю ширину экрана. Сканирующие электроды расположены горизонтально, а управляющие электроды –

вертикально. Как можно увидеть на диаграмме, вертикальные и горизонтальные электроды формируют прямоугольную сетку. Для ионизации газа в определенной микрокамере, процессор заряжает электроды непосредственно на пересечении с этой микрокамерой. Тысячи подобных процессов происходят за долю секунды, заряжая по очереди каждую микрокамеру.



Когда пересекающиеся электроды заряжены (один отрицательно, а другой положительно), через газ в микрокамере проходит электрический разряд. Каждый пиксель плазменной панели состоит из трёх микрокамер (субпикселей): красного зелёного и синего (как в кинескопных телевизорах), чем меньше размер пикселей в дислее, тем более чётким получается изображение.

Работа плазменной панели состоит из трех 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.
- *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.

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

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 проходя через переднюю стеклянную пластину попадает в глаз зрителя.

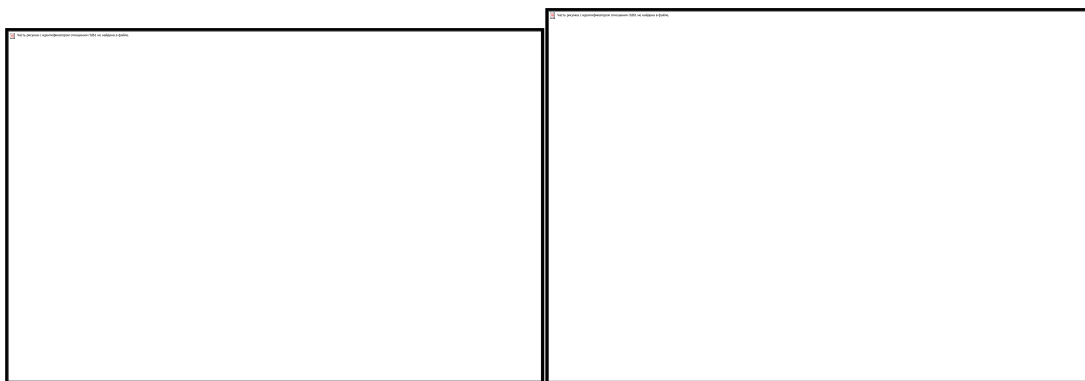


Рис.77. Конструкция плазменного телевизора

Рис.78. Плазменный телевизор

## Телевизоры SmartTV

Одна из последних разработок производителей телевизоров это дополнительные возможности телевизионных приемников под названием **Smart TV**. Такие телеприемники называют еще «умные телевизоры», которые рассчитаны не только на просмотр телепередач и фильмов, но и на использование различных интернет-ресурсов и сервисов.

Принадлежность к категории Smart TV чаще всего подразумевает под собой доступ к множеству дополнительных приложений, наличие магазина для загрузки программ,

встроенный веб-браузер для интернет-серфинга плюс интерфейс для проигрывания медиафайлов из локальной сети.

### История появления SmartTV

В 1997-м Microsoft создала технологию MSN TV (WebTV), позволяющая иметь доступ в интернет с обычного кинескопного телевизора с помощью дистанционного управления.

MSN TV представляет собой устройство, которое подключается к телевизору через кабель с стандартным аудио- и видео- входом или S-Video Connection. Он дополняется беспроводной клавиатурой и пультом дистанционного управления, которые позволяют взаимодействовать с веб-страницами и функциональностью.

Есть также факультативные периферийные устройства, такие как принтеры, Card Reader и разъемы WiFi, для увеличения емкости и связи, которая обеспечивает MSN TV.

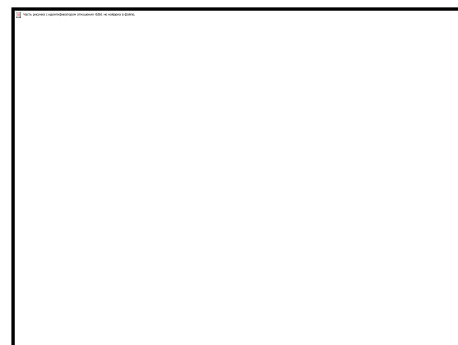


Рис. 79.Оборудование MSN TV

В 1999 году появились сервисы TiVo и ReplayTV, представлявших собой цифровой видеомаягнитофон с встроенным жестким диском, который записывал выбранные передачи и позволял просматривать их в удобное пользователю время. Эти сервисы существуют и в настоящее время.

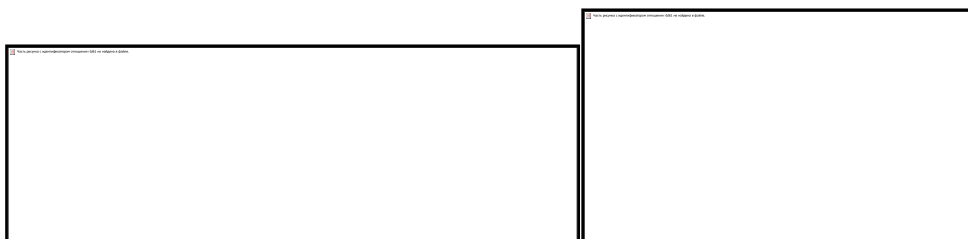


Рис.80. Оборудование TiVo и ReplayTV

Через год, в 2000-м, появляются специальные устройства, называемые Set Top Box (ресивер цифрового телевидения) различных производителей, расширяющие функционал стандартного (кабельного, спутникового) ТВ. Это устройство, принимает сигнал цифрового телевидения, декодирует его и преобразует в аналоговый сигнал для вывода через разъемы RCA или SCART либо преобразует в цифровой сигнал для вывода через разъем HDMI, и передающее его далее на телевизор.

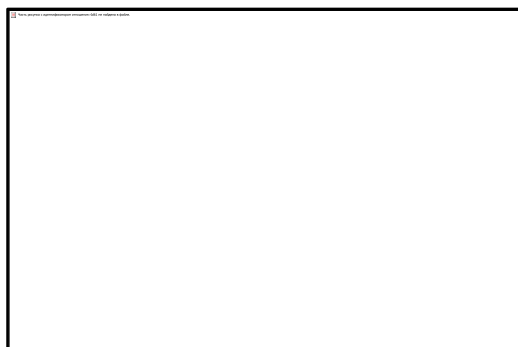


Рис.81.Оборудование Set

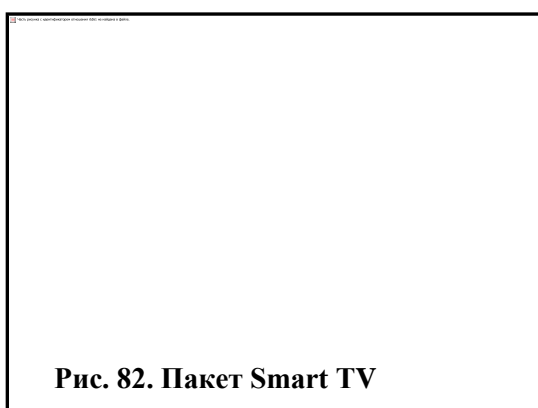
А уже в 2009 году появилась технология DLNA (Digital Living Network Alliance) — набор стандартов, позволяющих совместимым устройствам передавать и принимать по домашней сети различный медиа-контент (изображения, музыку, видео), а также отображать его в режиме реального времени. То есть — технология для соединения домашних компьютеров, мобильных телефонов, ноутбуков и бытовой электроники в единую цифровую сеть. Устройства,

стандартов, позволяющих совместимым устройствам передавать и принимать по домашней сети различный медиа-контент (изображения, музыку, видео), а также отображать его в режиме реального времени. То есть — технология для соединения домашних компьютеров, мобильных телефонов, ноутбуков и бытовой электроники в единую цифровую сеть. Устройства,

которые поддерживают спецификацию DLNA, по желанию пользователя могут настраиваться и объединяться в сеть в автоматическом режиме.), которая и дала толчок появлению телевизоров со Smart TV.

**Smart TV - набор программ** (софта), создающих платформу, благодаря которой уже можно из телеприемника получить медиacentр. Для работы всех этих функций обязательным является подключение к сети Интернет. Осуществляется это либо при помощи Ethernet-разъема, либо с использованием доступа по Wi-Fi. Беспроводные модули во многих топовых моделях уже встроены в ТВ, а для других (т.н. Wi-Fi-ready) – существуют в виде опциональных USB-адаптеров, которые придется докупать отдельно.

Каждый производитель может по-своему **комплектовать пакет Smart TV**, и при этом они еще и обновляются регулярно. Создаются свои отдельные центры в интернете со своими наборами материалов для пользователей именно конкретной маркой телевизора.



**Рис. 82. Пакет Smart TV**

Пакет Smart TV предлагает пользователю получение дополнительного контента из домашней сети и из интернета. Если в первых разработках предлагалось только несколько конкретных сервисов в интернете для использования в телевизорах, то сегодня в телеприемниках с пакетом Smart TV встраивают браузер и пользователь может бродить по интернету как на компьютере. А в качестве предустановленных сервисов используются виджеты (специальные программы для расширения возможностей телевизора). С их

помощью можно узнавать о погоде, обмениваться фотографиями, использовать социальные сети и другое.

Благодаря SmartTV телевизор можно подключать к домашней сети по DLNA и использовать информацию с подключенных устройств для просмотра на телевизоре. Такие возможности позволяют телезрителю не быть привязанному только к программе передач телеканалов, а получать контент практически со всех возможных источников.

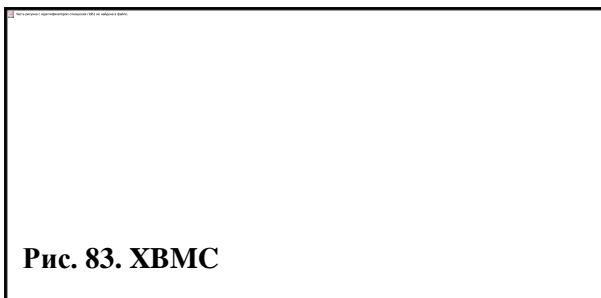
Можно выделить 6 главных функций, которые отличают «умный телевизор» от обычного:

1. **Интернет.** Продуманы подключение, а также переход на YouTube, специализированные сайты и телеканалы в режиме «онлайн». А вскоре появятся телевизоры со встроенными жёсткими дисками и торрент-клиентами.
2. **Проигрывание музыки и видеофильмов.** Предусмотрены гнезда для подключения USB (флешек) и соответствующие инструменты для проигрывания их содержимого.
3. **Получение информации.** Для этого на новом пульте нужно нажать 1-2 клавиши, и телевизор расскажет про погоду, новости, передаст электронную почту и т.д.
4. **Социальные сети.**
5. **Игры.**
6. Предусмотрено также подключение и **использование множества дополнительных устройств**, включая очки для 3D и колонки для домашнего кинотеатра.

**Аналоги SmartTV**

**XBMC** – это бесплатный кроссплатформенный медиаплеер и программное обеспечение с открытым исходным кодом. Графический интерфейс программы позволяет легко

управлять видеофайлами, фотографиями и музыкой, находящимися на компьютере, оптическом диске, в интернете или в локальной сети. Может управляться с помощью ПДУ.

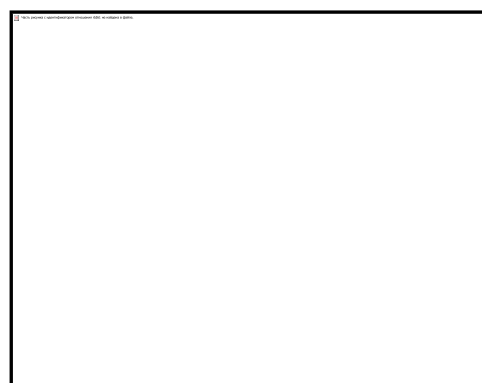


**Рис. 83. XBMC**

компьютер размером с USB-флешку. Также это устройство, которое полностью заменяет компьютер в виде медиацентра. Его возможности чуть ли не на порядок превосходят Smart TV. Mini PC работает на 4.0, в итоге телевизор превращается в огромный планшет.

К Mini PC можно подключить USB-хаб и использовать мышку, USB-клавиатуру, флешки и прочие устройства, работающие USB. Также существуют модели, где в комплекте уже идет Air Mouse и пульты с клавиатурой.

**Android Mini PC** представляет собой



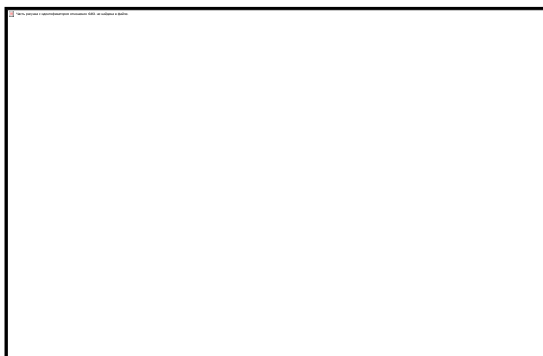
Android

через

мини-

#### **iPee TV Android 4.0.**

Устройство, которое получило название iPee TV Android 4.0 Mini PC HDTV



**Рис. 84. iPee TV Android4.0.**

предназначено для того, чтоб превратить любой телевизор, способный воспроизводить видео в HD качестве в полноценного представителя SmartTV. Для этого, iPee TV Android 4.0 Mini PC HDTV оборудован микропроцессором, работающим на частоте 1,2 ГГц, 2 Гб внутренней памяти с возможностью расширения при помощи карт micro SD и модулем беспроводной связи Wi-Fi.

## Список літератури

### 1. Основна

211. Телебачення / Під ред. В.Е. Джаконії. – М.: Радіо та зв'язок, 1986.
212. Домбругов Р.М. Телебачення. – Київ : Вища школа, 1988.
213. Проектування та технічна експлуатація телевізійної апаратури / Під ред. С.В. Новаковського. – М : Радіо та зв'язок, 1989.
214. Ю.Б. Зубарьов, Г.Л. Глоріозов. Передача зображень – М. : Радіо та зв'язок, 1989.
215. А.В. Виходець, В.І. Коваленко, М.Т. Кохно – Звукове та телевізійне мовлення ; - М. : Радіо та зв'язок, 1987.
216. Цифрове телебачення / Під ред. М.І. Кривошеєва. - М. : Радіо та зв'язок, 1980.
217. Певзнер Б.М. Якість кольорових ТВ зображень : видання друге ; М. : Радіо та зв'язок, 1988.
218. Радіорелейні та супутникові системи передачі : Підручник для вузів / Під ред. А.С. Немировського. - М. : Радіо та зв'язок, 1986. – 392 с
219. Системи радіозв'язку : Підручник для вузів / Під ред Л.Я. Калашникова - М. : Радіо та зв'язок, 1987. – 352 с
220. Посібник по радіорелейному зв'язку / Під ред С.В. Бородича - М. : Радіо та зв'язок, 1981. – 416 с
221. Супутниковий зв'язок та мовлення. Посібник / Під ред. Л.Я. Кантора - М. : Радіо та зв'язок, 1988. – 344 с
222. Системи космічного зв'язку. Посібник під ред. Б.В. Одинцова, Е. А. Сукачова; Одеса 1989.
223. Сучасні системи радіозв'язку в прикладах та задачах. Посібник під ред. Б.В. Одинцова, Е. А. Сукачова; Одеса 1990.
224. Мамчев Г.В. «Основы радиосвязи и телевидения», 2007 год;
225. Джакония В.Е., Гоголь В.А., Друзин Я.В. «Телевидение (4-е издание), 2007
226. Локшин Б.А. «Телевизионное вещание. От студии к телезрителю», 2001
227. Кириллов В.И., Ткаченко А.П. «Телевидение и передача изображения», 1988
228. Самойлов В.Ф., Хромой Б.П. «Основы цветного телевидения», 1982
229. Ельяшкевич С.А., Юкер А.М. «Усовершенствование телевизоров ЗУСЦТ и 4УСЦТ», 1994
230. Быков Р.Е., Сигалов В.М., Эйсенгардт Г.А. «Телевидение», 1988
231. Ельяшкевич С.А. «Справочное пособие. Цветные телевизоры ЗУСЦТ», 1990
232. Зубарев Е.Б., Кривошеев М.И., Красносельский И.Н. «Цифровое телевизионное вещание. Основы и методы», 2001
233. Корытов В.И «Телевизоры ЗУСЦТ. Ремонт и настройка», 1999
234. Смирнов А.В. «Основы цифрового телевидения», 2001
235. Ельяшкевич С.А., Песков А.Е. «Телевизоры ЗУСЦТ, 4УСЦТ, 5УСЦТ. Устройство, регулировки, ремонт»
236. Шумихин Ю.А. «Телевизионный сигнал», 1968
237. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 1 Принципи радіозв'язку, 2014
238. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 2 Радіопередавальні пристрої, 2014

239. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 3 Радиоприёмные устройства, 2014
240. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 4 Физические основы телевидения, 2014
241. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 5 Основные принципы функционирования телевизионных систем, 2014
242. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 6 Формирование телевизионного сигнала, 2014
243. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 7 Конструктивні особливості телевізійної апаратури, 2014
244. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 8 Особенности построения телевизионных систем, 2014
245. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 9 Сети телевизионного вещания, 2014

## 2.Додаткова

61. Мордуховіч Л.Г., Степанов А.П. Системи радіозв'язку. Курсове проектування. - М. : Радіо та зв'язок , 1987. – 192 с
62. Спілкер Дж. Цифровий супутниковий зв'язок / пер. з англ. ; Під ред. В.В. Маркова - М. : Зв'язок , 1979. – 592 с
63. Одинцов Б.В., Сукачов Е.А. , Гуцаюк А.К. Цифрові системи радіозв'язку : Навчальний посібник / ОЕІС ім. А.С. Попова – Одеса , 1988. – 56 с.
64. Одинцов Б.В., Сукачов Е.А. , Гуцаюк А.К. Космічний зв'язок : Навчальний посібник / ОЕІС ім. А.С. Попова – Одеса , 1989. – 56 с.
65. Новаковський С.В. Колір в кольоровому телебаченні - М. : Радіо та зв'язок, 1988.
66. Кривошеєв М.І. Основи телевізійних вимірювань. : видання 3 – е. - М. : Радіо та зв'язок , 1989.
67. ГОСТ 7845 – 79. Система мовленнєвого телебачення. Основні параметри , методи вимірювань.
68. Прием телебачення та радіомовлення з супутників / Д.Ю. Бем , М.Є. Ільченко , А.П. Житков, Л.Г. Гассанов. – К.: Техніка , 1992. – 176 с.
69. Довідник. Індивідуальні відео – засоби. С.А. Сєдов – Київ 1990.
70. В.Бондарьов , Г.Трьостер , В. Чернега. Цифрова обробка сигналів : методи та засоби. Навчальний посібник для вузів. Харків 2001.

### 9. Сети телевизионного вещания

1. Структура передающей сети телевизионного вещания
  - 1.1 Передача телевизионных сигналов по спутниковым линиям связи
    - 1.1.1 Принципы спутникового вещания
    - 1.2 Особенности построения приемопередающих устройств системы непосредственного телевизионного вещания
      - 1.2.1 Особенности передачи аналоговых телевизионных . сигналов по радиорелейным линиям
      - 1.3 Системы кабельного телевидения
        - 1.3.1 Способы построения систем кабельного телевидения на коаксиальном кабеле
        - 1.4 Сети цифрового интерактивного кабельного телевидения

- 1.5.Сотовые системы телевидения
- 1.6.Контроль и измерения в телевизионных системах передачи

## СЕТИ ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ

### 1. Структура передающей сети телевизионного вещания

Наземная телевизионная передающая сеть состоит из телецентров, работающих совместно с радиотелевизионными передающими станциями (РТПС), телевизионных ретрансляторов и технических средств передачи телевизионных сигналов на большие расстояния.

Телецентры представляют собой комплексы радиотехнической аппаратуры, помещений и служб, необходимых для создания телевизионных программ. С телецентров сформированные телевизионные сигналы непосредственно передаются на РТПС.

Основным назначением телевизионных ретрансляторов является обеспечение более равномерного покрытия густонаселенной территории телевизионным вещанием.

Телевизионные ретрансляторы требуются, как правило, в двух случаях: во-первых, вне зоны уверенного приема основной мощности РТПС и, во-вторых, внутри зоны в местах, в которых по географическим причинам сигнал основной станции ослаблен и не обеспечивает удовлетворительного качества приема. Причем около 18 000 ретрансляторов имеют спутниковые приемные антенны.

Организовано телевизионное вещание по зональному принципу с поочередным повторением передачи центральных программ для каждой из пяти существующих зон со сдвигом во времени на два часа.

В РФ для организации телевизионного и звукового радиовещания с частотной модуляцией (ОВЧ ЧМ) выделены определенные полосы частот. С целью классификации выделенные для телевизионного вещания в стране полосы частот электромагнитных колебаний условно разбиты на пять частотных диапазонов, в которых может быть размещено 73 радиоканала:

диапазон 48,5...66 МГц (радиоканалы 1 и 2);

диапазон 76...100 МГц (радиоканалы 3-5);

диапазон 174...230 МГц (радиоканалы 6-12);

диапазон 470...582 МГц (радиоканалы 21-34);

диапазон 582...960 МГц (радиоканалы 35-82).

Радиоканалы первых трех частотных диапазонов соответствуют метровым волнам, а радиоканалы четвертого и пятого частотных диапазонов - дециметровым волнам. Следует заметить, что между вторым и третьим диапазонами расположена полоса частот, отведенная для ОВЧ ЧМ вещания, равная 7 МГц (66...73 МГц).

Частоты  $f_n$ ,  $f_v$ , ограничивающие полосу любого дециметрового канала, и частота несущей изображения из радиоканала могут быть определены по номеру канала из следующих соотношений:

$$f_n = 470 + (N_k - 21) \times 8 = 302 + 8 N_k, \text{ МГц};$$

$$f_v = 470 + (N_k - 20) \times 8 = 310 + 8 N_k, \text{ МГц};$$

$f_{\text{о из}} = 470 + (N_{\text{к}} - 21) \times 8 + 1,25 = 303,25 + 8 N_{\text{к}}$ , МГц.

Выбор нижней границы I диапазона определяется тем, что для упрощения конструкции телевизионных приемников и снижения частотных искажений при выделении полного телевизионного сигнала из радиосигнала необходимо, чтобы несущая частота изображения в несколько раз превышала максимальную частоту спектра модулирующего телевизионного сигнала  $f_{\text{В}} = 6,25$  МГц. Кроме того, частотный диапазон примерно до 40 МГц практически полностью занят для целей радиовещания и радиосвязи и других радиослужб. Верхняя граница V частотного диапазона ограничена длинами радиоволн, на которых начинают сказываться значительное их поглощение в атмосфере и влияние ее неоднородностей - дождя, тумана и т.д.

#### Планирование передающей телевизионной сети

Каждый радиоканал предназначается для передачи сигналов изображения и звукового сопровождения одной телевизионной программы. Ширина полосы частот радиоканала определяется используемым в РФ телевизионным стандартом, т.е. соответствует 8 МГц. В цифровом телевидении при использовании стандарта кодирования с информационным сжатием MPEG-2 по одному стандартному радиоканалу уже сейчас можно передавать до восьми телевизионных программ.

При определении значений основных параметров РТПС и выборе для нее частоты основным критерием является возможность работы рассматриваемого передатчика без взаимных помех в сложившейся передающей сети. Следовательно, электромагнитная совместимость является основным критерием при выборе частот для организации вещания в каждом конкретном пункте.

Для того чтобы принять с удовлетворительным качеством программу телевидения (например, в полосе частот каналов 6-12) или стереофонического звукового вещания с помощью достаточно сложных (многоэлементных) наружных антенн, поднятых над уровнем земли на 10 м, нужно, чтобы напряженность электромагнитного поля передатчика была не менее 500 мкВ/м.

В то же время мешающее влияние такого передатчика будет вполне ощутимо при создаваемой им напряженности поля 1 мкВ/м, т.е. в 500 раз меньше той, при которой возможен нормальный прием его передачи. Соответственно, зона мешающего влияния радиовещательной станции значительно превышает зону обслуживания. Так, передатчик мощностью 5 кВт с передающей антенной, обладающей коэффициентом усиления 6 раз и поднятой над землей на 150 м, имеет зону обслуживания радиусом 54 км. При этом расстояние, на котором он может создавать помехи приему других радиостанций, работающих на той же частоте (в совмещенном канале), равно около 400 км.

Помимо помех по совмещенному каналу, возможны также помехи от так называемых смежных (непосредственно граничащих по частоте) гетеродинных и зеркальных каналов. Чтобы не создавать все эти перечисленные ситуации, применяют специальные методы оптимального планирования.

Планирование передающей телевизионной сети заключается в определении места расположения РТПС и выборе их параметров (мощность передатчиков, высота подвеса антенн, частота излучения), чтобы обеспечивались удовлетворительные условия приема в заданной полосе без взаимных помех между телевизионными станциями. При этом следует иметь в виду, что телевизионные передающие станции и радиоретрансляторы большой мощности имеют радиус действия обычно 50...70 км, а ретрансляторы малой мощности излучают телевизионные сигналы в радиусе 10...20 км.

Наиболее экономичное планирование передающей телевизионной сети достигается в том случае, если телевизионные передающие станции размещаются по углам равностороннего треугольника (рис. 1.1) [40].

В этом случае каждый телевизионный передатчик, имеющий передающую антенну с круговой диаграммой направленности, обеспечивает возможность приема телевизионного



сигнала на расстоянии  $r < r_0$ , где  $r_0$  - средний радиус зоны прямой видимости. Из рис. 1.1 видно, что для сплошного покрытия территории площадью  $S$  телевизионным вещанием с помощью нескольких телевизионных радиопередатчиков, имеющих одинаковый средний радиус зоны обслуживания  $r$ , расстояние между соседними телевизионными радиопередатчиками нужно выбирать из условия  $r \approx \sqrt[3]{S}$ . При этом образуются области, в которых возможен уверенный прием одновременно от нескольких телевизионных радиопередатчиков. Радикальным средством ослабления взаимных помех для телевизоров, расположенных в этих областях, является работа соседних телевизионных радиопередатчиков в разных телевизионных радиоканалах. При этом учитывается избирательность телевизионных приемников по соседним каналам приема.

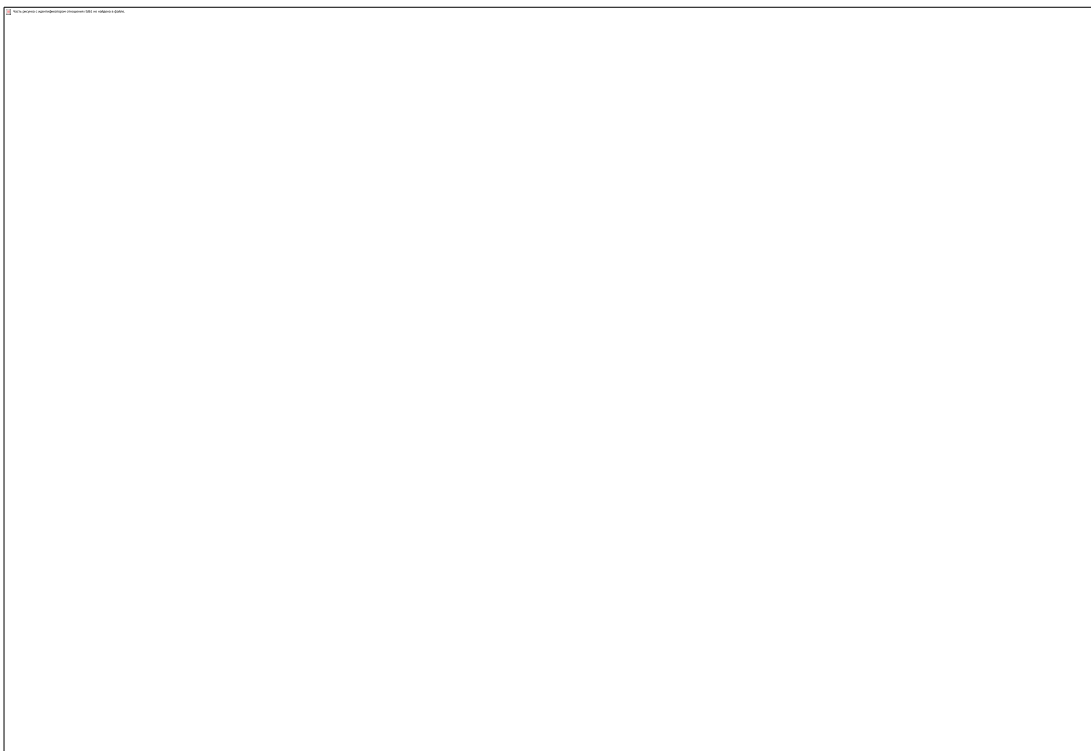


Рис. 1.1. Схема размещения телевизионных радиопередатчиков

• Из рис. 1.1 следует, что каждый элементарный треугольник площадью  $A_s$  обслуживается тремя радиопередатчиками. При этом каждый радиопередатчик является общим для шести треугольников. Следовательно, если заданную территорию площадью  $S$  можно условно разбить на  $k$  треугольников площадью  $A_s$ , то количество радиопередатчиков  $l_1$ , необходимых для обеспечения телевизионным вещанием этой территории, равно  $l_1 = 3k/6 = k/2$ .

' Выделим в пределах общей территории большой треугольник площадью  $A_s$ , в вершинах которого располагаются телевизионные радиопередатчики, работающие в одном радиоканале. Сторона такого треугольника, соответствующая расстоянию  $d$  между радиопередатчиками, работающими в совмещенном канале, практически находится в пределах 400...500 км в зависимости от особенностей рельефа местности. Будем считать, что в пределах этой территории можно выделить  $M_s$  больших треугольников. Тогда в пределах всей зоны телевизионного вещания может быть расположено  $l_2 = M_s/2$  радиопередатчиков, работающих в одном канале. Зная значения  $l_1$  и  $l_2$ , легко определить число радиоканалов  $L/k$ , необходимых для обслуживания телевизионным вещанием всей территории площадью  $S$ .

= л,,1 \_ к/2 \_ к \_ SAS AS (Уз/4)d2 кпп2 Ms/2 Ms SAs As  
(V3/4)rn2

r-T  
r" y 3r d2

Из вышеприведенного выражения следует, что для уменьшения числа радиоканалов, необходимых для охвата телевизионным вещанием заданной территории, необходимо уменьшить расстояние между передатчиками, работающими в одном радиоканале, и увеличить радиус вещания каждой телевизионной станции.

При планировании сети телевизионного вещания, а именно при конкретном распределении номеров радиоканалов для соседних передающих станций с целью исключения заметности взаимных помех должны соблюдаться нормы значения защитного отношения А, которое определяется выражением

$$A = U_B / U_n$$

где  $U_c$  - напряжение полезного сигнала на антенном входе телевизора;  $U_n$  - напряжение сигнала помехи. Следовательно, для сохранения высокого качества воспроизводимых телевизионных изображений отношение полезного сигнала к мешающему на входе телевизионного приемника должно быть не ниже защитного отношения.

Наибольшее защитное отношение требуется при работе телевизионных передатчиков в совмещенном (одинаковом) радиоканале. Например\* величина защитного отношения по совмещенному радиоканалу должна быть такой, чтобы полезный сигнал на входе телевизора был больше мешающего не менее, чем на 40 дБ. Для обеспечения такого значения защитного отношения на практике необходимо удалять друг от друга телевизионные радиопередатчики, работающие в одинаковых радиоканалах, на очень значительные расстояния. Вследствие различной степени заметности отдельных частотных составляющих помехи, а также неравномерности частотной характеристики избирательности телевизионного приемника, величина защитного отношения неодинакова по спектру радиоканала (рис. 1.2) [40].

Определенным смещением несущих частот (СНЧ) передающих телевизионных радиостанций можно уменьшить заметность помех и тем самым снизить требуемые значения защитного отношения, что позволит сократить расстояние между радиопередатчиками, работающими в совмещенных каналах. В свою очередь это дает возможность снизить число радиоканалов, необходимых для организации однопрограммного телевизионного вещания в пределах заданной территории. Метод СНЧ основан на использовании дискретных частотных свойств телевизионных сигналов. Причем величина ослабления мешающего действия помех зависит от величины сдвига и точности его поддержания. Различаются два режима работы СНЧ - обычный и прецизионный (точный).

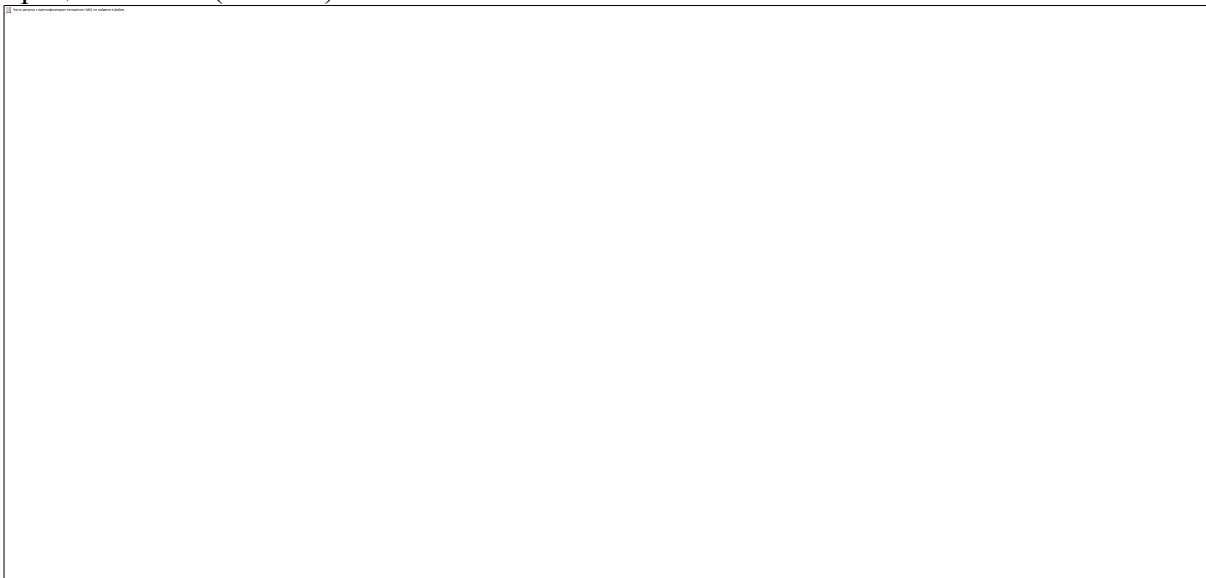


Рис. 1.2. Частотные зависимости защитного отношения: 1 - СНЧ = 0; 2 - СНЧ =  $\pm 1/34$

Г

! При обычном режиме СНЧ учитывается смещение в пределах периода строчной развертки. При этом не требуется большая абсолютная стабильность величины сдвига спектров (несущих частот радиопередатчиков. В случае трех радиопередатчиков, работающих в одном радиоканале, один должен иметь номинальное значение несущей частоты изображения  $f_{0из}$ , другой  $f_{0,3} + 2/34$ , а третий  $f_{0вт3} - 2/34$ . Следовательно, несущие частоты второго и третьего радиопередатчиков имеют сдвиг на  $4/34$

При прецизионном СНЧ учитывается сдвиг в пределах периода частоты кадров, т.е. сдвиг должен быть кратным частоте кадров, равной 25 Гц. Для выполнения данного условия относительная нестабильность 4 должна находиться в пределах 5-1СГ6, а абсолютная нестабильность несущей изображения радиопередатчика не более  $\pm 2,5$  Гц. Прецизионное смещение дает дополнительный выигрыш по сравнению с обычным СНЧ на 10 дБ.

Выигрыш в защитных отношениях, достигаемый при точном СНЧ по сравнению с обычным СНЧ, позволяет значительно сократить расстояния между мешающими

передатчиками, а в уже сложившейся передающей сети существенно снизить взаимные помехи, что способствует дальнейшему повышению качества телевизионного приема. Мешающее действие помех может быть также уменьшено применением различной поляризации радиоволн, излучаемых РТПС, работающими в совмещенном радиоканале. Практически в этом случае защитное отношение может быть снижено на 10 дБ.

В сети с равномерным распределением каналов для удовлетворительного качества приема в первом случае требуемое защитное отношение равно 25 дБ, во втором - 44 дБ (почти в 10 раз больше). Телевизоры с разными значениями частот промежуточных несущих создают зеркальные помехи также в разных каналах. Поэтому увеличивается число запрещаемых при планировании сочетаний частотных каналов.

Особенностями внедрения в эксплуатацию цифровых систем наземного телевизионного вещания являются, во-первых, способность передачи в каждом регионе в 4-6 раз большего числа сигналов разных телевизионных программ при том же числе задействованных радиоканалов по сравнению с аналоговым вещанием, а, во-вторых, более низкие (примерно в пять раз) мощности передачи.

Важнейшее достоинство метода модуляции COFDM, используемого в системе цифрового наземного телевизионного вещания DVB-T, заключается в возможности создания одночастотных сетей (SFN - Single Frequency Network). В этом случае трансляция телевизионных программ на большую территорию идет параллельно через ряд передатчиков, работающих на одной и той же частоте. В таких сетях телевизионный приемник получает сигналы сразу от нескольких передатчиков, приходящие с различной задержкой во времени. Если эти сигналы приходят от близко расположенных передатчиков, то они просто складываются, обеспечивая возрастание итогового уровня полезного сигнала в телевизоре. Сигналы же от более удаленных передатчиков фактически не учитываются декодером приемника за счет наличия запретного интервала и не влияют на прием.

Длительность запретного интервала должна удовлетворять условию  $TG X (d/Vc)$ , где - расстояние между соседними телевизионными передатчиками;  $Vc$  - скорость распространения электромагнитных колебаний. На практике режим 2 к пригоден для телевизионного вещания одиночным передатчиком и для построения малых одночастотных сетей с ограниченным расстоянием между передатчиками. Режим 8/c применяется в тех случаях, когда необходимо построение больших одночастотных сетей. Для примера в табл. 1.1 приведены возможные значения максимального разноса между передатчиками в одночастотной сети в зависимости от длительности защитного интервала [18].

Таблица 1.1. Основные параметры одночастотных сетей цифрового телевизионного вещания

Параметр	Значение параметра	
	8 к	2к
Длительность защитного интервала $T_e$ , мкс	224; 112; 56; 28	56; 28; 14; 7
Максимальный разнос между телевизионными передатчиками в одночастотной сети, км	67,2; 33,6; 16,8; 8,4	16,8; 8,4; 4,2; 2,1

## 1.1. Передача телевизионных сигналов по спутниковым линиям связи

### 1.1.1. Принципы спутникового вещания

Впервые идею об использовании искусственных спутников Земли (ИСЗ), находящихся на геостационарной орбите, для телекоммуникационных целей и вещания высказал

известный американский писатель-фантаст Артур Кларк в 1945 г. Появление в шестидесятых годах двадцатого века первых ИСЗ дало техническую основу для очень эффективного решения проблемы создания больших и даже глобальных систем связи и вещания. Первый отечественный спутник связи «Молния» был выведен на высокоэллиптическую орбиту в апреле 1965 г. Спутниковое телевизионное вещание (СТВ) является сегодня одним из самых экономичных и надежных способов передачи телевизионных сигналов высокого качества в любую точку обширной территории нашей страны. К преимуществам СТВ относятся: возможность приема сигнала практически неограниченным числом приемных установок, высокая надежность ИСЗ связного типа, независимость затрат на приемную установку от расстояния между источником телевизионного сигнала и абонентом (в пределах зоны обслуживания), незначительное влияние атмосферы и географических особенностей местности на устойчивость приема. Эти преимущества обусловили развитие во многих странах мира работ по созданию СТВ. Некоторые системы рассчитаны на прием телевизионных сигналов непосредственно на простые индивидуальные или коллективные приемные установки с малой антенной и согласно классификации Регламента радиосвязи относятся к радиовещательной спутниковой службе (РСС). Это так называемые спутники непосредственного телевизионного вещания.

В то же время многими странами широко используются системы подачи и распределения телевизионных программ через ИСЗ малой и средней мощности, относящиеся к фиксированной спутниковой службе (ФСС или FSS). Первоначально эти системы обеспечивали прием телевизионных сигналов на головные станции кабельных сетей или эфирные ретрансляторы для последующего распределения абонентам. В последние годы благодаря техническому прогрессу стал возможен прием сигналов со спутников ФСС на сравнительно недорогую приемную антенну типа VSAT (Very Small Aperture Terminal), вполне доступную корпоративным пользователям. Аббревиатура VSAT переводится как терминал с антенной очень малого размера. Корпоративные сети VSAT объединяют географически удаленных пользователей в единую шифрованную двустороннюю сеть связи. Важной характеристикой спутниковых телекоммуникационных систем является количество стволов спутникового ретранслятора. Стволом спутниковой связи называется приемопередающий тракт, в котором радиосигналы проходят через общие усилительные элементы (общий передатчик) в некоторой выделенной стволу общей полосе частот. Весь диапазон частот, в котором работают спутники связи, принято делить на некоторые полосы частот шириной

36, 72...120 МГц, в которых усиление радиосигналов осуществляется отдельным трактом-стволом. Вместо термина «ствол» часто применяется английское название - «транспондер». Число стволов, одновременно действующих на современных связных ИСЗ, может составлять от 6 до 12, достигая нескольких десятков на наиболее мощных ИСЗ. Радиосигналы этих стволов разделяются по частоте, пространству, поляризации. Числом стволов, их полосой пропускания определяется в основном важнейший параметр связных ИСЗ - их пропускная способность, т.е. число телефонных и телевизионных каналов, либо в более общем виде - число двоичных единиц в секунду, которое можно передавать через данный связной ИСЗ.

В целом для систем спутникового телевизионного вещания выделены полосы частот, представленные в табл. 1.2. Два последних диапазона Ка и К- почти не используются, и пока считаются экспериментальными. Однако вещание спутниковых телепрограмм в этих диапазонах позволяет значительно уменьшить диаметр приемных антенн.

Сформулированные в Регламенте радиосвязи основные положения, касающиеся систем спутникового НТВ, сводятся к следующему<sup>4</sup>:

в системах НТВ используются ИСЗ-ретрансляторы, расположенные на геостационарной орбите;

для спутниковых радиолиний Земля-ИСЗ и ИСЗ-Земля выделены фиксированные полосы частот, указанные в табл. 1.3. Причем, в первую очередь, рекомендуется использование диапазона частот 10,7... 12,5 ГГц. Это связано с тем, что в этом участке спектра практически мало сказываются метеорологические условия атмосферы на распространение радиоволн. Следовательно, приемо-передающая аппаратура системы НТВ оказывается сравнительно дешевой;

отношение сигнал-шум в системе НТВ не должна быть меньше 14 дБ;

Таблица 1.2. Полосы частот систем спутникового телевизионного вещания

Наименование диапазона	Полоса частот, ГГц
/.-диапазон	1,452...1,55 и 1,61 ...1,71
S-диапазон	1,93...2,7
(^диапазон	3,40...5,25 И 5,725...7,075
X-диапазон	7,25...8,40
Хи-диапазон	10,70... 12,75 И 12,75... 14,80
Ха-диапазон	15,4.. .26,5 И 27,0.. .50,2
X-диапазон	84...86

21\*

Таблица 1.3. Полосы частот в ГГц, выделенные спутниковому телевизионному вещанию ФСС и РСС для Района 1

Фиксированная спутниковая служба		Радиовещательная спутниковая служба	
ИСЗ-Земля	Земля-ИСЗ	ИСЗ-Земля	Земля-ИСЗ
3,4...4,2	5,725...7,075	0,62...0,79	10,7.. .11,7
4,5...4,8	7,9...8,4	2,5...2,69	14,0...14,8
7,25... 7,75	12,5...13,25	11,7...12,5	17,3...18,1
. 10,7.. И 1,7	14,0...14,8	40,5...42,5	47,0...49,2
12,5...12,75	17,3...17,7	84... 86	*
17,7... 21,2	27...31		
; 37,5...40,5	42,5...43,5		
⊗ ⊗	47,2...50,2		
102...105	50,5...51,4		
149...164	71,0...75,5		
231...241	92...95		
	202...217		
	265...275		

плотность потока мощности в зоне обслуживания не должна превышать -ЮЗ дБ-Вт/м<sup>2</sup> для индивидуального приема и -111 дБ • Вт/м<sup>2</sup>- для коллективного;

для увеличения объема передаваемой информации рекомендуется двукратное использование рабочих частот, что возможно благодаря развязке по поляризации; в качестве интегрального параметра, характеризующего в целом приемное устройство спутниковых телевизионных сигналов, принят коэффициент добротности  $G/T$ , равный отношению коэффициента усиления антенны  $G$  к суммарной шумовой температуре всего приемного устройства  $T$  ( $T = T_{аз} + T_{пр}$ ), где  $T_{аз}$ ,  $T_{пр}$  - соответственно шумовые температуры антенной системы и непосредственно приемного устройства. Для установки индивидуального приема значение добротности выбирается равным

6 дБ/К, а для устройств коллективного приема спутниковых радиосигналов параметр  $G/T = 14 \text{ дБ/}^\circ\text{К}$ .

Одной из особенностей применения ИСЗ является ограниченность энергетического потенциала спутникового ретранслятора, поэтому в спутниковом вещании традиционно используют методы обработки, требующие минимального отношения сигнал-шум на входе демодулятора в обмен, например, на полосу частот сигнала. В аналоговом вещании это был выбор частотной модуляции, а не амплитудной, в цифровом вещании приходится применять мощное каскадное помехоустойчивое кодирование и модуляцию с невысокими кратностями (скорее ФМ-4, т.е. QPSK, чем ФМ-8 и более высокие кратности).

Еще одна специфическая особенность спутникового вещательного ретранслятора - работа в нелинейном режиме вблизи точки насыщения выходного усилительного прибора (лампы бегущей волны или транзисторного усилителя), так как именно в этом режиме удастся получить максимальную выходную мощность и до предела снизить диаметр приемных антенн. Из-за существенной нелинейности работа в точке насыщения возможна только на одной несущей в стволе - это так называемый режим MCPC (Multiple Channels per Carrier - несколько каналов на одной несущей), когда цифровые потоки нескольких телевизионных программ объединяются (мультиплексируются) в общий поток и модулируют единственную несущую частоту, передаваемую с одной передающей станции.

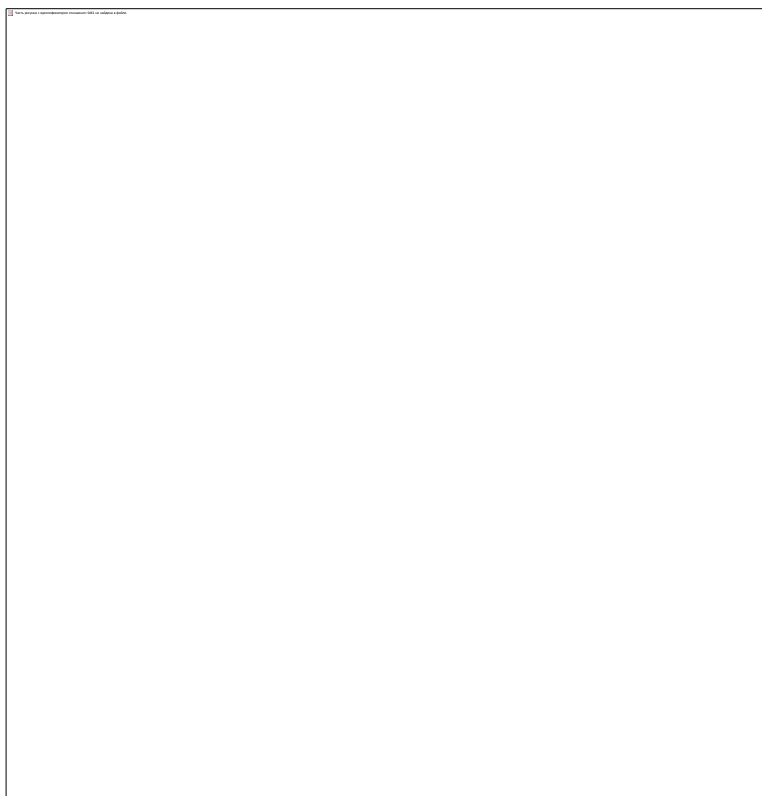
Нелинейный режим заставляет использовать виды модуляции с постоянной огибающей - смещенную ФМ и другие разновидности фазовой модуляции. Альтернативный вариант - SCPC (Single Channel per Carrier - один канал на одной несущей) требует перехода в линейный (точнее, квазилинейный) режим со снижением выходной мощности на .4 дБ и неэффективен в спутниковом вещании. Он применяется в спутниковых распределительных сетях, когда в одном стволе нужно передать на сеть профессиональных приемных станций несколько телевизионных программ, источники которых территориально разнесены и не могут собрать сигналы в одной точке, а потому вынуждены строить свои собственные передающие станции. Вторым случаем использования режима SCPC в спутниковом телевидении - передача телевизионного репортажа с небольшой перевозимой передающей станции. Ее энергетических возможностей обычно недостаточно для вывода ретранслятора в точку насыщения, и передача часто происходит далеко от насыщения, в линейном режиме. Этот вид передачи называется DSNG (Digital Satellite News Gathering - цифровая спутниковая видеожурналистика).

1.2. Особенности построения приемопередающих устройств системы непосредственного телевизионного вещания

Функциональная схема цифровой спутниковой системы НТВ.

Радиотелевизионный передающий центр системы НТВ состоит из следующих функциональных устройств: кодеров аудио- и видеоданных; мультиплексора, модулятора, радиопередатчика и передающей спутниковой антенны параболического типа. Назначение кодеров заключается в формировании транспортных потоков стандарта MPEG-2 и в их помехоустойчивом кодировании. Далее с помощью мультиплексора формируется

результатирующий транспортный поток данных, который непосредственно подается на вход QPSK-модулятора. Генерируемый с помощью радиопередатчика радиосигнал,



несущий информацию об аудио- и видеоданных телевизионных программ, с помощью параболической антенны диаметром в несколько метров (практически до 10 м) излучается в направлении связного ИСЗ.

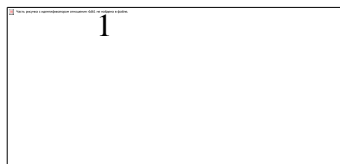
Радиоаппаратура спутникового ретранслятора включает в себя: общую антенну зеркального типа, частотно-разделительное устройство, СВЧ приемник, работающий в диапазоне частот, который отведен ФСС и РСС на участке Земля-ИСЗ и радиопередатчик, генерирующий радиосигнал в диапазоне частот 12 ГГц.

Приемная аппаратура в спутниковой системе НТВ может быть двух типов: абонентские устройства и приемные устройства, обеспечивающие коллективный прием спутниковых телевизионных программ.

1 - ИСЗ; 2 - передающая спутниковая антенна; 3 - радиопередатчик; 4 - QPSK-модулятор; 5 - мультиплексор; 6, 7 - кодеры; 8, 12 - конверторы, сочлененные с поляризаторами; 9, 13 - приемные спутниковые антенны; 10 - абонентский спутниковый приемник; 11 - телевизор; 14 - головная станция; 15 - разветвитель на несколько направлений; 16,18 - магистральные усилители; 17,19 - магистральные ответвители; 20,21- домовая распределительная сеть

В состав аппаратуры непосредственного приема спутниковых телевизионных сигналов индивидуального типа входят: антенная система\* представляющая собой в большинстве случаев параболическое зеркало с облучателем, устройство дистанционного управления антенной, поляризатор, обеспечивающий выделение радиосигналов с выбранным направлением круговой или линейной поляризации, преобразователь спутниковых радиосигналов (конвертер), спутниковый абонентский приемник, типовой телевизор.





Неотъемлемой частью приемной аппаратуры спутниковых сигналов является позиционер, т.е. устройство дистанционного управления антенной системой. С помощью позиционера абонент имеет возможность перестраивать антенну на различные ИСЗ, находящиеся в разных позициях геостационарной орбиты. Иногда устройство дистанционного управления выполняется программируемым, что дает возможность перестраивать антенну по заранее составленному расписанию.

Наружный блок, выполняющий роль конвертера, укрепляется непосредственно у облучателя параболической антенны. В этом случае принимаемый антенной радиосигнал по отрезку волновода проходит через поляризатор на вход конвертера. В конвертере принятые радиосигналы после преобразования частоты переносятся в диапазон частот промежуточной частоты, усиливаются и передаются по коаксиальному кабелю на вход спутникового приемника.

Выбор промежуточной частоты должен удовлетворять нескольким требованиям [43]: промежуточная частота должна быть достаточно высокой, чтобы обеспечить одновременное пропускание всех радиосигналов спутникового телевизионного вещания; чем выше промежуточная частота, тем легче отфильтровать помехи зеркального канала и подавить обратное излучение гетеродина конвертера; промежуточная частота не должна быть слишком высокой, в противном случае заметно возрастет стоимость конвертера и коаксиального кабеля снижения; в полосу частот, выбранную для промежуточной частоты, и в соответствующую полосу частот зеркального канала не должны попадать частоты мощных наземных вещательных и других радиопередатчиков. С учетом всех перечисленных факторов для промежуточной частоты рекомендована полоса частот 0,95...2,15 ГГц, расположенная выше диапазонов частот наземного телевизионного вещания.

Напряжение питания на конвертер подается по центральному проводнику соединительного коаксиального кабеля со спутникового приемника.

В случае создания приемных спутниковых систем коллективного пользования, рассчитанных на обслуживание достаточно большого количества абонентов (сотни, тысячи абонентов), распределительная сеть имеет структуру типовых систем кабельного телевидения (см. рис. 9.7). В состав головной станции, представляющей собой центральное оборудование распределительной сети, которое осуществляет формирование вещательных телевизионных сигналов для абонентов, дополнительно вводятся QPSK-демодулятор и декодер формата MPEG-2, одновременно производящий помехоустойчивое декодирование. С помощью разветвителя на несколько направлений от головной станции отходят несколько магистральных линий, состоящих из однотипных кабельных участков, магистральных усилителей и ответвителей. К магистральным линиям подключаются домовые распределительные сети, содержащие домовые усилители, пассивные направленные абонентские разветвители, с помощью которых осуществляется присоединение типовых телевизоров.

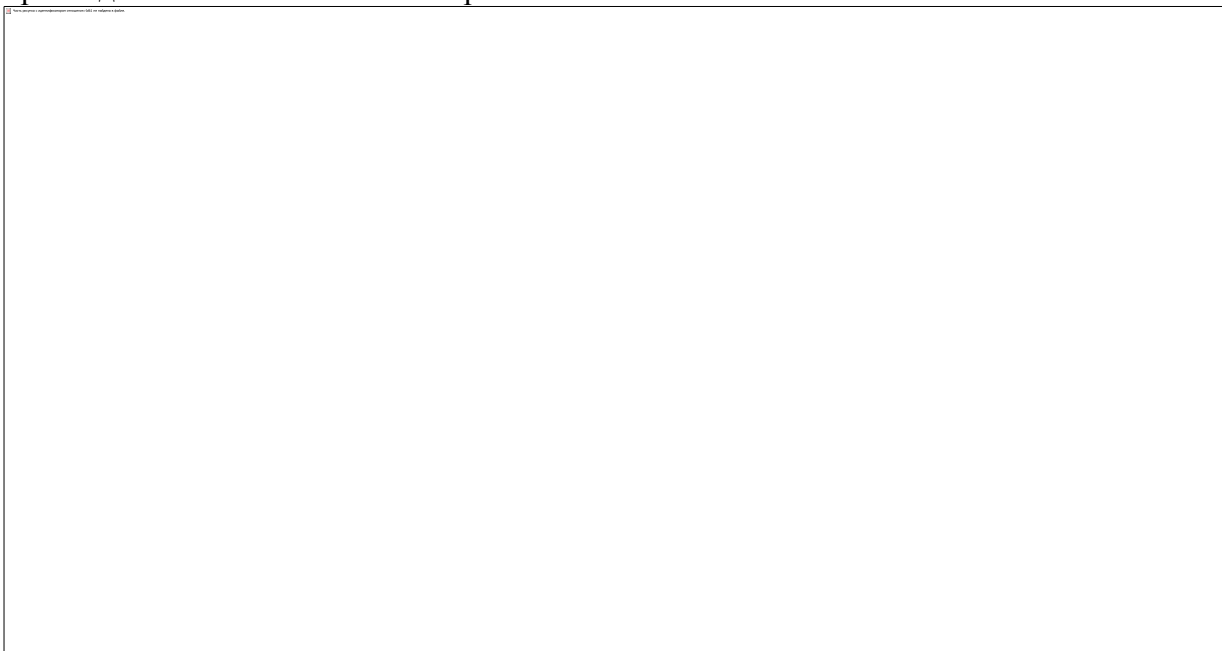


Рис.2 .1. Обобщенная структурная схема цифрового спутникового приемника

Рассмотрим базовую структурную схему спутникового цифрового приемника, представленную на рис. 2.1. После того, как выделенный с выхода конвертера сигнал проходит цепи демодуляции, он преобразуется в информационный поток в виде цифровых пакетов и поступает в устройство исправления ошибок. В демультимплексоре производится разделение информационного потока на два канала: аудио и видео. Декодер поддерживает самые различные форматы и имеет большое количество выходов: цифровое видео, аналоговое видео, цифровое аудио (звук), аналоговое аудио (звук), RGB-выход и др.

Конечной целью специалистов различных фирм, совместно разрабатывающих аппаратуру спутникового телевизионного вещания, является создание модульной архитектуры спутникового цифрового абонентского приемника. В этом случае конструкция спутникового приемника состоит из универсальных чипов, которые по своим функциональным возможностям могут использоваться как в аппаратуре локальных многоточечных систем распределения (MMDS-системы), так и в приемных устройствах цифровых кабельных сетей. Особенность модульного подхода заключается в оптимальном разделении субблоков и организации связи между ними при помощи универсального гибкого интерфейса и программного обеспечения.

Организация условного доступа в спутниковых цифровых приемниках. В настоящее время в системах НТВ для защиты транслируемых коммерческих (платных) телевизионных программ от несанкционированного доступа используются различные способы цифрового скремблирования (кодирования). Скремблирование предполагает искажение вещательного телевизионного сигнала таким образом, что исключается возможность его приема в стандартном телевизоре.

Очевидно, что современный цифровой спутниковый приемник должен работать с любой системой скремблирования. Эта проблема решается несколькими способами. Один из них - создание универсального модуля условного доступа, в котором система скремблирования задается программным путем. Другой способ - реализация проекта создания общей системы скремблирования, при использовании которой расшифровка программ от разных источников может быть индивидуализирована за счет разных условий доступа. Выполнение этих условий проверяется специальной карточкой условного доступа (smart card).

Smart cards («умные карты») - это пластиковые карточки с встроенными электронными устройствами, используемые как средства идентификации, контроля доступа и оплаты. На сегодняшний день их можно условно разделить на два вида [41 ]:

неинтеллектуальные карты, не осуществляющие обработку информации. Сюда входят различные карты памяти и идентификационных меток. Наиболее наглядным примером таких устройств являются телефонные карты. Основным недостатком подобных карт является сравнительно низкая степень защиты;

интеллектуальные карты, содержащие микропроцессоры, обрабатывающие информацию. Такие карты имеют значительно более высокую степень защиты.

По конструкции smart cards могут быть контактными или бесконтактными. В системах НТВ чаще всего используются контактные карты из-за их более низкой стоимости.

Конструктивные особенности контактной, т.е. вставляемой, smart card, изготовленной в соответствии со стандартом Международной организации по стандартизации ISO-7816, поясняются рис.2.1. Перенос криптопроцессора в smart card означает, что при любом несанкционированном взломе системы условного доступа ее восстановление осуществляется только заменой всех smart cards, находящихся у абонентов.

Использование общего алгоритма скремблирования в системах НТВ - это вопрос будущего, а сейчас для приема цифровых пакетов от разных источников телевизионных программ, как правило, требуются разные модули условного доступа. Более того, современные стандарты спутникового телевизионного вещания предусматривают возможность существования цифровых пакетов, в которых разные телевизионные программы (от разных источников) скремблированы различными способами. Такой тип скремблирования называется Multicrypt.



ППЗУ - перепрограммируемое запоминающее устройство Рис. 2.2. Конструкция вставляемой интеллектуальной smart card

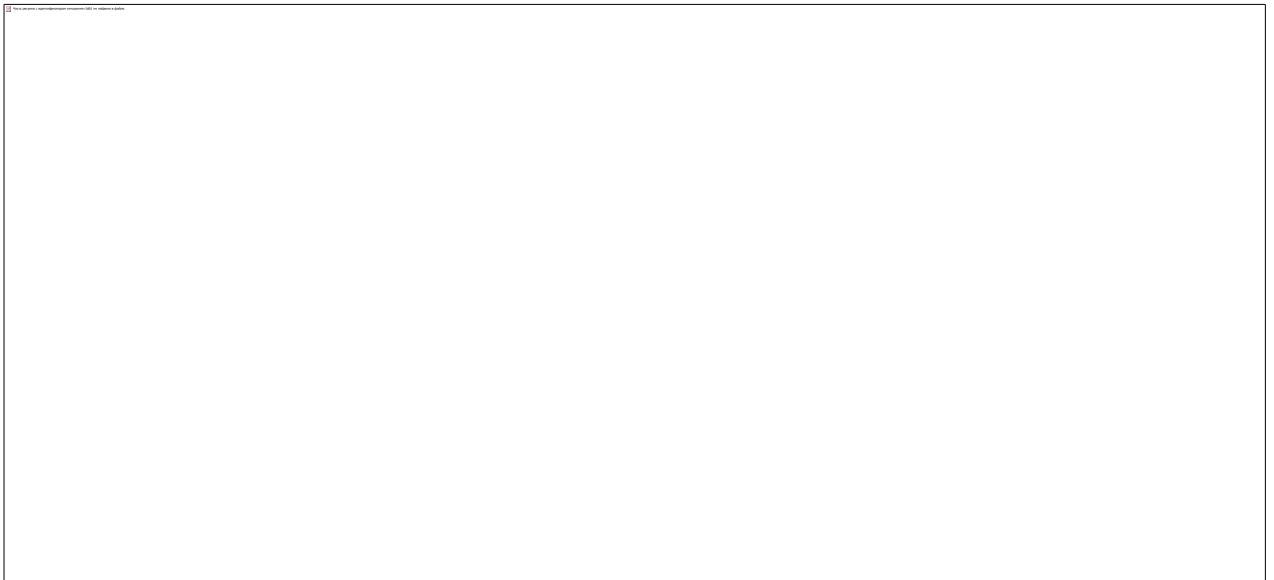


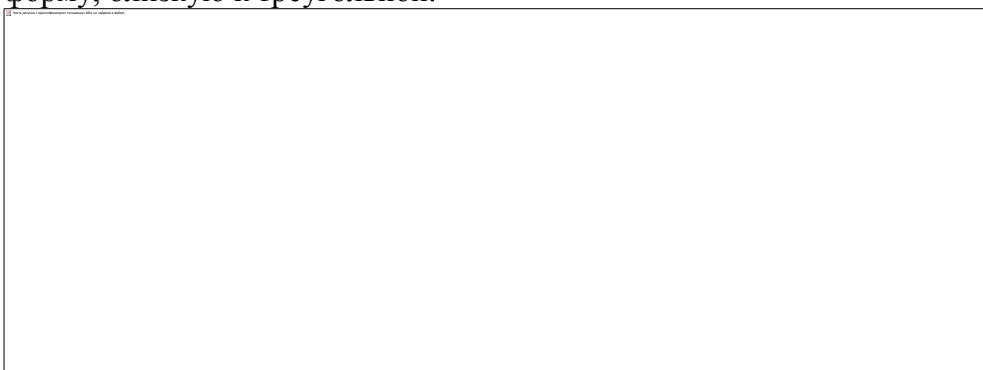
Рис. 2.3. Схема организации условного доступа с общим интерфейсом

С этой точки зрения более перспективным кажется использование общего интерфейса, посредством которого к базовому декодеру может подсоединяться один или несколько модулей условного доступа (несколько smart cards с различными системами декодирования) (рис. 2.3). В этом случае демодулированный поток данных последовательно проходит все модули условного доступа. Каждый модуль расшифровывает те элементарные потоки в цифровых пакетах, в которых используется соответствующая система скремблирования.

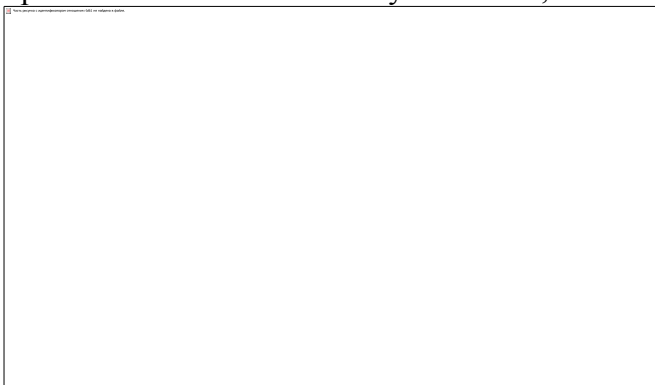
#### 1.2.1. Особенности передачи аналоговых телевизионных сигналов по радиорелейным линиям

Передача цифровых телевизионных сигналов по цифровым радиорелейным линиям (РРЛ), которые фактически являются мульти-сервисными, не отличается от способов передачи других цифровых сигналов, например, данных. Однако в настоящее время для передачи на большие расстояния телевизионных сигналов достаточно широко еще используются аналоговые РРЛ. В этом случае телевизионный сигнал из аппаратной телецентра (с выхода линейного усилителя) по кабелю или по вспомогательной РРЛ подается на модулятор передатчика оконечной радиорелейной станции (ОРС). Модулированный радиосигнал через цепочку ПРС ретранслируется к приемной ОРС, где телевизионный сигнал выделяется детектором, усиливается видеоусилителем и подается на РТПС. Основное усиление ретранслируемого сигнала на станциях РРЛ осуществляется на промежуточной частоте 70 или 140 МГц.

На РРЛ используется ЧМ суммарного сигнала. Спектр шума в канале связи с ЧМ имеет форму, близкую к треугольной.



При этом в диапазоне частот сигналов цветности шумы достигают своего наибольшего значения и их мешающее действие на сигналы, несущие информацию о цветности, сильно возрастает. Поэтому для уменьшения влияния шумов на качество цветного изображения необходимо на передающем конце РРЛ связи увеличить размах сигналов цветности, а на приемном - соответственно уменьшить, чтобы не ухудшать условия совместимости.



К, дБ

Рис. 2.4. АЧХ предкорректирующей (1) и восстанавливающей (2) цепей видеотракта РРЛ

Естественно, что полный размах сигналов яркости и цветности при этих операциях должен оставаться неизменным. На практике телевизионный сигнал, поступающий на частотный модулятор, предварительно подвергается частотным предискажениям - размах низкочастотных составляющих телевизионного сигнала уменьшается, а высокочастотных - увеличивается. Необходимая форма АЧХ предкорректирующей и восстанавливающей цепей видеотракта представлена на рис. 2.4. Причем кривые предискажения и восстановления проходят через нуль на частоте 1,5 МГц. Так как амплитуда высокочастотных составляющих телевизионного сигнала обычно мала, то они на передающей стороне усиливаются (уравниваются с низкочастотными составляющими) на 14,5 дБ. При этом увеличивается общий размах телевизионного сигнала. Чтобы размахи телевизионных сигналов до коррекции и после нее были одинаковы, общее усиление уменьшается на 11,5 дБ. В результате коррекции амплитуды высокочастотных составляющих сигнала увеличиваются на 3 дБ, а низкочастотных - уменьшаются на 11,5 дБ. На приемном конце восстанавливается исходная форма телевизионного сигнала. Таким образом, на высоких частотах имеет место небольшое увеличение помехоустойчивости по отношению к флуктуационным шумам. Меньший размах передаваемых низкочастотных составляющих значительно снижает линейные и нелинейные искажения группового сигнала и позволяет обойтись без схемы ВПС на входе частотного модулятора. Примерно на 15...20 % уменьшаются переходные помехи от телевизионного сигнала в канале звукового сопровождения и звукового вещания. Необходимый подъем АЧХ на высоких частотах можно осуществлять как пассивными корректирующими цепями, так и с помощью видеоусилителей с частотно-зависимой обратной связью.

Структурная схема передающей аппаратуры телевизионного ствола РРЛ представлена на рис. 2.5. На передающей стороне телевизионный сигнал с соединительной линии подается на ФНЧ 1 с граничной частотой 6 МГц. Затем телевизионный сигнал поступает на блок 2, в котором осуществляется коррекция группового времени запаздывания телевизионного сигнала и предискажения АЧХ с целью уменьшения уровня низкочастотных составляющих спектра, и на сумматор 3. Сигналы звукового сопровождения и звукового вещания 1/зв, уровень которых после соединительных линий устанавливается входными

регуляторами 9, 17, поступают на частотные модуляторы поднесущих  $f_{01}$ ,  $f_{02}$  10, 18. Затем после ограничителей 11, 19 и ФНЧ 12, 20 поднесущие, модулированные по частоте сигналами  $U_{ac}$ ,  $U_{3B}$ , подаются на сумматор 3. Сюда же поступает напряжение пилот-сигнала  $U_{пс}$ , формируемое гетеродином 13. После сумматора 3 групповой сигнал усиливается усилителем 4 и поступает на групповой модулятор, осуществляющий ЧМ промежуточной частоты  $f_{пр} = 70$  МГц. При этом девиация частоты телевизионным сигналом должна быть не более  $\pm 4$  МГц. Для обеспечения высокой линейности модуляционной характеристики ЧМ генератора (ЧМГ) в области частот  $70 \pm 4$  МГц последний строится по схеме вычитания частот  $f_{r1}$  и  $f_a$  двух ЧМГ 7 и 21, работающих на частотах  $f_{01}$  и  $f_{02}$  в диапазоне 300...400 МГц. В этом случае каждый из гетеродинов модулируется путем изменения емкости варикапов 6, 14. Модулирующий сигнал  $L(f)$  через развязывающее устройство 5 подается на варикапы в противофазе, поэтому частоты генераторов определяются следующими соотношениями:

$$f_{r1} = f_{01} + \Delta f(t) = f_{01} + kmU(t); f_{r2} = f_{02} - kmU(t),$$

где  $\Delta f(t)$  - девиация частоты;  $km$  - постоянный коэффициент. Корректирующие цепи 8, 22 повышают линейность модуляционных характеристик ЧМГ.

Демодуляция группового сигнала телевизионного канала производится в устройстве, структурная схема которого представлена на рис. 9.17. Демодулятор содержит усилитель промежуточной частоты 1 с полосой пропускания ДЧМ=27 МГц, усилитель-ограничитель 2, групповой частотный детектор 3, ФНЧ 4, усилитель-корректор телевидения.

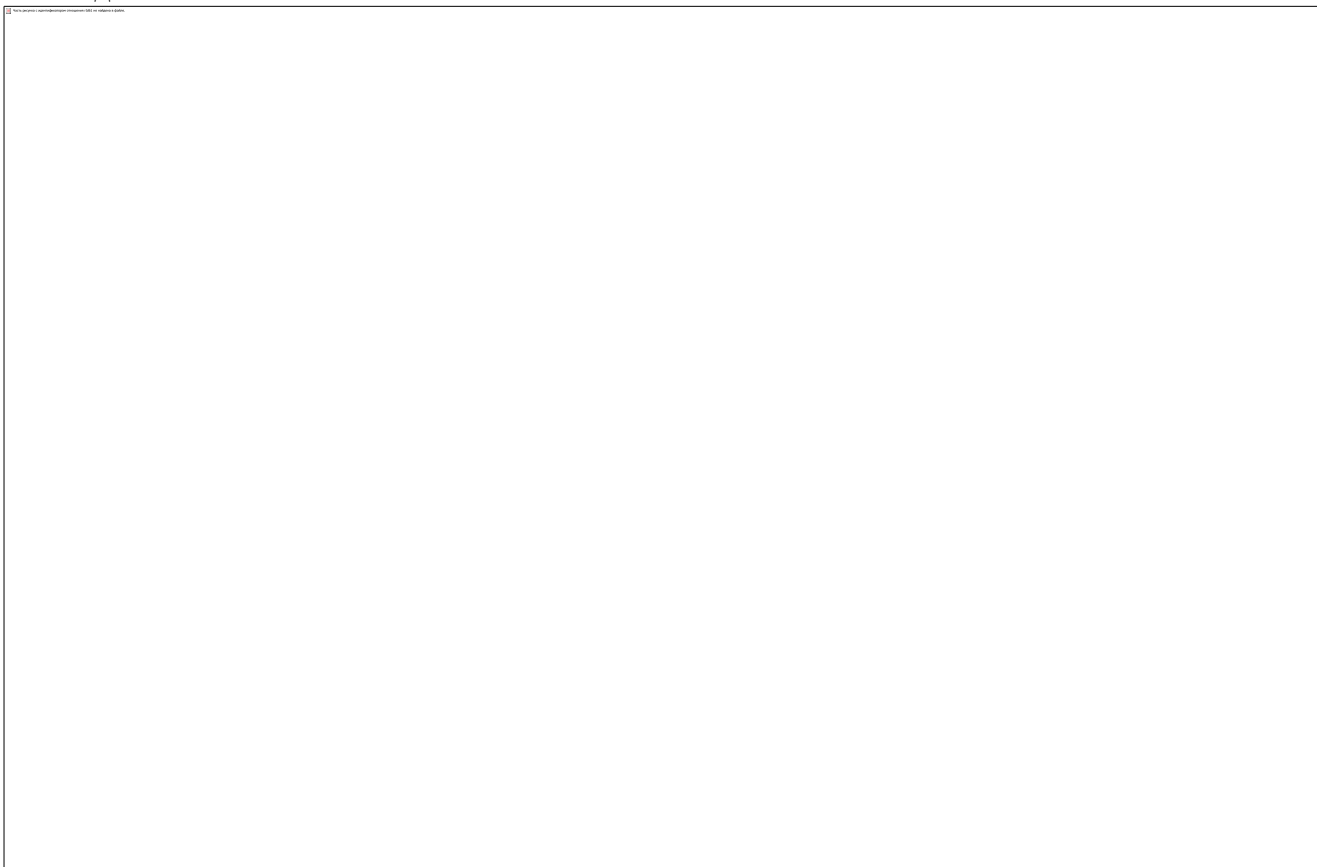


Рис.2.5. Структурная схема передающей аппаратуры ТВ ствола РРЛ

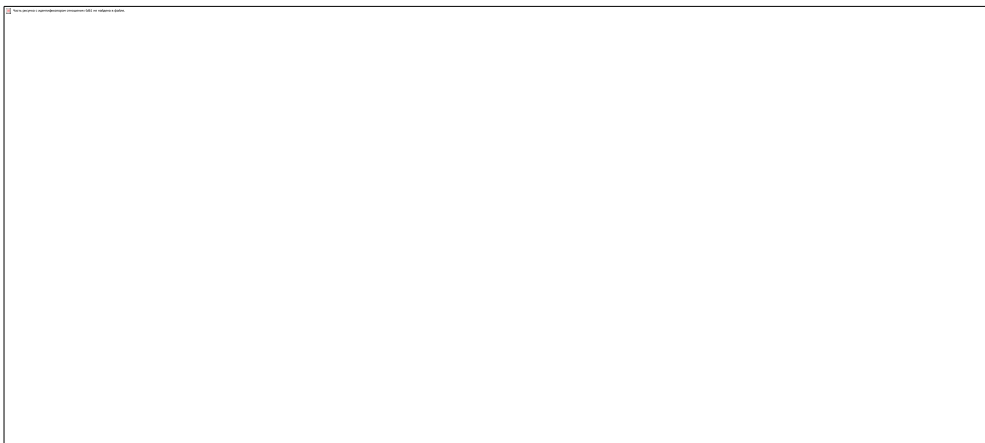


Рис. 2.6. Структурная схема демодулятора группового сигнала знойного сигнала 5, полосовые разделительные фильтры 6, 7, усилитель-ограничитель 8 и частотный детектор сигнала звукового сопровождения 9.

#### Принципы построения систем кабельного телевидения

Системами кабельного телевидения (СКТВ) называются системы приема и распределения значительного числа сигналов высококачественных телевизионных программ большому числу абонентов по кабельным линиям связи. В районах с низкой напряженностью электромагнитного поля, в условиях многолучевого распространения радиоволн (в больших городах с многоэтажными зданиями, горных, холмистых районах) использование СКТВ оказывается единственно возможным техническим решением, позволяющим обеспечить высококачественный прием цветных телевизионных программ.

Известны три основных структуры построения СКТВ: древовидная, радиальная, кольцевая. Древовидная схема распределительной сети СКТВ, обеспечивающая экономное расходование кабеля, по своей структуре напоминает крону дерева. При радиальном построении распределительной сети СКТВ от головной станции (ГС) к каждому абоненту прокладывается специальный кабель, по которому организуется передача телевизионных сигналов нескольких программ (схема подключения «основная звезда»). По конфигурации распределительная сеть СКТВ радиального типа аналогична телефонной сети, поэтому появляется возможность их объединения. Это упростит построение и удешевит эксплуатацию таких СКТВ, а в будущем позволит организовать единую универсальную сеть двусторонней широкополосной связи с абонентами. Для организации двустороннего обмена между абонентами может применяться система с кольцевой схемой распределения телевизионных сигналов. В этом случае магистральный кабель прокладывается по кольцевой трассе, т.е. вход и выход кабеля заводятся на ГС. При этом один и тот же магистральный кабель может использоваться для организации двусторонней связи. Основным недостатком СКТВ кольцевого типа заключается в невозможности одновременной передачи по магистральному кабелю достаточно большого количества различных телевизионных сигналов.

Конкретное техническое решение СКТВ во многом определяется типом используемых кабельных линий связи. В распределительных сетях современных СКТВ в основном применяются коаксиальные кабели. Однако в разрабатываемых СКТВ планируется широкое использование оптических кабелей, т.е. волоконно-оптических линий связи. Предполагается создание как комбинированных, так и полностью волоконно-оптических СКТВ. В комбинированных СКТВ в качестве магистральных кабелей используются ВОЛС, а домовая распределительная сеть выполняется на коаксиальном кабеле. В действующих СКТВ в основном применяется аналоговый способ передачи телевизионных сигналов, так как при длине распределительной сети в пределах нескольких десятков километров обеспечивается достаточная помехоустойчивость систем благодаря высокой помехозащищенности как коаксиального кабеля, так и ВОЛС. Однако

во вновь создаваемых СКТВ все чаще используется цифровой способ передачи как телевизионных, так и других сигналов.

### 1.3. Системы кабельного телевидения

#### 1. 3.1. Способы построения систем кабельного телевидения на коаксиальном кабеле



Особенности функциональной схемы СКТВ на коаксиальном кабеле. Большинство

действующих СКТВ имеет, как правило, древовидную схему распределительной сети. Для

примера функциональная схема кабельной интерактивной телевизионной системы

мультимедийного типа с древовидной распределительной сетью приведена на рис. 3.1. В

состав головной станции 1, представляющей собой центральное оборудование системы,

входят аппаратура формирования вещательных телевизионных сигналов 2, аппаратура

формирования сигналов мультимедиа 3, аппаратура цифрового сжатия и

мультиплексирования передаваемых сигналов 4, процессор сигналов телевидения и



мультимедиа 5. На устройство 2 непосредственно поступают совокупность сигналов

программ спутникового телевидения, сигналы программ эфирного телевидения, а также

сигналы от локальных телевизионных студий, обслуживающих местные СКТВ. На

устройство 3 поступают информация из банка данных компьютерной сети, информация из

специализированной библиотеки, содержащей большое количество дисков типа CD-ROM

и видеокомпакт-дисков, сигналы с факс-модемов телефонной и сотовой сети, сигналы

специальных видеопрограмм для дистанционного образования, сигналы звуковых

программ. На ГС осуществляется формирование непосредственно передаваемых для



абонентов сигналов телевидения и мультимедиа. С помощью разветвителя на несколько

направлений 6 от ГС отходят несколько магистральных линий 7, состоящих из одно-

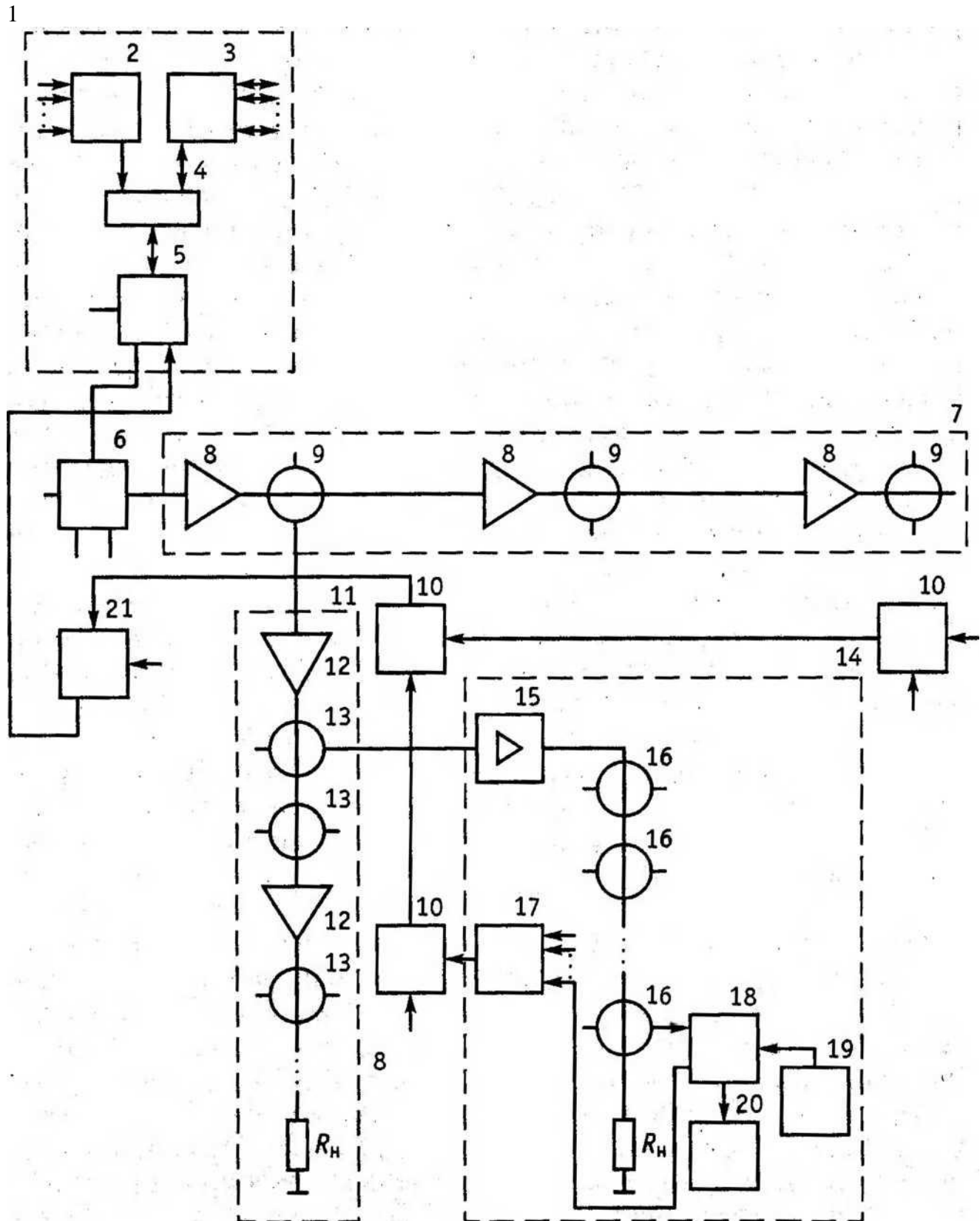


Рис. 3.1. Функциональная схема СКТВ мультимедийного типа с древовидной распределительной сетью и обратными каналами типичных кабельных участков, магистральных усилителей 8, магистральных ответвителей 9. От магистральных линий отходят субмагистральные линии 11, содержащие однотипные кабельные участки, субмагистральные усилители 12, направленные ответвители 13. Наконец, от субмагистральных линий ответвляются кабели домовой радиорелейной сети (ДРС) 14, содержащей домовые усилители 15 и пассивные направленные абонентские разветвители 16, с помощью которых осуществляется подключение абонентских терминалов, содержащих процессор мультимедиа 18, интерактивный пульт управления 19, абонентский телевизор 20. Нагрузочные резисторы  $R_H$  обеспечивают согласование отрезков коаксиального кабеля. Ввод «обратных» сигналов от абонентов в коаксиальный

кабель осуществляется с помощью абонентского устройства управления 17, выполняющего роль мультиплексора ДРС. Кроме того, в местах подключения ДРС к субмагистральному кабелю, а также субмагистрального кабеля к магистральному дополнительно устанавливаются мультиплексоры 10. Следует заметить, что совокупность мультиплексоров обеспечивает схему множественного доступа с временным разделением для «обратных» сигналов абонентов. В данном случае в ГС для приема «обратных» сигналов имеется специальное приемное устройство 21, обеспечивающее обработку информации от абонентов, поступающей по магистральным линиям распределительной системы. Для передачи «обратных» сигналов можно применять квадратурную амплитудную модуляцию типа 64-QAM, позволяющую достичь эффективности использования спектра частот порядка 4,5 (бит/с)/Гц. При этом максимальная суммарная скорость передачи обратной информации от всех абонентов СКТВ может составлять 180 Мбит/с [46], однако для передачи широкополосных сигналов пропускная способность «обратных» каналов является недостаточной.

Частотный план сетей кабельного телевидения. Частотный план кабельных телевизионных сетей нормируется в ГОСТ 28324- 89 [47]. В целом, прямой канал СКТВ находится в диапазоне частот

.862 МГц, по нему передается входящий трафик в направлении к абонентам. Причем полоса пропускания прямого канала делится на две части:

полоса частот для вещательного телевидения (47...606 МГц), в которой услуги, не требующие непосредственной обратной связи с абонентом, предоставляются всем без исключения абонентам;

полоса частот для интерактивных услуг (606...862 МГц) предназначена для телекоммуникационных интерактивных услуг, требующих обратной связи с абонентом.

Обратный канал древовидных СКТВ лежит в области 5...40 МГц, а по нему передается исходящий трафик от абонентов. Без организации обратного канала об интерактивном кабельном телевидении не может быть и речи, поскольку именно по нему абоненты могут обращаться к головной станции и через головную станцию друг к другу.

В действующих СКТВ максимально возможное число организуемых телевизионных радиоканалов соответствует 20 при полосе пропускания распределительной сети от 40 до 230 МГц, 28 - при полосе частот 40...294 МГц

#### 1.4.Сети цифрового интерактивного кабельного телевидения

Особенности передачи цифровых сигналов по сетям кабельного телевидения. Волоконно-оптическая технология позволяет создавать интерактивные широкополосные сети, пригодные для подачи и распределения информации в полностью цифровом виде. В правильно спроектированной кабельной сети отношение сигнал- шум должно быть достаточно высоким, выше, чем в спутниковой системе (по стандарту оно должно быть не ниже 43 дБ). При этом полоса частот каналов кабельной сети значительно уже (8 МГц), чем полоса частот ствола спутникового ретранслятора, поэтому целесообразно применение многопозиционной модуляции, например, QAM. Более высокое отношение сигнал-шум снижает вероятность ошибок и позволяет обойтись одной ступенью помехоустойчивого кодирования. Однако пакетные ошибки не исключены, поэтому перемежение остается составной частью процесса канального кодирования.

Анализ помех и искажений, типичных для линейного тракта, показал, что цифровые сигналы менее чувствительны к интермодуляционным искажениям, чем аналоговые, благодаря значительно меньшему требуемому защитному отношению «цифровой сигнал - цифровая помеха» в совпадающем и соседних каналах и более гладкому спектру. В то же время цифровые QAM-сигналы более чувствительны к амплитудным и особенно фазовым искажениям в тракте, поэтому вопросы согласования, коррекции характеристик остаются достаточно острыми.

Структурная схема кодера стандарта DVB-C, используемого в цифровых кабельных сетях, показана на рис. 4.1.[18]. Источником- входного сигнала, как и в других кодерах семейства DVB, служит транспортный поток MPEG-2 с пакетами размером 188 байтов. В скремблере пакеты организуются в группы по 8, синхробайт каждого первого пакета из группы инвертируется и служит в дальнейшем для цикловой синхронизации. Скремблирование, как и в стандарте DVB-S, осуществляется сложением по модулю 2 с псевдослучайной последовательностью (ПСП), порождаемой многочленом  $d(x) = x^{15} + x^{14} + 1$ . На период следования каждого синхробайта скремблирование прерывается. Учитывая относительно высокое отношение сигнал-шум, внутреннее кодирование, не используется, а в качестве метода модуляции предлагается квадратурная амплитудная модуляция различной кратности, от QAM-16 до QAM-256. Дополнительное повышение помехоустойчивости достигается относительным кодированием двух старших битов каждого байта с выхода перемежителя.

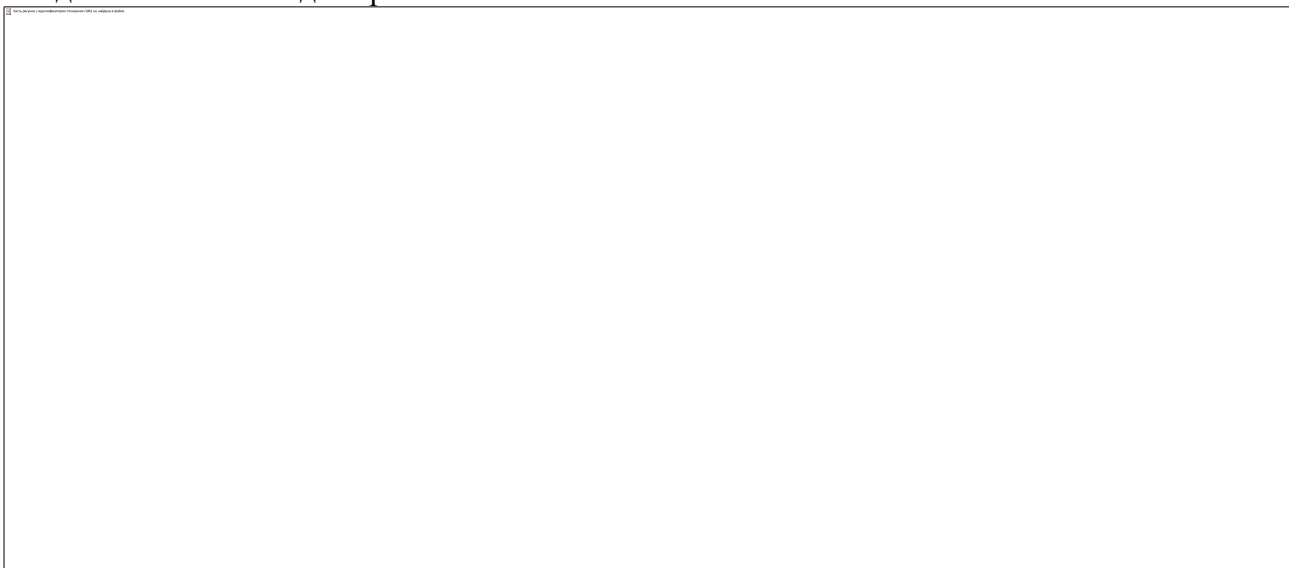


Рис. 4.1. Структурная схема кодера стандарта DVB-C

Функциональная схема цифровой мультисервисной сети кабельного телевидения. Обобщенная схема подобной сети приведена на рис. 4.1. Головная станция осуществляет прием как аналоговых, так и цифровых эфирных телевизионных сигналов, конвертирование в соответствии с частотным планом, преобразование аналоговых сигналов в цифровые стандарта DVB-C и передачу цифровых телевизионных сигналов в распределительную кабельную сеть. В дополнение к этому одна из спутниковых антенн обеспечивает прием цифровых телевизионных программ в стандарте DVB-S. Сигналы цифрового телевизионного вещания формата DVB-S принимаются специальным цифровым модулем телевизионной станции, преобразуются в стандарт DVB-C, суммируются с сигналами эфирных программ и поступают в распределительную кабельную сеть [50].\*•

Для реализации интерактивного режима в состав головной станции входит аппаратура' доступа, содержащая оптоэлектронный преобразователь, станционный кабельный модем (СКМ), кабельный контроллер. Через оптоэлектронный преобразователь, обеспечивающий преобразование электрических сигналов в оптические и обратно, головная станция имеет широкополосный доступ в сеть Интернет (со скоростью до 155 Мбит/с).

Распределительная кабельная сеть с обратным каналом обеспечивает передачу цифровых телевизионных программ и данных по прямому каналу (в диапазоне 47,5...862 МГц) и передачу цифровых сигналов по обратному каналу (в диапазоне 5...30 МГц).

Абонентские места оборудованы аналоговыми телевизионными приемниками с приставками для приема цифровых телевизионных программ в стандарте DVB-C. Чтобы

иметь возможность работать в интерактивном режиме, в состав абонентских мест включен абонентский кабельный модем (АКМ) и персональный компьютер (ПК), оснащенный дополнительными программно-аппаратными средствами в зависимости от вида предоставляемых абоненту информационных услуг.

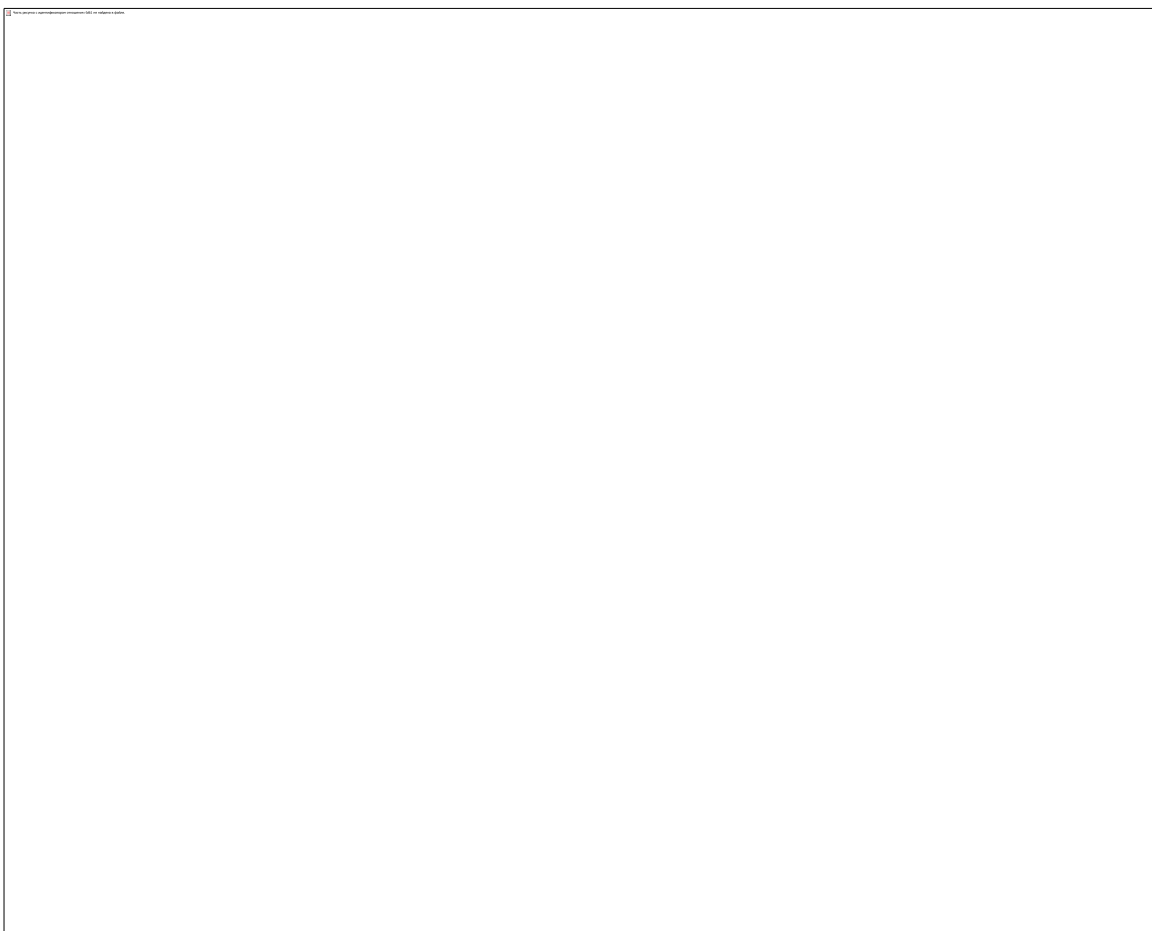


Рис. 4.2. Функциональная схема цифровой мультисервисной сети кабельного телевидения интерактивного типа:

X - сумматор; ЦТВП - цифровая телевизионная приставка DVB-C

#### 1.5. Сотовые системы телевидения

По мнению многих специалистов в области телевидения для организации многопрограммного телевидения считается целесообразной замена традиционного наземного способа передачи телевизионных сигналов, в том числе и цифровых, микроволновой распределительной телевизионной системой с низким уровнем излучения электромагнитных волн. На практике используются различные варианты микроволновых распределительных телевизионных систем, которые соответственно имеют следующие названия: MMDS - Multichannel Microwave Distribution System - многоканальная микроволновая система распределения; LMDS - Local Multipoint Distribution System - локальная многоточечная система распределения; MVDS Multipoint Video Distribution System - многоточечная система распределения телевизионных программ. Часто подобные системы называются сотовыми системами телевидения (системы Cellular Vision) [51]. Следует заметить, что разница в названиях данных систем весьма условна, поскольку рекомендации для них разрабатывались в разных странах, находящихся на различных континентах. Особенно эффективным является использование микроволновых распределительных систем в районах со слабо развитой инфраструктурой линейно-кабельных сооружений и на территориях с малой плотностью жилой застройки.

С внедрением цифровых методов передачи и организацией обратных каналов в системах MMDS, LMDS и MVDS появилась возможность предоставления полного набора телекоммуникационных услуг широкополосного радиодоступа абонентам. Причем архитектура подобных распределительных систем может быть двух типов: «точка - точка», либо представлять собой «звезду», т.е. «точка - много точек». В данном случае в центре «звезды» находится головное (центральное) приемопередающее радио-, модемное и компьютерное (провайдерное) оборудование, способное непосредственно принимать радиосигналы звукового и телевизионного вещания, передаваемые по эфиру или с помощью спутниковых систем связи. По выделенным каналам связи головное оборудование принимает сигналы программ звукового и телевизионного вещания напрямую из радио- и телевизионных студий, соединяется с магистралью Интернета, с телефонной сетью общего пользования, с сетью передачи данных, с компьютерными сетями различных уровней, с сетями сбора данных телеметрии (инженерно-коммунальные службы, УВД, ГИБДД, МЧС, пожарные и охранные службы, органы гражданской обороны и т.д.). Организация обратного канала может обеспечиваться как за счет использования части рабочей полосы частот или при выделении дополнительной полосы частот в радиоканале, так и применения проводных технологий, в частности, телефонных сетей общего пользования и существующих распределительных сетей систем кабельного телевидения.

Основные достоинства радиосистем широкополосного доступа заключаются в следующем:

высокое качество сигналов и практически полное отсутствие «мертвых» зон за счет выбора размеров соты (ячейки) в пределах от 1 до 6 км;

возможность для абонентов выбора большого числа сигналов различных телекоммуникационных служб, в том числе телевизионных программ;

высокая надежность сети при рассредоточенных ретрансляторах;

обеспечение экологически безопасных для населения уровней электромагнитных излучений радиопередатчиков;

сравнительная дешевизна абонентской установки за счет использования комнатной малогабаритной антенны с линейными размерами 15...25 см;

высокое качество сигналов из-за сравнительно низкого уровня помех в выделенных для этих систем диапазонах частот (2,5...2,7 ГГц; 25...45 ГГц);

независимость условий приема от телевизионных стандартов NTSC, PAL, SECAM за счет оцифровки сигналов;

относительно низкая стоимость развертывания радиосистем широкополосного доступа в условиях больших городов по сравнению с монтажом и эксплуатацией гибридных опτικο-коаксиальных систем кабельного телевидения. ,

Частным случаем радиосистем широкополосного доступа (сотовых систем телевидения) является система MMDS, которая представляет собой широкополосный передающий комплекс, осуществляющий трансляцию передаваемой на его вход информации в полосе частот шириной 200 МГц. Она аналогична радиорелейной линии, но отличается тем, что предназначена для охвата телекоммуникационными услугами больших территорий. На России для систем MMDS выделена полоса частот 2,5...2,7 ГГц при условии амплитудной модуляции. В состав передающего комплекса входит один или несколько радиопередатчиков, сумматоры, линии связи между радиопередатчиками и передающей антенной, одна или несколько передающих антенн.

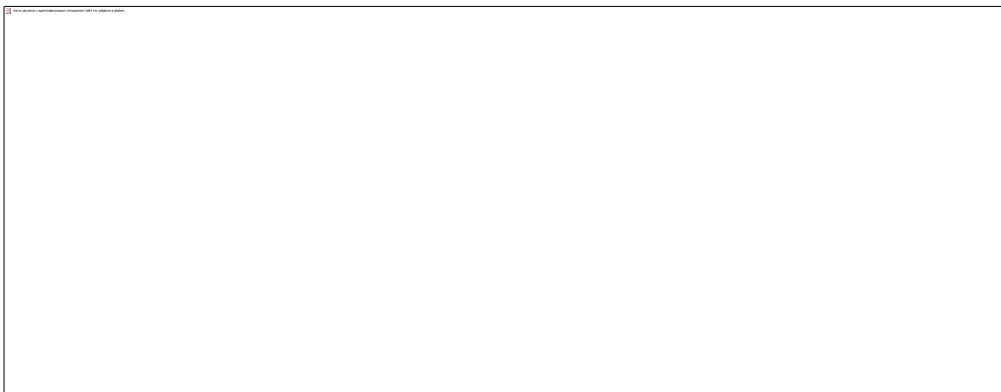


Рис. 5.1. Функциональная схема системы MMDS при использовании одноканальных радиопередатчиков:

М - модулятор; П - передатчик; А - антенна

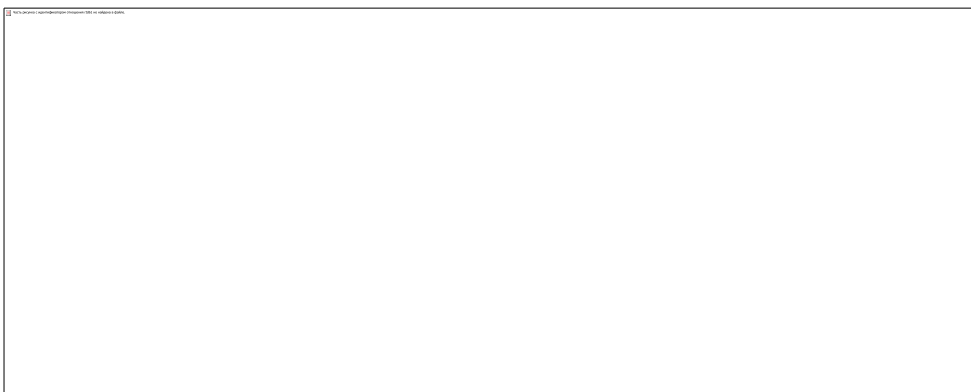


Рис. 5.2. Функциональная схема системы MMDS при использовании многоканальных радиопередатчиков:

М - модулятор; П - передатчик; А - антенна

В практике проектирования и монтажа систем MMDS используются два варианта построения структурных схем: одноканальный и многоканальный.

В одноканальном варианте для передачи телевизионных программ применяются передающие устройства, включающих модулятор и собственно радиопередатчик, а суммирование мощностей разных передатчиков осуществляется непосредственно в антенне (рис. 5.1).

В многоканальном варианте передаваемые телевизионных сигналов различных программ сначала поступают на свои модуляторы, далее из них формируется групповой сигнал, который модулирует широкополосный радиопередатчик, работающий на общую антенну (рис. 5.2).

Многоканальные или групповые передатчики целесообразно использовать в небольших городах и поселках городского типа, где радиус зоны покрытия не превышает 6 км. По сравнению с передатчиками традиционного наземного телевидения мощность передатчиков MMDS значительно ниже. Ее типовое значение в области частот 2,5 ГГц не более 100 Вт. Возможен как индивидуальный прием сигнала в пределах прямой видимости с помощью малогабаритных приемных антенн, совмещенных с конвертором, который переносит принимаемый групповой сигнал в область более низких частот, так и через антенные устройства SMATV (Satellite Master Antenna TV - телевизионная система коллективного пользования), обеспечивающие телевизионными сигналами жилые массивы. В случае невозможности обслуживания необходимой территории с одной точки, в теневых зонах устанавливаются автономные ретрансляторы.

Непосредственно к сотовым системам телевидения относится очень перспективная система LMDS, работающая в полосе частот более 23 ГГц, т.е. на почти миллиметровых



волнах, и использующая помехоустойчивый вид модуляции QPSK, применяемый в спутниковом вещании.

Система сотового телевидения LMDS работает по следующему принципу: в пределах зоны охвата устанавливается сеть радиопередатчиков (базовых станций - БС) с радиусом действия около 5...6 км. Приемное устройство использует плоскую небольшую по размерам антенну, которая может устанавливаться как в помещении, так и вне его. В системе LMDS телезритель получает сигналы сразу с нескольких спутников.

Специальные устройства, установленные на БС, улавливают сигналы различных программ с разных ИСЗ и ретранслируют их абонентам. Такая система обеспечивает возможность абонентам принимать в среднем до 100 телевизионных программ, причем отпадает необходимость иметь дешифратор (как в случае с обычной спутниковой системой) - к телезрителям телевизионные сигналы с различных спутников поступают уже в расшифрованном виде. Система LMDS удобна еще и тем, что может работать в интерактивном режиме и включать в себя целый набор теле1- коммуникационных услуг.

Сотовые системы телевещания MVDS работают в полосе частот

42,5 ГГц и используют радиопередатчики мощностью около 1 Вт. В данном случае один радиопередатчик с ненаправленной антенной или группа передатчиков с антеннами секторной направленности, имеющими большой коэффициент усиления, составляют БС. Радиопередатчик БС передает в эфир сигнал с несколькими несущими в диапазоне частот миллиметровых волн. Излучаемый сигнал имеет ширину спектра 1...2 ГГц и содержит информацию большого числа региональных программ, а также принимаемых со спутников ИСЗ. Многоканальный сигнал может поступать на вход радиопередатчика уже скомпонованным на специальной региональной станции, либо непосредственно формироваться на БС с помощью соответствующих мультиплексоров.

С помощью системы MVDS в полосе частот 2 ГГц можно организовать от 96 до 128 аналоговых телевизионных каналов с предоставлением интерактивных услуг (или в несколько раз больше цифровых), причем каждый из них будет занимать полосу частот от 29,5 до 39 МГц. Однако максимального значения число частотных каналов достигает лишь при работе одиночной БС. При наличии в сети множества сот применяются БС с четырехсекторными антеннами. Частотное планирование сети осуществляется благодаря использованию различных радиочастот или поляризации излучаемого сигнала в каждом секторе. Фиксирование абонентской антенны в такой, системе позволяет использовать сигналы с различной поляризацией. В результате выполнения указанных условий, исключая влияние соседних БС друг на друга, возможное число транслируемых программ уменьшается в 4 раза.

Современные системы такого типа обеспечивают передачу радиосигналов на экологически безопасных уровнях мощности -

300 мВт на один канал.

Следует особенно отметить, что подобные системы хорошо работают именно в городах, где СВЧ-сигнал доходит до абонентов, не находящихся в зоне прямой видимости, после многократного отражения от стен домов. Для улучшения приема в особо затененных местах применяют сравнительно недорогие устройства - пассивные ретрансляторы.

Абонентское оборудование сотовых систем телевидения представляют собой традиционный спутниковый тюнер, работающий в диапазоне частот 950...2050 МГц.

Антенна выполняется вместе с СВЧ-приемником, осуществляющим первое преобразование частоты с целью ее понижения, в едином блоке, представляющим собой легкое компактное устройство диаметром около 150 (в диапазоне 40 ГГц) или 250 мм (в диапазоне 23 ГГц).

Обобщенная функциональная схема интерактивной радиосистемы широкополосного доступа, построенной на основе принципов сотового телевидения с возможностью получения абонентами полного набора услуг, приведена на рис. 5.3. Абонентский радиомодуль микроволновой распределительной системы включает в себя

приемопередающую антенну (трансервер) и демодулирующее приемное устройство (тюнер). Антенна выполняется вместе с СВЧ- приемником, осуществляющим первое преобразование частоты с целью ее понижения, в едином блоке, представляющим собой легкое компактное устройство диаметром около 150 (в диапазоне 40 ГГц) или 24-6973

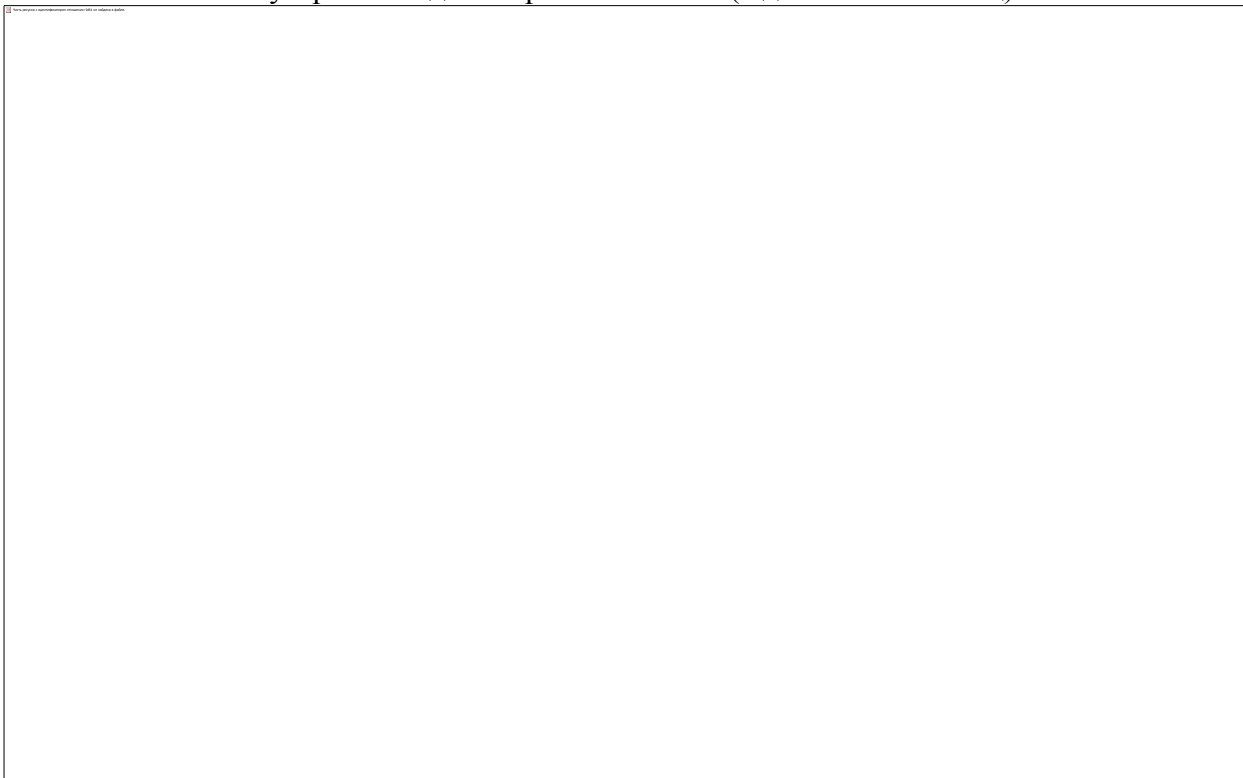


Рис. 5.3. Функциональная схема двунаправленной радиосистемы широкополосного доступа

250 мм (в диапазоне 23 ГГц). После понижающего преобразователя антенны на вход тюнера поступает сигнал в полосе частот .2050 МГц, совпадающей с полосой первой промежуточной частоты системы спутникового непосредственного приема.

#### 1.6. Контроль и измерения в телевизионных системах передачи

Принципы организации контроля качества аналогового телевизионного вещания Большой объем технических средств, используемых в процессе телевизионного вещания, требует непрерывного контроля за его качеством.

Широко распространенным средством постоянного контроля является наблюдение телевизионного изображения на экранах мониторов. Мониторы включаются во всех узловых точках видеотракта телецентра, начиная от телевизионной передающей камеры и кончая выходом на радиопередатчик или на междугородную линию связи.

В эксплуатационных условиях быструю оценку качества телевизионного изображения и тракта передачи производят с помощью испытательных таблиц. Если изображение таблицы соответствует установленным нормам, то гарантируется номинальное качество при наблюдении реальных сюжетов. Таблицы содержат элементы, с помощью которых можно судить об искажениях сигналов и иметь представление о соответствующих изменениях параметров отдельных звеньев тракта. Наиболее часто оценку качества телевизионных изображений осуществляют с помощью универсальной электронной испытательной таблицы-УЭИТ .

На горизонтальной полосе 8 б-щ расположена серая шкала (шкала градаций яркости), создаваемая ступенчатым сигналом (рис. 6.1). Ширина отдельных участков на этой шкале равна двум клеткам сетчатого поля. Участок 8 в соответствует сигналу, уровень которого на 3% ниже уровня черного. С помощью серой шкалы контролируют: воспроизведение

градаций яркости, установку уровня черного, чистоту цвета, динамический баланс белого, положение нулей дискриминаторов в декодирующем устройстве. Серая шкала содержит опорные уровни сигнала, соответствующие минимальной и максимальной яркостям.

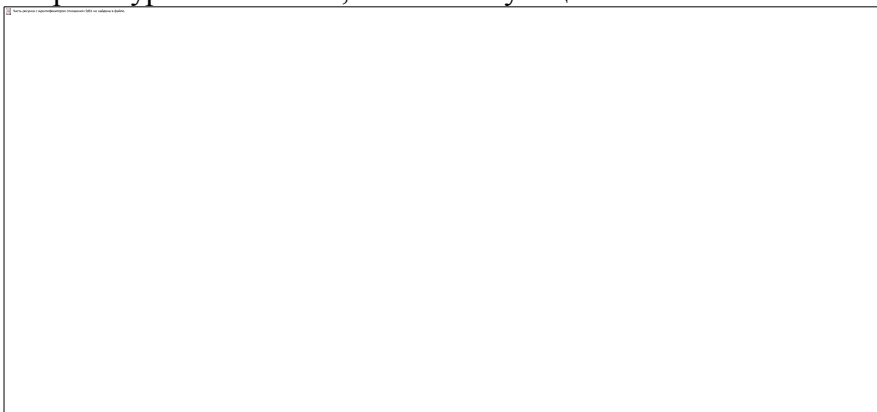


Рис. 6.1. Осциллограмма ступенчатого телевизионного сигнала, соответствующего участку 8 б-щ УЭИТ

Кроме субъективной оценки качества цветного телевизионного изображения УЭИТ позволяет осуществлять объективный контроль основных параметров как изображения, так и непосредственно видеотракта.

Рассмотрим на конкретных примерах применение УЭИТ для контроля некоторых параметров видеотракта телецентра и воспроизводимых телевизионных изображений.

Установка яркости и контраста изображения. Для получения объективных результатов по оценке качества изображения прежде всего необходимо правильно установить яркость и контраст. Это производится по серой шкале (полоса 8 б-щ

Контроль размаха сигнала. Размах сигнала контролируют по элементам рамки таблицы, например 1 а-э и 20 а-э. Для этого используют осциллограф с выделением строки. Размах сигнала от уровня гашения до уровня белого сравнивают с величиной синхронизирующих импульсов.

Контроль формата изображения. Формат изображения проверяют по большому кругу, форма которого должна быть неискаженной.

Оценка координатных искажений.

К геометрическим относятся искажения типа «трапеция», «параллелограмм», «подушка» и «бочка» (рис. 6.2). В результате происходят перекося изображения и искривление прямых линий. Эти искажения оцениваются величиной ШБ (рис. 6.2, а-д). Искажения вида параллелограмм (рис. 6.2, б) определяются отношением  $(c-a)/(c+a)$ . Величины искажений типов «подушка» и «бочка» должны быть не более 0,02...0,05. Искажения в виде искривления вертикальных линий из-за фона переменного тока (рис. 6.2, д) должны быть не более 0,01...0,02. Эти искажения наиболее заметны, так как волнистая линия непрерывно перемещается в вертикальном направлении.

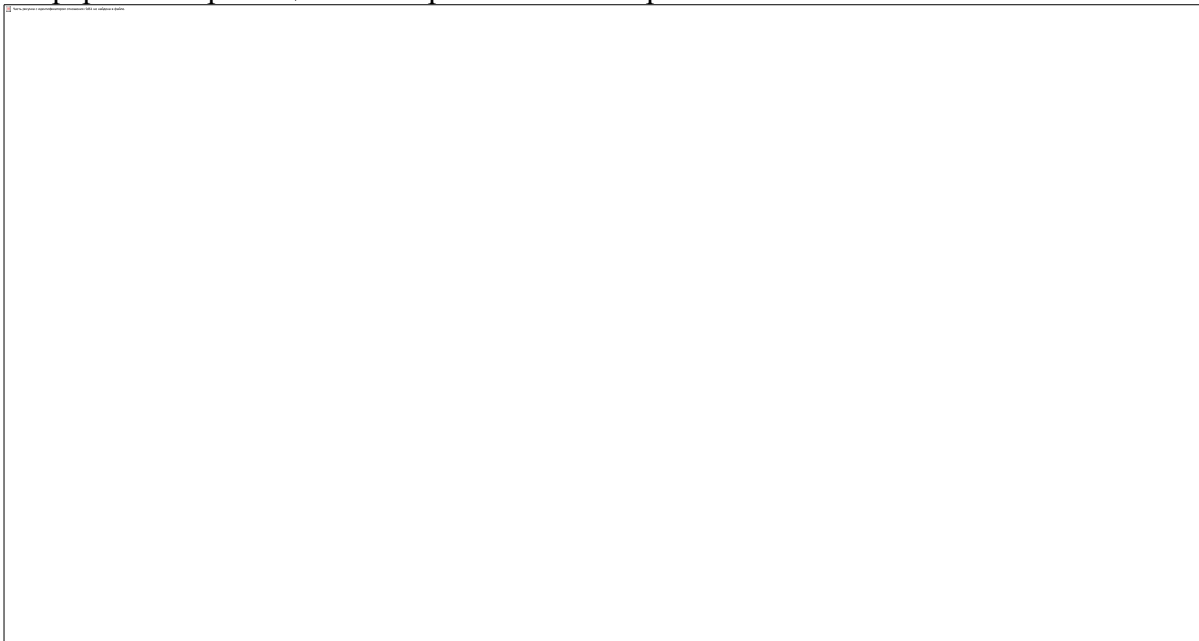


Рис. 6.2. Геометрические искажения телевизионного растра:

а - искажение изображения типа «трапеция»; б - искажение изображения типа «параллелограмм»; в - искажение изображения типа «подушка»; г - искажение изображения типа «бочка»; д - искажение изображения из-за фона переменного тока

Приближенная визуальная оценка нелинейных искажений производится по окружностям таблицы. При наличии этих искажений окружности приобретают яйцеобразную форму. Качество синхронизации разверток. Синхронизацию разверток контролируют по воспроизведению изображений черно-белых элементов рамки таблицы. При нарушении синхронизации вертикальные линии становятся ломаными. Качество чересстрочного разложения проверяют по наклонным линиям в 10 с-х и 11 е-к. При нарушении черес-

строчное™ эти линии приобретают изломы и изгибы. Если же строки четного и нечетного полей полностью накладываются друг на друга, наклонные линии воспроизводятся в виде двух дорожек.

Проверка статического и динамического сведения лучей кинескопа. Процесс сведения лучей кинескопа заключается в обеспечении направления трех электронных пучков в одно отверстие в металлической маске с тем, чтобы эти пучки попадали на «свои» люминофорные штрихи на экране. Статическое сведение лучей проверяют по воспроизведению перекрестия таблицы - пересечению горизонтальной и вертикальной осевых линий сетчатого поля. Это перекрестие должно наблюдаться без расслоения (без цветных контуров).

Контроль баланса белого. Баланс белого (цветовой баланс) заключается в отсутствии окрашивания черно-белого изображения при различных уровнях яркости деталей. Баланс белого проверяют по серой шкале 8 б-ц, все ступени которой должны иметь нейтральный тон

Проверка четкости в горизонтальном направлении. Эту проверку проводят с помощью групповой штриховой миры полосы 13 б-щ. Штрихи создаются синусоидальными колебаниями с частотами 2,8; 3,8; 4,8 и 5,8 МГц. Этим частотам соответствует четкость 200, 300, 400 и 500 линий. Однозначные цифры на таблице обозначают количество сотен этих линий. Четкость оценивают при предельной различимости штрихов. Если выделить строку этой полосы, на экране осциллографа будут наблюдаться пакеты синусоидальных колебаний с указанными частотами. Неравномерность размаха этих колебаний свидетельствует об искажении АЧХ.

Контроль установки нулей частотных характеристик детекторов. Установку нулей частотных характеристик детекторов системы SECAM проверяют по серой шкале 8 б-ц. При переключении телевизора или монитора на цветное и черно-белое изображение не должен изменяться нейтральный тон участков серой шкалы. Если же серая шкала оказывается слегка окрашенной при включении канала цветности, это свидетельствует о неверной настройке нулевых точек частотных характеристик детекторов.

Контроль качества матрицирования. Этот вид контроля заключается в проверке соответствия уровней яркостного и цветоразностных сигналов. Контроль производят по цветовой полосе с максимальной насыщенностью 14,15 б-щ и по белым полям полосы 16 б-щ. При этом предварительно должны быть установлены чистота цвета и баланс белого. В процессе контроля, например, уровня цветоразностного сигнала  $E_{p\_y}$ , выключают зеленый и синий электронные пучки кинескопа и визуально сравнивают между собой яркости участков 14,15 с-у и 16 т, светящиеся красным цветом. Если яркости этих участков одинаковы, то уровень сигнала  $E_{y\_y}$  соответствует уровню яркостного сигнала  $E_y$ . При необходимости добиваются этого соответствия регулировками указанных сигналов.

Верность и качество цветов. Верность и качество цветов на экране кинескопа проверяют путем сравнения соответственных цветов горизонтальных полос 6, 7 и 14, 15, воспроизводимых с различной насыщенностью. Последовательность и цветность участков должны соответствовать образцу таблицы. Расхождение уровней яркостного и цветоразностных сигналов вызывает цветовые искажения, особенно проявляющиеся при воспроизведении телесного цвета.

Коррекция высокочастотных предыскажений. Коррекцию осуществляют с помощью настройки полосового фильтра на входе канала цветности приемника или монитора. Этот фильтр имеет резонансную частоту 4286 кГц.

Измерительные сигналы системы непрерывного контроля работы телевизионного тракта. На практике наиболее широко используется не эпизодический контроль совокупности параметров изображения, а оперативное измерение характеристик технических средств, обеспечивающих передачу и прием телевизионных сигналов и определяющих в конечном счете качественные показатели телевизионного изображения. При этом очень важно

определить, какой участок тракта вносит искажения. Для этого в интервалах КГИ передаются измерительные (испытательные) сигналы для контроля основных параметров элементов тракта в процессе передачи. Такой контроль производится в течение всего времени работы телевизионной линии связи.

В соответствии с ГОСТ 18471-83 установлена стандартная форма измерительных сигналов, передаваемых в интервалах испытательных строк (сигналы 1, 2, 3, 4, 5) (рис. 6.3-6.7)

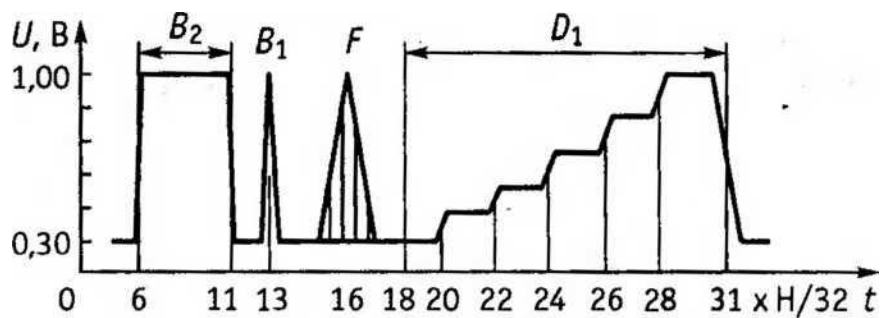


Рис. 6.3. Осциллограмма измерительного сигнала 1



Рис. 6.4. Осциллограмма измерительного сигнала 2

Рис 6.5. Осциллограмма измерительного сигнала 3

Рис 6.6. Осциллограмма измерительного сигнала 4

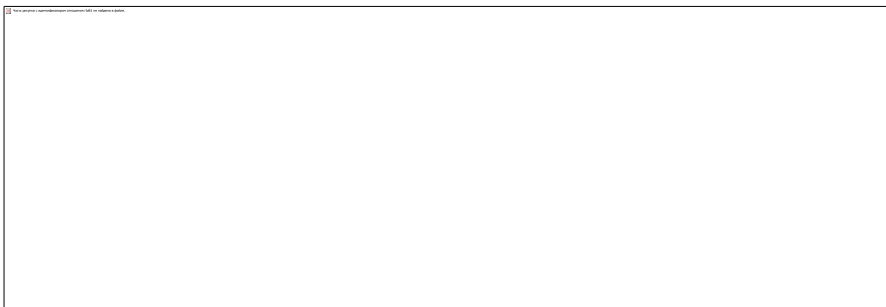


Рис. 6.7. Осциллограмма измерительного сигнала 5

Во время передачи измерительных сигналов электронные лучи кинескопов в телевизионных приемниках погашены с помощью КГИ, поэтому помех приему изображения не создается. Передаваемые измерительные сигналы не оказывают влияния и на качество синхронизации в телевизионной системе, поскольку они размещаются между уровнями белого и черного во временном интервале между ССИ.

Требования, предъявляемые к основным параметрам телевизионных трактов передачи, непосредственно нормируются для гипотетической эталонной цепи, которая представляет собой кабельную или радиорелейную линию связи протяженностью 2500 км с двумя переприемами по видеочастоте.

Контроль диаграммы уровней и переходной характеристики. Контроль диаграммы уровней и переходной характеристики в области малых и средних времен (область средних и высоких частот) осуществляется с помощью прямоугольного импульса В2 (см. рис. 6.3).

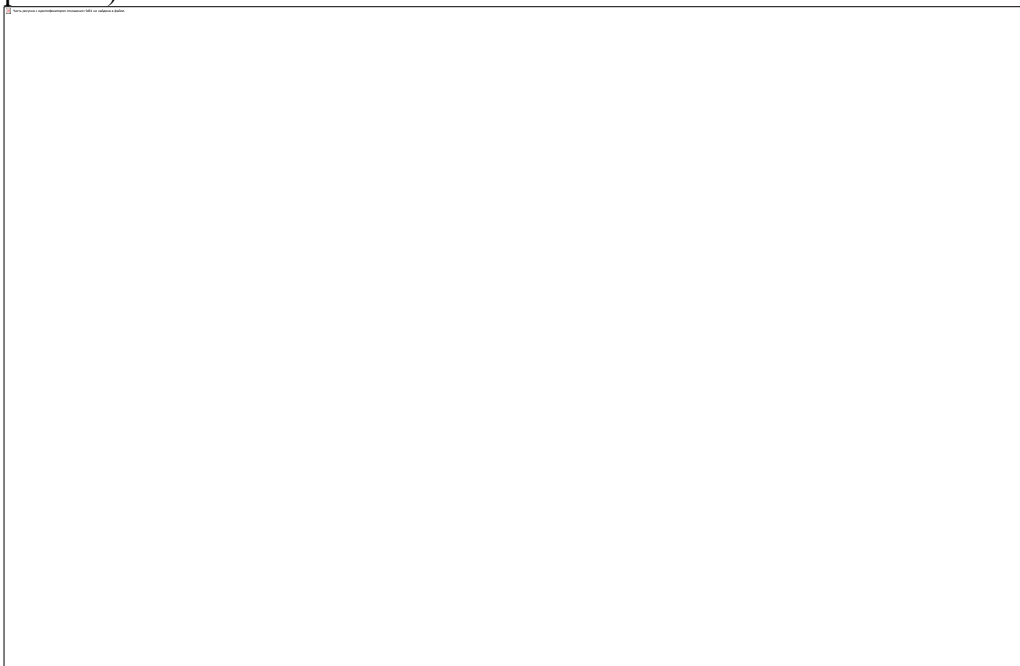


Рис. 6.8. Трафарет поля допуска переходной характеристики

Размах этого импульса соответствует контрольному уровню белого, относительно которого оценивают величины других измерительных сигналов. Переходная характеристика в области средних времен оценивается по искажениям (спаду) горизонтального участка прямоугольного импульса (вершины),

соответствующего передаче уровня белого. Искажения в области малых времен характеризуются изменением форм фронта и среза импульса. При осциллографическом



методе измерения искажения фронта и вершины импульса не должны выходить за границы трафарета (рис. 6.8). Этот трафарет рассчитан на допусковый контроль линейных искажений телевизионного сигнала при прохождении по протяженным линиям связи. Частотная характеристика канала связи для передачи телевизионных сигналов эквивалентна частотной характеристике ФНЧ с частотой среза, равной максимальной частоте спектра телевизионного сигнала на уровне 0,707 ( $4 \gg 6,0$  МГц), а прямоугольный измерительный импульс В2 занимает спектр частот, который превышает полосу пропускания канала связи. Поэтому форма осциллограммы измерительного импульса В2 на выходе канала всегда имеет искажения, вызванные не только искажениями в полосе пропускания канала, но и ограничением спектра измерительного импульса в канале связи. При этом не всегда легко оценить искажения, созданные каналом в полосе его пропускания. Измерительные импульсы должны обладать ограниченным спектром частот, соответствующим рабочей полосе пропускания канала связи. График синусквадратичного импульса при  $U_0 = 1$  В показан на рис. 6.9 Из анализа относительной спектральной функции  $v(\kappa)$  следует, что преимущество синусквадратичного импульса заключается в том, что его частотный спектр в основном сосредоточен в полосе от 0 до  $\omega = 1$  В данном случае

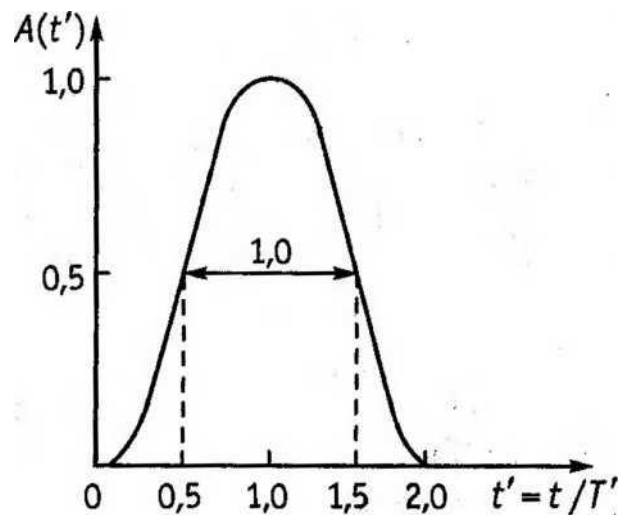


Рис. 6.9. Форма синусквадратичного импульса

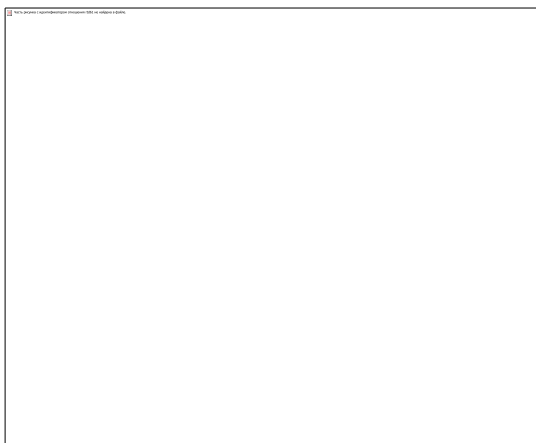


Рис. 6.10. Трафарет поля допуска импульсной характеристики

1,0

$T = 1/v = 1/6,25 \cdot 10^8 \gg 166$  нс. Искажения синусквадратичного импульса не должны выходить за границы трафарета (рис. 6.10), где  $K$  - нормирующий коэффициент. Величину его выбирают от 0,05 % до нескольких процентов в зависимости от допустимых искажений телевизионного сигнала при прохождении отдельных звеньев тракта.

Измерение нелинейных характеристик телевизионного тракта. Линейность амплитудной характеристики телевизионного тракта на практике приближенно оценивают по измерительному сигналу ступенчатой формы 01, содержащему пять ступенек одинаковой величины (см. рис. 6.33), с использованием осциллографического способа.

Влияние яркостного сигнала  $E_y$  на сигнал цветности проверяется с помощью ступенчатого сигнала 0г с наложенными на него синусоидальными колебаниями условной поднесущей 4,43 МГц с равными амплитудами (см. рис. 6.5). Нелинейность амплитудной характеристики тракта передачи сигнала  $E_y$  приводит к дифференциальному усилению сигналов цветности в динамическом диапазоне от уровня черного до уровня белого, а также к фазовым сдвигам поднесущей, зависящим от уровня яркостного сигнала. Оценка дифференциального усиления производится по формуле

$$— [(L_{7\text{тх}} — ГТ1\text{т}]\text{п} )/гЛ\text{тх} ]100 \%,$$

где  $t_{\text{тх}}$  и  $t_{\text{т,п}}$  - максимальное и минимальное значения амплитуд синусоидальных колебаний на ступеньках сигнала 02. Допустимым принимается значение  $\text{тоу} = 32 \%$ .

Оценку нелинейных искажений сигнала цветности производят по измерительному сигналу сложной формы б2, состоящему из яркостного  $E_y$  с постоянным номинальным уровнем /400 и ступенчатого сигнала цветности (см. рис. 6.6).

Оценка передачи сигналов цветности. Измерение расхождения во времени сигналов яркости и цветности. Данный вид измерений производится с помощью составного синусквадратичного импульса Г (см. рис. 6.3). При наличии расхождения искажаются границы отличающихся по цвету и яркости участков изображения. Расхождение во времени иллюстрирует рис. 9.42. Временной сдвиг  $\Gamma_{\text{рв}}$  между этими сигналами не должен превышать 50... 100 нс.

Различие усиления сигналов яркости и цветности проверяется путем сравнения размахов импульсов В2 и Р(см. рис. 6.3). В этом случае импульс В2 является опорным, его размах соответствует уровню белого. Одной из основных причин различия является неравномерность АЧХ в области частоты 4,43 МГц, где размещен спектр сигналов цветности. Допустимое различие усиления находится в пределах  $\pm 3$  дБ.

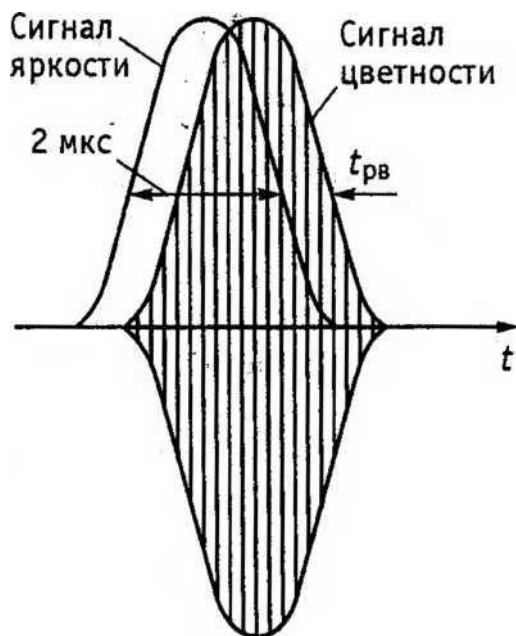


Рис. 6.11. Расхождение во времени сигналов яркости и цветности

## 1.4 Измерение качества изображения в цифровых телевизионных каналах с компрессией

Искажения и дефекты телевизионного изображения после компрессии-декомпрессии. Специфика обработки видеоданных в кодерах цифрового сжатия приводит к появлению других дефектов (артефактов), отсутствующих в исходном изображении.

Заметность шумов квантования. Эти шумы, присутствующие и в системах полноскоростного цифрового телевидения, становятся особенно заметными в системах со сжатием.

Потеря разрешающей способности - обусловлена устранением избыточности в первую очередь в высокочастотной части спектра пространственных частот. Мелкие детали либо размываются, либо полностью пропадают в изображении.

Блочность - структура типа шахматной доски. Если кодирующему устройству недостает битов, становится видимой структура блоков ДКП. Блочность особенно заметна, если глаз телезрителя следит за движущимися объектами.

Эффект мозаики - выглядит подобно блочности, но воспринимается как различие яркости в поле соседних блоков, а не на границе. Возникает при слишком грубом квантовании коэффициентов ДКП, когда постоянные составляющие пространственных частот в соседних блоках заметно отличаются.

Шумы типа «москито» - При преобразовании из временной в частотную область влияние перепада отсчетов на границе распространяется на весь макроблок, при этом высокочастотные коэффициенты квантуются более грубо, чем низкочастотные. При обратном преобразовании в отсчеты и далее в аналоговый сигнал вдоль первоначальной границы образуется характерный узор.

Окантовка на границах - проявляется как возникновение окантовок на резких перепадах яркости изображения. При нехватке битов в первую очередь обрезаются высокочастотные коэффициенты, и это может повлиять на форму сигнала яркости вблизи ступеньки - вызвать колебательный процесс на вершине импульса.

Ложные границы - если при компенсации движения в опорном кадре заметна блочная структура, то она может переноситься в новый кадр со смещением относительно границ блока (из-за неточности

Волнообразные шумы - видны при медленном панорамировании по очень детализированной сцене, например, по изображению группы болельщиков на спортивном мероприятии. Как и москито, это результат грубого квантования высокочастотных коэффициентов, но движение вызывает рассеяние, и они появляются периодически как детали, движущиеся по блоку ДКП.

Оценка качества изображения методом субъективных экспертиз. Для адекватной оценки качества телевизионного изображения недостаточно мнения одного человека о просмотренном видеоматериале. Разные люди имеют различное представление о качестве, оно зависит также от сюжета. Причем для телевизионного изображения с цифровой компрессией, в отличие от обычного аналогового, недостаточно понаблюдать короткий отрезок сюжета и сделать вывод о всей программе, необходимо просмотреть сюжет полностью.

Таблица 7.1.

Структуры шкал Рекомендации МСЭ-Р ВТ.500 для оценки субъективного качества телевизионного изображения

Баллы	Оценка	
	качества	ухудшения
5	Отлично	Незаметно
4	Хорошо	Заметно, но не мешает
3	Удовлетворительно	Слегка мешает
2	Плохо	Мешает
1	Очень плохо	Сильно мешает

Субъективные экспертизы качества телевизионного изображения уже много лет проводятся по методикам Рекомендации МСЭ-Р ВТ.500. В ходе испытаний эталонные изображения оцениваются в баллах группой экспертов, принимающих решение о степени пригодности для данного применения.

К преимуществам оценки методом субъективных экспертиз можно отнести следующие факторы: удается получить сравнимые результаты для обычных телевизионных цифровых систем и систем с компрессией; получаемая средняя оценка мнений хорошо соответствует широкому диапазону неподвижных и движущихся изображений. К недостаткам этих методов следует отнести необходимость рассматривать большое количество тестовых изображений, значительные затраты средств и времени на подготовку наблюдений и оборудования, трудоемкость организации проведения тестирования.

Субъективные испытания в их нынешнем виде применимы только для целей разработки и едва ли могут быть рекомендованы для текущего мониторинга, т.е. повторяющихся измерений для оценки качества подготавливаемых видеоматериалов.

Оценка качества изображения после декомпрессии методом, объективных измерений. Для аппаратурной оценки, качества изображения на выходе цифрового телевизионного канала с компрессией необходимо оценить качество обработки сигнала на передающей и приемной сторонах (операции фильтрации, аналого-цифрового преобразования, устранения избыточности на передающей стороне и обратные операции на приеме). Канал передачи также может вносить искажения типа импульсной помехи, но чаще цифровой сигнал или передается, или не передается. Поэтому единственным критерием качества его работы можно считать достоверность передачи.

Поиски объективных методов оценки качества сосредоточились на двух направлениях: поиск цифровых испытательных сигналов, по результатам прохождения которых через цифровой телевизионный тракт можно было бы достоверно судить о влиянии качественных показателей тракта на любое реальное изображение; разработка методов непосредственной оценки качества изображения с учетом природы зрительного восприятия человека.

Второе направление в объективной оценке качества представляет анализатор качества изображения RQA-200 фирмы Tektronix (США). Специалисты данной фирмы считают, что для исключения влияния содержания программы на результат измерений следует не оценивать качество изображения непосредственно, а показать, как ухудшилось изображение воспроизводимой сцены по сравнению с эталоном. В результате проведенных исследований разработано два метода объективного измерения качества телевизионного изображения: сравнение фильтрованных эталонного и воспроизводимого изображений;

извлечение особенностей из обоих изображений и их сравнение.

Первый метод - наиболее точный, он использует матричный алгоритм для обработки каждого телевизионного изображения или последовательности в фильтрованное изображение, похожее на исходное, но с меньшим объемом информации. Фильтрованное изображение эталона и испытуемого кадра или сюжета сравниваются по пикселям, и по специальному алгоритму вычисляется оценка.

Второй метод использует математический расчет для извлечения особенностей одиночного изображения (пространственные характеристики) или последовательности изображений (временные характеристики). Объем получаемой информации не превышает нескольких сотен байтов на изображение. Эту информацию нетрудно передать вместе с компрессированным сигналом к удаленному месту испытаний, где она будет использована для сравнения с аналогичными особенностями изображения на выходе канала.

Исследования показали, что первый метод дает лучшую корреляцию с результатами субъективных испытаний.

Разработанный по первому алгоритму анализатор качества изображения PQA-200 работает в режиме сравнения изображений и предлагается как реальная замена субъективных методов оценки с помощью экспертов. Прибор содержит генератор эталонного тестового материала и анализатор. В процессе измерений двухсекундный отрезок тестовой видеопоследовательности пропускается через испытуемый кодер сжатия, записывается в память и анализируется с помощью быстродействующего процессора путем сравнения с оригиналом. Результат выдается в виде числа, называемого оценкой качества изображения (PQR - Picture Quality Rating). В качестве критерия оценки используется восприятие изображения человеком, основанное на модели человеческого зрения.

## Список літератури

### 1. Основна

Телебачення / Під ред. В.Е. Джаконії. – М.: Радіо та зв'язок, 1986.

Домбругов Р.М. Телебачення. – Київ : Вища школа, 1988.

Проектування та технічна експлуатація телевізійної апаратури / Під ред. С.В.

Новаковського. – М : Радіо та зв'язок, 1989.

Ю.Б. Зубарьов, Г.Л. Глоріозов. Передача зображень – М. : Радіо та зв'язок, 1989.

А.В. Виходець, В.І. Коваленко, М.Т. Кохно – Звукове та телевізійне мовлення ; - М. : Радіо та зв'язок, 1987.

Цифрове телебачення / Під ред. М.І. Кривошеєва. - М. : Радіо та зв'язок, 1980.

Певзнер Б.М. Якість кольорових ТВ зображень : видання друге ; М. : Радіо та зв'язок, 1988.

Радіорелейні та супутникові системи передачі : Підручник для вузів / Під ред. А.С.

Немировського. - М. : Радіо та зв'язок, 1986. – 392 с

Системи радіозв'язку : Підручник для вузів / Під ред Л.Я. Калашникова - М. : Радіо та зв'язок, 1987. – 352 с

Посібник по радіорелейному зв'язку / Під ред С.В. Бородича - М. : Радіо та зв'язок, 1981. – 416 с

Супутниковий зв'язок та мовлення. Посібник / Під ред. Л.Я. Кантора - М. : Радіо та зв'язок, 1988. – 344 с

Системи космічного зв'язку. Посібник під ред. Б.В. Одинцова, Е. А. Сукачова; Одеса 1989.

Сучасні системи радіозв'язку в прикладах та задачах. Посібник під ред. Б.В. Одинцова, Е. А. Сукачова; Одеса 1990.

Мамчев Г.В. «Основы радиосвязи и телевидения», 2007 год;  
Джакония В.Е., Гоголь В.А., Друзин Я.В. «Телевидение (4-е издание), 2007  
Локшин Б.А. «Телевизионное вещание. От студии к телезрителю», 2001  
Кириллов В.И., Ткаченко А.П. «Телевидение и передача изображения», 1988  
Самойлов В.Ф., Хромой Б.П. «Основы цветного телевидения», 1982  
Ельяшкевич С.А., Юкер А.М. «Усовершенствование телевизоров ЗУСЦТ и 4УСЦТ», 1994  
Быков Р.Е., Сигалов В.М., Эйсенгардт Г.А. «Телевидение», 1988  
Ельяшкевич С.А. «Справочное пособие. Цветные телевизоры ЗУСЦТ», 1990  
Зубарев Е.Б., Кривошеев М.И., Красносельский И.Н. «Цифровое телевизионное вещание. Основы и методы», 2001  
Корытов В.И. «Телевизоры ЗУСЦТ. Ремонт и настройка», 1999  
Смирнов А.В. «Основы цифрового телевидения», 2001  
Ельяшкевич С.А., Песков А.Е. «Телевизоры ЗУСЦТ, 4УСЦТ, 5УСЦТ. Устройство, регулировки, ремонт»  
Шумихин Ю.А. «Телевизионный сигнал», 1968  
Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 1 Принципи радіозв'язку, 2014  
Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 2 Радіопередавальні пристрої, 2014  
Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 3 Радиоприймні устрої, 2014  
Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 4 Фізическі основи телевідення, 2014  
Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 5 Основні принципи функціонування телевізійних систем, 2014  
Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 6 Формування телевізійного сигналу, 2014  
Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 7 Конструктивні особливості телевізійної апаратури, 2014  
Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 8 Особливості побудови телевізійних систем, 2014  
Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 9 Сеті телевізійного вкщання, 2014

## 2. Додаткова

Мордуховіч Л.Г., Степанов А.П. Системи радіозв'язку. Курсове проектування. - М. : Радіо та зв'язок , 1987. – 192 с  
Спілкер Дж. Цифровий супутниковий зв'язок / пер. з англ. ; Під ред. В.В. Маркова - М. : Зв'язок , 1979. – 592 с  
Одинцов Б.В., Сукачов Е.А. , Гуцаюк А.К. Цифрові системи радіозв'язку : Навчальний посібник / ОЕІС ім. А.С. Попова – Одеса , 1988. – 56 с.  
Одинцов Б.В., Сукачов Е.А. , Гуцаюк А.К. Космічний зв'язок : Навчальний посібник / ОЕІС ім. А.С. Попова – Одеса , 1989. – 56 с.  
Новаківський С.В. Колір в кольоровому телебаченні - М. : Радіо та зв'язок, 1988.  
Кривошеев М.І. Основи телевізійних вимірювань. : видання 3 – е. - М. : Радіо та зв'язок , 1989.  
ГОСТ 7845 – 79. Система мовленнєвого телебачення. Основні параметри , методи вимірювань.  
Прийом телебачення та радіомовлення з супутників / Д.Ю. Бем , М.Є. Ільченко , А.П. Житков, Л.Г. Гассанов. – К.: Техніка , 1992. – 176 с.  
Довідник. Індивідуальні відео – засоби. С.А. Сєдов – Київ 1990.  
В.Бондарьов , Г.Трьостер , В. Чернега. Цифрова обробка сигналів : методи та засоби. Навчальний посібник для вузів. Харків 2001.