

Министерство образования и науки Украины  
Государственный Университет Телекоммуникаций  
Кафедра радиотехнологий

## **Лекция 8**

по дисциплине: “Основы телевидения и телевизионные системы”

на тему: “Особенности построения телевизионных систем”

Доцент Пархоменко В.Л.

Киев-2014

## **1. 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 SMART TV

## 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 Перри, 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.

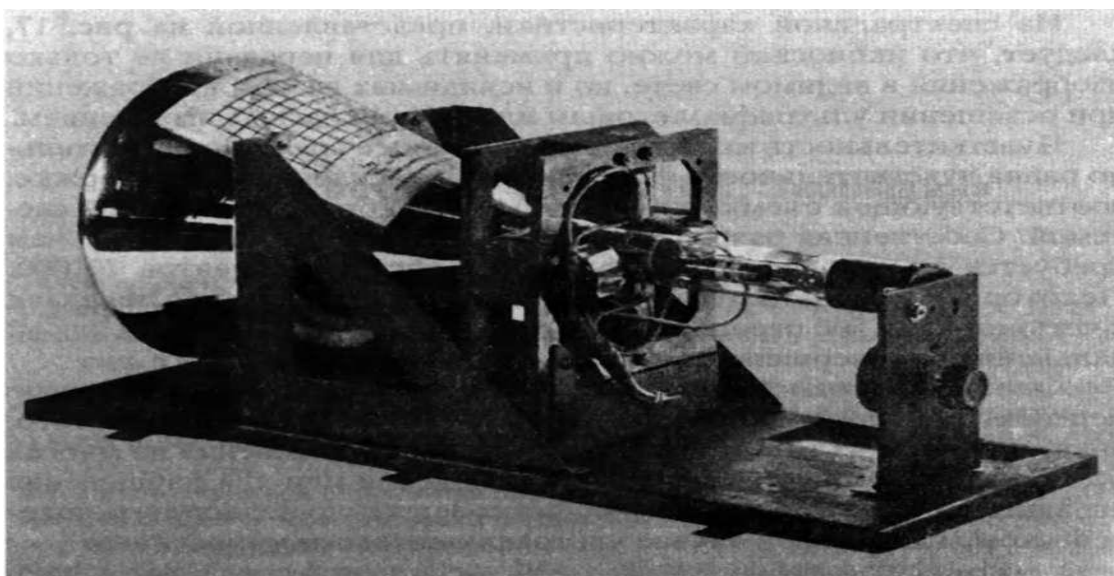
Владимир Зворыкин создал в 1931 году в Соединенных Штатах Америки первую передающую *электронную трубку (иконоскоп)*, что в свою очередь положило началу электронному телевидению (рис. 2). Первые телевизионные системы Зворыкина имели картинку, которая разбивалась на 343 строки, но в послевоенное время 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.

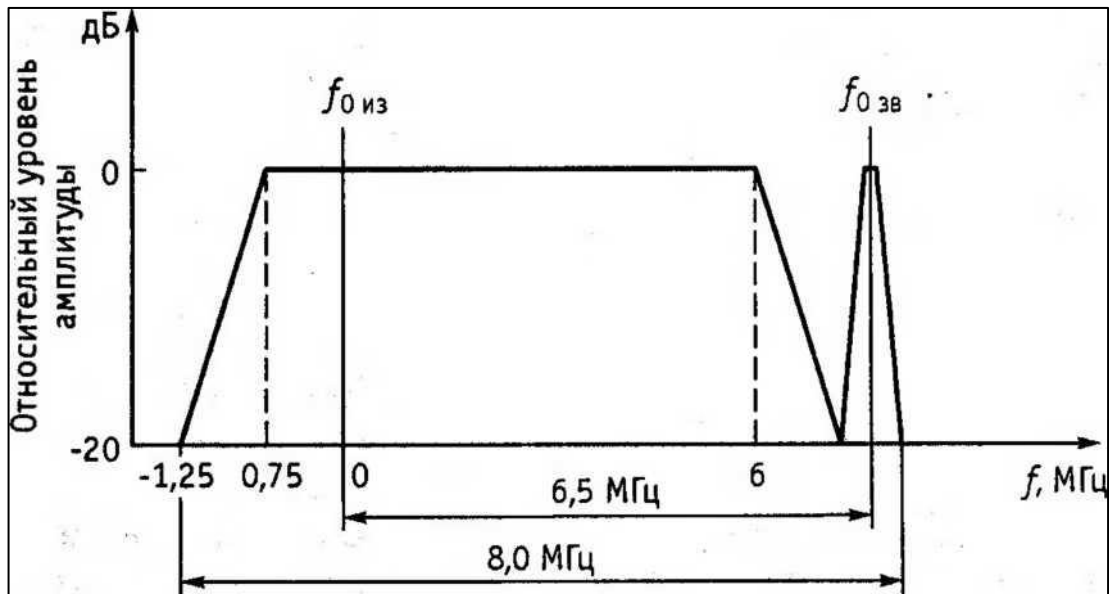


Рис. 3. Номинальные амплитудно-частотные характеристики радиопередатчиков изображения и звукового сопровождения

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

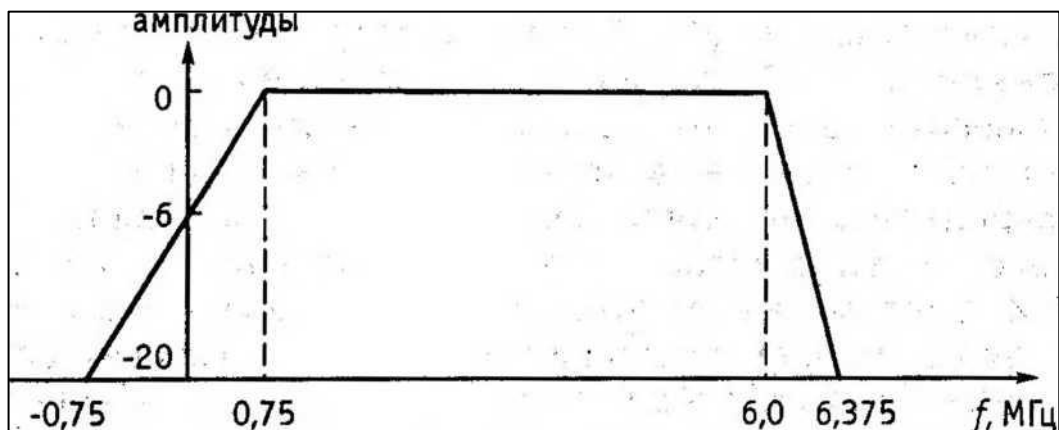


Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика радиотракта изображения телевизионного приемника

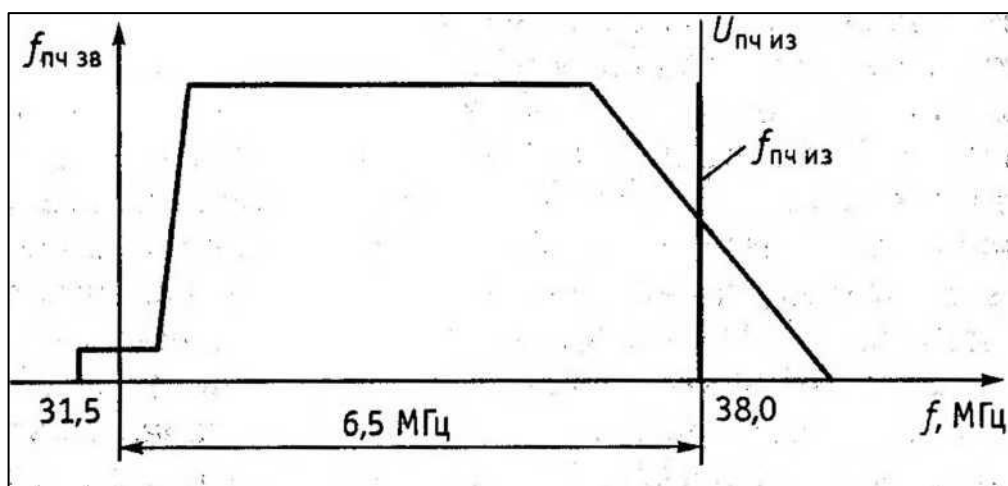


Рис. 5. АЧХ усилителя промежуточной частоты изображения телевизионного приемника

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 бэкромим названия системы: «Никогда дважды тот же цвет» (англ. *Never Twice the Same Color*), 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 цветосмешения, 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 [сека́м]) — 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

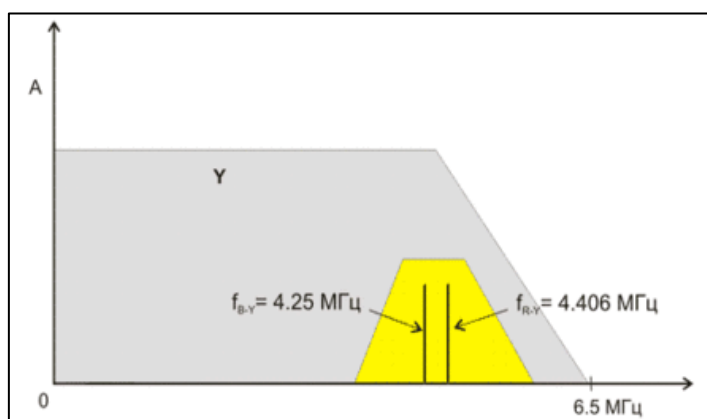


Рис. 6. Спектр телевизионного сигнала SECAM. Серое поле соответствует сигналу яркости, а жёлтое — сигналу цветности. Вертикальные линии обозначают составляющие поднесущей, соответствующие красному (4,406 МГц) и синему (4,25 МГц) цветоразностным сигналам при отсутствии модуляции.

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:

$$Y = 0,299R + 0,587G + 0,114B, \quad (2)$$

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  $D'_B$ .

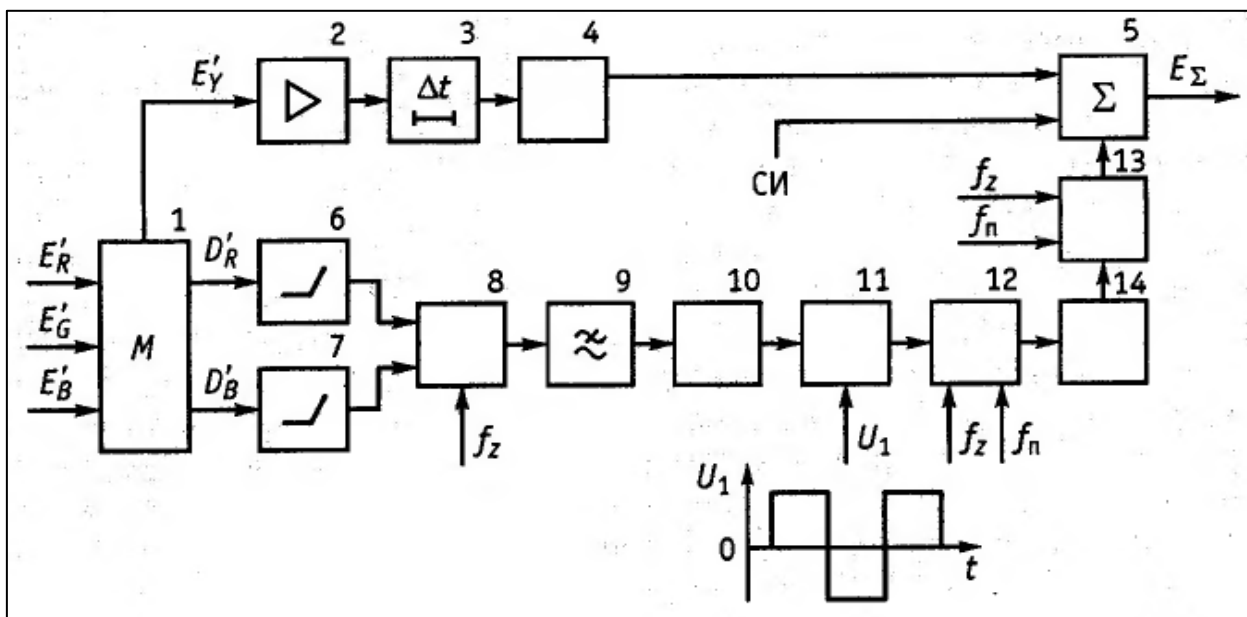


Рис. 7. Структурная схема кодирующего устройства SECAM-III

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 покая 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.

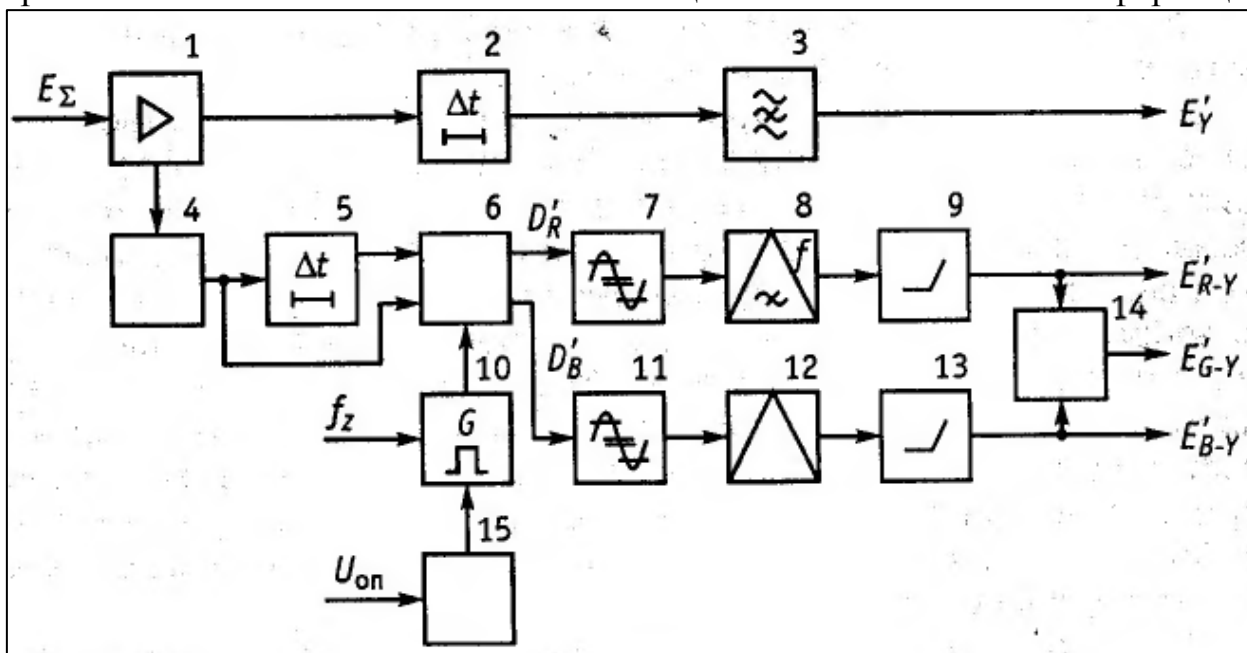


Рис. 8. Структурная схема декодирующего устройства SECAM-III

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  $U_{оп}$ .

**Главной особенностью системы SECAM**, отражённой в её названии, является передача во время интервала одной строки только одного цветоразностного сигнала из двух, передаваемых поочередно. 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 видеомагнитофона.

**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

перекрестные искажения между сигналами яркости и цветности, особенно заметные в виде цветных «факелов» в детализированных сюжетах с малой цветовой насыщенностью. Подавление возможных перекрестных 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 цветового 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. *Middle East SECAM* — 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

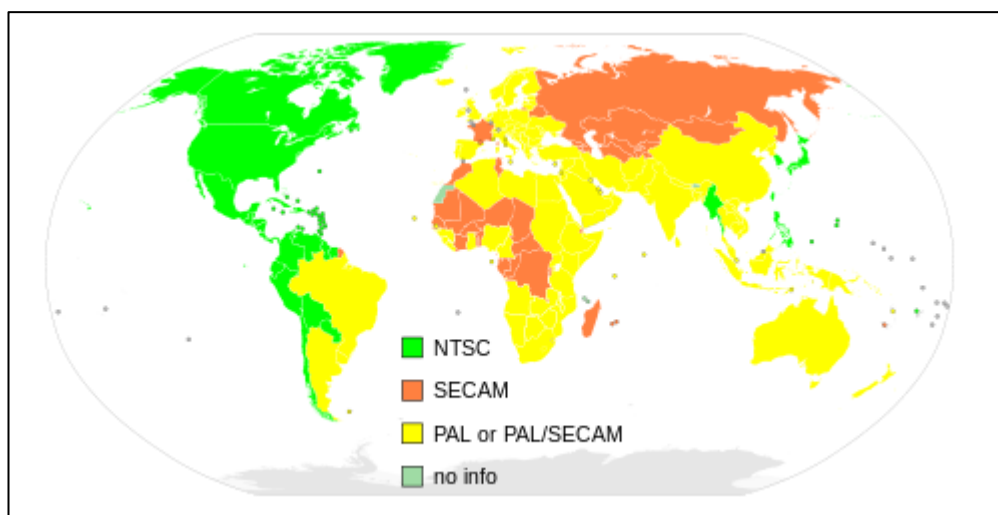


Рис. 9. Системы телевидения стран мира

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 SECAM, сделало такой переход невозможным. В настоящее время эфирное аналоговое вещание телевизионных каналов в России продолжается в системе SECAM. 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 видеоборудование стандарта SECAM 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

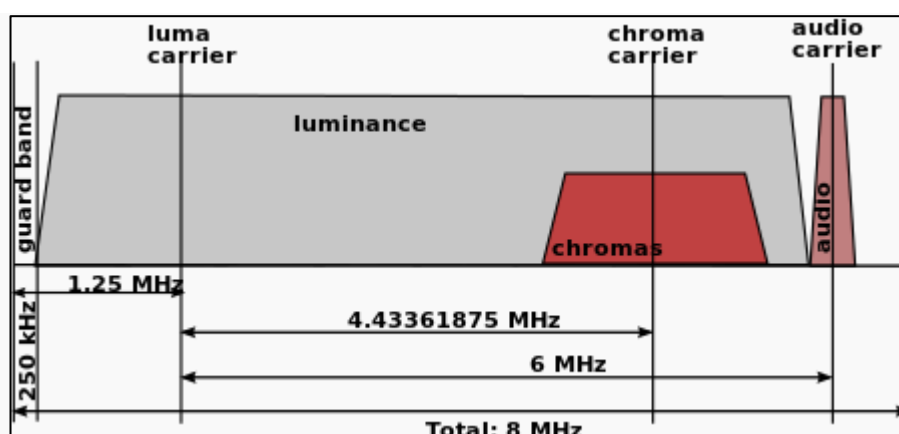


Рис. 10. Спектр телевизионного сигнала PAL. Показан PAL-I с разнесом частот 6,0 МГц между несущими изображения и звука (используется в Великобритании, Гонконге и Сингапуре). Коричневым цветом показан спектр поднесущей (Chroma)

**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. Исключение 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 получают 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

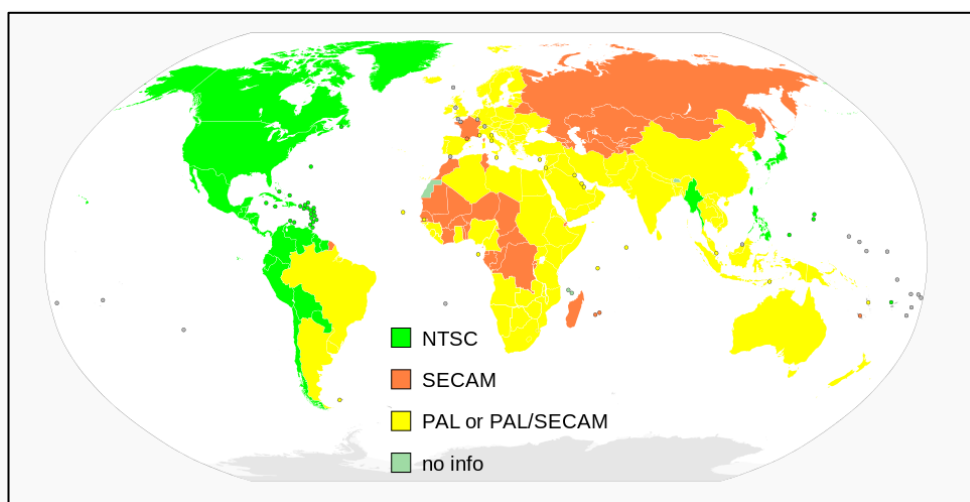


Рис. 11. Распространение разных систем по миру. Жёлтым цветом обозначены страны, использующие PAL

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. *Picture At Last* (Наконец-то, картинка!) или англ. *Pay for Added Luxury* (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

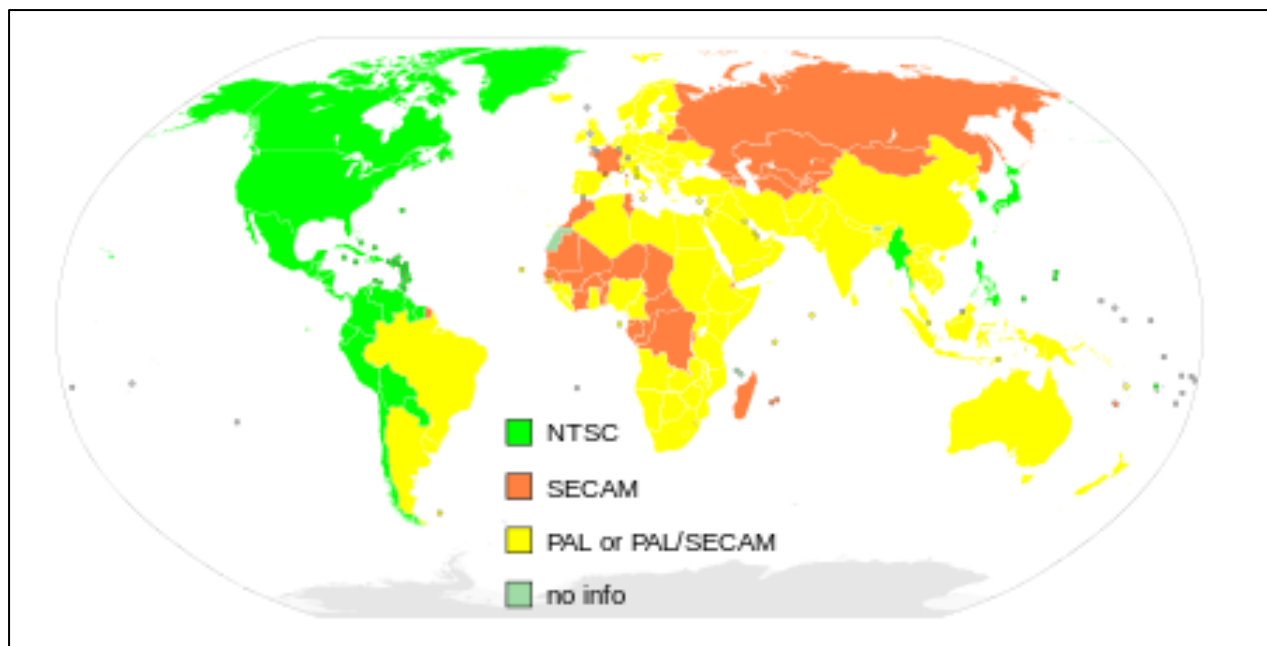


Рис. 12. Страны, использующие систему NTSC, обозначены зелёным цветом

США, Канаде, Мексике, Японии, Южной Коре, Тайване, на Филиппинах и в ряде стран Южной Америки.

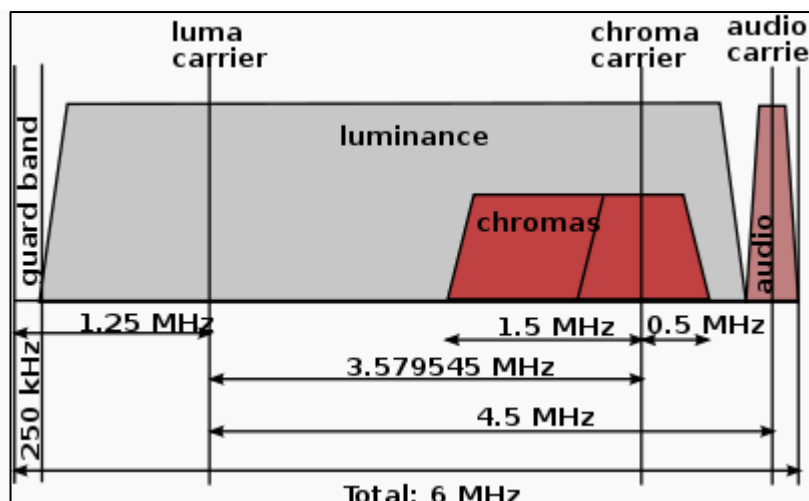


Рис. 13. Спектр телевизионного сигнала NTSC M

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 совместности 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:

$$U = \sqrt{E_{R-Y}^2 + E_{B-Y}^2}, \quad (3)$$

$$\phi = \arctan \frac{E_{R-Y}}{E_{B-Y}}, \quad (4)$$

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.

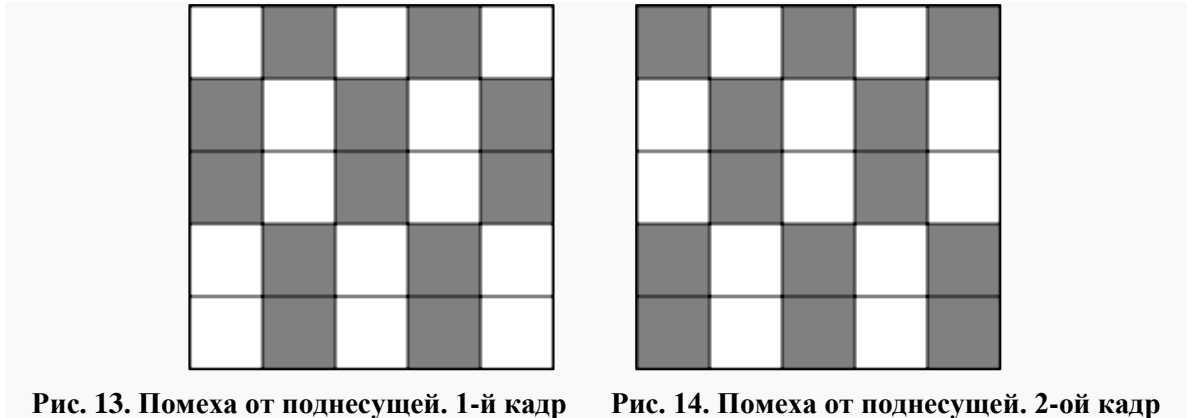


Рис. 13. Помеха от поднесущей. 1-й кадр

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.

$$E_I = \alpha_1 E_{R-Y} \cos 33 - \alpha_2 E_{B-Y} \cos 57; \quad (5)$$

$$E_Q = \alpha_1 E_{R-Y} \cos 57 + \alpha_2 E_{B-Y} \cos 33; \quad (6)$$

$$\alpha_1 = 0,877; \alpha_2 = 0,493; \quad (7)$$

$$E_I = 0,74 E_{R-Y} - 0,27 E_{B-Y}; \quad (8)$$

$$E_Q = 0,48 E_{R-Y} + 0,41 E_{B-Y}. \quad (9)$$

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. *Never Twice the Same Color* (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, встроенных 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 отличает высокий уровень 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  $180^\circ$ .

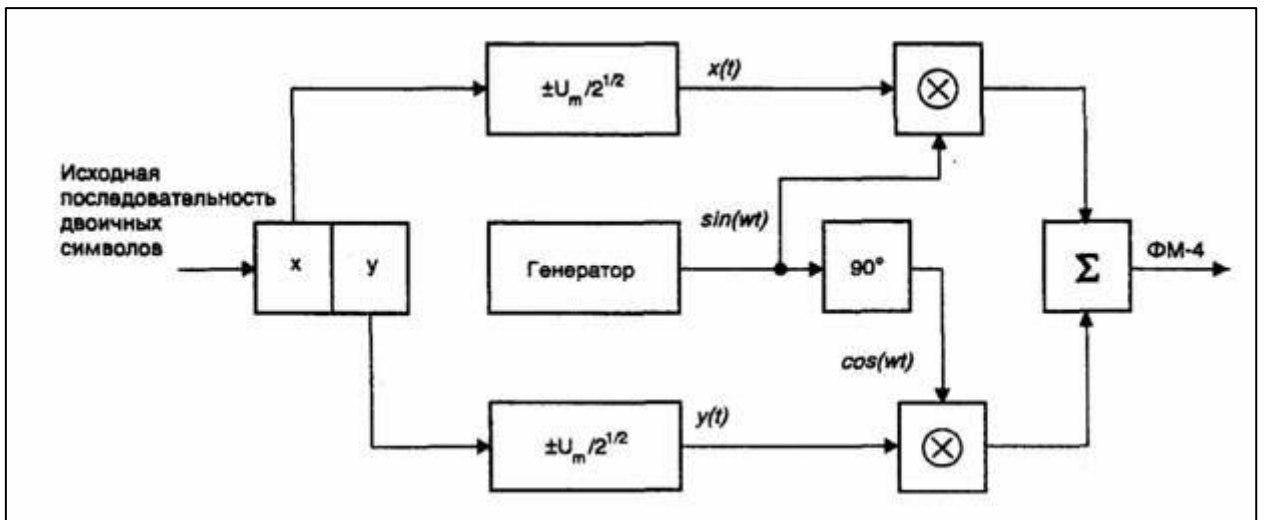


Рис. 15. Схема квадратурного модулятора

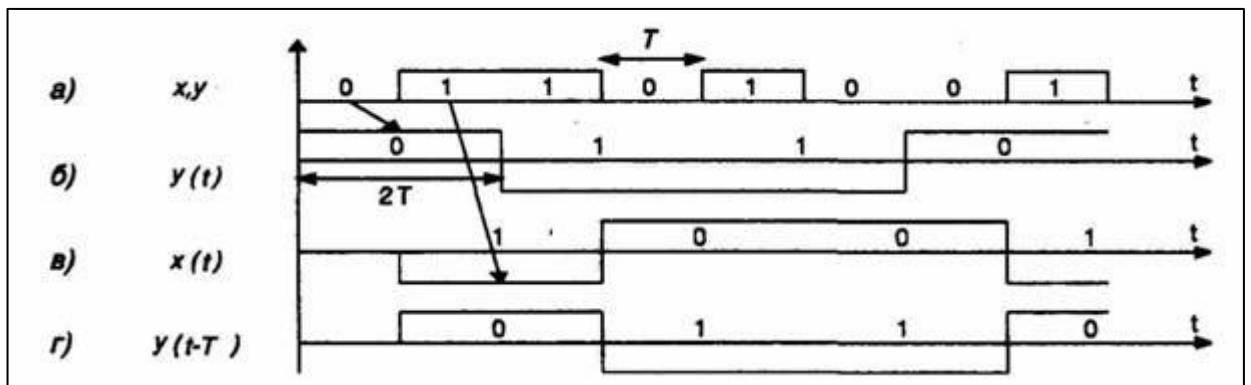


Рис. 16. Формирование сигналов OQPSK

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).

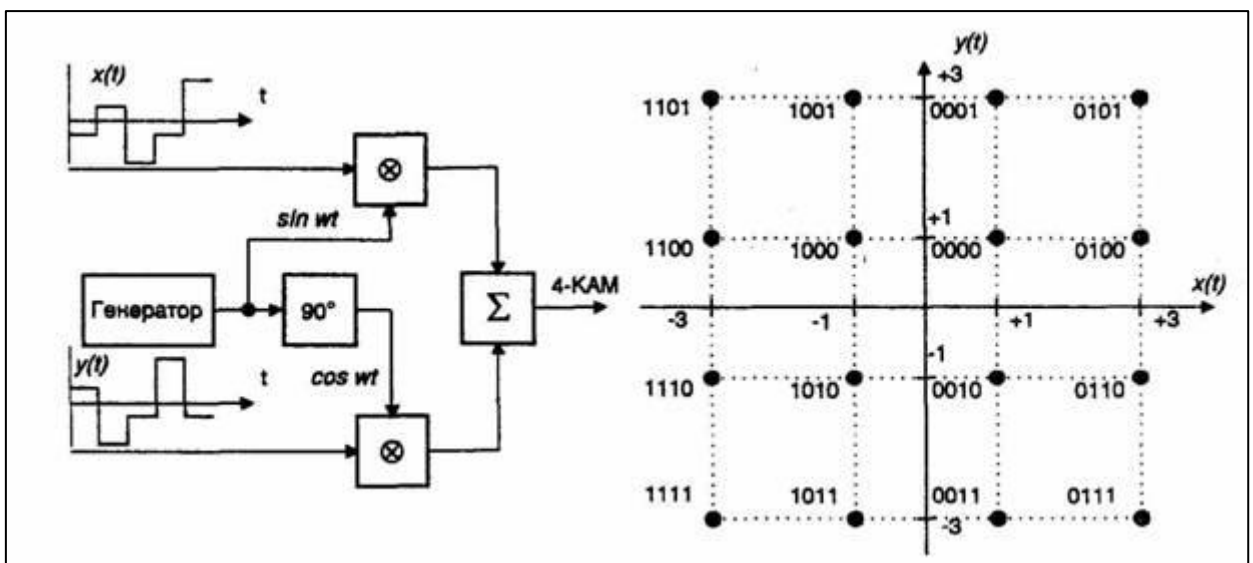


Рис. 17. Схема модулятора и сигнальная диаграмма КАМ-4

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:

$$d = 2 \sin(\pi / M), \text{ где } M \text{ — число фаз, } (13)$$

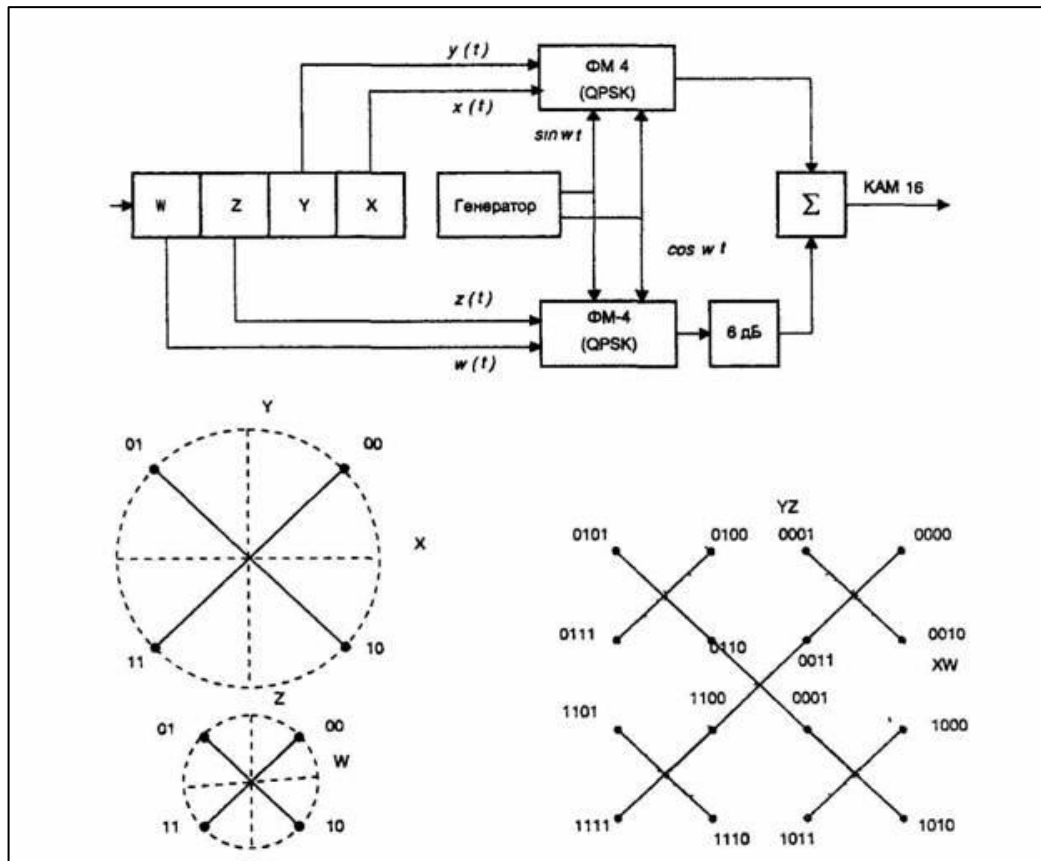


Рис.18. Схема модулятора КАМ-16

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  $M = 32$  ( $L = 6$ ) –  $d_{КАМ} = 0,283$ ,  $d_{ФМ} = 0,196$

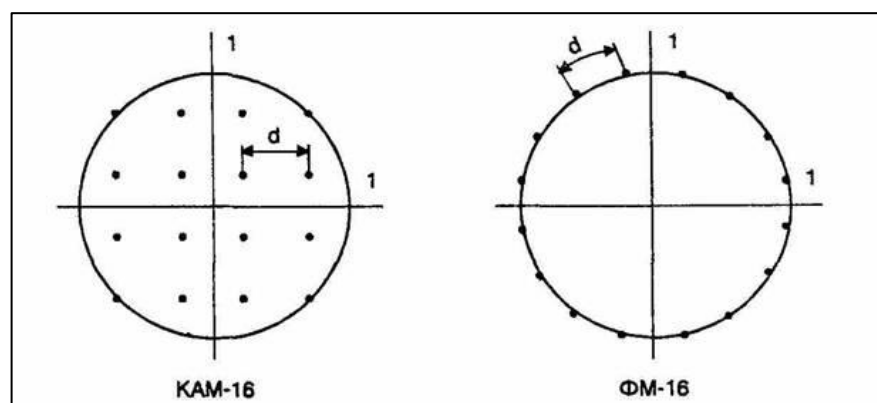


Рис. 19. Сигнальные созвездия КАМ 16 и ФМ-16

### 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 и  $I(t)$ , 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».

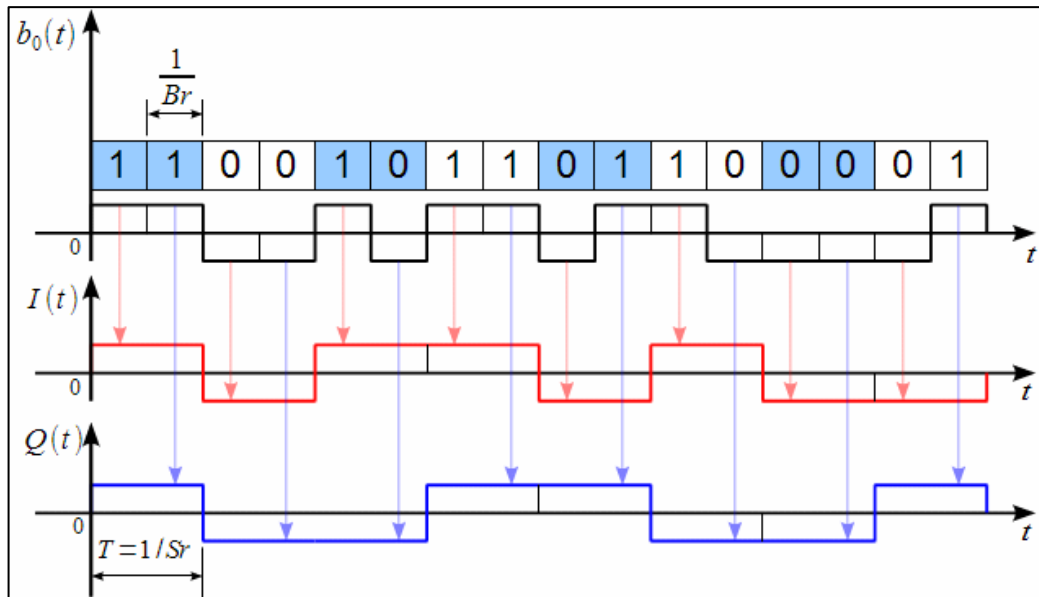


Рис.21 Синфазная и квадратурная составляющие QPSK сигнала

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  $T = 1/Sr$  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.

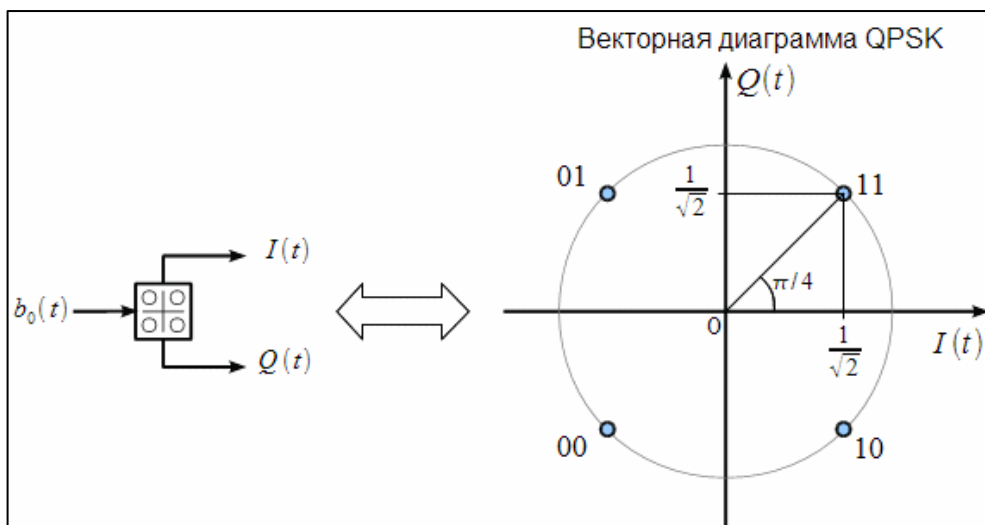


Рис. 22. Устройство кодирования синфазной и квадратурной составляющих на основе созвездия QPSK

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.

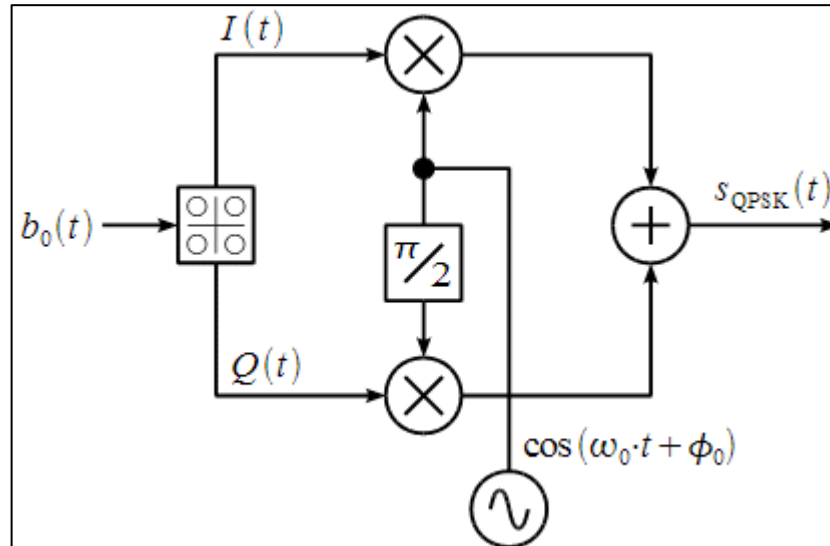


Рис.23. Структурная схема QPSK модулятора

Сигнал  $S_{QPSK}(t)$  имеет вид:

$$s_{QPSK}(t) = I(t) \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + \phi_0) - Q(t) \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + \phi_0), \quad (14)$$

Синфазная  $I(t)$  и квадратурная  $Q(t)$  составляющие это ничто иное, как реальная и мнимая части комплексной огибающей QPSK  $S_{QPSK}(t)$  сигнала  $z(t) = I(t) + jQ(t)$ , которые являются входными сигналами квадратурного модулятора. Тогда можно представить через его комплексную огибающую  $z(t)$ :

$$S_{QPSK}(t) = \text{Re}[z(t)\exp(j\omega_0 t)], \quad (15)$$

Из комплексной огибающей можно выделить фазовую огибающую как:

$$\phi(t) = \arctan \frac{Q[z(t)]}{I[z(t)]} = \arctan\left(\frac{Q(t)}{I(t)}\right), \quad (16)$$

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.

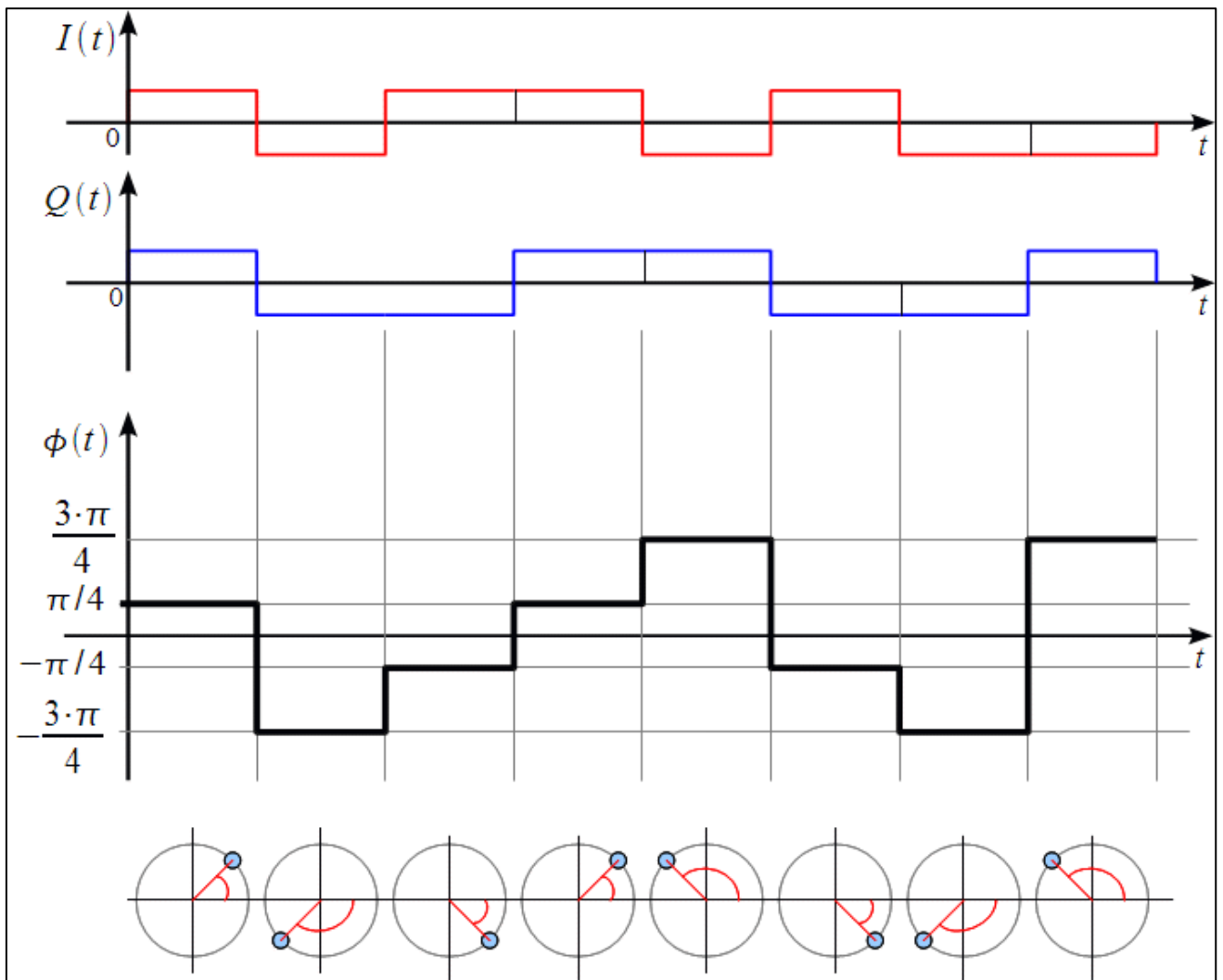


Рис. 24. Фазовая огибающая QPSK сигнала

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  $z(t)$ :

$$a(t) = \sqrt{I^2(t) + Q^2(t)}, \quad (17)$$

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  $V_r=10$  кбит/с и несущей частоте 20 кГц показан на рис.25.

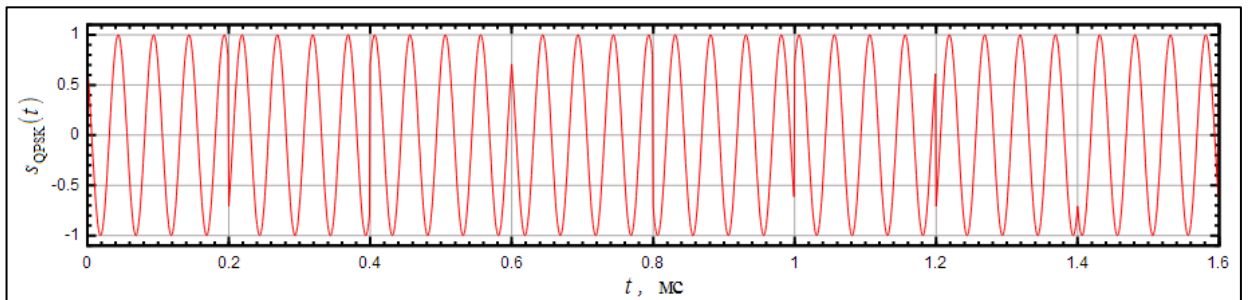


Рис. 25. Осциллограмма QPSK сигнала

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  $V_r=10$  кбит/с мы имеем символьную скорость  $S_r=V_r/2=5$  кбит/с, и длительность одного символа  $T=1/S_r=0.2$  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  $V_r=10$  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  $S_r$  QPSK сигнала вдвое меньше скорости передачи информации  $V_r$ , в то время как символьная скорость BPSK равна скорости передачи информации. Уровни боковых лепестков QPSK и BPSK равны.

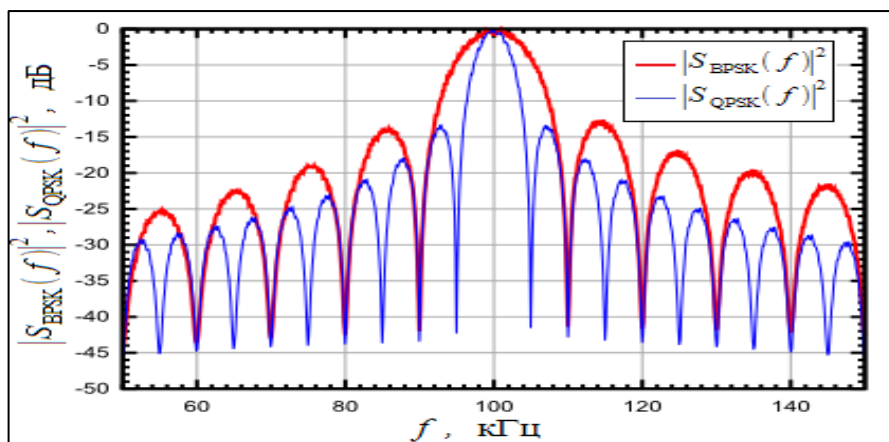


Рис. 26. Спектр QPSK сигнала

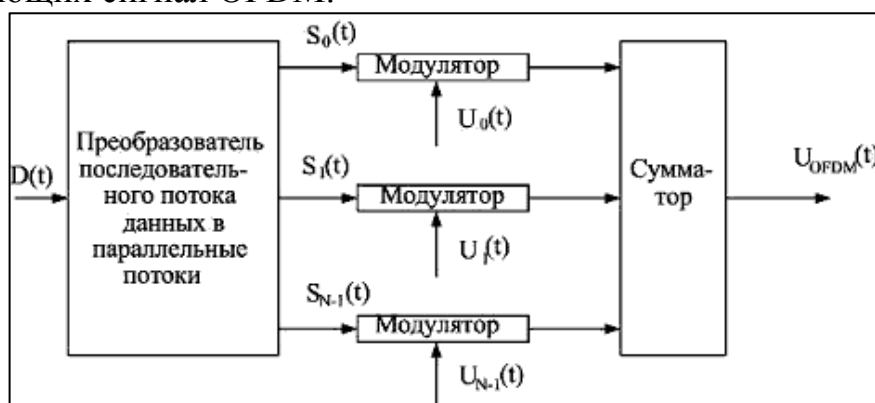
## 1.9. Способ частотного уплотнения с ортогональными несущими (OFDM)

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  $f_o$ . На практике частоты несущих соответствуют уравнению

$$U_n t = U_0 \cos 2\pi f_o + \frac{n}{T_s} t, (18)$$

где  $f_o$  - 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 демультимплексируется, 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 потребуются 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.

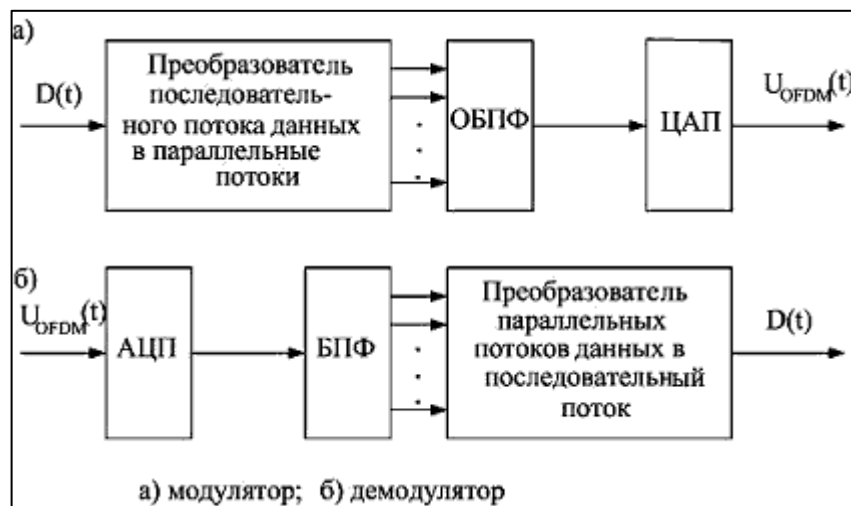


Рис.29. Функциональные схемы модуляции и демодуляции типа OFDM с помощью обратного и прямого преобразований Фурье

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)

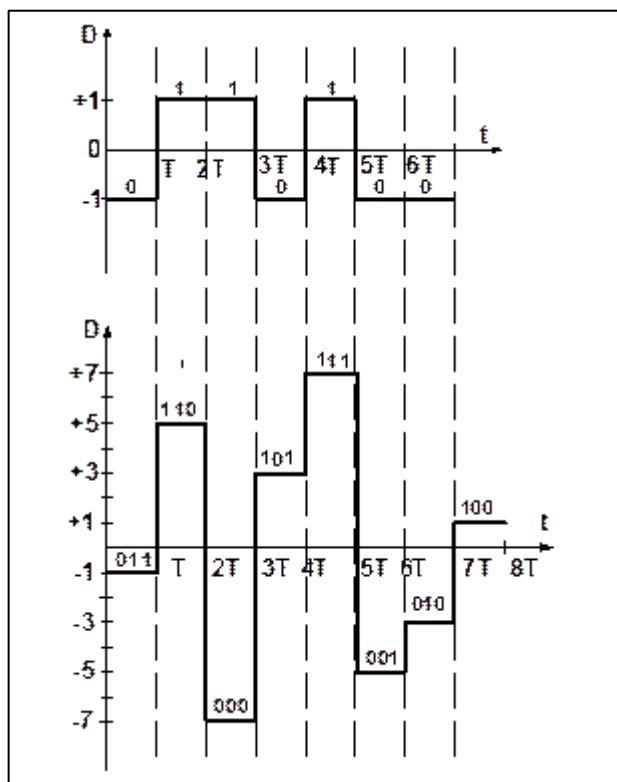


Рис. 30. Двухуровневые и восьмиуровневые модулирующие сигналы

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

этим 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 Т 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  $2 \times 3 - 1$  бита. Таким образом, при одинаковой скорости передачи символов в той же полосе частот, в кабельных сетях система позволяет передавать в два раза больше информации  $2 \times 19,39$  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).

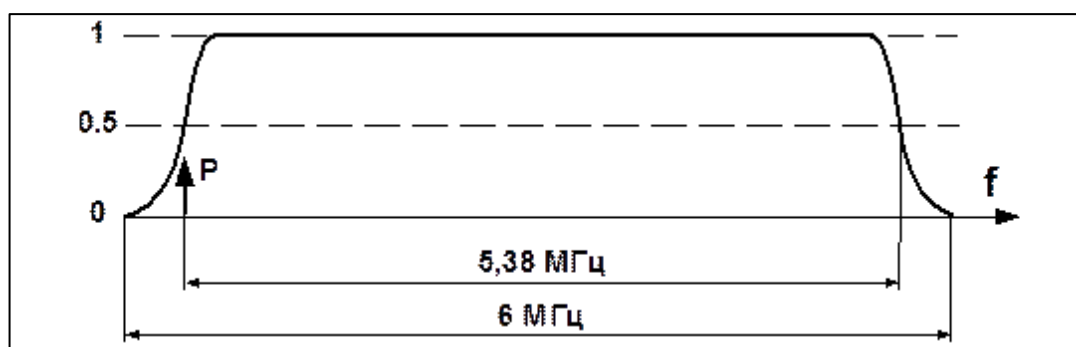


Рис. 31. Спектр сигнала

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

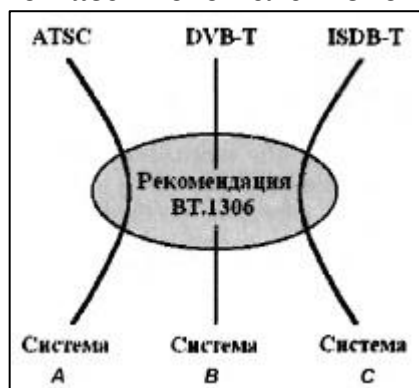


Рис. 31. Системы цифрового наземного ТВ вещания

## 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

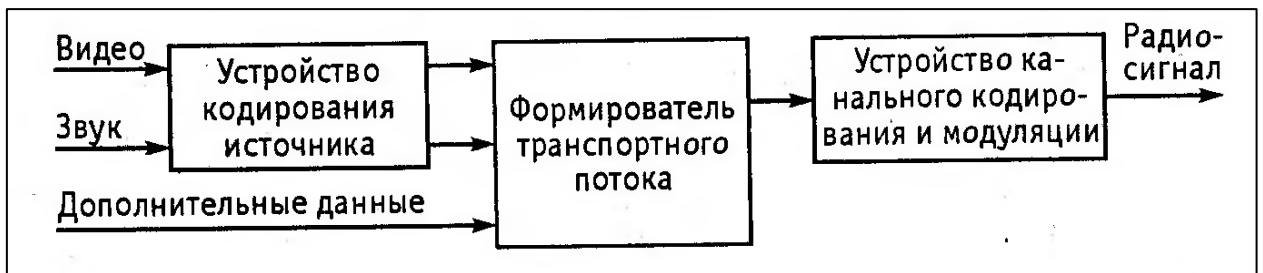


Рис. 32. Цифровая система наземного телевизионного вещания

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 DVB Project 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 subsystems 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 <sup>A</sup>	1280	720
-----------------------------------	-------------------	------	-----

Система 8-VSB ATSC 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 вначале 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 мультиплекса 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.

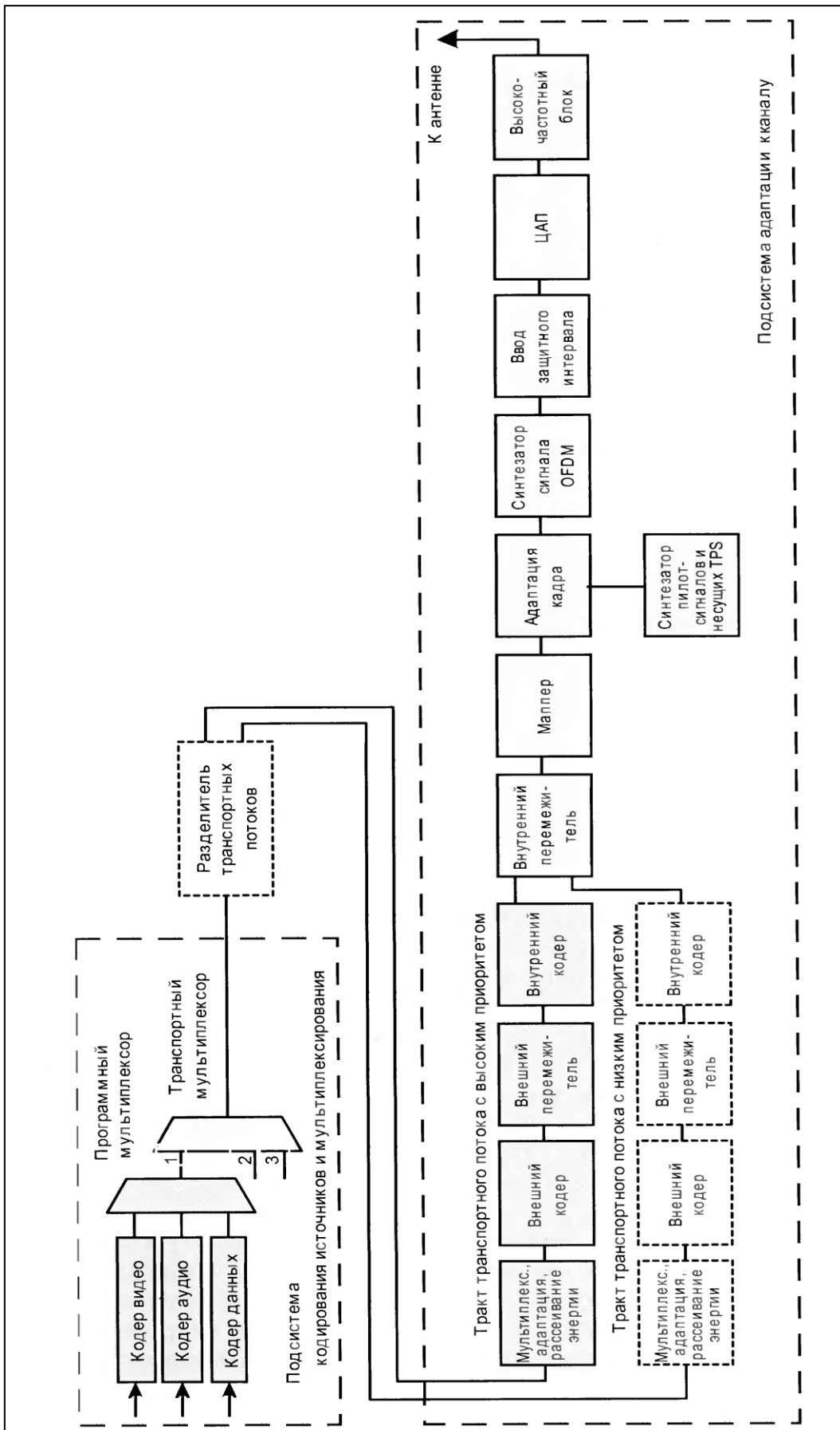


Рис. 33. Структурная схема передающей части системы DVB-T.

Выход транспортного мультимплекса 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

Параметр	Значение интервалов длительности фрагментов символа OFDM в режимах							
	8k				2k			
Относительный защитный интервал $T_G/T_U$	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
Длительность полезной части символа $T_U$ , мкс	896				224			
Длительность защитного интервала $T_G$ , мкс	224	112	56	28	56	28	14	7
Длительность символа $T_S = T_G + T_U$ , мкс	1120	1008	952	924	280	252	238	231

### **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 высококлассного 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).

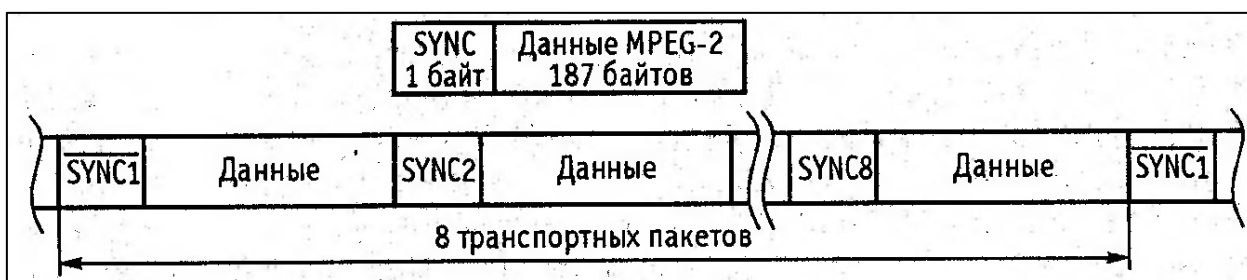


Рис. 35. Адаптация транспортных пакетов MPEG-2

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

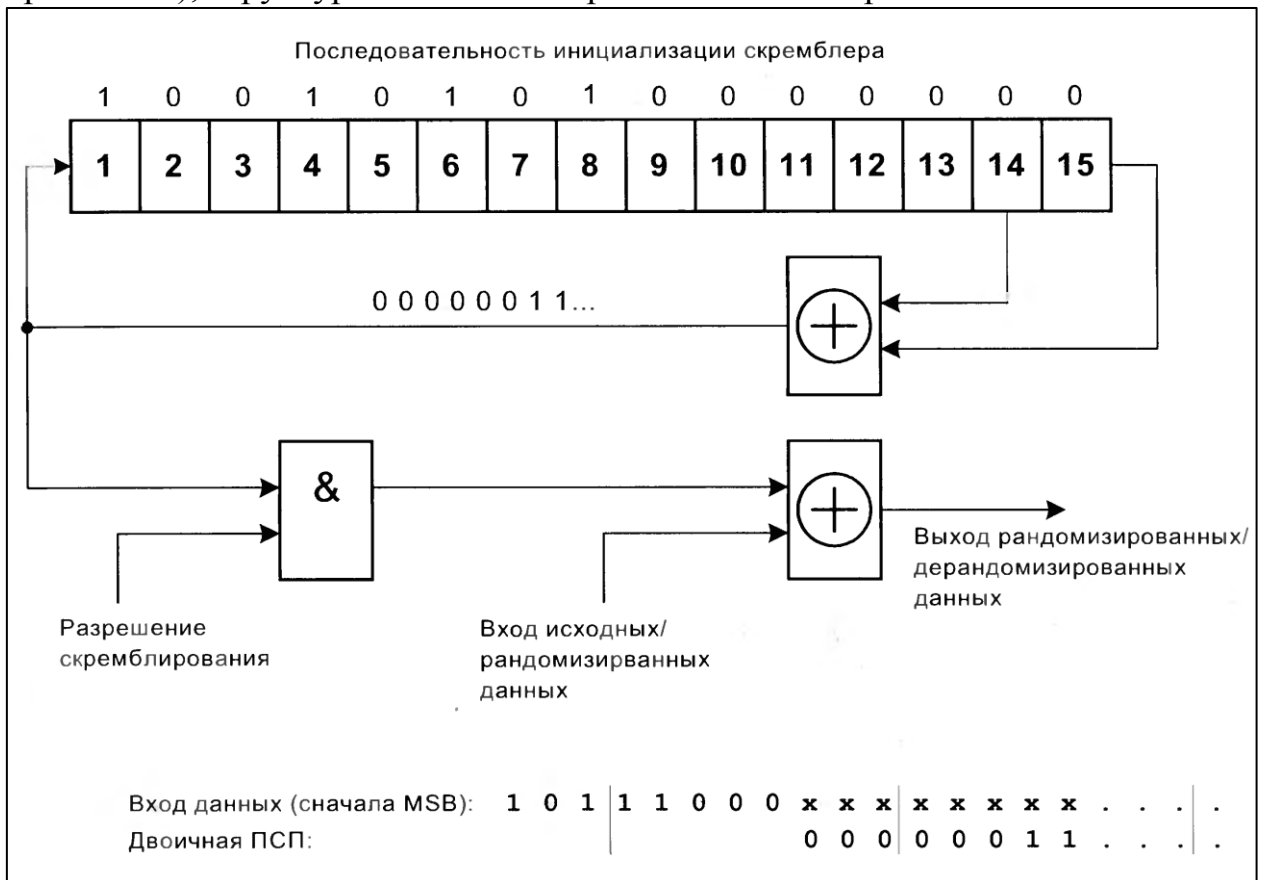


Рис. 36 Структурная схема скремблера-дескремблера в системе DVB-T

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).

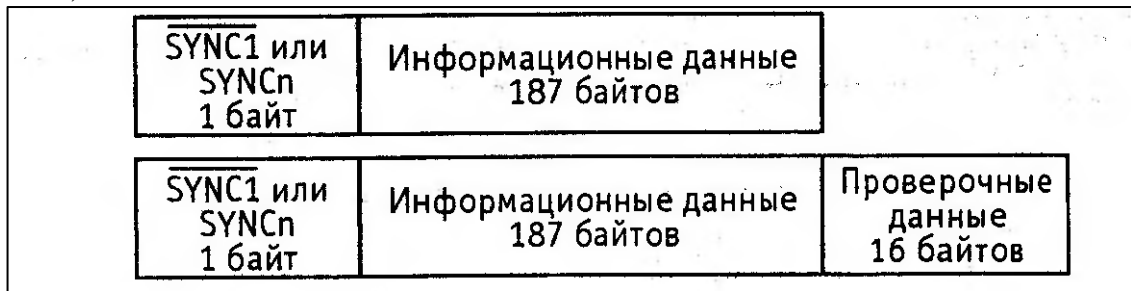


Рис. 37 Формирование пакетов данных с защитой от ошибок

Кодированию подлежит целиком транспортный пакет длиной 188 байт, включая его синхробайт (как неинвертированный, так и инвертированный). Генераторный полином укороченного кода Рида-Соломона имеет вид:

$g(x) = (xH - X, 0)(x + X, 1)(x + X(2)...(xH - X, 15)$ , где  $\lambda = 02\text{нех}$ , (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

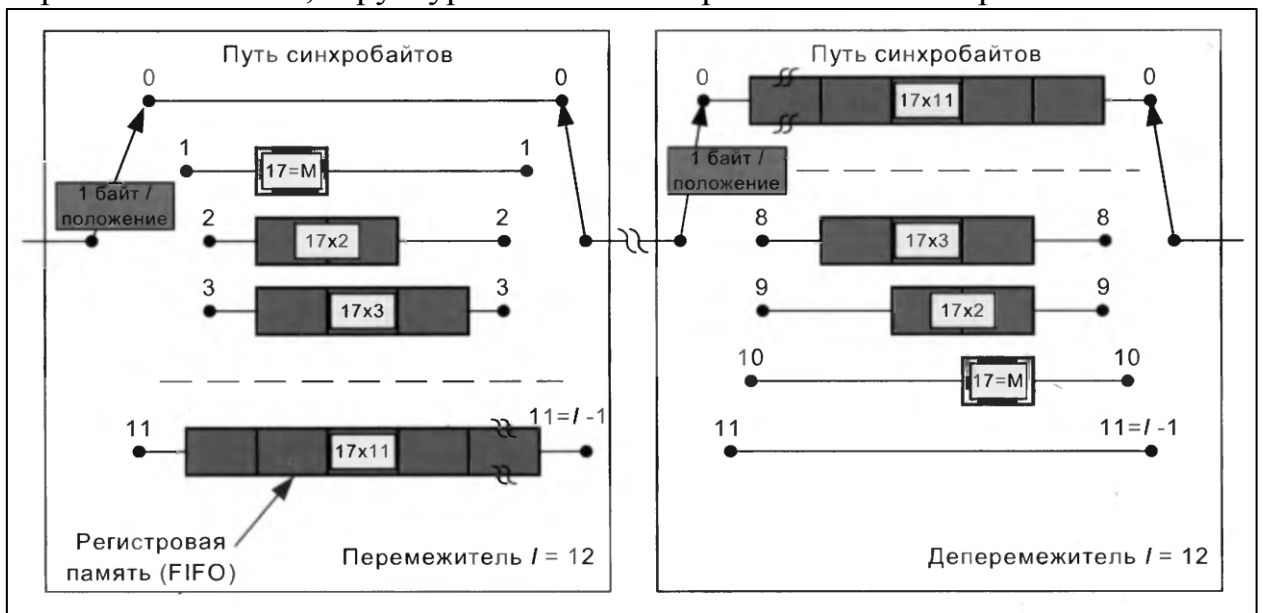


Рис. 38 Структурная схема устройства для внешнего сверточного перемежения-деперемежения в системе DVB

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 17x11 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)  $G_1=171_{\text{Oct}}$  и  $G_2=133_{\text{Oct}}$ .

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 закодированной 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.

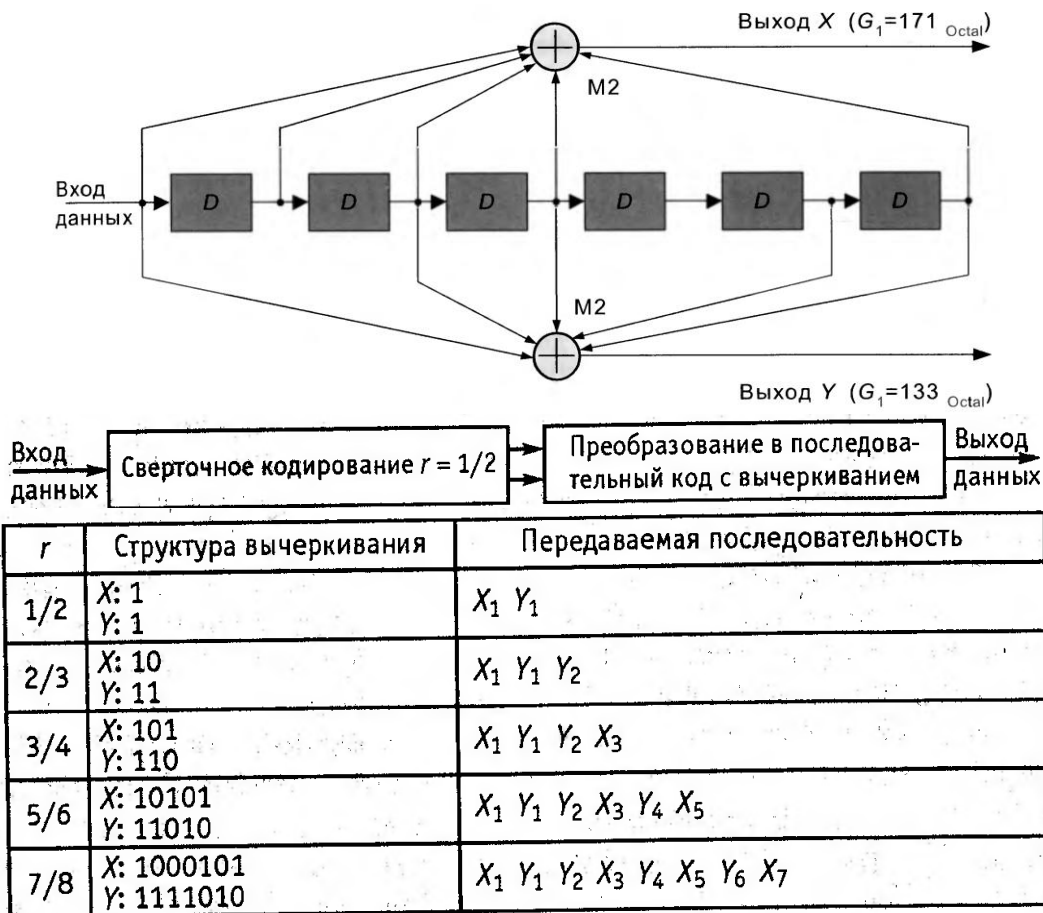


Рис. 39. 1) Структурная схема внутреннего сверточного кодера в системе DVB; 2) Кодирование с удалением проверочных битов; 3) Таблица кодирования

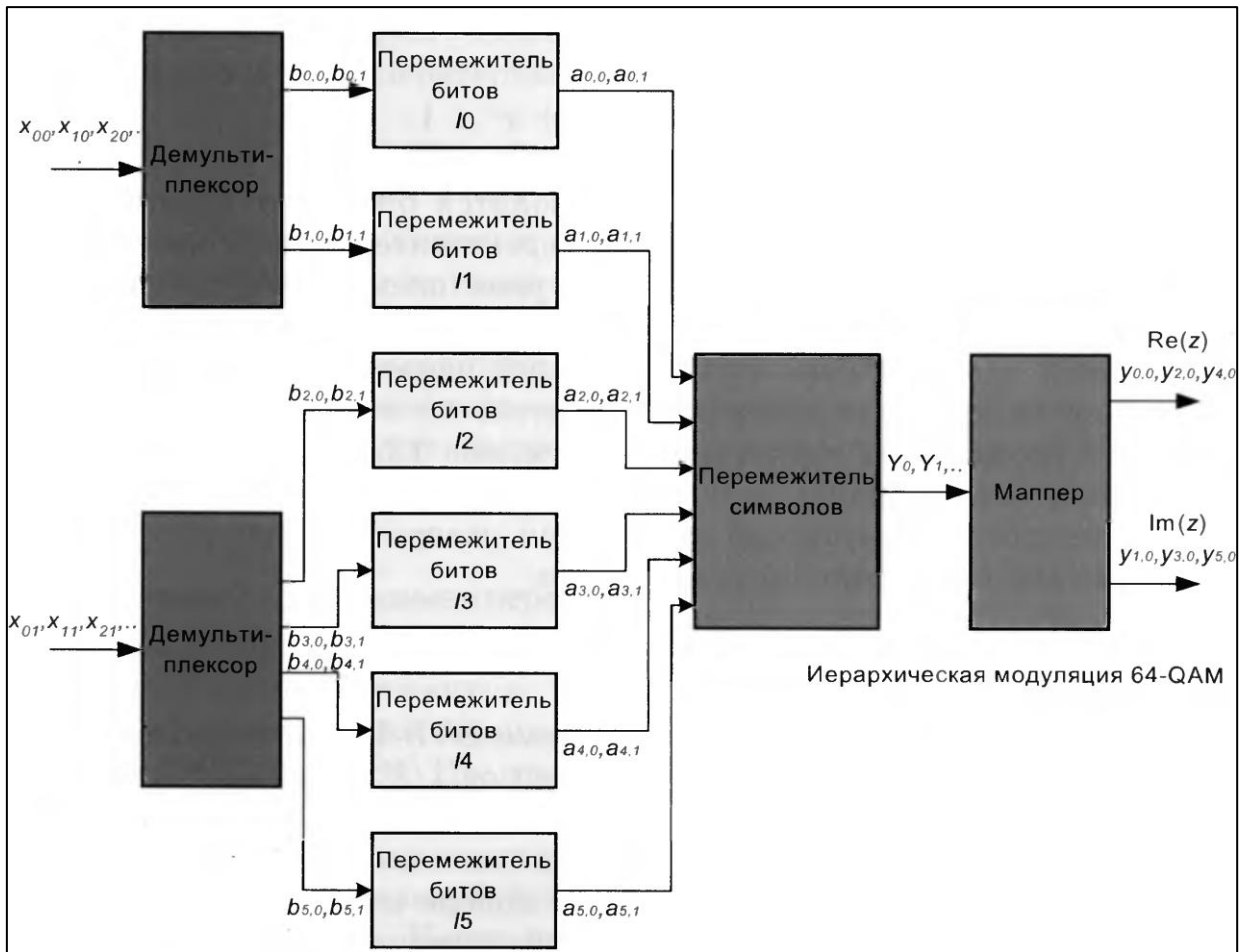


Рис. 40. Структурная схема внутреннего перемежителя в системе DVB-T

### 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  $[x_{01}, x_{11}, x_{21} \dots]$ . 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 демультимплексирования 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  $I0$  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.

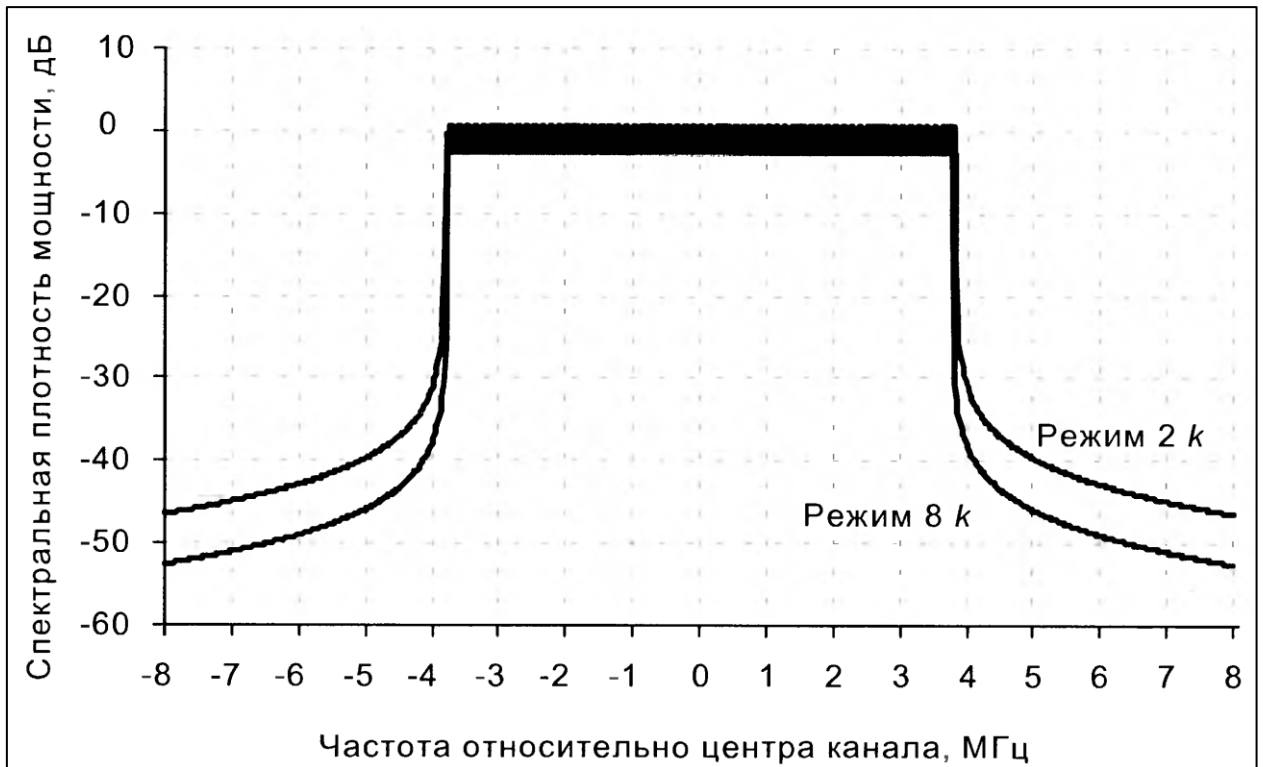


Рис. 41. Маска спектра системы DVB-T

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  $T_{in}$ , во время

которого передаются входные данные передатчика, т.е. полезная информация (интервал  $T_u$  и называется «полезным»), и защитного интервала  $T_G$ . Защитный интервал представляет собой копию, или циклическое повторение части полезного интервала, которая вставляется перед полезным (рис. 42).

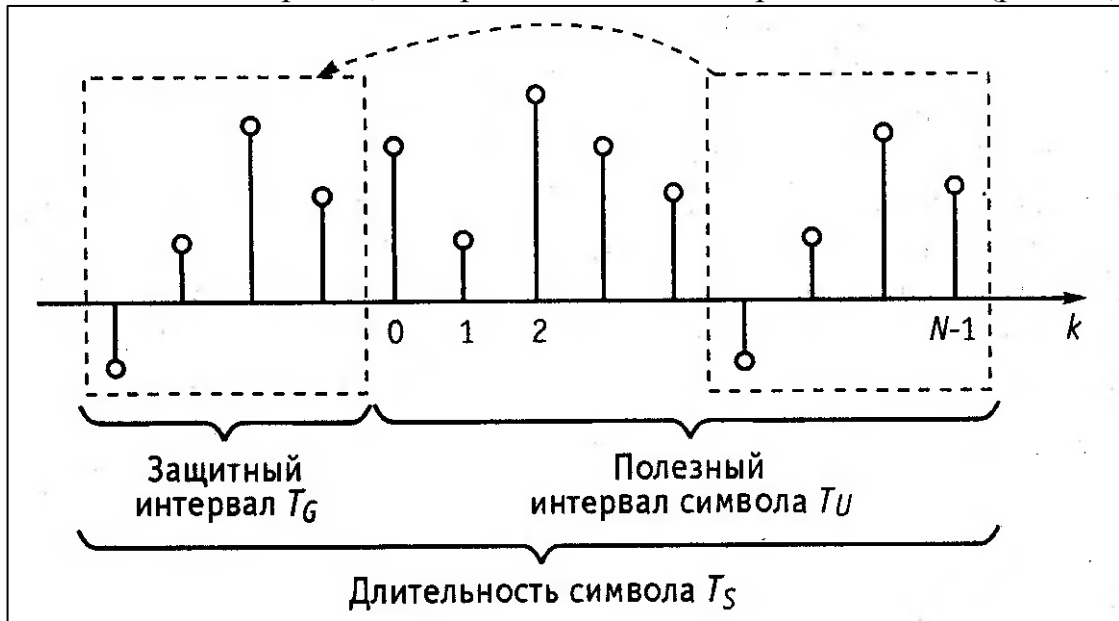


Рис. 42. Структура сигнала OFDM на интервале передачи одного символа OFDM

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  $2k$ .

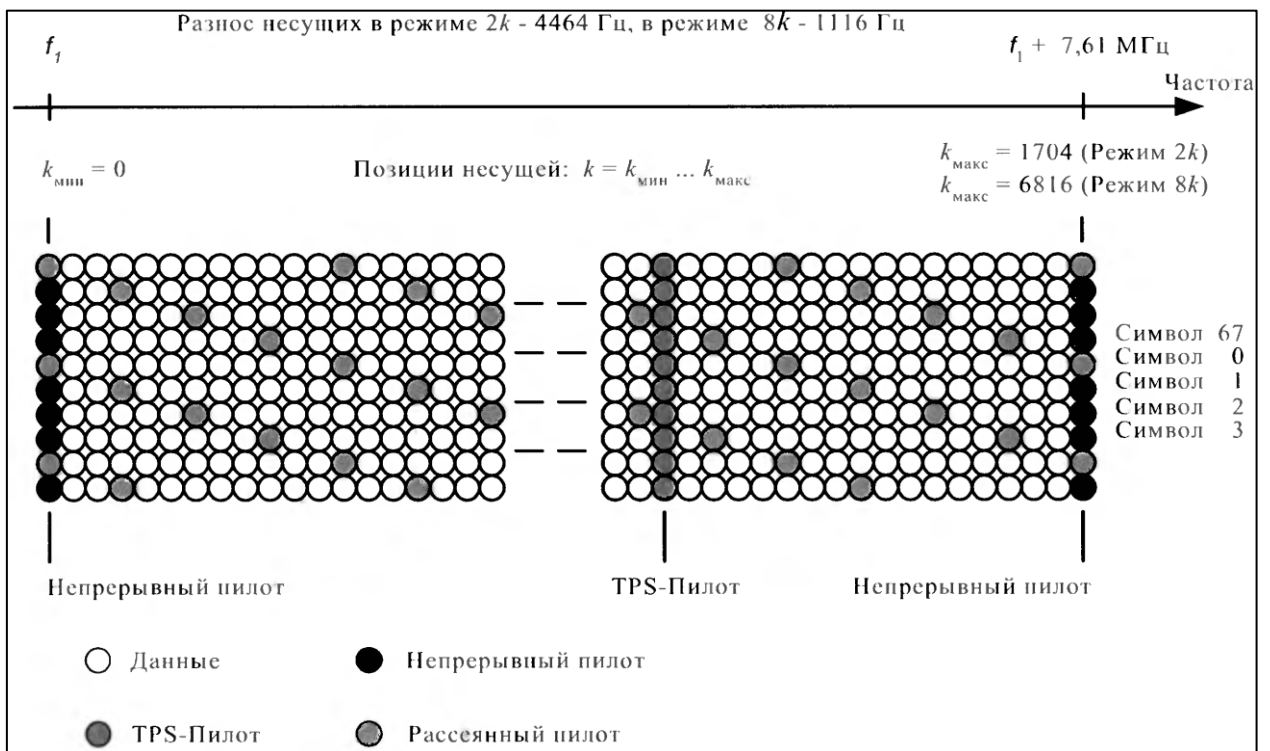


Рис. 43. Структура кадра данных системы DVB-T

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**

Параметр	Значение для режима	
	8k	2k
Число несущих в символе OFDM	6817	1705
Число несущих полезных данных в символе OFDM	6048	1512
Число рассредоточенных пилот-сигналов в кадре OFDM	524	131
Число непрерывно повторяющихся пилот-сигналов в кадре OFDM	177	45
Число несущих сигнализации о параметрах передачи в кадре OFDM	68	17
Длительность полезной части символа OFDM, мкс	896	224
Разнос соседних несущих, Гц	1116	4464
Разнос между крайними несущими в символе OFDM, МГц	7,608258	7,611607

### **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:  $R_{su} = R_s * b * CR_i * CR_s * (T_u/T_s)$  (здесь  $b$  - количество 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

Модуляция	$CR_i$	C/N, дБ (гауссов канал)	Скорость передачи данных, Мбит/с			
			$T_G/T_U = 1/4$	$T_G/T_U = 1/8$	$T_G/T_U = 1/16$	$T_G/T_U = 1/32$
QPSK	1/2	3,1	4,98	5,53	5,85	6,03
QPSK	2/3	4,9	6,64	7,37	7,81	8,04
QPSK	3/4	5,9	7,46	8,29	8,78	9,05
QPSK	5/6	6,9	8,29	9,22	9,76	10,05
QPSK	7/8	7,7	8,71	9,68	10,25	10,56
QAM-16	1/2	8,8	9,95	11,06	11,71	12,06
QAM-16	2/3	11,1	13,27	14,75	15,61	16,09
QAM-16	3/4	12,5	14,93	16,59	17,56	18,10
QAM-16	5/6	13,5	16,59	18,43	19,52	20,11
QAM-16	7/8	13,9	17,42	19,35	20,49	21,11
QAM-64	1/2	14,4	19,91	22,12	23,42	24,13
QAM-64	2/3	16,5	19,91	22,12	23,42	24,13
QAM-64	3/4	18,0	22,39	24,88	26,35	27,14
QAM-64	5/6	19,3	24,88	27,65	29,27	30,16
QAM-64	7/8	20,1	26,13	29,03	30,74	31,67

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 перекрывает 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-ого поколения – ЗУСЦТ;
- Унифицированные стационарные полупроводниково-интегральные телевизоры 4-ого поколения - 4УСЦТ;
- Унифицированные стационарные полупроводниково-интегральные телевизоры 5-ого 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.

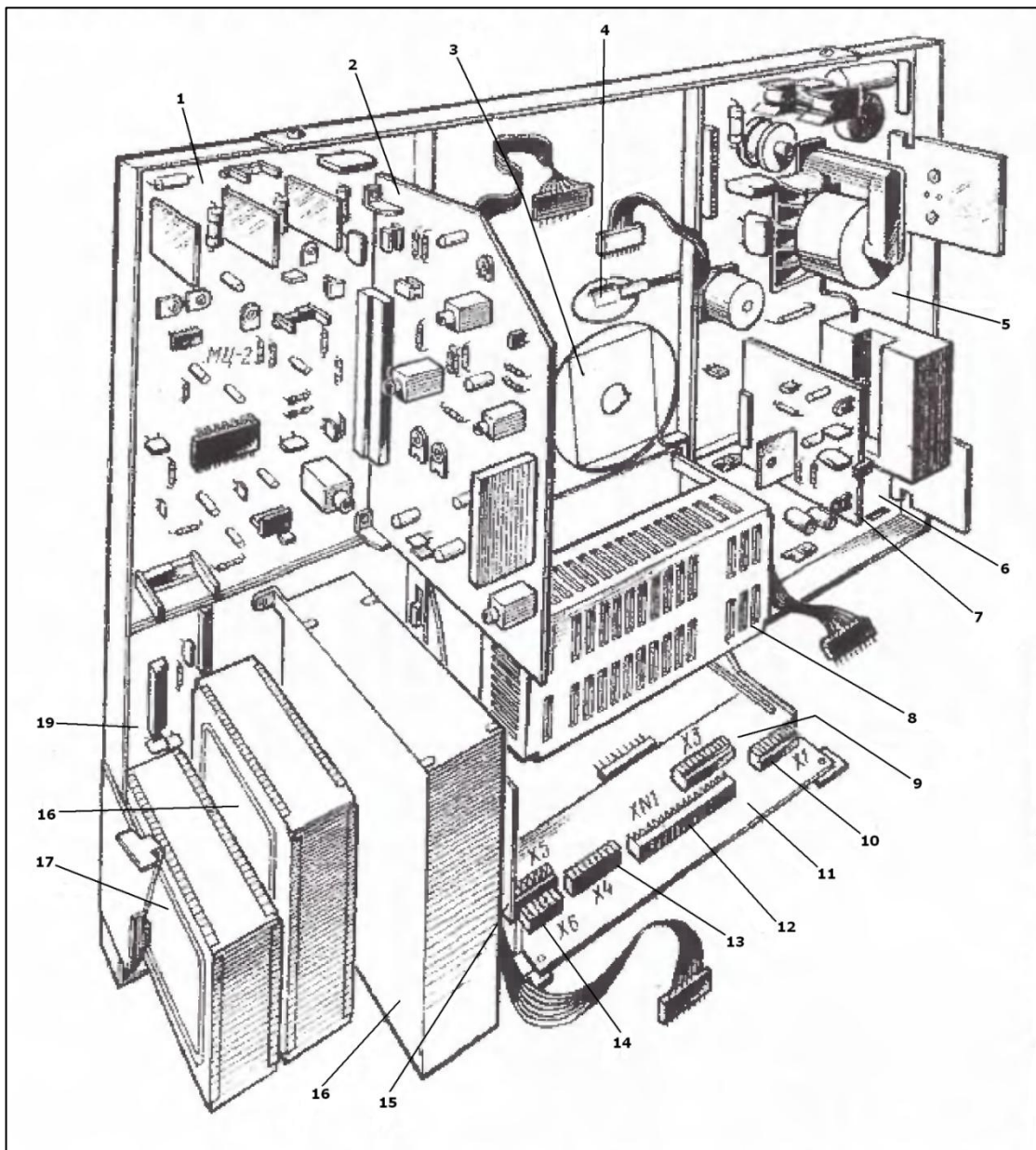


Рис. 44. Расположение модулей и submodule на моношасси телевизора ЗУСЦТ

Расположения блока управления платы с регуляторами тембра и цветовых тонов соединителей для подключения видеомэгнофона 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**

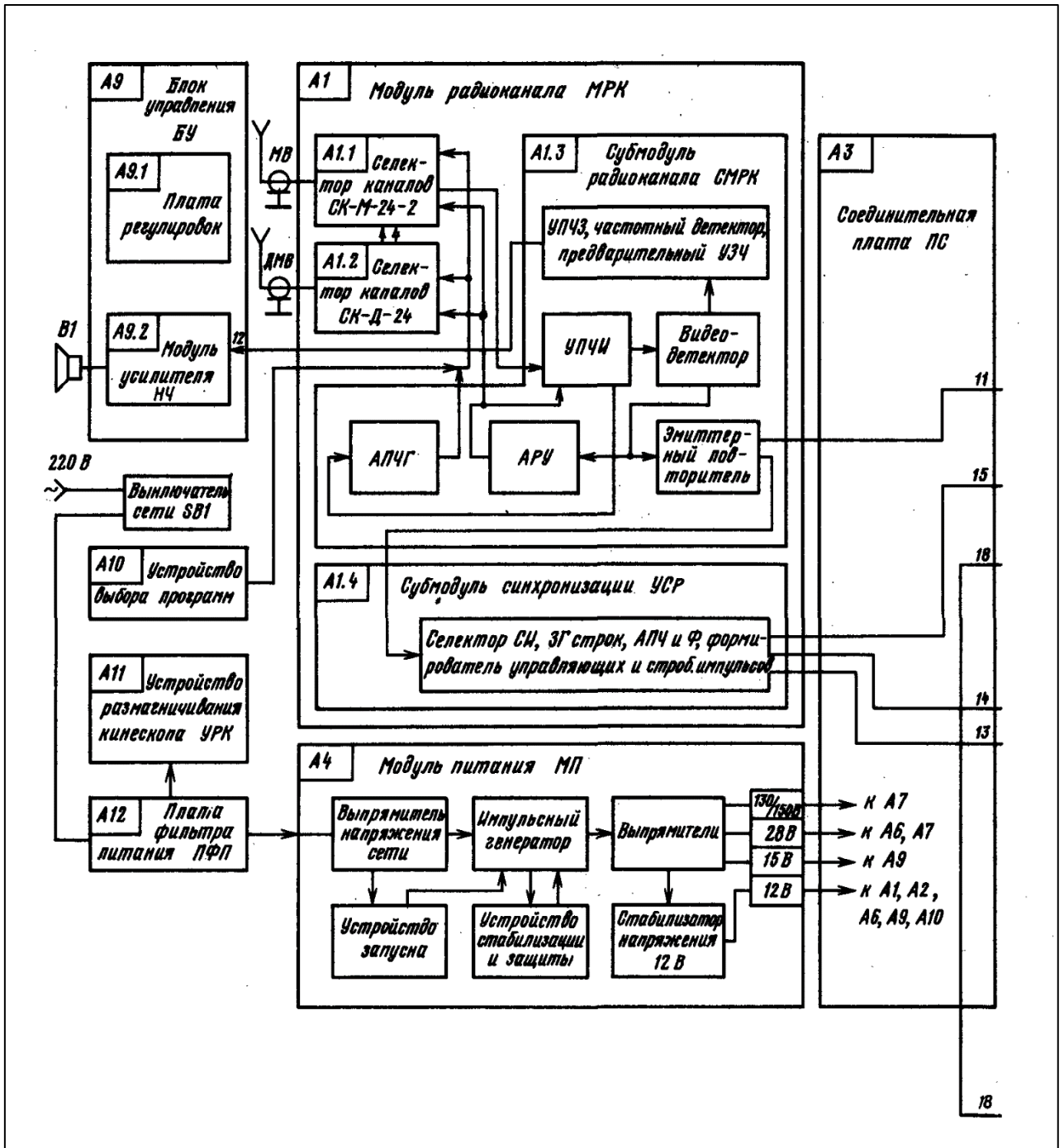


Рис. 48. Структурная схема телевизора унифицированной модели третьего поколения. Блок управления (БУ) А9 предназначен для оперативной регулировки громкости, яркости, насыщенности и контрастности, а так же для настройки на телевизионные программы, принимаемые в данной местности. В его состав входит плата 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 телевидения, их преобразования в сигналы промежуточной частоты, формирования полного цветового телевизионного сигнала и сигналов звуковой частоты. Селекция радиосигналов, которые поступают на выходы «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 сигналов изображения сигналы 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 цветового телевизионного сигнала. Кадровые строчные импульсы запуска через соединительную плату А3 поступают на вход задающего генератора в модуле кадровой развертки А6, а строчные – через устройство автоматическая подстройка 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 переключение 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 submodule 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 SECAM и PAL или декодирование сигналов по системе SECAM., но с возможностью установки дополнительного функционального узла для декодирования сигналов по системе PAL, возможность подключения видеомэгнитофона для записи и воспроизведения телевизионных передач и видеофильмов в цветном изображении в системах SECAM и 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

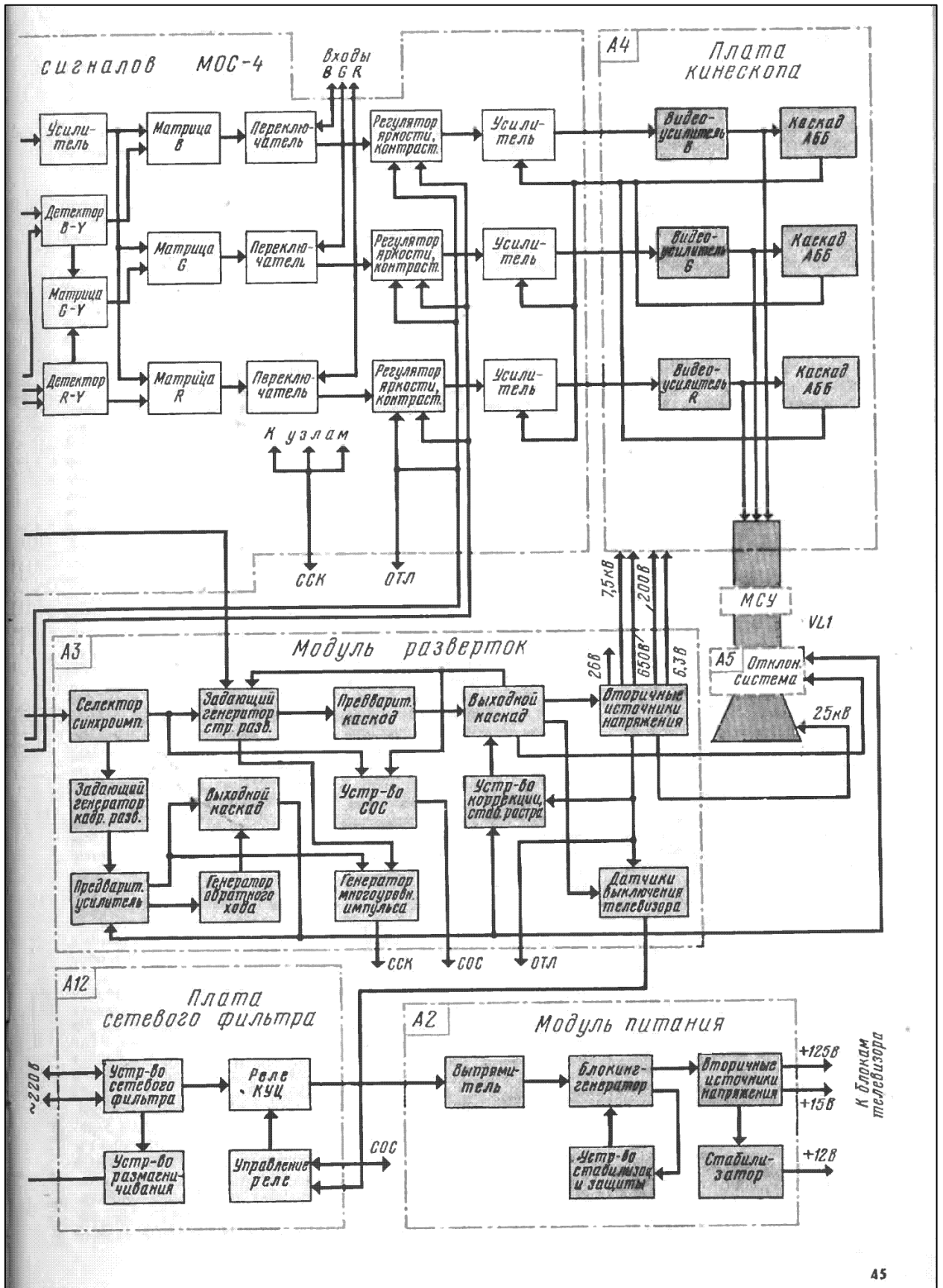


Рис. 50. "Горизонт 51ТЦ - 414Д"





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 K1106ХП2, 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 K175УР8, в которой сигналы ПЧ изображения усиливаются, а затем детектируются в синхронном детекторе, аналогичном детектору УПЧИ. На его выходе включен полосовой фильтр submodule 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) submodule 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 их 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 цветных изображений R, G и B с внешних устройств. Далее цветные 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, видеомэгнитофона), 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 геометрических 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–51СТV–510» (Рис. 52)



**Рис. 52. "Горизонт – 51СТV – 510"**

## Структурная схема телевизора унифицированной модели пятого поколения

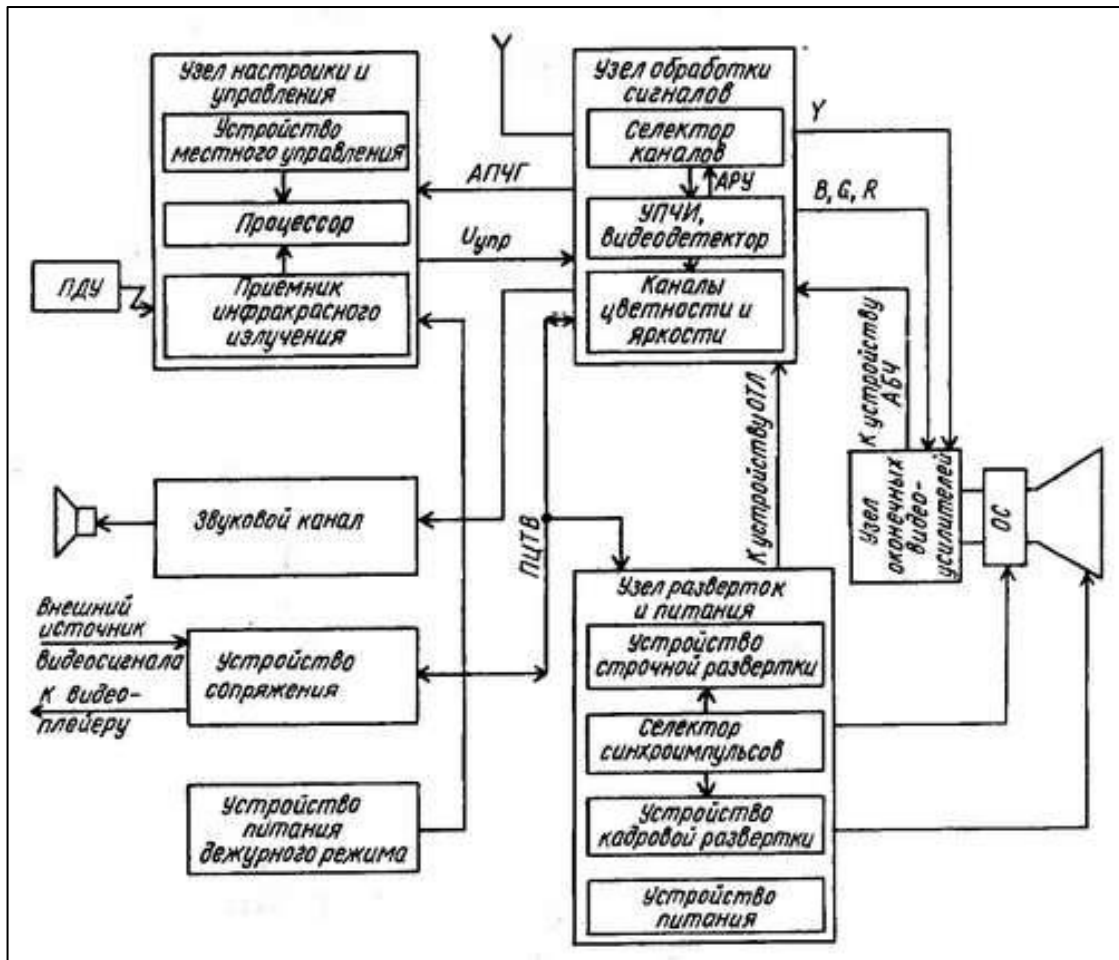


Рис. 53. Структурная схема телевизора унифицированной модели пятого поколения

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 видеомагнитофона 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 сменны 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 телевиденья, 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.

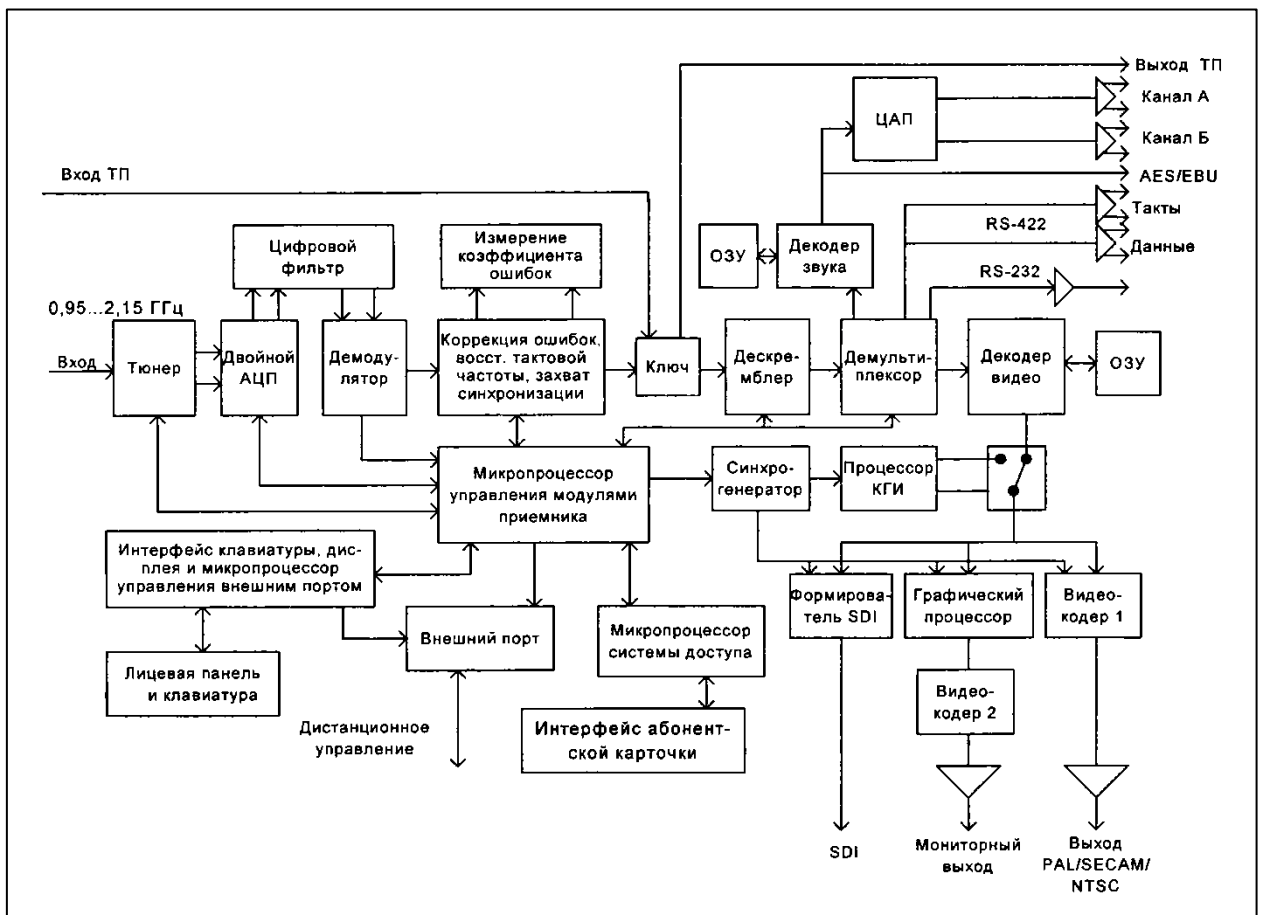


Рис. 54. Обобщенная структурная схема профессионального ПД модульной конструкции

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.

Видеодекодер 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 «Видеокодер 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.

Декодер 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.

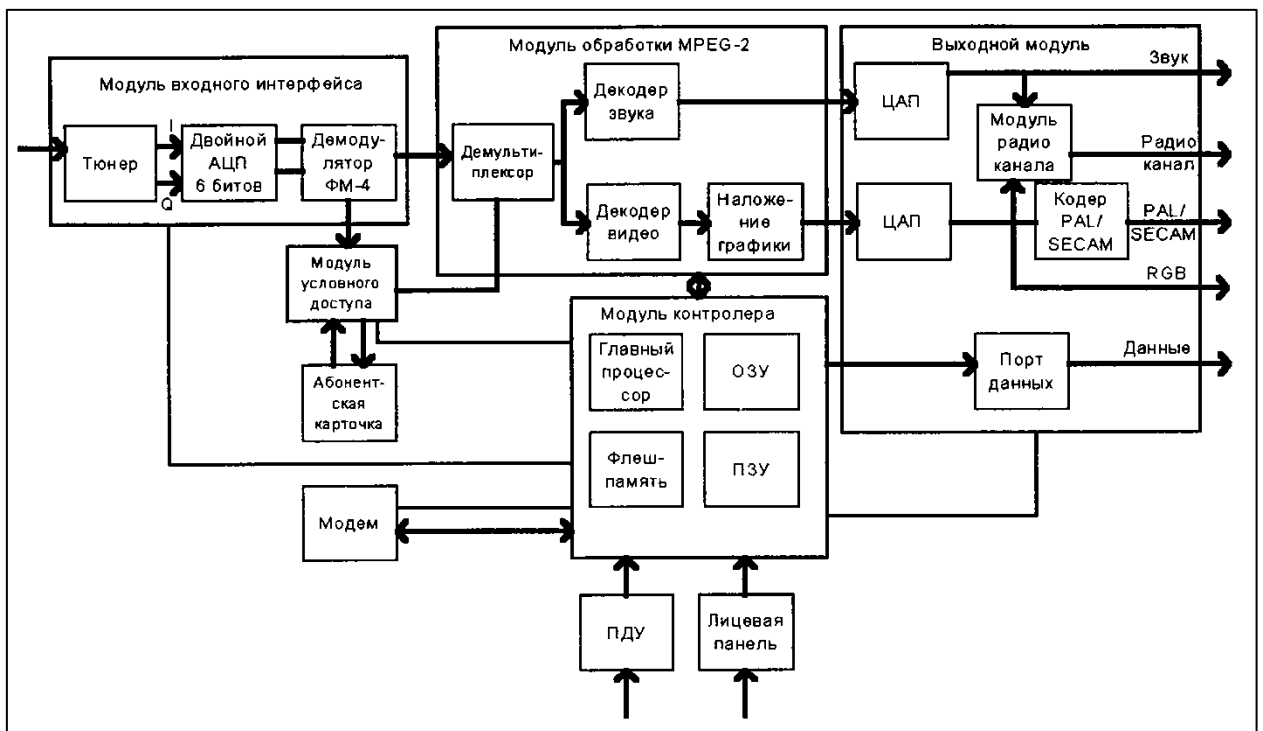


Рис. 55. Структурная схема типичного абонентского приемника-декодера

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.

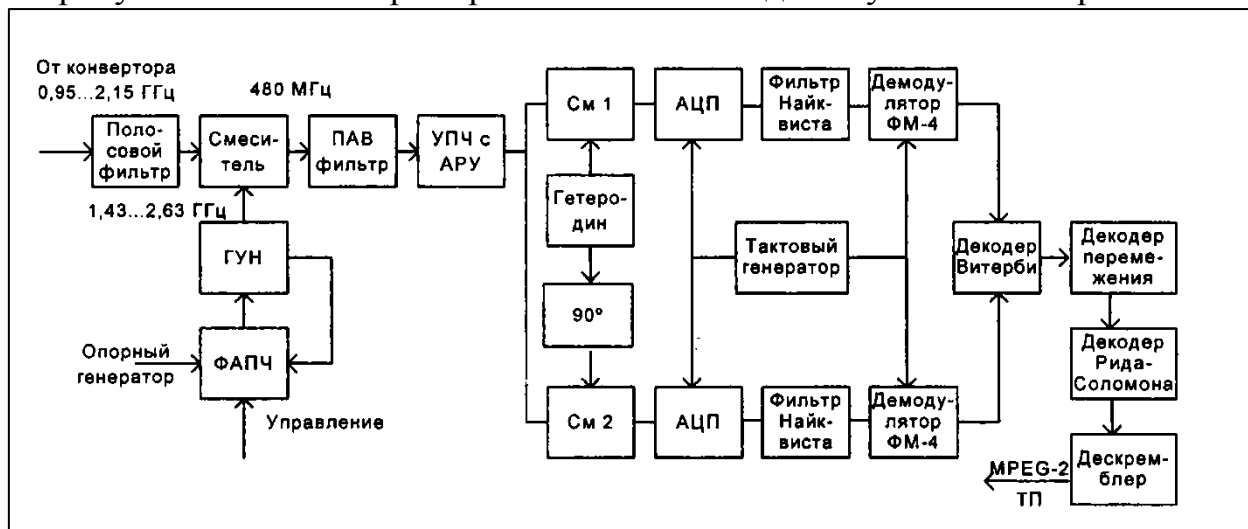


Рис. 56. Пример реализации тюнера и модуля входного сигнала.

Сигнал с малозащумящего 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 отдельная 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:

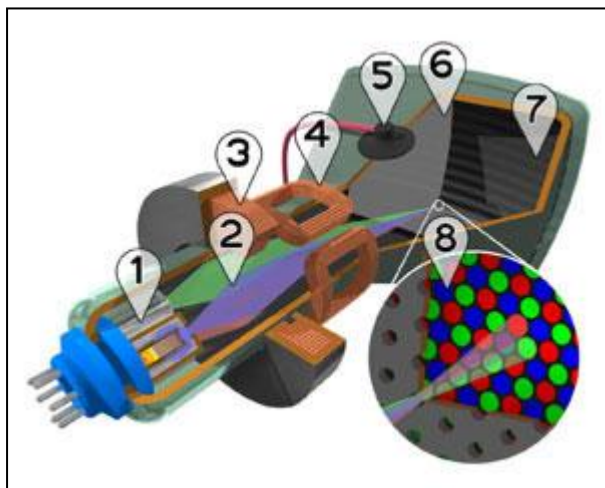
- 1) телевизоры с электронно-лучевой трубкой;
- 2) проекционные телевизоры;
- 3) жидкокристаллические телевизоры;
- 4) плазменные панели;

### 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

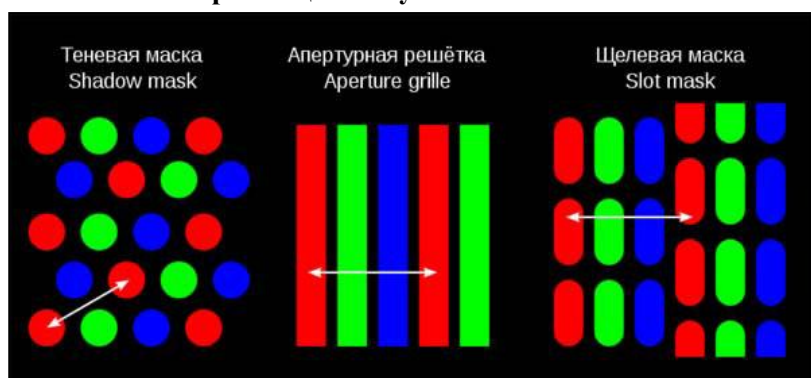
теньевую маску (6), которая служит для того чтобы луч от соответствующей электронной пушки попадал только на элементы люминофора (7) соответствующего цвета. Под воздействием электронной бомбардировки люминофор светится. Цифрой (8) на рисунке отмечен увеличенный фрагмент теньевой маски и решетки. Так 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» $\Delta$ .

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:

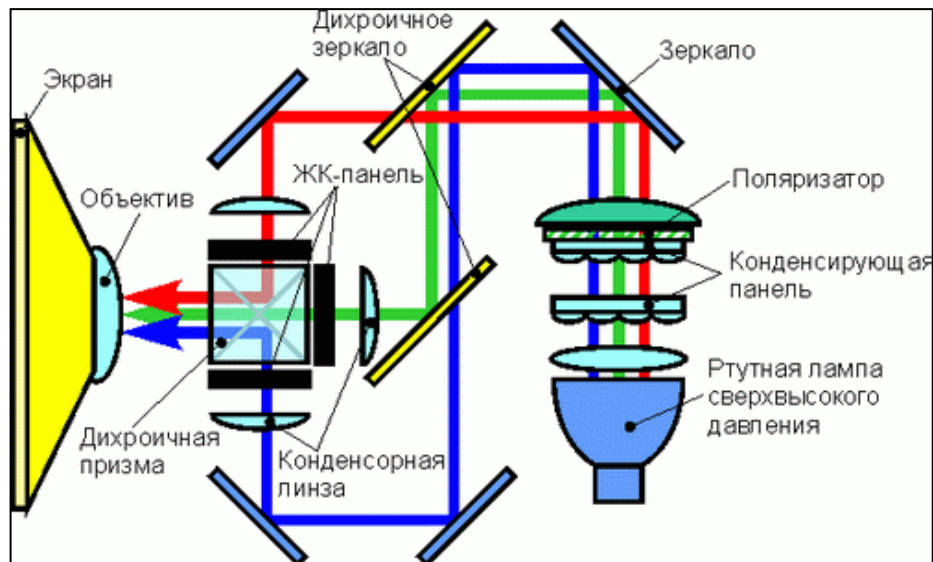


Рис. 60. Схема проекционного телевизора на жидкокристаллических матрицах

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 однокиповом 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.

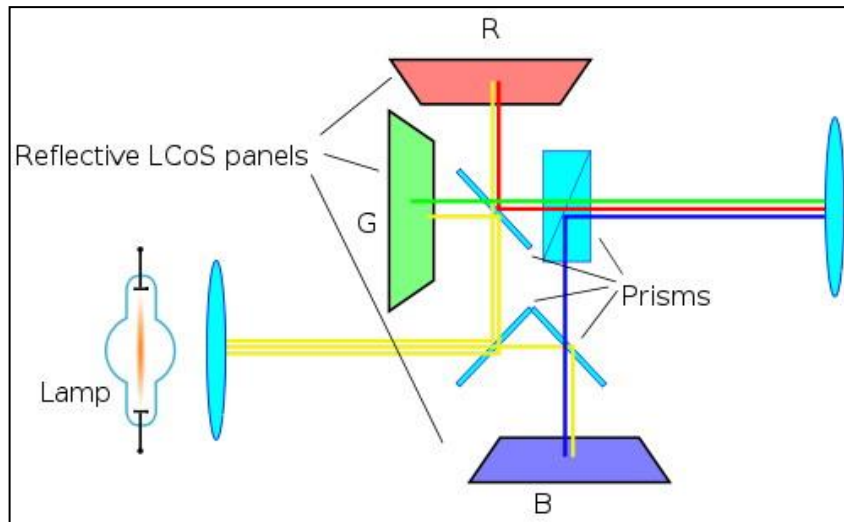


Рис. 61. Формирование изображение в LCoS телевизоре

## 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.

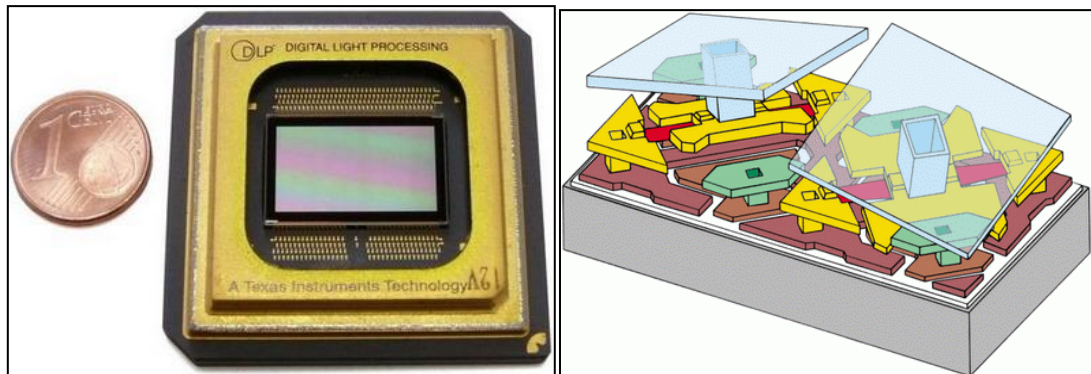


Рис. 62. DMB - чип

Рис. 63. Микрозеркала

Каждое микрозеркало – крошечная алюминиевая пластинка, размером порядка 10x10 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).

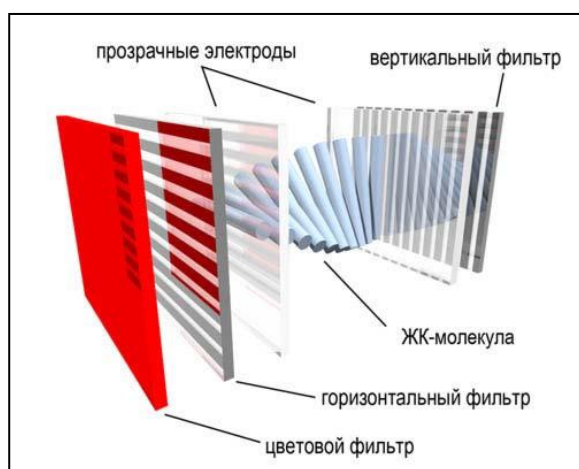
Конструктивно дисплей состоит из жидкокристаллической матрицы (ЖК-матрицы) (стеклянной пластины, между слоями которой и располагаются жидкие кристаллы), источников света для подсветки, контактного жгута и обрамления (корпуса), чаще пластикового, с металлической рамкой жёсткости.

### 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.



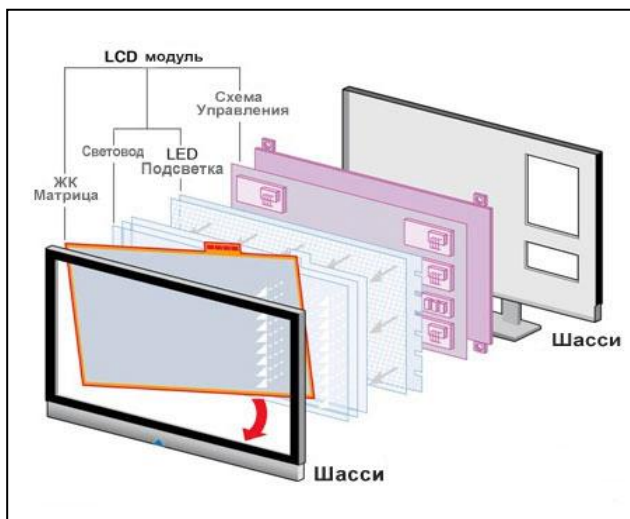
Экран  
Рассеиватель  
CCFL  
Отражатель

Рис.67. Флуоресцентная лампа с холодным катодом

Важной особенностью жидкокристаллических телевизоров является то, что выведенное 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

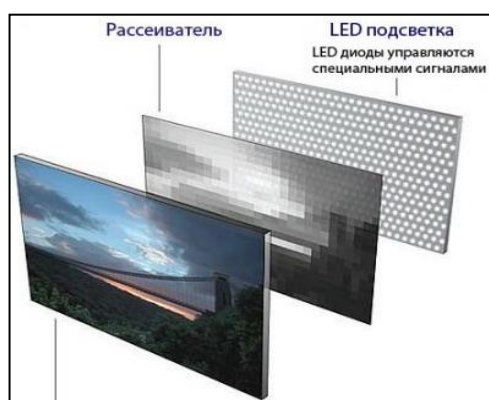


LED телевизоры это быстро набирающая популярность разновидность хорошо известных

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).

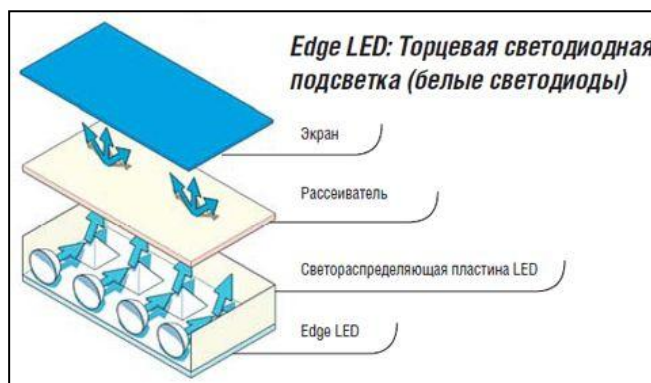


**Рис. 70. LED подсветка**

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 размещение светодиодов подсветки 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.



**Рис. 71. Торцевая светодиодная подсветка**

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



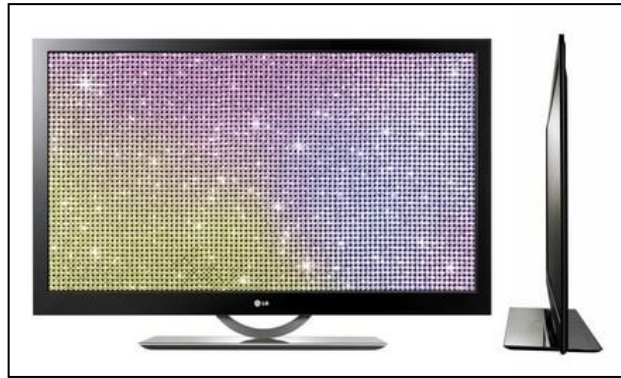


Рис.72. LED – телевизор

## 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.

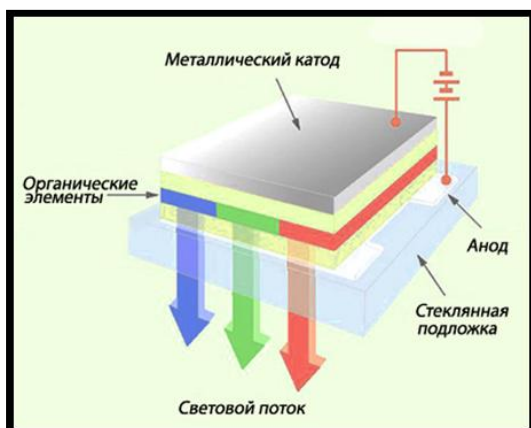


Рис. 73. Конструкция OLED-телевизора

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.

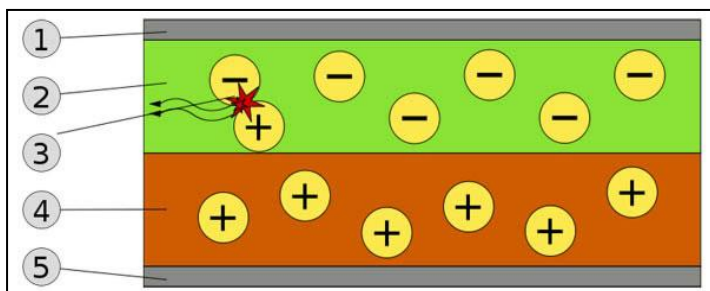


Рис.74.Схема 2-слойной OLED-панели:

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.

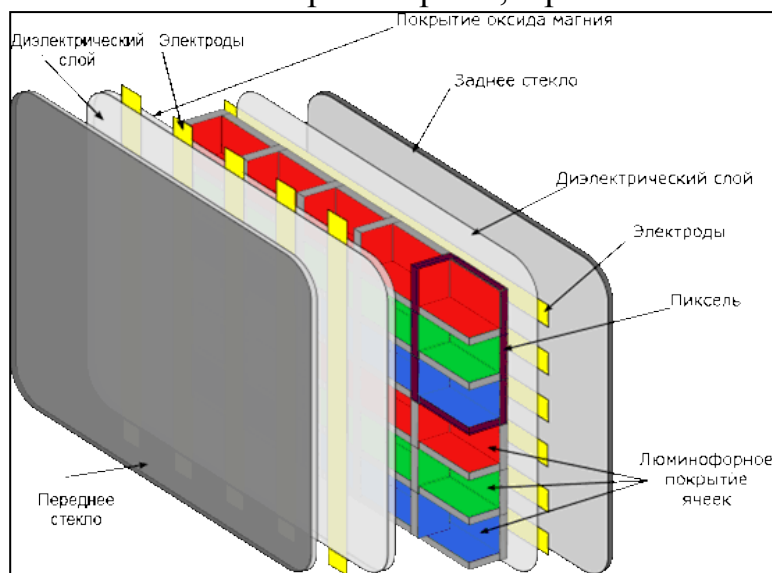


Рис. 76. Устройство плазменной панели

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.

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.

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.

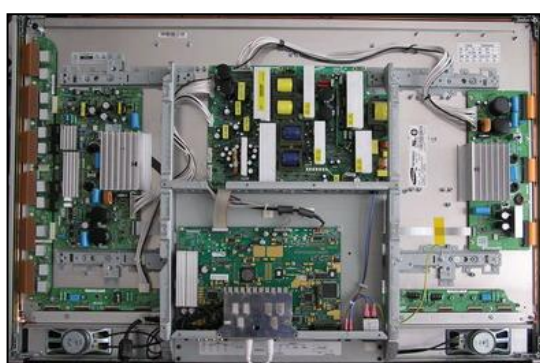


Рис.77. Конструкция плазменного телевизора



Рис.78. Плазменный телевизор

## Телевизоры Smart TV

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 Smart TV

В 1997-м Microsoft создала технологию MSN TV (Web TV), 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.

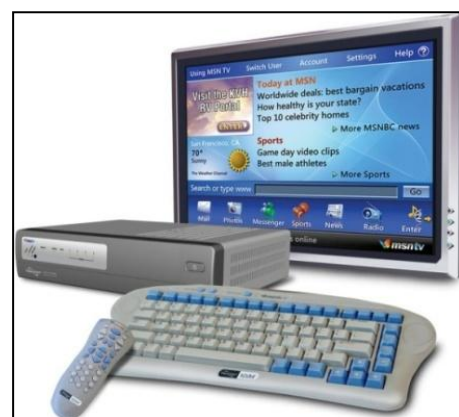


Рис. 79.Оборудование MSN TV

Есть также факультативные периферийные устройства, такие как принтеры, Card Reader и разъемы WiFi, для увеличения емкости и связи, которая обеспечивает 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 Replay TV



Рис.81.Оборудование Set

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.

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, 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 медицентр. 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 купить 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 телеприемники 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 Smart TV 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 Smart TV

**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



**Android Mini PC** представляет собой 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 Android 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 через USB. Также существуют модели, где в комплекте уже идет Air Mouse и пульты с мини-клавиатурой.

### **iPPea TV Android 4.0.**

Устройство, которое получило название iPPea TV Android 4.0 Mini PC HDTV



**Рис. 84. iPPea TV Android 4.0.**  
модулем беспроводной связи Wi-Fi.

предназначено для того, чтоб превратить любой телевизор, способный воспроизводить видео в HD качестве в полноценного представителя SmartTV. Для этого, iPPea 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



## 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 телевиденья», 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 Радиоприйёмные 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., Сукачьев Е.А. , Гуцаюк А.К. Цифрові системи радіозв'язку : Навчальний посібник / ОЕІС ім. А.С. Попова – Одеса , 1988. – 56 с.
4. Одинцов Б.В., Сукачьев 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. Прийом 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.