

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра систем телекоммуникаций

А. П. ТКАЧЕНКО, А. Л. ХОМИНИЧ

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ И ЗВУКОВОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ

Учебное пособие

для студентов специальностей
«Системы радиосвязи, радиовещания и телевидения»,
«Многоканальные системы телекоммуникаций», «Радиоинформатика»,
«Радиотехника» и «Радиоэлектронные системы»
всех форм обучения

В 2-х частях

Часть 2

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ
ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ТВ СИГНАЛА**

Минск 2005

УДК 621.396.7 (075.8)

ББК 32.94 - 5 я 73

Т 48

Р е ц е н з е н т:

доц. кафедры радиотехнических устройств БГУИР, канд. техн. наук

И.Ю. Малевич

Ткаченко А.П.

Т 48 Повышение качества изображения и звукового сопровождения: Учеб. пособие для студ. спец. «Системы радиосвязи, радиовещания и телевидения», «Многоканальные системы телекоммуникаций», «Радиоинформатика», «Радиотехника» и «Радиоэлектронные системы» всех форм обучения: В 2 ч. Ч.2.: Повышение качества изображения при формировании ТВ сигнала / А.П. Ткаченко, А.Л. Хоминич. - Мн.: БГУИР, 2005. – 60 с.
ISBN 985-444-462-7 (ч.2)

Учебное пособие посвящено анализу методов повышения качества телевизионных изображений различных стандартов и систем на передающей стороне. Анализируются ограничения в ТВ системах, вызванные дискретизацией изображений в процессе развертки. Рассматриваются искажения сигналов в аналоговых композитных системах цветного телевидения NTSC, PAL и SECAM.

Часть 1 издана в БГУИР в 2001 г.

УДК 621.396.7 (075.8)

ББК 32.94 - 5 я 73

ISBN 985-444-462-7(ч.2)

ISBN 985-444-212-8

© Ткаченко А.П., Хоминич А.Л., 2005

© БГУИР, 2005

ВВЕДЕНИЕ

Эпоха цветного телевидения (ЦТВ) началась с принятия в конце 1953 г. в США системы ЦТВ NTSC. В Европе и ряде других стран цветное телевизионное (ТВ) вещание было начато спустя 14 лет – в 1967 г. по системам ЦТВ PAL и SECAM. Эти системы разрабатывались в условиях жесткого требования, которому они должны были удовлетворять – совместимости с системами черно-белого телевидения. Это ограничение, а также уровень развития техники того времени обусловили качество воспроизводимого на приемной стороне изображения, значительно уступающее студийному даже при отсутствии помех и искажений. В то же время технический уровень выпущенных в последние годы цветных телевизоров с высококачественными кинескопами повышенного разрешения и различными схемами улучшения качества изображения позволяет воспроизводить цветные изображения более высокого качества, чем передаваемые сейчас по сетям эфирного и кабельного ТВ вещания по указанным системам ЦТВ. Это особенно заметно при воспроизведении видеозаписей с DVD-устройств, видеомagneтофонов форматов S-VHS и DV, когда качество изображения на бытовом цветном телевизоре практически мало отличается от качества изображения на студийном мониторе. С другой стороны, характеристики современного студийного оборудования, даже аналогового, не говоря уже о цифровых источниках ТВ программ, значительно превосходят возможности стандартов PAL или SECAM.

Естественно, наиболее кардинальным решением проблемы качества ТВ изображения является внедрение телевидения высокой четкости (ТВЧ). Однако это требует огромных материальных затрат, освоения выпуска большого парка радиоэлектронной аппаратуры, в том числе и ТВ приемников нового стандарта. Поэтому резкий переход к ТВЧ невозможен, но именно по такому пути пошли в США, начав с 1998 г. поэтапный переход на систему цифрового ТВЧ по стандарту ATSC с различными числом строк, частотами полей (кадров) и двумя видами развертки – чересстрочной и построчной (прогрессивной). При этом с 2005 г. ТВ вещание по аналоговой системе NTSC будет прекращено.

В европейских странах переход к ТВЧ считается преждевременным, хотя иногда трансляции крупномасштабных событий (например, Олимпийских игр) ведут с применением ТВЧ. Регулярное же вещание осуществляется по системам PAL и SECAM со стандартом разложения изображения $625/50/2:1/4:3$, который (наряду со стандартом $525/60/2:1/4:3$, принятым в США, Японии и некоторых других странах) относится к классу телевидения стандартной четкости (ТСЧ). Поскольку возможности ТСЧ далеко не исчерпаны, то ведутся работы по улучше-

нию качества воспроизводимого изображения в каждом звене системы ТВ вещания: на телецентре, при передаче и непосредственно в телевизоре.

В настоящем пособии именно этим методам уделяется особое внимание, причем акцент делается на повышение качества изображения на передающей стороне. Анализируются ограничения качества изображения, вносимые при его дискретизации по времени и по вертикали. Рассматриваются как способы совершенствования существующих систем (например, применение нового закона коммутации фазы цветowych поднесущих в системе SECAM), так и новые совместимые (PALplus и СуперSECAM) и несовместимые (MAC) системы. При этом стандарт разложения изображения на телецентре сохраняется, за исключением изменения формата передаваемого ТВ изображения с 4:3 на 16:9.

Необходимо отметить, что в рамках ТСЧ в странах Европы и других континентов еще более быстрыми темпами идет внедрение спутникового, наземного и кабельного цифрового ТВ вещания по стандартам DVB-S, T и C соответственно. Например, число программ, передаваемых со спутников в цифровом виде, во много раз больше числа аналоговых. Но это уже тема другого учебного пособия.

1 НЕДОСТАТКИ АНАЛОГОВЫХ СИСТЕМ ТВ ВЕЩАНИЯ

1.1 Ограничения, обусловленные разверткой и дискретизацией изображения

Оптическое изображение (ОИ) объекта (сцены) строится оптической системой на светочувствительной поверхности ТВ передающей трубки (в цветном телевидении в ТВ камере используют три трубки* преимущественно на ПЗС матрицах), а при киносъемке – на пленке. Такое изображение в общем случае может быть представлено геометрически в виде ограниченного прямоугольником светового потока, яркость которого изменяется в пространстве и во времени (если объект движется или перемещается камера) – рисунок 1.1, а [1, 2].

В цветном ТВ отраженный от объекта световой поток сначала расщепляется светоделительной оптикой на три цветоделенных $L_{ОИ.Р}(x, y, t)$, $L_{ОИ.Г}(x, y, t)$, $L_{ОИ.В}(x, y, t)$, которые и поступают на передающие трубки.

Соотношение b/h определяет формат изображения. Яркость L любой точки (элемента изображения - ЭИ), например с координатами x_1y_1 (см. рисунок 1.1, а), непрерывно изменяется по времени (рисунок 1.1, б). Отобразить же это на кинопленке физически невозможно, так как число снимаемых в 1 секунду кадров не может быть бесконечно большим. В этом и нет необходимости – ограниченная по спектру непрерывная функция, как известно, может быть представлена дискретной и при правильном выборе частоты дискретизации восстановлена по дискретным отсчетам с помощью ФНЧ в непрерывную.

Оптическое изображение (ОИ) – пространственно-временная функция $L(x, y, t)$ в процессе киносъемки представляется в виде серии статических кадров на пленке, следующих с интервалом $T_d = T_k$ (рисунок 1.1, г). Яркость всех ЭИ, в том числе и с координатами x_1y_1 , будет принимать дискретные значения (рисунок 1.1, д).

Дискретизация на математическом языке есть перемножение исходной функции $L(x, y, t)$ на дискретизирующую $L_d(x, y, t)$. Особенностью дискретизируемой функции $L(x, y, t)$ является ее трехмерность. Учитывая ограниченную разрешающую способность объектива и кинопленки, представим $L(x, y, t)$ в виде матрицы – пространственно распределенной совокупности $N_{ЭИ}$ участков различной яркости:

* Существуют упрощенные ТВ камеры с двумя и даже одной трубкой.

$$L(x, y, t) = \begin{vmatrix} L_{11}(t) & L_{12}(t) & \dots & L_{1n}(t) \\ L_{21}(t) & L_{22}(t) & \dots & L_{2n}(t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ L_{z1}(t) & L_{z2}(t) & \dots & L_{zn}(t) \end{vmatrix} \bullet \quad (1.1)$$

Функция дискретизации $L_D(x, y, t)$ также трехмерная и представляет собой шторку (или затвор) размером b/h , открывающуюся на время экспозиции τ с интервалом $T_D = T_K$ (рисунок 1.1, в). Тогда можно записать

$$L(x, y, t) L_D(x, y, t) = \sum_{k=1}^{t_c} L_K(x, y, kT_D), \quad (1.2)$$

где t_c – продолжительность съемки.

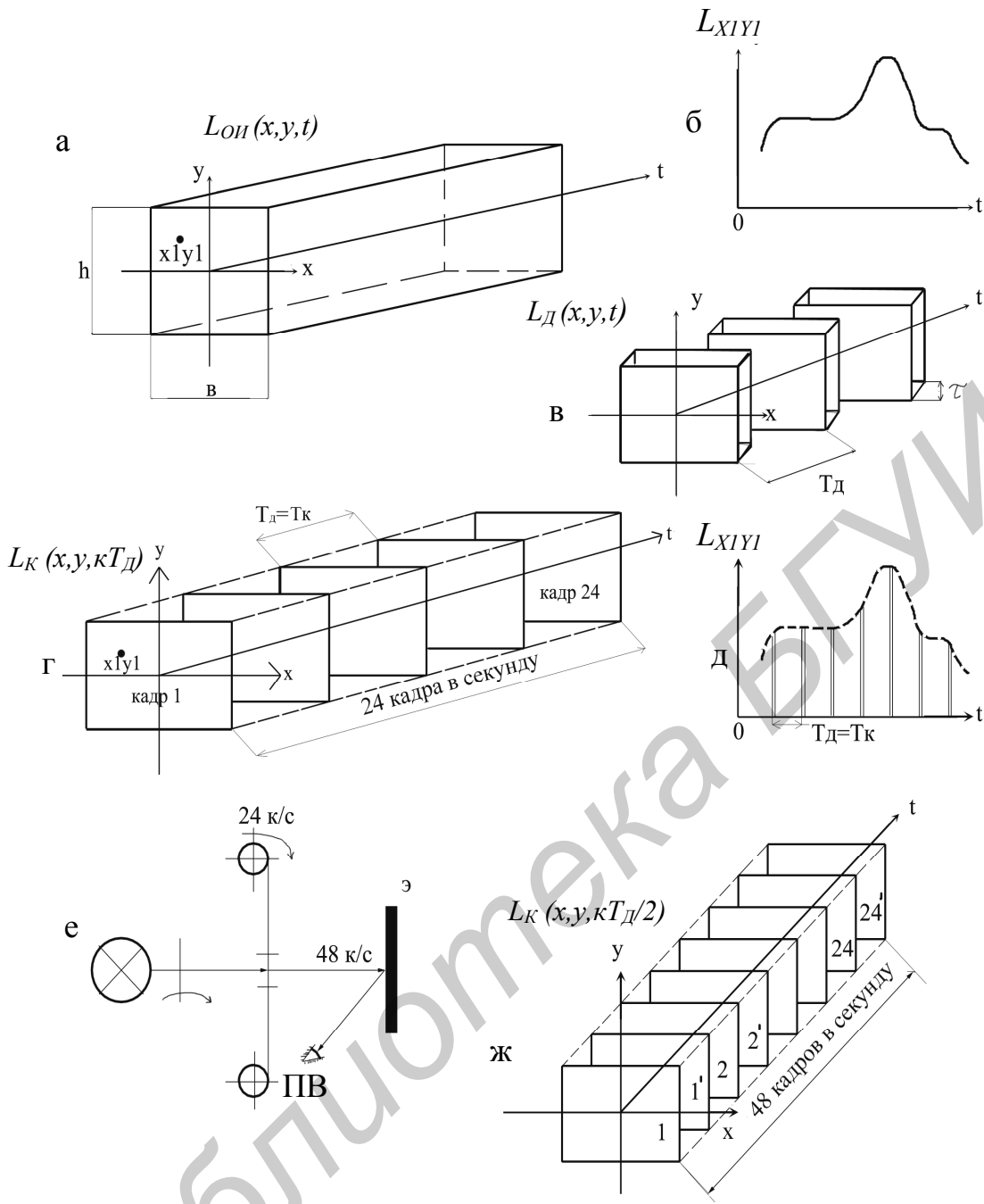
При наблюдении дискретных кадров в кинотеатре (рисунок 1.1, е) роль пространственно-временного ФНЧ (ПВ ФНЧ) выполняет зрительный аппарат. Экспериментально установлено, что при съемке с частотой 16 – 20 кадров в секунду зрительная система воспринимает дискретное изображение (рисунок 1.1, г) непрерывным (рисунок 1.1, а), т.е. движения воспринимаются не прерывистыми, а слитными.

В профессиональном кино частота кадров выбрана равной

$$f_D = f_K = 24 \text{ к./с.} \quad (1.3)$$

Для устранения яркостных мельканий экрана необходимо увеличить частоту засветки экрана вдвое, чтобы зрительно он казался непрерывно светящимся. Это происходит тогда, когда частота мельканий становится равной или превышает критическую частоту f_{KPM} . Ее значение, установленное экспериментально, равно примерно 46 Гц. При этом f_{KPM} не является постоянной величиной и зависит от величины яркости L , размеров ΔS , цветности λ и других параметров объекта [1]:

$$f_{KPM} = \varphi(L, \Delta S, \lambda, \dots). \quad (1.4)$$



а – геометрическое представление ОИ; б – непрерывное изменение яркости элемента изображения с координатами x, y по времени; в – дискретизирующая функция; г – поток ОИ, попадающий на кинолентку; д – дискретное по времени изменение яркости того же элемента изображения; е – схема проекции кинофильма; ж – поток ОИ, направленный с экрана кинотеатра в зрительную систему (ПВ ФНЧ)

Рисунок 1.1 – Преобразование оптического изображения в кино

Незаметность яркостных мельканий экрана в кино при $f_K < f_{KP.M}$ обеспечивается тем, что каждый неподвижный кадр киноплёнки просвечивается источником света (рисунок 1.1, е) дважды. Для этого световой поток прерывается механическим обтюратором (Об). На электрическом языке это эквивалентно записи изображения кадров в память с частотой 24 к/с и считыванию каждого кадра два раза, т.е. с частотой 48 к/с (рисунок 1.1, ж).

В телевидении высшая частота спектра ТВ сигнала определяется по выражению [1]

$$F_B = p(\kappa z^2 f_K / 2) \cdot (1 - \beta) / (1 - \alpha), \quad (1.5)$$

где p – коэффициент Келла;

$\kappa = b/h$ – формат передаваемого ТВ изображения;

z – число строк разложения;

f_K – частота кадров;

α, β – потери времени на гасящие импульсы по строкам и полям.

Если в (1.5) подставить численные значения указанных параметров, устанавливаемых ГОСТом [2]: $p = 0,82$, $\kappa = 4/3$, $z = 625$, $f_K = 25$ Гц, $\alpha = 0,18$, $\beta = 0,08$, то получится значение $F_B = 6$ МГц. Для устранения яркостных мельканий изображения применяют чересстрочную развертку с кратностью 2:1, при которой каждый кадр передается двумя полукадрами (полями). В одном поле передаются нечетные строки за 1/50 с, а в другом – четные также за 1/50 с. Таким образом, частота полей 50 Гц превысила $f_{KP.M} = 46$ Гц.

Воспользоваться опытом кино, где киноплёнка выступает как элемент памяти, с которой изображение считывается (проецируется на экран) дважды (24·2 = 48 к/с), в телевидении нельзя. Для этого при построочной развертке изображения в ТВ камере с $f_K = 25$ Гц необходимо в каждом телевизоре иметь быстродействующее малогабаритное устройство памяти, содержащее две ячейки, каждая с объемом памяти C_K на кадр:

$$C_K = \kappa z^2 \cdot m = (4/3) \cdot 625^2 \cdot 8 = 521 \text{ кбайт}, \quad (1.6)$$

где m – разрядность двоичного кода, принятая равной 8.

Такие устройства с приемлемой для бытовой аппаратуры стоимостью появились только несколько лет назад.

К тому же в телевидении в отличие от кино нет возможности передавать изображение непрерывным по вертикали, так как яркость любого ЭИ, например с координатой x_1 , представляется дискретной с шагом

$$Y_D = h/(z/2) \quad (1.7)$$

в поле при чересстрочной развертке (рисунок 1.2, а, б). Во втором поле шаг развертки остается таким же, как и в первом. Однако ввиду возможного изменения положения движущегося объекта по вертикали во втором поле четкость изображения в этом направлении будет меньше, чем при построчной развертке с тем же числом z строк разложения.

Таким образом, воспроизводимое в ТВ изображение оказывается дискретным не только по времени с частотой полей $f_{пол}$, но и по вертикали $L_T(x, nY_D, kT_{пол})$. Число строк определено стандартом на ТВ систему (625 или 525). Пространственная частота дискретизации ОИ по вертикали (рисунок 1.2, а, б) является величиной, обратной шагу дискретизации (1.7):

$$f_{д.у} = 1/Y_D = z/2h. \quad (1.8)$$

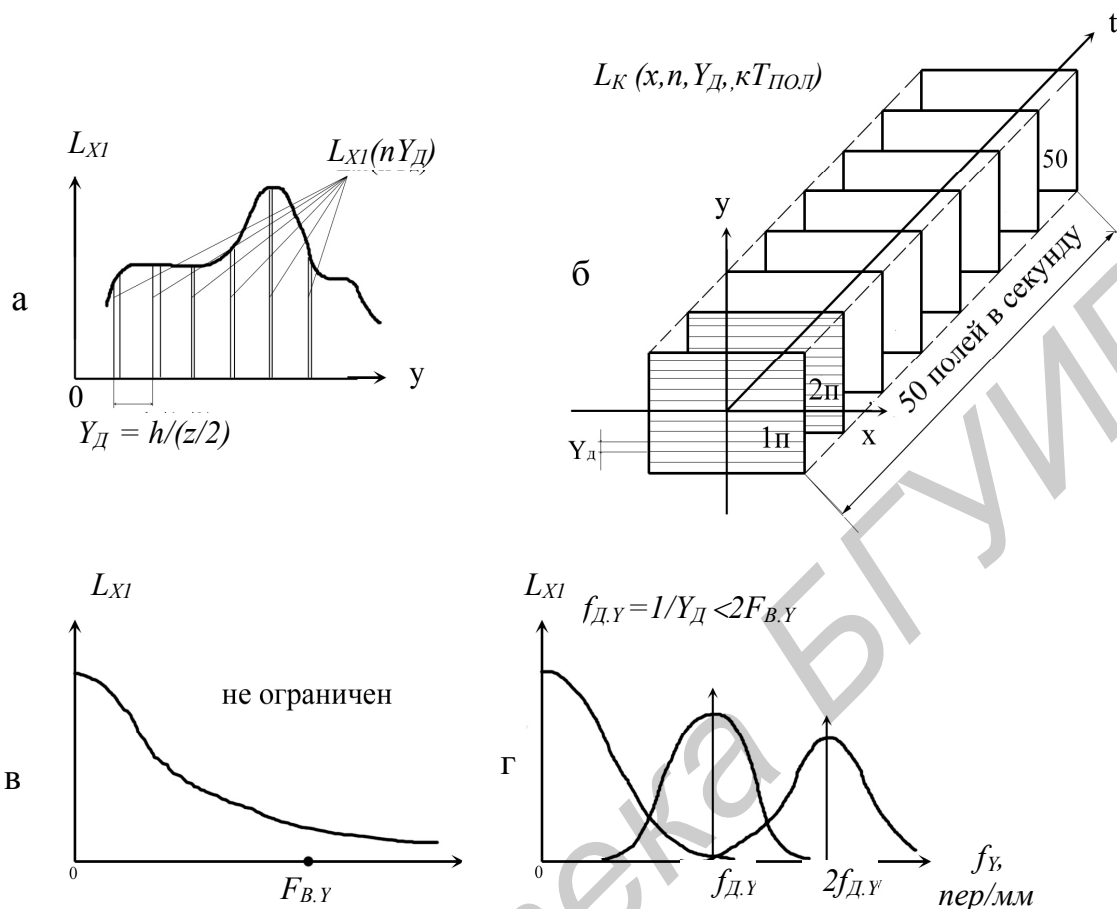
В оптике пространственные частоты измеряются числом пар линий (черных и белых), т.е. периодов синусоидальной волны яркости, приходящимся на 1 мм или 1 град, которые чаще обозначают мм^{-1} или град^{-1} [3].

При известной пространственной частоте дискретизации $f_{д.у}$ в соответствии с теоремой отсчетов можно записать выражение для высшей пространственной частоты изображения по вертикали:

$$F_{в.у} \leq f_{д.у}/2. \quad (1.9)$$

Однако спектр пространственных частот ОИ, попадающего на светочувствительную поверхность передающей трубки, практически ничем не ограничивается (рисунок 1.2, в), так как оптическая система в передающей камере имеет значительный запас по разрешающей способности. Поэтому на частых, горизонтально или под небольшим углом расположенных структурах изображения условие (1.9) не выполняется, что является причиной перекрытия спектров пространственных частот в вертикальном направлении (рисунок 1.2, г) и появления муар-эффекта на воспроизводимом изображении таких структур (рисунок 1.3) [2, 3]. В ТВ положение усугубляется также и тем, что передача ЭИ и соответственно возбуждение люминофоров кинескопа происходят поочередно во времени. Поэтому яркость экрана кинескопа будет неравномерной по вертикали в течение одного поля, причем степень этой неравномерности еще более увеличится к концу кадра.

В связи с этим при возросших яркостях и размерах кинескопов отчетливо проявляются недостатки чересстрочной развертки – заметные яркостные мелькания: межстрочные с частотой 25 Гц и крупных участков изображения с частотой 50 Гц. Для уменьшения их влияния в телевизорах повышенного качества преобразуют вид развертки, например, в чересстрочную с числом полей 100 Гц.



а – непрерывное на объекте $L_{X1}(y)$ и дискретное на экране кинескопа $L_{X1}(nY_D)$ изменение яркости элемента изображения с координатой $x1$ в вертикальном направлении; б – поток ОИ, направленный с экрана кинескопа в зрительную систему; в – не ограниченный значением $F_{B.Y}$ спектр пространственных частот по вертикали; г – перекрывающиеся спектры пространственных частот, обусловленные разверткой (дискретизацией) ОИ на $z/2$ строк в каждом поле

Рисунок 1.2 – Преобразование оптического изображения в ТВ

Это стало возможным благодаря достижениям современной микроэлектроники – созданию малогабаритного устройства цифровой памяти на поле (кадр). Поэтому в системе ТВЧ ATSC, широко внедряемой в ТВ вещании в США, предусмотрены различные режимы работы телецентров: стандартный с чересстрочной (interlaced) разверткой и частотой полей 59,94 Гц; ТВЧ с построчной (progressive – прогрессивной) разверткой и параметрами 720p/24; 720p/30; 720p/60; 1080p/24; 1080p/30; 1080i/60 (число активных строк, вид развертки, число кадров или полей). Вариант с $f_K = 24$ Гц и прогрессивной разверткой специально предусмотрен

для демонстрации кинофильмов по телевидению. В ТВ приемниках при приеме 24 к/с (или 30) каждый кадр записывается в память и повторяется 2 или 3 раза, что обеспечивает частоту смены кадров на экране 48 (60) или 72 (90) Гц соответственно, при которых яркостные мелькания практически не заметны, особенно при $f_k \geq 60$ Гц. Все это стало возможным с внедрением в ТВ вещание цифровых технологий.

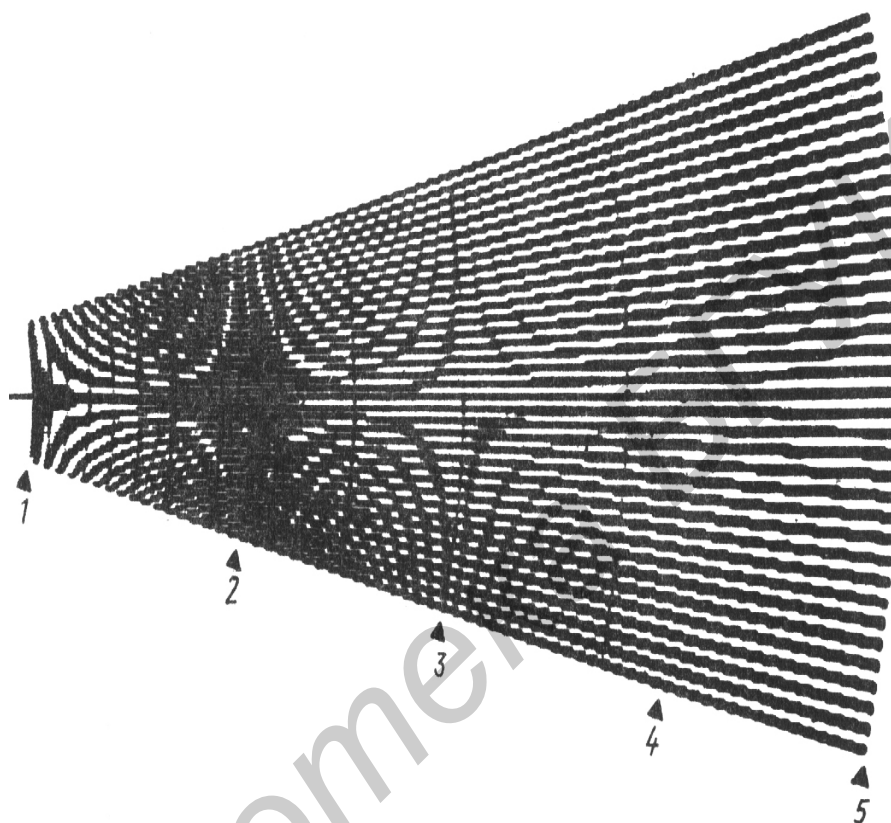


Рисунок 1.3 – Муар-эффект при воспроизведении изображения горизонтальной миры испытательной таблицы

1.2 Искажения в аналоговых композитных системах цветного телевидения

Ограничения и искажения, вносимые аналоговыми композитными системами ЦТВ (NTSC, PAL и SECAM), обусловлены тем, что они разрабатывались в условиях жесткого требования – совместимости с системой черно-белого телевидения [2,4,5]. Поэтому, несмотря на то, что три луча цветного кинескопа необходимо модулировать тремя гамма-корректированными сигналами основных цветов U_R^{yk} , U_G^{yk} и U_B^{yk} (рисунок 1.4), они непосредственно не передаются.

Объясняется это тем, что, во-первых, ни один из них не создает нормальное изображение на черно-белых кинескопах, во-вторых, для их передачи потребуется канал связи с шириной полосы пропускания, равной $3\Delta F_{\text{чб.тв}}$.

Указанные сигналы формируются в кодирующем устройстве из сигналов основных цветов U_R^* , U_G^* и U_B^* , прошедших цветокорректирующую матрицу (ЦКМ) и гамма-корректор (ГК) (сечения А, Б и В на рисунке 1.4). ЦКМ частично компенсирует неидеальность спектральных характеристик трех ($S_R(\lambda)$, $S_G(\lambda)$ и $S_B(\lambda)$) оптических трактов, включая передающие трубки, т.е. их отличие от кривых смещения ($\bar{r}_\Pi(\lambda)$, $\bar{g}_\Pi(\lambda)$, $\bar{b}_\Pi(\lambda)$) в системе основных цветов приемника [2, 5]. ГК компенсирует нелинейность модуляционных характеристик кинескопов.

Первым приближением к удовлетворению требования совместимости является формирование в кодирующей матрице сигнала яркости (СЯ):

$$U'_Y = 0,299 U_R^{\gamma k} + 0,587 U_G^{\gamma k} + 0,114 U_B^{\gamma k} \quad (1.10)$$

и двух цветоразностных сигналов (ЦРС):

$$U_R^{\gamma k} - U'_Y = U'_{R-Y} = 0,701 U_R^{\gamma k} - 0,587 U_G^{\gamma k} - 0,114 U_B^{\gamma k}; \quad (1.11)$$

$$U_B^{\gamma k} - U'_Y = U'_{B-Y} = -0,299 U_R^{\gamma k} - 0,587 U_G^{\gamma k} + 0,886 U_B^{\gamma k}. \quad (1.12)$$

Третий ЦРС U'_{G-Y} легко получить в декодирующем устройстве из двух других по выражению

$$U'_{G-Y} = -0,509 U'_{R-Y} - 0,194 U'_{B-Y}, \quad (1.13)$$

поскольку три ЦРС являются линейно зависимыми друг от друга в отличие от сигналов $U_R^{\gamma k}$, $U_G^{\gamma k}$ и $U_B^{\gamma k}$.

СЯ (1.10) создает на кинескопах черно-белое изображение. Из ЦРС в основном исключена информация о яркости, они передают информацию о цветовом тоне и насыщенности, т.е. цветности – двумерной величине. Поэтому при передаче черно-белых сюжетов ЦРС обращаются в нуль. Перечисленные сигналы в сечениях А, Б, В и Г (рисунок 1.4, а) занимают полосу частот (0 – 6) МГц каждый по стандартам D/K, L и имеют дискретный спектр.

Последнее свойство, а также необходимость сокращения ширины полосы частот, занимаемой каждым ЦРС, до 1,3 МГц по стандартам на системы SECAM и PAL (рисунок 1.4, сечение Д), позволили передавать их в спектре частот СЯ. Уменьшение полосы частот ЦРС $\Delta F_{ЦРС}$ более чем в 4 раза по сравнению с ΔF_Y – неизбежная мера, частично обосновываемая пониженной цветовой разрешающей способностью зрения.

Отсюда следует, что цветовая четкость по горизонтали воспроизводимого на приемной стороне изображения будет в 4 раза ниже яркостной. Следовательно, это является системным ограничением, обусловленным самим принципом работы композитных систем ЦТВ.

Для более полного учета свойств последующего тракта передачи ЦРС U'_{R-Y} и U'_{B-Y} изменяют на другие, обозначаемые D_R и D_B в системе SECAM, V и U – в системах PAL и NTSC (рисунок 1.4, сечение Е) [1 – 3, 6]:

$$D'_R = -1,9U'_{R-Y}; \quad D'_B = 1,5U'_{B-Y}; \quad (1.14)$$

$$V = 0,877U'_{R-Y}; \quad U = 0,493U'_{B-Y}. \quad (1.15)$$

Способы формирования сигнала цветности $U_{СЦ}$, цветовой синхронизации $U_{СЦС}$ и полного сигнала цветного телевидения $U_{ЦТВ}$ (рисунок 1.4, сечения Ж, З) в системах NTSC, PAL и SECAM различны, поэтому целесообразно рассмотреть их подробнее.

1.3 Система NTSC

Система NTSC имеет два варианта – «европейский», или NTSC-4,43, и «американский» (NTSC-3,58), отличающиеся выбором частоты цветовой поднесущей и особенностями формирования сигнала цветности. В обеих системах сигнал $U_{ЦТВ}$ содержит сигнал яркости U'_Y , цветовой синхронизации $U_{СЦС}$ и сигнал цветности $U_{СЦ}$. Последний передается с помощью цветовой поднесущей $f_{ЦП}$, лежащей в полосе частот сигнала U'_Y . В системе NTSC-4,43 в каждой строке поднесущая с принимаемой за 0° начальной фазой и амплитудой, равной 1, модулируется по амплитуде в балансном модуляторе (БМ) сигналом $U = kU'_{B-Y}$, а сдвинутая на 90° поднесущая в другом БМ – сигналом $V = kU'_{R-Y}$. В результате на выходах БМ образуются сигналы:

$$U_{СЦ B} = k_B U'_{B-Y} \sin(2\pi f_{ЦП} t) = U \sin(\omega_{ЦП} t), \quad (1.16)$$

$$U_{CЦR} = k_R U'_{R-Y} \sin(2\pi f_{ЦП} t + 90^\circ) = V \cos(\omega_{ЦП} t). \quad (1.17)$$

Получаемые на выходах балансных модуляторов две квадратурные (сдвинутые на 90°) составляющие $U_{CЦB}$ и $U_{CЦR}$ суммируются и образуют сигнал цветности. Такой метод передачи двух сигналов на одной поднесущей получил название квадратурной модуляции. Его сущность можно наглядно продемонстрировать с помощью векторной диаграммы (рисунок 1.5), на которой две квадратурные составляющие показаны в виде векторов с амплитудами U и V и фазами 0° и 90° соответственно. Результирующее колебание – сигнал цветности $U_{CЦ}$ – образуется путем сложения квадратурных составляющих, определяемых по выражениям (1.16, 1.17):

$$U_{CЦ} = U \sin(\omega_{ЦП} t) \pm V \cos(\omega_{ЦП} t) = S_{CЦ} \sin(\omega_{ЦП} t + \varphi_{CЦ}). \quad (1.18)$$

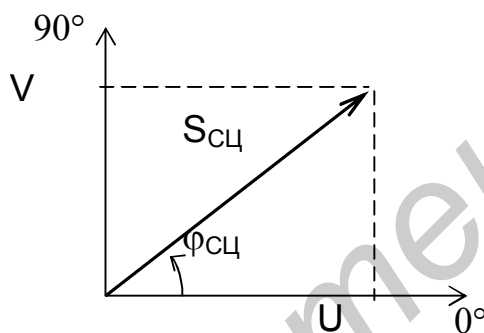


Рисунок 1.5 – Векторная диаграмма сигнала цветности NTSC

Очевидно, что в данном случае сигнал цветности представляет собой колебание с амплитудно-фазовой модуляцией, где амплитуда сигнала цветности $S_{CЦ}$ и его фаза $\varphi_{CЦ}$ определяются как

$$S_{CЦ} = \sqrt{U^2 + V^2}; \quad (1.19)$$

$$\varphi_{CЦ} = \text{arctg}(V/U). \quad (1.20)$$

Частота цветовой поднесущей для обеспечения ее минимальной заметности на экране выбирается кратной нечетной гармонике полустрочной частоты:

$$f_{ЦП} = (2k + 1) f_{СТР} / 2, \quad (1.21)$$

где k – положительное целое число.

Вариант NTSC-4,43 применяют для целей видеозаписи с расширенной до 5 МГц шириной полосы частот сигнала $U_{ЦТВ}$ для повышения качества ТВ изображения. Непосредственно для целей ТВ вещания по стандартам М и N, принятым в США, Японии и ряде других стран, используют систему NTSC-3,58. В этом случае частота цветовой поднесущей $f_{ЦП}$ выбирается по условию (1.21) равной 455-й гармонике полустрочной частоты:

$$f_{ЦП} = 455 f_{СТР} / 2 = 3,579545 \text{ МГц.} \quad (1.22)$$

Высшая частота F_B спектра полного цветового сигнала NTSC-3,58 равна 4,2 МГц. Дискретизация изображения по строкам является причиной того, что спектры сигналов основных цветов U_R^{yk} , U_G^{yk} и U_B^{yk} , яркости U'_Y и ЦРС U и V состоят из гармоник строчной частоты $f_{СТР}$, $2f_{СТР}$, $3f_{СТР}$, ..., F_B . ЦРС после сокращения полосы частот занимают полосу 1,3 МГц. Дискретизация изображения по полям образует вокруг каждой гармоники частоты строк $xf_{СТР}$ гармоники частоты полей $uf_{ПОЛ}$. После модуляции $f_{ЦП}$ двумя ЦРС образуется сигнал $U_{СЦ}$, любая спектральная составляющая которого будет равна

$$f_{СЦ} = f_{ЦП} \pm (xf_{СТР} / 2 \pm uf_{ПОЛ} / 2). \quad (1.23)$$

Таким образом, спектральные составляющие $U_{СЦ}$ располагаются посередине между спектральными составляющими сигнала U'_Y . Для упрощения гармоники частоты полей на рисунке 1.6 не показаны.

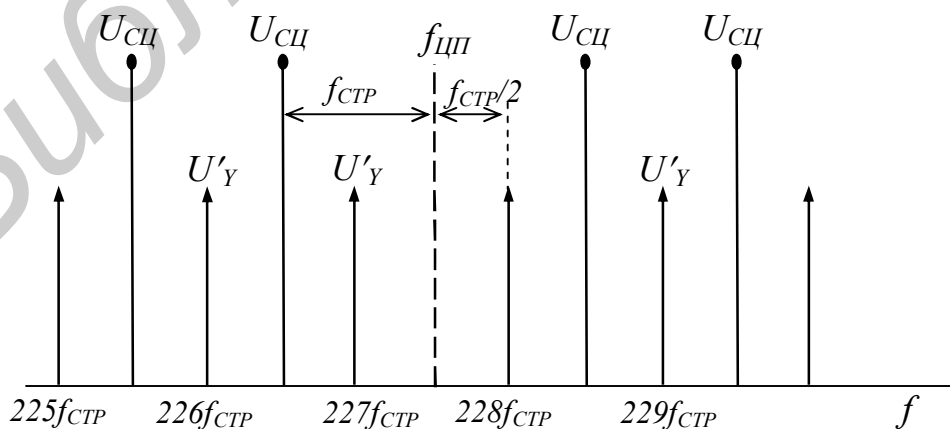


Рисунок 1.6 – Структура спектра сигнала NTSC в области цветовой поднесущей

В системе NTSC-3,58 при выборе частоты цветовой поднесущей стремились ее значение сблизить с верхней границей спектра F_B , чтобы уменьшить искажения сигнала яркости. Однако в этом случае наблюдается частичное подавление верхней боковой полосы (ВБП) ЦС [7]. Ослабление одной из боковых составляющих приводит к тому, что каждая из балансно-модулированных составляющих сигнала цветности приобретает паразитную фазовую модуляцию. Квадратурность составляющих $U_{СЦ}$ нарушается, и между ними возникают перекрестные искажения. Эти искажения устраняются, если уменьшить ширину спектра одной из составляющих $U_{СЦ}$ до значения, при котором ее боковые полосы станут одинаковыми. Тогда вторая составляющая сигнала $U_{СЦ}$ может быть широкополосной и с частично подавленной ВБП. В этом случае перекрестные искажения могут возникнуть только для узкополосной составляющей от широкополосной, причем в диапазоне частот, превышающем верхнюю граничную частоту узкополосного ЦРС, и поэтому легко устраняются ФНЧ. Поскольку узкополосная составляющая передается с симметричными боковыми полосами, перекрестные искажения от нее в широкополосную составляющую не возникают.

Исследования зрительного аппарата человека показали, что наименьшая способность различать оттенки цвета находится в области зеленых и пурпурных цветов – мелкие детали таких цветов кажутся черно-белыми. Поэтому в системе NTSC для узкополосного ЦРС с $F_B = 0,6$ МГц выбрана ось кодирования, совпадающая на цветовой диаграмме с направлением зелено-пурпурных цветов (рисунок 1.7). Эта ось обозначается буквой Q и проходит под углом 33° к оси В-У. Вторая ось I для широкополосного ЦРС с $F_B = 1,3$ МГц ортогональна первой (проходит под углом 123° к оси В-У). Такой выбор осей кодирования обеспечивает максимально возможную цветовую четкость изображения.

Сигналы U_I и U_Q связаны с ЦРС U'_{R-Y} и U'_{B-Y} следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} U_I &= 0,877 U'_{R-Y} \cdot \cos 33^\circ - 0,493 U'_{B-Y} \cdot \sin 33^\circ = \\ &= 0,737 U'_{R-Y} - 0,268 U'_{B-Y}; \end{aligned} \quad (1.24)$$

$$\begin{aligned} U_Q &= 0,877 U'_{R-Y} \cdot \sin 33^\circ + 0,493 U'_{B-Y} \cdot \cos 33^\circ = \\ &= 0,478 U'_{R-Y} + 0,413 U'_{B-Y}. \end{aligned} \quad (1.25)$$

В результате сигнал цветности для системы NTSC-3,58 можно записать в виде

$$U_{СЦ} = U_I \sin(\omega_{СЦ} t) + U_Q \cos(\omega_{СЦ} t) = S_{СЦ1} \sin(\omega_{СЦ} t + \varphi_{СЦ1}), \quad (1.26)$$

где амплитуда сигнала цветности $S_{CЦ1}$ и его фаза $\varphi_{CЦ1}$ определяются как

$$S_{CЦ1} = \sqrt{U_I^2 + U_Q^2}; \quad (1.27)$$

$$\varphi_{CЦ1} = \arctg(U_I/U_Q). \quad (1.28)$$

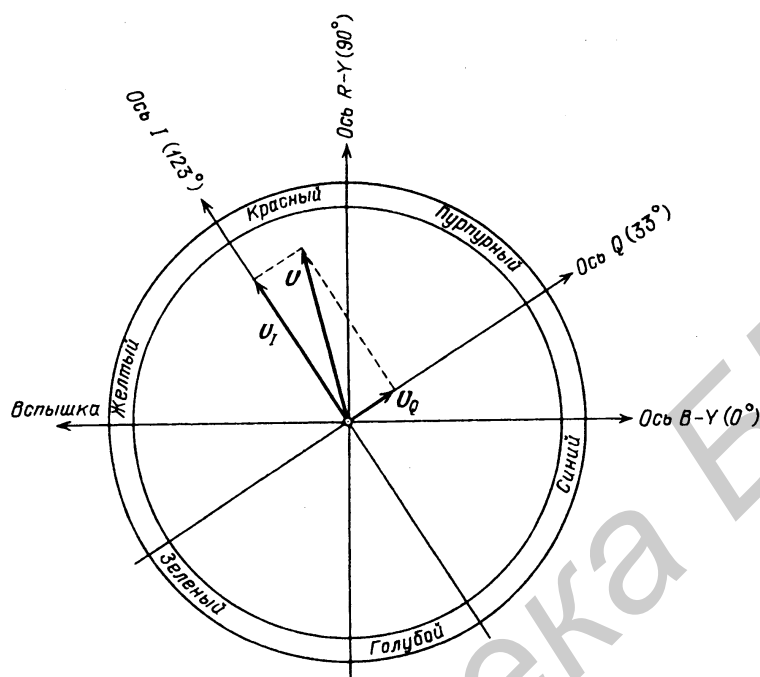


Рисунок 1.7 – Положение осей кодирования в системе NTSC-3,58

Системы NTSC, особенно NTSC-3,58, имеют ряд достоинств. Использование осей I и Q позволяет уплотнить передаваемую информацию и получить высокую цветовую четкость при относительно узкополосном канале передачи. Структура спектров сигналов яркости и цветности NTSC позволяет эффективно разделять их при помощи гребенчатых фильтров. Декодер NTSC относительно прост и не требует обязательного применения линии задержки [7].

Главным же недостатком систем NTSC является высокая чувствительность сигнала $U_{CЦ}$ к искажениям типа дифференциальное усиление (ДУ) и дифференциальная фаза (ДФ), обусловленным нелинейностью амплитудной характеристики (АХ) канала и одновременной передачей сигналов U'_Y и $U_{CЦ}$. В этом случае в зависимости от амплитуды U'_Y сигнал $U_{CЦ}$ располагается на разных участках нелинейной АХ и приобретает паразитное изменение как амплитуды $S_{CЦ}$ (т. е. ДУ), так и фазы $\varphi_{CЦ}$ (ДФ) сигнала цветности. Так как цветовая поднесущая передается в виде синусоидальной насадки на сигнале яркости U'_Y , нелинейность в канале

передачи приводит к тому, что поднесущая оказывается промодулированной сигналом яркости по амплитуде и фазе.

Искажения сигнала в виде амплитудной модуляции (дифференциальная амплитуда) приводят к изменению насыщенности цвета на участках с различной яркостью. Эти искажения не устраняются с помощью цепей автоматической регулировки усиления (АРУ), так как различия в амплитуде цветовой поднесущей проявляются в пределах одной и той же строки.

Искажения в виде фазовой модуляции цветовой поднесущей (дифференциальная фаза) вызывают изменение цветового тона в зависимости от яркости данного участка изображения. В ТВ приемниках NTSC обычно присутствует оперативная регулировка фазы опорной поднесущей (сигнала цветовой синхронизации), с помощью которой можно сделать естественной окраску деталей с определенной яркостью, однако на более ярких или более темных участках изображения искажения цветового тона при этом возрастают.

1.4 Система PAL

Отличие в формировании сигнала цветности в системе PAL по сравнению с NTSC заключается в коммутации фазы цветовой поднесущей в канале V на 180° (90° или 270°) от строки к строке телевизионного сигнала [5].

В результате на выходах модуляторов образуются сигналы:

в канале цветоразностного сигнала U'_{B-Y} (канал U)

$$U_{CUB} = k_B U'_{B-Y} \sin(2\pi f_{ЦП} t) = U \sin(\omega_{ЦП} t), \quad (1.29)$$

в канале цветоразностного сигнала U'_{R-Y} (канал V) с учетом коммутации фазы поднесущей в одной строке ($\varphi_{ЦП} = 90^\circ$)

$$U_{CVR} = k_R U'_{R-Y} \sin(2\pi f_{ЦП} t + 90^\circ) = V \cos(\omega_{ЦП} t), \quad (1.30)$$

в следующей строке ($\varphi_{ЦП} = 270^\circ$)

$$U_{CVR} = k_R U'_{R-Y} \sin(2\pi f_{ЦП} t + 270^\circ) = -V \cos(\omega_{ЦП} t), \quad (1.31)$$

в которых для упрощения анализа амплитуда сигнала поднесущей частоты принята равной 1, а ее начальная фаза – 0° . Результирующее колебание – сигнал цвет-

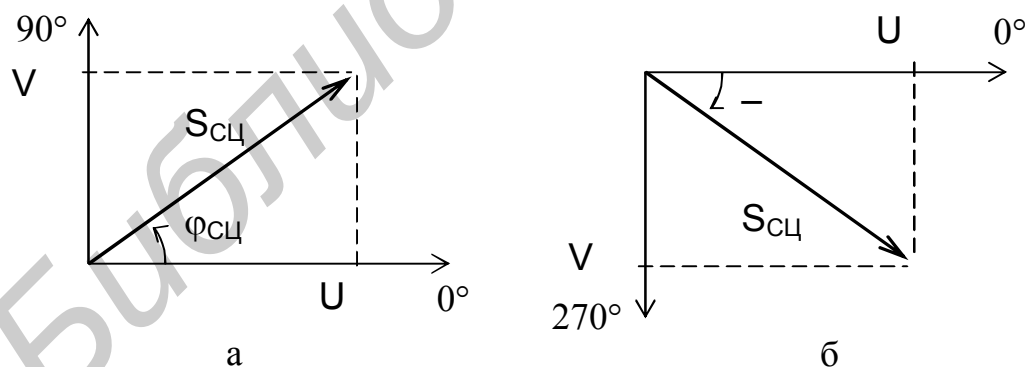
ности $U_{СЦ}$ – образуется путем сложения квадратурных составляющих, определяемых по выражениям (1.29 – 1.31):

$$U_{СЦ} = U \sin(\omega_{ЦП} t) \pm V \cos(\omega_{ЦП} t) = S \sin(\omega_{ЦП} t + \varphi_{СЦ}), \quad (1.32)$$

где амплитуда сигнала цветности S и его фаза $\varphi_{СЦ}$ определяются по выражениям (1.19, 1.20). Векторные диаграммы сигнала цветности для двух случаев фазы канала V приведены на рисунке 1.8.

Коммутация фазы канала V на 180° от строки к строке позволяет уменьшить влияние фазовых искажений тракта передачи изображения на сигнал цветности, но в то же время накладывает ограничения на выбор поднесущей частоты $f_{ЦП}$. Как известно, спектры сигнала яркости и цветоразностных сигналов имеют гребенчатый характер [7] с максимумами спектральной плотности, приходящими на гармоники частоты строк ($nf_{стр}$, где $n = 0, 1, 2, \dots$). При использовании балансной модуляции спектр ЦРС переносится на поднесущую и оказывается, что для сигнала U на выходе модулятора спектральные составляющие располагаются на частотах $(f_{ЦП} \pm nf_{стр})$, а для сигнала на выходе модулятора канала красного цветоразностного сигнала – на частотах $(f_{ЦП} \pm \frac{2m+1}{2} f_{стр})$. Различие в спектральных составах объясняется коммутацией фазы поднесущей в канале красного ЦРС на 180° от строки к строке.

При использовании в качестве поднесущей $f_{ЦП}$ нечетной гармоники полу-



- а – фаза поднесущей в канале V $\varphi_V = 90^\circ$;
- б – фаза поднесущей в канале V $\varphi_V = 270^\circ$

Рисунок 1.8 – Векторная диаграмма сигнала цветности PAL

строчной частоты $(2k + 1) f_{СТР} / 2$ (как это делается в системе NTSC [3, 6]) получа-

ется, что для спектральных компонент сигнала цветности, образованных за счет ЦРС U и расположенных на частотах

$$f_U = \frac{2k+1}{2} f_{СТР} \pm n f_{СТР} = \frac{2l+1}{2} f_{СТР}, \quad (1.33)$$

перемежение со спектральными составляющими сигнала яркости обеспечивается, а для компонент СЦ, образованных сигналом V , – нет, так как

$$f_V = \frac{2k+1}{2} f_{СТР} \pm \frac{2m+1}{2} f_{СТР} = l f_{СТР}, \quad (1.34)$$

и они будут накладываться на компоненты сигнала яркости. Поэтому в системе PAL для поднесущей частоты обеспечивают так называемый четвертьстрочный сдвиг относительно гармоник строчной частоты с дополнительным смещением на половину частоты полей:

$$f_{ЦП} = \left(n - \frac{1}{4}\right) f_{СТР} + \frac{1}{2} f_{ПОЛ}. \quad (1.35)$$

Принимая $n = 284$ и учитывая, что $f_{СТР} = 15625$ Гц, $f_{ПОЛ} = 50$ Гц, получаем

$$f_{ЦП} = \left(284 - \frac{1}{4}\right) \cdot 15625 + 25 = 4436187,5 \text{ Гц}. \quad (1.36)$$

При выборе поднесущей в соответствии с выражением (1.36) обеспечивается перемежение спектральных компонент сигналов яркости и цветности не только для гармоник строчной частоты (рисунок 1.9), но и гармоник частоты полей, присутствующих в спектрах СЯ и ЦРС. Перемежение спектров приводит к тому, что помеха от сигнала цветности на экранах черно-белых телевизионных приемников обладает свойством самокомпенсации – как пространственной (в соседних строках двух полей изображения), так и временной (через шесть полей) [5].

Формирование поднесущей по условию (1.36) обеспечивает еще и перемежение спектральных составляющих $U_{СЦR}$ и $U_{СЦB}$. Это позволяет в декодерах PAL разделить сигнал цветности $U_{СЦ}$ на его составляющие $U_{СЦR}$ и $U_{СЦB}$ до синхронных детекторов (в отличие от приемника NTSC) и исключить перекрестные искажения между ЦРС [7].

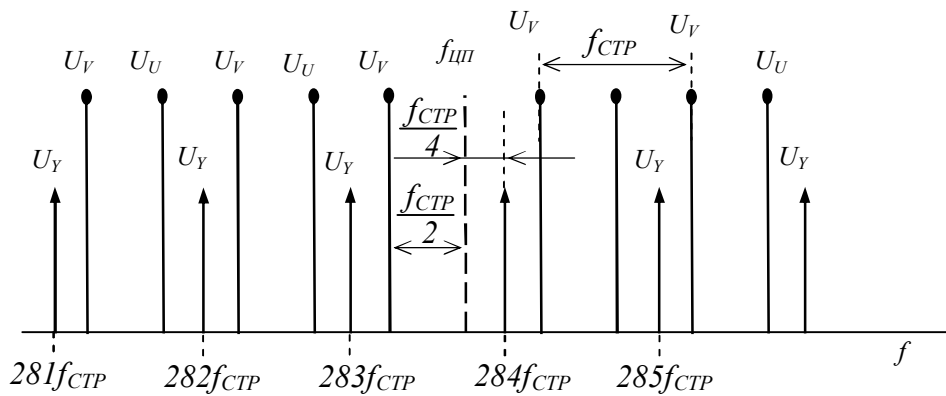


Рисунок 1.9 – Структура спектра сигнала PAL в области цветовой поднесущей

1.5 Система SECAM

Информация о цвете в системе SECAM передается с помощью частотной модуляции (ЧМ) цветовой поднесущей. Для модуляции используются сигналы D'_R и D'_B , линейно связанные с цветоразностными сигналами U_{R-Y} и U_{B-Y} соответственно и определяемые по выражению (1.14). Статистическое изучение показало, что в процессе передачи чаще преобладают положительные значения сигналов U_{R-Y} и отрицательные U_{B-Y} [3]. Поэтому, чтобы большую часть времени работать с отрицательным значением девиации частоты, что увеличивает устойчивость системы к ограничению верхней боковой полосы СЦ, сигнал U_{R-Y} дополнительно инвертируют.

Последовательная передача цветоразностных сигналов позволяет полностью устранить перекрестные искажения между ними, а применение ЧМ – снизить чувствительность сигнала цветности к дифференциальным искажениям [3, 5]. Преимущество применения ЧМ для передачи цветоразностных сигналов связано также с особенностями восприятия флуктуационных помех в зависимости от распределения их энергии по спектру: низкочастотные помехи более заметны, чем высокочастотные.

Частоты покоя цветовой поднесущей в строках D'_R и D'_B различны и составляют

$$f_{0R} = 4,40625 \text{ МГц}; \quad f_{0B} = 4,25 \text{ МГц} .$$

Как и в любой другой системе с ЧМ, для уменьшения влияния шумов модулирующие сигналы подвергаются низкочастотным предискажениям. Закон предискажений сигналов в системе SECAM выражается зависимостью (рисунок 1.10)

$$K_{НЧ}(f) = 10 \lg \frac{1 + (f/85)^2}{1 + (f/3 \cdot 85)^2}, \text{ дБ}, \quad (1.37)$$

где f – текущая частота, кГц.

Предискажение заключается в подъеме уровня высокочастотных (ВЧ) составляющих в спектре сигналов D'_R и D'_B . Эффективность предискажения в системах с ЧМ объясняется характером спектра помех на выходе частотного детектора (ЧД) в приемнике. Энергетический спектр флуктуационной помехи на выходе ЧД имеет параболический характер, т.е. среднеквадратичное (эффективное) напряжение помехи, пропорциональное разности частот (частоте биений f_{δ}) между составляющими помехи и поднесущей частотой сигнала, изменяется по треугольному закону. В связи с этим помехозащищенность снижается для высших частот спектра модулирующего сигнала. Положение усугубляется еще и тем, что энергетический спектр цветоразностного сигнала имеет резко выраженный спадающий характер.

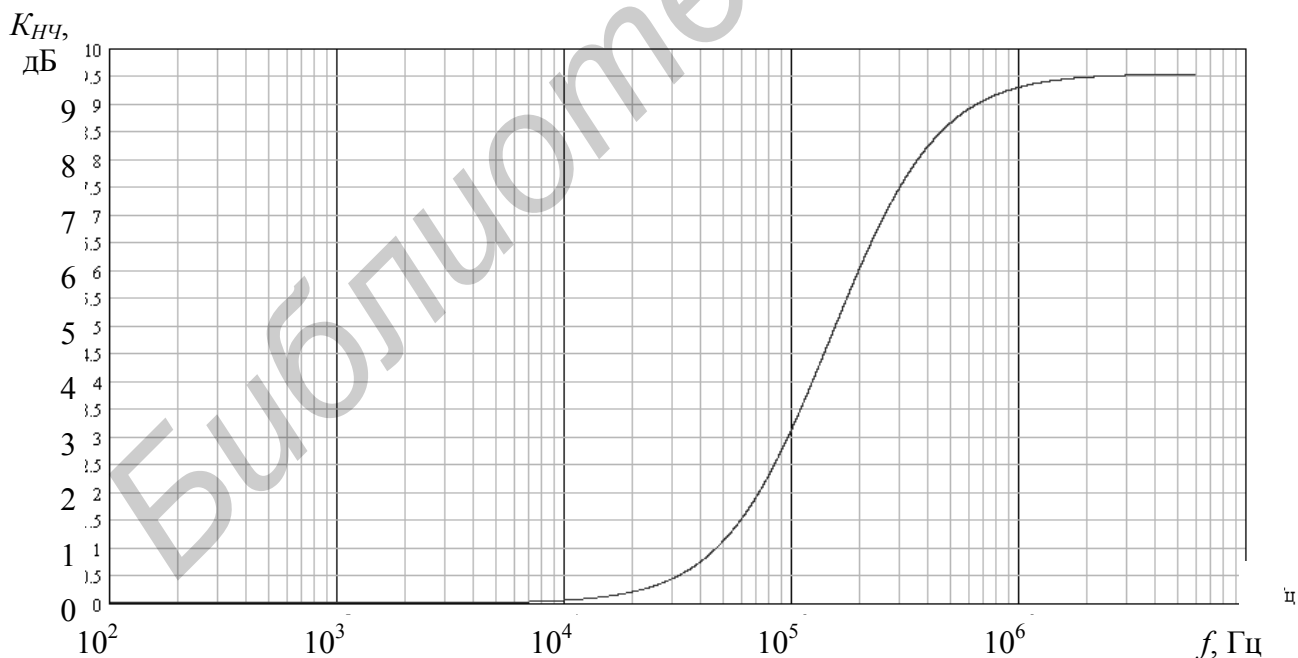


Рисунок 1.10 – Амплитудно-частотная характеристика цепи НЧ предискажений

Так как $K_{НЧ}(f) K'_{НЧ}(f) = 1$ (здесь $K'_{НЧ}(f)$ – характеристика контура корректора НЧ предискажений в приемнике), то форма сигнала не изменяется, а помехи канала связи ослабляются блоком коррекции $K'_{НЧ}(f)$. Если бы предискажения от-

существовали, то на выходе ЧД необходимо было бы устанавливать фильтр нижних частот (ФНЧ), АЧХ которого в идеальном случае имела бы прямоугольный вид. Мощность помех на выходе ФНЧ пропорциональна площади, ограниченной его АЧХ. Очевидно, что площадь под кривой $K'_{НЧ}(f)$ меньше, чем под кривой идеального ФНЧ, следовательно, в блоке коррекции предискажений помехи ослабляются в несколько раз, что эквивалентно увеличению отношения сигнала к помехе.

НЧ предискажения перераспределяют энергию цветоразностных сигналов по спектру при сохранении мощности сигнала, в результате чего увеличиваются индекс модуляции для ВЧ составляющих спектра сигнала и соответственно отношение сигнала к помехе [5].

При подаче на фильтр НЧ предискажения сигналов D'_R и D'_B в виде импульсов прямоугольной формы на их фронтах возникают выбросы, которые в три раза превышают амплитуду сигнала на его плоских участках [5]. В связи с этим предискажённые сигналы подвергаются амплитудному ограничению, которое, однако, искажает переходную характеристику канала цветности для некоторых цветовых переходов. При поступлении на корректор предискажений импульсов с частично ограниченными выбросами форма сигнала полностью не восстанавливается: начальный участок фронтов имеет исходную крутизну, остальная часть – меньшую. Это искажение при передаче деталей средних размеров (букв и цифр титров) создаёт короткое тянущееся продолжение. Поэтому степень НЧ предискажений установлена исходя из требований обеспечения необходимой помехоустойчивости передачи информации о цветности и допустимого размытия границ вертикальных цветовых переходов. Этим требованиям отвечают уровни ограничения: для сигнала D'_B – плюс 2,18 и минус 1,52; для D'_R – плюс 1,25 и минус 1,81 [1].

При разных значениях поднесущей частоты в строках D'_R и D'_B , несимметричном ограничении выбросов и, следовательно, разной девиации частоты при модуляции обеспечивается почти одинаковый диапазон изменения поднесущих, равный 3,9...4,7 МГц.

Для снижения заметности цветовых поднесущих на экране ТВ приемника фаза поднесущей частоты коммутируется на 180° (π) через две строки на третью и от поля к полю.

После коммутации фазы модулированные поднесущие проходят цепь высокочастотных предискажений, модуль коэффициента передачи которой $K_{ВЧ}(f)$ (рисунок 1.11) равен

$$K_{ВЧ}(f) = 10 \lg \left(\frac{1 + (16x)^2}{1 + (1,26x)^2} \right), \text{ дБ}, \quad (1.38)$$

где $x = f/f_0 - f_0/f$ – относительная расстройка по частоте;

$f_0 = 4,286$ МГц – частота настройки контура;

f – текущая частота, МГц.

В телевизоре на входе канала цветности устанавливается фильтр коррекции ВЧ предискажений с коэффициентом передачи $K'_{ВЧ}(f)$, обратным $K_{ВЧ}(f)$. При этом СЦ приобретает исходную форму, а помехи ослабляются [6].

Ослабление помех объясняется тем, что при отсутствии ВЧ предискажения на входе канала цветности в приемнике устанавливается полосовой фильтр, который в идеальном случае в полосе частот СЦ имеет АЧХ, прямоугольную и симметричную относительно частоты поднесущей. Мощность же помех определяется площадью, ограниченной АЧХ ПФ. Эта площадь значительно больше площади под кривой АЧХ схемы корректора ВЧ предискажения. При этом сильнее всего подавляются высокочастотные составляющие помех, которые имеют наибольший «вес» на выходе частотного детектора.

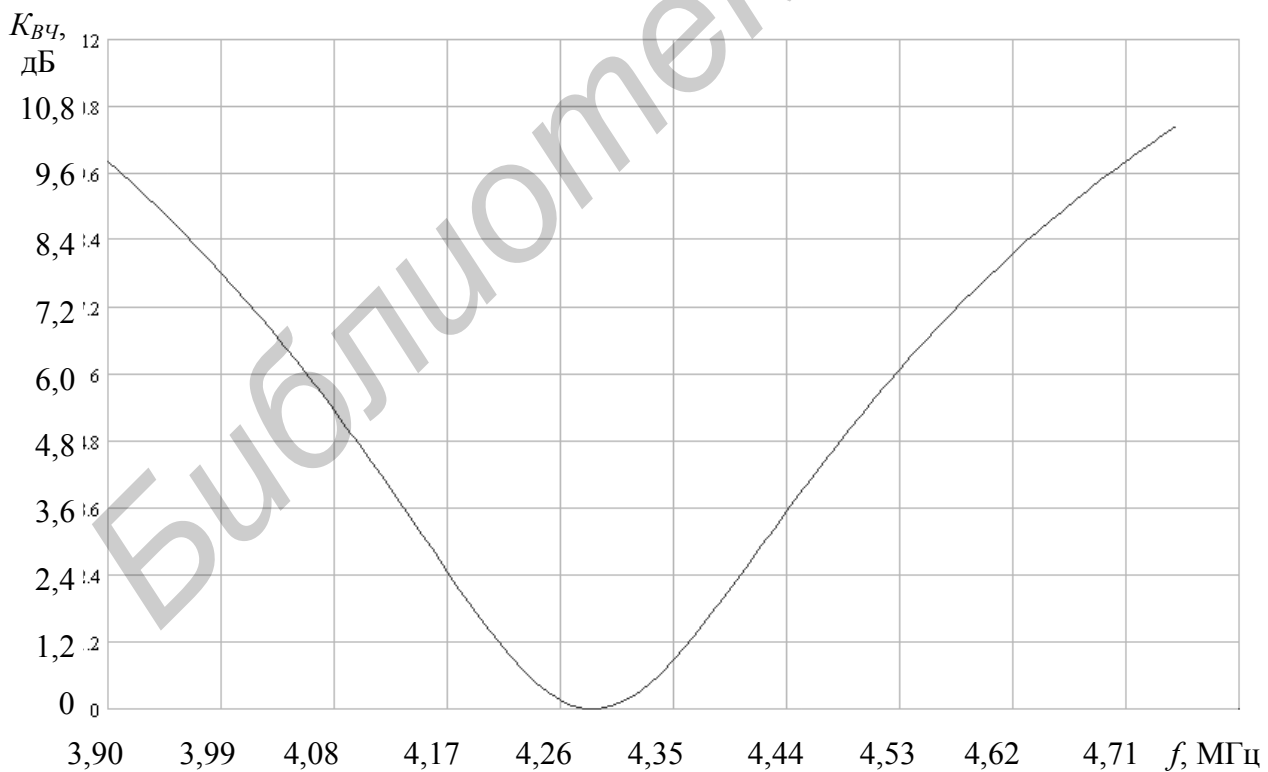


Рисунок 1.11 – Амплитудно-частотная характеристика цепи ВЧ предискажений

ВЧ предискажение улучшает также совместимость системы, так как амплитуда СЦ на выходе блока $K_{ВЧ}(f)$ зависит от отклонения частоты цветовой поднесущей $f_{ЦП}$ (чем меньше отклонение, тем меньше амплитуда СЦ). Поскольку в природе преобладают слабонасыщенные цвета, амплитуда сигналов D'_R и D'_B меньше максимальной, что ведет к небольшому отклонению частоты цветовой поднесущей $f_{ЦП}$ при модуляции. Поэтому СЦ в среднем мало влияет на черно-белые телевизоры, и только при передаче насыщенных цветов совместимость ухудшается (помехозащищенность СЦ возрастает), так как при этом увеличиваются отклонение частоты $f_{ЦП}$ и, следовательно, амплитуда СЦ.

В этой системе перемежение спектров достигается методом коммутации фазы поднесущих, исходные частоты которых $f_{0R}=282 f_{СТР}$ и $f_{0B}=272 f_{СТР}$. На рисунке 1.12 показаны порознь сигналы поднесущих u_{fR} и u_{fB} (без учета гашения их на обратных ходах по строкам). Каждый из них представляет собой синусоиду, подвергнутую амплитудной и фазовой манипуляциям. Сигнал u_{fR} может быть представлен как результат умножения синусоиды f_{0R} на вспомогательный сигнал U_1 , изображенный на рисунке 1.12; аналогично u_{fB} есть результат умножения синусоиды f_{0B} на сигнал U_2 [8]. Таким образом, определение спектра поднесущих сводится к расчету спектров сигналов U_1 и U_2 . Как видно из рисунка 1.12, основная частота этих спектров $\Omega = 2\pi/T = \Omega_{СТР}/6$. Для сигнала U_1 коэффициенты ряда Фурье:

$$a_0 = \frac{1}{6}; \quad a_{1k} = \frac{2}{k\pi} \sin k \frac{\pi}{3};$$

$$b_{1k} = \frac{1}{k\pi} \left(2 \cos k \frac{2\pi}{3} - \cos k\pi - 1 \right). \quad (1.39)$$

Аналогично для сигнала U_2

$$a_0 = \frac{1}{6}; \quad a_{2k} = -\frac{2}{k\pi} \sin k \frac{2\pi}{3};$$

$$b_{2k} = \frac{1}{k\pi} \left(2 \cos k \frac{\pi}{3} - \cos k\pi - 1 \right). \quad (1.40)$$

Как видим, при значениях k , кратных шести, $a_k=0$, $b_k=0$, т.е. все строчные гармоники, кроме нулевой, в спектрах сигналов U_1 и U_2 отсутствуют. Численные значения первых 12 коэффициентов ряда, а также амплитуд гармоник $A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}$ приведены в таблице 1.1.

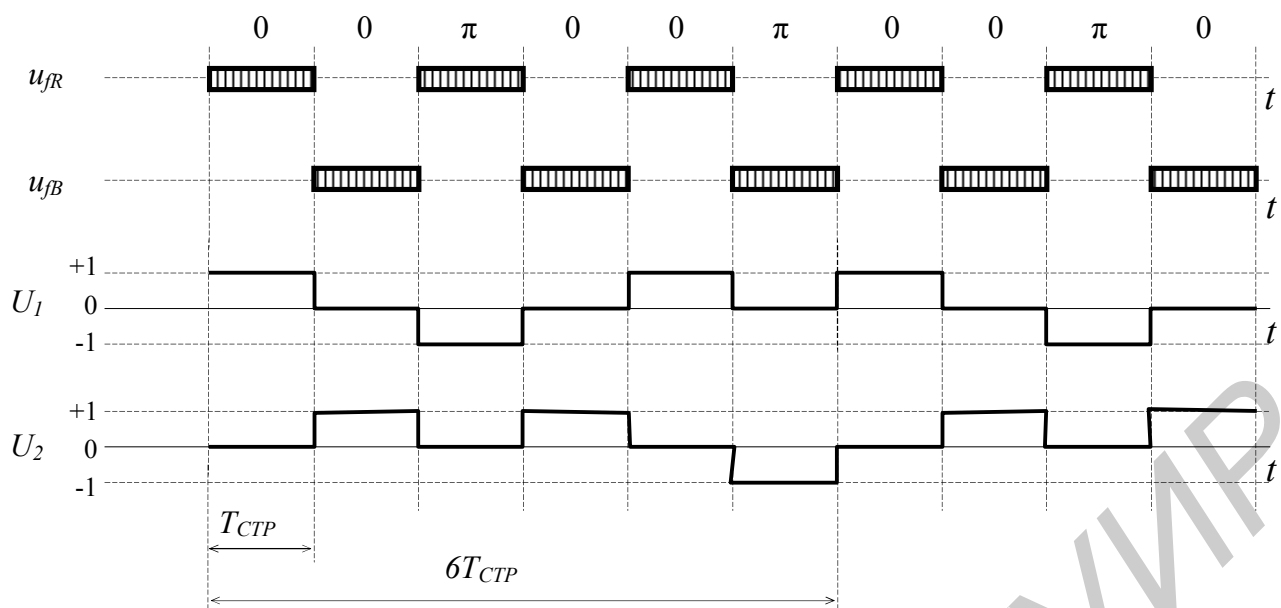


Рисунок 1. 12 – Сигналы цветных поднесущих SECAM и их огибающие

Таблица 1.1 – Значения амплитуд гармоник спектра цветных поднесущих

k	U_1		U_2		A_k
	a_{1k}	b_{1k}	a_{2k}	b_{2k}	
1	0,550	-0,317	-0,550	0,317	0,637
2	0,275	-0,475	0,275	-0,475	0,549
3	0	0,212	0	-0,212	0,212
4	-0,138	-0,238	-0,138	-0,238	0,275
5	-0,110	-0,064	0,110	0,064	0,127
6	0	0	0	0	0
7	0,079	-0,045	-0,079	-0,045	0,091
8	0,069	-0,120	0,069	-0,120	0,138
9	0	0,071	0	-0,071	0,071
10	-0,055	-0,096	-0,055	0,096	0,111
11	-0,050	-0,029	0,050	0,029	0,058
12	0	0	0	0	0

Как видно из таблицы, спектры амплитуд сигналов U_1 и U_2 совпадают, а спектры фаз различны.

Так как умножение сигналов реализуется балансной модуляцией, то спектр сигнала $u_{fB} = U_2 \sin 2\pi f_{0B} t$, показанный на рисунке 1.13, а, представляет собой две боковые полосы поднесущей частоты f_{0B} , каждая из которых повторяет спектр

сигнала U_2 (нижняя – зеркально). Спектр сигнала u_{fR} такой же, но сдвинут вправо по оси частот на $10f_{CTP}$.

Таким образом, в спектре немодулированной поднесущей лишь одна центральная линия кратна строчной частоте, причем ее амплитуда равна $1/6$ амплитуды исходной синусоиды. Коммутацию фазы по полям можно рассматривать как умножение сигналов u_{fR} и u_{fB} на симметричные П-импульсы с частотой $\Omega = 25$ Гц [8], в результате которого каждая линия спектра (рисунок 1.13, а) превратится в группу линий, т.е. приобретает «тонкую структуру», показанную на рисунке 1.13, б. Как следует из этого рисунка, минимальное расстояние по частоте между соседними гармониками спектра равно $f_k/6 = 4^{1/6}$ Гц, что соответствует 6-кадровой периодичности изменения сигнала цветности SECAM. Хотя нестабильность исходной частоты f_0 достигает ± 2 кГц, тонкая структура спектра с интервалом $25/6$ Гц сохраняется, поскольку структура спектра цветовой поднесущей определяется в основном ее фазовыми скачками и изменение исходной частоты влияет лишь на форму огибающей спектра, а положение гармоник не сдвигается.

Спектр П-импульсов кадровой частоты:

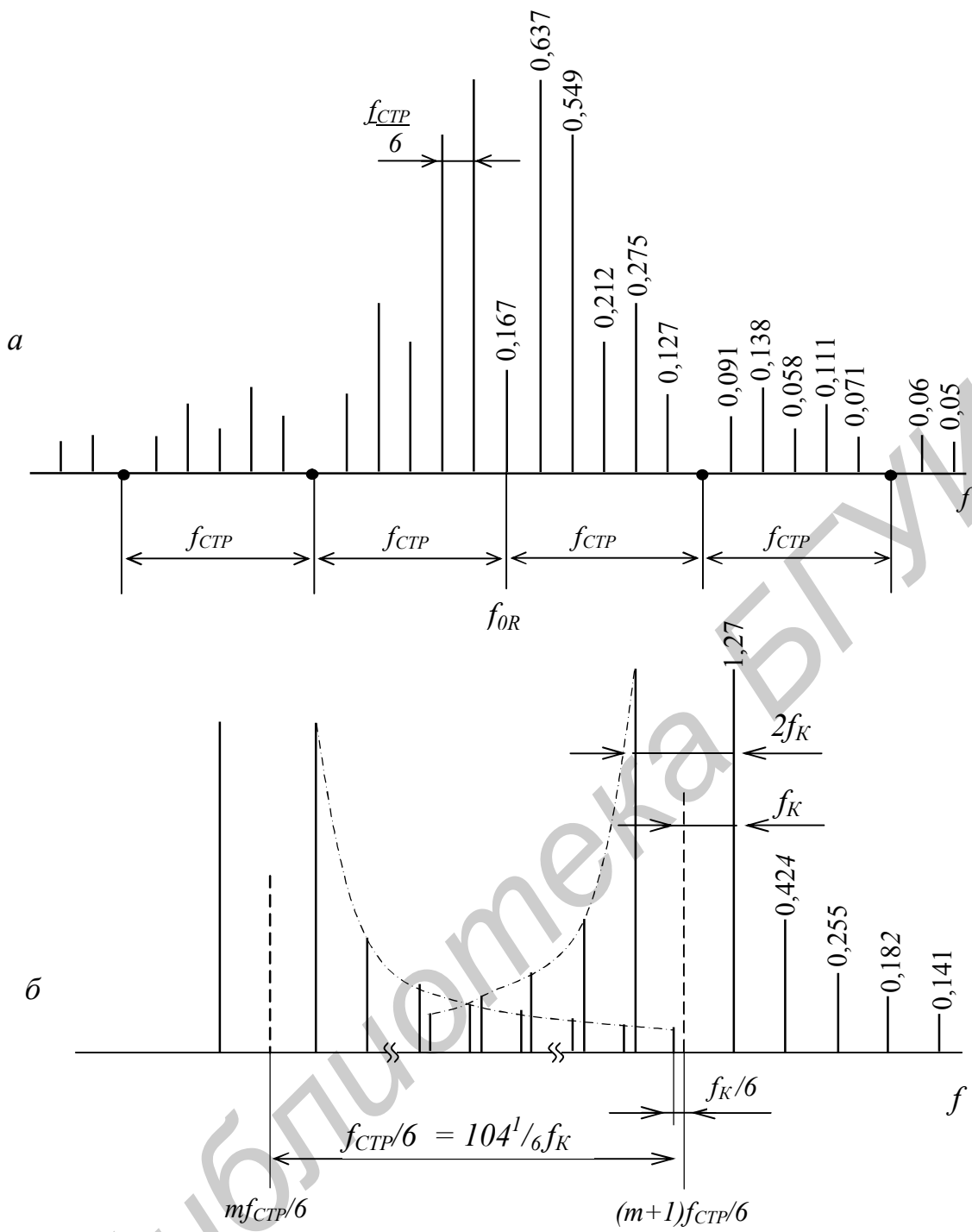
$$U = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{n\pi} \sin\left(n \frac{\Omega_{CTP}}{625} t\right), \quad (1.41)$$

где n – нечетное. В итоге спектры немодулированных поднесущих:

$$U_{fR} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{n\pi} \sin\left(n \frac{\Omega_{CTP}}{625} t\right) \times \left[a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} \left(a_{1k} \cos k \frac{\Omega_{CTP}}{6} t + b_{1k} \sin k \frac{\Omega_{CTP}}{6} t \right) \right] \sin 282\Omega_{CTP} t; \quad (1.42)$$

$$U_{fB} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{n\pi} \sin\left(n \frac{\Omega_{CTP}}{625} t\right) \times \left[a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} \left(a_{2k} \cos k \frac{\Omega_{CTP}}{6} t + b_{2k} \sin k \frac{\Omega_{CTP}}{6} t \right) \right] \sin 272\Omega_{CTP} t. \quad (1.43)$$

Энергия спектра довольно узко сконцентрирована вокруг частот f_{0B} и f_{0R} . Если ограничиться гармониками с амплитудами не менее 10%, то ширина спектра поднесущей будет примерно равна $4f_{CTP}$ (около 1,5% частоты f_{0B}). Ширина размытия спектральных линий коммутацией по полям $26 f_k$ (около 25% интервала $1/6 f_{CTP}$).



а – спектр немодулированной поднесущей после коммутации фазы;
 б – то же, фрагмент между двумя гармониками спектра огибающей

Рисунок 1.13 – Спектр цветовой поднесущей SECAM

Чтобы перейти к спектру частотно-модулированного сигнала, надо учесть, что исходная поднесущая кратна частоте строк, а спектр модулирующего ТВ сигнала строится из гармоник $f_{СТP}$. Поэтому спектр ЧМ сигнала до коммутации фазы, как и при АМ, имеет структуру, в которой все линии являются гармониками $f_{СТP}$.

В результате коммутации фазы каждая линия этого спектра превращается в линейную структуру, как на рисунке 1.13, б. При этом все строчные гармоники уменьшаются по амплитуде в 6 раз, а между ними возникают новые гармоники с интервалом $f_{СТР}/6$, т.е. спектр становится в 6 раз «гуще».

1.6 Общие выводы по оценке искажений и рекомендации по их устранению в системах цветного телевидения

После анализа принципов работы систем цветного телевидения NTSC, PAL и SECAM можно сделать вывод, что совместная (в общей полосе частот) передача СЯ и СЦ (сильного и слабого сигналов) и является причиной многих недостатков (кроме уже изложенных), свойственных композитным системам ЦТВ и проявляющихся после прохождения по каналу связи и обратных преобразований сигналов в декодирующем устройстве. На рисунке 1.4, б все сигналы обозначены \bar{U} , так как характеристики каналов отличаются от идеальных, а на сигналы действуют шумы и следующие виды искажений:

- перекрестные искажения между ЦРС (NTSC);
- перекрестные искажения «яркость-цветность» и «цветность-яркость»;
- нелинейные искажения СЯ и СЦ;
- искажения типа «дифференциальная фаза» и «дифференциальное усиление»;
- ограничение выбросов при НЧ предискажениях (SECAM);
- неполное перемежение спектральных составляющих СЯ и СЦ (в стандартных кодерах SECAM);
- усреднение сигналов цветности соседних строк (PAL);
- расхождение во времени и различие в усилении СЯ и СЦ, к которым добавляются и аппаратные искажения в кодере и декодере;
- неточность задержки на строку (PAL, SECAM);
- перекрестные искажения между ЦРС;
- неточность НЧ и ВЧ предискажений и коррекции сигналов D_R , D_B и СЦ;
- неточность квадратуры в кодере и декодере (NTSC, PAL);
- неточность восстановления фазы поднесущей (NTSC, PAL);
- сдвиг «нулей» в частотных детекторах (SECAM).

Рассмотренные и неупомянутые системные ограничения и искажения сигналов вместе с действием на них шумов и помех вызывают различные искажения изображения в зависимости от системы ЦТВ и в рамках этих систем не могут быть устранены. Многие из них отсутствуют в аналоговой (частично цифровой) системе ТПК типа МАК (MAC), в которой стандарт разложения изображения на

телецентре остается как и в ТСЧ, но с форматом 16:9. При этом сигналы для передачи берутся из сечения Д (см. рисунок 1.4, а) с полосами частот 5,6 МГц (для U_Y) и по 2,8 МГц (для ЦРС), что более чем в 2 раза шире, чем полоса ЦРС в композитных системах ЦТВ. Система МАК уступает по качеству (цветовой четкости по горизонтали и вертикали) только компонентной системе, в которой передаются широкополосные (по 6 МГц) СЯ и ЦРС, имеющиеся на телецентре в сечении Г (см. рисунок 1.4, а), но это можно осуществить только в цифровой системе телевидения.

Для большей наглядности все основные методы повышения качества изображения сведены в классификацию (рисунок 1.14).

Библиотека БГУИР

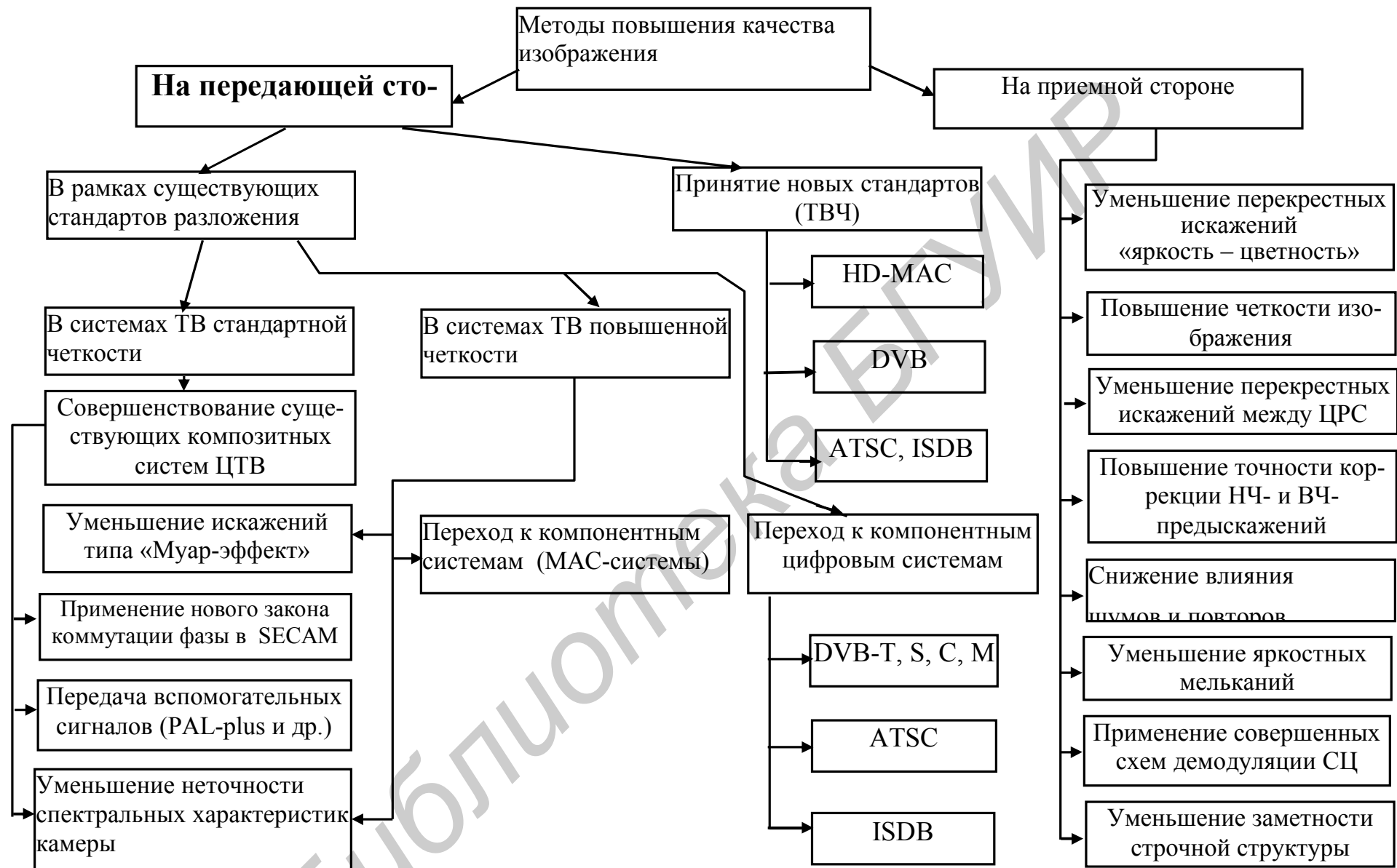


Рисунок 1.14 – Классификация методов повышения качества изображения

2 СИСТЕМА SECAM С НОВЫМ ЗАКОНОМ КОММУТАЦИИ ФАЗЫ ЦВЕТОВОЙ ПОДНЕСУЩЕЙ

Для системы SECAM есть два пути повышения качества изображения – совершенствование существующего оборудования либо использование улучшенной совместимой системы SECAMplus (или Супер-SECAM). Естественно, что вначале целесообразно идти по первому пути и использовать все резервы существующей системы, а затем переходить на новые, пусть и совместимые варианты, требующие, однако, модификации телевизионных приемников.

Известно, что наибольшее влияние на ухудшение качества цветного изображения в системе SECAM оказывают перекрестные искажения яркость/цветность. Действительно, как видно из рисунка 1.13, а, спектры сигналов яркости и цветности в системе SECAM, в отличие от PAL и NTSC, полностью не перемежаются (каждая шестая гармоника сигнала цветности совпадает с гармоникой сигнала яркости), в результате чего их полное разделение невозможно даже при использовании сложных гребенчатых фильтров. Следовательно, встает вопрос о возможности использования более совершенного закона коммутации фазы цветовой поднесущей, который бы обеспечил полное перемежение спектров сигналов яркости и цветности и уменьшение заметности поднесущей на экране.

Практически в системе SECAM используется асимметричный закон коммутации фазы ЦП (через две строки на третью – см. подраздел 1.5). Но к полному перемежению спектров способен привести только симметричный закон коммутации. Начиная с 1968 года, было предложено несколько его новых вариантов. Так, в [9] коммутацию предлагается осуществлять через каждые три строки, так что в течение трех строк она остается неизменной (000плл000плл...). При этом фаза коммутируется и от поля к полю по закону 0π0π... В результате заметность поднесущей уменьшается благодаря тому, что узор, образуемый биениями двух частотно-модулированных поднесущих, приобретает более мелкую и однородную структуру. Полный цикл изменения фазы поднесущей составляет соответственно 12 полей и 12 строк, после чего процесс повторяется.

Если проанализировать коммутирующие функции U_1 и U_2 , то видно, что они несимметричны относительно 0, т.е. имеют постоянную составляющую (рисунок 2.1). В результате, если рассматривать сигналы U_{fR} и U_{fB} как балансную модуляцию поднесущих f_R и f_B сигналами U_1 и U_2 соответственно (см. подраздел 1.5), становится очевидно, что и в этом случае в спектре поднесущей будет гармоника, совпадающая с гармоникой частоты строк, т.е. перемежения спектров также не будет, а сам спектр будет в 2 раза гуще (12 гармоник цветовой поднесущей в интервале f_{CTP}), чем приведенный на рисунке 1.13, а.

В [10] предложен другой закон коммутации фазы – от строки к строке (0π0π...) для сигнала R-Y и через две строки (00ππ00ππ...) для B-Y (рисунок 2.2).

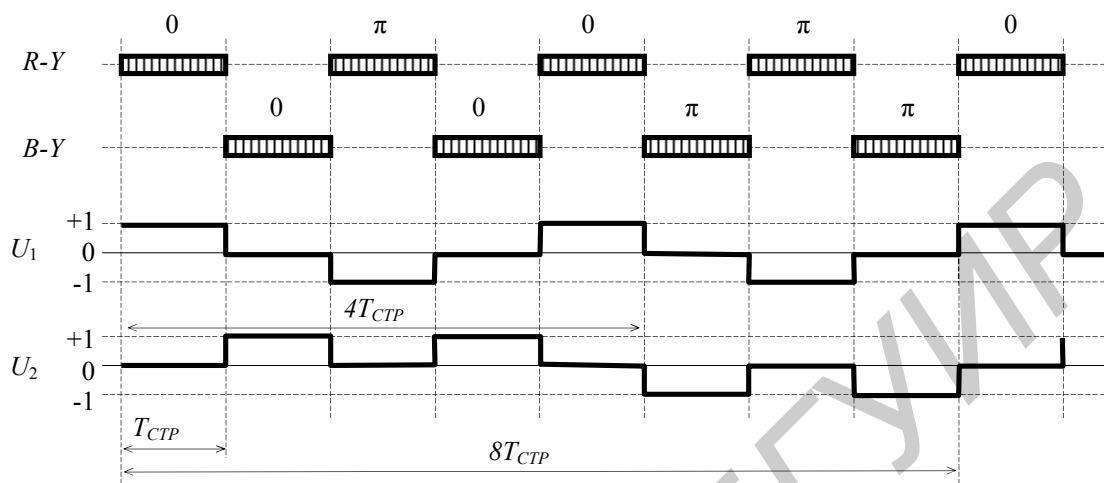


Рисунок 2.2 – Сигналы цветowych поднесущих SECAM и их огибающие для смешанного закона коммутации 0π0π.../00ππ00ππ...

В данном случае коммутирующие функции симметричны относительно 0, что дает право утверждать об отсутствии в спектре поднесущей с коммутированной по приведенным выше законам фазой гармоник, совпадающих с гармониками частоты строк. Спектральные составляющие располагаются соответственно с частотными интервалами:

$$f_{0R} \pm (2n-1) \frac{f_{CTR}}{4} + mf_{CTR} = 282f_{CTR} \pm (2n-1) \frac{f_{CTR}}{4} \pm mf_{CTR}; \quad (2.1)$$

$$f_{0B} \pm (2n-1) \frac{f_{CTR}}{8} + mf_{CTR} = 272f_{CTR} \pm (2n-1) \frac{f_{CTR}}{8} \pm mf_{CTR}, \quad (2.2)$$

где n и m – натуральные числа.

Спектры гармоник сигналов яркости и цветности полностью перемежаются между собой, единственным недостатком является то, что расстояние между гармониками сигнала цветности в «красном» и «синем» каналах различно ($f_{CTR}/4$ и $f_{CTR}/8$ соответственно). Это потребует применения для их разделения фильтров на базе различающихся вдвое по длительности линий задержки и соответственно приведет к вдвое большему усреднению сигнала B-Y по сравнению с R-Y.

Наилучший вариант закона коммутации фазы ЦП приведен в [11] – от поля к полю фаза коммутируется по закону $00\pi\pi00\pi\pi\dots$, от строки к строке – $0000\pi\pi\pi\pi0\dots$. Здесь, в отличие от предыдущего варианта, коммутирующие функции в каналах R-Y и B-Y не только симметричны относительно 0, но и имеют одинаковый период (рисунок 2.3). В результате гармоники цветowych поднесущих f_R и f_B располагаются на равном расстоянии от гармоники сигнала яркости ($\frac{f_{СТР}}{8} \pm m \frac{f_{СТР}}{4}$) и между собой ($\frac{f_{СТР}}{4}$), четные гармоники в коммутирующих функциях отсутствуют (рисунок 2.4). Полный цикл изменения фазы каждой из поднесущих частот составляет 8 кадров (16 полей).

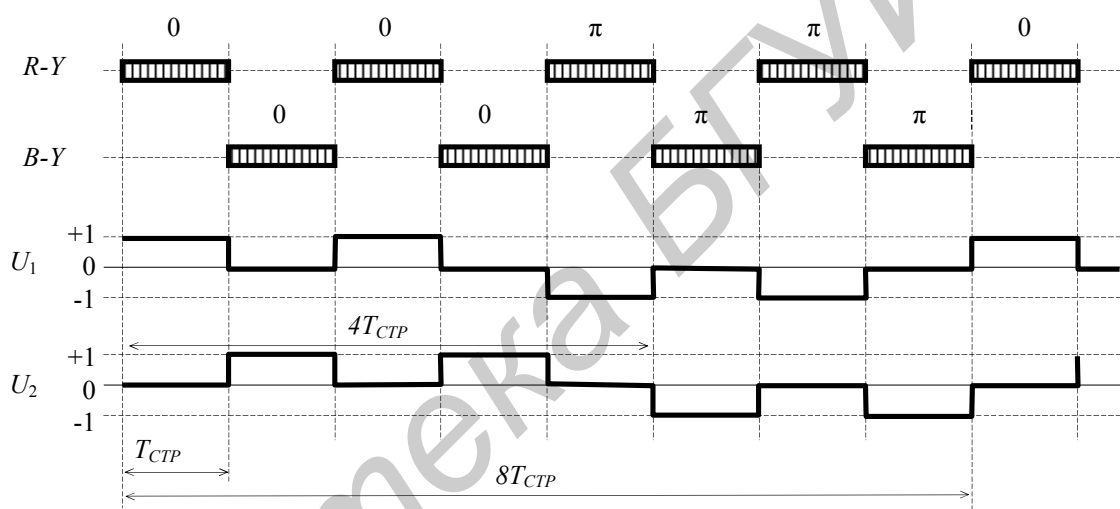


Рисунок 2.3 – Сигналы цветowych поднесущих SECAM и их огибающие для закона коммутации $0000\pi\pi\pi\pi\dots/00\pi\pi00\pi\pi\dots$

Экспериментальные исследования эффективности данного решения, проведенные в АО МНИТИ [12, 13], показали, что достигается значительное улучшение качества цветного изображения на всех типах телевизионных приемников, причем никаких дополнительных изменений остальных параметров системы SECAM и регулировки или подстройки передающей и приемной аппаратуры не требуется. Субъективное качество изображения неотлично от получаемого при использовании сигналов системы PAL.

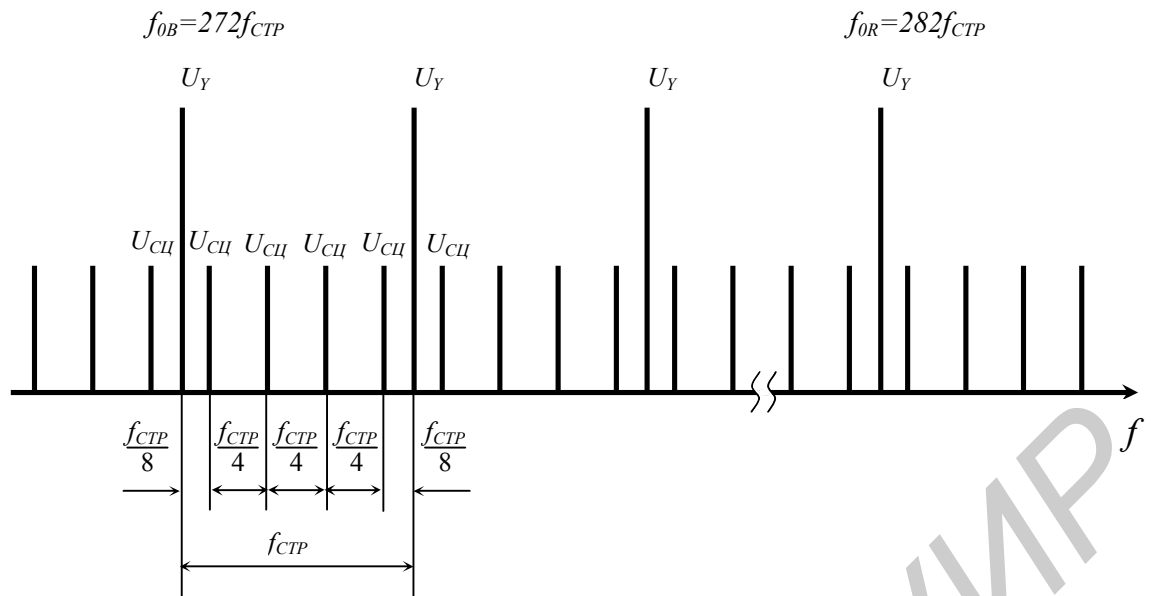


Рисунок 2.4 – Спектр сигналов яркости и цветности в системе SECAM с измененным законом коммутации фазы цветных поднесущих

Библиотека БГУИР

3 УЛУЧШЕННЫЕ СИСТЕМЫ ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

3.1 Система PALplus

PALplus – улучшенная система передачи, обеспечивающая получение широкоэкрannого изображения с уменьшенным количеством искажений, в частности перекрестных яркость/цветность, свойственных системе PAL, при сохранении совместимости с ней [14].

Стандарт разложения основного входного сигнала кодера и выходного сигнала декодера для PALplus – 625/50/2:1/16:9. В качестве исходного сигнала также может быть использован сигнал ТВЧ 1250/50/2:1, преобразованный в стандарт 625/50/2:1.

Для достижения совместимости с существующими приемниками, имеющими формат изображения 4:3, широкоэкрannое изображение передается в ограниченном формате «letterbox» с 430 активными строками в кадре, а для восстановления исходного 574-строчного (две строки, 23 и 623, отведены под передачу управляющих сигналов) изображения предназначен вспомогательный сигнал (Helper), передаваемый в оставшихся 144 строках (выше и ниже границ картинки) методом АМ ЧПОБП поднесущей частоты 4,43 МГц. Улучшенный метод формирования сигнала цветности «Clean PAL» позволяет полностью устранить перекрестные искажения яркость/цветность в телевизорах PALplus и уменьшить их в стандартных телевизорах PAL.

Система PALplus имеет два режима работы – «фильм», использующийся только с исходными сигналами, записанными на киноплёнку, и «ТВ», который используется с источниками видеосигнала с частотой следования полей 50 Гц.

Основные этапы формирования сигнала PALplus

Для формирования сигнала изображения PALplus используются следующие процессы:

1. Преобразование исходного изображения формата 16:9 с 576 активными строками в изображение формата «letterbox» 16:9 с 430 активными строками.
2. Формирование вспомогательного вертикального сигнала, несущего информацию о точном распределении яркости по вертикали и передающегося в черных полосах выше и ниже активного изображения ограниченного формата.
3. Формирование сигнала цветности («Clean PAL»).
4. Кодирование вспомогательного сигнала.

Кроме того, в PALplus используется передача сигналов идентификации широкоэкранных программ (WSS) в соответствии с рекомендацией МСЭ–Р

BT.1119 [16]. Также передаются сигналы для точной установки уровней входной яркости вертикальных вспомогательных сигналов.

Сигнал на выходе кодера PALplus представляет собой аналоговый композитный PAL сигнал, содержащий 430 активных строк (по 215 в каждом поле) изображения в формате «letterbox», вспомогательный сигнал, занимающий по 36 строк в каждом поле выше и ниже видимой области изображения (рисунки 3.1, 3.2), сигнальные биты в первой половине 23-й строки и опорные сигналы во второй половине 623-й строки, предназначенные для декодера PALplus.

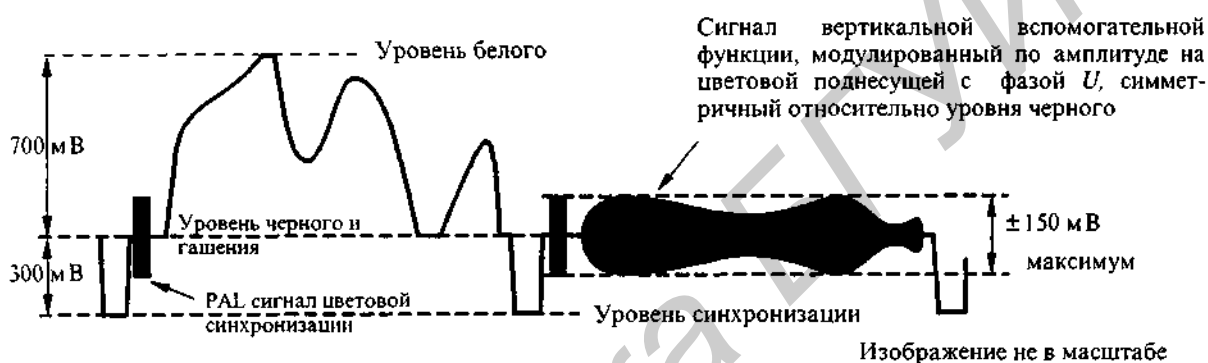


Рисунок 3.1 – Формат кадра в системе PALplus

Вертикальное преобразование

Входные яркостный Y и цветоразностные $C_B C_R$ сигналы в 576 активных строках преобразуются в центральное изображение ограниченного формата «letterbox» с 430 строками плюс 144 строки вертикального вспомогательного сигнала, содержащего дополнительную информацию о яркости по вертикали (рисунок 3.2). В режиме «фильм» такое преобразование выполняется внутри кадра, а в режиме «ТВ» – внутри поля. Раз-

деление яркостного сигнала на две полосы – низкочастотную, содержащую информацию о яркости изображения с ограниченным 430-строчным форматом, и высокочастотную (144 строки расширения разрешающей способности по вертикали) можно представить следующим образом: из каждых четырех строк исходного сигнала формируются три строки, соответствующие изображению ограниченного формата, и одна строка, представляющая собой разность между исходными и преобразованными строками. Здесь, когда речь идет о низко- и высокочастотных составляющих, следует помнить, что это касается пространственных частот изображения.



Примечание. В строках, предназначенных для передачи вспомогательного сигнала, используется стандартное гашение строк PAL. Импульс гашения идентичен соответствующему стандартному импульсу PAL.

Рисунок 3.2 – Сигналы, демонстрирующие уровни сигнала PALplus

ЦРС для создания сигнала центрированного изображения с 430 строками также подвергаются передискретизации по вертикали, но, в отличие от СЯ, вспомогательный сигнал не формируется – считается, что цветовая разрешающая способность по вертикали и так достаточна, а усреднение строк при формировании изображения ограниченного формата способствует также уменьшению перекрестных искажений цветность/яркость в режиме «Clean PAL».

Для восстановления широкоэкранный изображения с 576 активными строками PALplus декодером выполняются процессы, взаимно обратные тем, которые описаны для кодера.

Формирование сигнала цветности («Clean PAL»)

Целями этого процесса являются повышение горизонтальной цветовой разрешающей способности и устранение перекрестных искажений яркость/цветность. Способ формирования сигнала цветности зависит от того, в каком режиме – «ТВ» или «фильм» – работает кодер. Однако общим для обоих случаев является использование

вертикальной (внутриполевой или внутрикадровой) обработки ЦРС (режим «*Colour plus*»).

«*Colour plus*» учитывает, что две точки в сигнале PAL, разделенные ровно 312 строками, например в n -й строке первого поля и $n + 312$ -й строке второго поля, имеют практически противоположную фазу поднесущей. Если эти две строки несут одну и ту же информацию о яркости и цветности, то яркость и цветность могут быть разделены путем сложения составных сигналов и вычитания их друг из друга. В результате сложения получается СЯ, а противофазные сигналы цветовой поднесущей взаимно компенсируются. В результате вычитания получается сигнал цветности (СЦ), так как противофазные сигналы цветовой поднесущей при этом складываются, а СЯ взаимно компенсируются. ЦРС U и V , свободные от перекрестных искажений, могут быть восстановлены в кадре путем последующего усреднения после демодуляции СЦ. Последний подход является предпочтительным при реализации декодера PALplus. Практически в кадре усредняются только высшие (выше 3 МГц) горизонтальные частоты СЯ, так как только эта часть СЯ использует спектр совместно с СЦ.

«*Colour plus*» хорошо работает в режиме «фильм». Однако простое усреднение составляющих из 312 строк может стать причиной недопустимых искажений в режиме камеры, где есть движение (изменение) между смежными полями кадра. Особую проблему может вызвать сигнал с быстро двигающимися цветными областями: так как весь сигнал цветности усреднен, ошибки в движении иногда наблюдаются в виде дрожания цвета – для устранения этого используется адаптивный к движению режим MACP (*Motion Adaptive Colour plus*). В MACP используется детектор движения и в кодере и декодере, формирующий управляющий сигнал для выбора режима кодирования – «*Colour plus*» или стандартный PAL, использующий только НЧ часть сигнала яркости (до 3 МГц). В областях с движением насыщенного цвета в спектре PALplus кодированного сигнала частоты выше 3 МГц заняты исключительно сигналом цветности без вертикального или временного ограничения. Система разработана так, что детекторы движения в декодере и кодере принимают аналогичные решения независимо от обнаруженного в кодере количества движения.

При работе в режиме «фильм» нет необходимости в адаптивной обработке движения, и процессы кодирования и декодирования цвета остаются вида «*Colour plus*».

Передача вертикального вспомогательного сигнала

Вертикальный вспомогательный сигнал передается методом амплитудной модуляции с частично подавленной боковой полосой цветовой поднесущей U , причем ее максимальный размах составляет ± 150 мВ (± 15 % от размаха ПЦТС) симметрично уровня черного (см. рисунок 3.2).

Опорные сигналы

Опорные сигналы вводятся во вторую половину строки 23 и в первую половину строки 623.

Опорный синхроимпульс вспомогательного сигнала в строке 23 является цветовой поднесущей с фазой минус 180° , соответствующей пиковой амплитуде модулированного вспомогательного сигнала.

Обязательные опорные сигналы в строке 23 должны быть сгенерированы с использованием соответствующих низкочастотных сигналов на входе кодера вспомогательного сигнала. Это делается для достижения максимальной схожести обработки эталонных и вспомогательных сигналов и для учета некоторой неидеальности характеристик в кодере вспомогательного сигнала.

Передача сигналов управления

Для передачи управляющих сигналов используется система WSS (Рекомендация МСЭ-R ВТ. 1119 [16]). Информация о методе кодирования цвета (стандартный PAL или MACP), наличии вспомогательного сигнала, режиме работы кодера («ТВ» или «фильм»), обязательная для PALplus, передается в первой половине 23-й строки.

Результаты экспертных оценок системы PALplus

В целом почти для всех естественных изображений, полученных из различных источников при просмотре на расстоянии 4 h и больше, система PALplus обеспечивает качество изображения, намного лучшее, чем в стандартной системе PAL, и близкое к качеству цифрового компонентного изображения формата 4:2:2 (576 активных строк) [16]. Особенно это заметно на высококачественных дисплеях формата 16:9. Еще более повысить качество изображения можно за счет использования материала от ТВЧ источника, преобразованного с понижением четкости (это же относится и к стандартным PAL системам).

Вспомогательный сигнал, формируемый в системе, обеспечивает, во-первых, более высокую четкость по вертикали и, во-вторых, делает менее видимыми ошибки между полями (межстрочное дрожание, «сползание» строк). Таким образом, использование вспомогательного сигнала является более эффективным путем уменьшения заметности строчной структуры изображения, чем любое преобразование стандартов развертки, вносящее собственные искажения, или простое вертикальное расширение размера картинка.

Улучшение, обеспечиваемое MACP, заметно прежде всего на большом экране ($> 32''$) формата 16:9 при просмотре с расстояния примерно 4 h. Это происходит потому, что потолок качества PAL ограничен скорее перекрестными искажениями «яркость/цветность», чем разрешающей способностью. Однако использование вспомогательных функций обеспечивает улучшение изображения, которое становится более заметным с увеличением размера экрана.

Качество изображения, получаемое на стандартном приемнике PAL, в случае, когда ведется передача PALplus, менее чем на 12 % отличается от качества сигнала PAL с ограниченным форматом. Вспомогательный сигнал фактически невидим в условиях нормального расстояния просмотра (6 h или больше).

Прием изображений с MACP на PAL-приемники такой, что не наблюдается никаких дополнительных искажений. Изображения получены того же или лучшего качества, как они были бы со стандартными PAL кодированием и декодированием. Таким образом, система может рассматриваться как PAL-совместимая.

3.2 Варианты улучшенных систем SECAM

Система Супер SECAM

Недостатки системы SECAM подробно проанализированы в [1-3, 5-7] и в первом разделе данного пособия. Основная причина относительно низкого качества воспроизводимого на приемной стороне цветного изображения обусловлено неполным перемежением спектральных составляющих СЯ и СЦ, а также изменяющимися от строки к строке значениями частоты покая цветовой поднесущей.

В связи с этим возникает много проблем с разделением СЯ и СЦ в телевизорах. Во-первых, нельзя воспользоваться гребенчатыми фильтрами, учитывающими только пространственную корреляцию сигналов, учет же временной корреляции был практически невозможен, так как малогабаритные и приемлемые по стоимости блоки памяти на поле (кадр) появились совсем недавно. Во-вторых, в многосистемных ТВ приемниках необходимо по-разному разделять СЯ и СЦ в зависимости от вида принимаемого сигнала – системы NTSC-4,43, PAL или SECAM, что еще больше усложняло приемник.

При использовании наиболее простых фильтров – полосового (ПФ) для выделения СЦ и режекторного (РФ) – для частичного подавления СЦ в спектре СЯ также возникают трудности с реализацией схемы. Они связаны с тем, что максимум энергии в спектрах СЦ в системах NTSC-4,43 и PAL сосредоточен вокруг частоты 4,43 МГц поднесущей, а в SECAM – на частотах 4,68 и 4,02 МГц в «красной» и «синей» строках соответственно. Необходимо использовать разные РФ в зависимости от системы ЦТВ и к тому же при приеме сигнала SECAM построчно коммутировать РФ_Р и РФ_В.

Для этого нужна информация о том, сигнал какой строки – «красной» или «синей» – принимается, что требует дополнительного усложнения модуля цветности. Если же фильтры РФ_Р и РФ_В не подключать поочередно, а включить оба,

то «двугорбая» АЧХ канала яркости существенно увеличивает фазовые искажения и на яркостных переходах возникают выбросы и повторы и, как следствие, ухудшается четкость изображения. Также в этом случае оказываются сильно ослабленными и искаженными составляющие спектра СЯ в диапазоне частот примерно 3,8...4,8 МГц, а ВЧ участок – 4,8...6,0 МГц – лежит на пределе разрешающей способности цветного кинескопа.

Качество изображения по системе SECAM можно было бы существенно улучшить, если увеличить значения частот цветовых поднесущих на 1 МГц (5,25 и 5,40625 МГц), а полосу частот канала яркости ограничить значением 4,5 МГц. Такая модернизированная система SECAM имеет следующие преимущества [7]:

- четкость телевизионного изображения повышается с 270 до 350 твл;
- устраняются цветные муары на изображении;
- полностью реализуется разрешающая способность масочного кинескопа;
- существенно улучшается форма переходного процесса в канале яркости, устраняются повторы и выбросы, вызванные режекторным фильтром.

Качество изображения, получаемого на экране приемника, оказывается таким же, как в стандарте S-VHS. Поэтому модернизированная система SECAM получила название «СуперSECAM», однако ее внедрение затрудняется из-за несовместимости с действующей системой SECAM.

Предложен также совместимый вариант системы СуперSECAM, в котором учтена особенность спектра SECAM и то, что при плохом разделении СЯ и СЦ наиболее заметны перекрестные искажения «цветность/яркость». Они создают цветные муары на неокрашенных участках изображения с мелкой вертикальной структурой.

В кодере СуперSECAM сигнал яркости формируется из НЧ (0...3,5 МГц) и ВЧ (3,5...4,5 МГц) составляющих. Высокочастотная составляющая переносится по частоте в область 5,5...6,5 МГц. В освободившемся участке спектра 3,5...4,5 МГц, где нет спектральных составляющих сигнала яркости, передается сигнал цветности со стандартными значениями частот цветовых поднесущих. В усовершенствованном приемнике составляющие полного цветового сигнала легко разделяются фильтрами. Сигнал цветности демодулируется обычным образом. ВЧ составляющая сигнала яркости возвращается в исходный диапазон частот 3,5...4,5 МГц и складывается с низкочастотной составляющей, образуя сигнал со спектром 0...4,5 МГц. В результате повышается четкость изображения и полностью устраняются перекрестные искажения «яркость/цветность» и «цветность/яркость».

Система SECAMplus

Основные принципы формирования сигнала в системе SECAMplus аналогичны системе PALplus. Различие обусловлено тем, что в SECAM ЦПС передаются поочередно через строку методом частотной модуляции цветовой поднесущей, значения частот покоя которых f_{0R} и f_{0B} в «красной» и «синей» строках различны, кроме этого применяются коммутация фазы поднесущих по строкам и по полям, а также НЧ передыскажения ЦПС и ВЧ - сигнала цветности. Поэтому в системе SECAMplus требуется иной способ для передачи вспомогательного сигнала. Для уменьшения перекрестных искажений между составляющими яркости и цветности возможно (как и в PALplus) применение специальных методов обработки этих сигналов при кодировании и декодировании. В их основе лежит двухмерное (вертикально-временное) разделение сигналов яркости и цветности с помощью пространственно-временных фильтров, использующих задержку на поле [19]. Они должны быть адаптивными и учитывать характер пространственно-временных изменений изображения, а эффективность их применения должна быть подтверждена экспериментально [20].

Система SECAMplus в принципе могла бы стать технической основой широкоформатного вещания в странах, где используется система ЦТВ SECAM, но в связи с тем, что работы по ней были начаты значительно позже (когда система PALplus была уже разработана) и в настоящее время практически прекращены, а также учитывая наметившийся переход на цифровые системы телевидения, очевидно, что дальше лабораторных экспериментов с SECAMplus дело не пойдет. То же самое касается и системы СуперSECAM – она также останется «теоретической». Тем не менее обе эти системы стоит рассматривать как этап в решении проблемы повышения качества изображений в совместимых системах ЦТВ.

3.3 Системы передачи компонентных сигналов цветного телевидения с временным уплотнением (МАС-системы)

Метод временного уплотнения сигналов яркости и цветоразностных стал возможен благодаря развитию цифровых и цифроаналоговых методов обработки сигналов. Аналоговые СЯ и ЦРС являются случайными сигналами, как и любые другие сигналы, несущие какую-либо информацию, например речь. Однако уплотнение аналоговых сигналов во времени возможно только в телевидении. Благодаря развертке изображения случайные ТВ сигналы прерываются с периодом строки $T_{СТР}$ на строго детерминированные интервалы – на время $t_{СГИ}$ строчных гасящих импульсов. Именно это обстоятельство и позволяет сжать СЯ и ЦРС во времени и расположить их один за другим в интервале активной части строки $T_{СТР.А} = T_{СТР} - \alpha T_{СТР} = T_{СТР} - t_{СГИ}$, где α – относительная длительность СГИ.

Сжатие сигнала по времени в n раз во столько же расширяет занимаемую им полосу частот. Поэтому такой метод уплотнения получил распространение только в спутниковом ТВ вещании, в котором используется ЧМ.

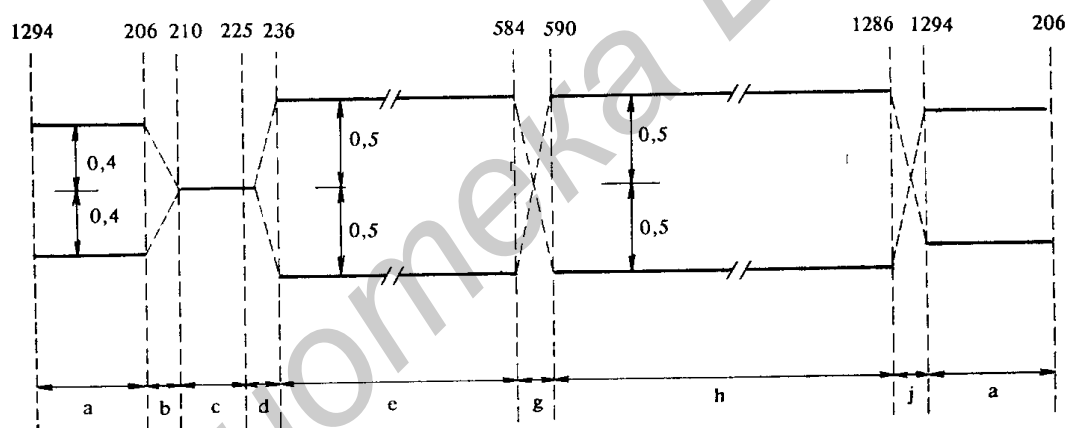
Развитие систем ЦТВ с временным уплотнением сигналов стимулировалось растущими потребностями спутникового вещания. В результате было разработано несколько вариантов ТВ систем с временным уплотнением аналоговых ТВ сигналов – систем МАС. Во всех системах МАС используются преобразование временного масштаба СЯ и ЦРС; последовательная по строкам передача ЦРС; цифровая передача звука и дополнительной информации. Преимущества систем с временным уплотнением сигналов типа МАС:

- устраняются перекрестные искажения «яркость/цветность» и «цветность/яркость»;
- улучшается реальное горизонтальное разрешение по яркости (благодаря устранению частотной режекции) и по цветности (благодаря расширению эффективной полосы частот цветоразностных сигналов);
- улучшается общая помехоустойчивость приема (за счет улучшения помехоустойчивости канала цветности);
- уменьшается чувствительность к интермодуляционным (например дифференциальным) искажениям;
- появляется возможность обусловленного доступа к видеоинформации путём скремблирования видеосигналов;
- вводится цифровой канал большой пропускной способности для передачи нескольких высококачественных сигналов звука и сигналов данных (для реализации различных информационных служб);

- обеспечивается возможность передачи изображения расширенного формата и высокой четкости.

Общий формат передачи

В системах семейства МАС все сигналы передаются с временным уплотнением, так что цветовые поднесущие и звуковые несущие не используются. Общий формат передачи представлен на рисунке 3.3. Строка сигнала состоит из 4 интервалов: синхронизации, звука и данных; фиксации уровня; цветоразностных сигналов; яркостного сигнала. Суммарная длительность интервалов одного из ЦРС и СЯ соответствует длительности активного интервала строки $T_{СТР.А}$ в обычных ТВ системах. Длительность интервалов синхронизации, данных и звука вместе с интервалом фиксации равна длительности интервала СГИ в обычных системах. Различия между вариантами систем семейства МАС определяются базовыми стандартами ТВ развёртки и способом уплотнения, а также скоростью передачи цифровых данных, включающих синхронизацию, звук и дополнительную информацию.



а – 208 тактовых периодов – 105 бит данных и синхронизации; б – 4 периода – плавный переход после передачи данных; с – 15 периодов – интервал фиксации (0,5 В); д – 11 периодов плавного перехода к цветоразностному сигналу; е – 348 периодов (349 отсчётов) цветоразностных сигналов; г – 6 периодов плавного перехода к яркостному сигналу; h – 696 периодов (697 отсчётов) яркостной составляющей; j – 8 периодов плавного перехода от яркостного сигнала

Рисунок 3.3 – Формат сигналов МАС в строчном масштабе

Общим для всех вариантов систем МАС является способ передачи СЯ и ЦРС с предварительным временным сжатием, причем СЯ сжимается в 1,5 раза, а ЦРС – в 3 раза.

В документах МККР описано 5 вариантов систем МАС: С, D, D2 (для ТВ

систем на 625 строк) и В (для систем на 625 и 525 строк). В системах МАС для 625-строчного телевидения для преобразования масштаба времени используются запись цифрового видеосигнала в 3У и считывание с различными тактовыми частотами. При кодировании в системах С, D, D2 в процессе записи сигналов используется тактовая частота 13,5 МГц для сигнала яркости и 6,75 МГц для цветоразностных сигналов R-Y и B-Y. При считывании используется опорная тактовая частота $13,5 \cdot 1,5 = 20,25$ МГц, так что сигнал Y сжимается в 1,5 раза, а сигналы R-Y и B-Y в 3 раза. В системе В на 525 строк опорная тактовая частота выбирается как $1,5 \cdot 4 \cdot f_{ЦП} = 1,5 \cdot 4 \cdot 227,5 \cdot f_{СТР} = 1365 \cdot 15734$ Гц = 21,477 МГц. В системе В на 625 строк опорная тактовая частота выбирается как гармоника строчной частоты с тем же номером, что и в системе на 525 строк: $1365 \cdot 15625$ Гц = 21,328 МГц. Здесь $f_{ЦП}$ – частота цветовой поднесущей НТСЦ, а $f_{СТР}$ – строчная частота системы на 525 строк. Эти же опорные тактовые частоты или их половинные значения используются в цифровой части систем.

Передача видеосигналов

В каждой передаваемой строке содержатся сжатый сигнал яркости Y и один из двух цветоразностных сигналов R-Y и B-Y, а также интервал фиксации уровня. На рисунке 3.3 представлено детальное разбиение активной строки кадра для систем С, D и D2. Строка состоит из 1 296 периодов частоты 20,25 МГц (сквозная нумерация периодов указана в верхней части рисунка). Весь диапазон уровней сигнала лежит от чёрного (0 В) до белого (1 В). Уровень фиксации соответствует серому и составляет 0,5 В. В каждом интервале указана собственная нумерация периодов тактовой частоты.

Интервал СЯ составляет 696 периодов (расположенных между 697 отсчетными импульсами), а интервал ЦРС – 348 периодов (между 349 отсчётными импульсами) тактовой частоты. Интервал фиксации составляет 15 периодов (0,74 мкс). Интервалы переходов имеют длительность 4 – 10 периодов (0,2 – 0,5 мкс). В этих интервалах должны формироваться трехточечные «почти косинускватратичные» переходы; три переходных отсчёта получаются путем интерполяции отсчетов слева и справа от перехода с весами 7/8, 1/8, 1/2, 1/2, 1/8, 7/8. Такое цифровое формирование переходов позволяет исключить нежелательные колебания и выбросы в фильтрах нижних частот, ограничивающих полосу частот сигнала в разных точках тракта.

В исходном аналоговом сигнале при развертке 625 строк/50 полей $T_{СТР.A}$ равно 52 мкс. При частоте дискретизации 13,5 МГц на этот интервал приходится 702 ее периода. Таким образом, при формировании СЯ по системе МАС остаются неизменными 696 отсчетных интервалов, а остающиеся краевые отсчеты относят-

ся к интервалам переходов и модифицируются. Аналогичные соотношения выполняются и для ЦРС.

Сжатие СЯ во времени в 1,5 раза и ЦРС в 3 раза приводит к такому же расширению полосы частот этих сигналов. При полосах частот исходного видеосигнала яркости 5, 5,5 и 6 МГц (соответственно для ТВ стандартов В/Г, I и D/К, L) результирующие полосы частот составили бы 7,5, 8,25 и 9 МГц. В системах С, D и D2 номинальное значение полосы видеочастот любого из сжатых сигналов составляет 8,4 МГц, что обеспечивает передачу сигнала яркости с исходной полосой видеочастот 5,6 МГц.

Исходная полоса частот ЦРС приблизительно вдвое уже полосы для СЯ и составляет 2,8 МГц, а после сжатия в 3 раза – 8,4 МГц. Однако номинальное значение полосы частот этих сигналов установлено равным 2,4 МГц. Это упрощает реализацию предфильтра с плавным спадом АЧХ и предотвращает выбросы на переходах в ЦРС. Но и при такой полосе частот цветовая чёткость по горизонтали оказывается выше, чем в системах SECAM и PAL.

В системах MAC используется последовательная по строкам передача ЦРС R-Y и B-Y, как и в системе SECAM. Отличие состоит в том, что в системе SECAM образуется непрерывная (и не зависящая от полей) последовательность сигналов R-Y и B-Y, а в системе МАК последовательность чередующихся сигналов прерывается по полям. Благодаря этому обеспечивается фиксированная структура цветных строк в каждом поле, начинающаяся по условию всегда со строки R-Y, отпадает надобность в цветовой синхронизации и информационный цикл сокращается с четырёх полей (в системе SECAM) до двух, что упрощает монтаж фрагментов при производстве программ.

Последовательная передача ЦРС приводит к снижению вертикальной чёткости вчетверо по сравнению с яркостной и к возникновению цветных муаров и мерцаний при передаче горизонтальных и наклонных границ и групп линий. В отличие от традиционного для системы SECAM восстановления пропущенных цветных строк при декодировании путем повторения предшествующей строки в системе MAC предусматривается линейная интерполяция предшествующей и последующей строк. Со спектральной точки зрения эта интерполяция эквивалентна вертикальной гребенчатой постфильтрации с косинусквадратичной АЧХ.

Для интерполяции необходима задержка ЦРС относительно СЯ на одну строку. Компенсация этой задержки предусматривается при кодировании путем передачи СЯ с задержкой на одну строку относительно ЦРС. Благодаря этому возникающее при декодировании вертикальное рассовмещение устраняется без введения дополнительной линии задержки на строку в декодере.

Для предотвращения муаров при кодировании должна использоваться вертикальная (например, косинусквадратичная) предфильтрация, хотя стандарты допускают выбор вертикального предфильтра за разработчиками аппаратуры. Но даже при идеальных вертикальных пред- и постфильтрах цветовая вертикальная чёткость не может превысить четверти исходной чёткости яркостной составляющей.

Цветоразностные сигналы нормируются по размаху значением 1В, но нормирующие множители выбираются в расчёте на максимальную насыщенность по сигналу 77 %, что соответствует насыщенности по изображению 98 %. Передаваемые сигналы записываются в виде $V = 0,927U_{R-Y}$, $U = 0,733U_{B-Y}$.

Всего в системах МАС передаются 574 строки видеосигнала (по 287 строк в каждом поле) – в отличие от систем цветного телевидения с частотным уплотнением, где число активных строк составляет 575.

Общий формат передачи ТВ-кадра в системах С, D и D2 показан на рисунке 3.4. Вся информация о синхронизации передаётся в составе цифровых данных.

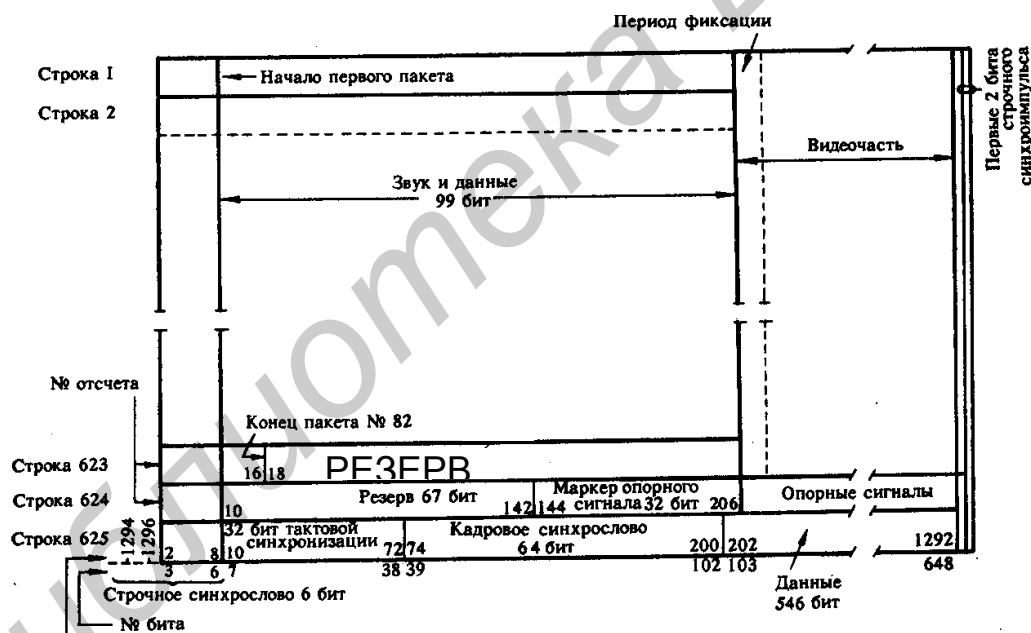


Рисунок 3.4 – Общий формат ТВ кадра в системе МАС

Передача цифровых данных

Системы семейства МАС различаются между собой способами или параметрами передачи цифровой информации. Первое отличие относится к самому процессу мультиплексирования данных и видеоинформации. В системе С видеосигнал и сигнал данных независимо модулируют несущую спутникового канала, т.е. мультиплексирование производится на радиочастоте. В системах D и D2 мультиплексирование видеосигнала и сигнала данных производится по видеочастоте. Второе различие относится к скорости передачи данных. Для системы D2 она составляет 10,125 Мбит/с, а для систем С и D – 20,25 Мбит/с. Отсюда вытекает различие в возможном числе высококачественных каналов звука: 4 для системы D2 и 8 для С и D. Все остальные расхождения в параметрах обуславливаются этими основными различиями. В то же время системы С, D и D2 имеют большое число одинаковых или кратных параметров.

Цифровая информация передаётся в виде пакетов. В системе D2 за период ТВ кадра передаётся 82 пакета, в системах С и D – 2·82 пакета, каждый из которых содержит 751 последовательный бит. Эта информация размещается в интервалах гашения 623 строк в виде «вспышек» по 99 бит в системе D2 и 2·99 бит в системах С и D; в двух остающихся строках кадра передаётся служебная информация. Отличие формата для систем С и D состоит в том, что в каждом интервале гашения передаётся удвоенная «вспышка» данных 2·99 бит. Средняя скорость передачи составляет 1,54 Мбит/с (или 2 050 пакет/с) для системы D2 и 3,08 Мбит/с (2·2 050 пакет/с) для систем С и D.

Для системы D2 пакет из 751 бита делится на поле заголовка и поле данных. Заголовок содержит 23 бита: 10 бит адреса соответствующей вещательной службы, позволяющей определять до 1 024 разных служб; 2 бита указателя непрерывности последовательности пакетов, относящихся к одной службе; 11 бит для помехозащитного кодирования адреса и указателя непрерывности. Остальные 91 байт (728 бит) служат для передачи полезной информации. В 623-й строке передаётся лишь остаток (4 бита) последнего в данном кадре 82-го пакета, а 95 бит составляет неиспользованный резерв. В 624-й строке 67 бит «вспышки» не используются, а 32 бита служат маркером эталонных уровней (серого, белого и чёрного), передаваемых в активной части этой строки. Перед началом каждой «вспышки» информации на каждой строке передается 6-битовое слово строчной синхронизации, так что полная длина цифровой «вспышки» на первых 624 строках кадра составляет 105 бит (при этом начало строки соответствует началу третьего бита слова синхронизации). В 625-й строке (рисунок 3.5) передаются данные о кадровой синхронизации (102 бита): 6 бит строчной синхронизации,

32 бита тактовой синхронизации и 64-битовое слово кадровой синхронизации. Далее следуют данные о единой дате и времени (5 бит), один блок «статических» данных (71 бит) и 5 блоков (по 94 бит) «чередующихся» данных. Последние 14 бит в блоках статических и чередующихся данных служат для обеспечения помехоустойчивости.

Данные о дате и времени передаются по 5 бит в кадре в течение 25 кадров. «Активные» 57 бит блока статических данных используются для передачи номера спутникового канала (от 0 до 99), положения на орбите (от 179 до 180), вида поляризации, страны источника, вида службы (телевидение, радиовещание, теле-текст, службы с эфирной адресацией), вида канала звука (моно- или стереофонический, высокого или среднего качества), данных об использовании и виде системы обусловленного доступа к видеоинформации (о наличии и виде скремблирования) и др.

В блоках «чередующихся» данных передаются импульсы счёта кадров (по модулю 256), данные о структуре временного уплотнения, виде службы телетекста (с фиксированным или переменным форматом), структуре информационного субкадра (номер начальных и конечных строк и тактовых периодов субкадра) и другая служебная информация. Период повторения передачи соответствующих групп информационных символов определяется их приоритетом и может изменяться (в среднем) от 6 до 37 кадров.

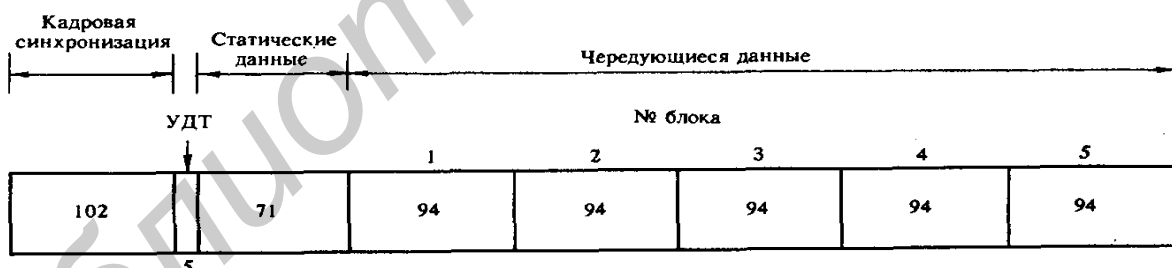


Рисунок 3.5 – Организация данных в 625-й строке

Передача звука

В системах МАС возможна передача 3 типов звуковых сигналов: высококачественной стереофонии, высококачественной монофонии (полоса частот 15 кГц) и монофонии среднего качества (полоса частот 7 кГц). При кодировании с широкой полосой частот используется частота дискретизации звукового сигнала 32 кГц, а с уменьшенной полосой – 16 кГц. Точность аналого-цифрового преобразования составляет 14 бит/отсчёт.

Предусмотрено 2 способа кодирования: линейное кодирование сигнала

14 бит/отсчёт и кодирование с компандированием 10 бит/отсчёт; в обоих случаях для кодирования отрицательных значений сигнала используется дополнительный код. Возможно применение 2 уровней защиты. При первом уровне для линейного 14-битового кодирования помехозащищённость обеспечивается введением одного бита проверки на чётность для 11 старших разрядов кода. Для кодирования с компандированием бит проверки на чётность вводится для защиты 6 старших разрядов кода. При втором уровне защиты старшие 11 разрядов при линейном кодировании и старшие 6 разрядов при кодировании с компандированием защищаются кодами Хэмминга.

Для передачи звука используются блоки длиной 64 отсчёта – по 15 бит/отсчёт при линейном кодировании и первом уровне защиты и кодировании с компандированием и втором уровне защиты (всего 120 байт) либо по 11 бит/отсчёт при кодировании с компандированием и первом уровне защиты (всего 90 байт). Блоки длиной в 90 байт непосредственно укладываются в цифровые пакеты, имеющие информационную ёмкость 91 байт, с добавлением одного начального байта для интерпретации информации. Блоки длиной 120 байт укладываются по три в 4 последовательных пакета. В результате в системе D2 можно передавать 4 компандированных сигнала звука (либо 2 стереосигнала) с защитой по чётности либо 2 линейно кодированных сигнала с защитой по Хэммингу, либо 3 линейно кодированных сигнала с защитой по чётности, либо 3 компандированных сигнала с защитой по Хэммингу. В каждом случае требуется передавать не более 2 012 пакетов в секунду. Для систем С и D число передаваемых звуковых сигналов удваивается. Вместо любого звукового сигнала могут передаваться сигналы других служб. Во всех строках интервалов гашения полей (т.е. в строках 2 – 22 и 314 – 334, исключая строку 16) могут передаваться сигналы телетекста.

Система обусловленного доступа к информации (засекречивание)

Вся передаваемая информация (содержащаяся в сигналах изображения, звука и данных) может быть преобразована в форму, обеспечивающую только обусловленный доступ к ней. В этом режиме информация скремблируется, т.е. перемножается с последовательностью псевдослучайных двоичных чисел. На приемной стороне производится обратный процесс дескремблирования с помощью местного генератора псевдослучайных последовательностей, задаваемых принимаемым управляющим словом. Само управляющее слово может либо запоминаться в приёмнике, либо регенерироваться с помощью системы дешифровки. В первом случае в приёмник должен быть введён специальный ключ.

Скремблирование видеoinформации в стандарте MAC может осуществляться одним из двух способов, названных «перестановка компонент с двухкрат-

ным рассечением» (double-cutcomponen rotation) и «перестановка рассечённых компонент цветоразностного сигнала» (single-cut-in-colour-differenceline rotation). Скремблированию подвергаются только активные строки кадра.

При свободном доступе к каналу целью скремблирования является улучшение дисперсионных свойств группового сигнала МАС при передаче по спутниковому каналу связи.

Параметры передачи

Перед частотной модуляцией несущей спутникового канала видеосигнал подвергается предискажению с помощью цепи с характеристикой передачи:

$$H(jf) = A[1 + j(f/f_1)]/[1 + j(f/f_2)],$$

где $A = 1/\sqrt{2}$; $f_1 = 0,84$ МГц; $f_2 = 1,5$ МГц.

Характеристика затухания этой цепи представлена на рисунке 3.6. Затуханию 0 дБ соответствует частота 1,37 МГц, для которой и определяется номинальная девиация несущей 13,5 Гц на 1 В модулирующего сигнала. При этом девиация на низких видеочастотах составляет 9,54 МГц (для размаха видеосигнала яркости, соответствующего чёрно-белому переходу). Предполагается, что перед частотной модуляцией осуществляется также фиксация уровня (серого).

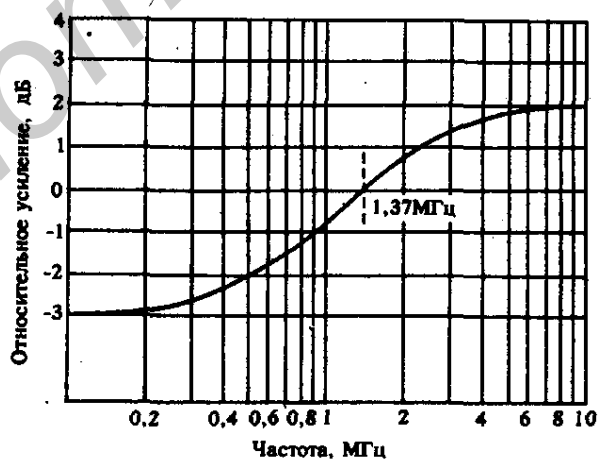


Рисунок 3.6 – Характеристика затухания цепи предискажений видеосигнала

Для передачи цифровой информации в системах D и D2 используется дуобинарный цифровой сигнал, уплотняемый во времени с видеосигналом, и составной сигнал модулирует несущую по частоте. Для предотвращения выбросов раз-

мах цифрового модулирующего сигнала составляет 80 % от размаха сигнала изображения. В системе С используется относительная фазовая манипуляция (2–4 ОФМ) несущей. При этом логической единице соответствует изменение фазы на $+90^\circ$, а логическому нулю – изменение фазы на -90° .

Стандарты систем МАС

Методы передачи цифрового потока в составе полного сигнала МАС определяют ряд вариантов систем МАС (таблица 3.1). В системах С-, D-, D2-МАС объединение цифровых потоков, соответствующих отдельным звуковым каналам, осуществляется пакетным методом, что нашло отражение в полном названии этих систем (например, D-МАС/packet). Но способ передачи пакетов совместно с видеосигналом для этих систем различен. В стандарте С-МАС используется фазовая манипуляция несущей частоты сигналом данных в интервале строчного гасящего импульса, что позволило увеличить пропускную способность системы. Однако применение такого метода передачи цифровой информации приводит к несовместимости полного сигнала стандарта С-МАС по занимаемой полосе частот с существующими в Европе и проектируемыми сетями кабельного телевидения и ограничивает его использование только областью непосредственного спутникового приёма. Цифровая часть сигнала С-МАС не проходит через кабельные сети вообще, а аналоговая – существенно ограничивается по полосе.

Проблему сопряжения позволяет решить стандарт D-МАС, разработанный для последующей передачи сигналов, принятых с ИСЗ, по перспективным широкополосным сетям, а его разновидность – D2-МАС – пригоден для существующих кабельных сетей. В системе D-МАС двоичный цифровой поток преобразуется в дуобинарный (трехуровневый), в котором логическому «0» соответствует импульс нулевой амплитуды, а логической «1» – импульс положительной или отрицательной полярности. Алгоритм перекодирования построен таким образом, что переход от минимального к максимальному значению сигнала происходит за время не менее 2 тактовых интервалов, что приводит к сокращению вдвое требуемой полосы частот. Дальнейшее сокращение занимаемой цифровым сигналом полосы частот в стандарте D2-МАС достигается снижением вдвое скорости цифрового потока и соответственно пропускной способности до 4 звуковых сигналов вместо 8 в D-МАС. Объединение видеосигнала с пакетами данных в системах D-МАС и D2-МАС осуществляется по видеочастоте. С целью выравнивания спектра видеосигнал подвергается предискажениям по закону $H(jf)$ (3.1). Это, наряду с использованием дополнительного сигнала дисперсии, представляющего собой сигнал треугольной формы с частотой 25 Гц, синхронизированный с частотой кадров, позволяет выполнить нормы для уровня ЧМ-сигнала в любом участке шириной 4

кГц в пределах полосы пропускания радиоканала при передаче со спутника.

Таблица 3.1 – Параметры MAC-систем

Параметр	C-MAC	D-MAC	D2-MAC	B-MAC (625 строк)	B-MAC (525 строк)
1	2	3	4	5	6
Общие параметры					
Стандарт разложения	625/60/2:1/4:3				525/60/2:1/4:3
Полоса частот сигналов до сжатия: яркости / цветоразностных, МГц	5,6/2,4			5,0/2,1	4,2/2,1
Коэффициент сжатия сигналов: яркости / цветоразностных	3:2/3:1				
Частота дискретизации, МГц : – сигнала яркости	13,5			14,218	14,318
– цветоразностных сигналов	6,75			7,109	7,159
Номинальная тактовая частота, МГц	20,25			21,328	21,477
Число тактовых интервалов в строке	1269				1365
Полоса частот видеосигнала MAC, МГц	8,4			7,5	6,3
Амплитуда видеосигнала, В	1,00				
Кодирование звука					
Максимальное число каналов	8		4	6 или 3	
Характеристика предскажений	В соответствии с Рекомендацией 17 МККТТ				Адаптивная
Метод кодирования	Линейный (14 бит/отсчет) или компандированный (10 бит/отсчет)				Адаптивная дельта-модуляция
Структура уплотнения данных и видеосигнала					
Принцип уплотнения	По радиочастоте			По видеочастоте	
Параметр	C-MAC	D-MAC	D2-MAC	B-MAC (625 строк)	B-MAC (525 строк)
Кодирование данных	ИКМ	Дубинарное		Четырех- или двухуровневое	
Скорость передачи символов, Мбод	20,25		10,125	7,11	7,16

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4	5	6
Полоса частот, занимаемая	–	10,0	5,0	7,11	7,16

сигналом данных, МГц				
Количество бит в строке	2×99	99	102 или 51	
Уплотнение данных	Пакетное (751 бит/пакет)		Непрерывное	
Организация потока данных	2×82 пак./кадр	82 пак./кадр	6 кан.× ×203 кб/с	6 кан.× ×204,5 кб/с
Средняя скорость потока данных, МГц	3,08	1,54	1,59	1,6
Восстановление тактовой частоты	Восстанавливается из дискретного потока		По опорному пакету из 20 символов	
Опорный уровень привязки видеосигнала	Постоянный уровень		Средний уровень опорного пакета	
Длительность периода привязки, мкс	0,75		2,81	2,79
Параметры модуляции				
Полоса пропускания радиосигнала, МГц	27		24	
Способ модуляции несущей:				
– сигналом данных	2– 4 ФМ		ЧМ	
– видеосигналом	ЧМ		ЧМ	
Девияция, МГц	13,5		16,5	17,5

Операции перекодирования сигнала С-МАС в D- или D2-МАС на приеме требуют громоздкого и дорогостоящего оборудования, поэтому многие европейские страны, использующие стандарт МАС, приняли решение с целью упрощения приемного оборудования применить стандарт D2-МАС (или D-МАС) и на спутниковом участке, но не с амплитудной, а с частотной модуляцией. При этом перекодирование резко упрощается и сводится только к частотной демодуляции полного составного сигнала и последующей амплитудной модуляции.

В системе В-МАС параметры сигнала изображения близки к принятым в других странах семействам МАС. Коэффициенты сжатия сигналов яркости и цветности такие же, различаются лишь тактовые частоты и форма кривой предискажений ($f_1 = 1,87$ МГц, $f_2 = 3,75$ МГц).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бытовая радиоэлектронная техника: Энциклопедический справочник / Под ред. А.П. Ткаченко. – М.: БелЭн, 1995. – 832 с.
2. Кириллов В.И., Ткаченко А.П. Телевидение и передача изображений: Учеб. пособие для вузов. – Мн.: Выш. шк., 1988. – 312 с.
3. Зубарев Ю.Б., Глориозов Г.Л. Передача изображений: Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1989. – 336 с.
4. Телевизионная техника: Справочник /Под ред. Ю.Б. Зубарева и Г.Л. Глориозова. – М.: Радио и связь, 1994. – 312 с.
5. Ткаченко А. П. Цветное телевидение. – Мн.: Беларусь, 1981. – 255 с.
6. Телевидение: Учебник для вузов /Под ред. В.Е. Джаконии. – М.: Радио и связь, 2000. – 640 с.
7. Хохлов Б.Н. Декодирующие устройства цветных телевизоров. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1998. – 512 с.
8. Певзнер Б.М. Качество цветных телевизионных изображений. 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Радио и связь, 1988.– 224 с.
9. А.с. 288025 СССР, МПК Н 04 П. Способ уменьшения видности цветовой поднесущей в системе цветного телевидения / Е.З. Сорока, А.Р. Раковский; Заявл. 12.11.1968; Оpubл. 03.12.1970, Бюл. № 36.
10. А.с. 1706061 СССР, МКИ Н 04 N 11/18. Способ коммутации поднесущих частот цветоразностных сигналов / М.А. Гарбуз, А.Н. Морозенко; Заявл. 28.08.87; Оpubл. 15.01.92, Бюл. № 27.
11. Пат. 2002379 Россия, МКИ Н 04 N 11/18. Способ формирования цветных поднесущих частот / М.А. Гарбуз, А.Н. Морозенко. Заявл. 25.08.86; Оpubл. 30.10.1993, Бюл. № 39 – 40.
12. Морозенко А., Быструшкин К. Система SECAM D/K: Качество цветного изображения можно повысить // 625. – 1996. – № 8. – С. 38 – 39.
13. Росаткевич Г. Упущенные возможности отечественного телевизионного стандарта D (625/50 Гц) // Broadcasting. Телевидение и радиовещание. – 2002.– № 3 (23). – С. 32 – 34.
14. Рекомендация МСЭ-Р ВТ. 1197. Система передачи широкоэкранный ТВ сигнала стандарта PAL повышенной четкости (система PALplus): В сб. «Рекомендации МСЭ-Р: Радиовещательная служба (телевидение)». Том 1997 г. Сер. ВТ: МСЭ, 1998.

15. Рекомендация МСЭ-Р ВТ. 1124-1. Опорные сигналы подавления повторных контуров в телевидении: В сб. «Рекомендации МСЭ-Р: Радиовещательная служба (телевидение)». Том 1997 г. Сер. ВТ: МСЭ, 1998.

16. Рекомендация МСЭ-Р ВТ. 1119-1. Передача управляющих сигналов при вещательной передаче широкоэкранных программ: В сб. «Рекомендации МСЭ-Р: Радиовещательная служба (телевидение)». Том 1997 г. Сер. ВТ: МСЭ, 1998.

17. Рекомендация МСЭ-Р ВТ. 470-4. Телевизионные системы: В сб. «Рекомендации МСЭ-Р: Радиовещательная служба (телевидение)». Том 1997 г. Сер. ВТ: МСЭ, 1998.

18. Рекомендация МСЭ-Р ВТ. 601-5. Студийные параметры кодирования цифрового телевидения для стандартного 4:3 и широкоэкранный 16:9 форматов: В сб. «Рекомендации МСЭ-Р: Радиовещательная служба (телевидение)». Том 1997 г. Сер. ВТ: МСЭ, 1998.

19. Сорока Е.З., Хлебородов В.А. Трехмерные спектры полных цветовых видеосигналов // Техника средств связи. Сер. ТТ. – 1980. – № 3 (23). – С. 73 – 87.

20. Быструшкин К.Н., Сорока Е.З. Широкоформатная система SECAMplus // Вестник связи. – 1996. – № 8. – С. 30 – 34.