

А.Н. Дементьев

ТЕЛЕВИДЕНИЕ

*Методические указания по курсовой
работе для студентов специальности:
«Аудиовизуальная техника» - 210312*



ТОМСК – 2005

Министерство образования Российской Федерации

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

Кафедра телевидения и управления (ТУ)

А.Н. Дементьев

ТЕЛЕВИДЕНИЕ

**Методические указания по курсовой
работе для студентов специальности:
*«Аудиовизуальная техника»***

2005

А.Н. Дементьев

Телевидение: Методические указания по курсовой работе. – Томск: 2005. – 55 с.

© Дементьев А.Н.

2005

СОДЕРЖАНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ	7
1.1. Порядок выполнения работы.....	7
1.2. Содержание курсовой работы	7
2. СОВМЕСТИМЫЕ СИСТЕМЫ ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ	8
2.1. Система цветного телевидения NTSC	8
2.2. Система цветного телевидения SECAM.....	20
2.3. Система цветного телевидения PAL	34
2.4. Список использованной литературы.....	45
3. СПИСОК ПРЕДЛАГАЕМЫХ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕМ	45
4. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	46
ПРИЛОЖЕНИЕ (пример выполнения курсовой работы)	47
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	55
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	56
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	57

1. ВВЕДЕНИЕ

Курсовая работа предназначена для получения навыков расчета и практического проектирования декодирующих устройств цветных телевизоров в системах цветности PAL, SECAM, NTSC, расчета частотно-зависимых цепей декодеров различных систем цветного телевидения, а также умения рассчитывать недостающие параметры электрических цепей декодеров.

Курсовая работа может быть связана с расчетом всех частотно-зависимых цепей декодеров для систем SECAM, NTSC и PAL, выполненных на различной элементной базе.

1.1. Порядок выполнения работы

1.1.1. Выполнение работы начинается с изучения сигналов и принципов декодирования в заданной системе цветности, построения векторных диаграмм сигналов передачи цвета.

1.1.2. Выбирается (разрабатывается) функциональная схема заданного канала цветности.

1.1.3. Определяется элементная база, выделяются функциональные блоки, содержащие частотно-зависимые цепи, подлежащие расчету.

1.1.4. Проводится расчет частотно-зависимых цепей (определяются параметры цепей и строятся АЧХ).

1.2. Содержание курсовой работы

1.2.1. При проектировании декодеров в курсовую работу включаются: функциональная схема канала цветности, векторные диаграммы сигналов передачи цвета, принципиальные схемы цепей, подлежащих расчету, перечень использованных элементов, амплитудно- и фазочастотные характеристики рассчитанных цепей.

1.2.2. Курсовая работа должна выполняться в соответствии с требованиями ЕСКД. Принципиальные и функциональные схемы выполняются только на формате А4 (ГОСТ 2.301-68). Если схема не помещается на одном листе, то она делится на несколько частей, связанных между собой шинами. Условные графические изображения принципиальной схемы должны соответствовать ГОСТ 2.734-82. Перечень элементов выполняется в соответствии с ГОСТ 2.104-68.

1.2.3. Общая оценка за курсовую работу снижается за отступление от требований ЕСКД при оформлении, за незнание работы схемы или ее отдельных частей. При обнаружении грубых ошибок в расчетах оценка может быть снижена существенно. Если сданная работа не отвечает поставленно-

му заданию или защищен неудовлетворительно, то студенту выдается новое задание и назначается повторная защита.

В приложении приведен пример курсовой работы для декодера SECAM.

2. СОВМЕСТИМЫЕ СИСТЕМЫ ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

2.1. Система цветного телевидения NTSC

Система цветного телевидения NTSC была разработана в США в 1950–1953 гг. Национальным Комитетом Телевизионных Систем (National Television System Committee) и утверждена в стране как национальный стандарт. Позднее система NTSC была принята в качестве стандарта в Канаде, в большинстве стран американского континента, в Японии, Корее, Тайване и некоторых других странах.

Общие принципы системы

В качестве сигналов в системе NTSC передаются яркостный и два цветоразностных сигнала. Передача цветоразностных сигналов осуществляется в спектре яркостного на одной цветовой поднесущей частоте f_s (рисунок 1.1).

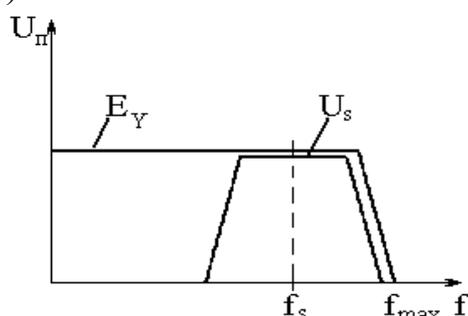


Рис. 1.1.

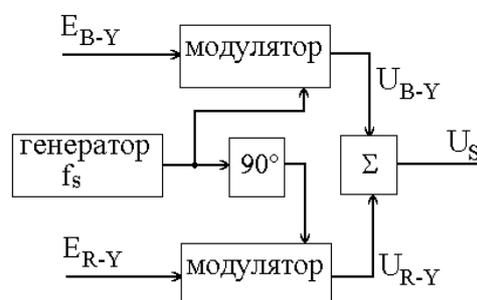


Рис. 1.2.

Напряжение поднесущей частоты, промодулированное цветоразностными сигналами, называется *сигналом цветности*. Сумма сигналов яркости E_Y и сигнала цветности U_S образует *полный цветовой сигнал* $U_{п}$. Для того, чтобы модулировать двумя цветоразностными сигналами одну поднесущую частоту, применён *метод квадратурной амплитудной модуляции*. Сущность его заключается в суммировании двух напряжений поднесущей частоты U_{R-Y} и U_{B-Y} , промодулированных каждым из цветоразностных сигналов, в отдельных амплитудных модуляторах (рисунок 1.2). Поднесущая частота на модуляторы поступает в квадратуре, т.е. с фазовым сдвигом 90° . Полученный в результате сложения сигнал цветности оказывается промодулированным не только по амплитуде, но и по фазе.

Действительно, амплитуда сигнала цветности:

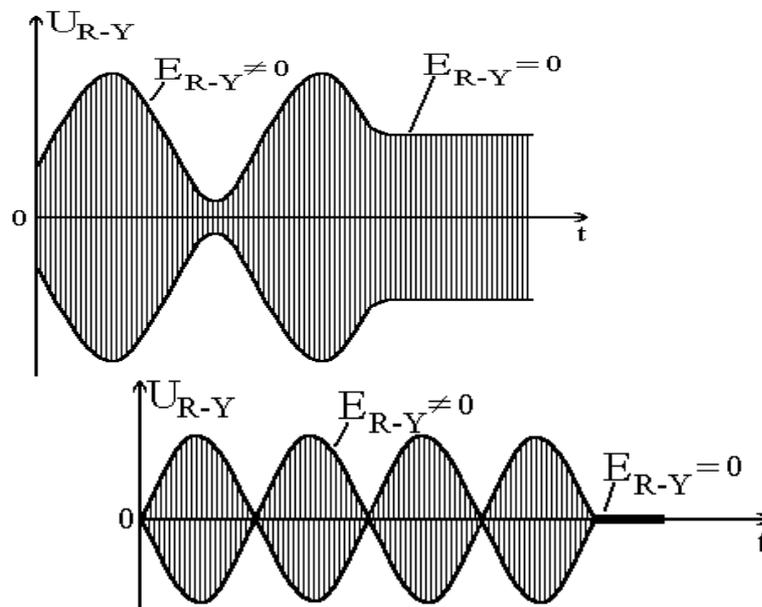
$$U_S = \sqrt{U_{B-Y}^2 + U_{R-Y}^2} \quad (1.1)$$

а фазовый сдвиг φ вектора U_S относительно одного из колебаний U_{B-Y}

$$\varphi = \arctg \frac{U_{R-Y}}{U_{B-Y}}, \quad (1.2)$$

где в свою очередь U_{B-Y} и U_{R-Y} определяются модулирующими цветоразностными сигналами E_{B-Y} и E_{R-Y} .

В системе NTSC используются не обычные амплитудные модуляторы, а **балансные**, которые, подавляя саму поднесущую, оставляют только боковые составляющие спектра. Балансная модуляция имеет определённые преимущества перед обычной амплитудной модуляцией (рисунок 1.3). При одном и том же по сравнению с обычной модуляцией размахе модулирующих сигналов балансная модуляция формирует, как минимум, в два раза меньший по амплитуде сигнал цветности, что снижает её заметность на экране чёрно-белого телевизора, для которого сигнал цветности следует рассматривать как помеху. Таким образом, улучшается совместимость систем чёрно-белого и цветного телевидения. В свою очередь, качество совместимости ещё больше повышается при передаче неокрашенных или слабо окрашенных деталей изображения. В этих случаях цветоразностные (модулирующие) сигналы равны нулю или невелики по амплитуде и на выходе балансных модуляторов сигнал также устремляется к нулю.



а) амплитудная модуляция б) балансная модуляция

Рис. 1.3.

В цветном приёмнике системы NTSC из принятого сигнала цветности U_S должны быть выделены его квадратурные составляющие для получения

исходных цветоразностных сигналов E_{B-Y} и E_{R-Y} . Поскольку $U_{B-Y} = U_S \cdot \cos \varphi$; $U_{R-Y} = U_S \cdot \sin \varphi$, то разделение сигналов можно представить как операции проецирования вектора U_S на две ортогональные оси, совпадающие с осями модуляции.

Задачу в таком представлении можно решить с помощью **синхронного детектора**. При синхронном детектировании осуществляется перемножение двух сигналов, подаваемых на вход детектора. Если одним из этих сигналов будет принятый телевизионным приёмником сигнал цветности U_S , а другим – так называемое опорное напряжение $U_{оп}$, представляющее колебание поднесущей частоты f_S с начальной фазой $\varphi=0$, то напряжение на выходе детектора $U_{вых}$ будет равно:

$$U_{ВЫХ} = U_S \sin(\omega_S t + \varphi) \cdot U_{ОП} \sin \omega_S t, \quad (1.3)$$

где $U_{оп}$ – амплитуда указанного выше опорного напряжения.

Используя известное тригонометрическое соотношение

$$\sin \alpha \cdot \sin \beta = \frac{1}{2} \cdot [\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)],$$

получаем

$$U_{ВЫХ} = \frac{1}{2} \cdot U_{ОП} U_S \cos \varphi - \frac{1}{2} \cdot U_{ОП} U_S \cos(2\omega_S t + \varphi).$$

Полагая амплитуду опорного напряжения постоянной и поставив на выходе синхронного детектора фильтр нижних частот, исключая второй член в правой части равенства, убедимся, что задача выделения одной из квадратурных составляющих решена:

$$U_{ВЫХ} = kE_{B-Y},$$

где k – коэффициент пропорциональности.

Если же в качестве опорного напряжения на синхронный детектор подать напряжение $U_{оп} = U_{max}^{оп} \cdot \sin(\omega_S t + 90^\circ)$, то

$$U_{ВЫХ} = \frac{1}{2} \cdot U_{оп} U_S \sin \varphi = kE_{R-Y},$$

т.е. будет выделена вторая квадратурная составляющая.

Таким образом, устройство для разделения квадратурных составляющих должно состоять из двух синхронных детекторов и генератора опорной поднесущей частоты, синхронизированного по частоте и фазе с передающим генератором. Однако такой информации не содержится в принимаемом ТВ сигнале, так как при балансной модуляции сама поднесущая подавлена, а боковые частоты являются продуктом модуляции, зависящим от передаваемого цвета (а значит, с фазовыми сдвигами, отличающимися от немодулированного значения f_S).

Чтобы генератор опорной поднесущей f_S в приёмнике мог работать с заданной на телецентре фазой, его синхронизируют специальным сигналом, называемым *сигналом цветовой синхронизации*. Он передаётся в интервале обратного хода строчной развёртки на площадке строчного гасящего импульса (СГИ) за строчным синхронизирующим импульсом (ССИ) и представляет собой пакет колебаний цветовой поднесущей из 8...10 периодов (рисунок 1.4). Этот пакет называется также цветовой вспышкой. Частота колебаний вспышки равна f_S , фаза равна 180° (вектор колебаний пакета совпадает с отрицательным направлением оси $B-Y$). Пакет передаётся во всех строках развёртки, кроме интервала длительностью $9H$ (H – длительность одной строки), в котором передаются уравнивающие импульсы и кадровые синхроимпульсы (на кадровом гасящем импульсе). Интервалы между вспышками равны H [2, с.170].

Таким образом, при квадратурной модуляции амплитуда результирующего цветового сигнала характеризует насыщенность цвета, а фаза – цветовой тон. Векторы цветности могут быть наглядно представлены графически на диаграмме цветов в полярной системе координат (рисунок 1.5).

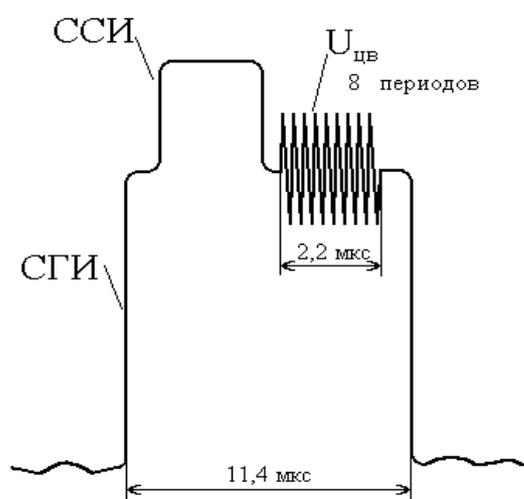


Рис. 1.4.

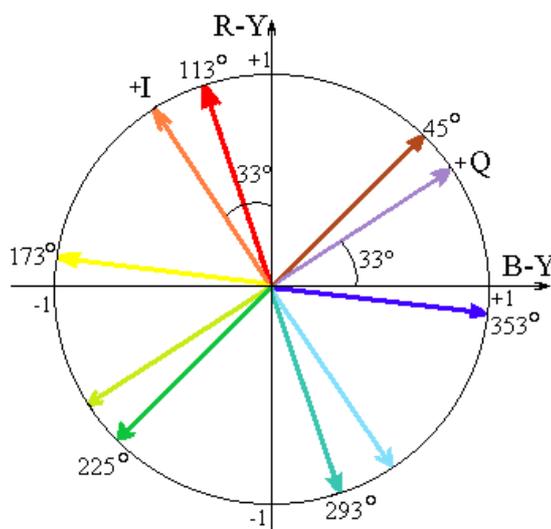


Рис. 1.5.

При выборе частоты цветовой поднесущей f_S необходимо выполнять следующие условия.

1. Для снижения заметности на изображении в чёрно-белом телевизоре помехи от сигнала цветности U_S частота цветовой поднесущей f_S должна быть по возможности высокой, так как в этом случае структура рисунка от помехи будет мельче, а, следовательно, и менее заметной. С другой стороны, значение f_S должна быть существенно меньше максимальной частоты f_{max} в спектре яркостного сигнала E_Y , чтобы выполнялось требование профессиональной совместимости систем, т.е. чтобы полный цветовой сигнал размещался в полосе стандартного цветового сигнала. Разность $(f_{max}-f_S)$ оп-

ределяет максимальную ширину боковой полосы сигнала цветности, а значит, и максимально возможную ширину спектра цветоразностных сигналов. Как показала практика, эта величина не может быть меньше 0,6 МГц, так как иначе на цветном изображении в приёмнике появятся заметные цветные окантовки на вертикальных границах между различными цветами. Поскольку в американском стандарте $f_{max}=4,18$ МГц, то f_s должна быть не менее 3,58 МГц.

2. С той же целью уменьшения заметности рисунка на экране чёрно-белого телевизора, получаемого от воздействия на него поднесущей, её частота f_s жёстко связывается с частотой развёртки изображения. При этом данная связь подчиняется соотношению:

$$f_s = (2n + 1) \cdot \frac{f_z}{2}, \quad (1.4)$$

где n – целое число, f_z – частота строк. Тогда на интервале одной, например первой, строки укладывается целое число периодов цветовой поднесущей и ещё половина периода. Поэтому в следующей нечётной строке фаза сигнала изменится на противоположную, и так далее от строки к строке. В результате яркостной модуляции под действием цветовой поднесущей на экране телевизора возникнет сетка тёмных и светлых штрихов, расположенных в шахматном порядке.

Поскольку в кадре содержится нечётное число строк, при передаче следующего кадра полярность сигнала в соответствующих строках изменится на противоположную. Глаз вследствие инерционности зрительного аппарата будет усреднять эту картину. Таким образом, за счёт компенсации от строки к строке и от кадра к кадру сигнал цветовой поднесущей на экране телевизора будет мало заметен, причём тем меньше, чем мельче структура сетки.

Так как спектр сигнала яркости E_y дискретный и периодический, то в промежутки между его гармониками можно разместить гармоники сигнала цветности, который также является дискретным и периодическим. При выполнении условия (1.4) спектральные составляющие сигнала цветности располагаются точно посередине. Происходит так называемое *перемежение (переплетение) частотных спектров сигналов яркости и цветности* (рисунок 1.6), что в принципе даёт возможность с большой точностью разделять эти два сигнала в приёмном устройстве.

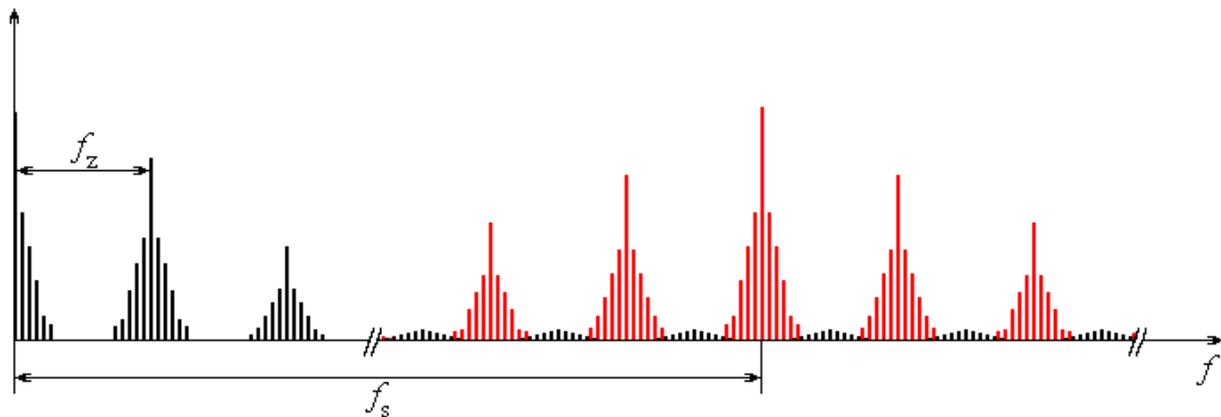


Рис. 1.6.

3. Помехи на изображении из-за присутствия в спектре полного ТВ-сигнала поднесущей частоты могут возникнуть также из-за биений между поднесущей частотой сигнала цветности и второй промежуточной частотой звукового сопровождения. Для уменьшения заметности помех её частоту, равную разности частот поднесущей f_s и второй промежуточной частоты звука $f''_{ПЗВ}$ по тем же соображениям, что были изложены в предыдущем пункте, также делают равной нечётной гармонике полустроичной частоты:

$$f''_{ПЗВ} - f_s = (2k + 1) \cdot \frac{f_z}{2}, \quad (1.5)$$

где k – целое число. Из (1.3) и (1.4) следует, что

$$\frac{f''_{ПЗВ} - f_s}{f_s} = \frac{2k + 1}{2n + 1}.$$

Заменяя f_s его значением из (1.4), получим:

$$\frac{f''_{ПЗВ}}{f_z} = k + n + 1. \quad (1.6)$$

Таким образом, требование (1.5) обязательно влечёт за собой требование (1.6). Но $f''_{ПЗВ}$ в любой вещательной системе телевидения определяется разностью несущих частот изображения и звука, и (1.6) можно записать как

$$\frac{f_{НЗВ} - f_{НИз}}{f_z} = m, \quad (1.7)$$

где m – целое число.

В стандарте США на чёрно-белое телевидение, в отличие от любого из европейских стандартов, это условие не выполнялось. В США в чёрно-белом телевидении $f_{НЗВ} - f_{НИз} = 4,5$ МГц; $f_z = 15750$ Гц. Таким образом, их соотношение составляло величину 285,714. Для выполнения условия (1.7) это соотношение необходимо было округлить до ближайшего целого числа, т.е. до 286, что заставило разработчиков системы NTSC изменить частоты

развёрток соответственно на 0,1%: $f_z=15734,27$ Гц, $f_{2п}=59,94$ Гц (вместо 60 Гц). Такое незначительное, но принципиальное изменение частот развёрток в цветной системе не потребовало переделывать генераторы развёрток чёрно-белых телевизоров, поскольку указанные новые значения частот развёрток заведомо находятся в полосе захвата синхронизируемых ими генераторов развёрток телевизора.

4. Множитель $(2n+1)$ в (1.4) должен состоять из сомножителей, по возможности малых, чтобы облегчить достижение устойчивого деления частоты при получении в синхрогенераторе частоты строк f_z из частоты задающего генератора, вырабатывающего частоту f_s . Оптимальным оказалось число $(2n+1)=455$ ($13 \times 7 \times 5$) [2, с.180], что и обусловило выбор частоты поднесущей $f_s = 455 \cdot \frac{f_z}{2} = 3,579545$ МГц. Стандартом предусмотрена допустимая нестабильность этого значения не более 0,0003%, т.е. не хуже 10 Гц.

Цветоразностные сигналы E_I и E_Q

В системе NTSC в её окончательном варианте были применены в качестве сигналов цветности не сигналы E'_{B-Y} и E'_{R-Y} , а производные от них – сигналы E'_I и E'_Q [4, с.257]. Целесообразность перехода к этим сигналам объясняется тем, что для мелких предметов наше зрение дихроматично (двухцветно). Дихроматизм при нормальном зрении имеет место для предметов, которые при наблюдении имеют размер 12–20 угловых минут. При наблюдении предметов таких размеров зрительная система человека не различает разницы между синим и зелёным, красным и пурпурным цветами. Все цветовые оттенки воспринимаются как смесь оранжевого и голубого цветов. По мере дальнейшего уменьшения деталей глаз перестаёт различать цвет, и мы видим мелкие детали как чёрно-белые. Если на нерезкую границу перехода от одного цвета к другому наложить резкий перепад яркости, то глаз увидит чёткий переход от одного цвета к другому.

Применительно к телевидению из этого вытекают следующие выводы. Детали телевизионного изображения с размером 10–22 угловых минут, можно передавать в ограниченной цветовой гамме, соответствующей смеси оранжевых и голубых цветов. Исключение из передачи мелких цветных деталей не должно заметно отразиться на резкости цветовых переходов, если яркостные переходы воспроизводятся ТВ-системой резко.

Проведённые эксперименты показали, что все три сигнала должны передаваться ТВ-системой в полосе частот до 0,5 МГц. В полосе частот от 0,5 МГц до 1,5 МГц необходимо передавать цветовые сигналы, соответствующие смеси оранжевого и голубого цветов. В полосе частот от 1,5 МГц до максимальной частоты спектра можно передавать один бесцветный яркостный сигнал.

Применение новых квадратурных составляющих позволяет осуществить передачу цветного изображения следующим образом. Сигнал яркости передаётся в полной полосе частот. Сигнал цветности E'_I передаётся в полосе частот до 1,5 МГц, а сигнал E'_Q в полосе до 0,5 МГц. В промежутке частот от 0,5 до 1,5 МГц передаются только два сигнала E'_Y и E'_I обеспечивающие воспроизведение оранжево-красных и сине-зелёных цветовых оттенков. Переход от сигналов E'_{R-Y} и E'_{B-Y} к сигналам E'_I и E'_Q позволяет несколько улучшить параметры системы, поскольку уменьшаются помехи со стороны сигналов цветности в яркостном канале и появляется возможность несколько повысить частоту поднесущей.

Применение сигналов E_I и E_Q , занимающих меньшую полосу частот в спектре яркостного сигнала, вместо обычных цветоразностных сигналов оказалось целесообразным, так как ширина видеоканала в стандарте США составляет всего 4,2 МГц и размещение цветовой информации в спектре яркостного сигнала представляет определённые трудности. В европейском варианте NTSC, использованном для сравнения различных систем цветного телевидения с шириной видеоканала 6 МГц, применялись сигналы E'_{R-Y} и E'_{B-Y} .

Сигналы E'_I и E'_Q обладают основным свойством цветоразностных сигналов. Так же, как и сигналы E'_{R-Y} и E'_{B-Y} , они равны нулю при передаче чёрно-белых деталей изображения. Формирование сигналов E'_I и E'_Q не представляет никаких принципиальных трудностей. Они могут быть получены из цветоразностных сигналов E'_{R-Y} и E'_{B-Y} (рисунок 1.5) путём матрицирования согласно уравнениям

$$E'_I = 0,74E'_{R-Y} - 0,27E'_{B-Y}, \quad E'_Q = 0,48E'_{R-Y} + 0,41E'_{B-Y},$$

либо путём матрицирования сигналов E'_R, E'_G и E'_B согласно выражениям

$$E'_I = 0,6E'_R - 0,28E'_G - 0,32E'_B, \quad E'_Q = 0,21E'_R - 0,52E'_G + 0,31E'_B,$$

переход к исходным цветоразностным сигналам E'_{R-Y}, E'_{G-Y} и E'_{B-Y} производится по соотношениям

$$\left. \begin{aligned} E'_{R-Y} &= 0,96E'_I + 0,62E'_Q \\ E'_{G-Y} &= -0,27E'_I - 0,65E'_Q \\ E'_{B-Y} &= -1,11E'_I + 1,7E'_Q \end{aligned} \right\}$$

Структурная схема кодирующего устройства

На рисунке 1.7 представлена упрощённая структурная схема кодирующего устройства в системе NTSC. Исходными сигналами являются сигналы E'_R, E'_G и E'_B . Штрихи в обозначениях сигналов означают, что сигналы были предварительно подвергнуты гамма-коррекции. На выходе матрици-

рующей схемы M сформирован яркостный сигнал E'_Y и цветоразностные сигналы E'_I и E'_Q . В сигнал яркости E'_Y вводится сигнал синхронизации приёмника ССП. Фильтрами нижних частот $\Phi НЧ1$ и $\Phi НЧ2$ ограничиваются полосы частот сигналов E'_I и E'_Q соответственно до 1,3 и 0,6 МГц. Генератором поднесущей частоты вырабатывается синусоидальный сигнал с частотой 3,579545 МГц и фазой 180° , соответствующей отрицательному направлению оси $B-Y$. На балансный модулятор $БМ$ сигнала E'_I поднесущая частота поступает от генератора с задержкой на 57° , которая создаётся фазовращателем $\Phi В1$. На балансный модулятор $БМ$ сигнала E'_Q колебание поднесущей частоты поступает с дополнительной задержкой на 90° , получаемой в $\Phi В2$, тем самым обеспечивая условия квадратурной модуляции одной поднесущей сигналами E'_I и E'_Q . С выходов балансных модуляторов квадратурные составляющие U_I и U_Q подаются на сумматор Σ_1 , в котором образуется сигнал цветности U_S . В сумматоре Σ_2 сигнал цветности U_S складывается с яркостным сигналом. На выходе этого сумматора общая полоса частот определяется ФНЧ в границах от 0 до 4,18 МГц. В результате такого ограничения квадратурная составляющая U_Q будет содержать две боковые полосы по 0,6 МГц, а составляющая U_I – верхнюю боковую 0,6 МГц и нижнюю 1,3 МГц.

Как известно, время прохождения сигнала через электрическую цепь зависит от её полосы пропускания. В кодирующем устройстве NTSC каждый из трёх компонент полного сигнала E'_Y , E'_I и E'_Q проходит в процессе формирования через цепи с разными полосами пропускания: сигнал E'_Y – через самую широкополосную цепь 0...4,18 МГц, сигналы E'_I и E'_Q – через узкополосные цепи 0...1,3 МГц и 0...0,6 МГц соответственно. В результате сигнал E'_Y имеет наименьшее из трёх сигналов время прохождения, а сигнал E'_Q – наибольшее. Для выравнивания этих трёх сигналов во времени устанавливаются линии задержки: в канале E'_Y – $ЛЗ1$ примерно на 0,7 мкс, а в канале E'_I – $ЛЗ2$ на 0,5 мкс. Погрешность совмещения во времени всех трёх сигналов должна быть не больше половины длительности развёртки чёрно-белого элемента изображения (0,05 мкс). Иначе в цветном изображении может быть заметно рассовмещение окрашенных участков и деталей, к которым эти участки принадлежат.

Сигнал цветовой синхронизации $U_{ЦВ}$ формируется в клапанном устройстве K с помощью стробирующих импульсов, временное положение которых соответствует положению цветовой вспышки на задней площадке строчного гасящего импульса (см. рисунок 1.4). В сумматоре Σ_2 сигнал цветовой синхронизации складывается с сигналами яркости и цветности.

Для выполнения условия (1.1) строчные синхронизирующие импульсы

получают путём многократного деления частоты поднесущей f_s в делителе частоты ДЧ.

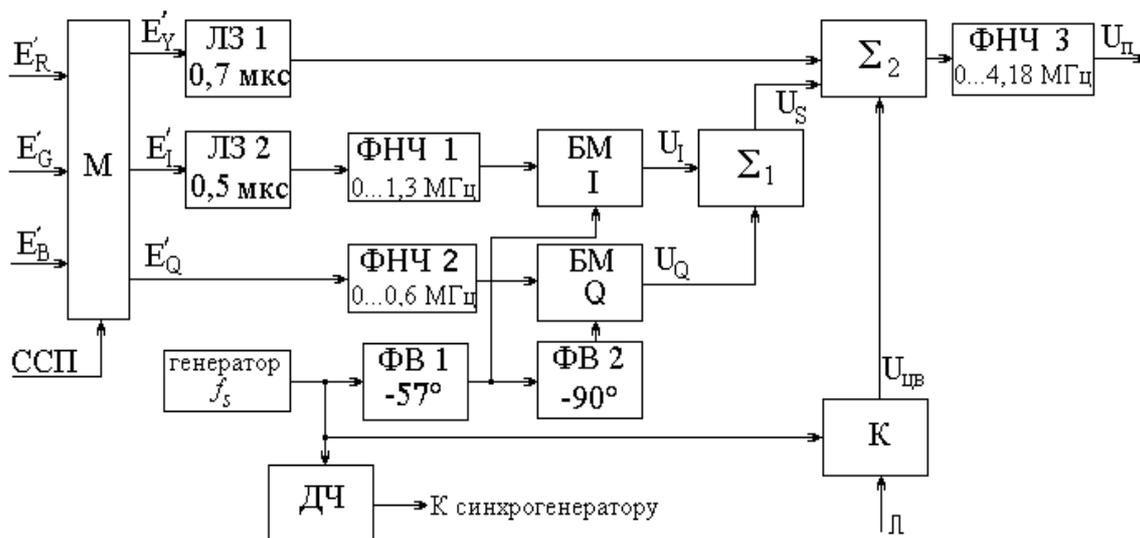


Рис. 1.7. Структурная схема кодирующего устройства системы NTSC

Структурная схема декодирующего устройства

Композитный сигнал $U_{П}$, содержащий сигналы яркости и цветности, а также вспышки цветовой синхронизации и сигнал синхронизации приёмника, поступает на усилитель сигнала яркости и полосовой фильтр $ПФ$ сигнала цветности (рисунок 1.8). В канале яркостного сигнала с помощью режекторного фильтра $РФ$, настроенного на частоту поднесущей, подавляется сигнал цветности, устраняя помеху от него в виде рассмотренного выше рисунка шахматной фигуры. Полосовой фильтр в канале цветоразностных сигналов выделяет из полного сигнала $U_{П}$ сигнал цветности и сигнал цветовой синхронизации. При этом также уделяется внимание максимальному подавлению в сигнале второй промежуточной частоты звукового сопровождения (4,5 МГц), которая может вызывать нежелательные биения с цветовой поднесущей. Сигнал цветности U_S , содержащий две квадратурные составляющие U_I и U_Q , поступает через усилитель на два синхронных детектора $СДI$ и $СДQ$, на которые подаётся опорное напряжение поднесущей частоты со сдвигом 90° , обеспечиваемым фазовращателем $ФВ2$. Эти колебания имеют фазы, соответствующие осям I и Q . В результате на выходах синхронных детекторов создаются сигналы E'_I и E'_Q , которые ограничиваются по полосе частот в каналах I и Q фильтрами $ФНЧ1$ и $ФНЧ2$. В матрицирующем устройстве M из сигналов E'_Y , E'_I и E'_Q формируются исходные сигналы E'_R , E'_G и E'_B :

$$E'_R = E'_{R-Y} + E'_Y; E'_G = E'_{G-Y} + E'_Y; E'_B = E'_{B-Y} + E'_Y.$$

Для компенсации различных по длительности задержек в сигналах E'_Y , E'_I и E'_Q в каналы первых двух сигналов включены линии задержки $ЛЗ1$ и $ЛЗ2$.

Сигнал цветовой синхронизации отделяется от сигнала цветности клапанным устройством $К$, которое пропускает на свой выход цветные вспышки при поступлении стробирующих импульсов, создаваемых в устройстве $ФСИ$. В свою очередь, формирующее устройство управляется строчными синхронизирующими импульсами, выделяемыми из полного сигнала в селекторе синхроимпульсов.

Цветовые вспышки предназначены для синхронизации генератора цветовой поднесущей f_s , который для обеспечения точности работы имеет кварцевую стабилизацию.

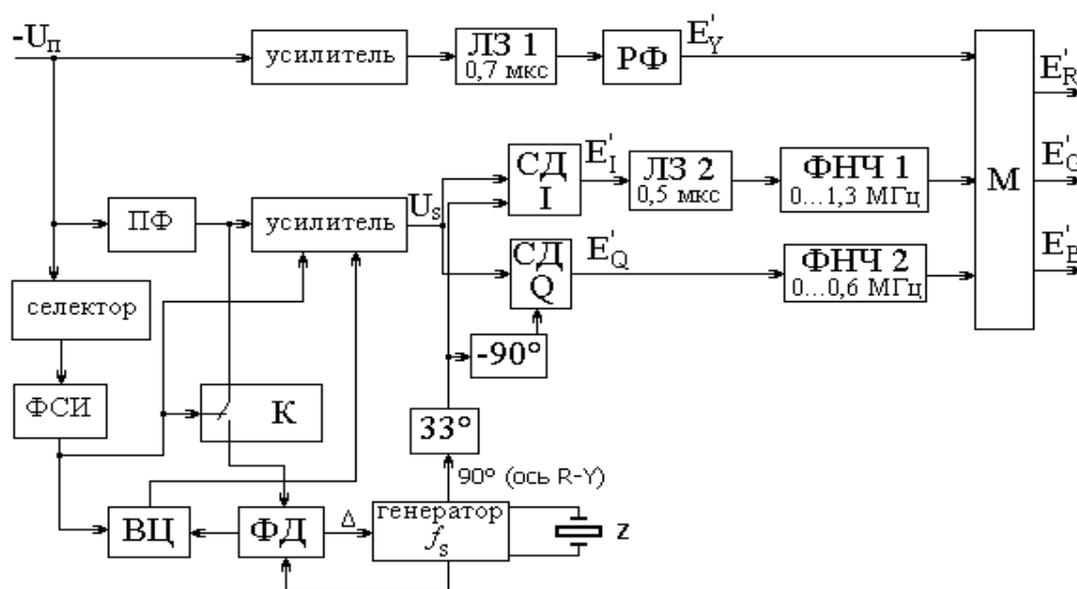


Рис. 1.8. Структурная схема декодирующего устройства системы NTSC

Синхронизация является параметрической, управляющее напряжение вырабатывается фазовым детектором $ФД$, в котором сравниваются по частоте и фазе колебания от генератора и цветных вспышек. Фазовая автоподстройка схемотехнически наиболее просто осуществляется к значению 90° по отношению к фазе вспышек, т.е. к оси $R-Y$. Таким образом, чтобы обеспечить детектирование на ось I (в синхронном детекторе $СДИ$), необходимо колебаниям автогенератора создать в фазовращателе $ФВ1$ опережение на 33° . Дополнительная задержка в $ФВ2$ на 90° обеспечит детектирование в $СДQ$ на ось Q .

В усилителе сигнала цветности с помощью стробирующих импульсов подавляются колебания цветных вспышек, чтобы устранить их огибающую на выходе синхронных детекторов. В противном случае на краю изображения эта огибающая может создать цветную вертикальную полосу,

соответствующую положению вспышки на площадке строчного гасящего импульса.

Канал сигнала цветности необходимо запирает также, когда производится приём чёрно-белого изображения, поскольку иначе на экране цветного кинескопа возникли бы цветные крупноструктурные муары. Последние являются продуктом биений в синхронных детекторах высокочастотных составляющих сигнала яркости с колебаниями автономно работающего генератора поднесущей. Выключатель цветности *ВЦ* получает управляющее напряжение на запираение канала с фазового детектора. При вещании цветной программы, т.е. при наличии цветных вспышек, с фазового детектора на *ВЦ* поступает постоянное напряжение одного знака, при чёрно-белом вещании это напряжение меняет свой знак.

Если из рассмотренной структурной схемы исключить фазовращатель *ФВ1* на 33° , то синхронное детектирование будет осуществляться на оси *R-Y* и *B-Y*, а следовательно, на выходах детекторов будут получены сигналы E'_{R-Y} и E'_{B-Y} . Но в этом случае из-за разнополосности составляющих U_I и U_Q могут возникнуть перекрёстные искажения между сигналами E'_{R-Y} и E'_{B-Y} .

Для предотвращения этих искажений оба ФНЧ на выходе детекторов должны быть узкополосными: $0 \dots 0,6$ МГц, что заметным образом ухудшит цветовую чёткость. Поэтому такой вариант декодирующего устройства распространён меньше.

Эксплуатационные характеристики системы цветного телевидения NTSC

С точки зрения применяемого способа модуляции цветовой поднесущей видеосигналами цветности система NTSC имеет следующие основные особенности:

- ◆ хорошее использование канала передачи (большой объём передаваемой информации при высокой помехозащищённости);
- ◆ высокое качество цветного изображения при отсутствии в передающем тракте недопустимых искажений (в частности, высокая цветовая чёткость по горизонтали и вертикали);
- ◆ отсутствие в изображении на экранах приёмников цветного и чёрно-белого телевидения муаров и мерцаний яркости при движении объекта передачи;
- ◆ хорошая совместимость (малая заметность помех от сигнала цветности);
- ◆ правильность и простота формы сигнала цветности при передаче испытательного сигнала цветных полос, что облегчает контроль работы аппаратуры и её настройку;

- ◆ высокая помехозащищённость видеосигналов цветности в приёмнике от флуктуационных шумов. При этом заметность на цветном изображении шумов возрастает при уменьшении отношения сигнал/шум плавно, и шумы на изображении имеют структуру, близкую к таковой на чёрно-белом телевидении, хотя крупноструктурные шумы несколько более заметны за счёт шумов из канала сигнала цветности;
- ◆ высокая помехозащищённость схемы цветовой синхронизации от флуктуационных шумов;
- ◆ простота микширования полных видеосигналов $U_{\Pi} = E'_y + U_{\text{ЦВ}}$ от различных камер, ничем не отличающегося от микширования сигналов в чёрно-белом телевидении.

У системы NTSC имеются следующие недостатки, из-за которых она не была принята в качестве стандарта в Европе для развёртки на 625 строк:

- ◆ требования к отсутствию искажений амплитуды и фазы сигнала цветности на поднесущей частоте и к неискажённой передаче необходимой полосы частот являются очень жёсткими, и выполнение их при создании и эксплуатации аппаратуры, а также каналов связи, связано со значительными трудностями;
- ◆ при многолучевом приёме (например, в горных условиях) и при наличии отражённых сигналов возникают искажения амплитуды и фазы сигнала цветности, снижающие качество цветного изображения;
- ◆ при записи полного сигнала U_{Π} на магнитную ленту и его воспроизведении необходимо обеспечить строгое постоянство скорости движения магнитной ленты относительно магнитных головок, что особенно важно при многократной перезаписи. Для выполнения этого требования видеомагнитофон должен иметь высококачественные механизмы и специальные блоки для электрической коррекции непостоянства скоростей механизмов.

2.2. Система цветного телевидения SECAM

Разработка системы была начата во Франции в 50-х годах. В 1965-1966 гг. при сотрудничестве с советскими специалистами была доработана. С октября 1967 г. в СССР и во Франции одновременно было начато регулярное вещание по системе SECAM. В процессе эксплуатации продолжалось её усовершенствование. Кроме Франции и стран бывшего СССР, система SECAM получила распространение в Болгарии, Венгрии, Польше, Люксембурге, Греции, ряде стран Африки, Ближнего и Среднего Востока. Название системы представляет собой аббревиатуру из французских слов *Sequentiel Couleur a Memoire*, что означает «поочерёдность цветов и память».

Общие принципы системы

Так же, как и в системе NTSC, сигналами передачи в системе SECAM являются три сигнала: яркостный E'_Y и два цветоразностных E'_{R-Y} и E'_{B-Y} . Но в системе SECAM в течение каждого строчного интервала передаётся только один из цветоразностных сигналов, которые поступают в канал передачи поочерёдно, а в приёмнике этот сигнал используется в течение двух строк. Такой принцип передачи позволяет избежать присущих системе NTSC перекрёстных искажений между двумя цветоразностными сигналами, которые в системе SECAM благодаря разновременной передаче не могут взаимодействовать друг с другом.

По этой причине цветовая чёткость по вертикали уменьшается в среднем в два раза по сравнению с яркостным сигналом. Однако глаз ощущает это как *мерцание яркости* на отдельных участках изображения, содержащих горизонтальные границы между различными насыщенными цветами, так как разрешающая способность глаза к изменению цветности в среднем в 4 раза меньше, чем к изменению яркости.

В современном варианте системы SECAM осуществляется *частотная модуляция (ЧМ)* поднесущей частоты сигналом цветности, что повышает устойчивость системы к влиянию амплитудных и фазовых искажений, к чему особенно была чувствительна система NTSC.

В связи с применением ЧМ в системе SECAM приняты следующие меры для улучшения совместимости и повышения помехоустойчивости:

1. Сигналы цветности E'_{R-Y} и E'_{B-Y} заменены сигналами D'_R и D'_B , определяемыми соотношениями:

$$\begin{aligned} D'_R &= -1,9E'_{R-Y}, \\ D'_B &= 1,5E'_{B-Y}. \end{aligned} \quad (2.1)$$

т.е. введены разные масштабные коэффициенты для сигналов E'_{R-Y} и E'_{B-Y} . Это связано с тем, что экстремальные значения для сигнала E'_{R-Y} находятся в пределах от +0,7 (красный) до -0,7 (сине-зелёный), а для сигнала E'_{B-Y} – от +0,89 (жёлтый) до -0,89 (синий). Между тем на частотный модулятор желательно подавать сигналы одинакового размаха, чтобы девиация частоты при передаче обоих сигналов цветности была одинаковой.

Знак сигнала E'_{R-Y} заменён на обратный. Это объясняется тем, что при передаче различных сюжетов в сигнале E'_{R-Y} преобладают положительные значения, а в сигнале E'_{B-Y} – отрицательные. При изменении полярности E'_{R-Y} в обоих сигналах преобладает отрицательная девиация частоты. Это несколько повышает помехоустойчивость, так как часто в каналах связи возникает срез верхней частоты спектра телевизионного сигнала, что ведёт к ограничению верхней боковой полосы сигнала цветности.

2. При размещении спектра сигнала цветности в высокочастотной части спектра яркостного сигнала недопустимо применение широкополосной ЧМ с индексом модуляции больше единицы. Поэтому в системе SECAM индекс модуляции в среднем составляет около 0,2, а сигналы E'_{R-Y} и E'_{B-Y} для повышения помехоустойчивости приёма подвергаются НЧ-коррекции, которая повышает уровень ВЧ-составляющих спектра. Поскольку их уровень значительно меньше уровня низкочастотных составляющих, такие предискажения не вызывают увеличения индекса модуляции, а лишь выравнивают величину девиации частоты по спектру. Последовательно с цепью НЧ-предискажений в кодирующем устройстве для ограничения полосы пропускания цветоразностных сигналов до значения 1,5 МГц включается ФНЧ. Результирующая АЧХ цепи предискажений и ФНЧ стандартизована (рисунок 2.1). Это позволяет улучшить соотношение сигнал/шум в канале цветности SECAM примерно на 9 дБ.

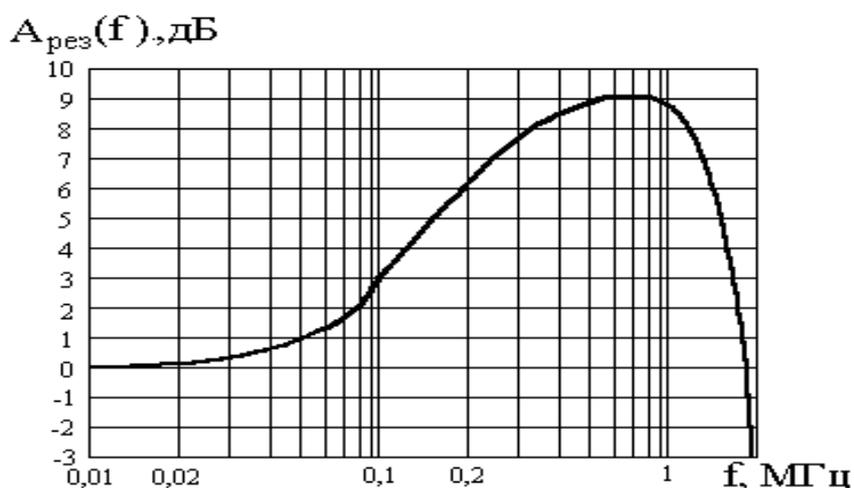


Рис. 2.1. Результирующая АЧХ низкочастотной фильтрации и предискажений цветоразностных сигналов

3. Частотно-модулированные сигналы цветности подвергаются высокочастотной предкоррекции, которая заключается в увеличении амплитуды поднесущей по мере её отклонения от центрального значения. Эта коррекция осуществляется фильтром с характеристикой типа "антиклевш" (cloche (фр.)–колокол), имеющей вид перевернутого колокола (рисунок 2.2). Как известно, уровень сигнала от помехи на выходе частотного детектора пропорционален разности между средней частотой настройки ЧМ-детектора и частотой помехи. Поэтому подъем частотной характеристики в области больших значений девиации частоты цветовой поднесущей приводит к повышению помехоустойчивости. Наряду с этим улучшается совместимость системы, так как поднесущая при передаче малонасыщенных деталей изображения становится менее заметной, поскольку в этом случае уровень сигналов цветности мал, девиация частоты незначительна и вся энер-

гия модулированных сигналов цветности приходится на минимум кривой предыскажений.

4. Чтобы корректор работал эффективно при передаче того или иного насыщенного цвета, необходимо перестраивать центральную частоту корректора. Но для разных цветов и даже для сигналов D'_R и D'_B одного и того же цвета девиация отличается не только по абсолютной величине, но и по знаку. Поэтому задача улучшения работы ВЧ-корректора на всех цветах поиском наиболее оптимальной частоты его настройки оказалась неразрешимой. В современном варианте системы SECAM применяются две поднесущие частоты:

$$\begin{aligned} f_{0R} &= 282f_Z = 4406,25 \pm 2 \text{ кГц}; \\ f_{0B} &= 272f_Z = 4250 \pm 2 \text{ кГц}. \end{aligned} \quad (2.2)$$

Минимум АЧХ ВЧ-корректора настраивают на частоту, лежащую между двумя этими значениями. При таком компромиссе удалось создать относительно удовлетворительные условия для работы корректора для большинства цветов. При этом предпочтение было отдано таким цветам, где заметность шума выше – красный и пурпурный. Для них расстройка корректора относительно частоты сигнала цветности выбрана минимальной. Настройка ВЧ-корректора производится на частоту 4286 кГц (рисунок 2.2).

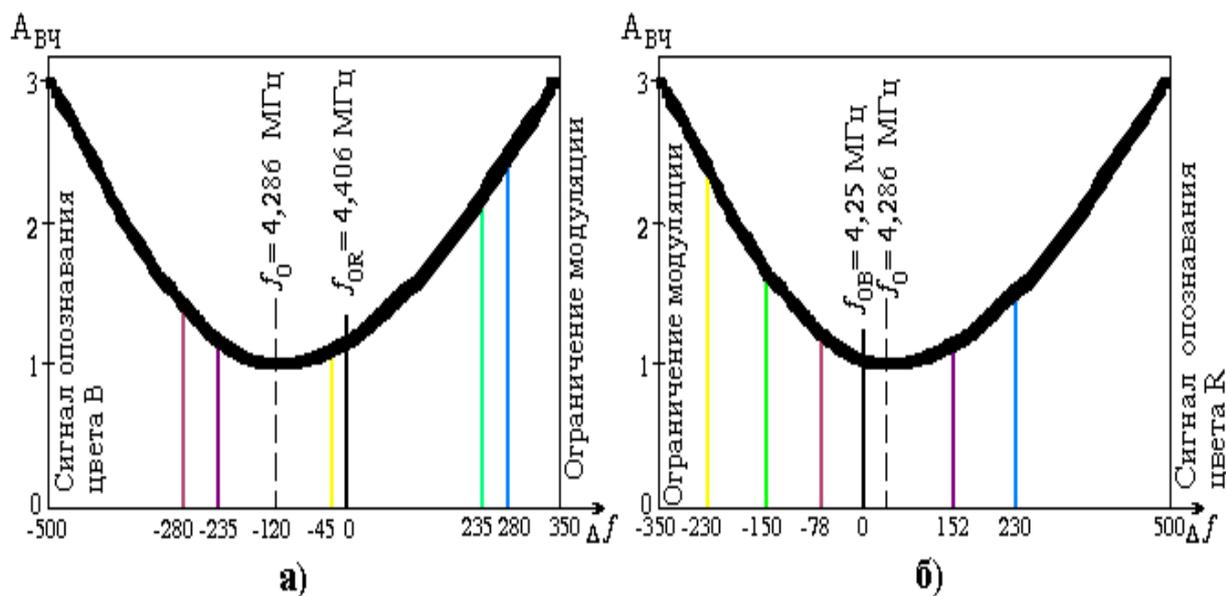


Рис. 2.2. Настройка ВЧ-корректора

5. Подъем высоких частот в сигнале в схеме низкочастотных предыскажений приводит к появлению в сигналах выбросов (пиков) до 200% на переднем и заднем краях импульсов. Чрезмерно большие выбросы срезаются амплитудным ограничителем, устанавливаемым после схемы коррекции. Стандартизованы следующие относительные уровни ограничения для сигналов D'_R и D'_B :

$$D'_R = \begin{cases} +1,25 \\ -1,81 \end{cases}; \quad D'_B = \begin{cases} -1,52 \\ +2,2 \end{cases}. \quad (2.3)$$

Предельные значения девиации, достигаемые при передаче выбросов, становятся равными

$$D'_R = \begin{cases} +350 \pm 18 \text{ кГц} \\ -500 \pm 18 \text{ кГц} \end{cases}; \quad D'_B = \begin{cases} -350 \pm 18 \text{ кГц} \\ +500 \pm 18 \text{ кГц} \end{cases}. \quad (2.4)$$

Так как средняя частота f_{0R} выше, чем f_{0B} примерно на 150 кГц, такое несимметричное ограничение выбросов обеспечивает использование одного и того же диапазона девиации частот (около 3,9...4,8 МГц) каждым из сигналов.

Коммутация фазы поднесущей

Как уже отмечалось, в системе NTSC частота поднесущей жёстко связана с частотой развёртки (см. выше), поэтому поднесущая заметна на экране как не очень выделяющаяся неподвижная структура.

В системе SECAM этот метод неприемлем, так как частота поднесущей вследствие ЧМ непостоянна и никак не может быть связана с частотой развёртки. Тем не менее добиться неподвижности структуры помехи и в этом случае возможно, если фиксировать фазу колебаний поднесущей в начале каждой строки. Это выполняется путём ударного запуска генератора поднесущей специально сформированными импульсами. Для получения рисунка помехи, наименее заметного на изображении, фазу колебания поднесущей в каждой строке меняют по определённому закону. Этот приём называется **методом коммутации фазы**.

В результате теоретических и экспериментальных исследований был принят следующий порядок изменения фазы цветовой поднесущей (в градусах):

- по строкам: 0, 0, 180, 0, 0, 180 и т.д.
- или: 0, 0, 0, 180, 180, 180, 0, 0, 0 и т.д.
- по полям: 0, 180, 0, 180, 0 и т.д.

Указанные изменения производятся в начале каждой строки (поля). Немодулированные значения частот поднесущих выбраны равными чётным гармоникам строчной частоты. В результате такой коммутации в каждом из полей формируется своя структура поднесущей на изображении, однако с определённой периодичностью, цикл которой составляет 12 полей. Таким образом, удалось получить в изображении относительно жёсткую структуру помехи от поднесущей, в некоторой степени хаотичную из-за девиации частоты, однако в реальных сюжетах малозаметную.

Особенности спектра сигнала цветности

Как уже отмечалось, модулирующие поднесущую частоту цветоразностные сигналы имеют, как и яркостный сигнал, ярко выраженную линейчатую структуру спектра. При выборе поднесущей частоты, равной нечётной гармонике полустрочной частоты (как в NTSC), спектр модулированного сигнала сохраняет свою линейчатую структуру, но его компоненты соответствуют уже не строчным, а полустрочным гармоникам. В результате в системе NTSC и достигалось перемежение спектров яркостного сигнала и сигнала цветности. В системе SECAM поднесущие частоты кратны строчной частоте, и в результате их модуляции цветоразностными сигналами спектр сигнала цветности должен был бы состоять из гармоник строчной частоты. Переплетения спектров не получилось бы. Однако принятый закон коммутации фазы поднесущих формирует такой спектр сигнала цветности, компоненты которого в основном не совпадают с составляющими спектра яркостного сигнала, и спектры перемежаются.

Сигнал цветовой синхронизации

В системе SECAM поочерёдная передача сигналов D'_R и D'_B требует согласованной работы электронных коммутаторов кодирующего и декодирующего устройств (см. рисунок 2.3, 2.4).

Эти коммутаторы должны переключаться синхронно и синфазно. Фазировка электронного коммутатора в декодирующем устройстве строится на распознавании цветности (D'_R или D'_B) принимаемого сигнала с помощью сигнала цветовой синхронизации $U_{ЦС}$ или, как его часто называют, **сигнала опознавания**. Он формируется из серии 9 импульсов S_R и S_B трапецеидальной формы, замешиваемых в сигналы D'_R и D'_B с 7 по 15 строку одного поля и с 320 по 328-ю строку второго в кодирующем устройстве (рисунок 2.5). Начало и конец каждого импульса совпадают соответственно с началом и концом активной части строки. Амплитуда импульсов равна уровням ограничения цветоразностных сигналов, вызванных НЧ предискажениями, т.е. +1,25 для сигнала D'_R и -1,52 для сигнала D'_B .

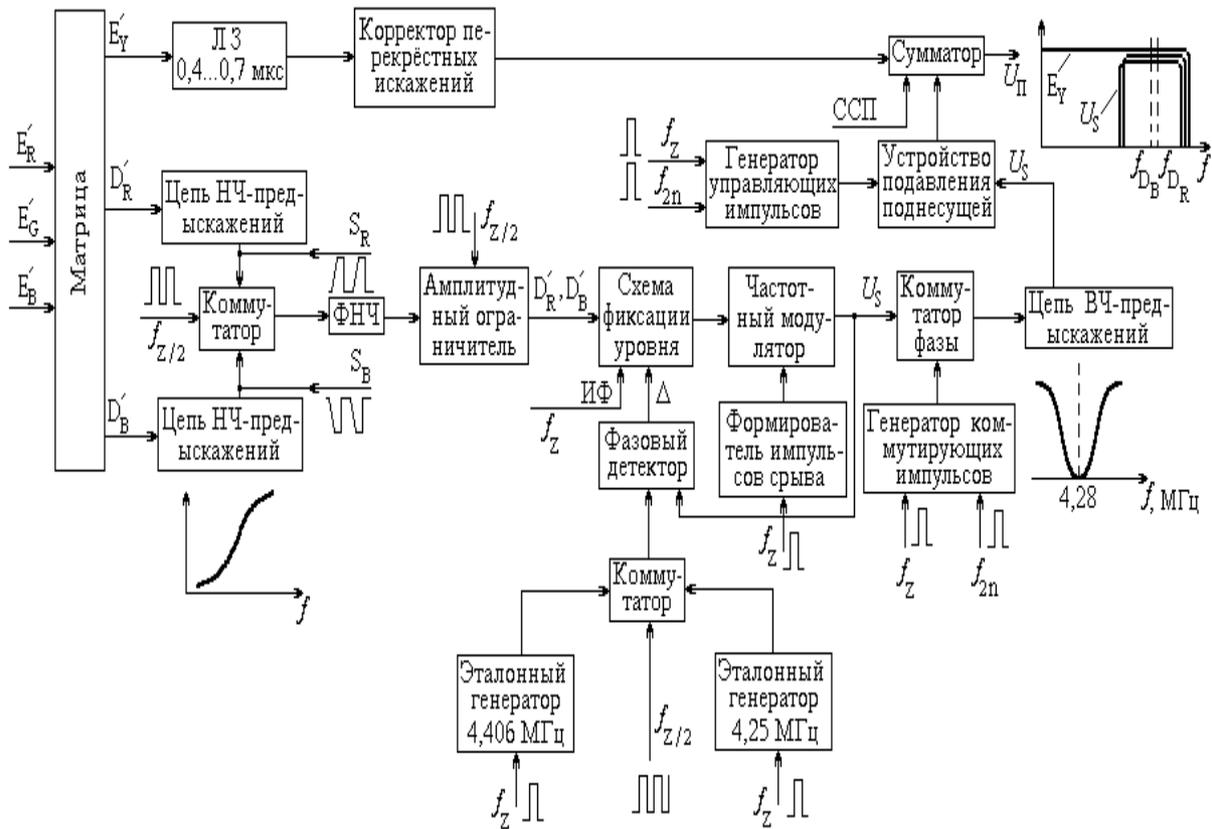


Рис. 2.3. Структурная схема кодирующего устройства системы SECAM

Таким образом, при поступлении на частотный модулятор они займут весь диапазон девиации частоты. В строках D'_R частота сместится вверх до 4,756 МГц, а в строках D'_B – вниз до 3,9 МГц. Различие в полярности сигналов S_R и S_B или соответственно частот в сигнале цветовой синхронизации является признаком передачи той или иной цветности, который используется для распознавания сигналов в приёмнике. Поскольку сигнал цветовой синхронизации передаётся в соответствии с указанными номерами строк во время гасящих импульсов полей, то он не вызывает помех на изображении.

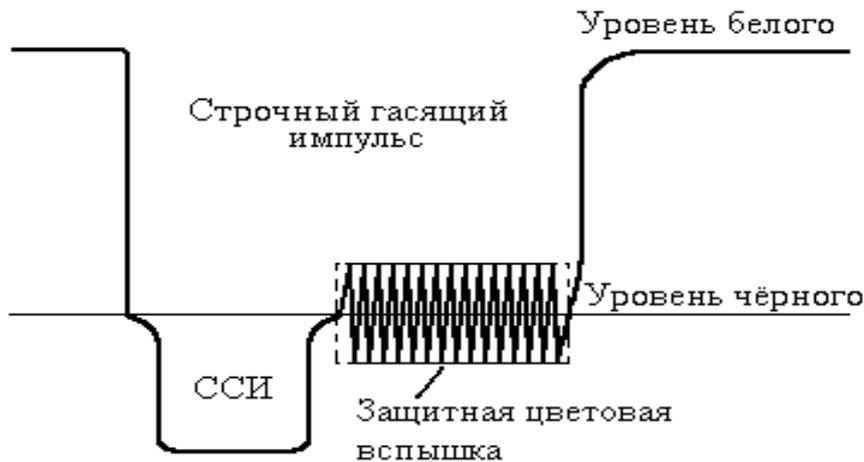


Рис. 2.4. Защитная цветная вспышка

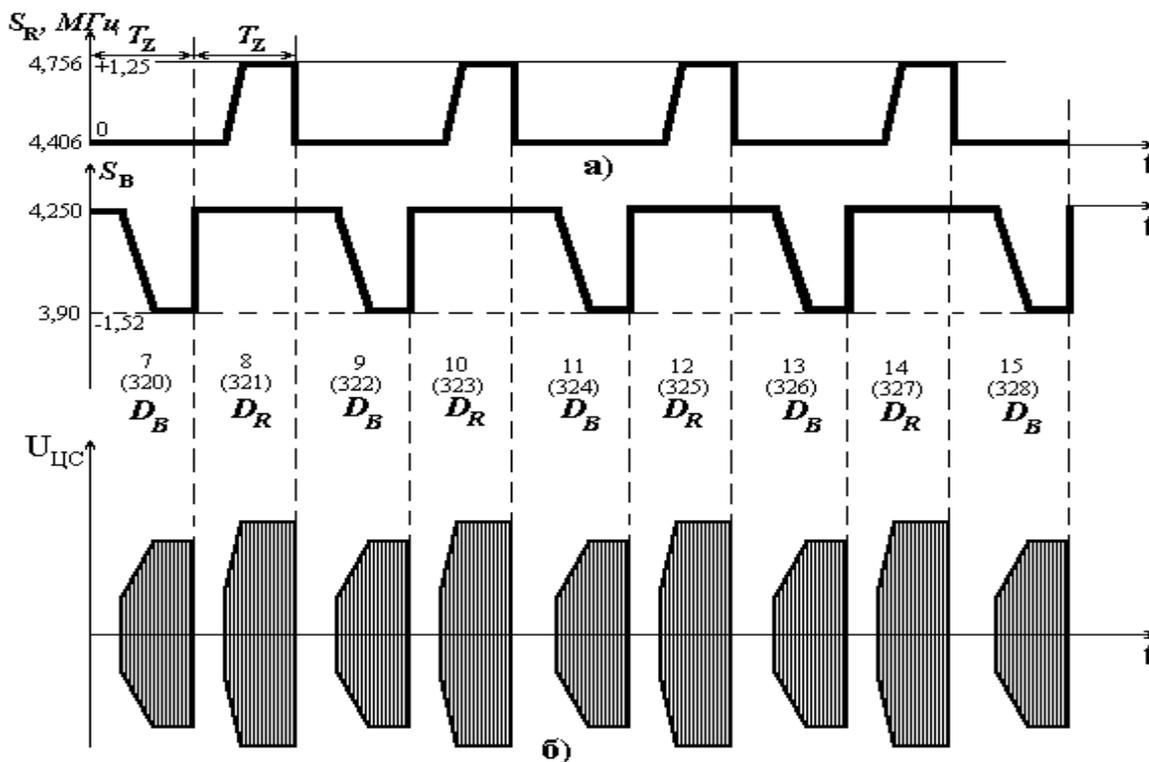


Рис. 2.5. Формирование сигнала цветовой синхронизации:

а) формирующие сигналы S_R и S_B ;

б) сигнал цветовой синхронизации после частотного модулятора

Структурная схема кодирующего устройства

Сигнал яркости E'_Y и цветоразностные сигналы D'_R и D'_B формируются в матричном устройстве в соответствии с приведёнными ранее соотношениями. Канал яркостного сигнала (рисунок 2.3) включает в себя корректор перекрёстных искажений [4, с.278] и широкополосную линию задержки, выравнивающую во времени широкополосный сигнал E'_Y и относительно узкополосный сигнал цветности U_C . Затем сигнал яркости E'_Y поступает на сумматор, где смешивается с сигналом цветности и импульсами синхронизации приёмника.

Цветоразностные сигналы D'_R и D'_B в цепях НЧ-предыскажений подвергаются линейной коррекции с подъёмом на верхних частотах (рисунок 2.1). После предыскажений в цветоразностные сигналы во время обратного хода по кадру замешиваются сигналы цветовой синхронизации S_R и S_B (см. рисунок 2.5). Дальнейшая обработка и передача сигналов D'_R и D'_B осуществляется поочередно с частотой строк, реализуемой электронным коммутатором. Последний переключается симметричными прямоугольными импульсами (меандром), частота которого в два раза ниже частоты переключения, т.е. равна $f_z/2$.

Ограничение цветоразностных сигналов по полосе частот и устранение нежелательных коммутационных помех, возникающих при работе электронного коммутатора, производятся с помощью ФНЧ. Сквозная АЧХ цепи НЧ-предыскажений и ФНЧ приведена на рисунке 2.1. Далее цветоразностные сигналы поступают на амплитудный ограничитель, в котором ограничиваются выбросы, вызванные НЧ-предыскажениями. Как следует из (2.3), уровни ограничения для сигналов D'_R и D'_B отличаются. Поэтому на амплитудный ограничитель дополнительно подаются симметричные прямоугольные импульсы, которые с частотой строк смещают на соответствующую величину сигналы D'_R и D'_B относительно постоянных уровней ограничения. Кроме того, размах сигнала D'_R увеличивается в 1,22 раза.

С выхода ограничителя сигнал поступает на частотный модулятор, на входе которого включена схема фиксации уровня. Основной особенностью частотного модулятора в системе SECAM является, во-первых, модуляция сигналами D'_R и D'_B двух отличающихся по частоте поднесущих, во-вторых, необходимость поддержания с высокой точностью номинальных значений поднесущих (2.2). Непосредственная стабилизация этих частот невозможна. В схеме на рисунке 2.4 используется импульсная автоподстройка по сигналам опорных эталонных генераторов. Такой способ позволяет стабилизировать не только частоту, но и начальные фазы колебаний, что необходимо для реализации метода коммутации фазы.

Обычно в качестве модулятора используется генератор с самовозбуждением, обеспечивающий достаточно хорошую стабильность начальной частоты (в момент его включения) и линейность модуляционной характеристики. Автоподстройка частоты и фазы колебаний модулятора по опорным частотам производится во время обратного хода по строке, когда модулирующие цветоразностные сигналы равны нулю, и, следовательно, должна генерироваться частота с номинальным значением одной из поднесущих. Сравнение колебаний модулятора с колебаниями эталонных генераторов осуществляется в фазовом детекторе. Сигнал ошибки Δ через схему фиксации уровня поступает на частотный модулятор только во время обратного хода благодаря подаваемым в это время на схему импульсам фиксации (ИФ).

Частотный модулятор во время фиксирующих импульсов должен подстраиваться к эталонному генератору не только по частоте, но и по фазе. При этом равенство фаз колебаний должно быть обеспечено в самом начале строки. Для обеспечения этого процесса колебания частотного модулятора в конце каждой строки срываются импульсами срыва, и запуск генератора начинается всегда с одной и той же фазы.

Эталонные генераторы подключаются к фазовому детектору поочередно с помощью коммутатора, работающего синхронно с коммутатором сигналов D'_R и D'_B . Стабильность частоты колебаний эталонных генераторов

обеспечивается с помощью кварцевых фильтров. Неизменность фазы колебаний в начале каждой строки достигается путём возбуждения генераторов короткими импульсами, следующими с частотой строк.

Таким образом, стабилизация частоты и фазы ЧМ-генератора обеспечивается схемой автоподстройки только в течение интервала обратного хода строчной развёртки. Дальнейшее поддержание точного значения частоты и фазы поднесущей в интервале активной части строки зависит от точности поддержания задаваемого фиксирующей схемой опорного уровня. Поэтому стабильность всего узла модулятора в большой степени определяется качеством работы фиксирующей схемы.

С выхода частотного модулятора сигнал цветности поступает на устройство коммутации фазы, в котором с целью уменьшения заметности поднесущей на изображении производится изменение фазы колебаний по рассмотренному выше закону. Цепь ВЧ-предыскажений обуславливает возникновение в ЧМ-сигнале дополнительной амплитудной модуляции (стандартом не предусмотрена, но желательна для устранения перекрёстных искажений от сигнала яркости в канале сигнала цветности [2, с.72]). Далее сигнал подаётся в устройство подавления поднесущей. Подавление осуществляется с помощью импульсов, формируемых генератором управляющих импульсов. Подавление необходимо для того, чтобы колебания поднесущих частот не наложились на синхронизирующие импульсы приёмника. Поэтому оно производится во время кадровых гасящих импульсов за исключением периодов, когда передаётся сигнал цветовой синхронизации, и во время строчных гасящих импульсов, за исключением времени передачи защитных цветных вспышек.

Передача защитных цветных вспышек в интервале времени, показанном на рисунке 2.4, необходима для того, чтобы в приёмнике, в амплитудных ограничителях сигнала цветности, режим ограничения успел установиться до начала активной части строки. При отсутствии защитных цветных вспышек изображение у левого края экрана будет искажено сильными шумами и переходными процессами. Последние имеют место в НЧ-корректоре частотного дискриминатора. Окончательно сформированный сигнал цветности поступает на сумматор, где складывается с сигналами яркости и синхронизации приёмника.

Менее распространённой схемой является схема кодирующего устройства, где коммутация красной и синей строк производится после частотной модуляции. Имея некоторые преимущества, такая схема более громоздка, так как содержит двойной комплект устройств формирования и обработки сигналов D'_R и D'_B и частотных модуляторов.

Структурная схема декодирующего устройства

Полный цветовой сигнал U_{Π} с видеодетектора (рисунок 2.6) поступает на ВЧ-корректор сигнала цветности, с помощью которого достигается уве-

личение отношения сигнал/шум и производится выделение из полного сигнала цветности. В профессиональных декодерах для лучшего подавления яркостных компонент дополнительно включается полосовой фильтр. Амплитудно-частотная характеристика корректора является обратной АЧХ цепи ВЧ-предыскажений. В результате в сигнале цветности устраняется амплитудная модуляция, возникшая на передающем конце после прохождения цепи ВЧ-предыскажений. Остаточные явления амплитудной модуляции позволяют судить о качестве настройки ВЧ-корректора и устраняются амплитудным ограничителем, включенным после корректора. Поддерживаемое с помощью амплитудного ограничителя постоянство размаха сигнала цветности независимо от уровня принятого сигнала при глубоком ограничении может сопровождаться увеличением заметности шумов. Поэтому в лучших образцах устройств, уменьшая уровень ограничения, в канал цветности вводят цепь автоматической регулировки усиления.

Ограниченный по амплитуде сигнал цветности поступает на два входа электронного коммутатора ЭК. На один вход он подаётся непосредственно, а на второй – с задержкой на длительность строки. Устройство задержки должно удовлетворять требованию точности и стабильности ($\tau = 64 \text{ мкс} \pm 30 \text{ нс}$). Невыполнение этого требования приводит к заметным на экране искажениям в виде зубчатости на вертикальных цветовых переходах. Электронный коммутатор перераспределяет прямой и задержанный сигналы таким образом, что на один из выходов всегда поступает сигнал, соответствующий передаче D'_R , а на другой – D'_B . Коммутатор содержит четыре ветви, из которых две замкнуты, а две разомкнуты. С частотой строк состояние ветвей изменяется на противоположное. Запирание и отпирание ветвей коммутатора производится с помощью симметричных меандров полустрочной частоты и противоположной полярности. После электронного коммутатора разделённые сигналы цветности поступают на вторую ступень амплитудного ограничения, устраняющую помехи и паразитную амплитудную модуляцию, вызванную неравномерностью АЧХ линии задержки и коммутатора.

С амплитудных ограничителей сигналы цветности поступают на частотные детекторы. С их выходов без дополнительных преобразований получают сигналы E'_{R-Y} и E'_{B-Y} (а не D'_R и D'_B , которые передавались на поднесущей). С этой целью АЧХ детектора в канале $R-Y$ придаётся противоположный наклон по отношению к АЧХ детектора в канале $B-Y$. Соответственно коэффициентам компрессии подобраны и размахи сигналов цветности на входах частотных детекторов. В большинстве частотных детекторов используются колебательные контуры. Их настраивают на номинальные значения двух поднесущих частот.

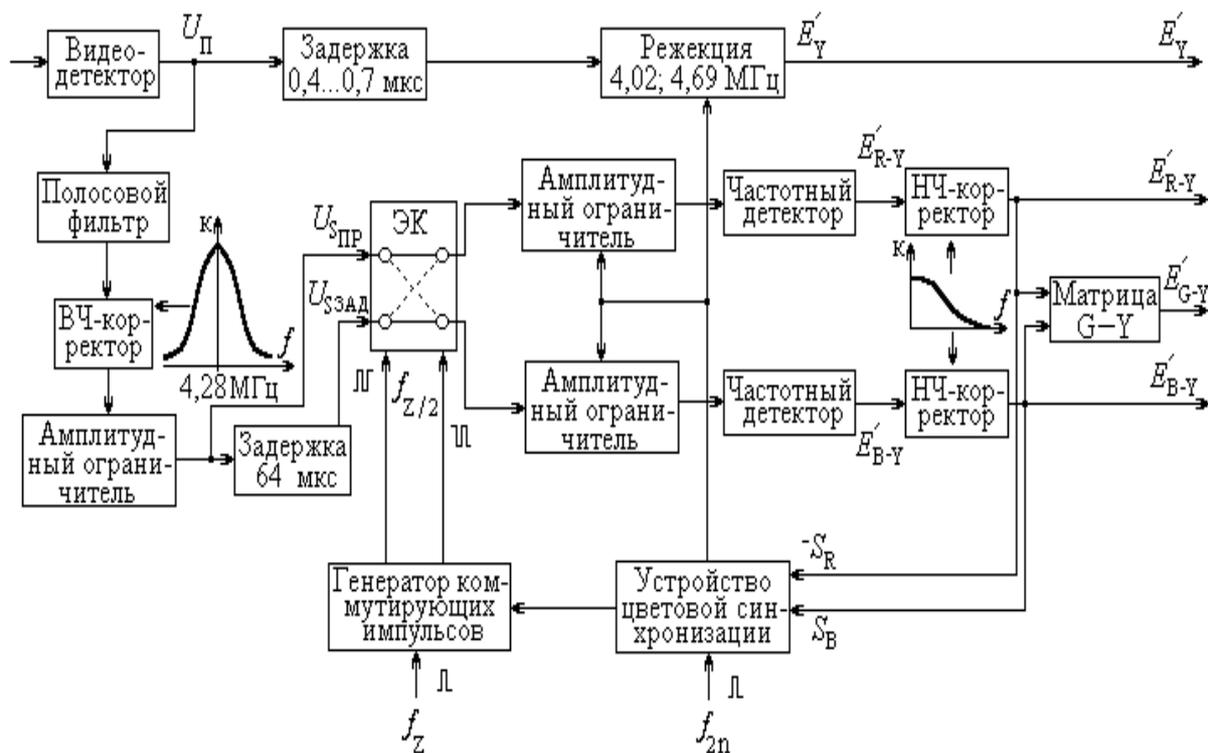


Рис. 2.6. Структурная схема декодирующего устройства системы SECAM

После детектирования цветоразностные сигналы подвергаются низкочастотной коррекции, повышающей отношение сигнал/шум. Амплитудно-частотные характеристики корректоров обратны АЧХ цепей НЧ-предыскажений. Часто с НЧ-корректором совмещают цепь подавления поднесущей частоты, присутствующей на выходе частотного детектора. Эта цепь представляет собой ФНЧ со срезом $F_B = 2$ МГц. Наконец, с помощью матрицы $G-Y$ из цветоразностных сигналов E'_{R-Y} и E'_{B-Y} формируется сигнал E'_{G-Y} .

Уже отмечалось, что принцип последовательной передачи сигналов в системе SECAM предполагает синхронную и синфазную работу коммутаторов сигналов на передающем и приёмном концах системы. Синхронность обеспечивается формированием коммутирующих импульсов из строчных импульсов. Правильность фазировки достигается с помощью устройства цветовой синхронизации. Из большого разнообразия вариантов его построения в качестве примера рассмотрим функциональную схему на рисунке 2.7. Цветоразностные сигналы с выходов каналов $R-Y$ и $B-Y$ складываются в матрице, состоящей из двух резисторов. Так как сигналы цветовой синхронизации S_R и S_B разнополярны (рисунок 2.5), а АЧХ частотных детекторов имеют разный знак наклона, то на выходах каналов сигналы S_R и S_B будут иметь одинаковую полярность. Если коммутатор сфазирован правильно, то полярность отрицательная, если неправильно – положительная. Включенный в среднюю точку матрицы интегрирующий конденсатор обра-

зует одиночный импульс отрицательной или положительной полярности. Этот импульс или подтвердит правильность работы генератора коммутирующих импульсов, или скорректирует его, сменив фазу двух меандров, подаваемых на коммутатор. Ключом K на устройство цветовой синхронизации пропускаются только импульсы сигнала цветовой синхронизации. Для этого он открывается импульсами частоты полей f_{2n} с 7-й по 15-ю и с 320-й по 328-ю строки. Рассмотренная схема достаточно помехоустойчива, поскольку импульсные помехи на выходе матрицы вычитаются, а флуктуационные помехи ослабляются путём интегрирования.

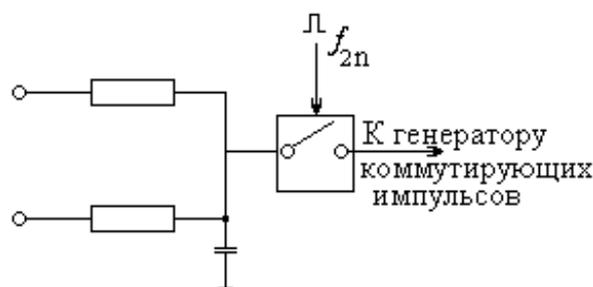


Рис. 2.7. Функциональная схема устройства цветовой синхронизации

Устройство цветовой синхронизации служит также для того, чтобы выключать канал цветности, если передаётся сигнал чёрно-белого или цветного телевидения, но другой системы. В схеме на рисунке выключение производится подачей запирающего напряжения на амплитудные ограничители. Выключение канала цветности в указанных обстоятельствах является необходимым, поскольку в противном случае на экране наблюдаются помехи импульсного и шумового характера.

Рассмотренный **метод цветовой синхронизации**, называемой **кадровой**, не является современным. Рекомендациями МККР предусмотрено исключение сигналов кадровой цветовой синхронизации S_R и S_B с тем, чтобы освободить соответствующие интервалы кадрового гасящего импульса для передачи дополнительной информации, например, телетекста. Для цветовой синхронизации в этом случае могут быть использованы защитные цветные вспышки (рисунок 2.4). Последние в строках D'_R и D'_B отличаются по частоте. Путём использования частотного дискриминатора, настроенного на ту или иную частоту, получают с частотой строк импульсы, несущие информацию о том, какая строка передаётся – красная или синяя. Этот метод получил название **строчной цветовой синхронизации**.

Канал яркости содержит в себе широкополосную линию задержки на 0,4...0,7 мкс для выравнивания времени распространения сигналов в широкополосном яркостном канале и узкополосном канале цветности. Затем сигнал проходит через устройство режекции, подавляющее колебания цветовой поднесущей. Режекторный фильтр настраивается на подавление двух

характерных частот: 4,02 и 4,69 МГц. Эти частоты соответствуют передаче жёлтого и голубого цветов, для которых из-за ВЧ-предкоррекции амплитуды поднесущих достигают максимального значения. Для того, чтобы режекция не ухудшила чёткость изображения при передаче чёрно-белых программ, она отключается с помощью управляющего напряжения с устройства цветовой синхронизации.

Эксплуатационные характеристики системы цветного телевидения SECAM

Вследствие применения частотной модуляции и последовательной передачи цветоразностных сигналов D'_R и D'_B система SECAM имеет пониженную чувствительность:

- ◆ к фазовым искажениям сигнала цветности на поднесущей (в несколько раз меньшую, чем в NTSC), кроме быстрого большого изменения фазы этого сигнала при переходе от одного слабо насыщенного цвета к другому цвету при большом различии их яркостей;
- ◆ к искажениям отношения амплитуды сигнала цветности на поднесущей к размаху сигнала яркости;
- ◆ к дифференциально-амплитудным искажениям (неравномерности АЧХ тракта);
- ◆ к непостоянству скорости магнитной ленты в видеомагнитофоне относительно записывающих и считывающих головок;
- ◆ к эхо-сигналам.

Наряду с этими весьма важными достоинствами система SECAM имеет следующие особенности:

- ◆ при отношении размаха сигнала яркости к эффективному значению шума, равном 18 дБ и менее, дискриминатор захватывается шумом, и качество цветного изображения резко ухудшается (пороговое свойство частотной модуляции);
- ◆ худшая совместимость по сравнению с системой NTSC. В чёрно-белых телевизорах, где отсутствует режекция поднесущей, её рисунок, несмотря на значительно меньший размах сигнала цветности, более заметен, особенно на вертикальных границах между цветами.
- ◆ заметное мерцание изображения на горизонтальных границах между различными цветами вследствие потери цветовой чёткости по вертикали. Информация о цвете усредняется, и две соседних строки на переходе воспроизводятся в третьем, искажённом цвете.
- ◆ пониженная цветовая чёткость по горизонтали (т.е. на вертикальных границах между различными цветами), что приводит к размытию вертикальных границ между различными цветами и повышенной заметности переходных процессов на этих границах;

- ◆ появление искажений изображения в приёмнике при неточной компенсации в нём НЧ и ВЧ-предыскажений, вводимых в кодирующем устройстве на телецентре;
- ◆ некоторая сложность осуществления в приёмнике регулировок цветового тона и насыщенности цвета, необходимых при изменении условий освещения помещения;
- ◆ необходимость высокой стабильности АЧХ дискриминаторов в канале сигнала цветности приёмника, так как нарушение баланса дискриминатора приводит к изменению цветности изображения при связи дискриминатора с электродами кинескопа по постоянному току;
- ◆ некоторое уменьшение зоны обслуживания радиопередатчика в сравнении с передачей программы чёрно-белого телевидения, так как белое в сигнале цветного изображения должно соответствовать уровню 15% в модулированном радиосигнале вместо 12,5%, как это принято в ГОСТ 7845-72 на чёрно-белое телевидение.

Несмотря на эти особенности, система SECAM обеспечивает высокое качество изображения в приёмнике при благоприятных условиях приёма (т.е. если отношение сигнал/шум гораздо больше 18 дБ), не уступающее системам NTSC и PAL. Указанные достоинства системы SECAM особенно важны при передаче сигналов цветного телевидения по линиям связи большой протяжённости.

2.3. Система цветного телевидения PAL

Система PAL была разработана немецкой фирмой Telefunken и принята в качестве стандарта в большинстве стран Западной Европы (Германия, Великобритания, Швеция, Австрия, Норвегия, Бельгия, Дания, Испания, Италия и др.). В настоящее время система PAL является самой распространённой в мире системой цветного телевидения. Её используют, помимо европейских государств, в большинстве стран Африки, Азии, Австралии, в некоторых странах Южной Америки. Название системы представляет собой аббревиатуру из начальных букв английской фразы "Phase Alternation Line" (чередование фазы по строкам).

Общие принципы системы

Система PAL, созданная как альтернатива системе NTSC, тем не менее, может рассматриваться как её удачная модернизация. В ней используются те же сигналы, что и в других системах цветного телевидения, а передача этих сигналов производится так же, как и в NTSC, путём квадратурной балансной амплитудной модуляции поднесущей частоты, расположенной в спектре яркостного сигнала. Отличие от системы NTSC заключается в том, что фаза одной из квадратурных составляющих сигнала цветности меняется

от строки к строке на 180° . Это позволило устранить основной недостаток системы NTSC – чувствительность к дифференциально-фазовым искажениям, а также получить ещё ряд важных преимуществ.

На рисунке 3.1 показан способ формирования сигнала цветности в системе PAL. Так же, как и в системе NTSC, он образуется из двух квадратурных составляющих U_{R-Y} и U_{B-Y} . Но одна из этих составляющих, U_{R-Y} с началом каждой следующей строки меняет фазу на 180° . Результирующие векторы сигнала цветности U_S и U_S^* оказываются в соседних строках комплексно-сопряжёнными. Чтобы правильно декодировать такую последовательность сигналов в приёмном устройстве, в синхронном детекторе сигнала E'_{R-Y} необходимо с такой же периодичностью, что и на передающем конце, коммутировать на 180° фазу опорного генератора поднесущей частоты. Коммутация фазы эквивалентна обратному превращению векторов U_{R-Y}^* и U_S^* в их исходные комплексно-сопряжённые с ними векторы U_{R-Y} и U_S соответственно. Условия работы синхронного детектора сигнала E'_{B-Y} не отличаются от его работы в системе NTSC.

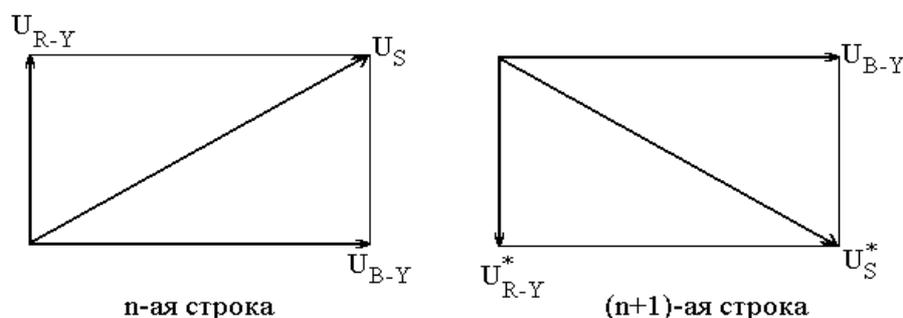


Рис. 3.1. Коммутация фазы поднесущей при передаче сигнала цветности в системе PAL

Рассмотрим, как при такой процедуре коммутации фазы сказываются дифференциально-фазовые искажения, возникающие в тракте передачи. На рисунке 3.2 на цветовой диаграмме в осях $R-Y/B-Y$ отмечены некоторые характерные цвета и вектор U_{Sn} , соответствующий передаче пурпурного цвета. В соответствии с принципом передачи сигналов в системе PAL в $(n+1)$ -ой строке будет передаваться вектор $U_{S(n+1)}^*$, комплексно-сопряжённый с вектором U_{Sn} . Если в тракте возникнут дифференциально-фазовые искажения, то независимо от их причин векторы U_{Sn} и $U_{S(n+1)}$ изменят своё положение по отношению к исходным на одну и ту же величину $\Delta\phi$ (рисунок 3.2, б). На рисунке фазовая ошибка сместила оба вектора против часовой стрелки. В приёмном устройстве коммутация фазы опорного генератора поднесущей в канале $R-Y$ превратит вектор $U_{S(n+1)}^*$ в

сопряжённый с ним вектор $U_{S(n+1)}$ (рисунок 3.2, в). Для анализа возникших в процессе передачи искажений совместим векторы U_{S_n} и $U_{S(n+1)}$ на одном графике (рисунок 3.2, з). Из него видно, что соседние n -ая и $(n+1)$ -ая строки искажены по-разному. Цвет n -ой строки сместился в сторону красного, а цвет $(n+1)$ -ой строки – в сторону синего цвета. Неискажённый цвет соответствует среднему между векторами U_{S_n} и $U_{S(n+1)}$ положению. Таким образом, усреднение двух этих векторных величин позволило бы скомпенсировать возникшие в процессе передачи фазовые искажения. Наиболее простым способом усреднения является усреднение ощущений самым зрительным аппаратом. Благодаря близости расположения друг к другу n -ой и $(n+1)$ -ой строк работает механизм пространственного сложения цветов. Разные из-за искажений цветовые оттенки двух соседних строк складываются, вызывая ощущение среднего между ними цвета, компенсируя таким образом искажения:

- а) цветовая диаграмма;
- б) фазовая ошибка при передаче сигнала;
- в) сигналы в приёмнике после коммутации фазы опорного колебания;
- г) совмещение сигналов двух смежных строк.

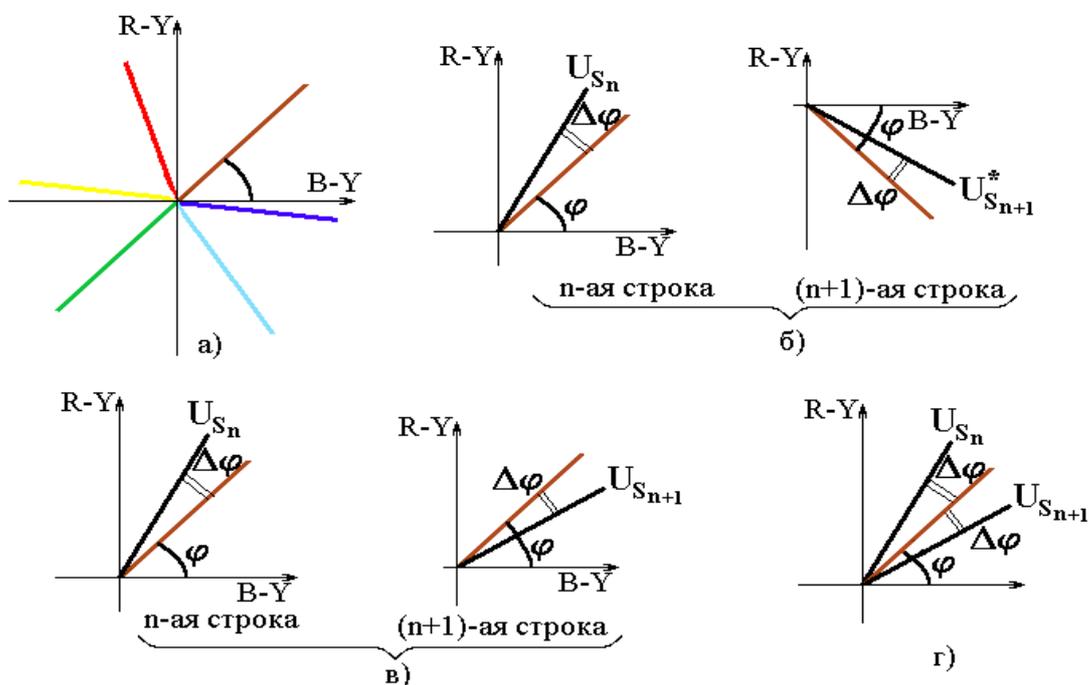


Рис. 3.2. Компенсация дифференциально-фазовых искажений в системе PAL

Рассмотренный способ зрительной компенсации искажений реализуется в так называемом "простом" приёмнике PAL (Simple PAL или PAL_S). Изображение оказывается вполне удовлетворительным, если фазовые

ошибки $\Delta\varphi$ не превышают 25° (в NTSC – не более 5°). При больших значениях ошибки интегрирующего действия глаза уже оказывается недостаточно, появляется заметное различие цветности соседних строк поля, особенно на жёлтом, голубом и синем цветах (эффект "жалюзи"). Нелинейность модуляционных характеристик кинескопа усугубляет этот эффект. Поэтому способ зрительной компенсации фазовых искажений в системе PAL не нашёл распространения.

Лучшие результаты позволяет получить электрическое сложение векторов цветности U_{Sn} и $U_{S(n+1)}$ двух соседних строк поля (рисунок 3.3). Геометрическая полусумма этих векторов соответствует на диаграмме положению неискажённого цвета. Скомпенсированными оказываются искажения только цветового тона, поскольку длина результирующего вектора $U_{S\Sigma}$ зависит от величины фазовой ошибки $\Delta\varphi$. С увеличением ошибки ($\Delta\varphi_2 > \Delta\varphi_1$) длина суммарного вектора уменьшается ($U_{S\Sigma 2} < U_{S\Sigma 1}$). Это уменьшение пропорционально $\cos\Delta\varphi$. Поскольку длина вектора определяет насыщенность передаваемого цвета, можно сделать вывод о том, что в системе PAL искажения цветового тона из-за фазовых ошибок трансформируются в изменения насыщенности, которые менее заметны. Так, если порог заметности по цветовому тону соответствует угловому сдвигу на цветовой диаграмме $\varphi = 5 \dots 10^\circ$, то порог по насыщенности равен примерно 20%, что соответствует углу $\Delta\varphi = 37^\circ$.

Механизм компенсации фазовых ошибок в системе PAL устраняет не только дифференциально-фазовые искажения. Также уменьшается влияние на качество изображения точности восстановления поднесущей опорным генератором в приёмнике. Ошибка $\Delta\varphi$ в фазе колебаний опорного генератора эквивалентна повороту осей цветового графика относительно передаваемых векторов цветности U_{Sn} и $U_{S(n+1)}$ на тот же угол $\Delta\varphi$. А это, как было показано, компенсируется путём усреднения этих векторов.

Способ усреднения, основанный на суммировании, предполагает одновременное присутствие сигналов двух последовательно передаваемых строк. Поэтому приёмное устройство PAL должно включать блок задержки сигнала на длительность одной строки. Если на его вход в данный момент поступает сигнал $(n+1)$ -ой строки, то одновременно на его выходе присутствует сигнал предшествующей n -ой строки. Подавая эти сигналы на сумматор, можно получить желаемую компенсацию искажений. Однако в декодере PAL часто используют несколько иную схему (рисунок 3.4), содержащую два сумматора. Такая схема позволяет не только проводить усреднение сигналов двух строк, но и разделять между собой две квадратурные составляющие сигнала цветности. Это разделение оказывается более эффективным, чем разделение в синхронных детекторах (как это делалось в системе NTSC), а значит, возникновение перекрёстных искажений между сигналами E'_{R-Y} и E'_{B-Y} менее вероятно [4].

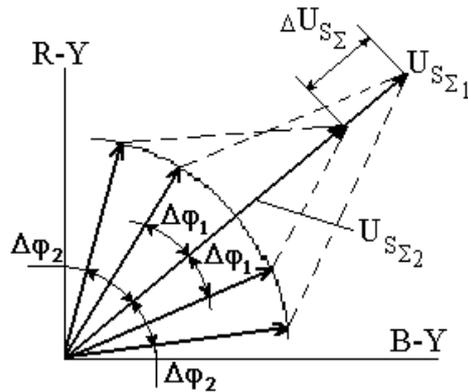


Рис. 3.3. Компенсация цветовых искажений путём сложения сигналов соседних строк

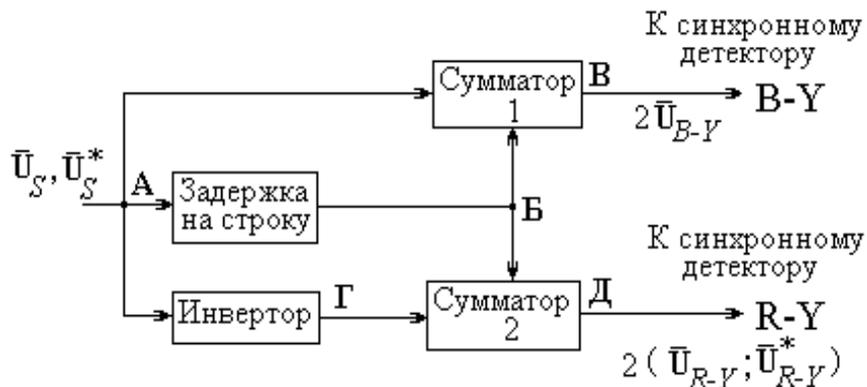


Рис. 3.4. Блок задержки сигнала в системе PAL

Структурная схема кодирующего устройства

В системе PAL передаются яркостный сигнал E'_Y и два цветоразностных сигнала U и V . Сигналы U и V равны цветоразностным сигналам E'_{B-Y} и E'_{R-Y} , уменьшенным на коэффициенты компрессии:

$$\begin{cases} U = 0,493 \cdot E'_{B-Y}; \\ V = 0,877 \cdot E'_{R-Y}. \end{cases} \quad (3.1)$$

Формирование сигналов E'_Y , U и V производится в матрицирующем устройстве (рисунок 3.5). Полосы частот видеосигналов U и V ограничиваются ФНЧ до 1,3 МГц на уровне -2 дБ. В сумматорах 1 и 2 цветоразностные сигналы смешиваются с импульсами, формирующими цветовую вспышку, и поступают на *балансные модуляторы*, которые работают в квадратуре, т.е. сдвиг между колебаниями поднесущей частоты в обоих модуляторах составляет 90° . Этот сдвиг обеспечивается *фазовращателем 90°* , включенным в цепь балансного модулятора составляющей U_V . Смена фазы этой составляющей через строку осуществляется коммутатором, соеди-

няющим модулятор, или непосредственно с *фазовращателем* 90° , или с дополнительным *инвертором* на 180° . Коммутация обеспечивается с помощью генератора коммутирующих импульсов, синхронизируемого с частотой строк.

Квадратурные составляющие U_U и U_V , складываясь в *сумматоре* 3, образуют сигнал цветности U_S , который вместе с сигналами яркости и синхронизации приёмника представляет собой полный цветовой (компонитный) сигнал U_V . *Линия задержки* в тракте яркостного сигнала имеет то же назначение, что и системах NTSC и SECAM.

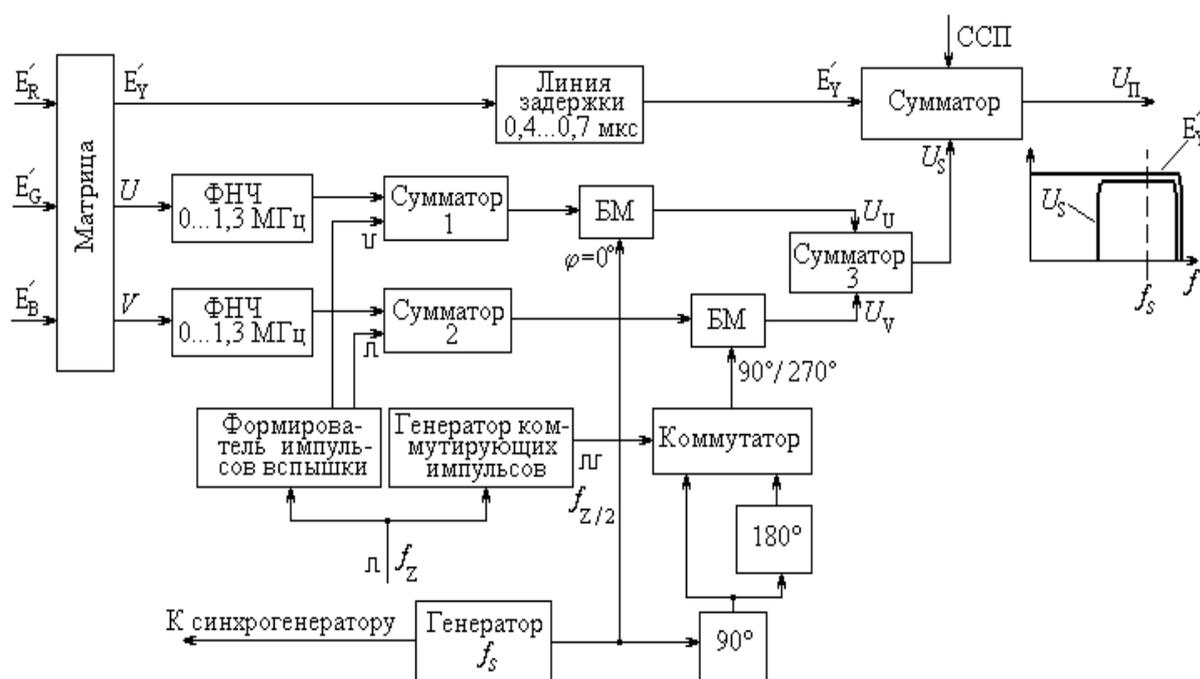


Рис. 3.5. Структурная схема кодирующего устройства системы PAL

Генератор поднесущей частоты является высокостабильным устройством с кварцевой стабилизацией частоты, значение которой $f_s=4,43361875$ МГц. Так же, как и в системе NTSC, обеспечивается жёсткая связь между частотой поднесущей и частотами развёрток. Однако выбор самого значения поднесущей в системе PAL имеет свои особенности.

Прежде всего, они связаны с коммутацией сигнала U_V (каждую строку на 180°). Такая коммутация делает невозможным выбор поднесущей, равной нечётной гармонике полустрочной частоты (см. (1.4)). В этом случае нечётность полупериодов поднесущего колебания в строчном интервале плюс коммутация фазы на 180° обусловили бы совпадение по фазе сигнала U_V во всех строках изображения. А это привело бы к увеличению заметности поднесущей на изображении в виде вертикальной линейчатой структуры. В свою очередь, нельзя выбрать значение поднесущей, кратной строчной частоте, так как составляющая U_U , передаваемая без коммутации фазы, создаёт такую же помеху.

Разработчиками системы было принято компромиссное решение. Частоту поднесущей выбрали равной сумме нечётной гармоники четвертьстрочной частоты f_z и частоты кадров:

$$f_s = 1135f_z + f_{\text{кадр}}. \quad (3.2)$$

Приблизительно эта зависимость может быть выражена как

$$f_s = \left(283 + \frac{3}{4} \right) \cdot f_z,$$

что определяет размещение в строчном интервале 284 периодов поднесущей без одной четверти. Таким образом, в системе PAL реализуют в отличие от системы NTSC не полустрочный сдвиг, а так называемый четвертьстрочный сдвиг гармоник сигнала цветности относительно гармоник строчной частоты. Слагаемые кадровой частоты $f_{\text{кадр}}$ в (3.2) обуславливают дополнительную смену полярности поднесущей в каждом поле на 180° . Эксперименты показали, что такой выбор поднесущей обеспечил высокое качество совместимости системы PAL.

Структура спектра цветового сигнала в системе PAL отличается от спектра сигнала в системе NTSC приближением гармоник цветности к гармоникам яркостного сигнала (интервал между ними составляет $1/4f_z$). Это несколько усложняет, но не исключает возможности гребенчатой фильтрации при разделении этих сигналов в приёмнике.

В наиболее распространённом европейском стандарте системы PAL полный цветовой сигнал ограничивается по полосе в пределах $0 \dots 5$ МГц. При указанном значении поднесущей частоты высшие боковые колебания сигнала цветности для обеих квадратурных составляющих U_U и U_V оказываются несимметрично подавленными. В системе NTSC такое ограничение двух квадратурных сигналов привело бы в приёмном устройстве к перекрёстным искажениям между ними. В системе PAL принцип построчной коммутации сигнала делает эти искажения минимальными, практически не сказываясь на качестве изображения.

Особенности сигнала цветовой синхронизации

Применение балансной модуляции требует синхронизации с точностью до фазы опорного генератора в приёмнике. Поэтому в системе PAL так же, как и в системе NTSC, на задней площадке строчного гасящего импульса передаётся сигнал цветовой синхронизации (цветовая вспышка), по форме аналогичный сигналу NTSC (см. рисунок 1.4). Различие этих сигналов заключается в фазе колебаний вспышки. В системе PAL необходимо передавать информацию о том, в какой фазе (90° или 270°) передаётся в данной строке составляющая U_V . Эта информация кодируется изменением фазы колебаний цветовой вспышки. При передаче сигнала U_V , совпадающего по фазе с положительным направлением оси $R-Y$, фаза цветовой вспыш-

ки делается равной 135° . В следующей строке сигнал U_V меняет свою фазу на 180° , соответственно изменяется фаза вспышки (-135°).

Формирование цветовой вспышки в кодирующем устройстве сводится к замешиванию в сигналы U и V прямоугольных импульсов отрицательной и положительной полярности соответственно. Этими импульсами, временное положение которых соответствует задней площадке строчного гасящего импульса, в балансных модуляторах будут созданы две квадратурные составляющие вспышки. Одна из этих составляющих всегда совпадает с отрицательным направлением оси $B-Y$ (180°), другая – с положительным или отрицательным направлением оси $R-Y$ (90° или 270°). Результирующий вектор цветовой вспышки при равных по амплитуде импульсах будет иметь фазу $+135^\circ$.

Структурная схема декодирующего устройства

В настоящее время существует большое разнообразие каналов цветности PAL. На рисунке 3.6 приведена укрупнённая структурная схема широко распространённого варианта, в котором используется рассмотренный ранее на рисунке 3.4 блок задержки. Этот канал получил название PAL_D (от слова delay – задержка).

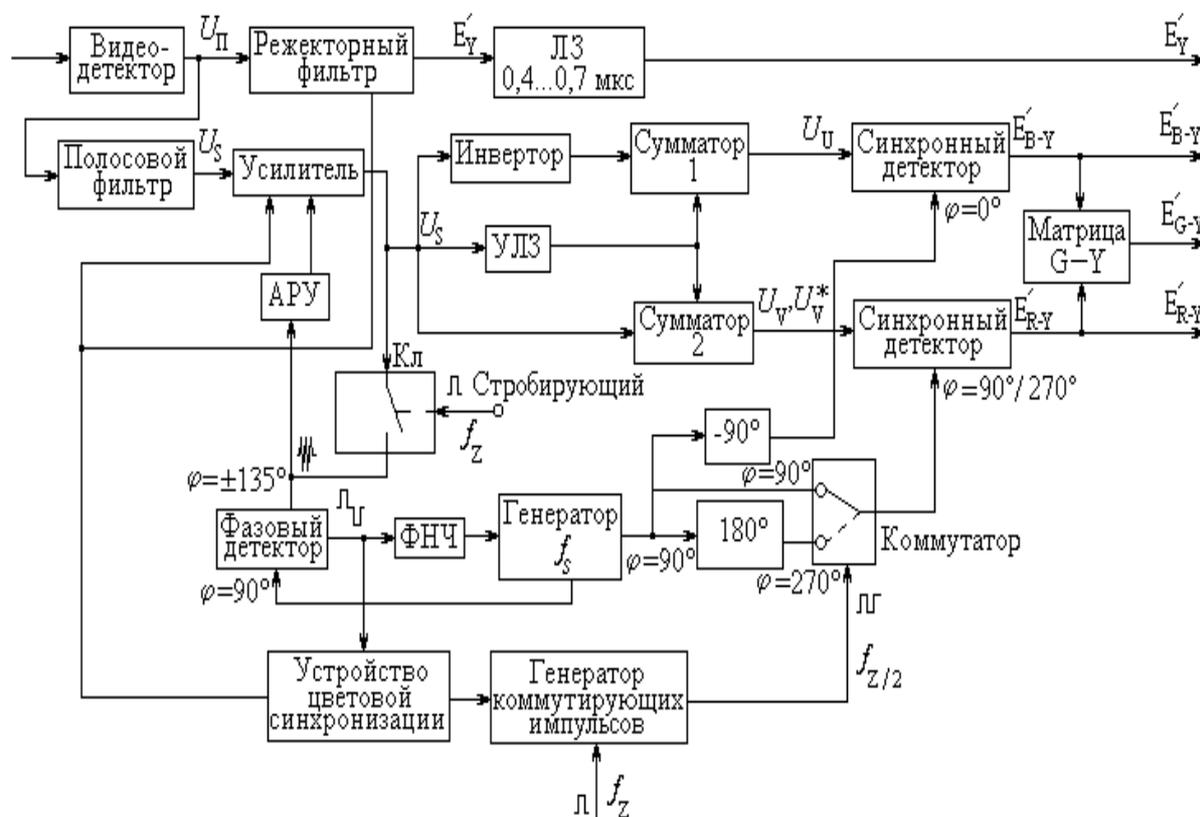


Рис. 3.6. Декодирующее устройство системы PAL

Полный цветовой сигнал U_{Π} разделяется с помощью режекторного и полосового фильтров на два сигнала: яркости E'_y и цветности U_S . Фильтры настроены на частоту цветовой поднесущей $f_S = 4,43$ МГц. Канал яркостного сигнала практически ничем не отличается от соответствующих каналов в декодерах NTSC и SECAM. Сигнал цветности, прежде чем поступить на блок задержки, подвергается автоматической регулировке усиления (АРУ), производимой по амплитуде цветовой вспышки. Последняя выделяется из полного сигнала клапанной схемой $Kл$ с помощью стробирующих импульсов, формируемых из импульсов строчной синхронизации. Блок задержки, содержащий ультразвуковую линию задержки (УЛЗ), инвертор на 180° и два сумматора, был рассмотрен ранее. Но следует уточнить время задержки УЛЗ.

Принцип работы системы PAL предполагает время задержки равным длительности строчного интервала, т.е. 64 мкс. Однако для правильной работы сумматоров необходимо ещё учитывать фазовые соотношения прямого и задержанного сигналов. А они таковы, что сдвиг по фазе между этими сигналами в соответствии с выбором поднесущей частоты составляет четверть периода поднесущего колебания (см. (3.2)). При таких условиях в сумматорах не произойдёт разделения квадратурных составляющих U_U и U_V . Для правильного функционирования сумматоров необходимо, чтобы прямой и задержанный сигналы находились либо в фазе, либо в противофазе. Только тогда сложением или вычитанием компенсируется одна из квадратурных составляющих, и сигналы разделяются. Достичь этого можно, если задержка будет составлять целое число полупериодов поднесущей частоты. Ближайшими к длительности строчного интервала являются значения задержки:

$$\tau = 568 \cdot \frac{T_S}{2} \text{ или } \tau = 567 \cdot \frac{T_S}{2},$$

где T_S – период полустрочной частоты. Было выбрано второе значение, и УЛЗ системы PAL изготавливают с задержкой:

$$\tau = 567 \cdot \frac{T_S}{2} = 63,94325 \text{ мкс} . \quad (3.3)$$

Отличие величины задержки от длительности строки оказывается очень небольшим, примерно 57 нс, и не приводит к появлению упоминаемых ранее искажений в виде зазубренности вертикальных цветовых переходов. Установлено, что подобные искажения становятся заметными, если рассовмещение прямого и задержанного сигналов будет превышать размеры одного элемента изображения (80 нс). Требование к погрешности задержки составляет в УЛЗ PAL около 5 нс, что позволяет использовать эту линию в декодерах SECAM.

Выбор величины задержки в системе PAL, равной нечётному числу полупериодов поднесущей, обуславливает противофазность сигнала U_U в

двух соседних строках и соответственно синфазность сигнала U_V . Поэтому в структурной схеме на рисунке 3.6 инвертор на 180° перенесён из канала U_V в канал U_U (для сравнения см. рисунок 3.4).

Разделенные в блоке задержки сигналы U_U и U_V подаются на входы двух синхронных детекторов, осуществляющих демодуляцию цветоразностных сигналов E'_{R-Y} и E'_{B-Y} .

Необходимые для работы синхронных детекторов опорные колебания поднесущей вырабатываются **генератором** f_S , частота и фаза которого управляются сигналом цветовой синхронизации (цветовой вспышкой). Управляющий сигнал вырабатывается в устройстве фазовой автоподстройки частоты, содержащем кроме **генератора** f_S **фазовый детектор (ФД)** и **ФНЧ**. Генератор вырабатывает колебания, фаза которых совпадает с положительным направлением оси $R-Y$ (90°). При этом на выходе **ФД** вырабатываются симметричные разнополярные импульсы, соответствующие чередованию фазы вспышки $\pm 135^\circ$. Напряжение на выходе **ФНЧ**, выделяющего постоянную составляющую из этих импульсов, будет равно в этом случае нулю. Если фаза колебаний генератора f_S не совпадёт с осью $R-Y$, амплитуды импульсов на выходе **ФД** не будут равны, и **ФНЧ** выработает управляющее напряжение, которое подстроит фазу генератора. Сдвиг фазы генератора на -90° обеспечит опорное колебание для синхронного детектора $B-Y$. На этот детектор подаётся поднесущая, у которой фаза коммутируется через строку ($90^\circ/270^\circ$).

Коммутатор фазы в приёмном устройстве должен работать синфазно с коммутацией сигнала U_V на передающем конце системы. Для этого генератор коммутирующих импульсов управляется устройством цветовой синхронизации. В этом устройстве в качестве признака того, какой в данный момент времени передаётся сигнал (U_V или U_V^*), передаются разнополярные импульсы с выхода **ФД**.

Кроме того, устройство цветовой синхронизации закрывает канал цветности и выключает режекцию в яркостном канале, если передаётся чёрно-белая программа или принимается сигнал другой вещательной системы.

Эксплуатационные характеристики системы цветного телевидения PAL

Система PAL обладает следующими дополнительными эксплуатационными характеристиками в сравнении с системой NTSC:

- ♦ малая чувствительность к фазовым искажениям сигнала цветности на поднесущей. Поэтому допускается ошибка фазы сигнала цветности относительно колебаний поднесущей $\pm 40^\circ$ в приёмнике типа PAL_D. В приёмниках другого типа [2] искажения насыщенности цвета и цветового тона не возникают при фазовой ошибке до $\pm 80^\circ$;

- ◆ передаваемый сигнал содержит информацию, необходимую для передачи без искажений цветности каждой строки, что исключает мерцание строк;
- ◆ малая чувствительность к несимметрии боковых колебаний сигнала цветности на поднесущей (т.е. низкая чувствительность к ослаблению одной боковой полосы этого сигнала). В приёмнике перекрёстные помехи при отсутствии фазовой ошибки не возникают;
- ◆ помехи от составляющих сигнала яркости создают в приёмнике цветного телевидения меньшие помехи (кроссколор), чем в системе NTSC;
- ◆ благодаря усреднению цветностей соседних строк поля не возникает мерцающий муар на горизонтальных границах между различными цветами;
- ◆ малая чувствительность приёмника к эхо-сигналам. При многолучевом приёме искажения амплитуды и фазы сигнала цветности на поднесущей не создают в приёмнике недопустимых искажений;
- ◆ простота преобразования сигналов системы PAL в сигналы системы NTSC и обратно.

Система PAL имеет следующие недостатки:

- ◆ цветовая чёткость изображения по вертикали из-за усреднения цветностей двух соседних строк раstra понижена по сравнению с системой NTSC;
- ◆ высокая чувствительность приёмника к ослаблению амплитуды сигнала цветности на поднесущей (относительно сигнала яркости);
- ◆ некоторое усложнение приёмника в сравнении с приёмником NTSC из-за применения в нём ультразвуковой линии задержки высокой точности и стабильности;
- ◆ сложность регулировки в приёмнике цветового тона изображения. Регулировка фазы сигнала цветности на поднесущей не даёт эффекта, так как изменение фазы, как и фазовые ошибки, в приёмнике PAL автоматически устраняются (компенсируются). Поэтому регулировка цветового тона должна осуществляться путём изменения отношения видеосигналов E'_R, E'_G, E'_B или путём изменения режима трёх электронных прожекторов кинескопа;
- ◆ приёмник типа PAL_S не обеспечивает высокого качества изображения при наличии фазовых искажений (во избежание этого недостатка необходимо применять приёмник с линией задержки на одну строку).

2.4. Список использованной литературы

1. Домбругов Р.М. Телевидение: Учебник для студентов вузов. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1979. – 176 с., ил.
2. Новаковский С.В. Стандартные системы цветного телевидения. – М., Связь, 1976. – 368 с., ил.
3. Самойлов В.Ф., Хромой Б.П. Основы цветного телевидения. – М., Радио и связь, 1982. – 160 с., ил.
4. Телевидение: Учебник для вузов / В.Е. Джакония, А.А. Гоголь, Я.В. Друзин и др.; Под ред. В.Е. Джаконии. – М.: Радио и связь, 1997. – 640 с., ил.

3. СПИСОК ПРЕДЛАГАЕМЫХ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕМ

1. Канал цветности SECAM на микросхемах MCA640 и MCA650 (стр. 267 [2]).
2. Канал цветности SECAM на микросхеме K174XA16 (стр. 268 [2]).
3. Канал цветности SECAM на микросхеме TDA3530 (стр. 271 [2]).
4. Канал цветности PAL на микросхемах TBA520, TBA540 и TBA560 (стр. 276 [2]).
5. Канал цветности PAL на микросхемах TDA2560 и TDA2522 (стр. 278 [2]).
6. Канал цветности PAL на микросхеме TDA3510 (стр. 279 [2]).
7. Канал цветности PAL на микросхеме TDA4510 (174XA28) (стр. 286 [2]).
8. Канал цветности SECAM/PAL/NTSC на микросхемах TDA4555 и TDA4560 (стр. 291 [2], одна из трёх систем).
9. Канал цветности SECAM/PAL/NTSC на микросхеме TEA5640C (стр. 297 [2], одна из трёх систем).
10. Канал цветности SECAM/PAL/NTSC на микросхемах TDA3590A и TDA3562A (стр. 301 [2], одна из трёх систем).

4. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Самойлов В. Ф., Хромой Б. П. Основы цветного телевидения. – М.: Радио и связь, 1982. – 160 с.: ил.
2. Хохлов Б. Н. Декодирующие устройства цветных телевизоров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1992. – 368 с.: ил.
3. Хохлов Б. Н. Декодирующие устройства цветных телевизоров. – М.: Радио и связь, 1987. – 288 с.: ил.
4. Белецкий А. Ф. Теория линейных электрических цепей: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1986. – 544 с.: ил.
5. Атаев Д. И., Болотников В. А. Аналоговые интегральные микросхемы для телевизионной аппаратуры: Справочник. – М.: Изд-во МЭИ, ТОО «Позитив», 1993. – 184 с.: ил.
6. Гоноровский И. С., Дёмин М.П. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Радио и связь, 1994. – 480 с.: ил.
7. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высш. шк., 1988. – 448 с.: ил.
8. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высш. шк., 2000. – 464 с.: ил.
9. Хохлов Б. Н. Приставки PAL в серийных цветных телевизорах. – М.: Радио и связь, 1995. – 72 с.: ил.
10. Хохлов Б. Н. Приставки PAL в серийных цветных телевизорах.– М.: Радио и связь, 1993.– 80 с.: ил.

ПРИЛОЖЕНИЕ (пример выполнения курсовой работы)

Министерство образования Российской Федерации

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Радиотехнический факультет
Кафедра телевидения и управления (ТУ)

ЗАДАНИЕ

на курсовую работу студенту 177 группы Семенову И.И.

1. Тема работы: Расчёт канала цветности

2. Задание на курсовую работу:

Курсовая работа предназначена для получения навыков расчета и практического проектирования декодирующих устройств цветных телевизоров в системах цветности PAL, SECAM, NTSC. Требуется изучить систему цветности SECAM на микросхемах MCA 640 и MCA 650 (стр. 289), функциональную схему канала цветности, разработать принципиальные схемы частотно-зависимых цепей декодера, выбрать и рассчитать элементы цепей, определить характеристики рассчитанных цепей.

3. Основные параметры микросхем [2, стр. 290].

Подавление перекрёстных искажений в режиме SECAM.....	≥ 32 дБ
Номинальный размах цветового видеосигнала на выводе 15 (от чёрного до белого)	1,6 В
Полоса захвата ФАПЧ	$\geq \pm 600$ Гц
Размах демодулированных цветоразностных сигналов на выводах 1 и 3:	
E_{R-Y}	0,8 В
E_{B-Y}	1,0 В

4. Содержание курсовой работы:

4.1. Теоретическая часть по системе SECAM.

4.2. Разработка схем частотно-зависимых цепей декодера.

4.3. Определение характеристики рассчитанных цепей и значений недостающих элементов.

5. Графические работы:

5.1. Графики частотных и фазовых характеристик

5.2. Схема электрическая принципиальная

6. Приложения.

6.1. Таблица: перечень рассчитанных элементов

6.2. Таблица: параметры линий задержки

7. Дата выдачи задания: « 14 » февраля 2001 г.

8. Срок сдачи выполненной курсовой работы на кафедру:

« 20 » апреля 2001 г.

Руководитель
доцент каф. ТУ

_____ А.Н. Дементьев

Зав. кафедрой ТУ
д.т.н., профессор

_____ И.Н. Пустынский

Задание к исполнению принял
студент гр. 177

_____ И.И. Семенов

РАСЧЕТ ЧАСТОТНО-ЗАВИСИМЫХ ЦЕПЕЙ

1. Фильтр ВЧ-коррекции для системы SECAM

На входе системы стоит фильтр ВЧ-предыскажений (Клеш $f=4.286$ МГц), который выделяет сигналы цветности из ПЦТС и одновременно производит обратную коррекцию ВЧ-предыскажений. Фильтр изображен на рисунке 1.1, значение $C_2=470$ пФ, $R_3=1$ кОм [1]

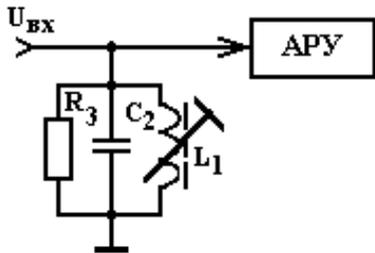


Рис. 1.1. Принципиальная схема фильтра.

По данным C и R найдём индуктивность и рассчитаем АЧХ и ФЧХ фильтра.

$$\text{Так как } f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} \quad (1.1)$$

найдем отсюда L :

$$L = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f)^2 \cdot C} = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot 4.286 \cdot 10^6)^2 \cdot 470 \cdot 10^{-12}} \quad (1.2)$$

$L=0.74$ мкГн (на схеме L_1 (приложение А)).

При этом добротность контура

$$Q = 2\pi fCR = 12.65 \quad (1.3)$$

Рассчитаем полосу пропускания:

$$2f = \Pi = \frac{f_0}{Q} = \frac{4,286 \text{ МГц}}{12,65} = 0.3388 \text{ МГц} \quad (1.4)$$

Теперь рассчитаем АЧХ и ФЧХ.

$$A = \frac{1}{1 + jQ\left(\frac{f}{f_0} + \frac{f_0}{f}\right)} \quad (1.5)$$

$$\Phi = \arg(A) \quad (1.6)$$

Полученные АЧХ и ФЧХ фильтра приведены на рисунках 1.2 и 1.3.

2. Расчет ФНЧ

Выходной фильтр представляет собой П-образный НЧ фильтр со сре- зом на частоте 85 кГц, восстанавливающий исходные цветоразностные сиг- налы R и В. На схеме эти фильтры стоят на выходе микросхемы МСА650 и состоят из элементов L7, L8, C23, C24, C25, C26 (см. ПРИЛОЖЕНИЕ А).

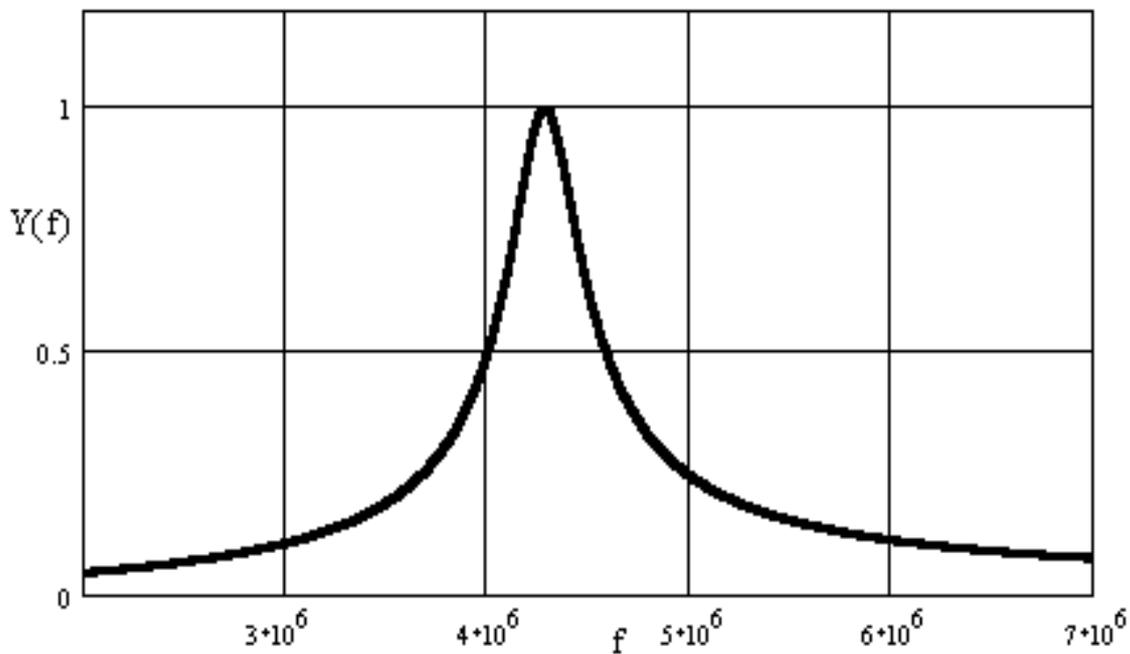


Рис. 1.2. АЧХ фильтра

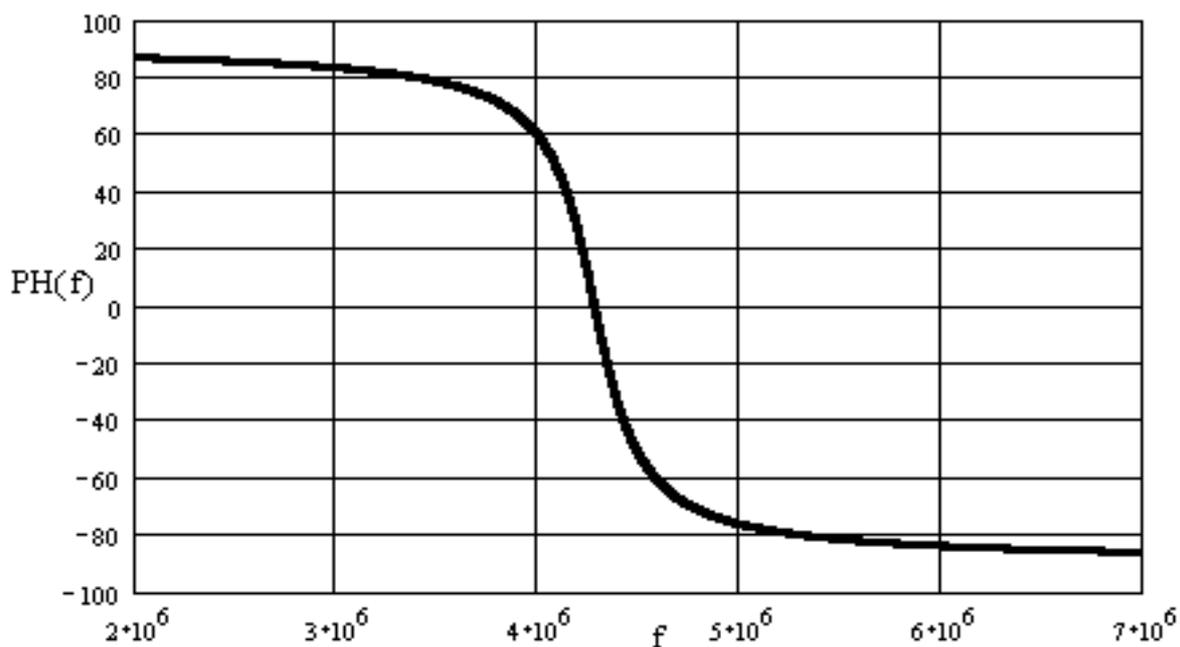


Рис. 1.3. ФЧХ фильтра

Коэффициент передачи такого фильтра

$$K = 1 + \frac{1}{1 + \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}, \quad (2.1)$$

где $f_0 = 85$ кГц.

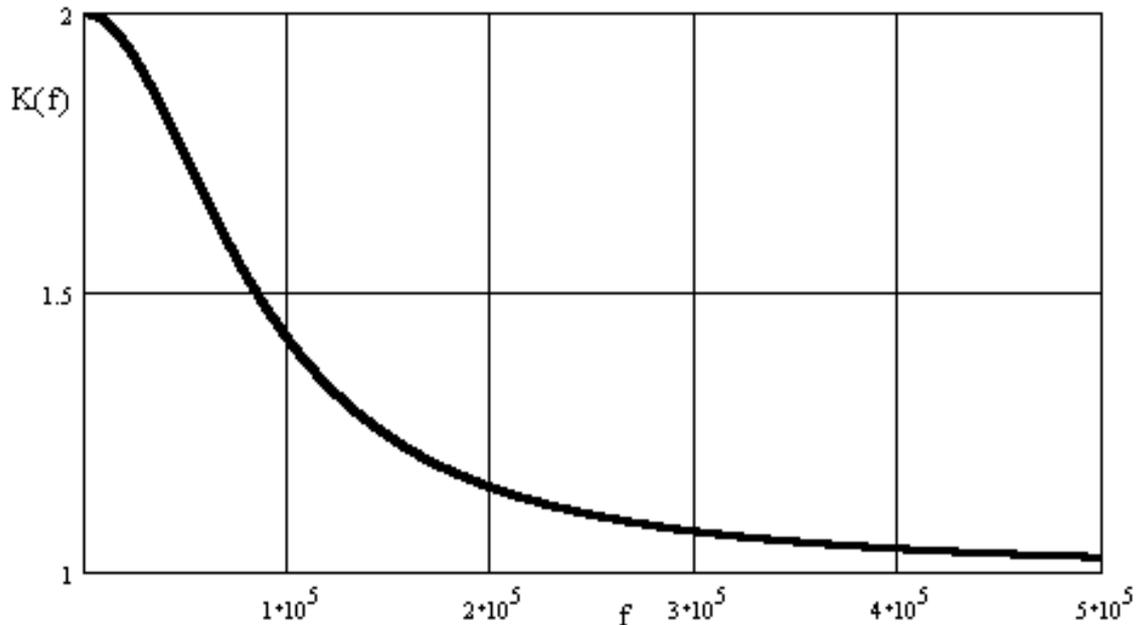


Рис. 2.1. АЧХ ФНЧ

3. Расчёт элементов согласования линии задержки

Ультразвуковая линия задержки (УЛЗ) является составляющей частью блока задержки канала цветности (рис. 3.1).

В системе SECAM блок задержки разделяет сигнал цветности на составляющие U_u и U_v . Для этого задержанный сигнал складывается в фазе и противофазе с прямым сигналом. В блоке предусматривается возможность регулировки. В данной схеме прямой сигнал, который снимается с резистора R_{16} , поступает на среднюю точку катушки индуктивности L_3 , что обеспечивает на концах обмотки сложение и вычитание прямого и задержанного сигналов, т.е. компоненты U_u и U_v .

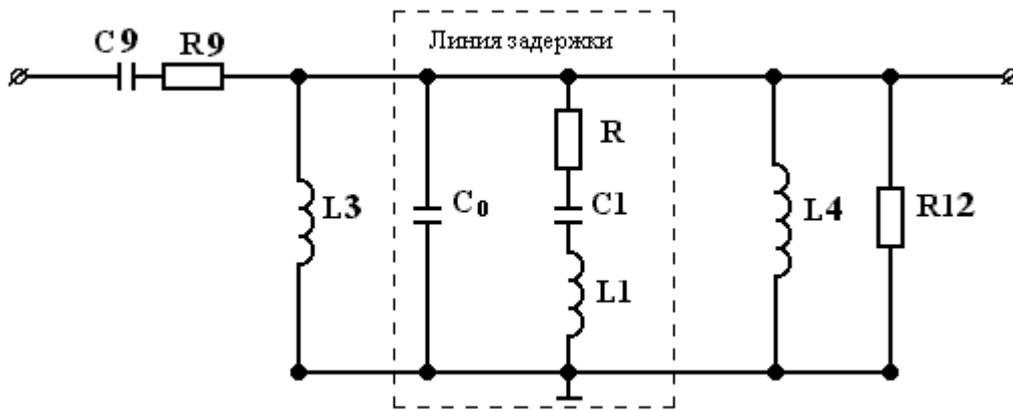


Рис. 3.1. Линия задержки с согласующими элементами

Согласование УЛЗ во всей полосе рабочих частот связано со значительными техническими трудностями, поскольку для этого необходимо синтезировать двухполюсник комплексно-сопряжённый с выходным сопротивлением УЛЗ. Обычно идут на компромиссное решение, согласуя УЛЗ на двух частотах по активному сопротивлению и на частоте f_s (частота последовательного резонанса цепи $L1, C1, R$) – по реактивному. Чтобы обеспечить такое согласование, параллельные согласующие элементы выбирают:

$$L_c = \frac{1}{(\omega_s^2 \cdot C_0)} \quad (3.1)$$

а $R_c > R$.

Поэтому, исходя из начальных условий:

$$f_s = 4,434 \text{ МГц}, C_0 = 150 \text{ пФ}, R = 170 \text{ Ом}, L1 = 15 \text{ мкГн}, C1 = 86 \text{ пФ},$$

определим величины $L2, L3$ и $R17$:

$$L3 = L4 = L_c = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f_s)^2 \cdot C_0} = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot 4,434 \cdot 10^6)^2 \cdot 150 \cdot 10^{-12}} = 8,6 \text{ мкГн} \quad (3.2)$$

$$R12 = R_c, R_c > R \Rightarrow R12 = 175 \text{ Ом}.$$

Найдем передаточную функцию цепи и произведём расчёт АЧХ:

$$K(\omega) = \frac{1}{\frac{1}{j \cdot \omega \cdot L3} + j \cdot \omega \cdot C_0 + \frac{1}{R + j \cdot \omega \cdot L1 + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C1}} + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot L4} + \frac{1}{R12}} \quad (3.3)$$

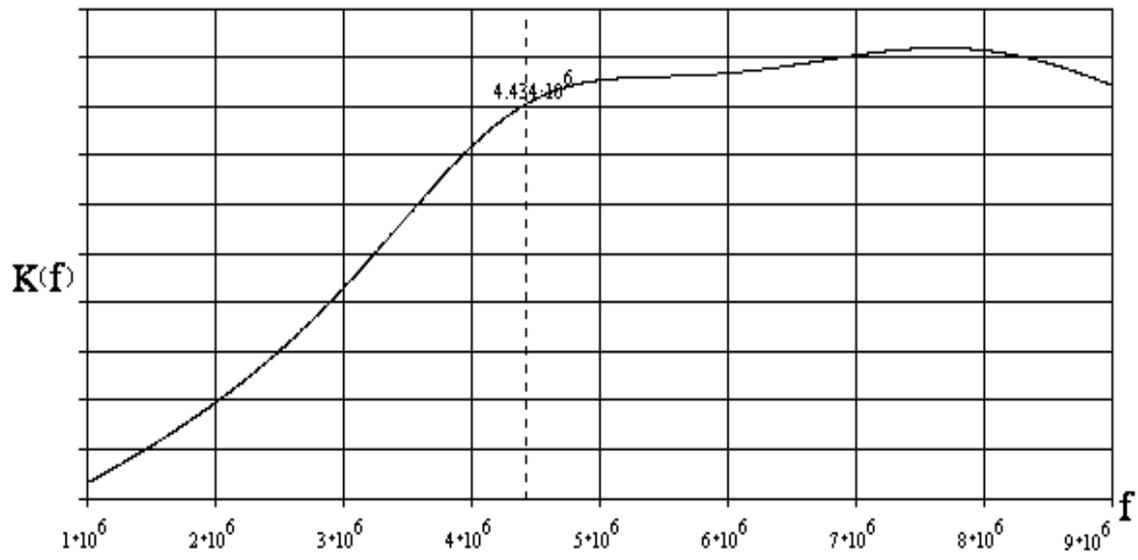


Рис. 3.2. АЧХ линии задержки с согласующими элементами.

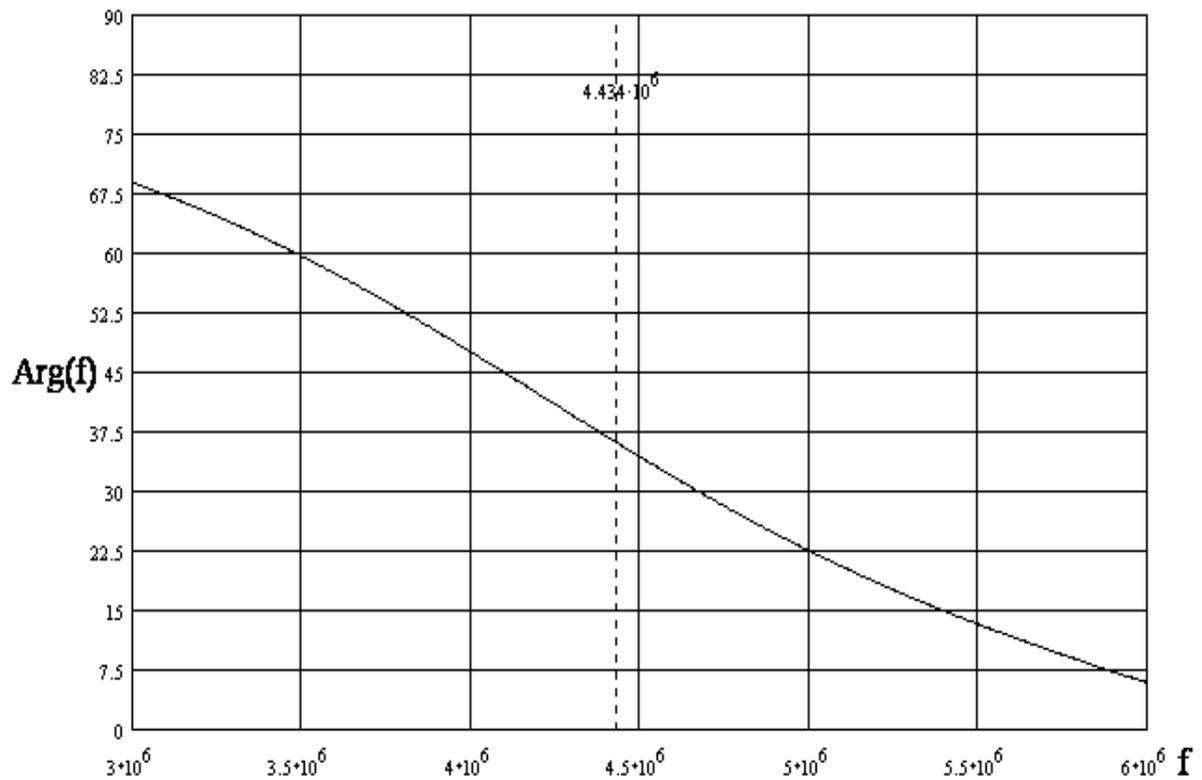


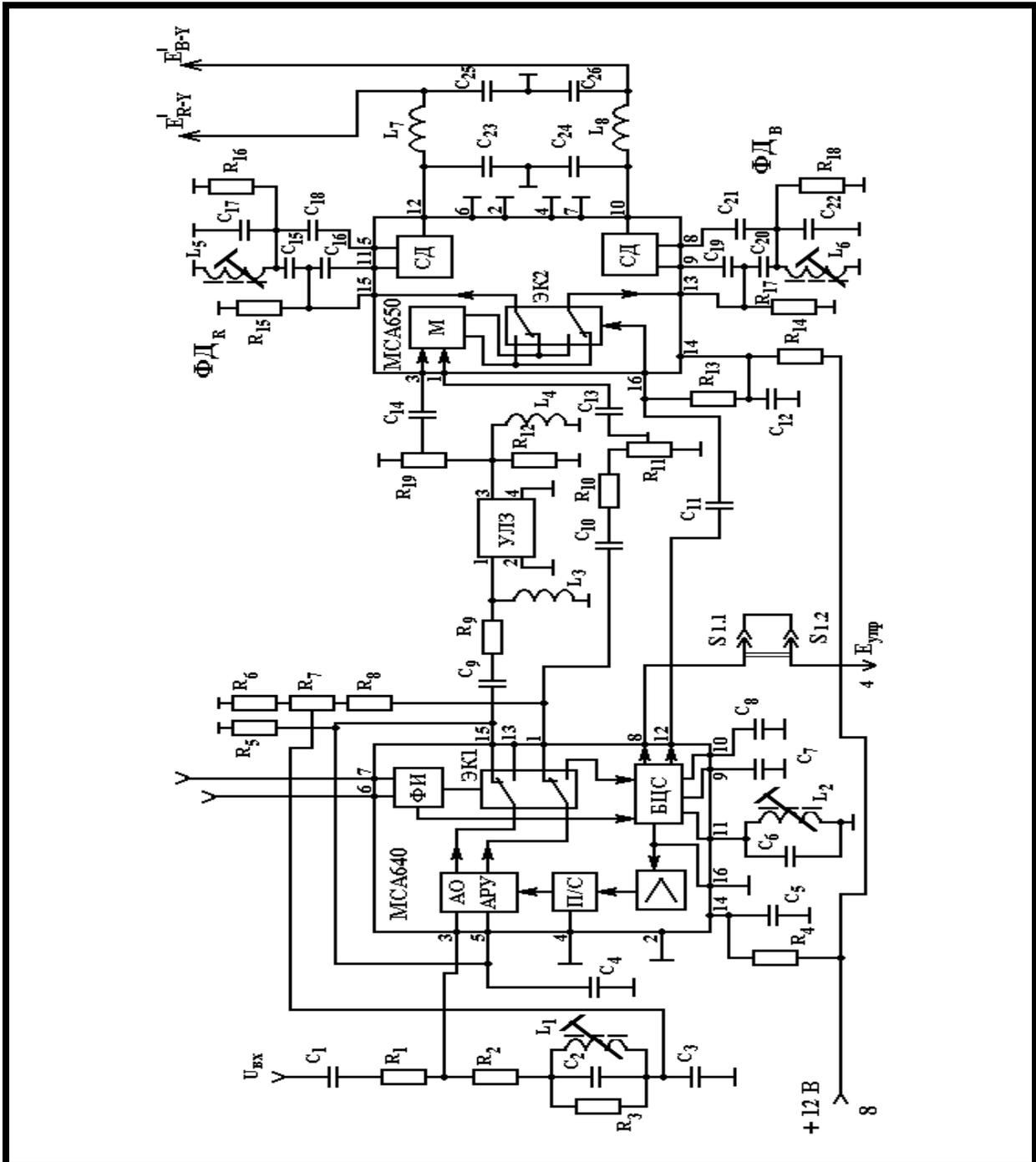
Рис. 3.3. ФЧХ линии задержки с согласующими элементами.

4. Заключение

В заключении хотелось бы отметить, что использование БИС позволило свести к минимуму количество навесных элементов и упростить настройку и расчет декодеров цветности.

Наибольшую сложность представляет расчет цепей коррекции фазового сдвига УЛЗ. Именно поэтому в современных телевизионных приемниках применяются линии задержки на ПЗС, обладающие повышенной надежностью и точностью задержки сигнала.

ПРИЛОЖЕНИЕ А



РТФ КП 460000.001.ЭЗ				
Изм.	Лист	N докум.	Подпись	Дата
Разработал	Семёнов			
Проверил	Дементьев			
Т.Контр.				
Канал цветности на микросхемах МСА 640 и МСА 650				
Схема электрическая принципиальная				
			Лист	Листов
ТУСУР, РТФ, каф. ТУ, гр. 177				

ПРИЛОЖЕНИЕ В

ТИП	Вариант	Номинальная задержка, мкс	Изменение задержки при изменении температуры		Номинальная частота МГц	Затухание на основной частоте, дБ	Подавление отражений, дБ	
			нс	°С			3τ	Не кратные
Требования стандарта СЭВ 1081-78	SECAM/PAL SECAM/PAL	63,943±0,03	<20	55	4,433619	9±3	≥26	≥35
		63,943±0,005	<5	55			≥28	≥30
		63,943±0,005	<5	55			≥26	≥35
УЛЗ 64 - 4	SECAM	63,943±0,03	<20	55	4,433619	9±3	≥26	≥27
УЛЗ 64 - 5	SECAM	63,943±0,03			4,433619	9±3	≥26	≥35
УЛЗ 64 - 8	SECAM/PAL	63,943±0,005	<5	55	4,433619	9±3	≥33	≥30
CV20 (Германия)	A B C	63,943±0,035	≤20	5...55	4,433619	9±3	≥26	≥35
		63,943±0,08	≤6	5...55				
		63,943±0,005	≤5	5...55				
SDL145 ("Сильвания", Бельгия)	PAL	63,943±0,005	≤5	10..60	4,433619	8±3	≥22	≥35

Продолжение

Тип	Вариант	Полоса пропускания по уровню - 3 дБ, МГц	Согласующие элементы				Максимальное напряжение, В	Габаритные размеры
			Вход		Выход			
			Ом	мкГн	Ом	мкГн		
Требования стандарта СЭВ 1081-78	SECAM PAL SECAM/ PAL	3,3...5,3					12	
УЛЗ 64 - 4	SECAM	3,3...5,3	43	2	240	1,8	12	47×40×8
УЛЗ 64 -5	SECAM	3,4...5,2	390	4,3	390	8,3	10	45×35×8
УЛЗ 64 -8	SECAM/ PAL	3,3...5,3	390	8,2	390	8,2	12	37×28,5×7,5
CV20 (Германия)	A B C	3,3...5,3	390	4,6	390	8,3	12	45×37×85
SDL145 (“Сильвания”, Бельгия)	PAL	3,43...5,2	390	10	390	10	10	37,5×29×8,5
DL610 (“Филипс”, Голландия)	PAL	3,43...5,23	560	10,5	560	9,7	10	37×28,5×7,5
DL711 (“Филипс”, Голландия)	SECAM/ PAL	3,43...5,23	390	8,6	390	8,1	10	37×28,5×7,5
PDL641 (“Шова-электрик”, Япония)	SECAM/ PAL	3...5,6	390	8	390	8	15	50×45×7