

621.38  
а-43

В. В. Однолько  
А. Ф. Ожигин, Ю. А. Харитонов

# ПОРТАТИВНЫЕ КАМЕРЫ ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ



В. В. Однолько.  
А. Ф. Ожигин, Ю. А. Харитонов

# ПОРТАТИВНЫЕ КАМЕРЫ ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ



Москва «Радио и связь»  
1984

ББК 32.94  
О-43  
УДК 621.397.61:681.772.7

**Однолько В. В., Ожигин А. Ф., Харитонов Ю. А.**  
О-43 Портативные камеры цветного телевидения. — М.:  
Радио и связь, 1984. 104 с., ил.

35 к.

Рассматриваются портативные камеры цветного телевидения, применяемые для оперативного телерепортажа, для контроля и наблюдения в различных сферах народного хозяйства. Описываются принципы построения, природа искажений и способы их устранения, даются основные характеристики.

Для инженерно-технических работников, имеющих отношение к цветному телевидению.

2402020000-188  
C) 046(01)-84 105-84

ББК 32.94

6Ф2.12

Рецензент доктор техн. наук Л. Н. ЩЕЛОВАНОВ

*Редакция литературы по радиотехнике*

**Валентин Владимирович Однолько, Анатолий Федорович Ожигин,  
Юрий Александрович Харитонов**

## ПОРТАТИВНЫЕ КАМЕРЫ ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Редактор И. С. Балашова

Обложка художника В. Н. Забайрова

Художественный редактор Т. В. Бусарова

Технический редактор А. Н. Золотарева

Корректор Т. Г. Захарова

**ИБ № 47**

Сдано в набор 27.04.84

Подписано в печать 02.07.84

Т-15050

Формат 60×90/16

Бумага кн.-журнальная

Гарнитура литературная

Печать высокая Усл. печ. л. 6,5 Усл. кр.-отт. 7,0 Уч.-изд. л. 7,19 Тираж 15 000 экз.

Изд. № 20138

Зак. № 43

Цена 35 к.

Издательство «Радио и связь». 101000 Москва, Почтамт, а/я 693

Московская типография № 5 ВГО «Союзучетиздат»  
101000 Москва, ул. Кирова, д. 40

© Издательство «Радио и связь», 1984

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время всеобщее признание как одно из совершенных средств распространения массовой информации, как новый носитель искусства получило цветное телевизионное вещание. Кроме того, техника цветного телевидения постепенно проникает в качестве элемента новой технологии в производство, средства автоматического управления, в разные сферы народного хозяйства.

Наряду с совершенствованием телевизионных приемных и профессиональных видеоконтрольных наблюдательных устройств, модернизируются элементы передающей аппаратуры, в частности передающие камеры. Ассортимент вещательных камер, кроме студийных, работающих в стационарных условиях, за последние годы пополнился легкими портативными камерами, позволяющими вести внестудийные передачи в самых необычных условиях и режимах, организовать наблюдение за различными объектами в науке и технике. В технической литературе таким камерам уделялось незаслуженно малое внимание.

Над созданием портативных цветных камер работают многие организации и зарубежные фирмы различных стран. Естественно, что поиск оптимальных средств цветной телевизионной съемки ведется в разных направлениях.

Наиболее отработанными для внестудийного вещания считаются портативные многотрубочные камеры, построенные по образцу и подобию студийных камер с применением трех передающих трубок, однако значительно облегченные благодаря миниатюризации узлов, а также частичному их перенесению в промежуточные тракты репортерских каналов для обработки, кодирования и передачи сигнала на телевизионные станции.

К таким камерам не предъявляют столь универсальных требований, как к студийным. В вещании они обеспечивают достаточно хорошее качество изображения в рамках съемки актуальных событий, обычно представляемых в виде крупноплановых и среднеплановых изображений. Сведения об основных особенностях параметров подобных камер, выпускаемых разными странами, освещены в [1, 10 и др.]. В этой книге они в известной мере иллюстрируют последние достижения. Наряду с совершенствованием многотрубочных портативных камер специалисты работают над созданием камер с уменьшенным числом трубок — двухтрубочных и однотрубочных. Это вызвано стремлением исключить трудности, связанные с необходимостью обеспечить геометриче-

скую идентичность телевизионных растров на мишенях трубок, упростить цветоделительный узел, не дублировать электронные приборы и схемные узлы трех каналов камеры.

В настоящее время однотрубочные камеры еще несколько уступают трехтрубочным по таким важным для вещания параметрам, как чувствительность и разрешающая способность. Тем не менее они получили в мировой практике широкое распространение благодаря относительной простоте и перспективности. Последние обстоятельства особенно важны для прикладного применения, где телевизионная камера не должна требовать внимания со стороны оператора; съемка в ряде случаев должна вестись автоматически или с несложным дистанционным управлением.

В книге рассматриваются разные возможности реализации портативных цветных камер и наиболее детально описываются однотрубочные камеры с растровым цветоделением, которые в отличие от трехтрубочных получили в литературе малое освещение.

Принцип растрового цветоделения весьма своеобразен и существенно упрощает цветоделительный узел камеры, позволяет изготовить узел растровых фильтров встроенным в трубку по единой технологии. Различные способы оптического кодирования позволяют транспонировать электрические сигналы цветоделенных изображений в различные участки частотного спектра, тем самым создавая возможность вести непосредственную передачу изображений по одному каналу с частотным разделением, записывать сигналы на магнитные, фотографические и другие носители, вести счет сканируемых элементов изображения, получать телевизионные цветоделенные сигналы с фазовыми, временными различиями и др. Закодированные в оптическом узле сигналы могут декодироваться в зависимости от назначения либо непосредственно в камере, либо в устройствах записи или же на выходе линии связи.

Книга имеет практическую направленность и в данном объеме не претендует на полноту рассмотрения вопросов, связанных с построением камер. Авторы выражают надежду, что рассмотренные в книге вопросы могут представить интерес также и для специалистов других областей техники, интересующихся прикладным цветным телевидением, радиолюбителей.

**Отзывы** и замечания просим присылать по адресу: 101000, Москва, Почтамт, а/я 693, издательство «Радио и связь».

# 1. ВИДЫ ПОРТАТИВНЫХ КАМЕР ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ И ИХ УЗЛЫ

## 1.1. ПОРТАТИВНЫЕ КАМЕРЫ

**Общие сведения.** Построение цветных телевизионных портативных камер опирается на многолетний опыт конструирования кино съемочных камер, особенно предназначенных для репортажа и съемки на природе. С другой стороны, любой из видов цветных камер строится на той же основе, что и черно-белая телевизионная камера с существенным усложнением оптической системы и электрических узлов для разделения светового потока на составляющие, которые будут содержать в себе не только яркостную информацию, но и информацию о цветах [1].

Простейшая черно-белая камера состоит из объектива *О* (рис. 1), передающей трубки с фокусирующей и отклоняющей системами *ФОС* и предварительного усилителя *ПУ*. Для сканирования мишени трубки предназначаются генераторы строчной

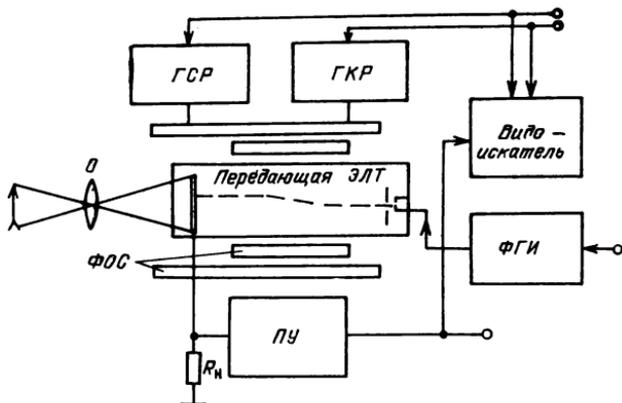


Рис. 1. Упрощенная структурная схема черно-белой камеры

*ГСР* и кадровой *ГКР* разверток, управляемые импульсами синхронизации. Кроме того, в камере имеется формирователь гасящих импульсов *ФГИ*, запирающий электронный луч трубки на время обратного хода электронного луча. Непременным узлом всякой камеры является электронный видеодискретизатор, содержащий кинескоп и обслуживающие его внешние элементы.

Кроме этого, камера содержит узлы, служащие для автоматизации ее работы, стабилизации режимов работы трубки, связи

с аппаратной, и кинематические узлы, которые здесь не рассматриваются.

В цветном вещательном телевидении наиболее совершенными являются студийные камеры. Они обеспечивают высокое качество преобразования изображений цветных объектов в сигналы для передачи по стандартным системам цветного телевидения и удовлетворяют современным требованиям формирования художественных программ. В передаваемых программах внестудийной съемки большое место занимают события, снимаемые с помощью автомобильных передвижных станций; все больше используется техника оперативного репортажа, предусматривающего съемку натуральных сцен специальными портативными камерами, часто с трудным доступом к объекту.

Из-за сложности, больших масс и габаритов обычные студийные камеры ЦТ для оперативного репортажа и видеожурналистики не подходят. Требуются специальные портативные камеры, масса которых позволила бы вести оператору съемку непосредственно, располагая их на плече, или с рук.

Камеры подобного типа служат для съемки актуальных фрагментов программ. Эти камеры обычно рассчитываются на работу совместно с портативными цветными видеомагнитофонами и переносным батарейным питанием. Часто в число узлов камеры включается устройство, формирующее сигнал вещательной системы цветного телевидения, соответствующий стандарту страны (например, СЕКАМ, ПАЛ и др.). При отсутствии достаточно надежных линий связи с телецентрами записи съемки доставляются с помощью транспорта. Специфические требования к портативным камерам ЦТ применительно к телевизионному репортажу освещены в [3].

Для портативных камер обычно используют трубки малых размеров с фотопроводящими мишенями, миниатюризацию узлов, а также применяют вместо трубок приборы с зарядовой связью [2]. Эти приборы, однако, еще не обладают достаточным совершенством, чтобы вытеснить во всех случаях электронно-лучевые передающие трубки. К портативным вещательным камерам можно отнести и облегченные репортажные камеры, работающие совместно с передвижными автомобильными телевизионными станциями. Условия их работы несколько легче, так как они обычно устанавливаются на легких штативах и связываются с автомобильной станцией кабелями. Нужная для дальнейшей передачи обработка сигнала производится в камерном канале, располагаемом в автомобильной станции, а использование при съемке нескольких камер, коммутируемых в процессе передачи, позволяет обеспечить непрерывность и продолжительность внестудийных программ. Автомобильные камеры передвижных телевизионных станций (ПТС) можно отнести к полустационарным камерам.

В большинстве случаев их используют как средство визуального наблюдения и контроля совместно с телевизорами или визуальными контрольными устройствами. При точном определении

цветов деталей объекта, статистических исследованиях содержания или структур цветных объектов, особенно в биологических исследованиях, от них требуется большая точность и, кроме того, дополнительная машинная обработка сигналов, выдача дискретных данных на дисплей и т. д. Наконец, с помощью получаемых от портативных камер сигналов можно решать специфические задачи — управление механическими исполнительными устройствами в виде манипуляторов, роботов и пр. При этом от камер требуется высокая точность информации о геометрическом расположении деталей передаваемого изображения в трехмерном пространстве, колориметрическая точность воспроизведения, расширенный охват цветов, но возможно снижение разрешающей способности камеры.

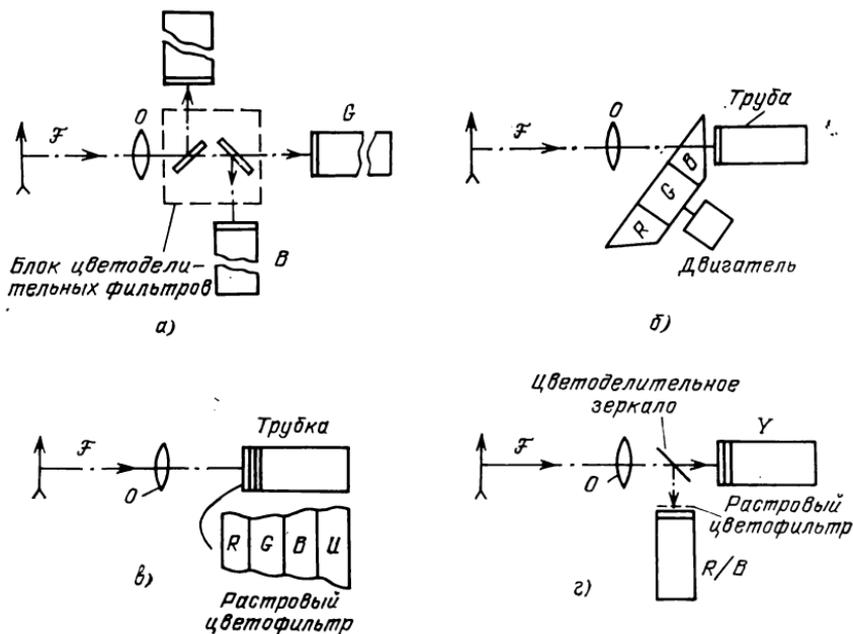
Ассортимент портативных камер со временем пополнит массовая портативная любительская камера ЦТ, которая совместно с домашним видеоманитофоном и телевизором заменит комплекс средств домашнего любительского кино. В этом случае отпадет необходимость использования для киносъемки кинокамеры, дорогостоящих цветных кинолент со сложной фотохимической обработкой. Телевизор будет выполнять роль кинопроекторного аппарата и киноэкрана. Владелец такого комплекса сможет самостоятельно создавать и воспроизводить в домашних условиях любительские телекинофильмы. В основу реализации портативных камер должен быть положен наиболее простой и надежный способ преобразования изображений в сигналы, а конструкция должна учитывать специфику применения.

Камера цветного телевидения содержит в оптической системе цветоделительный узел, позволяющий разделить общий световой поток и соответствующие оптические изображения окрашенных объектов передачи на три компоненты основных цветов — красную  $R$ , синюю  $B$  и зеленую  $G$ . Каждое из цветоделенных изображений подвергается преобразованию в цветоделенные сигналы. Этот процесс можно осуществить различным образом. Традиционно принято классифицировать камеры ЦТ по числу передающих трубок, образующих сигналы названных цветов.

Колориметрический анализ сквозного телевизионного канала показывает, что наиболее правильная цветопередача осуществляется четырехтрубчатой камерой. Она создает на выходе, кроме сигналов  $U_R$ ;  $U_B$ ;  $U_G$ , отдельный сигнал яркостной составляющей  $U_Y$ . Это в свою очередь создает наилучшие возможности дальнейшей обработки сигнала в камерном канале и в результате более точное цветовоспроизведение. Однако из-за сложности они не применяются даже для студийных камер цветного телевидения [1].

**Трехтрубчатые камеры.** Наиболее распространенными портативными вещательными камерами ЦТ являются трехтрубчатые (рис. 2,а). По структуре трехтрубчатые камеры, предназначенные для внестудийной съемки и репортажа, повторяют широко известные трехтрубчатые студийные камеры и отличаются от них в деталях построения; в литературе они получили наибольшее от-

ражение [1, 3, 5... 10 и др.]. В них объектив  $O$  (обычно с переменным фокусным расстоянием) проецирует изображение объекта на светочувствительные поверхности (мишени) трех передающих трубок через цветоделительную систему в виде двух зеркал с цветоделительными свойствами. Одно из них обладает свойством отражать красную  $R$  компоненту светового потока, другое — синюю  $B$ . Зеленая же компонента  $G$  с определенными (малыми) потерями света проходит через оба зеркала.



**Рис. 2.** Схемы построения цветных камер:  $a$  — трехтрубчатой;  $б$  — однотрубчатой с последовательным формированием цветных сигналов;  $в$  — однотрубчатой с одновременным формированием цветных сигналов;  $г$  — двухтрубчатой

При определенном колориметрическом согласовании спектральных характеристик цветоделительных зеркал и чувствительности передающих трубок на их выходах получают сигналы  $U_R$ ,  $U_B$  и  $U_G$ , необходимые для дальнейшей электрической обработки, передачи и воспроизведения цветных изображений. В сигналы, соответствующие первичным цветам, удобно вводить предискажения, компенсирующие нелинейность модуляционных характеристик кинескопов приемных устройств — производить гамма-коррекцию. Они удобны для непосредственного воспроизведения на видеоконтрольных устройствах. Для вещательной передачи более удобно сформировать их в другой форме: в виде яркостного сигнала  $U_Y$  и сигналов цветности  $U_R$  и  $U_B$  или в виде  $U_Y$  и цветоразностных  $U_{R-Y}$  и  $U_{B-Y}$ . В ряде случаев колориметрические характеристики цветоделительных узлов камеры подбираются так, чтобы яркост-

ный сигнал и сигналы цветности получались уже на выходах трубок камеры.

Принципиальных различий между трехтрубочными портативными камерами и их студийными аналогами нет, но портативные трехтрубочные камеры предусматривают минимизацию габаритов и масс их узлов: передающих трубок с внешними элементами, оптической системы, видоискателя.

Уменьшение габаритов камер может быть достигнуто и посредством уменьшения числа трубок. Естественно, что при этом способы цветоделения и формирования цветоделенных сигналов различны.

**Однотрубочные камеры с последовательным — покадровым цветоделением** первоначально предназначались для вещательной системы с последовательной передачей цветов. В настоящее время их для вещания не применяют, но рассматривают как один из видов камер прикладного применения.

Структура камеры (рис. 2,б) и ее действие достаточно просты. Объектив  $O$  создает на светочувствительной мишени трубки с накоплением зарядов изображение оригинала. Перед мишенью трубки располагается цветофильтр, состоящий из цветофильтров  $R$ ,  $G$ ,  $B$ , по размеру соответствующих рабочей площади мишени. Каждый из них пропускает световой поток только в течение длительности кадра (при чересстрочной развертке в течение длительности четного или нечетного поля), после чего поочередно заменяется следующим. Далее цикл цветоделения повторяется. Полная информация о цветном кадре образуется за время передачи трех кадров цветоделенных изображений (или шести полей).

При этом чем резче границы между смежными фильтрами изображаются на мишени и чем строже соблюдается синфазность их перемещения со сканированием, тем лучше коррелируется накопление зарядов за данное поле с фазой цветоделения.

Для цветоделения можно было бы воспользоваться стеклянным диском с цветными секторами, имеющими сложную форму границ, но такой вариант менее предпочтителен из конструктивных соображений.

Наряду с простотой структуры описанные выше камеры обладают рядом существенных недостатков. Среди них — существенный временной параллакс цветоделения, необходимость применения нестандартных развертывающих устройств с утроенной частотой сканирования. Соответственно должна быть утроена полоса частот электрического канала. Наличие механического узла цветоделения усложняет конструкцию камер. К этим недостаткам прибавляется относительно низкая чувствительность.

При всех перечисленных недостатках эти камеры сохраняют свое значение и в настоящее время для решения некоторых прикладных задач, например простыми средствами съемки осуществить наблюдение за медленно перемещающимися объектами. Тогда появляется возможность снижения числа кадров и восстановления числа мельканий на приемной стороне посредством допол-

нительных устройств преобразования сигналов. При нормальном числе кадров камеру можно использовать лишь в замкнутых широкополосных системах.

**Однотрубочные камеры с растровым цветоделением.** Общим отличительным признаком таких камер является оригинальный способ цветоделения посредством плоского цветофильтра с растровой штриховой структурой, обычно встраиваемого во входной узел передающей трубки [4].

Взаимное расположение главных узлов камеры и структура растрового фильтра показаны на рис. 2, в. В отличие от описанной однотрубочной камеры здесь отсутствует вращающийся цветофильтр, но объектив  $O$  проецирует изображение объекта на плоскость мишени трубки, непосредственно перед которой расположен мелкоструктурный растровый цветофильтр.

В наиболее простом для объяснения устройства камеры варианте он состоит из узких вертикальных полос, каждая из которых пропускает лишь одну из трех компонент светового потока  $R$ ,  $G$  или  $B$ . Ширина каждой полосы составляет малую долю размера элементарного цветного участка изображения. В описываемом варианте между соседними триадами располагаются непрозрачные «индексные» сигнальные полосы, служащие для образования на выходе трубки сигналов положения сканирующего пятна относительно смежной триады цветофильтра. Они нужны для дальнейшего точного распределения цветоделенных сигналов между соответствующими каналами для последующей обработки.

В дальнейшем эта схематическая и несколько упрощенная картина будет дополнена другими, более сложными и соответственно более совершенными видами структур цветофильтров, а также способов взаимного разделения цветоделенных сигналов. Здесь же уместно обратить внимание на простоту структуры камеры, однорастровый принцип действия, но вместе с тем и на определенное усложнение ее передающей трубки, также нуждающееся в детальном рассмотрении.

**Двухтрубочные камеры.** Кроме перечисленных камер, принципы построения которых существенно отличаются друг от друга, существуют «гибридные» камеры — двухтрубочные. Целью их создания послужило прежде всего стремление сэкономить одну трубку по сравнению с трехтрубочной камерой, опираясь на то обстоятельство, что в вещательном телевидении сигналы яркости передаются в широкой полосе частот, а компоненты сигнала цветности в полосе частот менее широкой. С другой стороны, желание облегчить ряд трудностей, связанных с технологией изготовления растровых фильтров, процессов электрического разделения сигналов цветности, свойственных однотрубочным камерам. Из схемы (рис. 2, г) видно, что объектив  $O$  создает изображение одновременно на мишенях двух трубок. Для этого между объективом и трубкой размещается цветоделительное зеркало, которое позволяет направить яркостную компоненту светового потока на обычную передающую трубку, например плюмбикон, а синюю и красную

компоненты на двухцветную трубку, мишень которой покрыта растровым светофильтром, состоящим не из трех, как на рис. 2, *в*, а из двух чередующихся цветоделительных полос — красной и синей. Сигналы от обеих трубок проходят раздельно стадии предварительного усиления. Но до обычных для камерных каналов операций матрицирования и гамма-коррекции [1] сигнал от цветной трубки (содержащий компоненты  $R$  и  $B$ ) должен быть подвергнут электрическому декодированию. Обе цветные компоненты должны быть отделены друг от друга. При этом к матрице и гамма-корректору будут подводиться по отдельным каналам одновременно три сигнала:  $U_R$ ,  $U_G$  и  $U_B$ . Подробно операция электрического декодирования сигнала, получаемого от цветных трубок с растровыми штриховыми фильтрами, описывается далее. Здесь важно лишь заметить, что в результате декодирования все сигналы в пределах длительности каждого из цветных элементов изображения будут присутствовать одновременно и в зависимости от назначения камеры на ее выходе с помощью матрицирования могут быть сформированы как яркий сигнал и два цветоразностных, так и сигналы основных цветов.

## 1.2. ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕЩАТЕЛЬНЫХ КАМЕР

В основном существующие портативные вещательные камеры являются трехтрубными (см. рис. 2, *а*) и по принципу преобразования изображения в сигналы мало чем отличаются от студийных аналогов [1].

Путем упрощения отдельных узлов студийных камер, миниатюризации электрических схем и использования малогабаритных трубок удается создать относительно легкие и малогабаритные камеры. По конструкции, размещению деталей и схемам камеры достаточно разнообразны. Но основными узлами любой из них являются: оптическая система, в которую в виде согласованного комплекса входят объектив и цветоделительный призмный блок, три передающих трубки с  $\Phi OC$ , предварительные усилители по числу трубок, развертывающие устройства, устройства стабилизации и взаимного точного согласования геометрических параметров растров передающих трубок, устройства гасящих импульсов, электронный видеискатель с малыми размерами экрана.

В зависимости от того, как связана камера с другой передающей аппаратурой системы вещания, состав ее электрических узлов может видоизменяться. Входная же часть всех трехтрубных камер строится по традиционной схеме (рис. 3).

Передаваемая сцена с помощью объектива проецируется одновременно на светочувствительные поверхности передающих трубок каждого из цветных каналов. Световой поток разделяется на три составляющие с помощью интерференционных фильтров [5], нанесенных на поверхности призм. Первый из них отражает свет синей компоненты спектра, пропуская остальные, второй отражает красные компоненты, но пропускает зеленые. Последовательность

выделения цветовых составляющих и, следовательно, порядок расположения фильтров может быть и иной, но взаимное положение элементов оптической системы остается тем же.

Камеры принято комплектовать вариообъективами с различными параметрами. В современных вариообъективах обычные проецирующие объективы объединяют с телескопической системой переменного масштабирования. Для изменения масштаба съемки

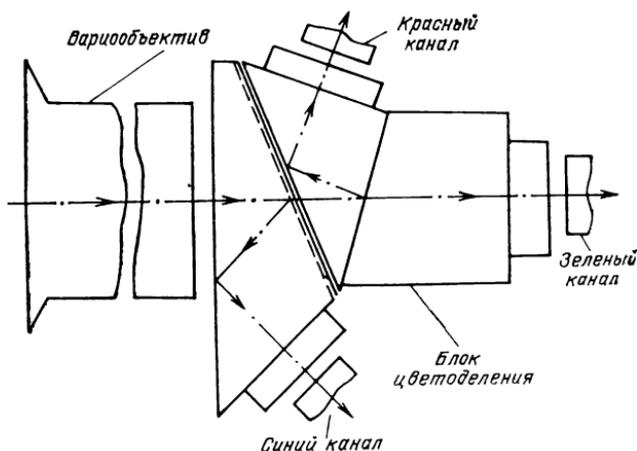


Рис. 3. Компоновка оптического узла трехтрубной камеры

нужно изменить фокусное расстояние объектива, а при этом изменится и расстояние до фокальной плоскости (в данном случае это плоскость мишени трубки). Так как в работе взаимное перемещение передающей трубки и объектива нежелательно, то в вариообъективе предусматривается компенсатор, благодаря которому трубка и корпус объектива при работе остаются неподвижными. В современных вариообъективах можно изменять фокусные расстояния с кратностью от пяти до тридцати и более, что при внестудийной репортажной съемке очень важно.

Вариообъективы строятся по различным схемам и содержат в ряде случаев более 20 компонент, что обеспечивает высокое качество проецирования. Они обладают большими относительными отверстиями ( $\bar{D}=D/f$  до 1:2...1:5), создают хорошую однородность освещенности по полю изображения и достаточную разрешающую способность. Сохраняется при перечисленных параметрах высокая прозрачность ( $\tau=0,6$  и более). В виде примера укажем на один из самых легких малогабаритных объективов типа «Анженье» (французского производства), рассчитанный на работу с 25-миллиметровыми плюмбиконами; он обладает кратностью 12; его минимальное фокусное расстояние 12,5 мм и минимальное расстояние съемки 60 см.

К числу наиболее известных объективов принадлежит также вариообъектив фирмы «Шнейдер» (ФРГ) «Вариогон 10×10». При максимальном относительном отверстии  $\bar{D}=1:1,8$  и кратности 10 (фокусное расстояние изменяется от 10 до 100 мм) его масса с приводами около 2,3 кг. Примерно такая же (2,5 кг)

масса у облегченного французского 15-кратного объектива с тем же относительным отверстием и изменением фокусного расстояния от 9,5 до 142 мм. Масса объективов с большей кратностью достигает 6...8 кг. Кроме приведенных объективов, имеется и много других, пригодных для репортажных камер [3, 5].

В портативных трехтрубчатых камерах применяют малогабаритные трубки семейства видиконов. Они имеют линейные характеристики свет — сигнал в широком диапазоне освещенностей, широкую спектральную характеристику, высокую чувствительность, малую инерционность, достаточную разрешающую способность. К классу видиконов с такими свойствами принадлежат плюмбиконы, сатиконы, леддиконы, отличающиеся друг от друга в основном структурой светочувствительных слоев мишеней и конструкцией внутренних узлов.

Основной трубкой цветного телевидения, применяющейся в течение многих лет на крупнейших телецентрах многих стран, является плюмбикон. В нем используется *pin*-структура светочувствительной мишени, формируемая в процессе изготовления из окиси свинца. Высокая разрешающая способность обеспечивается в современной модификации применением диодных электронных прожекторов, создающих строго параллельные траектории электронов в пределах сечения луча; стабилизация режима и уменьшение инерционности достигается с помощью специальной подсветки мишеней, а также внешними электрическими цепями обратной связи между мишенями и модуляторами пушек, изменяющими режим сканирования в зависимости от характера светового рельефа. Плюмбиконы требуют минимальной освещенности светочувствительных мишеней  $E \approx 10$  лк.

Обычно в портативных камерах применяют плюмбиконы двух размеров: одностоймовые (25 мм) и 2/3-двоймовые (18 мм). С положительной стороны зарекомендовали себя плюмбиконы с диодными пушками ХQ2070 и ХQ2427 с магнитной фокусировкой. Они обладают хорошей разрешающей способностью и имеют глубину модуляции выходного сигнала на частоте 5 МГц соответственно 60 и 28%, что позволяет использовать первый из типов в «зеленом» канале трехтрубчатой камеры, а второй в каналах красного и синего цветов (правда, при некотором усложнении оптического узла из-за разницы размеров мишеней). На рис. 4 показан плюмбикон с магнитной фокусировкой и отклонением (по проспекту его название «леддикон») английского производства.

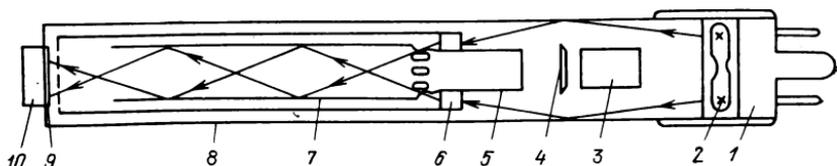


Рис. 4. Конструкция передающей трубки:

1 — доколь; 2 — лампочка подсветки мишени; 3 — катод; 4 — модулятор; 5 — ускоряющий электрод; 6 — шайба, рассеивающая свет; 7 — фокусирующий электрод; 8 — цилиндр выравнивающей сетки; 9 — мишень; 10 — планшайба

К числу интересных принадлежит, например, плюмбикон в виде миниатюрной трубки 80XQ с электростатической фокусировкой. Этот плюмбикон имеет длину лишь 78 мм при диаметре вместе с отклоняющими катушками 22 мм (рис. 5). Разрешающая способность трубки характеризуется 45%-ной модуляцией на частоте 4 МГц.

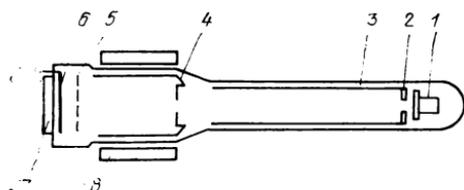


Рис. 5. Миниатюрный плюмбикон с электростатической фокусировкой:

1 — катод; 2 — модулятор; 3 — ускоряющий электрод и коллектор; 4 — фокусирующий электрод и сетка; 5 — сетка; 6 — мишень с выводом; 7 — планшайба; 8 — отклоняющие катушки

Среди новых трубок получили распространение видиконы со сложными мишенями, сатикон с мишенью на основе SeTeAs, халкон (на CdSe), ньювикон (на ZnCdTe) и др. Ведутся разработки передающих трубок — видиконов и ребиконов (видиконы с обратным лучом) — с повышенной разрешающей способностью. Экспериментальным моделированием подтверждено, что для трубок с диаметром 40...50 мм при 1000-строчном разложении значение разрешения 1100...1500 линий при отношении сигнал-шум более 30 дБ. Разрабатываются трехтрубчатые камеры для будущих ТВ систем высокого (1125-строчного) разрешения. Такие трубки используются и для создания портативных однострубочных камер с растровым цветоделением, рассматриваемых далее.

Камеры сравниваются между собой по общепринятым показателям: освещенности объекта (в люксах) при заданном отношении сигнал-помеха выходных сигналов и по разрешающей способности, выражаемой в числе линий измерительной тест-таблицы в центре поля, а также по массо-габаритным свойствам, стабильности работы во время эксплуатации и степени автоматизации поддержания режимов. Освещенность объекта  $E_0$  определяется соотношением, связывающим ее с параметрами объектива, трубки и объекта:

$$E_0 = 4E_{\text{тр}} (1 + m)^2 / \tau_{\text{об}} \tau_{\text{св}} \rho (D/f)^2,$$

где  $E_{\text{тр}}$  — минимальная освещенность светочувствительной поверхности передающей трубки, при которой достигается нужное отношение сигнал-шум;  $\tau_{\text{об}}$  — прозрачность объектива;  $\tau_{\text{св}}$  — прозрачность цветоделительного устройства;  $\rho$  — минимальный коэффициент отражения деталей объекта;  $D/f$  — относительное отверстие объектива (отношение диаметра его входного зрачка к фокусному расстоянию);  $m$  — масштаб съемки (отношение линейного размера рабочей площадки на мишени трубки к размеру объекта съемки).

Напомним, что в камерах ЦТ световой поток от объекта, падающий в объектив, разделяется на три компоненты в пропорциях, определяемых колориметрическими соотношениями и

спектральными свойствами светочувствительных мишеней трубок и фильтров, поэтому в формуле должны быть эти обстоятельства учтены подстановкой соответствующих коэффициентов для каждого из каналов по отдельности. Точный расчет взаимосвязей с учетом колориметрической стороны дела представляется трудоемкой операцией [5, 10].

Для оценки качества преобразования трехтрубной камеры весьма важен дополнительный параметр — рассовмещение растров развертки мишеней передающих трубок. Рассовмещение оценивается в процентах отклонения геометрии растров относительно эталонного значения для различных зон поля изображения (и не должно превышать десятых долей процента).

Принцип трехтрубной камеры предполагает, что сканирование элементарных участков изображения объекта на мишенях всех трубок должно производиться строго синфазно, без отклонения во времени. Практически строгую идентичность телевизионных растров, обеспечивающих это условие выполнить и поддерживать во времени, при этом по всему полю изображения весьма сложно, хотя в последнее время в разработках, связанных с этим направлением, достигнуты определенные успехи. Нарушение совмещения ведет к локальным, а также общим цветовым искажениям, при больших значениях несовмещения — к расслоению цветов при воспроизведении. Измерение несовмещения ведется с помощью специальных тест-изображений при профилактической подготовке камеры к работе. Существуют и электрические методы автоматического контроля рассовмещения растров и его коррекции.

Состав радиотехнических устройств в вещательных камерах существенно различен в зависимости от выполняемых ими функций. Если камера работает в составе передвижной телевизионной станции (ПТС), например автомобильной, то в самой камере могут располагаться лишь перечисленные выше устройства, обеспечивающие развертку изображения и предварительное усиление сигналов, полученных от трубок.

В таком случае в последующем звене тракта — камерном канале — входящем в состав основного аппаратного комплекса станции, соединяемого с камерами кабельными разъемами, должны быть предусмотрены средства обработки сигналов. Среди них устройства дальнейшего усиления сигналов, их матрицирования, гамма- и апертурной коррекции. Кроме того, должны быть предусмотрены средства дистанционного контроля пространственного совмещения телевизионных растров трех каналов, управления режимом передающих трубок, установкой уровней сигнала камеры и их баланса, другие средства дистанционного управления.

В противоположном случае, если назначение камеры — съемка, (вне аппаратуры ПТС) и полное формирование сигнала для ввода в стандартную вещательную систему (иногда с промежуточной записью), перечисленные устройства должны входить в состав самой камеры. Возможны и промежуточные случаи.

В [3] дана классификация, а также обзор современных ведательных трехтрубчатых камер и примеры их структур. Согласно этой классификации камеры, служащие для внестудийной/съемки — внестудийного производства — и работающие в составе ПТС, называют неавтономными.

Камеры, работающие с собственным питанием и обеспечивающие на выходе полный телевизионный сигнал, который должен быть передан на телецентр или записан на портативный видеоманитофон, называют автономными.

Такие камеры служат для видеожурналистики и являются объектом, наиболее сложным для конструирования. С одной стороны, они должны быть наиболее легкими и миниатюрными, быть носимыми и по конструкции такими, чтобы оператор мог установить камеру для съемки на плече или держать в руке, с другой стороны, камеры, предназначенные для видеожурналистики, должны иметь в своем составе весь перечисленный комплекс радиотехнических устройств обработки сигналов установки режимов камеры, ее питание. Выходной сигнал передается в данном случае по радио на телецентр, на пункт промежуточного пере приема или же записывается на портативный видеоманитофон. В обоих случаях цветоделенные сигналы подлежат соответствующему электрическому кодированию с последующим декодированием.

Столь большой перечень необходимого оборудования вызвал необходимость разделения камеры на два (или более) отдельных блока — головку камеры, размещенную на плече оператора или в руке, и заплечный ранец (также пояс), где размещают устройства питания, кодирования, управления и пр. Таким образом, репортерские камеры, предназначенные для видеожурналистики, выполняются в моно- или двухблочных вариантах. Оборудуются они и звуковой аппаратурой.

Приведенная классификация дополняется семейством модульных камер. Они состоят из отдельных блоков (модулей). Основной для комплектации блоков служит цветоделительный узел, монтируемый в виде монолитной конструкции вместе с трубками и обслуживающими ее элементами — фокусирующей отклоняющей системой, предварительными усилителями и пр.

В зависимости от специфики предстоящей съемки и использования сигнала, создаваемого камерой, основной блок комплектуется одним из серийных сменных варнообъективов и нужными электрическими блоками. Они согласуются между собой обычно бескабельными, механически прочными разъемными соединителями так, чтобы блоки в собранном виде представляли собой как бы единую конструкцию. Модульный принцип построения придает универсальность камере. К их числу принадлежат отечественные камеры КТ-305Р, КТР-308. Одной из известных отечественных облегченных камер, работающих совместно с репортажной ПТС, является камера КТР-308 [3]. Ее головка предназначена для размещения на легком штативе или на плече оператора, весит 8 кг и соединяется с аппаратурой дистанционного управления и обработки сигналов

кабелем массой 16 кг. Видискатель рассчитан на трубки 4ЛК1Б, а также на 16ЛК2Б.

Камера снабжена шестикратным варнообъективом (ОТЦ 6×13) с минимальным расстоянием съемки 0,5 м, диапазоном фокусных расстояний 13...78 мм и максимальным относительным отверстием 1:2,2. Во всех трех каналах работают 25-миллиметровые плюмбиконы (ЛИ-468 и др.). Минимальная освещенность объекта при отношении сигнал-шум 46 дБ и разрешающей способности 400 ТВ лин (модуляция 30%) составляет при максимальном относительном отверстии 800 лк, а при  $\bar{O}=1:4$ , к которому приводятся данные других камер, 1600 лк.

В камерном канале предусматривается колориметрическая обработка сигнала, апертурная коррекция, гамма-коррекция, а также формирование из сигналов *R*, *G*, *B* сигналов, соответствующих стандартному сигналу системы СЕКАМ. Эта камера многоцелевая: для телевизионного репортажа, различных внестудийных съемок и видеожурналистики.

В камере французского производства TTV-1525 Томсон ЦСФ-1980 предусматривается наличие также комплекса аппаратуры обработки сигналов в виде блоков, соединяемых с камерой. В такой камере на 25-миллиметровом леддиконе работает лишь канал «зеленой» компоненты. Этот канал должен обладать повышенной разрешающей способностью, так как «зеленая» компонента близка к яркостной и при восприятии играет главную роль. Два других канала — красной и синей составляющих — для восприятия менее значительны. Поэтому они рассчитаны на трубки меньшего диаметра — плюмбиконы 18 мм. Габаритные размеры головки камеры, размещаемой на плече оператора без видискателя и объектива, 155×130×480 мм, а полная масса вместе с объективом и видискателем 12,3 кг. Потребляемая мощность в портативном варианте — 140 Вт. Разрешающая способность та же, что и у камеры КТ-308, а отношение сигнал-помеха 49 дБ. Камера требует освещенности объекта не менее 800 лк. Обзор камер данного семейства показывает, что их основные параметры имеют небольшой разброс относительно друг друга.

Для всех перечисленных трехтрубочных камер характерно относительно высокое разрешение (400...600 телевизионных линий в центре изображения), высокое отношение сигнал-шум (примерно 50 дБ и более) и незначительное рассовмещение растров (0,1...0,2%). Такие камеры достаточно чувствительны и позволяют вести съемку при освещенности объекта примерно 2000 лк с относительными отверстиями объективов 1:4...1:4,5, что обеспечивает приемлемую для операторской работы глубину резкости, а также не критичность к световому режиму в темных деталях.

Примерно такими же электрическими параметрами обладают и автономные двухблочные камеры, специально создававшиеся для видеожурналистики. В них масса наплечной части около 3,5 кг и столько же аппаратурной, расположенной в ранце.

В последнее время все более расширяется универсальность комплектации модульных камер, снижаются благодаря прогрессирующей минимизации габариты и массы модулей. В связи с этим заслуживают упоминания две камеры — японская FP-20S/FP-20 «Хитачи» и американская BCC-20 «Ампекс». Первая из них интересна удачным конструктивным оформлением (Библ. 10), большим

набором модулей, портативностью камерной головки ( $370 \times 160 \times 170$  мм без объектива), видискателя и держателей, относительно небольшой ее массой — 5,5 кг и использованием трубок 2/3-дюймовых сатиконов с электростатической фокусировкой и магнитным отклонением. Вторая камера ВСС-20 характерна новым решением автоматизации коррекции пространственных искажений (рассовмещения растров) в процессах настройки и работы. Для этого применяется

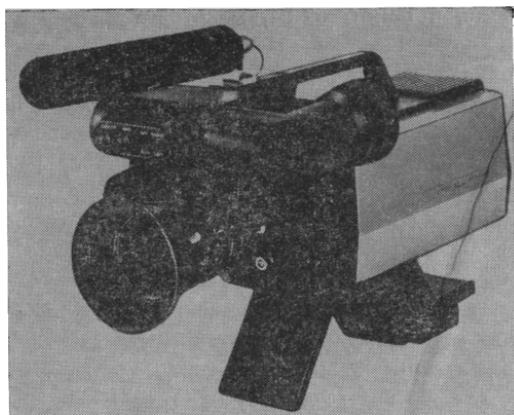


Рис. 6. Трехтрубчатая камера «Хитачи»

микропроцессор с оперативной и постоянной памятью. Точность совмещения растров доводится до 0,05%, однако при участии в настройке и контроле оператора. Эта разработка представляет собой важный этап в создании новых трехтрубчатых камер и подробнее рассмотрена в [3, 9].

#### Основные технические данные камеры ВСС-20

Освещенность, лк, при $\bar{O}=1:4$ и токе в канале $G I=200$ мА	2000
Минимальная освещенность, лк	60
Рассовмещение во всех зонах, %	0,5
Геометрические искажения во всех зонах, %	0,1
Предельная разрешающая способность по горизонтали в центре, лин	700
Отношение сигнал-шум в канале, $G$ , дБ в системах:	
НТСИ	53
ПАЛ/СЕКАМ	51
Потребляемая мощность, В·А, в режимах:	
рабочем	36
резервном	6

Питание камеры в автономном режиме осуществляется от батарей 10,5 ... 17,0 В или от базовой станции 180 В. Камера работает в стандартах систем НТСИ, ПАЛ, ПАЛ-М, СЕКАМ. Применение цифровой обработки для автоматизации процессов управления камерами имеет для внестудийной съемки и всей системы видеопроизводства большие перспективы.

## 2. КОДИРОВАНИЕ ЦВЕТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В ПОРТАТИВНЫХ КАМЕРАХ ЦТ С РАСТРОВЫМИ ЦВЕТОФИЛЬТРАМИ

### 2.1. ВИДЫ КОДИРОВАНИЯ, СТРУКТУРЫ РАСТРОВЫХ ЦВЕТОФИЛЬТРОВ

Получение трех сигналов, нужных для передачи цветных изображений, может быть решено различными путями. Для внестудийных вещательных передач и видеожурналистики в основном используют трехтрубчатые камеры, постепенно совершенствуемые за счет миниатюризации узлов и улучшения параметров передающих трубок. Совмещение функций внестудийного обеспечения вещательных программ со съемкой актуальных событий оперативного репортажа достигается модульным принципом комплектации самой камеры различными приставками: смежными объективами, блоками управления и обращения сигналов, кодирования сигналов для последующей передачи, записи и пр.

При этом базовым модулем является сама головка камеры, содержащая объектив, цветоделительный узел (см. рис. 3), три передающих трубки и утроенный комплекс электрических средств управления разверткой цветоделенных изображений и усилителей.

Специфика построения этого модуля такова, что эти устройства нельзя разместить относительно друг друга произвольно, нельзя допустить и малейшей неточности в идентичности режимов работы трех каналов цветоделенных изображений.

Анализ развития трехтрубчатых вещательных камер ЦТ, проведенный, например, в [3], несмотря на использование всех современных средств миниатюризации и конструирования, не привел к выводу о возможности построения несложных в настройке, простых в управлении действительно портативных и легких камер ЦТ. Их массы и габариты позволяют разместить камеру на плече оператора и обеспечить удобство съемки для целей внестудийного видеопроизводства. Но пока исключается возможность вести съемку, держа камеру в руке, что бывает для журналиста, работающего в сложных условиях репортажа, крайне необходимым. Для этих целей необходима камера, по массогабаритным свойствам близкая к любительским кинокамерам и обладающая свойствами стабильности в работе, хотя бы благодаря некоторому снижению разрешающей способности относительно более громоздких камер общего применения. Последнее обстоятельство в видеожурналистике хотя и является нежелательным, но, поскольку в большинстве случаев съемка ведется крупным и средним планами (интервью, жанровые сцены с участием нескольких персонажей, малых пространств), вполне допустима.

К камерам, которые удовлетворяют перспективам дальнейшей миниатюризации, относят однотрубчатые камеры с растровым цветоделением, рассматриваемые в этой главе и далее.

Если бы портативные стабильные камеры ЦТ были нужны только для указанных целей видеожурналистики, то не стоило бы останавливаться на их рассмотрении столь подробно. Но в настоящее время трудно назвать область народного хозяйства, которая бы не нуждалась в телевизионных системах наблюдения, измерения, управления. В большинстве случаев для этих целей используют промышленные телевизионные установки черно-белого телевидения, комплектуемые отдельными блоками, среди которых одним из главных является портативная камера. Не следует доказывать, что на современном этапе большинство систем прикладного применения должны быть цветными, но переход на цветное воспроизведение во многом определяется отсутствием камер ЦТ.

Принципиальные особенности рассматриваемых однотрубчатых камер таковы, что по структуре и конструкции они не отличаются от черно-белых (см. рис. 1), рассчитанных на видиконы. Их перестройка на цветные требует замены передающей трубки более сложной тех же габаритов. Таким образом, базовой конструкцией однотрубчатой камеры ЦТ может служить типовая монохронная камера. Получаемые в закодированном виде сигналы могут передаваться по существующим каналам связи и усиления, а в качестве воспроизводящих устройств применяться обычные ВКУ цветного изображения с дополнительными несложными декодерами.

Таким образом однотрубчатые камеры не изменяют принципов комплектации промышленных телевизионных комплексов. В большинстве случаев промышленного применения не требуется комплектация камер вариообъективами, а для съемки используют простую по конструкции и легкую фотографическую или киносъемочную оптику. Это делает камеру проще репортажной.

Благодаря перечисленным свойствам камеры могут найти универсальное применение не только в технике видеорепортажа, но в различных промышленных и бытовых телевизионных комплексах, в которых они приобретают свойство универсального модуля систем. В литературе им придается все большее внимание.

На различных этапах разработки такие камеры называют по-разному: камерами со штриховыми (иногда индексными) цветофильтрами по признаку их структуры, камерами с растровым цветоделением, с оптическим кодированием. Напомним, что обычно цветоделительный растр размещается во входной части трубки, перед ее мишенью, поэтому камеры называют и по фирменным названиям трубок, например триниконная камера по названию трубки — триникон, камера спектраплекс и пр.

Процесс оптического кодирования осуществляется на этапе цветоделения растровым фильтром и сканирования зарядов, накапливаемых на мишени за длительность телевизионного кадра. В настоящее время известно два способа кодирования — временной и частотный. Первый из способов заключается в том, что при прохождении света через цветоделительный растр со струк-

турой в виде вертикальных полос (рис. 7, а) изображение дискретизируется в плоскости мишени трубки по основным цветам. В процессе строчной развертки возникает последовательность сигналов для каждого из элементов в виде триады *R, G, B*. Ширина каждой из полос фильтра должна быть соразмеримой с диаметром развертывающего пятна трубки. Число полос в строке определяет цветовую разрешающую способность, а также ширину полосы частот электрического канала, необходимую для передачи сигналов.

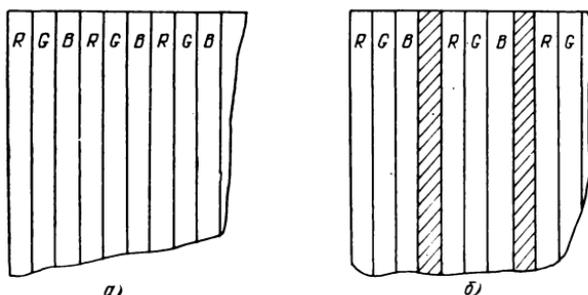


Рис. 7. Структура растрового светофильтра камеры ЦТ с кодированием цветовой информации:  
а — временным; б — индексным

Если бы можно было создать идеально линейную развертку изображений и обеспечить стабильность, то для декодирования можно было бы использовать сигналы синхронизации строчной развертки. При изменении линейности развертки или размера строк раstra изменится длительность импульсов цветовых компонент, и правильное распределение по каналам станет невозможным. Следовательно, светофильтр должен иметь более сложную форму. При кодировании в сигналы должен быть заложен признак, который позволил бы осуществить декодирование по временному положению цветовых компонент. Для этого триады трех цветоделенных изображений разделяют индексными полосками. Сигналы индексных полос (индексные сигналы) выделяют методом амплитудной селекции, пропускают через линии задержки и используют для поочередного отпираания трех усилителей.

Недостатками камер с временным или индексным кодированием цветовой информации с растровым цветоделением, выполненным в таком виде, являются: ограниченная разрешающая способность и сниженная чувствительность из-за неполного использования рабочей площади светочувствительного слоя мишени. Эти недостатки устраняются посредством совмещения индексной полосы с триадой, как это сделано в трубке триникон, описываемой далее.

Индексная растровая структура обладает определенными достоинствами и для построения специализированных камер, напри-

мер для случаев, когда требуется вести точный счет каждого из элементов избранной детали изображений и вести измерение их цвета. Индексный сигнал в этом случае будет служить отсчетным знаком положения детали на каждой строке, а цветовая информация представляется последовательностью цветовых компонент для данного отсчетного знака.

В другом типе камер ЦТ с растровыми светофильтрами применяется принцип частотного кодирования цветовой информации. Это достигается тем, что на пути световых лучей перед светочувствительной поверхностью передающей трубки устанавливают двухслойный растровый цветоделительный светофильтр (рис. 8).

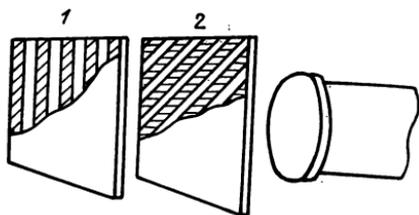


Рис. 8. Структура растрового двухслойного светофильтра камеры ЦТ с частотным кодированием цветовой информации (1 — голубые полосы, 2 — желтые полосы)

Каждый слой образован чередующимися полосками равной ширины, первый слой 1 голубыми и прозрачными, второй 2 желтыми и прозрачными, расположенными под углом к структуре первого слоя.

При сканировании потенциального рельефа на выходе передающей трубки появится телевизионный сигнал, в котором кроме низкочастотных составляющих красного, зеленого и синего цветоделенных изображений будут присутствовать высокочастотные компоненты, модулированные по амплитуде сигналами красного и синего цветоделенных изображений. Эти высокочастотные компоненты выделяют с помощью полосовых фильтров. После амплитудного детектирования и матрицирования с низкочастотными составляющими получают три сигнала основного цвета.

Важным достоинством камер с частотным кодированием цветовой информации является более высокая разрешающая способность. Кроме того, требования по обеспечению высокой линейности и стабильности отклонения по строке в этих камерах могут быть снижены по сравнению с камерами, использующими временное (индексное) кодирование цветовой информации.

Таким образом, если в трехтрубчатой камере три цветоделенных сигнала каждого из элементов образуются в трех каналах, а затем эти сигналы кодируются для передачи в общем электрическом канале, то процесс происходит непосредственно на этапе светозлектрического преобразования. Но в обоих способах передаваемые сигналы для воспроизведения изображений нужно вновь декодировать, распределив их соответственно по каналам *R*, *G*, *B*. Иногда это делают и в самой камере.

Созданные к настоящему времени камеры ЦТ с растровыми светофильтрами создают возможность передачи цветных изобра-

жений в полосе частот черно-белого канала (естественно, с несколько сниженной четкостью) путем его частотного уплотнения. В одной из зон полосы передают яркостный сигнал, в двух других на поднесущих частотах, определяемых растровой структурой цветофильтра, два сигнала цветности.

Камеры с оптическим кодированием растровыми фильтрами принято разделять по таким техническим признакам:

по типу используемой передающей трубки, определяющей и способ кодирования (камера на трехсигнальном видиконе, камера на триниконе, спектраплекс и т. д.);

по числу поднесущих в случае частотного уплотнения (камеры с одной, двумя или тремя поднесущими);

по числу сигналов, передаваемых на каждой из поднесущих при частотном уплотнении;

по способам разделения цветовой информации в декодирующем устройстве (камеры с частотным или фазовым разделением сигналов).

Отметим, что растровые цветофильтры могут иметь другие разновидности, различные спектральные характеристики и структуры, определяющие способы кодирования цветовой информации. Структура светофильтров (число полос, их ширина и угол наклона относительно направления сканирования, размер рабочей зоны) определяется исходя из необходимой частоты повторения сигналов цветовых компонент в телевизионном сигнале и времени развертки активной части строки. Эти и другие особенности будут рассмотрены отдельно при ознакомлении с различными типами камер ЦТ. Чтобы составить структурную схему таких камер, нужно знать их конкретное назначение и требования, предъявляемые к ней: необходимость передачи сигналов по линии связи, использования замкнутой телевизионной сети или радиолинии, обеспечения компактности и пр.

На основании анализа этих требований можно выбрать наилучший способ кодирования, подойти на этом основании к определению возможности создания модульных систем универсального применения, как это делается в технике вещательного внестудийного производства.

Одной из областей, нуждающейся в однотрубных портативных камерах, является медицинская диагностика. Уже сейчас однотрубную камеру с растровым цветофильтром применяют в офтальмологии для получения увеличенной картины внутренней поверхности глаза на видеоконтрольном устройстве с типовым цветным кинескопом [36]. В этом случае камера должна обладать минимальными массо-габаритными характеристиками, чтобы ею можно было бы манипулировать, держа в руке. Взамен этого она может иметь не столь высокую разрешающую способность, как вещательная, поскольку съемка ведется крупным планом. К габаритам, массе и сложности видеоконтрольного устройства (ВКУ) при этом не предъявляются столь жесткие требования.

Структура собственно камеры, в вещании обычно называемой головкой камеры, а в прикладном телевидении — датчиком сигнала

ла, должна быть предельно простой. И действительно, она не будет по структуре и составу отличаться от черно-белой камеры (см. рис. 1). Декодер в этом случае должен припадаться к ВКУ и выполняться конструктивно в виде отдельного модуля. Кроме собственно декодирующей части сигнала в него должны включаться обычные для систем ЦТ устройства матрицирования и гамма-корректоры, устройства усиления, обработки сигналов и управления режимом камеры.

Приведенная структура камеры является рациональной для различных сфер технологического телевидения. Например, для управления работой роботов, для диспетчерского телевидения, для научных целей. Диспетчерское телевидение обеспечивает визуальное наблюдение за ходом производства и связь между цехами и диспетчером. Оно обеспечивает дистанционное управление производственными процессами в местах, где часто затруднен или исключен доступ человека для наблюдения и управления. Для научных целей цветное телевидение используется для показа сложных хирургических операций или физических и прочих явлений большому числу обучающихся, для увеличения наблюдаемых объектов при микроскопических исследованиях, для передачи цветных изображений со спутников Земли и т. д.

В этих и других случаях весьма существенным является требование к малым габаритам и массе камеры, поскольку передающая камера может устанавливаться в местах с ограниченным объемом свободного пространства. К этому добавляются требования работы камеры в различных климатических условиях и бесподстроечного режима работы аппаратуры за длительный интервал времени.

Состав аппаратуры всей системы автономного телевизионного наблюдения и контроля в аспекте модульного исполнения представляется в виде несложной цепочки (рис. 9, а). Основным задающим модулем-датчиком сигналов служит камера, использующая трубку с растровым цветофильтром определенной структуры и сменные объективы. Другим модулем является декодирующее уст-

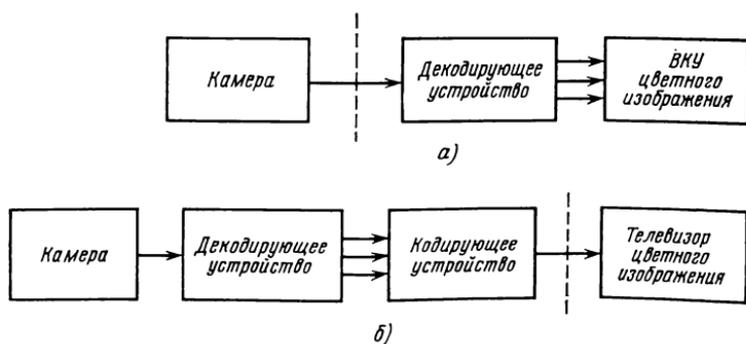


Рис. 9. Структурная схема портативной камеры ЦТ:  
а — упрощенная; б — усложненная

ройство с типовыми устройствами обработки сигналов; следующим модулем должно быть ВКУ со встроенным пультом управления камерой и синхрогенератором. В зависимости от необходимости камера может быть снабжена видеоискателем, применяемым в монохромном вещании. Синхрогенератор в этой системе может быть также типовым, а пульт управления сконструирован применительно к частным условиям и целям системы.

Заметим, что сигнал, формируемый камерой, не является полным цветовым телевизионным сигналом стандартной системы ЦТ, но в рамках замкнутой прикладной системы может быть передан по каналу с учетом декодирования на приемной стороне. Это декодирующее устройство подробно рассматривается в гл. 5.

Если сигналы предполагается вводить в систему вещательного телевидения, то структура камеры будет более сложной. В этом случае в ее состав должен войти декодер, располагавшийся в предыдущем случае на стороне воспроизведения (рис. 9, б), и, кроме того, кодирующее устройство стандартной системы цветного телевидения. Это позволяет использовать в качестве передающих устройств типовые ПТС и телецентры, а в качестве приемных устройств серийно выпускаемые телевизоры цветного изображения.

В том случае, если сигналы, получаемые от камеры, предполагается записать для последующего воспроизведения в пределах замкнутой системы телевидения или в любительском телевизионном комплексе, можно воспользоваться камерой с простейшей структурой (рис. 9, а). При этом предпочтительным оказывается способ частотного кодирования. Естественно, что к такой камере прилагается портативный видеомагнитофон, а ее разветки питаются от внешнего синхрогенератора. Функциональная схема такого комплекса (рис. 10) также проста.

Если же запись ведется с учетом ее дальнейшего введения в вещательную программу, то камера должна иметь усложненную

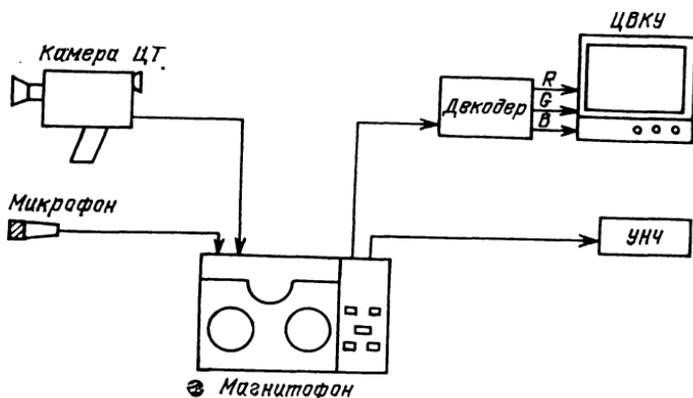


Рис. 10. Схема подключения магнитофона при записи сигнала портативной камеры ЦТ

структуру (см. рис. 9, б). Функциональная схема тракта запись — воспроизведение дана на рис. 11.

Качество записи определяется в обоих случаях не только параметрами создаваемых камерой сигналов, но и типом приме-

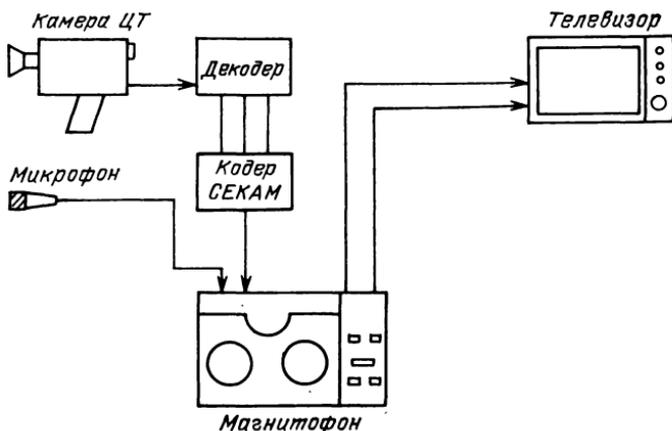


Рис. 11. Схема подключения магнитофона при записи сигнала системы СЕКАМ

няемого видеомангнитофона [12]. Современные профессиональные видеомангнитофоны катушечного и кассетного типов позволяют охватить полосу частот до 6 МГц, обладают достаточным отношением сигнал-шум и обеспечивают хорошую запись изображения соответственно на лентах 25...19 мм. Масса наиболее легких из них (включая источники питания) примерно 12 кг при потребляемой мощности 11...30 Вт [3 и др.]. Сигналы однотрубных камер можно записывать в кодированном виде на более простые видеомангнитофоны монохромного ТВ. В процессе воспроизведения закодированные сигналы декодируются описанным способом.

## 2.2. ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Существует несколько вариантов оптических систем [11]. Наиболее простая — с переносом изображения (рис. 12). Съёмочный объектив 2 создает изображение передаваемого объекта в плоскости растровых светофильтров 4. Плоскость светофильтров является главной плоскостью коллектива 5. Из этой плоскости изображение переносится на светочувствительную поверхность передающей трубки 7 с помощью объектива переноса 6. Оптический пространственный фильтр 3 предназначен для ограничения спектра пространственных частот цветоделенных изображений. Для правильного цветоделения, т. е. для уменьшения цветовых искажений, на входе системы располагается корректирующий светофильтр 1. Габариты системы, которые зависят в основном от масштаба пере-

носа промежуточного изображения, будут минимальными при масштабе 1 : 1 и увеличиваются при его изменении. Система с переносом изображения при прочих равных условиях примерно в 4 раза длиннее оптической системы монохромной камеры.

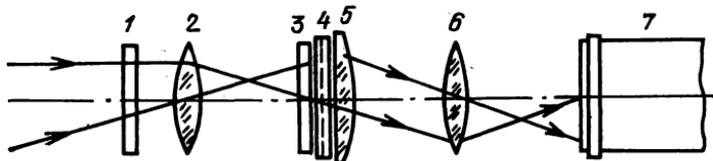


Рис. 12. Схема оптической системы однотрубной камеры ЦТ с переносом изображения:

1 — корректирующий светофильтр; 2 — съемочный объектив; 3 — оптический пространственный фильтр; 4 — растровый светофильтр; 5 — коллектив; 6 — объектив переноса; 7 — передающая трубка.

Оптическая система (рис. 13) используется для построения двухтрубной камеры с отдельным каналом яркости. Она отличается тем, что одновременно с изображением цветочных каналов *R/B* на мишени передающей трубки 8 создается изображение канала яркости *Y* на светочувствительной поверхности передающей трубки 10 с помощью полупрозрачного 3 и непрозрачного зеркала 9.

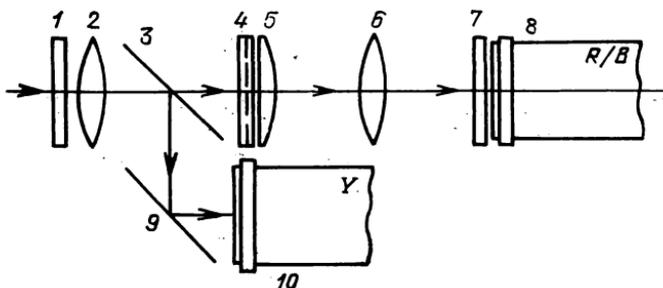


Рис. 13. Схема оптической системы двухтрубной камеры ЦТ с переносом изображения:

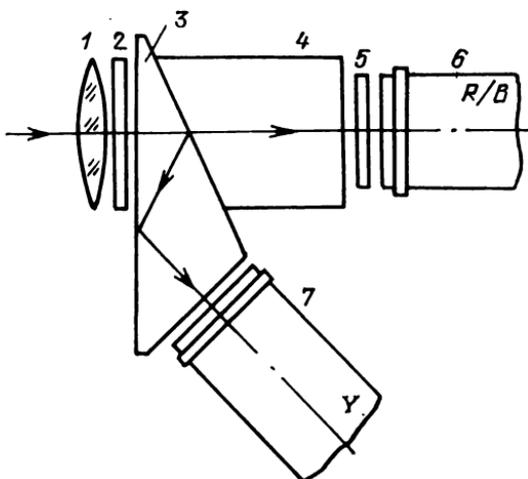
1 — корректирующий светофильтр; 2 — съемочный объектив; 3 — полупрозрачное зеркало; 4 — растровые светофильтры; 5 — коллектив; 6 — объектив переноса; 7 — оптический фильтр нижних пространственных частот; 8 — передающая трубка каналов *R/B*; 9 — непрозрачное зеркало; 10 — передающая трубка канала *Y*.

В портативных камерах ЦТ находят также применение оптические системы с призмным цветоделительным блоком (рис. 14). По сравнению с системами с переносом изображения они имеют меньшие габариты и массу, больший коэффициент светопропускания (из-за меньшего поглощения света в стекле и вредного отражения от поверхностей).

В оптической системе с призмным блоком свет, выходящий из объектива 1 и корректирующего светофильтра 2, проходит через призмы 3 и 4 на передающую трубку 6 каналов красного и синего цветоделительных изображений *R/B*. Часть света отражается

цветоделительным слоем, нанесенным на грань призмы 3, и по-  
дает на передающую трубку 7 канала яркости  $Y$ .

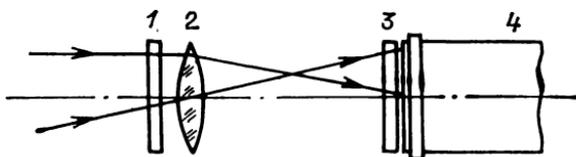
Практическая реализация оптических систем с переносом из-  
бражения и с призмным цветоделительным блоком связана  
необходимостью выполнения расчета габаритных размеров сис-  
темы и конструктивного расчета оптических деталей узлов. Кро-  
ме того, такие системы сложны в изготовлении и не позволяют ра-  
ботать со сменными объективами. Поэтому они не получили ши-  
рокого распространения.



**Рис. 14.** Схема оптической системы двухтрубной камеры ЦТ с призмным цветоделительным блоком:

1 — съемный объектив; 2 — корректирующий светофильтр; 3, 4 — призмы; 5 — оптический пространственный фильтр; 6, 7 — передающие трубки

Наибольшее применение находят оптические системы, испол-  
няющие цветоделение непосредственно в узле мишени передающей  
трубки (рис. 15). В этом случае оптическая система состоит то-  
лько из корректирующего фильтра 1, съемного объектива 2 и оп-  
тического пространственного фильтра 3. Габариты такой опти-  
ческой системы не отличаются от габаритов оптической системы м-  
нохромной камеры.



**Рис. 15.** Схема оптической системы однотрубной камеры ЦТ с кодированием цветовой информации в узле мишени:

1 — корректирующий светофильтр; 2 — съемный объектив; 3 — оптический пространственный фильтр; 4 — передающая трубка

Планшайбу передающей трубки либо изготавливают из волоконно-оптической пластины (рис. 16, *а*), либо на внутреннюю ее поверхность помещают прозрачный электрод 5 и фоточувствительный слой 6, а к фронтальной поверхности приклеивают защитное стекло 1 с растровыми светофильтрами 2 (рис. 16, *б*).

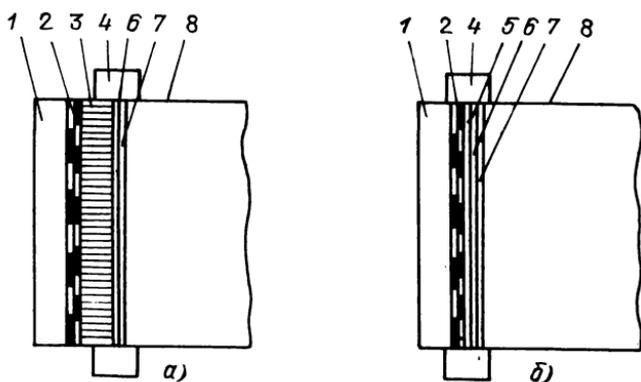


Рис. 16. Конструкция узла мишени передающей трубки:

1 — защитное стекло; 2 — растровые светофильтры; 3 — оптическое волокно; 4 — сигнальный электрод; 5 — тонкая стеклянная пластина; 6 — прозрачный электрод; 7 — фоточувствительный слой; 8 — баллон;

*а* — трубка с волоконно-оптической шайбой; *б* — без нее

Волоконно-оптическая планшайба 3 представляет собой набор тонких цилиндрических стеклянных волокон диаметром 5—10 мкм (светопроводов), собранных в жгут. Волокно покрыто снаружи тонким слоем (1...2 мкм) стекла с более низким коэффициентом преломления. Благодаря этому свет, входящий в такое волокно, претерпевает полное отражение и выходит с другого торца. Если волокна на торцах жгута зафиксировать неподвижно относительно друг друга и затем торцы отполировать, то по жгуту можно передавать спроецированное на один из торцов изображение.

Спектральная прозрачность волоконной оптики достаточна для практических нужд. Диаметр отдельных волокон и расстояние между ними определяют разрешающую способность (зернистость). Толщина планшайбы, которую в настоящее время не удастся сделать меньше 4...6 мм из-за сложности обработки, снижает коэффициент пропускания оптической системы. Следует отметить, что свет, падающий на планшайбу под углом, превышающим критический угол преломления волокна, отражается. Благодаря этому уменьшаются неравномерность освещения на краях изображения и посторонние засветки. С уменьшением диаметра волокна уменьшается светопропускание. Волокна малых диаметров (около 4 мкм) становятся соизмеримы с размерами микродефектов в них. При этом доля поглощенного и рассеянного света в общем потоке сильно возрастает. Это сказывается сильнее, чем увеличение толщины планшайбы.

Для устранения недостатков, присущих оптической системе с волоконно-оптической планшайбой (потери света и зернистость), растровые светофильтры помещают непосредственно в узел мишени (рис. 16).

Однако при изготовлении сигнального электрода и фоточувствительного слоя непосредственно на растровом светофилтре поверхность мишени со стороны считывающего луча получается неровной и механически непрочной (рис. 17), а сама передающая трубка имеет неудовлетворительные характеристики. Поэтому между светофилтром и фотослоем трубки помещают тонкую стеклянную пластину, которая является одновременно подложкой для сигнального электрода (рис. 17). Толщину этой пластины выбирают минимально возможной для уменьшения расфокусировки изображения на растровом светофилтре и фотослое трубки.

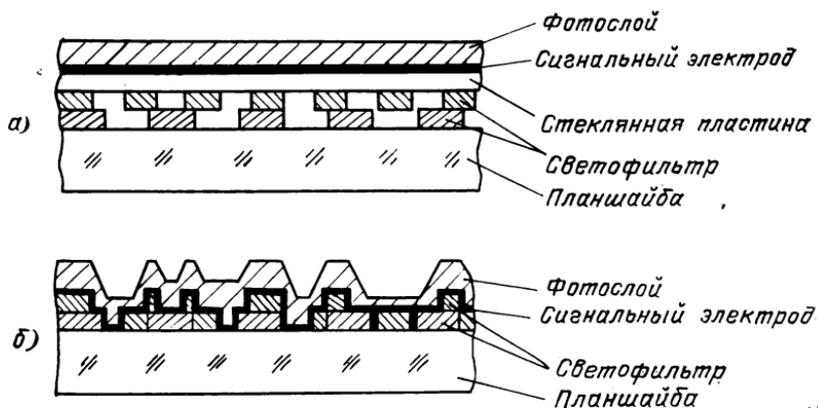


Рис. 17. Конструкция узла мишени видикона:  
а — с разделительной стеклянной пластиной; б — без нее

Как уже отмечалось, системы с переносом изображения и с призмным светоделительным блоком, кроме съемочного объектива, содержат ряд специфических оптических узлов, для выбора и изготовления которых необходимо выполнить расчет габаритных размеров системы и конструктивные расчеты оптических деталей [13].

Оптическая система (рис. 15) проста и не требует расчета своих габаритов конструктивных расчетов. Съемочный объектив в этом случае выбирают исходя из параметров передающей камеры и поставленных перед ней задач. Достаточными для практических нужд параметрами объектива являются: фокусное расстояние, относительное отверстие, угол зрения, размер диагонали поля в плоскости изображения, разрешающая способность, коэффициент пропускания, спектральная характеристика пропускания, неравномерность освещенности по полю изображения.

Объекты наблюдения могут иметь высокие пространственные частоты, которые в результате преобразования свет — сигнал будут соответствовать временным частотам цветовых поднесущих или будут близки к ним. Эти пространственные частоты вызывают ошибки в передаче цветовой информации или биения, проявляю-

щиеся в виде муара на однородных цветных участках или в виде мерцаний и неровностей вертикальных линий цветного изображения.

Для устранения таких искажений используют оптические фильтры нижних пространственных частот, ограничивающие сверху спектр пространственных частот цветоделенных изображений.

Наиболее просто ограничение спектра достигается оптической расфокусировкой изображения на мишени передающей трубки с помощью съемочного объектива, волоконно-оптической пластины или цилиндрических линз. При расфокусировке объектива или при установке волоконно-оптической пластины перед мишенью передающей трубки уменьшается полоса частот сигнала яркости и соответственно разрешающая способность яркостного изображения, а цилиндрические линзы расфокусируют изображение только в одном направлении и не могут уменьшить коэффициент светопропускания до нуля на заданной пространственной частоте. Кроме того, работа камеры при расфокусированном съемочном объективе или использовании цилиндрических линз должна осуществляться при фиксированном расстоянии от камеры до объектов наблюдения, что совершенно недопустимо для аппаратуры прикладного назначения.

Другой способ ограничения спектра пространственных частот заключается в применении амплитудных и фазовых решеток из тонких прозрачных и непрозрачных полосок с определенным шагом. Реализация этих решеток требует проведения сложных расчетов и изготовления, а при использовании необходимо весьма точно регулировать их положение в оптической системе камеры с жесткой фиксацией. Рассмотренные способы ограничения спектра пространственных частот не нашли практического применения в портативных камерах ЦТ.

Наибольшее распространение получил способ ограничения спектра пространственных частот, основанный на использовании двоякопреломляющих материалов, например кальцита (исландского шпата) и кварца. Эти материалы имеют два коэффициента преломления. В результате падающий луч света расщепляется на два ортогонально поляризованных луча: «обыкновенный» и «необыкновенный» (рис. 18).

Обыкновенный луч подчиняется обычному закону преломления и имеет постоянное значение показателя преломления  $n_o$  во всех направлениях в кристаллах. Показатель преломления необыкновенного луча  $n_e$  не постоянен и зависит от его направления. Одноосные кристаллы, у которых  $n_e < n_o$ , называются *отрицательными* (кальцит); кристаллы, у которых  $n_e > n_o$ , называются *положительными* (кварц).

Оба луча, обыкновенный и необыкновенный, выходят из кристалла параллельно друг другу и параллельно лучу, входящему в кристалл.

Если известны показатели преломления  $n_o$  и  $n_e$  и угол  $\beta$  между оптической осью кристалла и его поверхностью, то угол расщепления  $\alpha$  находится из выражения

$$\operatorname{tg} \alpha = [(n_o^2 - n_e^2) \operatorname{tg} \beta] / (n_o^2 + n_e^2 \operatorname{tg}^2 \beta).$$

Угол  $\alpha$  принимает максимальное значение при  $\beta = 45^\circ$ . Для кальцита  $\alpha_{\max} = 6^\circ 13'$ , для кварца  $\alpha = 20'$ . Поэтому практически оптический пространственный фильтр изготавливают из кварца, поскольку фильтр из кальцита будет иметь

незначительную толщину (примерно 0,3 мм), что создает существенные трудности при его изготовлении. Положение оптического пространственного фильтра между объективом и мишенью передающей трубки не критично, так как фильтр не является элементом формирования изображения. Его достоинством является то, что он эффективно подавляет пространственные частоты в горизонтальном направлении и не ухудшает разрешающей способности в вертикальном.

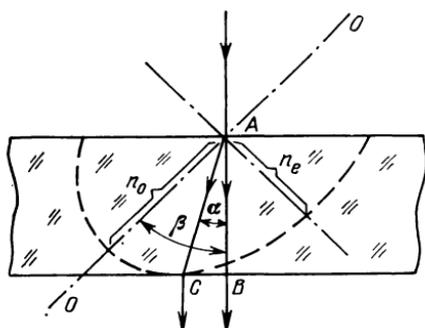


Рис. 18. Двойное лучепреломление в кристалле кальцита ( $O-O$  — оптическая ось кристалла,  $n_o$  и  $n_e$  — главные показатели преломления)

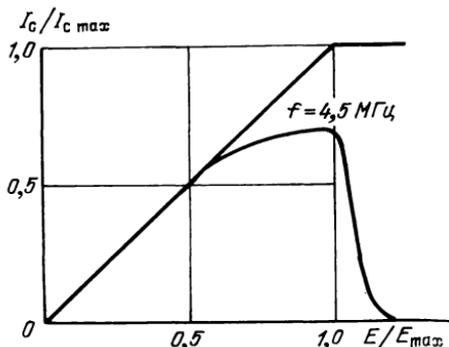


Рис. 19. К пояснению возникновения дифференциальных амплитудных ошибок в видеиконе

В передающих трубках, применяемых в камерах с растровыми светофильтрами, должны быть минимальны следующие параметры: неравномерность разрешающей способности по растру; наличие неравномерности вызывает различную глубину модуляции

Таблица 1

Трубка	Фирма, страна	Растровый светофильтр	Способ сочленения светофильтра с фотослоем	Сигнальный электрод	Наличие оптического фильтра
H8374 (FIC-видикон)	NEC Япония	Прозрачно-голубой и прозрачно-желтый	Рис. 16,б	Сплошной	Есть
S4070 (триникон)	«Хитачи» Япония	Красный, зеленый, синий (R, G, B)	Рис. 16,б	Секционированный	Нет
4445 (спектраплекс)	RCA США	Прозрачно-голубой и прозрачно-желтый	Рис. 16,а	Сплошной	Нет
HS250 (трехсигнальный видеикон)	«Хитачи» Япония	Красный, зеленый, синий (R, G, B)	Рис. 16,б	Секционированный	Нет
XQ1365 (интерплекс)	«Сименс» ФРГ	Прозрачно-голубой и прозрачно-желтый	Рис. 16,а	Сплошной	Нет

цветовых поднесущих, что приводит к ошибочному соотношению между сигналами основных цветов. Выравнивание разрешающей способности по растру может быть осуществлено применением динамической подфокусировки электронного луча; дифференциальные погрешности амплитуды; эти погрешности проявляются в передающих трубках с нелинейной световой характеристикой (рис. 19), выражаются в уменьшении сигналов поднесущих по отношению к сигналу низкочастотного участка спектра с увеличением освещенности фотослоя и могут быть устранены с помощью амплитудного корректора.

Таким параметрам удовлетворяют передающие трубки, созданные различными фирмами специально для однотрубочных камер (табл. 1).

### 2.3. КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КАМЕР И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФИЛЬТРОВ

В камере любой из цветных элементарных участков объекта преобразуется в три отдельных сигнала, которые после передачи можно было бы синтезировать на экране телевизора в первоначальный цвет. При создании камеры для этого необходимо произвести сквозной колориметрический расчет системы и, исходя в первую очередь из колориметрических свойств кинескопа воспроизводящего устройства, задать спектральные характеристики цветоделения камеры. Естественно, что для определения последних исходят из спектральных характеристик применяемых передающих трубок, спектрального распределения освещенности объектов передачи и на основе этих данных вырабатывают требования к спектральным кривым цветоделения светофильтров оптической системы камеры. Методика колориметрического расчета рассмотрена в [1, 14 и др.]. Расчет является трудоемкой операцией, и его целесообразно выполнять на ЭВМ.

При этом для ясного физического представления окончных устройств (камера, воспроизводящее устройство) принято пользоваться колориметрической системой *RGB*, а расчет промежуточных электрических цепей проще проводить по системе *XYZ*, связь между которыми здесь не освещается [15].

Колориметрические характеристики камер и кинескопов приемных устройств изображают с помощью цветового графика, принятого Международной комиссией по освещению (МКО) в 1931 г., учитывающего субъективные свойства цветовосприятия усредненного наблюдателя (рис. 20). На графике основные цвета *RGB* изображены в виде точек с координатами: красный  $X=0,670$ ;  $Y=0,330$ ; зеленый  $X=0,210$ ;  $Y=0,710$ ; синий  $X=0,141$ ;  $Y=0,080$ . Для других цветов значения координат иные. Все спектрально чистые цвета (мономатические излучения) представляются точками, образующими подковообразную кривую — локус, а на прямой, соединяющей точки синего и красного цветов, располагаются пур-

пурные цвета с оттенками, соответствующими соотношению этих цветов в смеси.

В центральной части этой замкнутой фигуры изображены точки «опорных» белых ахроматических излучений источников освещения передаваемых сцен, характеризуемых цветовой температурой. Вообще понятие «белого» с учетом субъективного восприятия является несколько неопределенным. В зависимости от вида источника освещения (дневной свет, искусственные источники) оттенки белого различны, но в восприятии при этом понятие «белого» в определенной мере сохраняется.

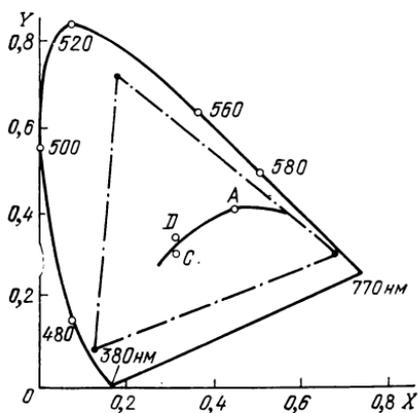


Рис. 20. Цветовой график МКО с цветностями основных цветов

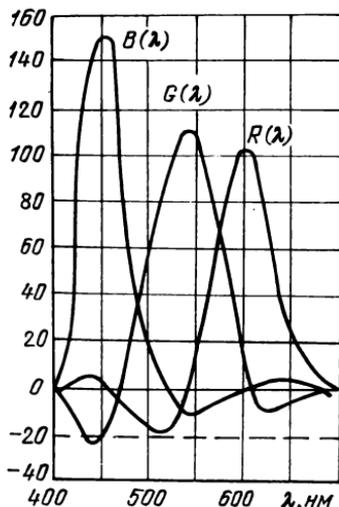


Рис. 21. Спектральные характеристики камеры для треугольника основных цветов и опорного белого

При колориметрическом расчете передающей камеры за опорный белый цвет в СССР и европейских странах принимают источник  $D$  с  $T=6500$  К, характерный для белого свечения триады люминофоров промышленных кинескопов. Он соответствует освещению в солнечный день при голубом небе источнику  $C$  с  $T=6770$  К. При передаче белого цвета на выходе передающих камер стараются обеспечить равенство сигналов основных цветов, так же как и на входе кинескопов. Рассогласование баланса белого в оконечных устройствах влияет на общий оттенок деталей цветных изображений.

Вне локуса находится область «нереальных» цветов, т. е. цветов, не воспринимаемых глазом, а внутри (см. рис. 20) штриховой линией изображен треугольник, примерно характеризующий расчетный цветовой охват трехтрубчатой камеры. Он близок к цветовому охвату типовых кинескопов. Максимальная насыщенность

цвета характеризуется пересечением прямой, проведенной из точки опорного белого до точек, характеризующих цветовой тон передаваемого участка объекта с соответствующей стороной треугольника охвата. Объекты, обладающие высокими насыщенностями цветов, выходящими за рамки треугольника охвата, будут переданы с одинаковой насыщенностью цветов.

При кодировании яркостный сигнал образуется суммированием первичных кривых смещения совместно с матрицированием и с учетом соотношения  $Y=0,59G+0,3R+0,11B$ .

При реализации колориметрического расчета наталкиваются на трудности. Первая из них связана с тем, что расчетные кривые светоделения трех каналов  $R$ ,  $G$ ,  $B$  камер (рис. 21) содержат наряду с положительными ветвями для соответствующих диапазонов спектра отрицательные ветви [1], а кривая  $R$  и побочный максимум. В светооптическом узле отрицательные ветви реализовать не удастся, поскольку они не реальны. Поэтому их приходится корректировать с помощью матричных корректоров — линейных суммарно-разностных четырехполосников.

Другая трудность — непостоянство характера освещения передаваемых сцен и объектов. Она преодолевается размещением в оптической системе дополнительных корректирующих светофильтров, компенсирующих изменение цветовой температуры освещения.

Особых отличий в колориметрических возможностях трехтрубчатых камер и однотрубчатых с растровыми светофильтрами нет.

Колориметрические соотношения для трехтрубчатой камеры определяются только в том случае, если тракты канала линейны, форма световых характеристик трубок одинакова, соблюдается идентичность параметров трубок по разрешающей способности, по инерционности и чувствительности по всему полю рабочих площадок мишеней. Несоблюдение этих условий вызовет цветовые искажения.

Колориметрические характеристики и общее качество камер этого класса существенно зависят от точности совмещения растров между трубками всех трех каналов по полю изображения. Как было отмечено ранее во время передачи программ или в течение работы камеры совмещение растров поддерживается с точностью примерно до десятых долей процента. В противном случае выводы о колориметрических и иных достоинствах подобных камер окажутся некорректными.

В однотрубчатых камерах с растровыми кодирующими светофильтрами нужной точности добиться легче. В кодирующие фильтры вводятся специальные средства жесткой временной или частотной (также фазовой) селекции цветов без существенного повышения требований к точности раstra, к линейности развертывающих устройств, искажениям растров типа дисторсий. В этом заключается их главное достоинство.

К числу основных недостатков однотрубных камер в аспекте их колориметрических свойств относятся повышение требований к разрешающей способности трубки и несколько меньшая чувствительность из-за меньшего, чем в трехтрубной камере, использования светового потока.

Сравнение камер, созданных различными зарубежными фирмами с совершенным технологическим оборудованием, показывает, что реальная разница по этим параметрам не столь велика, как это показали бы расчеты. Но главным недостатком однотрубных камер принято считать очень высокую сложность изготовления кодирующего светофильтра и его сочленения с другими узлами камеры.

Рассмотрим разработку данных элементов камеры, проведенную в лаборатории с несложным оборудованием применительно к видикону ЛИ-421 [16].

Кодирующие светофильтры, входящие в состав оптического узла однотрубной камеры, представляют собой две плоскопараллельные прозрачные пластинки, на которые нанесены полосы интерференционных покрытий, чередующиеся с прозрачными промежутками. Число полос в рабочей зоне светофильтра выбрано так, чтобы при их вертикальной ориентации к направлению строчной развертки частота повторения амплитудно-модулированных импульсов на выходе камеры соответствовала 5,0 МГц, при наклоне же полос светофильтра на  $45^\circ$  частота повторения импульсов снижалась до 3,5 МГц. При масштабе переноса светофильтра 1:1 на фотослое передающей трубки примерные значения ширины штриха интерференционного покрытия 25 мкм, шага 50 мкм, числа штрихов в рабочей зоне 260. Плоскопараллельные пластины с такими штриховыми интерференционными покрытиями затем

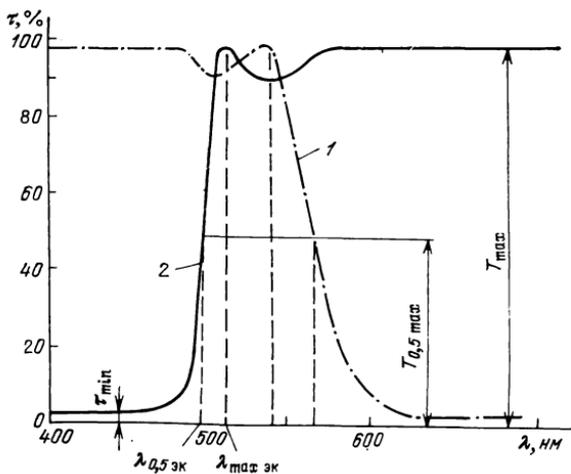


Рис. 22. Спектральные характеристики пропускания голубого 1 и желтого 2 растровых светофильтров

склеивались так, чтобы угол между штрихами желтого и голубого покрытий был  $45^\circ$ .

На рис. 22 приведены спектральные кривые пропускания кодирующих светофильтров в случае применения видикона ЛИ-421 (кривые 1 и 2).

Для получения требуемых спектральных характеристик пропускания были определены системы слоев интерференционных покрытий; система слоев для голубого светофильтра представляет собой десятислойное четвертьволновое покрытие из чередующихся слоев из материалов с высоким и низким показателями преломления, причем оптическая толщина последнего слоя  $\lambda/8$ . Система таких слоев записывается в виде  $10 \text{ ПВН} \dots \text{НВ}1/2$ , где П — подложка, В — слой из вещества с высоким показателем преломления и оптической толщиной  $\lambda/4$ ; Н — слой из вещества с низким показателем преломления и оптической толщиной  $\lambda/4$ .

Для желтого светофильтра использовалось тринадцатислойное четвертьволновое покрытие из таких же чередующихся веществ, но оптическая толщина первого и последнего покрытий была  $\lambda/8$ ; система таких слоев записывается в виде  $13 \text{ П} 1/2 \text{ ВН} \dots \text{ВН} 1/2 \text{ В}$ .

В качестве вещества с высоким показателем преломления использовался сульфид цинка ( $n=2,2 \dots 2,3$ ), в качестве вещества с низким показателем преломления — фтористый магний ( $n=1,38$ ). Покрытия наносились в вакууме под давлением не ниже ( $3 \cdot 10^{-5}$  мм рт. ст.) 0,4 Па. Для получения требуемой штриховой структуры интерференционных покрытий применялась технология, основанная на фотолитографических методах (рис. 23).

Собранный оптический узел укреплялся на типовой камере монохромного телевидения. Сложный сигнал с выхода камеры поступал на декодирующее устройство. В декодирующем устройстве вначале производилась гамма-коррекция характеристики свет — сигнал передающей трубки, а затем частотное разделение сигналов. Полосы пропускания полосовых фильтров 1,0 МГц; их центральные частоты 3,5 и 5,0 МГц; полосы пропускания фильтров нижних частот 3,0 и 0,5 МГц. В результате на выходе декодирующего устройства были получены сигналы красного, зеленого и синего цветоделенных изображений в полосе частот до 0,5 МГц и квазиаркостный сигнал изображения в полосе частот до 3,0 МГц. Затем полученные сигналы после обычной обработки подавались на цветное видеоконтрольное устройство.

Полученные цветные ТВ изображения демонстрировались широкому кругу специалистов. Качество цветного изображения оценивалось по визуальному впечатлению. Большинство наблюдателей была дана положительная оценка качества полученных цветных изображений. Специалисты, однако, оценивая изображение в целом как удовлетворительное, отмечали повышенный уровень помех на синих и в меньшей степени — на красных участках изображения. Эти искажения передающей трубки в области поднесущих частот и недостаточной чувствительностью предварительного уси-

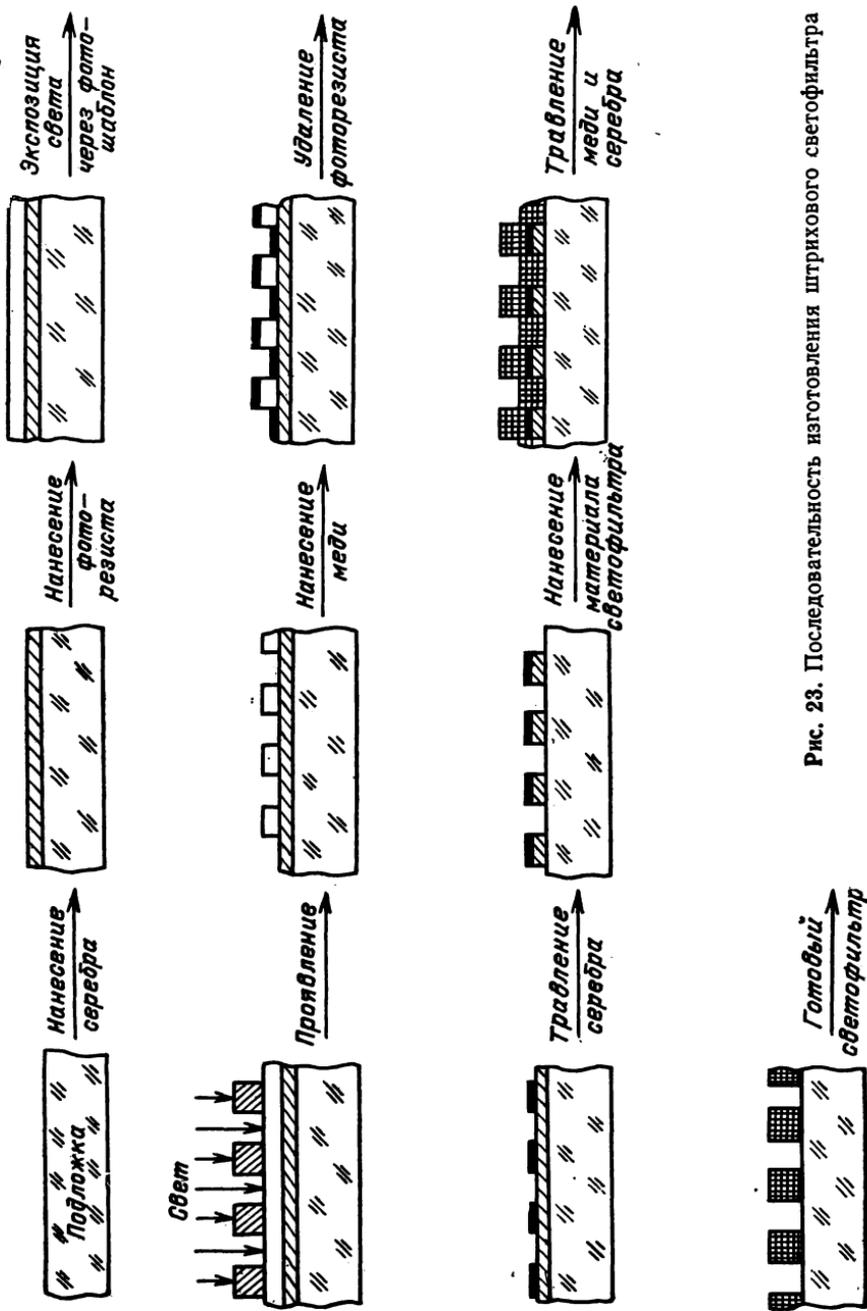


Рис. 23. Последовательность изготовления штрихового светофильтра

лителя. Стабильность воспроизведения цветов получалась достаточно высокой.

Расчет спектральных характеристик пропускания растровых светофильтров проводился для заданных типов передающих трубок и источника освещения, исходя из треугольника основных цветов европейского стандарта равносигнального белого цвета D6500 (белый цвет с цветовой температурой 6500 К). Замена типа источника освещения приводит к изменению соотношения сигналов основных цветов и соответственно к нарушению правильности цветопередачи. Эти искажения могут быть устранены применением корректирующих светофильтров, спектральные характеристики пропускания которых обратны спектральным характеристикам излучения источника освещения. Так, если в качестве источников освещения в помещении используются лампы накаливания с цветовой температурой, близкой к 3200 К, то в камере необходимо использовать корректирующий светофильтр, преобразующий спектр источника света 3200 К в спектр источника света 6500 К (рис. 24). При этом цветность изображения сдвигается в синюю область по сравнению с цветностью объектов в помещении, и наблюдатель воспринимает это как эффект освещения объектов дневным светом с цветовой температурой источника 6500 К.

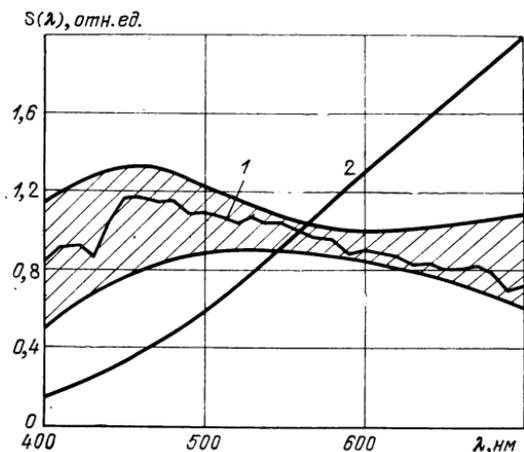


Рис. 24. Относительное спектральное распределение энергии излучений эталонного белого цвета D6500 К (1) и лампы накаливания с цветовой температурой, близкой к 3200 К (2) (заштрихованная область соответствует спектральному распределению энергии дневного света при различной облачности)

Простейший способ сочленения трубки с оптическим узлом посредством переноса изображения не является совершенным и пригоден для прикладного применения или же для проведения экспериментальных работ. Его достоинством является доступность выполнения при несложном оборудовании и использовании для построения камеры любой передающей трубки и несложного, легкого оптического узла.

### 3. КАМЕРЫ С ВРЕМЕННЫМ КОДИРОВАНИЕМ ЦВЕТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

#### 3.1. КАМЕРА НА ТРЕХСИГНАЛЬНОМ ВИДИКОНЕ

Трехсигнальный (трехцветный) видикон представляет собой прибор, осуществляющий непосредственное кодирование цветовой информации и генерирующий необходимые сигналы цветоделенных изображений. В основе работы трехсигнального видикона лежит принцип секционирования сигнальной пластины [17]. Мишень трубки содержит растровый светофильтр, состоящий из чередующихся триад цветных полосок (рис. 25). Каждая триада выполнена из узких вертикальных полосок красного, зеленого и синего

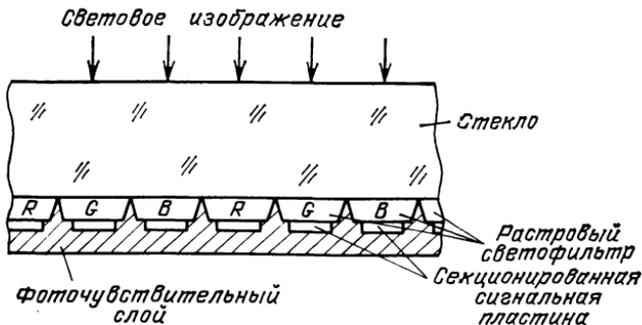


Рис. 25. Разрез мишени трехсигнального видикона

цвета. На цветные полоски светофильтра нанесены полупрозрачные проводящие полоски сигнальной пластины. Полоски сигнальной пластины, соответствующие определенному цвету, соединены между собой шинами, которые подключены к внешним выводам трубки. Фоточувствительный слой мишени сплошной, и образование потенциального рельефа происходит так же, как и в обычных

видиконах. К выводам отдельных секций подключают три нагрузочных сопротивления и три отдельных предварительных усилителя. При считывании потенциального рельефа в цепях сигнальных пластин появляются импульсы тока, пропорциональные цветовым составляющим изображения, проектируемого на фотослой.

Такой способ кодирования цветовой информации можно рассматривать как перемежение трех мишеней отдельных передающих трубок. Спектральные характеристики пропускания отдельных полосок в триа-

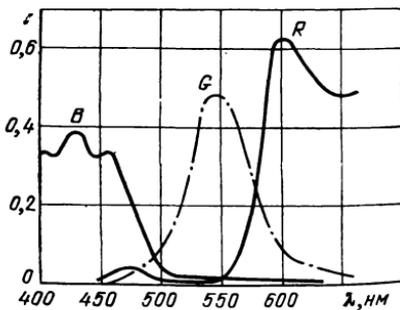


Рис. 26. Спектральные характеристики пропускания растровых светофильтров в трехсигнальном видиконе

дах светофильтра выбраны так, чтобы на внешних выводах трубки получались сигналы основных цветов (рис. 26).

Изготовление растрового светофильтра и соответствующей сигнальной пластины, а также совмещение полосок светофильтра с полосами сигнальной пластины является сложной задачей. В первом экспериментальном видиконе растровый светофильтр имел примерно 900 полосок, т. е. был рассчитан на передачу 250 ... 300 телевизионных линий. Для увеличения разрешающей способности, определяемой числом групп цветовых полосок светофильтра, длину рабочего участка мишени  $l_{\phi}$  увеличили с 12,7 до 15 мм.

Частота выборки одного элемента  $f = l_{\phi} / (T_{\text{стр}} - \delta_{\text{стр}}) d$ , где  $T_{\text{стр}}$  — длительность строки;  $\delta_{\text{стр}}$  — потери на обратный ход по строкам;  $d$  — шаг полосок.

Амплитудный спектр сигнала каждого из внешних выводов трубки состоит из спектров низкочастотного сигнала основного цвета и поднесущей, модулированной по амплитуде структурой растрового светофильтра.

Известно, что в цветном телевидении мелкие детали изображения передаются в черно-белом виде, так как глаз не различает цветов на мелких деталях при нормальных условиях наблюдения. При этом полоса частот для каждого из сигналов основных цветов и для создания изображения хорошего качества выбирается в пределах 1 ... 1,5 МГц.

Основным достоинством трехсигнального видикона является возможность кодирования цветовой информации без специальных цветоделительных устройств. Оптический узел камеры на такой трубке получается максимально простым и не отличается от оптического узла монохромной камеры. Однако между отдельными секциями сигнальной пластины имеются сильные емкостные связи (внутренние межсекционные емкости), что приводит к сильному взаимному влиянию сигналов друг на друга. Межсекционная емкость в первых образцах 600 ... 700 пФ. При наличии такой связи сигналы основных цветов при удовлетворительном отношении сигнал-шум выделяются с помощью использования предварительных усилителей с уменьшенным нагрузочным сопротивлением и специальных корректирующих схем. Структурная схема выделения сигналов основного цвета приведена на рис. 27. После предварительного усиления в сигналы цветоделенных изображений замещают сигнал гашения приемной трубки и устанавливают соответствующий уровень черного. Затем формируют сигналы нижнего поддиапазона с помощью ФНЧ с полосой пропускания 1,3 МГц и сигнал «смеси высоких» с помощью сумматора и ФВЧ. Этот сигнал добавляется к сигналам основных цветов после их окончательной обработки.

Практическая реализация камеры на трехсигнальном видиконе ограничивается следующими факторами: наличием взаимосвязи между отдельными сигнальными цепями, сложностью изготовле-

ния узла мишени, трудностью получения высокой разрешающей способности и чувствительности.

Для уменьшения взаимосвязи между сигнальными цепями необходимо в первую очередь уменьшать межсекционную емкость, что может быть достигнуто, например, путем «рифления» сигнальной пластины, т. е. размещения проводящих полосок в разных плоскостях с помощью «рифления» подложки. Использование такой кон-

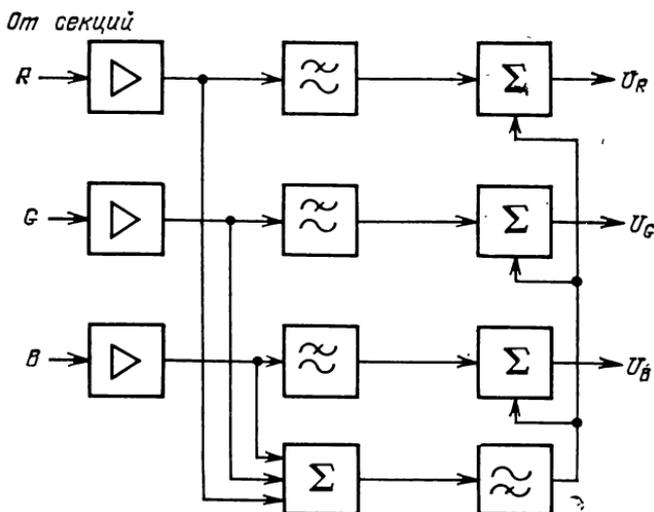


Рис. 27. Структурная схема разделения сигналов основных цветов в трехсигнальном видеиконе

струкции сигнальной пластины позволяет уменьшить емкость между секциями до 100 ... 200 пФ.

Для увеличения светового диапазона камеры трехсигнальный видеикон изготавливают с током считывающего пучка в 2 ... 3 раза большим обычного, что в сочетании с автоматической регулировкой диафрагмы объектива обеспечивает работу камеры в широком диапазоне освещенностей на объекте. Минимальная освещенность на объекте 250 лк. Недостаточная чувствительность трехсигнального видеикона объясняется большими потерями света в растровом светофильтре и элементах сопряжения фильтра и сигнальной пластины.

Для увеличения чувствительности камеры на трехсигнальном видеиконе предложено изменить спектральные характеристики пропускания растрового светофильтра [17]. Вместо  $RGB$  фильтров применяют фильтры  $R+G$ ,  $G$ ,  $B+G$  (рис. 28), из-за чего растровый светофильтр становится более простым в изготовлении. При этом полосы фильтра  $B+G$  делают шире остальных полосок, что позволяет увеличить на выходе трубки размах сигнала  $B$ , который прежде всего лимитирует общую чувствительность камеры.

Для уменьшения перекрестных искажений, обусловленных проникновением сигналов из одной сигнальной цепи в другие, между

растровым светофильтром и полосками сигнальной пластины помещают разделительную пленку из стекла толщиной 15 мкм, а сами полоски сигнальной пластины делают уже полосок светофильтра на 30%. Кроме того, полоски сигнальной пластины в секции соединяют только с одной стороны мишени (например, вверху). Эти меры позволяют значительно уменьшить паразитную межсекционную емкость, которая в последних образцах трехсигнального видикона 100 ... 150 пФ.

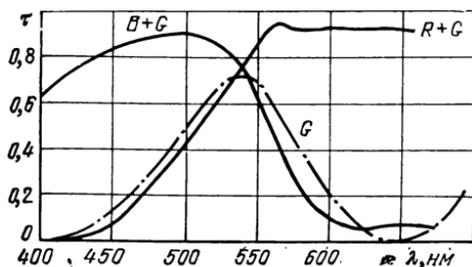


Рис. 28. Спектральные характеристики пропускания светофильтров в трехсигнальном видиконе с увеличенной чувствительностью

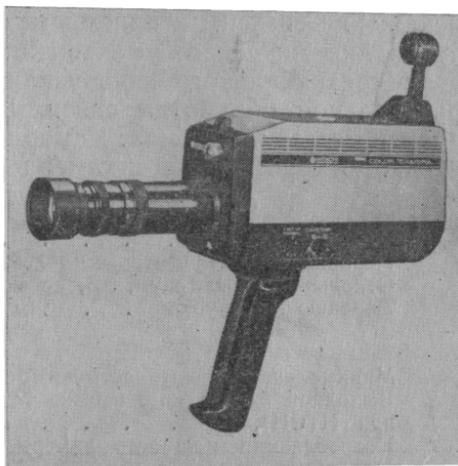


Рис. 29. Камера GP-5 фирмы «Хитачи» (Япония)

Фирма «Хитачи» на основе технологии ионно-плазменного травления и многоуровневой разводки разработала трехсигнальный видикон, сигнальная пластина которого имеет три изолированные секции по 226 полосок в каждой с шагом 20 мкм. Номинальная емкость между секциями мишени для 25-миллиметрового видикона 120 пФ, что позволило в камерном канале скомпенсировать перекрестные цветовые искажения при достаточно высоком отношении сигнал-шум. Растровый светофильтр с тем же шагом 20 мкм изготовлен с учетом спектральной чувствительности фотослоя из трехсернистой сурьмы и рассчитан для получения сигналов *B*, *G* и *R* соответственно в диапазонах 400 ... 520, 500 ... 580 и 550 ... 700 нм. Из этих сигналов легко формируется полный цветовой сигнал любой из систем вещательного телевидения: СЕКАМ, ПАЛ или НТСИ. Толщина изолирующей прослойки между светофильтром и сигнальной пластиной уменьшена до 50 мкм с учетом фактической глубины резкости изображения, проецируемого на мишень объективом с фокусным расстоянием 100 мм и относительным отверстием 1 : 4. Наклон световых характеристик отдельных секций мишени, снятых при цветовой температуре источника освещения 3200 К, одинаков ( $\gamma=0,4$ ), а разница абсолютных значений

сигналов  $R$ ,  $G$  и  $B$  составляет от 20 до 30% при номинальной освещенности на мишени 40 лк.

Трехсигнальный видикон обеспечивает работу в широком динамическом световом диапазоне (более чем в 3 раза) и хорошую передачу насыщенных цветов. На базе этого видикона фирмой «Хитачи» разработана передающая камера [18]. Эта камера отличается простотой схемной реализации, единственным трудным моментом в которой является компенсация перекрестных цветовых искажений, возникающих в видиконе из-за паразитных межсекционных емкостных связей. При паразитной емкости 100...120 пФ искажения сведены к приемлемому минимуму (единицы процента) путем динамического уменьшения полного сопротивления входной цепи трехканального видеоусилителя до 1 кОм при помощи отрицательной обработки связи. Большинство блоков камеры выполнено на микросхемах. Камера на трехсигнальном видиконе выпускается серийно, как и камера GP-5 (рис. 29) [18].

*Основные технические данные камеры GP-5*

Четкость, лин . . . . .	250
Неравномерность цветовых полей, %, не более . . . . .	12,6
Отношение сигнал-шум, дБ, не менее . . . . .	40
Передающая трубка . . . . .	трехсигнальный видикон фирмы «Хитачи»
Минимальная освещенность на объекте, лк . . . . .	100
Выходной сигнал на нагрузке 75 Ом (СЕКАМ, ПАЛ или НТСИ), В . . . . .	1
Потребляемая мощность камеры, В·А . . . . .	7,8
Масса, кг . . . . .	2,2
Габаритные размеры, мм . . . . .	91×125×230

### 3.2. КАМЕРА С ВРЕМЕННЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ ЦВЕТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Для значительного упрощения конструкции узла мишени трехсигнального видикона было предложено разделять цветовые сигналы не в трубке, а в усилительном тракте с использованием методов временной или амплитудной селекции [19]. В таких камерах кодирование цветовой информации также осуществляется с помощью растрового светофильтра, выполненного из вертикальных чередующихся красных, зеленых и синих полосок. Однако сигнальный электрод трубки сплошной, т. е. для этой камеры не надо изготавливать секционированную сигнальную пластину.

При считывании потенциального рельефа на выходе передающей трубки появится кодированный телевизионный сигнал, представляющий собой триады чередующихся импульсных сигналов трех цветоделенных изображений. Этот сигнал подается на входы трех стробируемых усилителей, которые поочередно отпираются на время, соответствующее времени прохождения считывающим лучом одной цветной полоски растрового светофильтра. Стробирующие импульсы формируются с помощью генератора и соответствующих линий задержки. Генератор управляется сигналом, посту-

пающим с временного (амплитудного) селектора. Таким образом на выходе усилителей будут три сигнала, каждый из которых несет информацию об одном цвете.

В камере с временным разделением сигналов основного цвета наличие даже незначительной нелинейности отклонения приводит к различию во времени коммутации цветовых элементов, расположенных вдоль строки; соответственно изменяется длительность генерируемых трубкой импульсных сигналов цветоделенных изображений, что создает возможность попадания сигналов основного цвета в соседние каналы (по времени отпираия). Поэтому цветовые искажения, обусловленные нелинейностью и нестабильностью строчной развертки камеры, являются одним из основных недостатков этих камер. Другим недостатком является трудность формирования стробирующих импульсов.

Сигналы основных цветов можно разделять и методами амплитудной селекции на основе различия размахов импульсных сигналов цветоделенных изображений. Для этого предложено использовать дополнительную подсветку мишени передающей трубки. В этом случае световая характеристика передающей трубки имеет малый рабочий диапазон.

### 3.3. КАМЕРА С ИНДЕКСНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ ЦВЕТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

**Однотрубочные камеры.** Чтобы устранить недостатки, присущие камерам с временным разделением цветовой информации, было предложено использовать вспомогательный импульсный сигнал, называемый индексным, который генерируется передающей трубкой. Этим сигналом синхронизируют процессы разделения сигналов основных цветов.

В наиболее простой камере с использованием индексного сигнала растровый светофильтр выполняется из вертикальных чередующихся красных, зеленых и синих, а также индексных полосок. Индексные полоски изготавливают из материала, непрозрачного или прозрачного для лучей спектра. Сигнальный электрод передающей трубки остается без изменений.

При считывании потенциального рельефа на выходе передающей трубки появится телевизионный сигнал, в котором между триадами импульсных сигналов цветоделенных изображений имеются импульсы от индексных полосок. Импульсы индексных сигналов выделяются через соответствующие линии задержки и используются для поочередного отпираия трех стробируемых усилителей. Структурная схема декодирующего устройства простой камеры аналогична схеме декодирующего устройства камеры с временным разделением цветовой информации.

Для улучшения амплитудной селекции индексного сигнала предложено использовать подсветку передающей трубки. При этом если индексные полоски изготовлены из непрозрачного материала для лучей света, то общий уровень сигналов цветоделенных изо-

бражений увеличивается, а индексный сигнал остается на уровне черного, т. е. соответствует уровню темнового тока передающей трубки. Для индексных полосок из прозрачного материала увеличивается только размах индексного сигнала. Однако в обоих случаях использования дополнительной подсветки камера имеет малый световой диапазон.

Несмотря на простоту и обеспечение строгой синхронности времени отпираания усилителей с временем поступления соответствующих сигналов цветоделенных изображений, простые камеры с индексным разделением цветовой информации имеют следующие недостатки: малые разрешающую способность и чувствительность (индексные полоски занимают часть полезной площади мишени передающей трубки); возникновение затягивания цветов на изображении из-за модуляции индексного сигнала цветовыми компонентами; возникновение муаров, которые являются продуктами биений между сигналами пространственных частот передаваемых изображений и различных комбинаций цветных и индексных полосок.

Предложены другие варианты построения портативных камер ЦТ с индексным разделением цветовой информации, в которых удастся устранить указанные недостатки.

Приведем пример однотрубочной индексной камеры на трубке триникон фирмы «Сони» (Япония) с оригинальным решением индексного кодирования сигналов цветности [20]. Триникон по габаритам и конструкции не отличается от обычных видиконов с диаметром колбы 25 мм. Особенность заключена в конструкции узла мишени, в которую встроены растровый светофильтр и специальный индексный электрод, представляющий собой двухсекционную сигнальную пластину.

На рис. 30 изображен узел мишени триникона, состоящий из стеклянной планшайбы 1, растрового светофильтра 3, тонкой стеклянной пластины 4, индексного электрода 5, фотослоя 6. Растровый светофильтр выполнен в виде вертикальных чередующихся красных, синих и зеленых полосок. Спектральные характеристики полосок светофильтра аналогичны спектральным характеристикам полосок светофильтра трехсигнального видикона. Ширина полосок 18 мкм, шаг триады 54 мкм.

Индексный электрод состоит из полосок сигнальной пластины, изготовленных из материала, прозрачного для лучей спектра. Пластины расположены параллельно полоскам растрового светофильтра (рис. 31), которые через одну электрически подсоединены к двум шинам, находящимся в верхней и в нижней части мишени соответственно. Шины подключены к внешним выводам трубки. Таким образом, два индексных электрода вложены друг в друга в виде гребня. Две полоски индексного электрода соответствуют одной триаде растрового светофильтра.

При проецировании на мишень триникона изображения белого поля на выходе трубки появится импульсный сигнал, соответствующий триадам растрового светофильтра и повторяющийся

на любой строке кадра, поскольку полоски растрового светофильтра расположены перпендикулярно направлению сканирования (рис. 32). Во время работы камеры к двум выводам индексного электрода кроме постоянного напряжения питания мишени  $U_m$  прикладывают управляющее напряжение  $U_{упр}$  с частотой  $f_{стр}/2$ . В цепи, показанной на рис. 33, для этой цели используют специальный высокочастотный трансформатор. В результате между

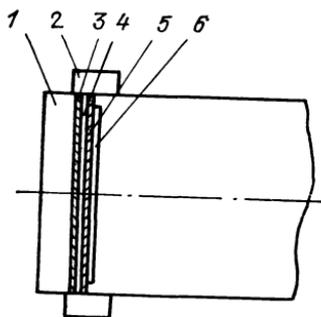


Рис. 30. Конструкция узла мишени передающей трубки триодикон:

1 — планшайба; 2 — выводы индексного электрода; 3 — растровый светофильтр; 4 — тонкая стеклянная пластина; 5 — индексный электрод; 6 — фотослой

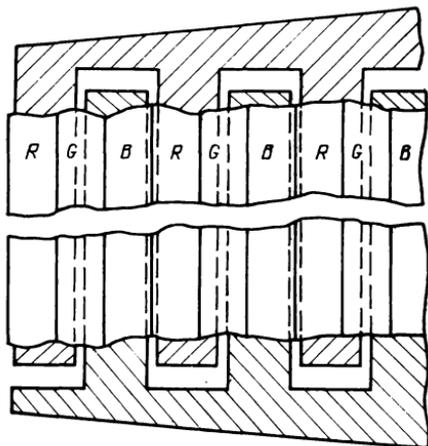


Рис. 31. Конструкция индексного электрода

двумя любыми соседними полосками индексного электрода появляется небольшое напряжение смещения, полярность которого изменяется на обратную на каждой следующей строке.

При сканировании потенциального рельефа на выходе передающей трубки появится сложный сигнал, в котором частота цветовой поднесущей, определяемая шагом триад растрового светофильтра, точно равна частоте индексного сигнала. Совпадение частот позволяет разделить сигналы индексный и основных цветов путем сложения или вычитания сигналов двух смежных строк с помощью линии задержки на длительность строки.

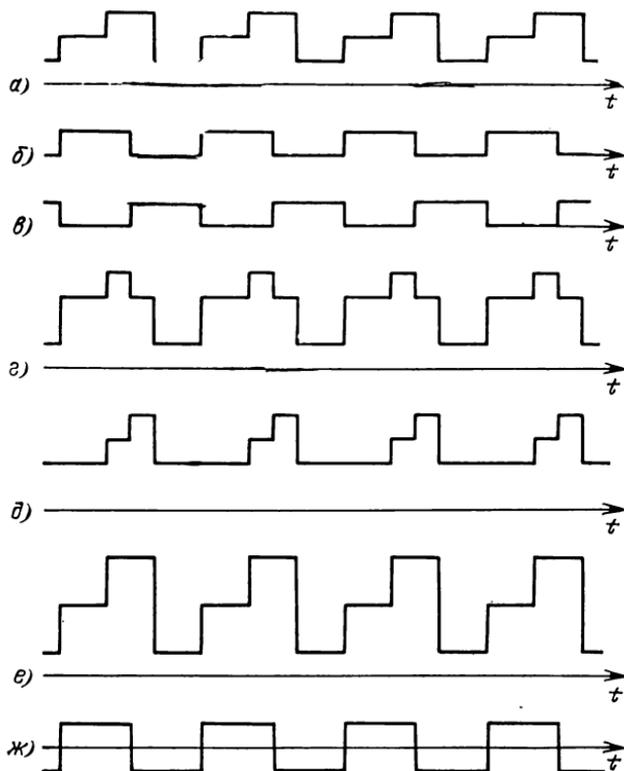
На выходе передающей трубки триодикон телевизионный сигнал

$$U(t) = a_0(U_R + U_G + U_B) + U_R a_1 \cos(\omega t + \theta_1) + U_G a_2 \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3} + \theta_1\right) + U_B a_3 \cos\left(\omega t + \frac{4\pi}{3} + \theta_1\right).$$

Первый член этого выражения представляет собой сумму низкочастотных составляющих красного  $U_R$ , зеленого  $U_G$  и синего  $U_B$  цветоделенных изображений. Остальные члены выражения — вы-

сокочастотные компоненты, модулированные по амплитуде сигналами красного, зеленого и синего цветоделенных изображений соответственно с учетом фазового времени кодирования.

Частота цветовой поднесущей, а следовательно, и частота индексного сигнала 4,5 МГц. При указанных выше параметрах растрового светофильтра полоса частот сигналов основных цветов при-



**Рис. 32.** К пояснению принципа работы передающей трубки триникон: **а** — форма выходного сигнала передающей трубки при отсутствии управляющего напряжения; **б**, **в** — форма управляющего напряжения на выводах индексного электрода; **г**, **д** — форма выходного сигнала передающей трубки двух смежных строк при подаче управляющего напряжения на выводы индексного электрода; **е** — форма выделенного сигнала основных цветов; **ж** — форма выделенного индексного сигнала

нята равной 950 кГц, т. е. амплитудно-модулированная поднесущая занимает в спектре частот кодированного сигнала диапазон частот 3,55 ... 5,45 МГц.

Рассмотрим работу декодирующего устройства, структурная схема которого приведена на рис. 34. Телевизионный сигнал с выхода триникона усиливается в предварительном усилителе и распределяется на каналы сигналов яркости и основных цветов.

В канале сигнала яркости осуществляются подавление цветовой поднесущей с помощью режекторного фильтра, апертурная коррекция, усиление и задержка сигнала для совмещения его по времени с цветоразностными сигналами. Сформированный сигнал яркости подается на кодирующее устройство. Одновременно сигнал с выхода режекторного фильтра через фильтр нижних частот с полосой пропускания 950 кГц поступает на матрицу для формирования цветоразностных сигналов  $U'_{R-Y}$  и  $U'_{B-Y}$ , скорректированных с учетом цветовой температуры используемых источников освещения.

В канале сигналов основных цветов сигнал с выхода предварительного усилителя подается на полосовой фильтр, в котором выделяется сигнал цветовой поднесущей, и далее на гребенчатый фильтр. Гребенчатый фильтр содержит линию задержки на длительность строки, сумматор, с выхода которого снимается цветная поднесущая, модулированная сигналами цветоразделенных изображений, и вычитатель, на выходе которого получается индексный сигнал.

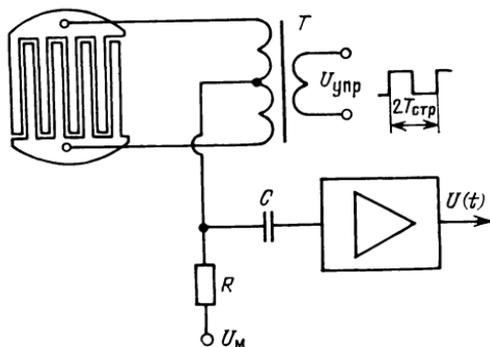


Рис. 33. Цепь подачи управляющего напряжения на выводы индексного электрода

с выхода которого снимается цветная поднесущая, модулированная сигналами цветоразделенных изображений, и вычитатель, на выходе которого получается индексный сигнал.

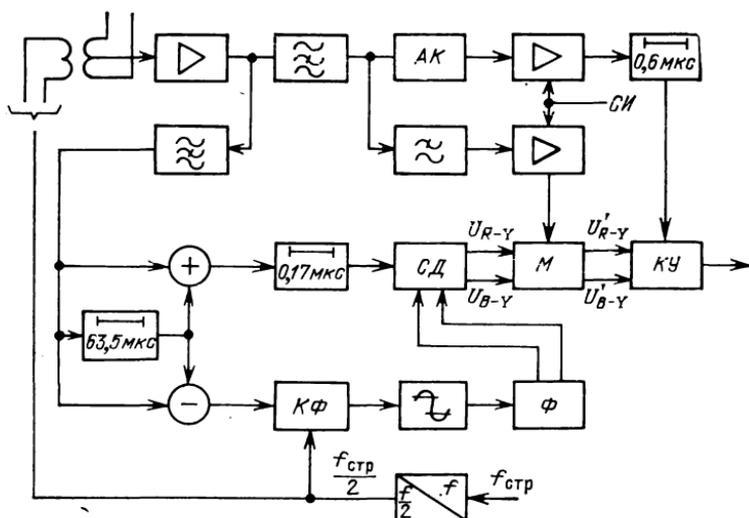


Рис. 34. Структурная схема декодирующего устройства камеры на передающей трубке триникон:

АК — апертурный корректор; СД — синхронный детектор; М — матрица; КУ — кодирующее устройство; КФ — коммутатор фазы; Ф — фазовращатель

Выделенный индексный сигнал поступает через коммутатор фазы и двусторонний ограничитель на фазовращатель для формирования двух сигналов опорной фазы, которые управляют работой синхронного детектора. В синхронном детекторе из сигнала цветовой поднесущей выделяются два цветоразностных сигнала  $U_{R-Y}$  и  $U_{B-Y}$ , которые подаются на матрицу и далее на кодирующее устройство, формирующее полный цветовой сигнал по системе НТСИ размахом 1 В на нагрузке 75 Ом.

Равенство пространственных частот сигналов триад полосок растрового светофильтра и любых двух полосок индексного электрода обеспечивает отсутствие перекрестных искажений между компонентами сигнала яркости и сигналов основных цветов. Однако требование сохранения цветового баланса, особенно при передаче черно-белых деталей изображения, обуславливает жесткие требования к точности изготовления растрового светофильтра и индексного электрода. Так, цветные полоски светофильтра и полоски индексного электрода в направлении сканирования должны быть совмещены с точностью 1—2 мкм, а допуск на их параллельность — не более 1'.

Камера на трубке триникон обеспечивает хорошее качество цветопередачи в широком диапазоне освещенностей на объекте. Для увеличения чувствительности кроме используемых в настоящее время красных, зеленых и синих полосок можно использовать полоски из дополнительных цветов (голубого, желтого и пурпурного).

Определяемая спектром частот сигнала яркости разрешающая способность камеры около 300 телевизионных линий.

Использование современной элементной базы позволило создать компактную камеру, включающую в себя декодирующее и кодирующее устройства. На рис. 35 показана камера цветного телевидения VVP-110P фирмы «Сони», которая известна как камера триникон. Камера выполнена на передающей трубке триникон диаметром 2/3 дюйма с магнитным отклонением и электростатической фокусировкой. Ширина цветных полосок растрового светофильтра 9 мкм, шаг триады 27 мкм. Камера оснащена малогабаритным электронным видискателем на кинескопе с диагональю 1,5 дюйма и вариообъективом с фокусным расстоянием 11...

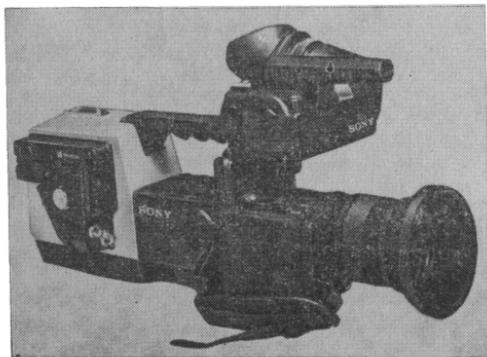


Рис. 35. Цветная камера VVP-110P фирмы «Сони» (Япония)

... 110 мм. Эксплуатация камеры крайне проста, так как она имеет незначительное число регулировок.

Основные технические данные камеры ВРР-110Р фирмы «Сони»

Разрешающая способность, лин . . . . .	400
Минимальная освещенность на объекте, лк . . . . .	80
Отношение сигнал-шум, дБ . . . . .	53
Размах выходного сигнала (на нагрузке 75 Ом, система ПАЛ), В . . . . .	1
Потребляемая мощность, В·А . . . . .	11
Габаритные размеры, мм . . . . .	365×215×193
Масса, кг . . . . .	2,95

Рассмотрим несколько камер, в которых предложены различные варианты индексного разделения цветовой информации.

**Двухтрубчатая камера.** Конструкцию такой камеры целесообразно рассмотреть на примере камеры японской фирмы NHK, которая широко использовалась на Олимпийских играх 1964 г. в городе Токио [21]. Камера выполнена на двух передающих трубках суперортикон, одна из которых формирует сигнал яркости с высокой разрешающей способностью, другая — сигнал цветовой поднесущей. Оптическая система камеры содержит цветоделительное зеркало и оптическое устройство с переносом изображения, в котором размещается растровый светофильтр, выполненный из вертикальных чередующихся красных, зеленых, синих и непрозрачных полосок. Общая ширина четырех полосок 430 мкм, что соответствует частоте цветовой поднесущей 850 кГц.

Увеличение ширины полосок растрового светофильтра по сравнению с растровым светофильтром однотрубчатой индексной камеры позволяет увеличить размах сигнала цветовой поднесущей благодаря тому, что цветная поднесущая формируется на участке апертурной характеристики трубки, соответствующем большей глубине модуляции. При этом улучшается отношение сигнал-шум в сигналах основного цвета, уменьшаются перекрестные помехи и улучшается цветовая однородность (лучшая равномерность фокусировки).

Декодирующее устройство двухтрубчатой камеры с индексным разделением работает следующим образом (рис. 36). Кодированный телевизионный сигнал  $U(t)$  с выхода передающей трубки канала цветности поступает на полосовой фильтр и одновременно на амплитудный ограничитель, который выделяет индексный сигнал. Из индексного сигнала в фазовращателе формируются три импульсных сигнала опорной фазы, используемые для получения сигналов основного цвета путем синхронного детектирования цветовой поднесущей. После временного совмещения и гамма-коррекции сигналы поступают на матрицу для формирования цветоразностных сигналов  $U_{R-Y}$  и  $U_{B-Y}$ . Телевизионный сигнал  $U_Y$  с выхода канала яркости и цветоразностные сигналы поступают на кодирующее устройство, в котором формируется полный цветовой сигнал по системе НТСИ.

Важным достоинством камер ЦТ с индексным разделением цветовой информации является то, что при ухудшении разрешающей способности на самых светлых участках изображения качество цветовоспроизведения остается удовлетворительным, так

как уменьшение цветовой насыщенности менее заметно, чем изменение цветности.

Следует отметить, что в рассматриваемой камере используются сложная оптическая система и устройство совмещения растров.

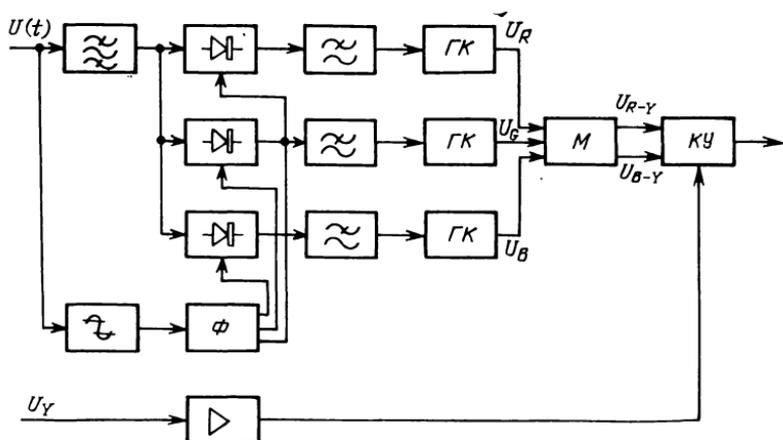


Рис. 36. Структурная схема декодирующего устройства двухтрубной камеры с индексным разделением цветовой информации:

ГК — гамма-корректор; М — матрица; КУ — кодирующее устройство;  $\Phi$  — фазовращатель

**Камера на передающей трубке бивикон.** В камере на передающей трубке бивикон сохранен изложенный принцип индексного разделения цветовой информации [22].

Передающая трубка содержит два видикона в одном баллоне, т. е. два отдельных раstra на мишени получаются с помощью двух независимых электронных пушек. При этом один растр используется для получения исходного сигнала яркости, а другой — цветовой поднесущей. Объединение двух передающих трубок в одном баллоне позволяет использовать одну фокусирующе-отклоняющую систему и, следовательно, обеспечить совмещение растров с удовлетворительной стабильностью и точностью. Одновременно значительно упрощается оптическая система камеры, так как два оптических изображения расположены на одной мишени.

**Камера с высокочастотным индексным сигналом.** Ранее уже отмечалось, что наличие индексных полосок в составе растрового светофильтра приводит к уменьшению разрешающей способности и чувствительности камеры, а также может явиться причиной проявления перекрестных цветовых искажений на изображении. Для устранения этого было предложено формировать высокочастотный индексный сигнал, частота которого выше частоты цветовой поднесущей и выше верхней граничной частоты выходного сигнала передающей трубки.

Камера выполнена на одной передающей трубке видикон, узел мишени которой содержит растровый светофильтр, изготовленный из вертикальных чередующихся красных, зеленых и синих полосок (рис. 37). Сигнальный электрод состоит из вертикальных проводящих полосок, прозрачных для лучей спектра, которые нанесены на светофильтр и соединены электрически между собой и с внеш-

ним выводом. Фоточувствительный слой — сплошной, и потенциальный рельеф считывается с помощью пучка медленных электронов. Ширина цветных полосок сигнального электрода выбрана такой, что при сканировании мишени частоты цветовой поднесущей и индексного сигнала 4 и 12 МГц соответственно. Такое

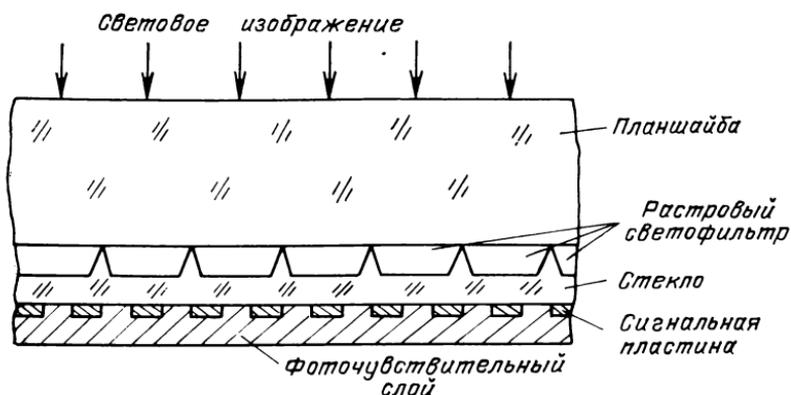


Рис. 37. Конструкция узла мишени передающей трубки с растровой сигнальной пластиной

соотношение частот исключает попадание в полосу частот сигнала яркости продуктов биений между сигналами выше названных частот (рис. 38). Измерения показали, что видикон с растровой сигнальной пластиной может генерировать индексный сигнал и при отсутствии освещенности мишени на частотах до 18 МГц. На рис. 39 приведены зависимость размаха индексного сигнала, гене-

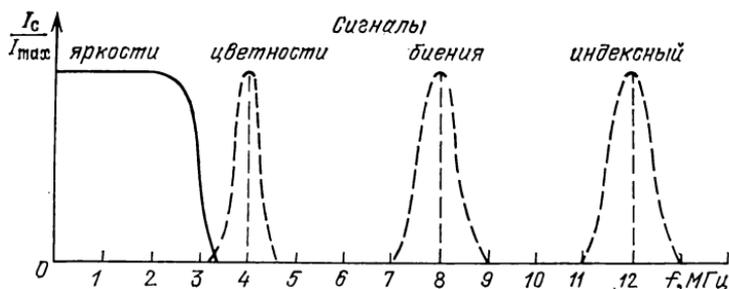


Рис. 38. Спектр сигнала на выходе передающей трубки с растровой сигнальной пластиной

рируемого трубкой, от числа полосок сигнального электрода (кривая 1) и апертурная характеристика трубки (кривая 2). Из графика видно, размах у индексного сигнала больше, чем у сигнала от многотриховых мир, используемых при снятии апертурной характеристики.

Рассмотрим, как формируется в декодирующем устройстве камеры индексный сигнал (рис. 40). Из сложного сигнала, поступающего с выхода передающей трубки, с помощью полосового фильтра с центральной частотой 12 МГц

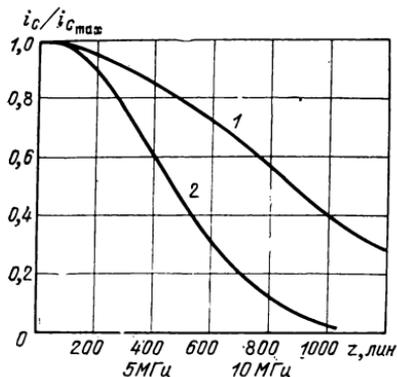


Рис. 39. Зависимость размаха индексного сигнала, генерируемого трубкой, от числа полосок сигнального электрода 1 и апертурная характеристика трубки 2

выделяется высокочастотный индексный сигнал, который после ограничения подается на делитель частоты с коэффициентом деления 3. С выхода делителя индексный сигнал с частотой 4 МГц (частота цветových групп) после задания нужной фазы подается на устройство разделения сигналов исходного цвета.

Основными недостатками камеры с высокочастотным индексным сигналом принято считать трудности создания передающей трубки с мелкоструктурной сигнальной пластиной и наличие неопределенности фазы индексного сигнала в начале строки, а также ошибки, возникающие при разделении сигналов.

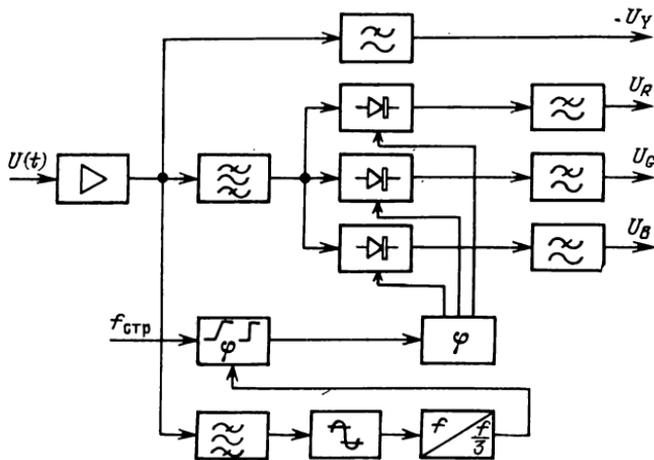


Рис. 40. Структурная схема декодирующего устройства камеры с высокочастотным индексным сигналом

### 3.4. КАМЕРА С ПОСТРОЧНЫМ КОДИРОВАНИЕМ ЦВЕТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Устройствам передачи цветовой информации на поднесущих при любых вариантах исполнения присущи искажения цветности изображения при прохождении сигнала через каналы связи с ограниченной полосой частот и сравнительно большими дифференциально-фазовыми и амплитудными искажениями.

Рассмотрим камеру со строочно-последовательным методом передачи цветовой информации, на выходе которой уплотненный телевизионный сигнал по форме и частотному спектру близок к сигналу монохромного телевидения. Последовательный цветовой сигнал может быть сформирован в ней на одной трубке при использовании растрового светофильтра с цветоделиением по стро-

кам [23]. Растровый светофильтр выполняется из тонких чередующихся красных, зеленых и синих полосок, ориентированных параллельно строкам телевизионного раstra. До недавнего времени совместить полоски растрового светофильтра со строками телевизионного раstra на мишени передающей трубки было практически невозможно из-за координатных искажений раstra. Разработка твердотельных преобразователей свет — сигнал позволила решить эту задачу.

Другим препятствием на пути реализации строчно-последовательного метода является трехкратное снижение четкости изображения по вертикали и наличие специфических растровых помех. Снижение четкости по вертикали в цветах еще допустимо, так как это согласуется со свойствами зрительного анализатора, но существенное снижение яркостной вертикальной четкости неприемлемо.

В [24] обоснована возможность сохранения высокой разрешающей способности по вертикали в канале яркости путем согласования колориметрического кодирования с цветовым содержанием объекта передачи. Устранить растровые помехи можно при применении в декодирующем устройстве (рис. 41) электрического фильтра с двумя линиями задержки на длительность строки. От устройства непосредственного декодирования строчно-последовательного сигнала она отличается наличием узла временного преобразования (показано штриховкой) и более сложного девятиканального коммутатора сигналов.

Камера с построчным кодированием сигналов основных цветов пока не вышла из стадии лабораторных исследований.

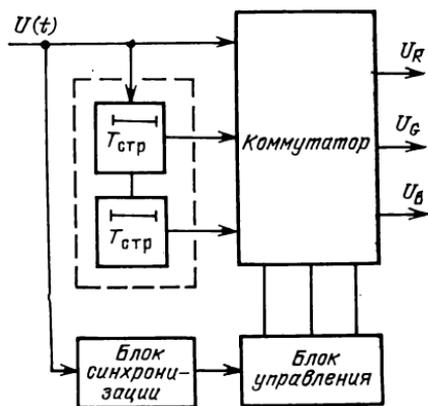


Рис. 41. Структурная схема декодирующего устройства камеры с последовательно-строчным кодированием сигналов

#### 4. КАМЕРЫ С ЧАСТОТНЫМ КОДИРОВАНИЕМ ЦВЕТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

##### 4.1. КАМЕРА С ЧАСТОТНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ ЦВЕТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

В камерах с частотным разделением цветовой информации перед светочувствительной поверхностью передающей трубки устанавливают двухслойный растровый светофильтр [11]. Первый слой светофильтра образован чередующимися голубыми и прозрачными полосками равной ширины. Во втором слое чередуются желтые и прозрачные полоски также равной ширины, но более широкие, чем в первом слое. Для зеленых лучей такой двухслойный светофильтр прозрачен; красные лучи проходят только через прозрачные полоски первого слоя, синие — через прозрачные полоски второго слоя. При сканировании потенциального рельефа на выходе передающей трубки появится сложный сигнал, в котором кроме

низкочастотных составляющих красного, зеленого и синего цветоделенных изображений имеются две поднесущие, модулированные по амплитуде сигналами красного и синего цветоделенных изображений (рис. 42, а). На выходе передающей трубки сигнал изображения

$$U(t) = U_G + 0,5 a_R U_R (1 \pm m_R \sin \omega_R t) + 0,5 a_B U_B (1 \pm m_B \sin \omega_B t),$$

где  $a_R$  и  $a_B$  — постоянные, определяемые освещенностью и спектральной чувствительностью передающей трубки;  $m_R$  и  $m_B$  — коэффициенты, учитывающие апертурные характеристики передающей трубки;  $\omega_R$  и  $\omega_B$  — пространственные частоты желтого и голубого растровых светофильтров.

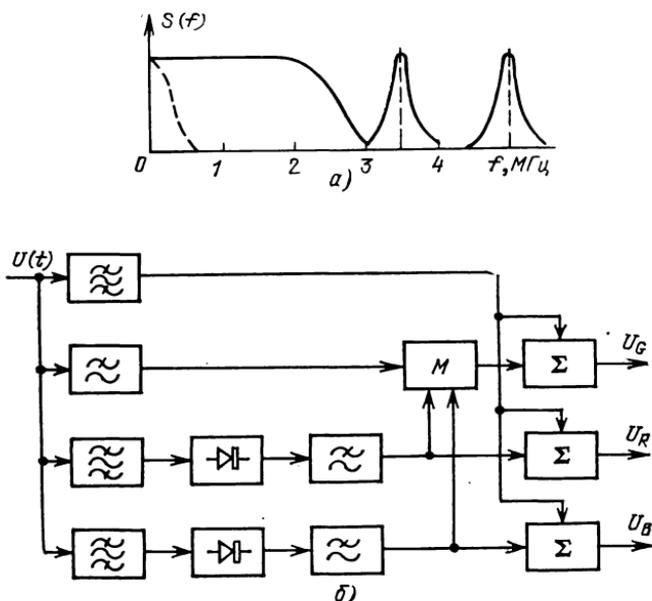


Рис. 42. Декодирующее устройство камеры с частотным разделением цветовой информации:  
а — амплитудный спектр на выходе передающей трубки; б — структурная схема декодирующего устройства

Частоты  $\omega_R$  и  $\omega_B$  выбираются из условия, чтобы на каждой поднесущей можно было передать все изменения сигнала цветоделенного изображения с учетом свойств цветового зрения человеческого глаза.

С учетом апертурной характеристики передающей трубки и необходимой разности частот между двумя поднесущими сигнал мелких деталей изображения занимает полосу частот примерно 3 МГц, что соответствует разрешающей способности 250 ... 300 лин. Этот сигнал подобен сигналу яркости стандартной системы цветного телевидения и называется квазияркостным сигналом. Заме-

тим, что цветное изображение несет много дополнительной информации по сравнению с черно-белым изображением. Квазияркостный сигнал кроме зеленой составляющей содержит красную и синюю составляющие. Поэтому сигнал  $U_G$  получают из квазияркостного сигнала ( $U_G + 0,5a_R U_R + 0,5a_B U_B$ ) и сигналов  $U_R$ ,  $U_B$ .

Рассмотрим построение декодирующего устройства [25], предназначенного для получения трех сигналов основных цветов (рис. 42, б). Сигнал синей составляющей получается в амплитудном детекторе, на вход которого подается часть спектра выходного сигнала камеры, соответствующая частоте несущей  $\omega_B$  вместе с боковыми частотами. Эта часть спектра выделяется перед детектированием сигнала полосовым фильтром с центральной частотой  $\omega_B$ . Часть спектра, содержащая сигнал поднесущей  $\omega_R$  вместе с боковыми составляющими, выделяется вторым полосовым фильтром с центральной частотой  $\omega_R$  и поступает затем на второй амплитудный детектор, с выхода которого снимается сигнал красной составляющей. Сигнал зеленой составляющей получается в матрице  $M$ , на входы которой поступают инвертированные сигналы с выходов двух амплитудных детекторов, а также выделенный фильтром нижних частот квазияркостный сигнал. Полоса прозрачности этого фильтра соответствует спектру частот сигналов, получаемых на выходе амплитудных детекторов. Сигналы зеленой, красной и синей составляющих поступают на сумматоры, где к каждому из них добавляется сигнал смеси высоких частот, содержащий информацию о мелких деталях изображения. Его выделяют фильтром, полоса прозрачности которого занимает участок от частоты среза фильтра нижних частот, выделяющего низкочастотный участок спектра квазияркостного сигнала, до нижней частоты среза полосового фильтра, выделяющего низшую из цветных поднесущих. С выходов сумматоров сигналы трех цветоделенных изображений подаются в стандартный камерный канал цветного телевидения.

Известно несколько типов камер с частотным разделением сигналов основного цвета.

В камере РК-730 фирмы RCA на трубке спектраплекс [11] прозрачно-желтый растровый светофильтр имеет шаг 50 мкм и образует поднесущую с частотой 5 МГц, которая вместе с боковыми частотами занимает полосу 1 МГц на уровне 3 дБ, т. е. 4,5... 5,5 МГц. Полоски этого светофильтра установлены перпендикулярно направлению строчной развертки изображения. В трубке спектраплекс для облегчения изготовления прозрачно-голубого светофильтра его шаг делают также равным 50 мкм, но полоски поворачивают относительно линии сканирования. При этом шаг растрового светофильтра вдоль линии сканирования будет пропорционален косинусу угла поворота. При развороте полосок на угол 45° фильтр, имеющий шаг 50 мкм, вдоль линии сканирования имеет шаг 60 мкм и образует поднесущую с частотой 3,5 МГц, которая также занимает полосу частот 1 МГц на уровне 3 дБ, т. е. спектр 3... 4 МГц.

Растровый светофильтр сопрягается с передающей трубкой при помощи волоконной планшайбы. Шаг полосок светофильтров, а также их угол наклона подобран так, чтобы сигнал разностной частоты биений 1,5 МГц имел относительный сдвиг по фазе на  $180^\circ$  от строки к строке.

*Основные технические данные камеры РК-730*

Передающая трубка . . . . .	видикон спектра- плекс 8507/4459
Отношение сигнал-шум, дБ, в каналах:	
<i>R</i> . . . . .	42
<i>G</i> . . . . .	45
<i>B</i> . . . . .	39
Разрешающая способность, лин . . . . .	250
Освещенность на объекте, лк . . . . .	150
Габаритные размеры, мм . . . . .	390×200×590
Масса, кг . . . . .	20

В камере японской фирмы «Ниппон Колумбия» на передающей трубке FIC-видикон применены прозрачно-желтый и прозрачно-голубой растровые светофильтры с разным шагом: 30 и 61 мкм соответственно. При сканировании образуются две поднесущие с частотами 5,1 и 3,6 МГц. Отличительной особенностью передающей трубки FIC-видикон является примененный в ней способ совмещения растровых светофильтров с мишенью [26].

Для устранения биений разностной частоты полосы светофильтров повернуты относительно перпендикуляра к направлению сканирования по строке в разные стороны на небольшие углы.

*Основные технические данные камеры СК-156*

Передающая трубка	FIC-видикон С-1102
Разрешающая способность, лин . . . . .	270
Отношение сигнал-шум в канале яркости, дБ . . . . .	40
Освещенность на объекте, лк . . . . .	300
Габаритные размеры, мм . . . . .	150×200×400
Масса, кг . . . . .	8,5
Потребляемая мощность, В·А . . . . .	95

**4.2. КАМЕРА С ФАЗОВЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ ЦВЕТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Недостатком камеры с частотным разделением цветовой информации является ограниченная разрешающая способность, которую нельзя увеличить из-за того, что большую часть спектра частот занимают спектры двух амплитудно-модулированных поднесущих. Кроме того, на цветном изображении наблюдаются флуктуационные помехи, обусловленные спадом апертурной характеристики передающей трубки в области верхних частот. Отсюда небольшой размах верхней поднесущей и недостаточное отношение сигнал-шум после ее детектирования.

Устранить указанные недостатки можно с помощью формирования цветowych поднесущих в одном частотном диапазоне путем

перемежения их спектров, что можно делать двумя способами. Рассмотрим их.

Фазовое разделение двух сигналов основных цветов. В такой камере используются растровые светофильтры, выполненные из прозрачно-желтых и прозрачно-голубых полосок. Известны два варианта взаимного расположения полосок штриховых светофильтров (рис. 43). В первом варианте прозрачно-желтые полоски светофильтра располагаются перпендикулярно направлению строчной развертки. Шаг полосок выбирается с учетом

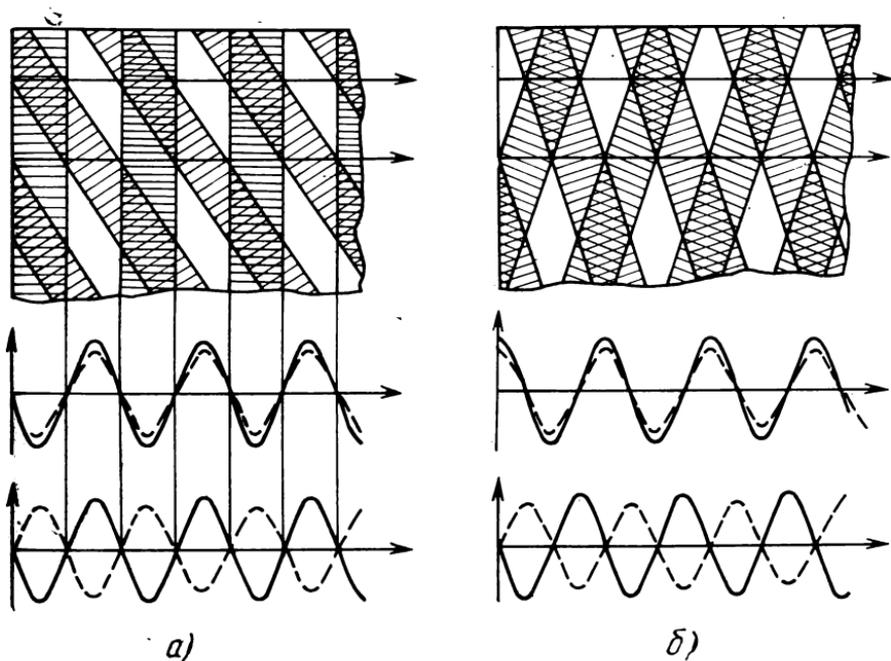


Рис. 43. Два варианта структуры двухслойного растрового светофильтра и первые гармоники сигнала двух поднесущих в смежных строках полукадра

стандарта разложения и частоты поднесущей, значение которой может быть приравнено к частоте цветовой поднесущей стандартной системы цветного телевидения, равной 4,3 МГц. Полоски прозрачно-голубого светофильтра располагают наклонно. Их шаг в направлении сканирования должен совпадать с шагом полосок первого светофильтра. В этом случае в спектре выходного сигнала камеры на одной поднесущей передается информация о двух основных цветах в виде перемежающихся между собой спектральных составляющих. Для того чтобы спектры модулированных поднесущих перемежались, необходимо обеспечить смену фазы импульсов поднесущей, образуемой с помощью прозрачно-голубого фильтра, на  $180^\circ$  от строки к строке. При этом гармоники поднесущей располагаются в интервалах между гармониками строчной частоты,

а гармоники поднесущей от прозрачно-желтого светофильтра совпадают с гармониками строчной частоты, так как полосы этого светофильтра располагаются перпендикулярно линии сканирования.

Сигналы основных цветов разделяют с помощью метода гребенчатой фильтрации. Структурная схема декодирующего устройства камеры с фазовым разделением двух сигналов основных цветов представлена на рис. 44. Перед гребенчатым фильтром ставится один полосовой фильтр с полосой пропускания 1 МГц. Фильтр нижних частот имеет полосу прозрачности 4 МГц, что обеспечивает повышение разрешающей способности камеры до 350...370 лин.

Гребенчатый фильтр содержит канал задержанного сигнала с временем задержки, равным длительности одной строки  $T_{стр}$ , и канал прямого сигнала — без задержки. При этом в сумматоре, находящемся

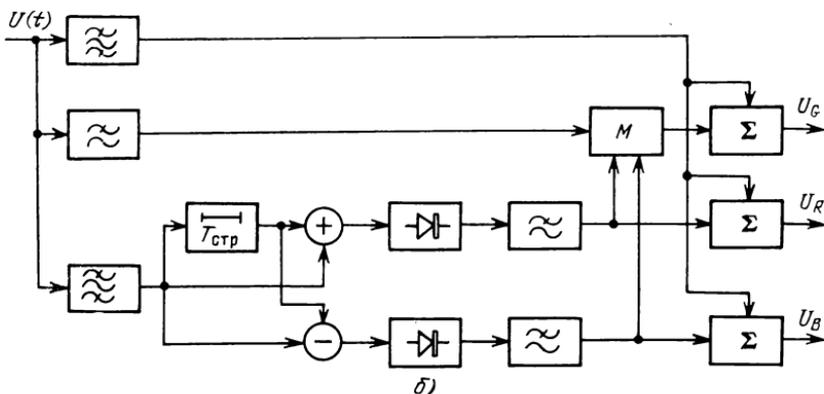
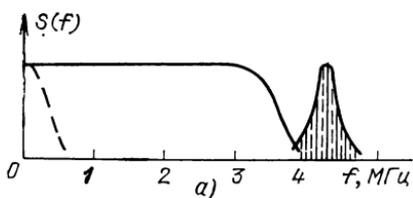


Рис. 44. Декодирующее устройство камеры с фазовым разделением цветовой информации:

а — амплитудный спектр на выходе передающей трубки; б — структурная схема декодирующего устройства

на выходе гребенчатого фильтра, будет выделен сигнал поднесущей от прозрачно-желтого фильтра, а в вычитателе — от прозрачно-голубого.

Важное преимущество камеры с фазовым разделением сигналов основных цветов заключается в более эффективном использовании частотного спектра и в повышении отношения сигнал-шум по крайней мере в 1,4 раза из-за снижения цветовой разрешающей способности по вертикали. Четкость по вертикали для сигналов основного цвета уменьшается в 2 раза из-за усреднения сигналов двух смежных строк одного полукадра, что вполне допустимо. Такая же потеря четкости принята в системе СЕКАМ. Кроме того, улучшается цветовая однородность (лучшая равномерность

фокусировки) благодаря тому, что цветовые поднесущие формируются на одном участке апертурной характеристики передающей трубки.

Во втором варианте (см. рис. 43, б) полосы светофильтров имеют одинаковый шаг и развернуты относительно перпендикуляра к направлению сканирования на один и тот же угол  $\pm\alpha$ , что обеспечивает равное значение частот поднесущих. Угол  $\alpha$  выбирается из условия смены фаз каждой поднесущей на соседних строках раstra на  $\pm 90^\circ$ .

Таким образом, сдвиг фазы поднесущих оказывается равным  $180^\circ$ , из-за чего они перемежаются. Гармоники обеих поднесущих сдвинуты относительно гармоник строчной частоты в разные стороны на одну четверть периода строчной частоты [27, 28].

Из-за такого разноса гармоник необходимо устанавливать в прямом или в задержанном канале гребенчатого фильтра дополнительную линию задержки на время, равное одной четверти периода поднесущей (фазовращатель на  $90^\circ$ ). В остальном структурная схема декодирующего устройства не отличается от приведенной на рис. 44.

*Основные технические данные камеры ИК-12 фирмы «Тошиба» (Япония)*

Передающая трубка . . . . .	видикон E5080/8541
Частота цветовой поднесущей, МГц . . . . .	3,58
Разрешающая способность, лин . . . . .	250
Рабочий световой диапазон, лк . . . . .	500 ... 100 000
Габаритные размеры, мм . . . . .	90×170×350
Масса, кг . . . . .	2,6

В камере с фазовым разделением сигналов основного цвета наличие сдвига гармоник обеих поднесущих на  $1/4f_{стр}$  позволяет не только разделить информацию о красном и синем светоделенных изображениях, но и выделить гармоники строчной частоты, т. е. увеличить разрешающую способность камеры в горизонтальном направлении.

Характер перемежения спектров сигналов яркости и цветности в интервале частот 4...5 МГц наглядно иллюстрируется спектрограммами, представленными на рис. 45, которые получены при передаче изображения таблицы 0249. Из спектрограмм можно получить представление о средней структуре спектра кодированного сигнала на выходе однострубочной камеры с фазовым разделением сигналов основного цвета [29]. Максимумы спектральной плотности сигналов сдвинуты на  $\pm 1/4f_{стр}$  относительно гармоник частоты строк, как и в сигнале системы ПАЛ.

Действительно, в смежных строках одного полукадра сигналы поднесущих имеют вид  $U_n = U_B \sin \omega_0 t + U_R \sin \omega_0 t$ ,  $U_{n+1} = U_B \cos \omega_0 t - U_R \cos \omega_0 t$ , где  $U_B$  и  $U_R$  — цветовые сигналы;  $\omega_0$  — круговая частота поднесущей.

Как видно из этого выражения, аналогия с системой ПАЛ объясняется строчным изменением фазового угла обоих компонент цветности.

Амплитудные соотношения между спектральными составляющи-

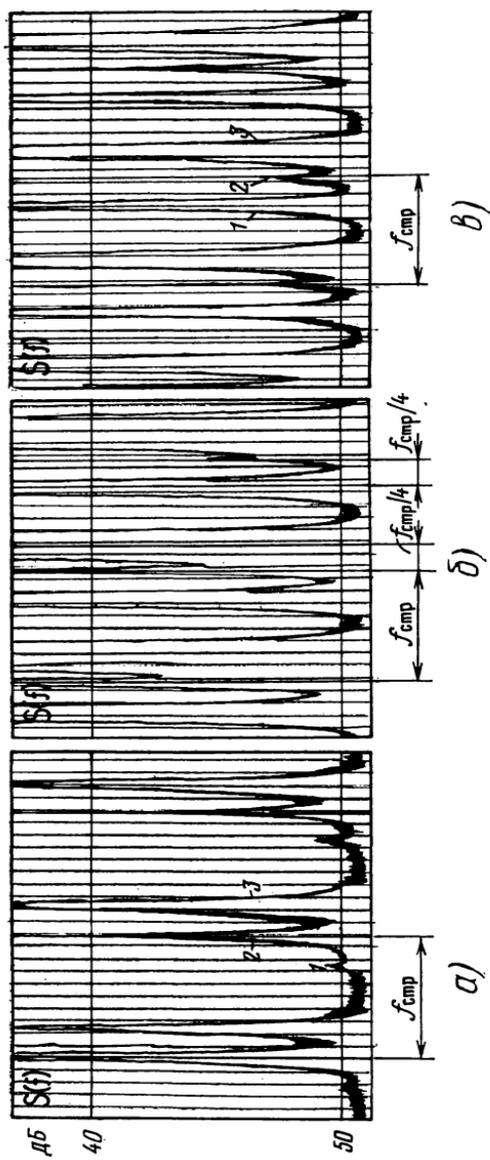


Рис. 45. Спектрограммы, характеризующие перемену спектров сигналов яркости и сигналов основных цветов:

1 — спектральные компоненты сигнала *В*; 2 — то же для сигнала *У*; 3 — то же для сигнала *Р*  
 $a — f_{ср} = 4$  МГц;  $б — f_{ср} = 4,5$  МГц;  $\theta — f_{ср} = 5$  МГц

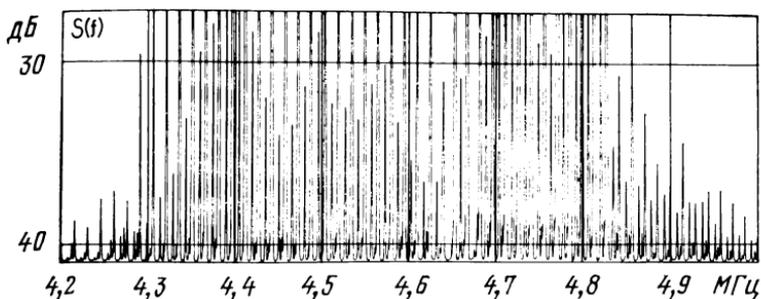


Рис. 46. Спектрограмма, характеризующая распределение спектральных составляющих сигналов основных цветов

ми сигналов поднесущих и яркости иллюстрируют спектрограммы, показанные на рис. 46. В области поднесущей частоты компоненты сигнала основного цвета имеют значительный уровень и превышают уровень компонент сигнала яркости на 20... 25 дБ. Высоко-частотные компоненты сигнала основного цвета соизмеримы с компонентами яркости на частотах 4 и 5 МГц. Полоса частот сигналов основного цвета не превышает 500 кГц. Необходимо отметить, что цветовые поднесущие формируются в передающей трубке, поэтому ограничение полосы частот обусловлено спадом апертурной характеристики видикона в районе поднесущей и, как следствие, уменьшением отношения сигнал-шум в сигналах основного цвета при их демодуляции.

Анализ спектрограмм позволяет объяснить причины возникновения перекрестных искажений «яркость — цветность» и «цветность — цветность» при использовании гребенчатого фильтра на одной линии задержки. Частотные характеристики каналов  $R$  и  $B$  гребенчатого фильтра представляют собой периодически повторяющиеся полосы прозрачности, максимумы которых соответствуют спектральным компонентам сигналов основного цвета и сдвинуты относительно гармоник частоты строк на  $\pm 0,5f_{стр}$ , что соответствует фазовым углам  $\pm \pi/2$  (рис. 47). При этом гармоники частоты строк сигнала яркости ослабляются всего на 3 дБ ( $\cos 0,5\pi = \sin 0,5\pi = 0,707$ ) и попадают на выход каналов  $R$  и  $B$ , образуя искажения на контурах цветного изображения. Кроме того, опыт работы с таким фильтром показал, что поскольку области подавления частотных характеристик каналов  $R$  и  $B$  крайне узки (имеют форму узких выбросов), то необходимо обеспечить временную и температурную стабильности положения нулей частотных характеристик и тщательную настройку фильтра. Невыполнение этих требований приводит к появлению дополнительных искажений «цветность — цветность», которые проявляются в уменьшении насыщенности и изменении цветового тона.

В однотрубных камерах с растровыми светофильтрами для устранения перекрестных искажений «яркость — цветность» необходимо применять оптический фильтр нижних пространственных частот, который ослабляет спектральные составляющие яркостного

сигнала в полосе частот, занимаемой цветовыми поднесущими. При этом разрешающая способность камеры в горизонтальном направлении ограничивается.

Описанные выше искажения могут быть значительно уменьшены при использовании более сложного гребенчатого фильтра на двух линиях задержки. Одновременно появляется возможность увеличить разрешающую способность камеры в горизонтальном направлении, благодаря тому, что полностью очищены компоненты яркостного сигнала от составляющих сигналов основного цвета.

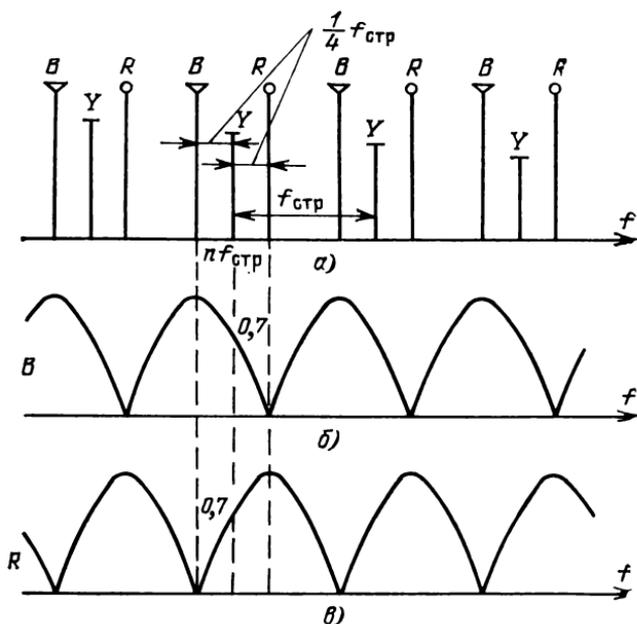


Рис. 47. Разделение сигналов основных цветов с помощью гребенчатого фильтра на одной линии задержки:  
 а — линии спектра кодированного сигнала; б — частотная характеристика канала В; в — то же для канала R

Рассмотрим структурную схему гребенчатого фильтра (рис. 48). Если коэффициенты передачи каналов прямого и задержанного сигналов равны единице, то для каналов R и B частотные характеристики

$$K_R(\omega) = 4 |\sin 0,5 \omega T \cos 0,5 \omega (T + \tau)|,$$

$$K_B(\omega) = 4 |\sin 0,5 \omega T \sin 0,5 \omega (T + \tau)|,$$

где  $T$  — длительность строки;  $\tau$  — длительность, равная 1/4 периода цветовой поднесущей.

Нули частотных характеристик по приведенным выражениям соответствуют спектральным компонентам сигнала яркости и ложного сигнала основного цвета, а максимумы — спектральным компонентам выделяемого сигнала основного цвета.

На рис. 49 показаны частотные характеристики каналов формирования сигналов основного цвета и яркости. Как видно из рисунка, гребенчатый фильтр не только выделяет составляющие  $R$  и  $B$ , но и полностью очищает их от компонентов яркостного сигнала, т. е. сводит к нулю искажения «яркость — цветность».

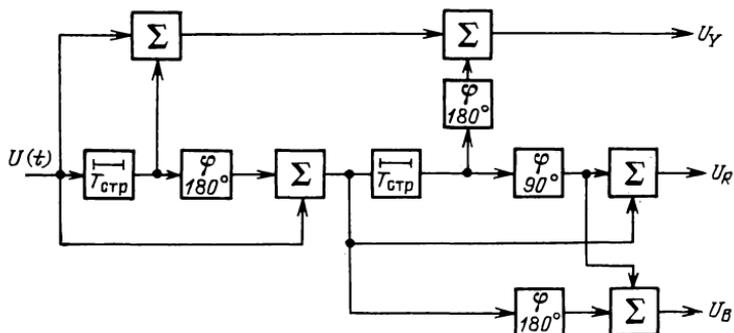


Рис. 48. Структурная схема гребенчатого фильтра на двух линиях задержки

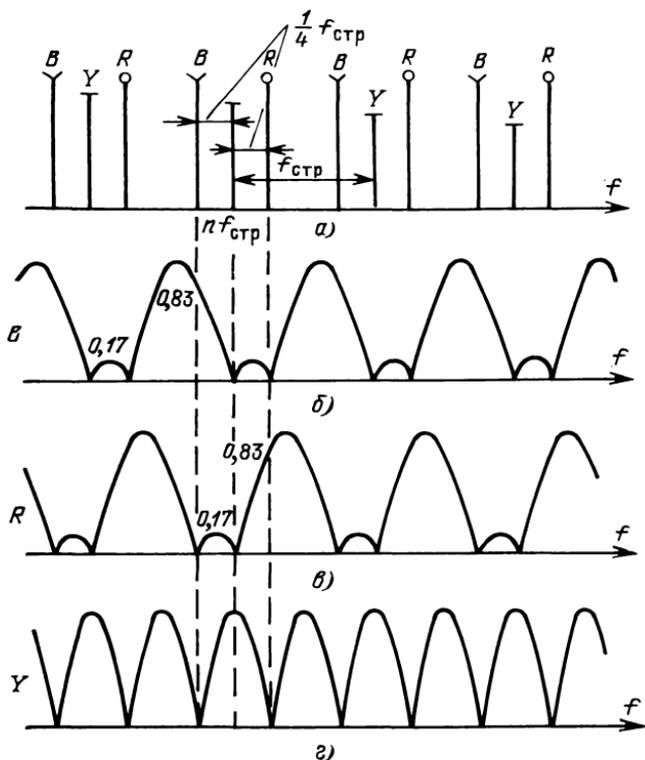


Рис. 49. Разделение сигналов основных цветов с помощью гребенчатого фильтра на двух линиях задержки:  
 $a$  — линия спектра кодированного сигнала;  $b$  — частотная характеристика канала  $B$ ;  $в$ ,  $г$  — то же для каналов  $R$  и  $Y$

В канале  $Y$  составляющие  $R$  и  $B$  полностью подавляются. Теперь для увеличения разрешающей способности камеры в горизонтальном направлении достаточно сигнал нижнего диапазона, ограниченный ФНЧ с частотой среза 3 МГц, сложить с сигналом, полученным на выходе канала  $Y$  гребенчатого фильтра. При этом отпадает необходимость применения оптического фильтра нижних пространственных частот, который ранее ограничивал разрешающую способность камеры. Следует отметить также, что при использовании гребенчатого фильтра на двух линиях задержки улучшается отношение сигнал-шум в каналах цветности по крайней мере на 3 дБ по сравнению с гребенчатым фильтром на одной линии задержки.

Рассмотренные выше усовершенствования использованы в камере Sicolor K80 фирмы «Сименс» (рис. 50). В состав камеры входят однотрубный датчик на однодюймовом видиконе с растровыми светофильтрами и электронный процессор [30].

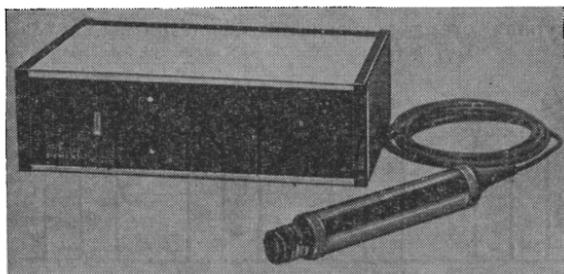


Рис. 50. Камера Sicolor K-80 фирмы «Сименс» (ФРГ)

*Основные данные камеры Sicolor K80*

Полоса передаваемых частот, МГц, в каналах:	
яркости . . . . .	4
цветности . . . . .	1
Освещенность на объекте, лк:	
рабочая . . . . .	400—600
минимальная . . . . .	170
Отношение сигнал-шум, дБ . . . . .	50
Размах выходного сигнала на нагрузке 75 Ом, В	11
Потребляемая мощность, В·А . . . . .	35
Габаритные размеры камеры, мм . . . . .	∅50, длина 220
Габаритные размеры процессора, мм . . . . .	452×153×259
Масса, кг:	
камеры . . . . .	0,7
процессора . . . . .	9

Фазовое разделение трех сигналов основных цветов. Недостатком камеры с фазовым разделением двух поднесущих является зеленое окрашивание изображения в местах пересветки мишени от бликов, засветок и т. д. При этом в телевизионном сигнале пропадает поднесущая и соответственно сигналы красного и синего цветоделенных изображений. Так как сиг-

нал зеленого цветоделенного изображения получается матрицированием сигнала низкочастотного диапазона в полосу до 500 кГц с сигналами  $U_R$  и  $U_B$ , взятыми с выходов детекторов, то при пропадании последних на выходе матрицы останется сигнал низкочастотного диапазона, который будет создавать окрашивание изображения, неприятное для зрителя. Для устранения этого недостатка сигнал зеленого цветоделенного изображения необходимо получать точно так же, как сигналы красного и синего изображений, т. е. путем модуляции поднесущей с последующим ее детектированием [16]. Для этого используют третий растровый светофильтр, состоящий из чередующихся между собой пурпурных и прозрачных полосок одинаковой ширины. В местах растрового светофильтра, где расположены прозрачные полоски, весь свет, отраженный от передаваемого объекта, попадает на мишень передающей трубки. В местах расположения пурпурных полосок проходят только синяя и красная цветоделенные составляющие изображения передаваемой сцены, а зеленая составляющая не проходит, так как пурпурный цвет является дополнительным к зеленому (пурпурный — это «минус зеленый»). Таким образом, за пурпурно-прозрачным растровым светофильтром зеленая составляющая становится «заштрихованной». При считывании «заштрихованного» изображения электронным лучом возникает импульсная последовательность, частота которой  $\omega_G$  определяется шагом растрового светофильтра и стандартом разложения. Шаг светофильтра выбирается таким, чтобы при расположении полосок светофильтра перпендикулярно направлению строчной развертки частота  $\omega_G$  равнялась частотам  $\omega_R$  и  $\omega_B$  от наклонных прозрачно-желтого и прозрачно-голубого светофильтров. При этом углы их наклона (одинаковые по отношению к направлению считывания, но расположенные в разные стороны от вертикали) выбираются так, чтобы между каждой из поднесущих существовала фазовая

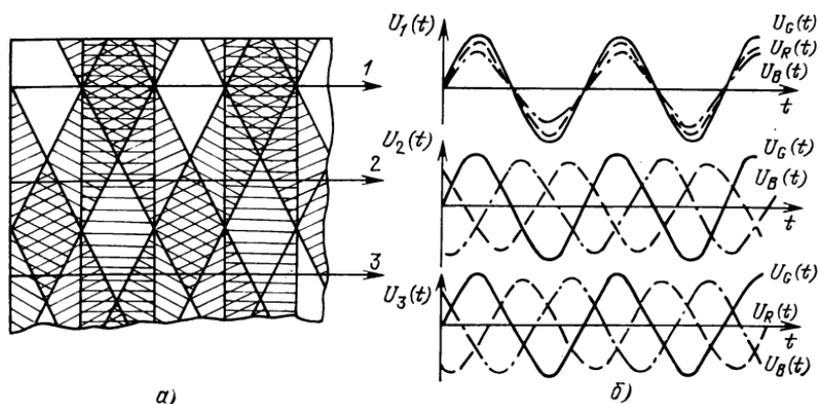


Рис. 51. Кодирование цветовой информации с помощью трехслойного растрового светофильтра (1, 2, 3 — положение смежных строк полукадра):  
 а — структура светофильтра; б — первые гармоники сигнала трех поднесущих в смежных строках полукадра

задержка на  $120^\circ$  при сравнении трех последовательных строк развертки (рис. 51).

Использование поднесущих, которые передают информацию о красном, зеленом и синем цветах, обеспечивает цветовую однородность по всему полю и отсутствие неприятного зеленого окрашивания в местах засветки мишени, так как пропадание одновременно трех поднесущих приводит к отсутствию окраски вообще. Изображение становится просто серым, что кажется совершенно естественным при его наблюдении.

Для разделения сигналов основного цвета в декодирующее устройство необходимо включить две линии задержки на длительность строки (рис. 52).

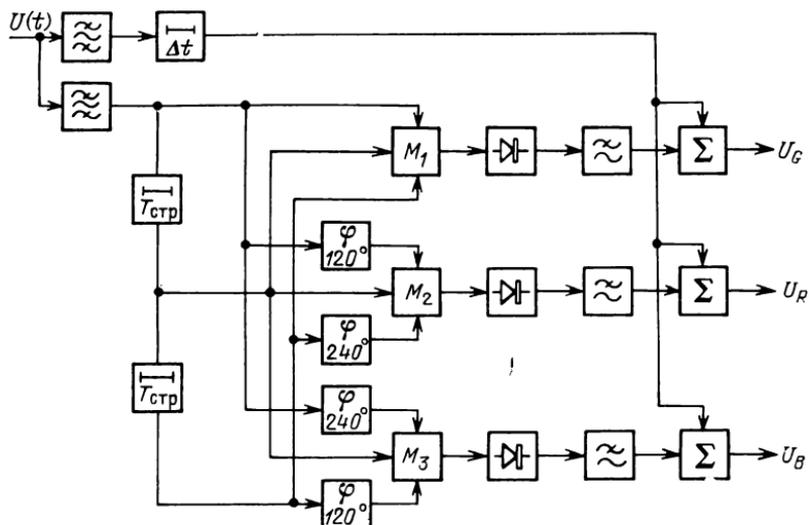


Рис. 52. Структурная схема декодирующего устройства камеры с фазовым разделением трех сигналов основных цветов

Сигнал с передающей трубки разделяется на два канала: яркости и цветности. В канале яркости сигнал задерживается на время детектирования сигналов в канале цветности. На входе канала цветности стоит полосовой фильтр, выделяющий диапазон поднесущих основных цветов. Полоски прозрачно-пурпурного светофильтра расположены перпендикулярно направлению считывания, и поэтому поднесущая от этого светофильтра образуется в матрице  $M_1$ , на входы которой поступают сигналы непосредственно с полосового фильтра и с выходов первой и второй линий задержки на время одной строки. Для получения поднесущей от прозрачно-желтого светофильтра сигнал с полосового фильтра перед подачей на матрицу  $M_2$  необходимо задержать на  $120^\circ$ , сигнал с первой линии задержки подать непосредственно на вход матрицы  $M_2$ , а сигнал со второй линии задержки задержать на  $240^\circ$ . Поднесущая от прозрачно-голубого светофильтра образуется в матрице  $M_3$ , на входы которой поданы задержанный на  $240^\circ$  сигнал непосредственно с полосового фильтра, сигнал с выхода первой линии задержки и задержанный на  $120^\circ$  сигнал с выхода второй линии задержки.

С выходов матриц  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  сигналы подаются на амплитудные детекторы, с выходов которых через фильтры нижних частот с полосой пропускания 500 кГц сигналы основных цветов поступают на выход декодирующего устройства.

Из-за трудности изготовления и совмещения с мишенью передающей трубки дополнительного растрового светофильтра, а также довольно сложной настройки декодирующего устройства эта камера серийно не выпускается.

#### 4.3. КАМЕРА С ЧАСТОТНО-ФАЗОВЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ ЦВЕТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Сложное декодирующее устройство камеры с фазовым разделением трех сигналов можно упростить, сохранив свойство окрашивания изображения в серый цвет в местах исчезновения поднесущих. Правда, при этом уменьшается разрешающая способность камеры, которая будет такой же, как и при частотном методе разделения цветовой информации. Частотный спектр выходного сигнала передающей трубки в этом случае используется менее эффективно. Поднесущие, модулированные сигналами красного и синего цветоделенных изображений, по-прежнему перемежаются между собой, так как прозрачно-голубой и прозрачно-желтый растровые светофильтры имеют один и тот же шаг и наклонены под одинаковым углом к линии сканирования. Но шаг их шире, чем в камерах с фазовым разделением, и выбирается так, чтобы

растровые светофильтры имеют один и тот же шаг и наклонены под одинаковым углом к линии сканирования. Но шаг их шире, чем в камерах с фазовым разделением, и выбирается так, чтобы

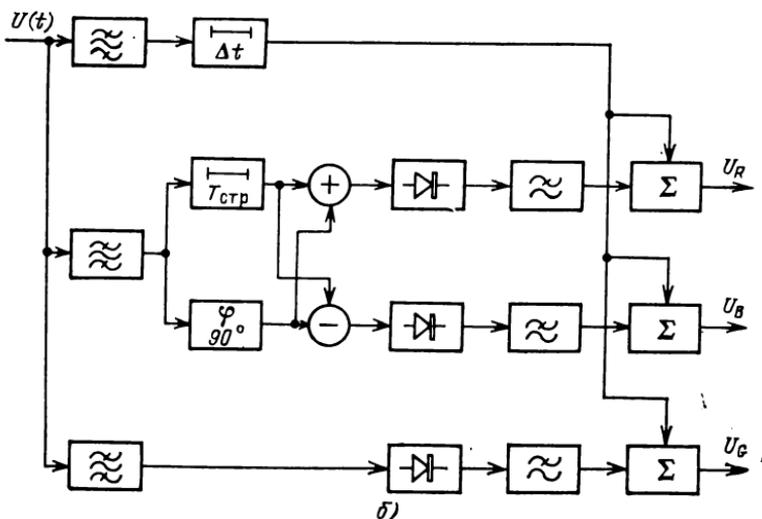
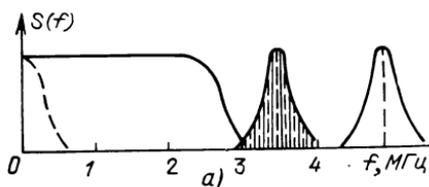


Рис. 53. Декодирующее устройство камеры с фазочастотным разделением сигналов основного цвета:

*a* — амплитудный спектр сигнала на выходе передающей трубки; *б* — структурная схема декодирующего устройства

разместить в верхней части спектра сигнала изображения еще одну поднесущую, модулированную сигналом зеленого цветоделенного изображения. Эта поднесущая получается в результате помещения в плоскости мишени третьего (прозрачно-пурпурного) растрового светофильтра, полосы которого расположены перпендикулярно линии сканирования. В результате амплитудный спектр сигнала камеры состоит из спектра квазияркостного сигнала в полосе частот до 3 МГц, спектра поднесущей от прозрачно-желтого и прозрачно-голубого светофильтров в полосе частот 3... 4 МГц и спектра поднесущей от прозрачно-пурпурного светофильтра в полосе частот 4,5... 5,5 МГц (рис. 53).

Разрешающая способность камеры определяется спектром квазияркостного сигнала и остается такой же, как и в камере с частотным разделением цветовой информации. Получение сигналов основных цветов в декодирующем устройстве не вызывает больших сложностей. Поднесущие красного и синего цветоделенных изображений выделяются полосовым фильтром и разделяются друг от друга в гребенчатом фильтре. Поднесущая зеленого изображения выделяется полосовым фильтром. После детектирования и согласования во времени низкочастотные сигналы основных цветов подаются на выход декодирующего устройства. Сигнал низкочастотного диапазона — это сигнал яркости. Он может подаваться на выход (в случае четырехсигнального датчика) или добавляться в качестве смеси высоких частот к сигналам основных цветов (в случае трехсигнального датчика).

## **5. ДЕКОДИРОВАНИЕ ЦВЕТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В ПОРТАТИВНЫХ КАМЕРАХ ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ**

### **5.1. ДЕКОДИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО КАМЕРЫ С ЧАСТОТНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ СИГНАЛОВ ОСНОВНЫХ ЦВЕТОВ**

**Общие сведения.** В спектре выходного сигнала большинства камер ЦТ с растровыми светофильтрами содержится информация о сигналах основных цветов и сигнале яркости. Между ними возможны взаимные помехи, которые ухудшают качество цветного изображения. Кроме того, хорошая работа камеры ЦТ с растровыми светофильтрами может быть обеспечена лишь при правильной ее настройке с учетом тех требований, которые предъявляются к отдельным узлам декодирующего устройства. Рассмотрим подробнее особенности построения декодирующих устройств и требования, предъявляемые к ним, для двух типов камер: с частотным и фазовым разделением сигналов основных цветов.

К декодирующему устройству предъявляются следующие основные требования [25].

1. Искажения «яркость — цветность» должны быть минимальными. Для этого в канале формирования квазияркостного сигнала должно быть обеспечено подавление сигналов несущей частоты красного цветоделенного изображения 3,5 МГц и комбинационных

частот 1,5 МГц, образующихся в результате биений цветовых поднесущих в нелинейных элементах передающей камеры, не менее чем на 35 ... 40 дБ.

Отметим, что для этого же в оптической системе камеры применяют оптический фильтр нижних пространственных частот, уменьшающий низкочастотные биения, появляющиеся, когда эквивалентная пространственная частота деталей передаваемой сцены становится сравнимой с пространственной частотой кодирующих растровых светофильтров.

2. Искажения «цветность — цветность» также должны быть минимальными. Для этого в каналах формирования сигналов основных цветов должно быть обеспечено подавление комбинационных частот 1,5 МГц не менее чем на 35 ... 40 дБ.

3. Неточность совмещения сигналов основных цветов не должна превышать 0,2 мкс.

4. Нелинейность амплитудной характеристики по выходам каналов формирования сигналов основных цветов и сигнала яркости не должна быть более 5%.

С учетом перечисленных требований выбрана структурная схема декодирующего устройства (рис. 54). Кодированный сигнал с выхода передающей камеры поступает в каналы формирования сигналов красного, зеленого и синего цветоделенных изображений (каналы  $R$ ,  $G$ ,  $B$ ) и канал формирования сигнала яркости (канал  $Y$ ), в которых производятся следующие операции: фильтрация отдельных участков частотного спектра; усиление, необходимое для компенсации ослабления сигналов при фильтрации; задержка для временного совмещения сигналов основных цветов; детектирование цветовых поднесущих для переноса информации о «красном» и «синем» в нижнюю часть частотного спектра; фильтрация для устранения мешающего действия комбинационных частот и побочных продуктов детектирования; усиление для нормирования размаха сигналов и последующего матрицирования; матричная цветокоррекция; гамма-коррекция для правильного преобразования электрических сигналов в цветовые компоненты яркости на экране приемной трубки.

Последовательность этих операций определяется положением соответствующей цветовой информации в частотном спектре кодированного сигнала. От совершенства выполнения отдельных узлов декодирующего устройства во многом зависит качество цветного изображения, обеспечиваемого камерой. Рассмотрим подробнее отдельные узлы декодирующего устройства.

**Полосовые фильтры.** В каналах формирования сигналов основных цветов  $R$  и  $B$  используются полосовые фильтры с полосой пропускания 1 МГц на уровне 0,7 (—3 дБ) с центральными частотами 3,5 и 5 МГц соответственно. Требования, предъявляемые к полосовым фильтрам, — обеспечить необходимую форму амплитудно-частотной характеристики и подавление соседней несущей не менее чем на 35 ... 40 дБ.

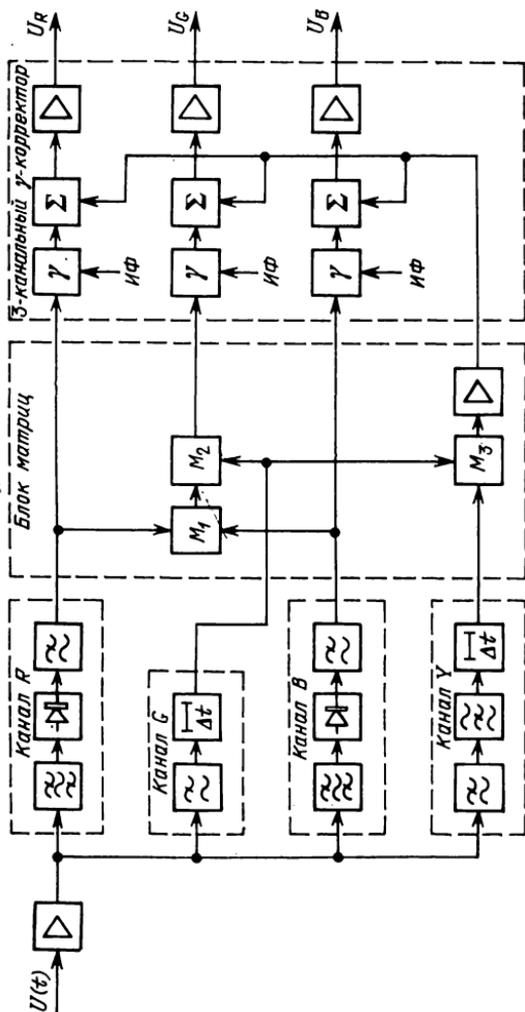


Рис. 54. Структурная схема декодирующего устройства камеры с частотным разделением сигналов основных цветов (ИФ — импульсы фиксации)

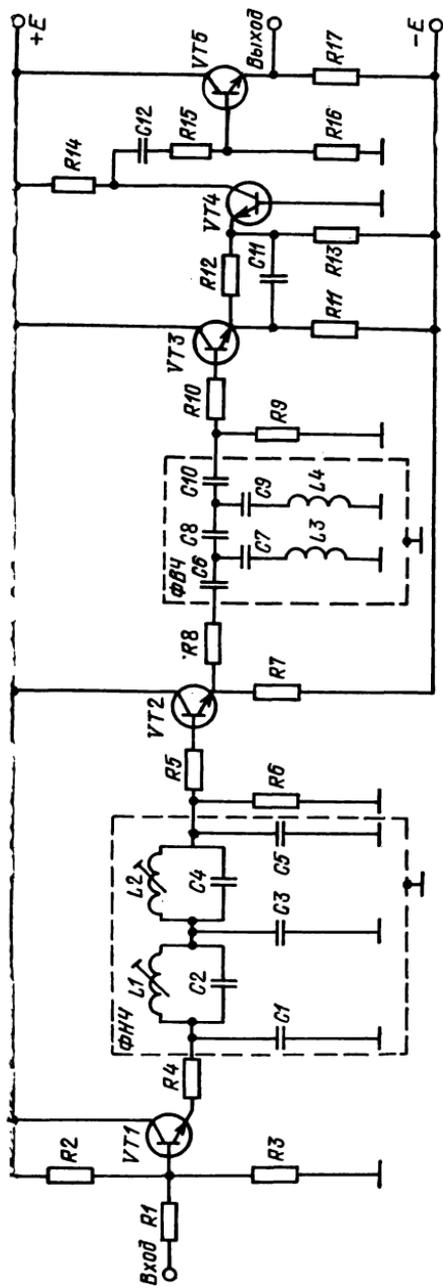


Рис. 55. Схема полосового фильтра

Наиболее эффективно выделить цветные поднесущие можно, например, с помощью полосового фильтра, выполненного из последовательно соединенных ФНЧ и ФВЧ. Один из возможных вариантов схемы полосового фильтра приведен на рис. 55. Эмиттерные повторители VT1 и VT3 играют роль буферных каскадов, уменьшающих взаимное влияние ФНЧ и ФВЧ. Ослабление сигнала при фильтрации компенсируется каскадом VT4 по схеме с общей базой. На транзисторе VT5 собран выходной эмиттерный повторитель. Для обеспечения линейного режима работы полосового фильтра амплитуда поднесущей на входе не должна превышать 0,3 В. Выходной сигнал 1 В.

Выбор такой схемы позволяет независимо изменять положение и крутизну склонов амплитудно-частотной характеристики, что дает возможность подстраивать полосовые фильтры на конкретное значение цветных поднесущих.

Анализ различных типов фильтров показал, что для выбранной схемы последовательно соединенных ФНЧ и ФВЧ требуемые характеристики обеспечивают фильтры Кауэра пятого порядка. Расчет значений элементов полосовых фильтров каналов формирования  $R$  и  $B$  (табл. 2) проведен по методике, изложенной в [31].

Т а б л и ц а 2

Фильтр		Расчетные значения элементов фильтра* $C$ , пФ, $L$ , мкГн						Резонансная частота контура, МГц	
		$C_{1,6}$	$C_{2,7}$	$C_{3,8}$	$C_{4,9}$	$C_{5,10}$	$L_{1,3}$	$L_{1,3}C_{2,7}$	$L_{2,4}C_{4,9}$
Полосовой канала $R$	ФНЧ	48	8	70	25	37	49	7,76	5,32
	ФВЧ	42	243	29	82	56	43	1,57	2,3
Полосовой канала $B$	ФНЧ	34	6	52	18	28	37	10,65	7,26
	ФВЧ	28	163	20	55	37	28	2,34	3,42

\* В индексах указаны номера элементов  $C$  и  $L$  по схеме рис. 55.

Расчетные и экспериментальные амплитудно-частотные характеристики полосовых фильтров каналов  $R$  и  $B$  показаны на рис. 56. Подавление несущей синего цветоделенного изображения в полосовом фильтре канала  $R$  — 40 дБ. Полоса пропускания на уровне — 3 дБ у обоих фильтров 1 МГц.

**Фильтры нижних частот.** В каналах формирования сигналов основных цветов  $U_R$ ,  $U_G$  и  $U_B$  и сигнала яркости используются ФНЧ с полосами пропускания 0,5 и 3 МГц. Амплитудно-частотные характеристики этих фильтров должны иметь плоскую форму с допустимой неравномерностью около 5% в полосе пропускания и последующий монотонный спад в полосе задерживания. Для уменьшения цветных искажений коэффициенты передачи ФНЧ каналов

$R, G, B$  на частоте 1,5 МГц, а ФНЧ канала  $Y$  — на частоте 3,5 МГц должны быть на 35... 40 дБ меньше, чем в полосе пропускания указанных фильтров.

Исходя из этих требований, хорошие результаты можно получить при использовании фильтров Баттерворта [31]. Скорость изменения затухания в полосе задерживания у этих фильтров  $6n$  дБ/октава (где  $n$  — число используемых элементов в фильтре).

Принципиальная схема ФНЧ аналогична схеме рис. 55, но в ней отсутствует фильтр верхних частот. Для ФНЧ с полосой пропускания 0,5 МГц выбран фильтр Баттерворта четвертого порядка (рис. 57), а для ФНЧ с полосой пропускания 3 МГц — фильтр Баттерворта девятого порядка (рис. 57). Подавление несущей красного цветоделенного изображения в ФНЧ канала  $Y$  39 дБ,

а полоса пропускания 2,65 МГц на уровне  $-3$  дБ. Обеспечить такое же подавление соседней несущей при полосе пропускания 3 МГц можно лишь усложнением фильтра, что вряд ли оправдано.

**Амплитудный детектор.** В декодирующем устройстве амплитудный детектор обеспечивает демодуляцию цветowych поднесущих и получение сигналов красного и синего цветоделенных изображений.

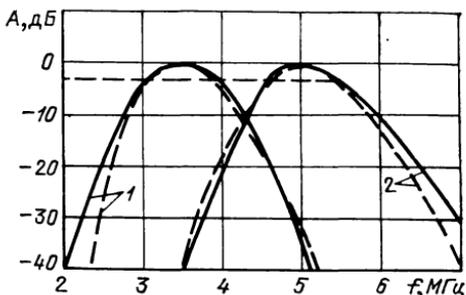


Рис. 56. Амплитудно-частотные характеристики полосовых фильтров (штриховая линия — расчетные данные; сплошная линия — экспериментальные); 1 — характеристики фильтра канала  $R$ ; 2 — характеристики фильтра канала  $B$ )

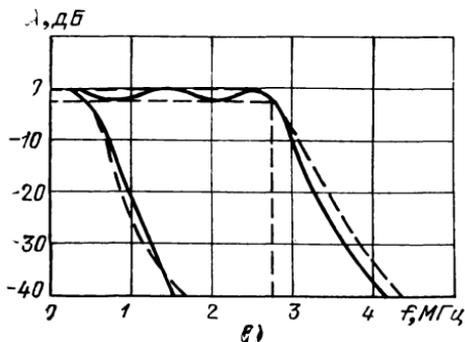
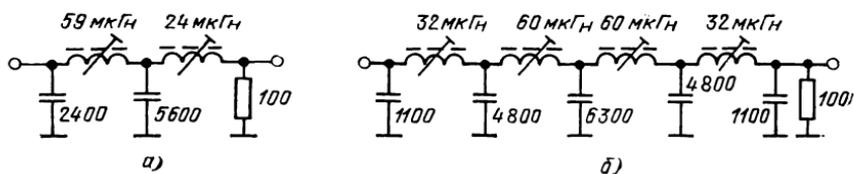


Рис. 57. Схемы фильтров нижних частот и их характеристики (штриховая линия — расчетные данные, сплошная линия — экспериментальные)

$a$  — схема ФНЧ с полосой пропускания 0,5 МГц;  $b$  — схема ФНЧ с полосой пропускания 3 МГц;  $в$  — амплитудно-частотные характеристики фильтров

ний. Амплитудный детектор выполнен по схеме двухтактного диодного детектирования (рис. 58). Принцип работы такого детектора широко известен и поэтому не рассматривается. Напомним только, что линейный режим детектора обеспечивается при подаче на него достаточно больших напряжений (не менее 1 В). Сигнал несущей на входе амплитудного детектора имеет размах не менее 0,3 В.

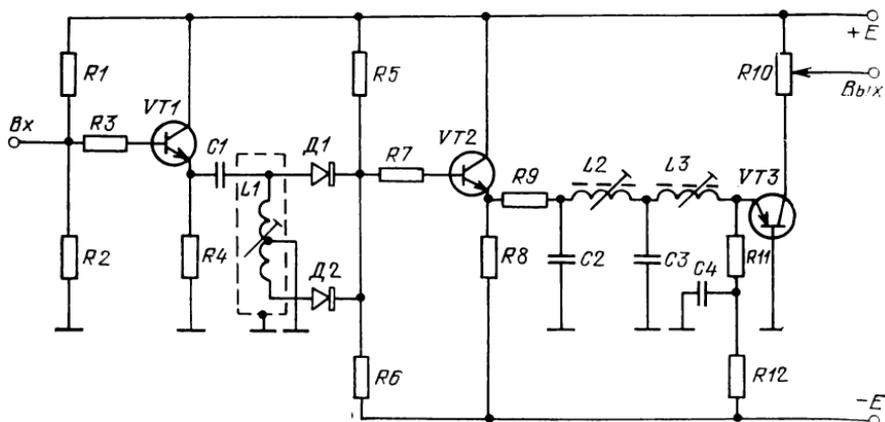


Рис. 58. Схема амплитудного детектора

Полностью подавляются несущая и ее гармоники с помощью ФНЧ с полосой пропускания 0,5 МГц, данные элементов которого рассмотрены выше.

**Блок матриц.** С выхода каналов формирования сигналы  $U_R$ ,  $U_G$  и  $U_B$  поступают на блок матриц, где из совмещенного во времени узкополосного сигнала  $U_G + 0,5U_R + 0,5U_B$  и двух узкополосных сигналов  $U_R$  и  $U_B$  получают узкополосный сигнал  $U_G$  (см. матрицы  $M_1$  и  $M_2$  на рис. 54). Сигнал высокочастотной коррекции в полосе частот 0,5... 3 МГц, несущий информацию о мелких деталях изображения, получается в результате матрицирования сигнала яркости с узкополосным сигналом  $U_G + 0,5U_R + 0,5U_B$  (см. матрицу  $M_3$  на рис. 54).

В блоке матриц использованы три одинаковые активные матрицы. На рис. 59 приведен пример выполнения принципиальной схемы матрицы. С выхода 1 снимается сумма, а с выхода 2 — разность входных сигналов. Выбор весовых коэффициентов составляющих, входящих в состав выходного сигнала, задается сопротивлением резисторов  $R_{13}$ — $R_{15}$ . Потенциометры  $R_6$  и  $R_8$  служат для регулировки размахов сигналов первичных цветов. Матрица имеет линейную амплитудно-частотную характеристику в полосе частот до 6 МГц, проста в настройке и стабильна в работе.

**Гамма-корректор.** Для получения правильного соотношения сигналов  $U_R$ ,  $U_G$ ,  $U_B$  в линейных матрицах кодированный сигнал

после предварительного усиления должен поступать на гамма-корректор, линеаризующий характеристику свет — сигнал реальной передающей трубки (для большинства видиконов среднее значение  $\gamma_{\text{тр}} = 0,65$ ).

При линейном характере преобразования сигнала (т. е. при  $\gamma = 1$ ) сохраняется с точностью до постоянного коэффициента (равного) разнице между уровнями, соответствующими разным по яркости соседним деталям объекта. Характеристика сигнал — свет цветных кинескопов (модуляционная характеристика) имеет показатель  $\gamma = 2,2 \div 2,8$ . Поэтому для получения наилучшего впечатления у зрителя о цветном изображении необходима коррекция нелинейности результирующей характеристики свет — свет. Такая коррекция широко используется в практике воспроизведения цветных изображений. Не-

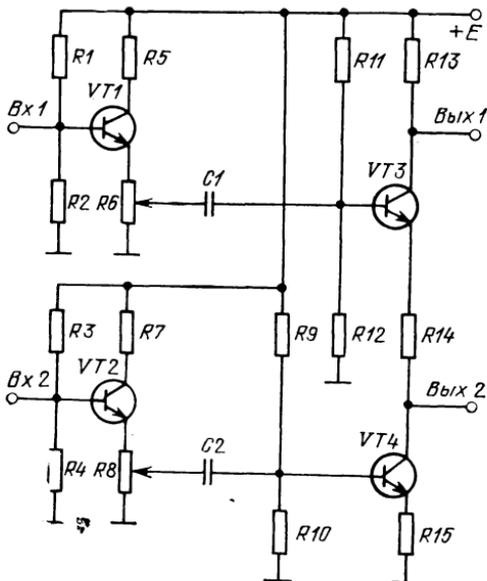


Рис. 59. Схема матрицы

обходимый коэффициент коррекции при этом должен иметь показатель  $\gamma = 0,4 - 0,6$ .

Одна из наиболее простых схем гамма-коррекции приведена на рис. 60. Для того чтобы сигналы, соответствующие одинаковой яркости изображения, имели одни и те же постоянные уровни (независимо от содержания изображения) и находились на одних и тех же участках амплитудной характеристики,

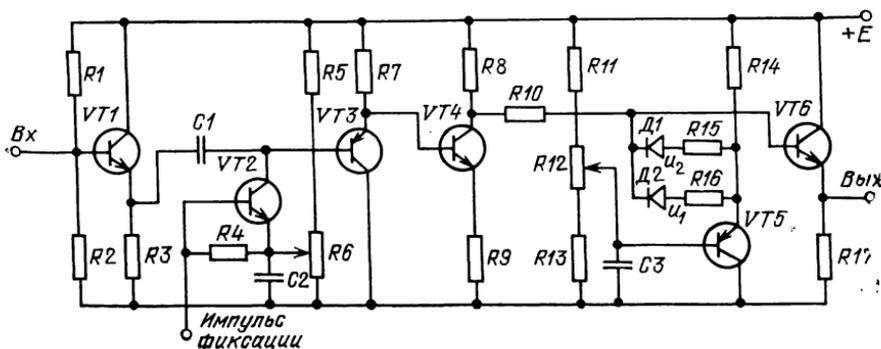


Рис. 60. Схема гамма-корректора

перед каскадом гамма-коррекции включено устройство фиксации (транзисторы VT1—VT3). При этом начало рабочего участка амплитудной характеристики каскада гамма-коррекции определяется положением фиксированного уровня черного. Для снижения постоянной времени заряда фиксирующей емкости C1 перед этим устройством включен эмиттерный повторитель VT1, обладающий малым выходным сопротивлением. Цепь с коммутируемыми параметрами выполнена в виде ключа VT2, имеющего также малое внутреннее сопротивление (в открытом состоянии). На транзисторе VT3 собран эмиттерный повторитель. Регулировка напряжения фиксации (потенциометр R6) имеет наименование «установка  $\gamma$ », так как только при определенном положении фиксированного уровня черного сигнал попадает на участок амплитудной характеристики, подчиняющийся степенному закону с  $\gamma = 0,4 \dots 0,6$ . Нелинейная форма амплитудной характеристики каскада гамма-коррекции получена при подключении параллельно коллекторной нагрузке диодов Д1 и Д2 и резисторов R15 и R16. Диоды на участке сигнала вблизи уровня черного открыты, и коэффициент передачи каскада минимальный, поскольку нагрузка R8 шунтируется резисторами R10, R15, R16 и внутренним сопротивлением транзистора VT5. При увеличении сигнала диоды последовательно запираются. В области белого диоды закрыты; коэффициент передачи каскада становится максимальным и определяется отношением сопротивлений коллекторной нагрузки R8 и эмиттерной R9.

Потенциалы запирающих диодов задаются потенциометром R12. Наклон участков амплитудной характеристики определяется параллельным соединением резисторов R8, R10, R15, S16, внутренним сопротивлением диодов и транзистора VT5.

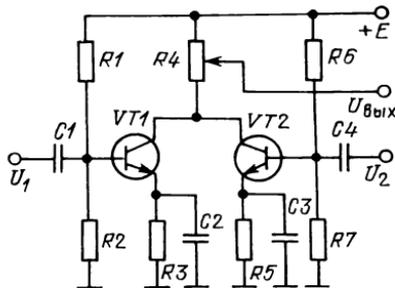


Рис. 61. Схема сумматора

**Сумматоры.** Для сложения сигналов можно использовать ранее рассмотренную матрицу. Пример выполнения более простой схемы сумматора приведен на рис. 61. Сумматоры выполнены на двух транзисторах, работающих на общую нагрузку в коллекторе.

Амплитудно-частотная характеристика корректируется емкостью конденсаторов C2 и C3. Сумматор обеспечивает хорошие технические параметры.

## 5.2. ДЕКОДИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО КАМЕРЫ

### С ФАЗОВЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ СИГНАЛОВ ЦВЕТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

К декодирующему устройству предъявляются следующие основные требования [27, 30]:

1. Искажения «яркость — цветность» должны быть минимальными. Для этого в канале формирования сигнала яркости должно быть обеспечено подавление цветовой поднесущей 4,5 МГц не менее чем на 35 ... 40 дБ.

2. Искажения «цветность — цветность» должны быть минимальными. Для этого точность согласования времени задержки с длительностью строки в гребенчатом фильтре (различие фаз

поднесущих прямого и задержанного каналов) должна быть не более 15 ... 18 нс, а наклоны фазовых характеристик прямого и задержанного каналов в полосе частот амплитудно-модулированной поднесущей не должны отличаться более чем на  $\pm 15^\circ$ . Кроме того, подавление ложных сигналов в каналах  $R$  и  $B$  должно быть не менее 30 ... 40 дБ.

3. Неточность временного совмещения сигналов основных цветов не должна превышать 0,2 мкс.

4. Нелинейность амплитудной характеристики по выходам каналов формирования сигналов основных цветов и сигнала яркости не должна быть выше 5%.

Структурная схема декодирующего устройства камеры с фазовым разделением сигналов основных цветов представлена на рис. 62. Отличие рассматриваемой схемы от схемы декодирующего устройства камеры с частотным разделением сигналов заключается в том, что для выделения цветовых поднесущих требуется один полосовой и гребенчатый фильтры. Кроме того, в канале формирования сигнала яркости не требуется режекторный фильтр, поскольку информация о двух основных цветах передается на одной поднесущей в виде перемежающихся между собой спектральных составляющих. Рассмотрим подробнее особенности построения гребенчатого фильтра.

Сигналы основных цветов можно разделить с помощью гребенчатого фильтра, содержащего одну или несколько линий задержки на длительность строки [30]. Наиболее приемлема ультразвуковая линия задержки цветных телевизоров, поскольку частота цветовой поднесущей в цветном телевизоре близка к значению поднесущей частоты в камере с фазовым разделением сигналов. Хорошие результаты можно получить при использовании гребенчатого фильтра с запаздывающей прямой связью, которая при высокой стабильности уровня выходного сигнала и простоте схемной реализации позволяет подавлять ложные сигналы не менее чем на 30 дБ [32].

Ранее уже отмечалось, что в результате оптического кодирования с помощью наклонных растровых светофильтров цветовые поднесущие  $F_R(t)$  и  $F_B(t)$  имеют дополнительную задержку и опережение на  $90^\circ$  в смежных строках одного поля. Поэтому для получения сигнала красной поднесущей  $F_R(t)$  путем сложения сигналов двух смежных строк прямой канал гребенчатого фильтра должен содержать фазосдвигающую цепочку на  $90^\circ$ , а для получения сигнала синей поднесущей  $F_B(t)$  — дополнительно фазосдвигающую цепочку на  $180^\circ$  (рис. 63). В качестве фазосдвигающей цепочки на  $90^\circ$  можно, например, использовать линию задержки на длительность, равную  $1/4$  периода цветовой поднесущей, а сдвиг на  $180^\circ$  обеспечивает обычный усилительный каскад.

Передаточная функция гребенчатого фильтра  $K(j\omega) = \alpha \exp(-j\omega T_{\text{стр}}) + \beta \exp(-j\omega\tau)$ , где  $\omega$  — круговая частота;  $\alpha$  и  $\beta$  — коэффициенты передачи каналов задержанного и прямого сигнала соответственно.

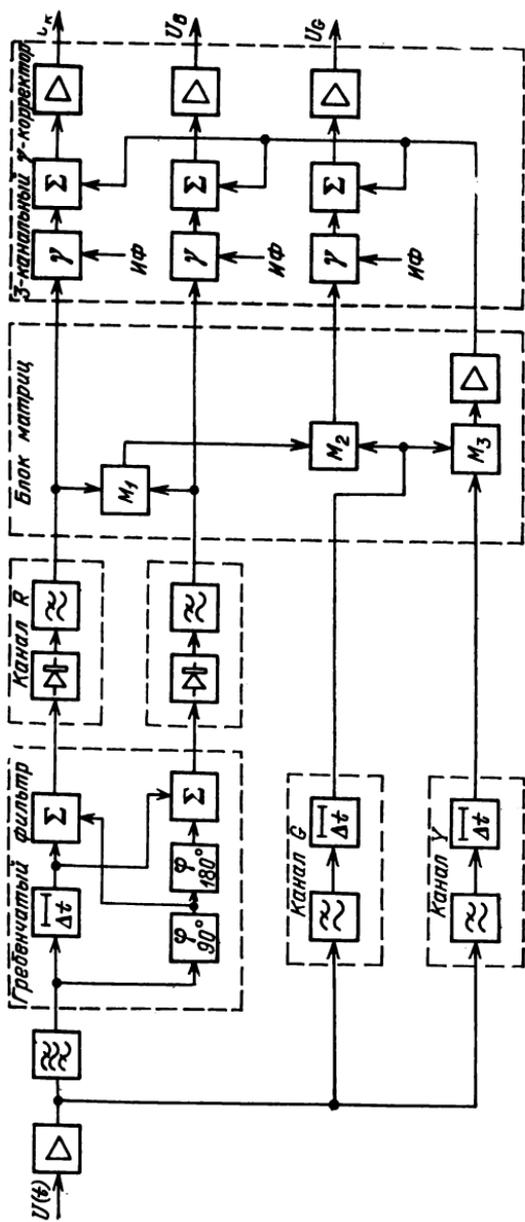


Рис. 62. Структурная схема декодирующего устройства камеры с фазовым разделением сигналов основных цветов

Отсюда при  $\alpha = \beta = 1$  частотная характеристика канала  $R$

$$K_R(\omega) = 2 |\cos [0,5 \omega (T_{\text{стр}} - \tau)]| .$$

Нетрудно убедиться, что на частоте цветовой поднесущей  $F_{R, B} = 4,5$  МГц появляется четвертьстрочный сдвиг  $\pi/2$  между гребнями частотной характеристики и гармониками частоты строк. На краях диапазона этот сдвиг не равен точно  $\pi/2$ , поэтому разделение сигналов оказывается неполным. В частности, на частоте 5 МГц (320-я гармоника частоты строк) сдвиг гребенчатой характеристики  $\Delta\xi = \omega\tau = 320 \cdot 2\pi\tau/T_{\text{стр}} \approx \pi/1,8$ . Следовательно, спектральные компоненты сигнала основного цвета сдвинуты относительно максимумов характеристики гребенчатого фильтра на  $10^\circ$ . Возникающие при этом перекрестные искажения ( $\text{tg } 10^\circ = 17\%$ ) еще допустимы.

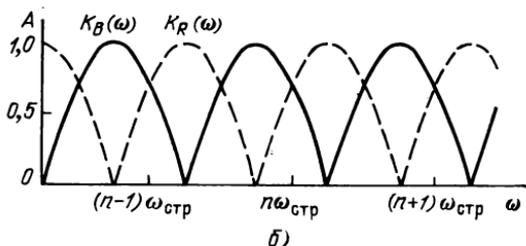
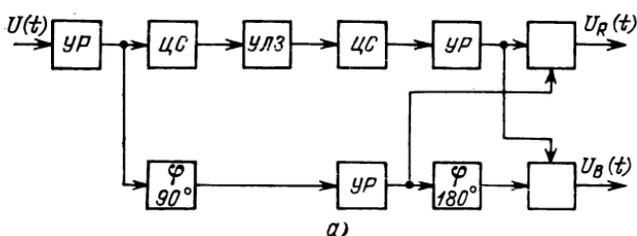


Рис. 63. Гребенчатый фильтр на одной линии задержки: а — структурная схема гребенчатого фильтра; б — амплитудно-частотные характеристики каналов  $R$  и  $B$

При  $\alpha = -1$  и  $\beta = 1$  для канала  $B$  частотная характеристика

$$K_B(\omega) = 2 |\sin [0,5 \omega (T_{\text{стр}} - \tau)]| .$$

Максимумы этой характеристики также сдвинуты на угол  $\pi/2$  относительно гармоник частоты строк, но в другую сторону (см. рис. 63).

В практических условиях на параметры гребенчатого фильтра и, следовательно, на качество цветного изображения существенное влияние могут оказывать точность согласования времени задержки с длительностью строки, временная и температурная стабильность времени задержки и согласование наклонов фазовых характеристик прямого канала и канала задержки.

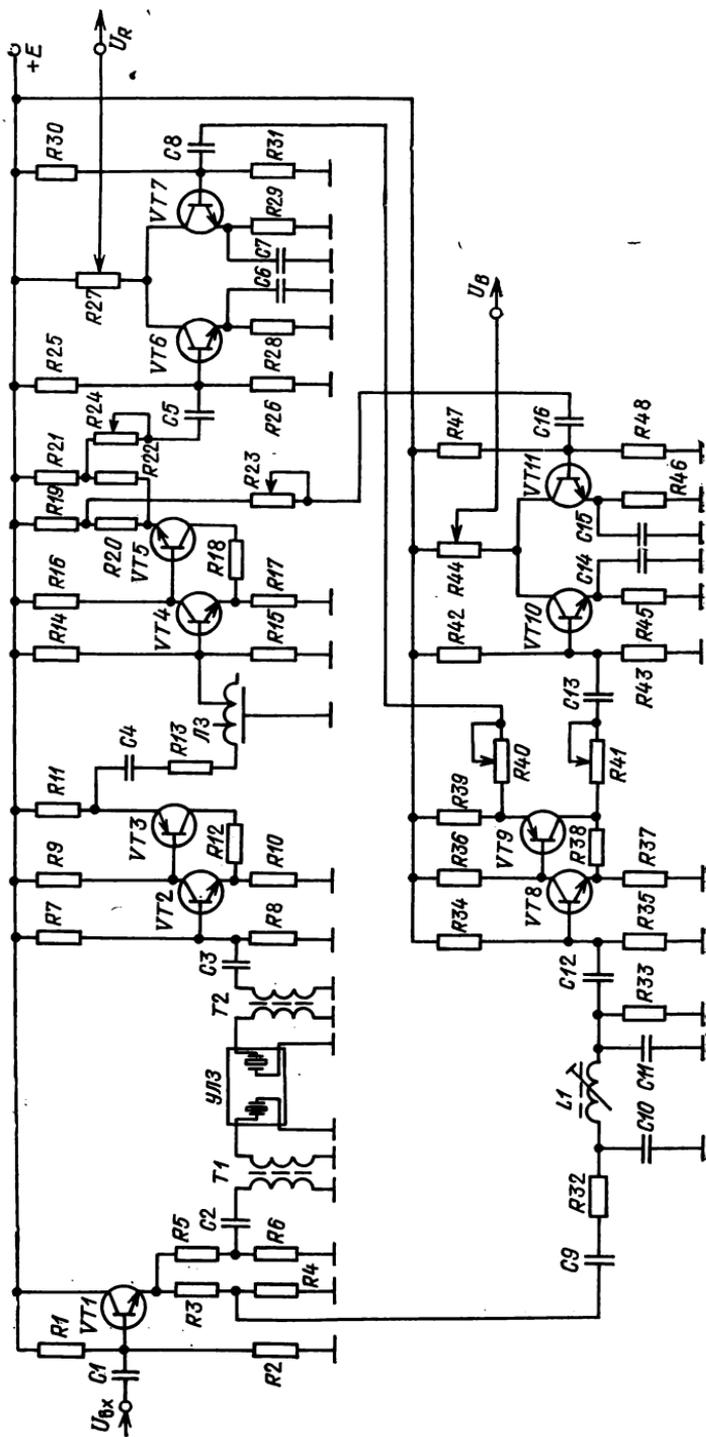


Рис. 64. Схема гребенчатого фильтра

Сравнение декодирующих устройств камеры с фазовым разделением сигналов основных цветов и приемника цветного телевидения системы ПАЛ показывает наличие общих операций в фазовой селекции сигналов цветности. Декодирующее устройство камеры отличается лишь отсутствием узлов, связанных с квадратурной модуляцией. Поэтому для рассматриваемой камеры можно принять точность согласования времени задержки с длительностью строки (различие фаз поднесущих прямого и задержанного каналов) и стабильность времени задержки таким же, как в системе ПАЛ, т. е. 15...18 нс (24...30°) и 5...6 нс соответственно.

Отметим, что точность согласования времени задержки с длительностью строки более 18 нс может привести к значительному ослаблению подавляющих свойств гребенчатого фильтра и, как следствие, появлению помех на цветном изображении в виде разрывкостных строк. Учитывая этот факт, дополнительно к основной включают подстроечную линию задержки, и сигнал поднесущей задерживают точно на длительность строки.

Аналогичный эффект могут вызвать низкая стабильность (временная и температурная) времени задержки и различный наклон фазовых характеристик прямого канала и канала задержки. Анализ основных параметров известных типов ультразвуковых линий задержки показывает, что требования по стабильности времени задержки выполняются только при использовании линий задержки, изготовленных из специальных сортов стекла. Наклоны фазовых характеристик в полосе частот амплитудно-модулированной поднесущей не должны отличаться более чем на  $\pm 15^\circ$ .

Кроме отмеченных факторов на качество цветного изображения может оказывать влияние нестабильность периода строчной развертки. Поэтому в камере необходимо использовать синхрогенератор с задающим генератором на кварце с уходом частоты в интервале рабочих температур 50...100 Гц. Использование такого синхрогенератора обеспечивает стабильность периода строчной развертки с точностью не хуже 3...6 нс.

Пример выполнения принципиальной схемы гребенчатого фильтра приведен на рис. 64. Как видно из схемы, гребенчатый фильтр состоит из следующих основных узлов: канала задержки, прямого канала и сумматоров. Канал задержки выполнен на транзисторах VT1—VT5. Эмиттерный повторитель VT1 связан с ультразвуковой линией задержки через понижающий трансформатор Т1. Согласование входного пьезопреобразователя линий задержки обеспечивается соответствующим выбором индуктивности вторичной обмотки трансформатора. В качестве ультразвуковой линии задержки используется линия задержки, изготовленная из специальных сортов стекла УЛЗ-64-2 или УЛЗ-64-4.

#### Основные технические данные

	УЛЗ-64-2	УЛЗ-64-4
Время задержки, мкс . . . . .	63,8 $\pm$ 0,1	63,943 $\pm$ 0,015
Полоса пропускания, МГц . . . . .	2	2

Крайние частоты на уровне $-3$ дБ, МГц . . . . .	5,3; 3,3	5,3; 3,3
Неравномерность в полосе частот, дБ . . . . .	1,5	—
Затухание основного сигнала на средней частоте, дБ . . . . .	14	11
Габаритные размеры, мм . . . . .	$18 \times 45 \times 56$	$8 \times 40 \times 48$

Ослабление сигнала в линии задержки компенсируется повышающим трансформатором Т2 и усилительными каскадами VT2 и VT3.

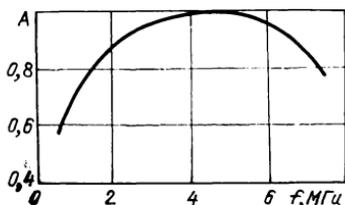
Точное согласование времени задержки с длительностью строки осуществляется с помощью подстроечной линии задержки с отводами. Согласование линии задержки обеспечивается резисторами R13 и R15, ослабление сигнала в линии задержки компенсируется усилительным каскадом VT4. Транзистор VT5 — эмиттерный повторитель, с выхода которого снимается задержанный сигнал.

В прямом канале используется фазовращающая цепочка L1, C10, C11, выполненная в виде полосовой линии задержки. Расчет значений элементов проведен в соответствии с известной методикой [33].

#### Допустимые параметры

Рабочая полоса частот, МГц . . . . .	1
Центральная частота, МГц . . . . .	4,5
Время задержки, нс . . . . .	$55,6 \pm 5$
Сопротивление нагрузки, Ом . . . . .	150

На рис. 65 представлена амплитудно-частотная характеристика полосовой линии задержки. Ослабление прямого сигнала компенсируется усилительным каскадом VT8. С каскада VT9 снимается



выходной сигнал. Сдвиг фазы между выходными сигналами канала задержки VT5 и прямого канала VT9  $180^\circ$ .

Сумматоры выполнены на транзисторах VT6, VT7 и VT10, VT11. Амплитуды задержанного и прямого сигналов выравнивают потенциометрами R23, R24 и R40, R41.

Рис. 65. Амплитудно-частотная характеристика полосовой линии задержки

Эффективность работы гребенчатого фильтра можно оценить по следующим параметрам: частотные характеристики; подавление ложных сигналов

наклонов фазовых характеристик прямого и задержанного каналов.

На рис. 66 приведены частотные характеристики гребенчатого фильтра. Точное значение частоты, соответствующее максимуму (минимуму) гребней характеристик для каналов R и B вблизи частоты  $F_{R, B} = 4,5$  МГц (288-я гармоника частоты строк), определялось цифровым частотомером путем измерения частоты синусоидального сигнала, подаваемого с генератора на вход «Внешняя

метка» измерителя частотных характеристик. При правильной настройке гребенчатого фильтра частоты метки должны быть 4496,1 и 4503,9 кГц, что соответствует смещению максимумов гребней частотных характеристик относительно гармоник частоты строк на значения  $+f_{стр}/4$  и  $-f_{стр}/4$  соответственно для каналов  $B$  и  $R$ .

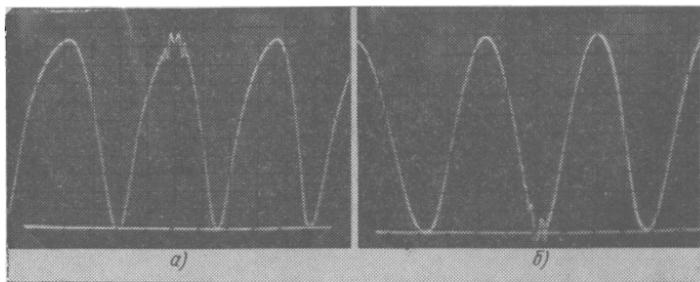


Рис. 66. Амплитудно-частотные характеристики:  
 а — канала  $R$ ; б — канала  $B$  (частота метки 4496,1 кГц)

Для определения степени подавления ложных сигналов на вход гребенчатого фильтра подаются синусоидальные сигналы с частотами 4496,1 и 4503,9 кГц. Отношение размахов выходных сигналов в каналах  $R$  и  $B$ , измеренное осциллографом, показывает степень подавления ложных сигналов.

Для схемы гребенчатого фильтра по рис. 64 степень подавления ложных сигналов 31 дБ для каналов  $R$  и  $B$ .

Фазовые характеристики прямого канала и канала задержки можно снять с помощью фазометра Ф2-7. Измерения проводятся в диапазоне 4...5 МГц на частотах, кратных частоте строк. Из фазочастотной характеристики гребенчатого фильтра (рис. 67) следует, что разность наклонов фазовых характеристик прямого канала и канала задержки на краях диапазона не превышает  $\pm 15^\circ$ .

Метод фазового разделения цветовой информации был проверен экспериментально на макете (рис. 68), содержащем камеру КТП-73 на видиконе ЛИ-421 с оптикой переноса и декодирующее устройство, выполненное по схеме рис. 62. Предварительно была проведена доработка камеры для получения максимально возможных отношения сигнал-шум, разрешающей способности,

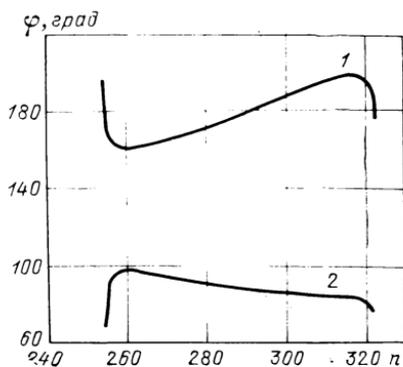


Рис. 67. Фазочастотные характеристики прямого канала 1 и канала задержки 2 ( $n$  — номер гармоники строчной частоты)

линейности амплитудной характеристики видеотракта и отклонения по строкам и кадрам.

В ходе экспериментов установлено, что качество цветного изображения получается удовлетворительным. Однако наблюдается некоторая зашумленность красных и синих компонент изображения, которая снижает качество цветного изображения и опреде-

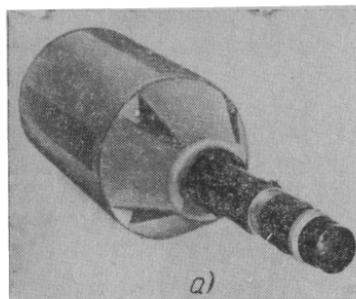
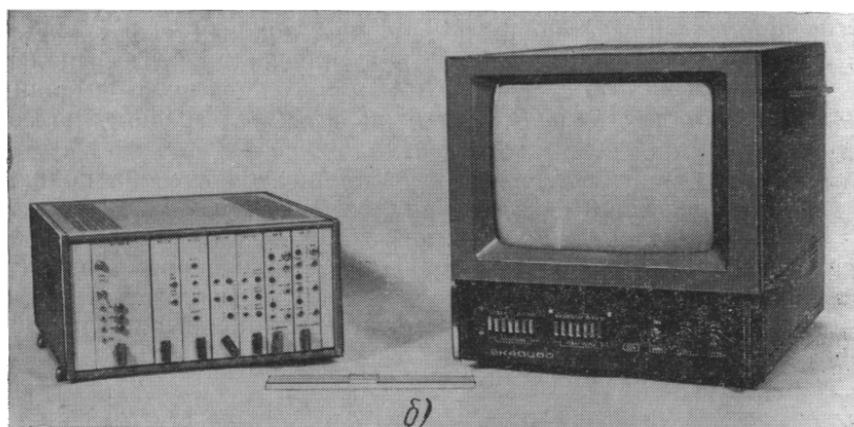


Рис. 68. Макет камеры с фазовым разделением цветовой информации:  
 а — камера КТП-73 с оптикой переноса;  
 б — декодирующее устройство



ляется, по-видимому, недостаточной разрешающей способностью передающей трубки и неточностью согласования спектральных характеристик пропускания растровых светофильтров с характеристикой спектральной чувствительности передающей трубки.

*Технические данные макета камеры с фазовым разделением цветовой информации*

Разрешающая способность, лин . . . . .	350
Отношение сигнал-шум, дБ, в каналах:	
<i>G</i> . . . . .	47
<i>R</i> . . . . .	43
<i>B</i> . . . . .	40
Освещенность на объекте, лк . . . . .	1000
Полоса частот сигналов цветности, кГц	500

## 6. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПОРТАТИВНЫХ КАМЕР ЦТ

Интерес к совершенствованию портативных камер непрерывно возрастает и периодическая литература пополняется сведениями о новых разработках. Особенно это касается техники телевизионного репортажа. Здесь характерным является определенное признание важной роли, которую наряду с трехтрубными камерами в технике оперативного репортажа должны занять однотрубные камеры с растровыми цветофильтрами и оптическим кодированием, описанные в этой книге наиболее подробно.

Такой вывод сделан в результате разработки передающих трубок со встроенными растровыми цветофильтрами, использованием нетрадиционных технологических решений, новых принципов построения камер.

В настоящее время делать однозначное предпочтение одной камеры над другой нерационально, так как камеры трехтрубные и однотрубные играют различные роли, дополняя друг друга определенными достоинствами.

Несомненно, что к числу бесспорных достоинств трехтрубных камер, предназначенных для вестудийной съемки, относится их высокая чувствительность, а также разрешающая способность, обеспечиваемые полным использованием площади светочувствительных слоев мишеней трубок и светового потока. При проецировании объективом цветоделенных изображений на мишени трубок используется весь световой поток (за исключением потерь в стекле и фильтрах цветоделительного узла, не превышающих 30 ... 40%). Это позволяет вести съемку с достаточной разрешающей способностью при максимальных относительных отверстиях объективов  $\bar{O}=1:1,5-2$  при освещенностях  $E=50 \dots 100$  лк, относительных отверстиях  $\bar{O}=1:4$ , обеспечивающих нужную глубину резкости в пределах 2000 лк.

Но наряду с этим трехтрубные камеры обладают принципиальным недостатком, который подчеркивался выше. В камере должна быть обеспечена геометрическая идентичность (с точностью до десятых долей процента) растров в плоскостях мишеней трех трубок. Малейшие сдвиги между ними приведут к искажению цветов в мелких деталях, к потере разрешающей способности в соответствующем участке поля изображения. В таком случае сравнение камеры с какой-либо другой было бы некорректным. Избавление от необходимости постройки геометрической идентичности посредством автоматизации этого процесса представляет собой одну из сложных перспективных задач.

Из практики известно, что коррекция геометрических искажений, требующая локальных перемещений сканирующего пятна в плоскости мишеней трубок с электронно-лучевой разверткой, представляет собой, особенно в процессе работы камеры, серьезную проблему, требующую создания специальных сложных микропроцессоров, а также участия в предварительной настройке и оперативной регулировке опытного оператора.

Кроме идентичности геометрических параметров растров идентичными должны быть все основные параметры передающих трубок в сопряженных точках растров: чувствительность, инерционность, разрешающая способность, уровень черного. Допустимость отклонения этих параметров от заданных определяется и свойством зрения. Это должно учитываться при автоматизации локальной регулировки. В упомянутой уже камере ВСС-20 с массой 7... 8 кг и потребляемой мощностью 36 Вт применено оригинальное цифровое устройство, в виде микропроцессора с памятью, повышающее точность совмещения растров, что вселяет надежду на хотя бы частичное решение проблемы автоматизации поддержания идентичности каналов.

К числу недостатков трехтрубочных камер следует отнести и другие свойства, связанные с распределением света между тремя каналами. Это высокая стоимость и сложность, обусловленная числом трубок и соответственно всех электрических узлов, обслуживающих трубки, включая ФОС, предварительные усилители, другие электрические элементы. Тенденция к преодолению этого недостатка заключается прежде всего в миниатюризации трубок и электрических звеньев. Примером из зарубежных камер в этом смысле может служить видеокамера «Хокай». Она построена на 13-миллиметровых трубках, имеет массу 4 кг, занимает объем  $305 \times 160 \times 91$  мм, включая видеоискатель, и работает совместно с малогабаритным видеоманитофоном (НС-1) [34, 35].

Другим недостатком трехтрубочной камеры является постоянное наличие между объективом и трубками цветоделительного узла в виде комбинации сложной призмы с дихроическими зеркалами, что затрудняет съемку близко расположенных объектов, ограничивая использование объективов с малыми фокусными расстояниями.

В последние годы для видеожурналистики нашли применение двухтрубочные и однотрубочные камеры. В двухтрубочной камере упрощаются процесс совмещения телевизионных растров и технология изготовления растровых фильтров, что до недавнего времени представляло большую сложность.

Такая гибридная камера, однако, не получила пока однозначного одобрения. Тем не менее она интересна сочетанием в себе двух различных принципов преобразования цветных изображений в сигналы основных цветов.

В положительной оценке однотрубочных камер сыграла определенную роль разработка камеры для видеожурналистики, построенная на одной 18-миллиметровой трубке с встроенным растровым цветофильтром — триникон. Камера получила название «бетакам», имеет массу вместе с источником питания, рассчитанным на 1 ч непрерывной работы, и объективом 6,8 кг и занимает объем  $360 \times 200 \times 110$  мм [3, 35]. К перспективности однотрубочных камер с растровым цветоделением в течение ряда лет подходили с осторожностью, главным образом из-за трудности изготовления самой трубки (триникона или его аналогов).

Главнейшим достоинством однотрубочных камер, как было показано в гл. 2, является простота конструкции оптического узла и всего устройства. В таких камерах нет необходимости пространственного сведения растров, так как цветовая информация кодируется на мишени одной трубки. Все это позволяет снизить их массы и габариты.

Напомним, что одним из недостатков однотрубочных камер с растровыми светофильтрами является недостаточная эффективность использования светового потока, но зато нет потерь в стекле цветоделительной призмы, которая устанавливается лишь в многотрубочных камерах. Вместе с тем чувствительность однотрубочных камер может быть повышена путем применения трубок с переносом изображения и предварительным усилением, что исключено в многорастровых камерах. К этому следует добавить, что отсутствие в камере сложного цветоделительного блока позволяет более свободно подбирать нужные для работы объективы, не заботиться о величине расстояния между последней линзой объектива и плоскостью мишени трубки (что очень важно для съемки в увеличенных масштабах, например микроскопии) или использовать оптический узел с переносом изображения (объект — растровый светофильтр — передающая трубка). Заметим, что такой вариант построения оптической системы, как показал описанный опыт ее реализации, привлекателен для целого ряда случаев прикладного использования камеры своей простотой и доступностью выполнения отдельных компонент оптической системы.

К числу достоинств однотрубочной камеры, предназначенной для видеожурналистики относится то, что в ней сигнал кодируется непосредственно в оптическом узле так, что сигнал, снимаемый с ее выхода, может быть передан на телецентр по типовому каналу черно-белого телевидения без расширения полосы частот (при частотном кодировании) и далее после декодирования может быть введен в стандартный канал ЦТ. Сигналы могут записываться на магнитофон монохромного ТВ или передаваться по линиям связи. Декодирование может быть осуществлено с помощью несложных декодеров при воспроизведении. В печати встречается много сообщений применения однотрубочных камер для самых разнообразных целей. Достаточно малогабаритна и удобна для ручного манипулирования однотрубочная камера диаметром 4 см и длиной 10 см. Она используется для получения увеличенного цветного изображения глаза в одной из поликлиник ФРГ [36]. В литературе появляется и много других сообщений о создании однотрубочных камер, используемых в различных областях науки и техники [41, 42].

Такие достоинства однотрубочных камер, как относительно невысокая стоимость, хорошие перспективы дальнейшей миниатюризации заставляют специалистов продолжать поиск оптимальных решений оптического кодирования. В настоящее время из всех рассмотренных способов кодирования способ частотного ко-

дирования является наиболее перспективным как по простоте кодирования узла трубки, так и по эффективности использования светового потока. Он также удобен для передачи сигналов по электрическому каналу связи.

Вместе с тем успехи в области создания трубок триникон, казалось бы, не столь перспективной из-за сложной технологии ее изготовления, заставили пересмотреть вывод о явном преимуществе частотного кодирования перед временным. В настоящее время успешно конкурируют между собой оба метода кодирования — временной и частотный.

Из проблем, которые могли бы кардинально повлиять на массо-габаритные свойства камер, наибольший интерес представляет возможность замены электронно-лучевых передающих трубок твердотельными преобразователями свет — сигнал — приборами с зарядовой связью (ПЗС). За последние годы в этом направлении достигнут крупный успех [37]. Уже созданы ПЗС с относительно большим числом элементов 512 на 576.

В настоящее время ведутся интенсивные исследования по созданию цветных телевизионных камер на ПЗС. Одним из первых появилось описание цветной камеры на трех ПЗС. Как и в камерах на трех передающих трубках, в таких ПЗС-камерах трудно совмещать цветоделенные изображения. Основные трудности возникают при механическом совмещении матриц в цветоделительном узле оптической системы. Поэтому создание датчика цветного сигнала изображения на основе одной матрицы ПЗС тоже актуально. Такая камера должна формировать сигналы основных цветов, которые затем могут быть закодированы в соответствии со структурой сигналов стандартных систем цветного телевидения: СЕКАМ, ПАЛ или НТСИ.

Растровый цветофильтр, используемый в ПЗС камерах, отличается от растрового светофильтра однотрубочных камер дискретностью не только в горизонтальном, но и в вертикальном направлении. Число элементов в решетке растрового светофильтра должно соответствовать числу элементов матрицы, и каждый элемент растрового светофильтра должен окрашивать соответствующий сопряженный с ним элемент матрицы в определенный цвет, задаваемый системой оптического кодирования. При этом важно выбрать такое чередование цветов растрового цветофильтра, чтобы получить разрешающую способность цветной телевизионной камеры не менее чем черно-белой, построенной на этой же матрице.

В [38] предложена структура растрового светофильтра, представленная на рис. 69. В ней учитывается то обстоятельство, что основная компонента, определяющая четкость воспроизводимого изображения, содержится в яркостной составляющей, которая создается зелеными участками решетки. Зеленые участки составляют половину решетки, а вторая половина поровну распределяется между красными и синими участками. Подобное соотношение определяет эффективную частоту переключения составляющей зе-

леного. По горизонтали и по вертикали частота переключения зеленого соответствует  $1/\delta_x$  и  $1/\delta_y$ , где  $\delta_x$  и  $\delta_y$  — расстояния между элементами матрицы по горизонтали и вертикали.

При чересстрочном считывании нечетные ряды решетки, состоящие только из красных и зеленых элементов, последовательно

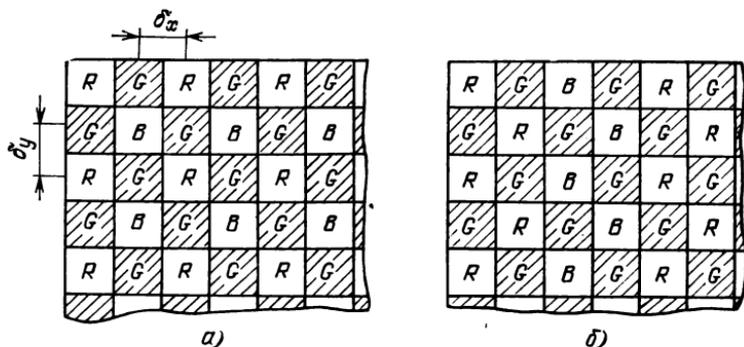


Рис. 69. Два варианта структуры растрового светофильтра в цветной ПЗС камере

считываются и воспроизводятся в нечетных полях телевизионного сигнала. В четных полях воспроизводятся только синие и зеленые элементы четных рядов. При такой структуре растрового светофильтра образуются мерцания желто-голубого цвета с частотой 25 Гц; при воспроизведении цветных изображений они утомляют наблюдателя.

Другое расположение цветных элементов растрового фильтра [39] показано на рис. 69. Здесь число зеленых элементов прежнее, но синие и красные элементы присутствуют в каждом ряду и поэтому воспроизводятся как в нечетных, так и в четных полях.

Такая решетка была использована в цветной телевизионной камере на одной ПЗС матрице [39]. Как для синего, так и для красного сигналов эффективная частота переключения соответствует по вертикали  $1/\delta_x$  и по горизонтали  $1/\delta_y$ . Если на матрицу через цветной растровый светофильтр проецируется передаваемая сцена и датчик управляется в обычном режиме, то выходной сигнал состоит из последовательности красных, зеленых и синих компонент, причем для нечетных рядов последовательность имеет вид  $RGBGRGBG...$ , а для четных рядов  $GRGBGRGB...$ . Сканирование решетки производится последовательно элемент за элементом с помощью внешних управляющих импульсов, из которых можно сформировать и строб-импульсы для определения триад  $RGB$ . Таким образом, из сложного сигнала с ПЗС матрицы можно выделить отдельные цветные компоненты, которые затем подвергнуть цветокоррекции, гамма-коррекции и закодировать в сигнал стандартной системы цветного телевидения (СЕКАМ, ПАЛ или НТСИ).

На рис. 70 приведена упрощенная структурная схема декодирующего устройства одноматричной ПЗС камеры. Сигнал с ПЗС матрицы в электрическом коммутаторе ЭК разделяется на три сигнала основных цветов  $U_{Rнч}$ ,  $U_{Gнч}$  и  $U_{Bнч}$ , имеющих небольшую четкость, которые поступают на цветокорректор ЦК для получения сигналов в соответствии с принятыми кривыми смещения.

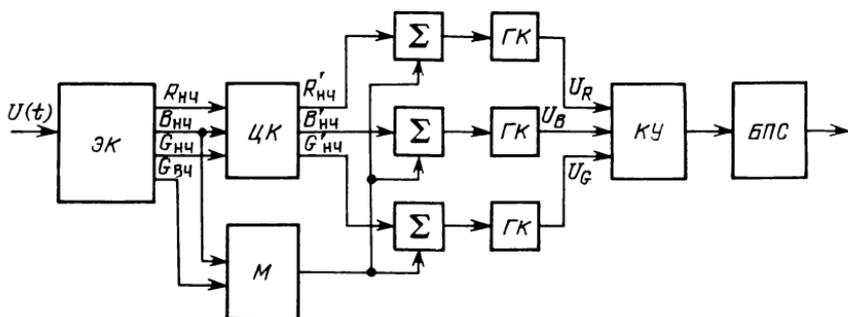


Рис. 70. Структурная схема декодирующего устройства цветной ПЗС камеры: ЭК — электронный коммутатор; ЦК — цветокорректор; М — матрица; ГК — гамма-корректор; КУ — кодирующее устройство; БПС — блок повторения строк

Кроме того, в коммутаторе формируется дополнительно сигнал  $U_w$ , создающий более высокую четкость. Он образуется из сигналов от элементов матрицы, расположенных под зелеными участками растрового светофильтра. Сигнал  $U_w$  используется для образования сигнала «смеси высоких частот», который затем добавляется к каждому из трех сигналов. В результате получают сигналы основных цветов, которые поступают на гамма-корректоры световой характеристики приемной трубки и затем в кодирующее устройство КУ стандартной системы цветного телевидения.

Поскольку ПЗС матрицы обладают недостаточным числом элементов и для образования сигналов считывается меньшее число рядов, чем активных строк в воспроизводящем устройстве, то для уменьшения яркостных потерь при воспроизведении, связанных с заполнением не всех строк раstra, каждая строка ПЗС матрицы воспроизводится дважды.

Структурная схема коммутатора сигналов основных цветов представлена на рис. 71. Сигналы основных цветов  $U_R$ ,  $U_G$  и  $U_B$  формируются в схеме выборки, которая включается на время считывания с ПЗС матрицы сигнала от соответствующего цветного элемента растрового светофильтра и отключается на время поступления на вход сигнала от следующего элемента того же цвета. В результате получается дискретный сигнал, который преобразуется в непрерывный в строчном интерполяторе, структурная схема которого показана на рис. 72. Интерполяция по строке достигается интегрированием разницы дискретного во времени сигнала  $U_{вх}(t)$  с его задержанной копией  $U_{вх}(t-\tau)$ , где  $\tau$  — период коммутации элементов. В начале каждой строки интегратор приводится в исходное состояние с помощью ключа.

Для формирования зеленого сигнала с низкой разрешающей способностью  $U_{Gнч}$  раздельно выбираются и затем интерполируются четные и нечетные «зеленые» элементы. Затем два эти сигнала  $G_{неч}$  и  $G_{четн}$  усредняются для образования сигнала  $U_{Gнч}$ , который поступает на ФНЧ с полосой пропускания,

равной полосе частот сигналов  $U_{RHC}$  и  $U_{BHC}$ . Сигнал «зеленого» канала  $G_{BЧ}$  с высокой разрешающей способностью формируется выборкой сигналов от каждого последовательного «зеленого» участка. Затем производится обострение фронтов (контурная коррекция) по структурной схеме, показанной на рис. 73. Задержка на время  $\tau$  осуществляется на двух каскадах выборки элементов, работающих как двухфазный аналог сдвигового регистра.

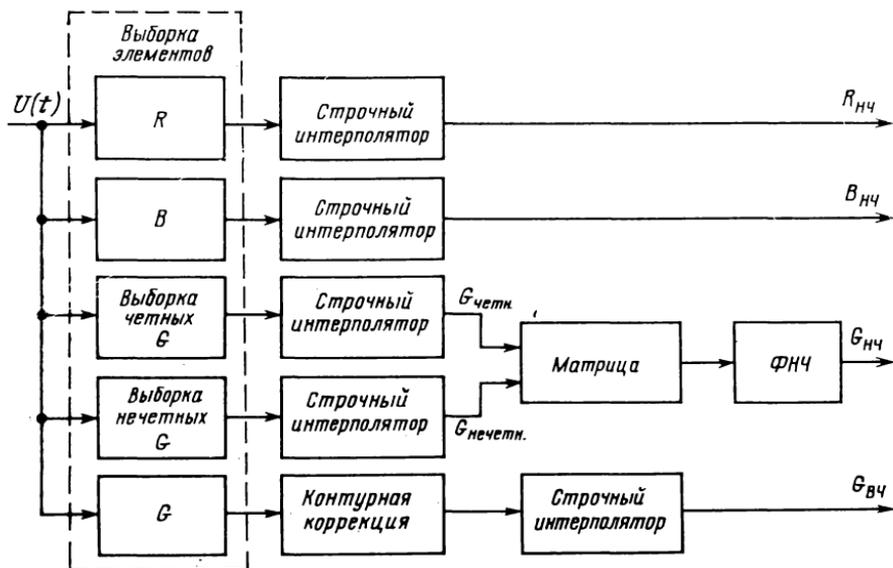


Рис. 71: Структурная схема электронного коммутатора

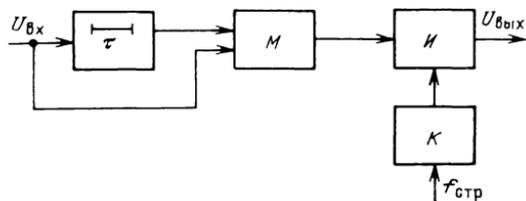


Рис. 72. Структурная схема строчного интерполятора:

$M$  — матрица,  $I$  — интегратор,  $K$  — ключ

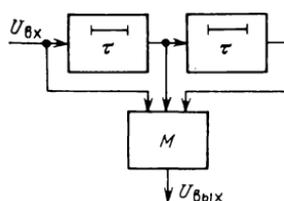


Рис. 73. Структурная схема контурной коррекции

Фирма «Хитачи» (Япония) разработала цветную телевизионную камеру на одной матрице ПЗС прикладного назначения, которая отличается малыми габаритами и высоким качеством цветного изображения [40]. В камере полностью отсутствует эффект расплывания изображений при больших освещенностях объектов передачи и существенно уменьшен уровень теплового шума. С помощью нескольких цепей выборки — хранения из выходного сигнала матрицы ПЗС формируются четыре первичных цветовых сиг-

нала: узкополосные  $U_R$ ,  $U_G$ ,  $U_B$  и широкополосный  $U_W$ , который получается путем объединения перемежающихся отсчетов составляющих соседних строк. Узкополосные сигналы получают простым повторением отсчетов соответствующих строк. Отсчеты составляющей  $B$  выделяются цепями выборки — хранения в четных строках сигнала и повторяются в нечетных строках, когда отсчеты составляющей  $B$  отсутствуют в выходном сигнале матрицы ПЗС. Отсчеты составляющей сигнала  $R$  и низкочастотного сигнала  $G$  выделяются в нечетных строках. Выделенные таким образом четыре сигнала фильтруются, подвергаются апертурной коррекции и кодируются в сигнал системы НТСИ.

*Основные технические данные камеры фирмы «Хитачи»*

Разрешающая способность, лин:	
по горизонтали . . . . .	260
по вертикали . . . . .	450
Освещенность на объекте, лк (относительное отверстие объектива 1:1,4):	
номинальная . . . . .	300
минимальная . . . . .	80
Масса камеры с видоискателем, кг . . . . .	1,7
Габаритные размеры, мм . . . . .	58×100×155
Потребляемая мощность, В·А . . . . .	3,8
Средняя ошибка цветопроизведения, % . . . . .	8,7

Японская фирма «Маусита» выпустила комплект из шести интегральных схем для однотрубных цветных телевизионных камер с пространственным кодированием цветовой информации. Новые интегральные схемы (AN5015, AN6012, AN6045, AN6031, AN6022, AN6055) позволяют значительно сократить число навесных элементов в блоке цветной телевизионной камеры и упростить конструкцию электронных узлов. Первые пять интегральных схем выполняют практически все функции, связанные с обработкой цветокодированного сигнала передающей трубки (включая операции разделения яркостной и цветовой составляющих) и получением полного сигнала цветного телевидения по системе НТСИ. Последняя интегральная схема предназначена для использования в электронном видоискателе цветной телевизионной камеры.

Фирме «Хитачи» удалось разработать новую портативную камеру цветного твердотельного телевидения, характеристики которой сопоставимы с характеристиками однотрубных камер цветного телевидения с пространственным кодированием цветовой информации. Это достигнуто благодаря созданию оригинального твердотельного матричного датчика цветного телевизионного сигнала на одном кристалле 2/3 дюймового формата. Этому формату соответствует размер фоточувствительной поверхности 8,83×6,55 мм. Основу матричного датчика составляет фоточувствительная матрица, состоящая из 384 (по горизонтали) и 485 (по вертикали) фотодиодов. Каждый фотодиод занимает площадку размером 23×13,5 мкм. С помощью системы МОП-ключей все фотодиоды соединены с вертикальными шинами, которые разделены на четыре группы. Каждая группа вертикальных шин через

МОП-коммутатор подключена к одной из четырех выходных шин матричного датчика. Коммутатор управляется горизонтальным сдвиговым регистром и обеспечивает поэлементное считывание зарядов вдоль строк. Сканирование вдоль кадра осуществляется с помощью вертикального сдвигового регистра, выходы которого через горизонтальные шины матричного датчика соединены с затворами МОП-ключей. Наличие в матричном датчике четырех выходных шин позволяет получить одновременно сигналы основных цветов и сигнал яркости, отсчитанные значения которых соответствуют четырем соседним элементам изображения (в виде матрицы  $2 \times 2$ ). Фотодиодная матрица матричного датчика оснащена монокристаллическим мозаичным цветокодирующим светофильтром, каждая строка которого имеет вид последовательности  $W, G, Y, C$  и т. д. ( $W$  — белый,  $G$  — зеленый,  $Y$  — желтый,  $C$  — голубой), причем соседние строки светофильтра смещены относительно друг друга на два элемента. Такое построение светофильтра в сочетании с четырьмя выходными шинами матричного датчика дало возможность создать алгоритм обработки видеoinформации, в максимальной степени сохраняющий вертикальное и горизонтальное разрешения при ограниченном числе фоточувствительных элементов матричного датчика. Разрешающая способность матричного датчика по каналу яркости в горизонтальном направлении составляет 280 телевизионных линий и 350 телевизионных линий по вертикали. Другими особенностями матричного датчика являются высокая чувствительность, достигающая 9 нА/лк и большой динамический диапазон (более 60 дБ). Отношение сигнал-шум по каналу яркости 46 дБ при освещенности сцены 500 лк и светосиле объектива 1,4. Потребляемая мощность матричного датчика равна 25 мВт. Особенно отмечается пригодность матричного датчика для массового производства на поточных линиях.

Приведенные характеристики камер на ПЗС матрицах вызывают большой интерес как определенное утверждение возможности создания со временем камер, обладающих всеми необходимыми достоинствами камер на трубках, но более совершенных, более надежных и имеющих наименьшие массы и габариты.

Но вместе с тем следует учитывать, что на качество цветного изображения в камерах на матрице ПЗС существенное влияние оказывают следующие факторы:

пространственная неравномерность темнового тока от элемента к элементу. Эта неравномерность в матрицах ПЗС больше, чем в передающих телевизионных трубках, что приводит к появлению дополнительного шума в цветовых сигналах;

диффузионное растекание носителей заряда, которое зависит от длины волны светового потока и приводит к уменьшению разрешающей способности матрицы и перекрестным цветовым искажениям;

возможность возникновения неконтролируемых интерференционных явлений в многослойной структуре матрицы при проециро-

вании светового изображения. Эти явления приводят к изменению кривой спектральной чувствительности прибора.

Сложная форма характеристики спектральной чувствительности и ее разброс затрудняют формирование кривых спектральной чувствительности цветových каналов. Необходимо отметить, что в матрицах ПЗС наблюдается также разброс спектральной чувствительности от элемента к элементу.

Пониженная чувствительность матрицы ПЗС в синей области видимого спектра обусловлена характеристиками применяемых материалов, из которых изготавливаются подложка (кремний) и электроды (поликристаллический кремний и его окисел). Кремний не имеет достаточной ширины запрещенной зоны для получения максимума кривой спектральной чувствительности в коротковолновой области спектра, а поликремниевые электроды имеют в этой области малую прозрачность. В результате при выравнивании чувствительности цветových каналов для обеспечения баланса опорного белого общая чувствительность камеры цветного телевидения на матрице ПЗС значительно снижается по сравнению с монохромной камерой на этой же матрице.

Существует несколько способов повышения чувствительности матрицы в синей области: применение материала подложки с большей шириной запрещенной зоны и более прозрачных материалов для электродов, проецирование изображения с обратной стороны подложки, применение электронно-оптического преобразователя и др. Имеется и много других сообщений о создании ПЗС камер ЦТ, а также интересных предложений в направлении повышения разрешающей способности, требующих отдельного рассмотрения [43].

В современных моделях однотрубных камер, подготовленных зарубежной промышленностью к выпуску на рынок, фирмы-изготовители (Хитачи (Япония), Панасоник (США) и другие) стараются внедрить все достижения современной электроники, чтобы обеспечить максимальное удобство потребителю при работе с камерой. При этом используется технологический и производственный опыт, накопленный при выпуске студийной телевизионной техники. В последних моделях используется передающая трубка сатикон, получившая название по наименованию элементов, входящих в состав светочувствительного слоя (селен, мышьяк, теллур). Спектральная характеристика сатикона, в отличие от других видиконов, очень близка к характеристике трубки плюмбикон, наиболее широко используемой в студийных камерах. Это обстоятельство, а также наличие цветокодирующих растровых светофильтров способствует обеспечению хорошего качества цветопередачи.

Предусмотрены два размера передающих трубок с диаметрами входного окна  $2/3$  и  $1/2$  дюйма для сверхминиатюрных камер. Отметим, что камеры на сатиконах с диаметром  $2/3$  дюйма обеспечивают более высокое качество цветного изображения с хорошей разрешающей способностью и отсутствием видимых шумов, что в первую очередь объясняется большой поверхностью мишени.

Дополнительно можно отметить сохранение качества по всему полю изображения просмотрного устройства (цветного телевизора или ЦВКУ) с отсутствием расслоения цветов на краях изображения, характерного для бытовых цветных телевизионных камер на трех передающих трубках. Это объясняется отсутствием в однотрубочной камере сведения трех растров.

Передающие камеры на трубках сатикон выгодно отличаются от ранее выпускавшихся однотрубочных камер на обычных видиконах отсутствием таких недостатков, как эффект расплывания изображения в местах пересветки и остаточное изображение при движении камеры.

Высокий технический уровень изготовления электронных узлов и широкое применение автоматических регулировок обеспечивают потребителю простоту обращения с камерой. Например, баланс белого устанавливается в два приема, на выполнение которых требуется не более трех секунд. Сначала в зависимости от места съемки нажатием кнопки в световой канал вводится фильтр, корректирующий цветовую температуру источника освещения под спектральную характеристику передающей трубки. Внутри помещения корректируется характеристика накальных осветителей, имеющих обычно цветовую температуру 3200 К. Съемка на улице требует замены фильтра для коррекции источника освещения с цветовой температурой 3500 К.

Второй этап регулировки баланса белого производится при съемке белой поверхности, не содержащей цветовых оттенков. При этом уровни сигналов в каналах  $R$  и  $B$  сравниваются в компараторе с уровнем яркостного сигнала. На выходе компаратора в зависимости от уровней сигналов  $R$  и  $B$  устанавливается большее или меньшее регулирующее напряжение, подаваемое в качестве управляющего на регулировки усиления в каналах  $R$  и  $B$ . Кроме того, имеется возможность вручную по цветному изображению установить любой цветовой тон небольшим изменением соотношения размахов в каналах  $R$  и  $B$ , например, таким образом можно создать эффект лунного освещения.

Камера автоматически наводится на резкость специальной ультразвуковой системой. На объект из камеры постоянно посылается пучок ультразвуковых волн, который, отразившись от него, попадает в систему зеркал над объективом камеры. Затем определяется расстояние до объекта и вырабатывается напряжение, воздействующее с помощью сервопривода на установку фокусного расстояния объектива камеры. Здесь имеется преимущество перед кинокамерой в том, что можно сразу проверить результат наводки на резкость по изображению на видеискателе. Можно выбрать большую или меньшую скорость наводки, так как фокусное расстояние может изменяться от 12,5 до 75 мм за 6 или 12,5 с. По желанию потребителя автоматика может быть отключена, что необходимо при съемке через стекло, а также при съемке макрообъектов, расположенных от камеры на расстояниях, меньших 1 м.

Автоматическая установка диафрагмы объектива производится

в диапазоне освещенностей на объекте от 35 до 100 000 лк. Однако она существенно отличается от диафрагмирования в студийных камерах, так как скорость установки диафрагмы зависит от освещенности объекта. При больших освещенностях время установки диафрагмы 0,5 с, при очень темных объектах до 5 с. Сразу после включения камеры диафрагма закрывается, предохраняя тем самым мишень передающей трубки от прожигания. То же происходит и при воспроизведении на видеоискателе камеры изображения, записанного на видеоманитофон, так как установка диафрагмы связана с запуском и остановкой подключаемого к камере видеоманитона. При пуске манитона на видеоискателе изображение, непосредственно проецируемое на мишень передающей трубки, автоматически заменяется на воспроизводимое с манитона. Одновременно оператор имеет возможность с помощью головного телефона прослушивать и записанное звуковое сопровождение. При остановке манитона на видеоискателе происходит обратный процесс. При очень больших освещенностях на объекте в световой канал камеры может быть введен дополнительный нейтральный светофильтр. Если освещение недостаточно, можно включить дополнительное усиление размахов выходных сигналов камеры, соответствующее как бы еще одному скачку диафрагмы. При этом изображение по качеству уже не отличается от изображения, создаваемого при таких же неблагоприятных условиях освещения однотрубными камерами на обычных видиконах, т. е. преимущества сатикона теряются.

В перерывах между съемкой отдельных сюжетов камера может быть переведена в резервный режим с незначительным потреблением от источника питания, когда включен лишь канал передающей трубки.

Большая роль в камерах отводится видеоискателю, на котором кроме показа передаваемой сцены дополнительно индицируется правильность настройки баланса белого, указывается, достаточно ли освещен объект съемки, выводится информация о движении ленты видеоманитона, а также указывается расход энергии батареи питания на данный момент съемки. Видеоискатели обычно выполняют на миниатюрных, например 1,5-дюймовых кинескопах. Окуляр видеоискателя может фиксироваться справа или слева, в зависимости от того, на каком плече будет производиться съемка. Окуляр, кроме того, может поворачиваться, если необходимо поднять камеру над головой. При этом простым переключением меняется направление разверток трубки видеоискателя, и изображение не кажется перевернутым.

Многосторонние испытания новых образцов однотрубных камер в течение длительного времени в различных условиях [44, 45] показывают их перспективность применения в быту. Высокий технический уровень исполнения и блочно-модульный принцип построения камер обеспечивает большие возможности во время работы, а также хорошую ремонтоспособность. Электронные блоки и экранированная передающая трубка монтируются в корпусах,

изготовленных литьем под давлением. Обеспечивается хороший доступ к печатным платам. При съемке выдвигается ручка и дополнительная опора, что позволяет удерживать камеру в любой, даже не очень удобной позе.

Среди прочих достоинств камер с растровыми кодирующими цветофильтрами следует отметить возможность непосредственной записи сигнала передающей трубки на цветной видеомагнитофон. Особенно важным это преимущество является для видеожурналистики при записи сигнала на кассетный видеомагнитофон. Особенность сигнала однотрубочной камеры такова, что его частотный спектр подобен спектру сигнала на выходе кодирующего устройства стандартной системы цветного телевидения. При разработке однотрубочных камер шаг и расположение кодирующих растровых цветофильтров следует выбирать такими, чтобы частота цветовой поднесущей оказалась равной нормализованной в стандартной системе, а компоненты сигнала цветности располагались между гармониками частоты строк. Именно поэтому такой сигнал может обрабатываться теми же устройствами, что и сигнал стандартной системы. Журналисту при работе на выезде необходима только легкая передающая камера и кассетный видеомагнитофон. Лишь для воспроизведения записанного сигнала в стационарных условиях необходим дополнительный по сравнению со стандартными условиями специальный блок обработки, включающий декодирующее устройство сигнала передающей трубки.

Здесь уместно высказать некоторые соображения по улучшению качества цветопередачи в условиях внестудийной съемки и по перспективе увеличения цветового охвата камер.

Обычно правильность передачи цветов оценивается при съемке плоской стандартизованной тест-таблицы, проецируемой объективом на светочувствительную мишень передающей трубки. Изображение тест-таблицы на мишени трубки двумерное, а объектив при этом выполняет чисто проекционную функцию изменения масштаба. Если электрический тракт является линейным, и параметры трубок в пределах рабочих площадок их мишеней одинаковы, то придерживаясь известных колориметрических связей между характером освещения объекта и параметрами кинескопа, можно добиться стабильного высококачественного воспроизведения цветов, близких к исходным.

В практике внестудийной телевизионной съемки выбор и стабильность условий оптимального освещения объектов передачи в большинстве случаев затруднены, что приводит к искажению цветов при воспроизведении. Такие искажения можно корректировать с помощью дополнительных цветофильтров и электрических корректоров в передающих трактах.

В процессе оптической проекции реальных объектов съемки на плоскость мишеней трубок трехмерное пространство преобразуется в двумерное. При этом на мишени возникает изображение не только объекта, на который сфокусирован объектив, но и глубинных планов трехмерного пространства, с иным распределе-

нием цветов, зависящем от сюжета. Диффузный характер отражения света, свойственный большинству окрашенных тел, приводит к смешению цветов деталей, расположенных на плоскости мишени рядом, но разнесенных в пространстве объекта по глубине; цветные тени создают эффект локального изменения спектральных характеристик освещения.

Подобные искажения известны из техники кино, фотосъемки, а также полиграфии. Для их устранения существует большой арсенал средств и методов, в том числе корректоры, трансформирующие значительные динамические диапазоны яркостей и цветностей природы в более малые, доступные для воспроизведения существующими средствами. Разработана методика преднамеренного изменения цветов всего изображения, а также его отдельных деталей, осуществляемая с помощью замкнутых телевизионных цветных систем; получает развитие микропроцессорная техника адаптивной трансформации цветов и в самих системах цветного телевидения. Последнее обстоятельство заставляет обратиться к поиску средств расширения цветового охвата камер, в данном случае таких, которые бы не нарушали их портативности.

Ранее предпочтение по простоте и массогабаритным параметрам отдавалось однотрубочным камерам, по достигнутому к настоящему времени качеству работы — трехтрубочным. Совершенно естественной является мысль о возможности замены в трехтрубочной камере обычных плюмбиконов трубками со штриховыми цветоделительными фильтрами. При этом цветовой охват такой камеры в синтезированном виде представляет собой фигуру большей площади нежели треугольник.

Площадь цветового охвата камеры, вписанная внутри локуса на графике МКО, может существенно возрасти, как возрастает цветовой охват, например, в шестицветном полиграфическом процессе по сравнению с трехцветным. Создаются возможности строить преобразователь цвет—сигнал с использованием отрицательных ветвей кривых смешения колориметрической системы камеры, поскольку от нее можно получать одновременно до девяти сигналов вместо трех. Такое решение связано с преодолением ряда трудностей, из которых следует упомянуть необходимость подавления в сигналах компонент растровой структуры штриховых цветофильтров. Камеры с расширенным цветовым охватом создадут новые возможности для трансформации и обработки изображений в электрических трактах, лучшего использования зон цветового охвата кинескопов.

В будущем цветные камеры должны найти широкое применение в робототехнике [47]. Тут визуальная информация может пополниться средствами распознавания технологической окраски деталей в процессе автоматизированной сборки деталей с отдачей нужных команд манипуляторам. Для выполнения логических действий манипуляторов потребуется информация и о расположении деталей объектов в пространстве для их захвата и нужного перемещения.

Для решения подобных задач окажется полезным дальнейшее совершенствование портативных камер цветного объемного телевидения. Например, фирма «Виктор» (Япония) разработала замкнутую телевизионную цветную систему, предназначенную для формирования цветного телевизионного изображения с возможностью получения стереоскопического эффекта и состоящую из двух цветных телевизионных камер и одного монитора [46]. Эта система может быть использована для наблюдения и видеозаписи трехмерных изображений процессов и явлений при проведении научных исследований, для дистанционного управления технологическими процессами, для воспроизведения учебных и развлекательных стереоскопических видеофильмов.

Для получения стереоэффекта оптическое изображение объекта передачи преобразуется двумя телевизионными камерами в правый и левый телевизионные сигналы стереопары, которые поочередно воспроизводятся на одном экране ЭЛТ с периодом переключения 100 мкс. Для зрительного восприятия стереоскопического изображения применены специальные очки с поляридными фильтрами и быстродействующим электронным затвором. Электронный затвор поочередно открывает левый и правый фильтры синхронно с появлением на экране ЭЛТ соответственно левого и правого изображения. Электронный затвор представляет собой твердотельное устройство на основе специальной керамики, изготовленной из цирконата и титаната свинца с примесью окиси лантана. Такая керамика имеет высокую оптическую прозрачность (98% при толщине 0,25 мм) и обладает свойством изменять на 90° угол поляризации проходящего светового луча при наличии напряжения 250 В постоянного тока.

В состав телевизионной системы входят как специально разработанные устройства для получения стереоэффекта: смеситель телевизионных сигналов, сепаратор для выделения синхросигнала управления электронным затвором, специальные очки, так и следующая телевизионная аппаратура общего назначения:

две переносные цветные телевизионные камеры KV-1900V;  
портативный кассетный видеомаягнитофон BR-6200V;  
цветной телевизионный приемник AV-20ME.

В профессиональной переносной компактной камере для образования телевизионного сигнала использованы три передающие трубки сатикон. В камеру встроен электронный видискатель на ЭЛТ с диагональю 3,8 см, имеются автоматическая регулировка диафрагмы, автоматический баланс белого и встроенный тестовый генератор цветных полос.

*Основные технические данные камеры KV-1900V*

Разрешающая способность, лин	. . . . .	500
Отношение сигнал-шум, дБ	. . . . .	52
Минимальная освещенность на объекте, лк	. . . . .	150
Диапазон рабочих температур, °С	. . . . .	—5 ... +45
Потребляемая мощность, В·А	. . . . .	12
Габаритные размеры, мм	. . . . .	108×188×298
Масса, кг	. . . . .	3,5

Камера в этой системе представляется сложной, система не предусматривает передачи сигналов стереопары по существующим каналам связи.

При построении портативной камеры цветového объемного телевидения, способной удовлетворить потребности документальной журналистики и промышленного применения важно, чтобы она могла работать в рамках совместимости с существующей вещательной системой черно-белого и цветного телевидения.

Различные возможности реализации совместимых систем цветного объемного телевидения описаны в [1, 48 и проч.]. Из них наиболее рациональной (в частности, в аспекте построения портативной камеры) является разработанная коллективом ЛЭИС им. проф. М. А. Бонч-Бруевича «Однообъектная система стереоцветного телевидения». Экспериментальный комплекс аппаратуры прошел стадию испытаний посредством опытных передач через Ленинградский телевизионный центр, и его создатели продолжают работу над совершенствованием системы [48]. Опуская подробности структуры системы и ее действия, коснемся главной отличительной черты камеры.

В отличие от обычных стереоскопических камер, в частности от рассмотренной камеры фирмы «Виктор» [46], в этой системе используется обычная цветная трехтрубчатая камера с одним объективом. Во в этот объектив встраивается в месте расположения диафрагмы цветофильтр, состоящий из двух смежных полей, окрашенных в цвета, дополнительные друг другу, например, красный и голубой. Граница между этими полями располагается вертикально в середине объектива, разделяя его отверстие на две равные части, которые можно представить в виде комбинации из двух, близко расположенных друг к другу линз и оптических клиньев [49, 50].

Точки деталей пространства объекта передачи, расположенные в плоскости фокусировки объектива, будут отображаться на мишенях передающих трубок в резко сфокусированном виде. По мере удаления названных точек от плоскости фокусировки по глубине, будет возникать их дефокусировка в плоскостях мишеней передающих трубок, и появится параллакс в горизонтальном направлении, обусловленный проекцией точек на разные половины объектива. Существенно, что в зависимости от направления удаления точек от плоскости фокусировки вперед или назад, расположение цветов в расфокусированном изображении точек на каждой мишени передающих трубок будет по горизонтали меняться местами. Этот остроумный способ получения информации о глубинном положении деталей в пространстве представляется удачным для реализации стереоцветной системы телевидения, не только совместимой с существующими, но и предусматривающей воспроизведение изображений с помощью обычных цветных кинескопов и наблюдения через посредство очков, снабженных цветофильтрами указанных выше цветов, таких же, как и в камере.

Из этого краткого описания следует, что требование воспроиз-

ведения цветных объектов в объеме не должно вызвать принципиальных затруднений для создания в будущем простой стереоцветной камеры, полезной для вещания и промышленного применения, на базе одной из существующих портативных камер.

Дальнейшие улучшения показателей однотрубных камер во многом зависят и от развития технологии изготовления мелкоструктурных цветоделительных фильтров, совмещаемых со светочувствительными поверхностями датчиков сигналов цветных изображений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Телевидение. Под ред. проф. П. В. Шамова. — М.: Связь, 1979. — 432 с.
2. Пресс Ф. П. Формирователи видеосигнала на приборах с зарядовой связью. — М.: Радио и связь, 1981. — 136 с.
3. Петропавловский В. Л., Постникова Л. Н., Хесин А. Я. Технические средства телевизионного репортажа. — М.: Радио и связь, 1983. — 128 с.
4. А. с. № 12177 (СССР). Способ получения трех сигналов в основных цветах от одной однолучевой передающей телевизионной трубки. В. В. Однолюк, П. В. Шаков.
5. Бабенко В. С. Оптика телевизионных устройств. — Изд. 2-е. — М.: Радио и связь, 1982. — 256 с.
6. ГОСТ 7845—79. Система вещательного телевидения. Основные параметры, методы измерения.
7. ГОСТ 19871—74. Тракты телевизионные вещательные цветного изображения аппаратно-студийного комплекса и передвижной телевизионной станции, основные параметры, методы измерений.
8. ГОСТ 22006—76. Установки телевизионные прикладного назначения. Основные параметры, технические требования.
9. Хесин А. Я., Хлебородов В. А. Цифровая камера ВСС-20. — Техника кино и телевидения, 1982, № 2, с. 59—61.
10. Новаковский С. В. Техника цветного телевидения. — М.: Связь, 1976. — 496 с.
11. Достижения в технике передачи и воспроизведения изображений/Под ред. Б. М. Кейзана. — М.: Мир, 1979, т. 2. — 286 с.
12. Лишин Л. Г. Магнитная запись цветных изображений. — М.: Энергия, 1979. — 210 с.
13. Русинов М. М. Техническая оптика. — Л.: Машиностроение, 1979. — 488 с.
14. Артюшин Л. Ф. Основы воспроизведения цвета в фотографии, кино и полиграфии. — М.: Искусство, 1970. — 548 с.
15. Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике. — М.: Мир, 1978. — 592 с.
16. Однотрубные передающие камеры цветного телевидения/Ю. И. Афанасьев, О. Г. Коршунов, В. В. Однолюк и др. — Техника кино и телевидения, 1975, № 11, с. 41—47.
17. Sato [et al]. A signal analysis for 3-electrode vidicon color cameras with striped filters in complementary primary colors. — The J. of the Inst. of TV Eng. of Jap, 1978, v. 32, N 9, p. 764—770.
18. GP-5. Однотрубная камера ЦТ. Проспект фирмы «Хитачи».
19. Schönfelder, Bock. Einröhren und Zweiröhren farb-kamera systems. — Funkschau, 1975, h. 18, s. 111—114.
20. Manz F. Tricon farbkamera fur Heimanwendungen — Funkschau, 1980, № 3, s. 67—68.
21. Хасидзуме Ясуани. Новейшее телевизионное оборудование японской радиокомпании. — Хосо гидзюцу, 1968, т. 21, № 8, с. 615—618.
22. Flory R. E. Applications of the Bivicon tube. — RCA Rev., 1973, 34, № 1, p. 132—151.
23. Метод строчно-последовательного кодирования в прикладных системах цветного телевидения/И. Н. Денисенко, В. В. Однолюк, А. Ф. Ожигин, В. Г. Оре-

хов. — Техника средств связи. Сер. Техника телевидения, 1979, вып. 1, с. 21—27, с. 21—27.

24. Анализ колориметрического кодирования сигналов для метода строчно-последовательной передачи цветных изображений/И. Н. Денисенко, В. В. Однотрубко, А. Ф. Ожигин, В. Г. Орехов. — Техника средств связи. Сер. Техника телевидения, 1979, вып. 2, с. 35—43.

25. Ожигин А. Ф., Харитонов Ю. А., Денисенко И. Н. Декодирующее устройство однотрубочной камеры ЦТ. — Техника средств связи. Сер. Техника телевидения, 1977, вып. 1, с. 29—36.

26. Nagahara [et al]. Development of a single pick up tube color camera by frequency multiplexing. The J. of the Inst of TV Eng of Jap., 1972, № 2, p. 104.

27. Ожигин А. Ф., Харитонов Ю. А. Однотрубочная камера цветного телевидения с фазовым разделением сигналов цветности. — Техника средств связи. Сер. Техника телевидения, 1977, вып. 4, с. 9—15.

28. Ожигин А. Ф., Харитонов Ю. А. Гребенчатый фильтр однотрубочной камеры цветного телевидения. — Техника средств связи. Сер. Техника телевидения, 1978, вып. 6, с. 63—68.

29. Ожигин А. Ф., Харитонов Ю. А. Особенности спектра однотрубочной камеры цветного телевидения с фазовым разделением сигналов цветности. — Техника средств связи. Сер. Техника телевидения, 1980, вып. 1, с. 48—53.

30. Koubek M. Interplex—high quality single-tube color TV camera system. — Component rept. 1976, 11, № 4, p. 119—123.

31. Ханзел Г. Справочник по расчету фильтров. — М.: Сов. радио, 1974.

32. Финкельштейн М. И. Гребенчатые фильтры. — М.: Сов. радио, 1969.

33. Авраменко В. Л. Электрические линии задержки и фазовращатели. — М.: Связь, 1973.

34. Хесин А. Я., Хлебородов В. А. Видеокамера — новое перспективное средство видеосъемки. — Техника кино и телевидения, 1983, № 1, с. 60—67.

35. Tetzner K. Die Stars hiefzen Hawkeye und Beta Kam Funkschau. — 1981, № 15, s. 60—62.

36. Kohler H. Medizinische VideoKameras. — Funkschau. 1982, № 3, s. 45—46.

37. Твердотельный датчик изображений высокой четкости. — Электроника, 1980, № 13, с. 46—48.

38. Nagahara S. [et al]. A tiny one-chip MOS color camera The J. of the Inst of TV Eng of Jap. 1980, v. 34, № 12, p. 1088.

39. Peter L. Color imaging array using a single-chip MOS images. — IEEE Trans., 1978, v. CED-25, № 2, p. 102.

40. Nabeyama Hiroaki [et al]. All solid-state color camera with single-chip MOS images. — IEEE Trans., 1981, v. CE-27, № 1, p. 40.

41. Миленин Н. К. Портативные одно- и двухтрубные камеры цветного телевидения. — Техника кино и телевидения, 1983, № 7, с. 57—66.

42. Хесин А. Я. Новая универсальная видеосистема. — Техника кино и телевидения, 1983, № 8, с. 65.

43. Таджибаев Ш. З. О возможностях получения сигналов ТВ изображений повышенной четкости в камерах с ПЗС матрицами. — В кн.: Сборник научных трудов учебных институтов связи. — ЛЭИС, 1982, с. 105.

44. Gerhard Girschweiler. Mit Video hinaus in die Natur. — Electronic sound + + rte, 1983, N 6, s. 6.

45. Hans Joachim Haase. Ein neues Heim — kamera konzept. — Radio fernseh phono praxis, 1983, N 6, s. 14—83.

46. Цветная телевизионная система для создания стереоскопического эффекта. Проспект фирмы «Виктор компани» (Япония).

47. Катус Г. П. Визуальная информация и зрение роботов. — М.: Энергия, 1979. — 176 с.

48. Джакония В. Е. О стереоцветном телевидении. — В кн.: Сборник научных трудов учебных институтов связи. Обработка информации в системах связи. — Л.: ЛЭИС, 1982, с. 21—26.

49. Полянский Ю. Г. Получение цветных объемных изображений. — Техника кино и телевидения, 1976, № 2, с. 43—45.

50. Пат. 3.712.199 (США). Three-dimensional color photographic process apparatus and product, 1973.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
<b>1. Виды портативных камер цветного телевидения и их узлы . . . . .</b>	<b>5</b>
1.1. Портативные камеры . . . . .	5
1.2. Основные узлы и характеристики вещательных камер . . . . .	11
<b>2. Кодирование цветовой информации в портативных камерах ЦТ с растровыми цветофильтрами . . . . .</b>	<b>19</b>
2.1. Виды кодирования, структуры растровых цветофильтров . . . . .	19
2.2. Оптическая система . . . . .	26
2.3. Колориметрические особенности камер и технология изготовления фильтров . . . . .	33
<b>3. Камеры с временным кодированием цветовой информации . . . . .</b>	<b>40</b>
3.1. Камера на трехсигнальном видеоконе . . . . .	40
3.2. Камера с временным разделением цветовой информации . . . . .	44
3.3. Камера с индексным разделением цветовой информации . . . . .	45
3.4. Камера с построчным кодированием цветовой информации . . . . .	54
<b>4. Камеры с частотным кодированием цветовой информации . . . . .</b>	<b>55</b>
4.1. Камера с частотным разделением цветовой информации . . . . .	55
4.2. Камера с фазовым разделением цветовой информации . . . . .	58
4.3. Камера с частотно-фазовым разделением цветовой информации . . . . .	69
<b>5. Декодирование цветовой информации в портативных камерах цветного телевидения . . . . .</b>	<b>70</b>
5.1. Декодирующее устройство камеры с частотным разделением сигналов основных цветов . . . . .	70
5.2. Декодирующее устройство камеры с фазовым разделением сигналов цветовой информации . . . . .	78
<b>6. Перспективы развития портативных камер ЦТ . . . . .</b>	<b>87</b>
Список литературы . . . . .	103