



Цифровые видеонаблюдения

Camcorder

Что такое камкордер? Пятнадцать лет назад такого слова просто не существовало. Оно возникло путем слияния двух слов, очень верно отражая сущность предмета, взяв первую половину от слова camera, и вторую - от recorder. Таким образом, камкордер - это камера, сочлененная с видеомэгнитофоном. В России этому понятию эквивалентно слово видеокамера, которое мы используем, обозначая камеру бытового назначения, что, однако, уже не соответствует действительности, поскольку уже давно существуют профессиональные моноблочные видеокамеры.

Видеокамера

- **телевизионная камера** — электронное устройство, предназначенное для преобразования оптического изображения, получаемого при помощи объектива на мишени вакуумной передающей трубки или на светочувствительной матрице в телевизионный видеосигнал или цифровой поток видеоданных. Видеосигнал может передаваться по радио, кабельным сетям или по сети интернет, а также записываться на аналоговом или цифровом носителе для последующего воспроизведения.

- В отличие от телевизионной вещательной камеры видеочамера отличалась меньшим весом, габаритами, энергопотреблением, большей надежностью и стабильностью параметров при работе на открытом воздухе, то есть, всепогодностью. Однако, качество формируемого сигнала и соответствующей ему картинки были несколько хуже. В настоящее время этот недостаток успешно преодолен и параметры вещательной цифровой видеочамеры полностью соответствуют стандарту.

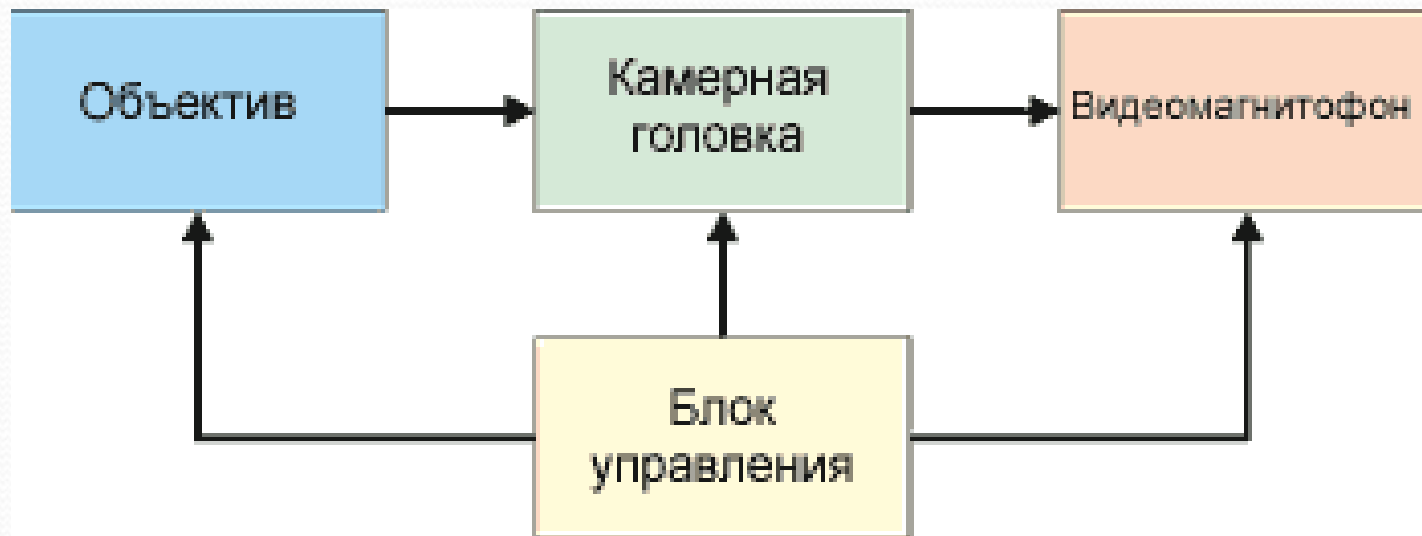


Рис. 1 – Структурная схема видеокамеры

На рис. 1 представлена укрупненная схема видеокамеры, которая состоит из объектива, камерной головки, видеомагнитофона и устройства управления.

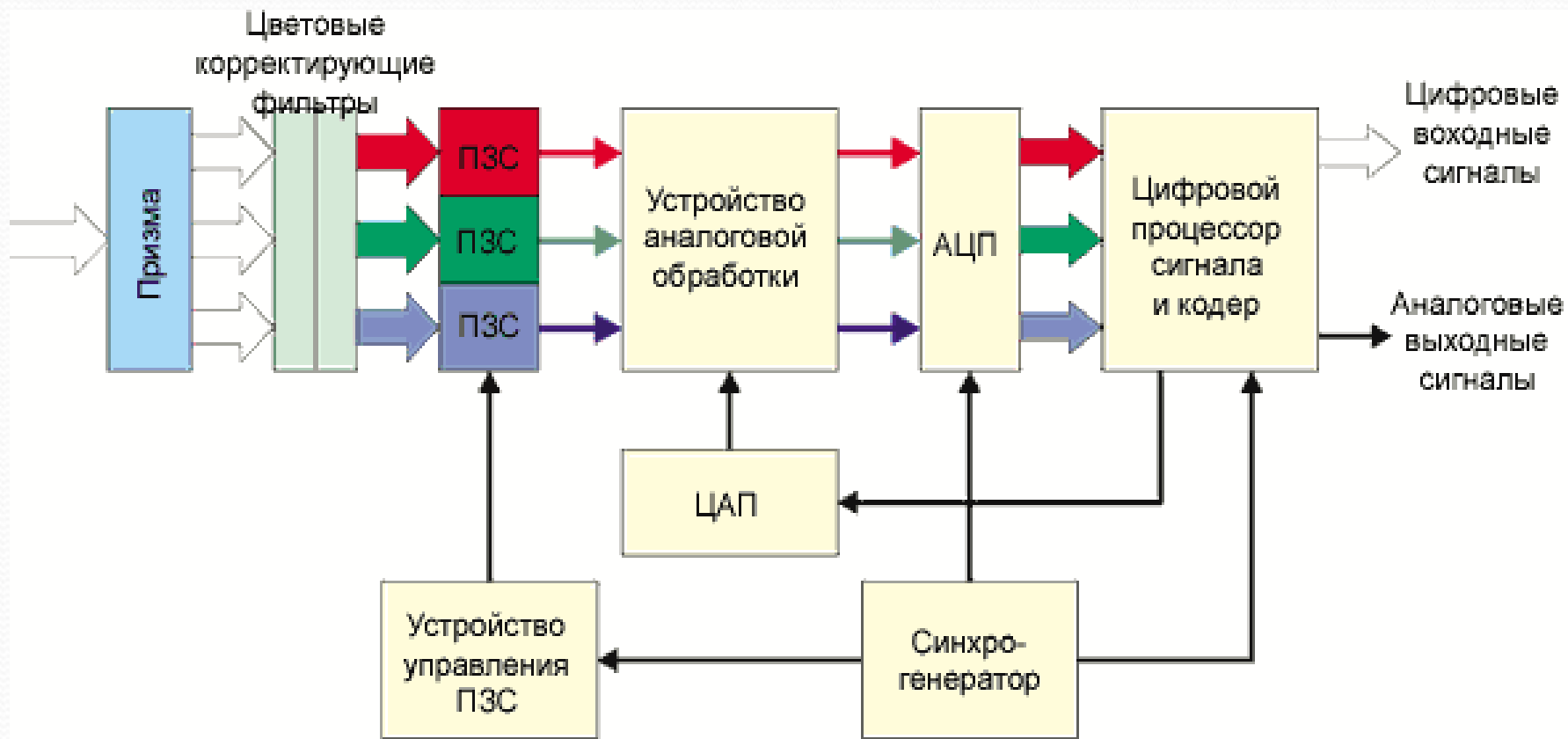


Рис. 2. Камерная головка

- К объективу цифровой видеокамеры предъявляются требования повышенной разрешающей способности из-за малого размера элемента разложения прибора с зарядовой связью (ПЗС). Кроме того, объектив должен быть легким, надежным и формировать изображение с наименьшими искажениями. Наилучшими считаются объективы фирм Canon и Fujinon.
- Объективы имеют регулируемые диафрагму, трансфокатор и фокусировку. Они снабжаются дополнительными сменными светофильтрами. Основной блок видеокамеры - камерная головка (рис. 2), которая состоит из узла преобразования "свет-сигнал" и цифрового процессора обработки сигнала изображения (рис. 3).

- Узел преобразования "свет-сигнал" и объектив составляют оптическую часть видеокамеры и представлены на рис. 4.
- Сразу за объективом расположен фильтр нижних пространственных частот и светоделительная призма с цветными фильтрами, которая разделяет световой поток на три спектральные составляющие - красную (R), зеленую (G) и синюю (B) - по числу преобразователей изображения на ПЗС.
- Так как преобразователи на ПЗС имеют максимальную чувствительность в ИК-области спектра, а необходимо иметь кривую спектральной чувствительности камеры, близкую к кривой чувствительности глаза, то в оптическую часть камеры входит фильтр ИК-отсечки.

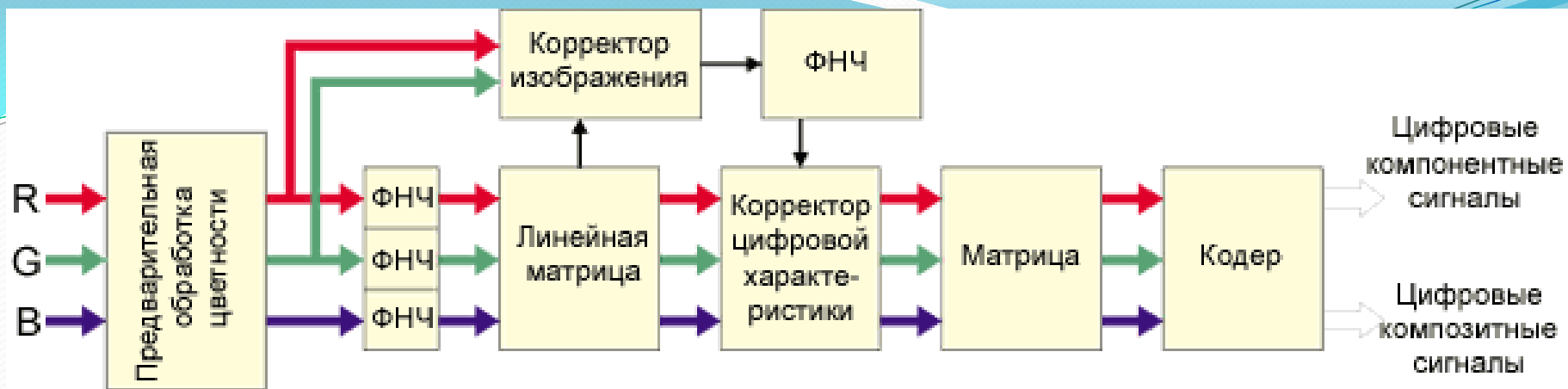


Рис. 3. Цифровой процессор сигнала



Рис. 4. Оптическая часть видеокамеры

Устройство и работа преобразователя изображения на ПЗС

- Преобразователь изображения на ПЗС - это прибор, осуществляющий пространственную дискретизацию изображения. Для исключения интермодуляционных искажений или элайзинга (наложения спектров при дискретизации), в соответствии с теоремой Котельникова, спектр передаваемых пространственных частот перед дискретизацией должен быть ограничен на частоте, равной половине частоты дискретизации. Этой цели служит фильтр нижних пространственных частот (ФНПЧ), установленный перед светоделительной призмой. В видеокамерах, применяемых в ТВ-вещании, обычно используют самые высококачественные и дорогостоящие ПЗС со строчным (IT CCD) или строчно-кадровым переносом (FIT CCD). На рис. 5 представлен ПЗС со строчно-кадровым переносом.

Вертикальные регистры переноса

Фотодиоды

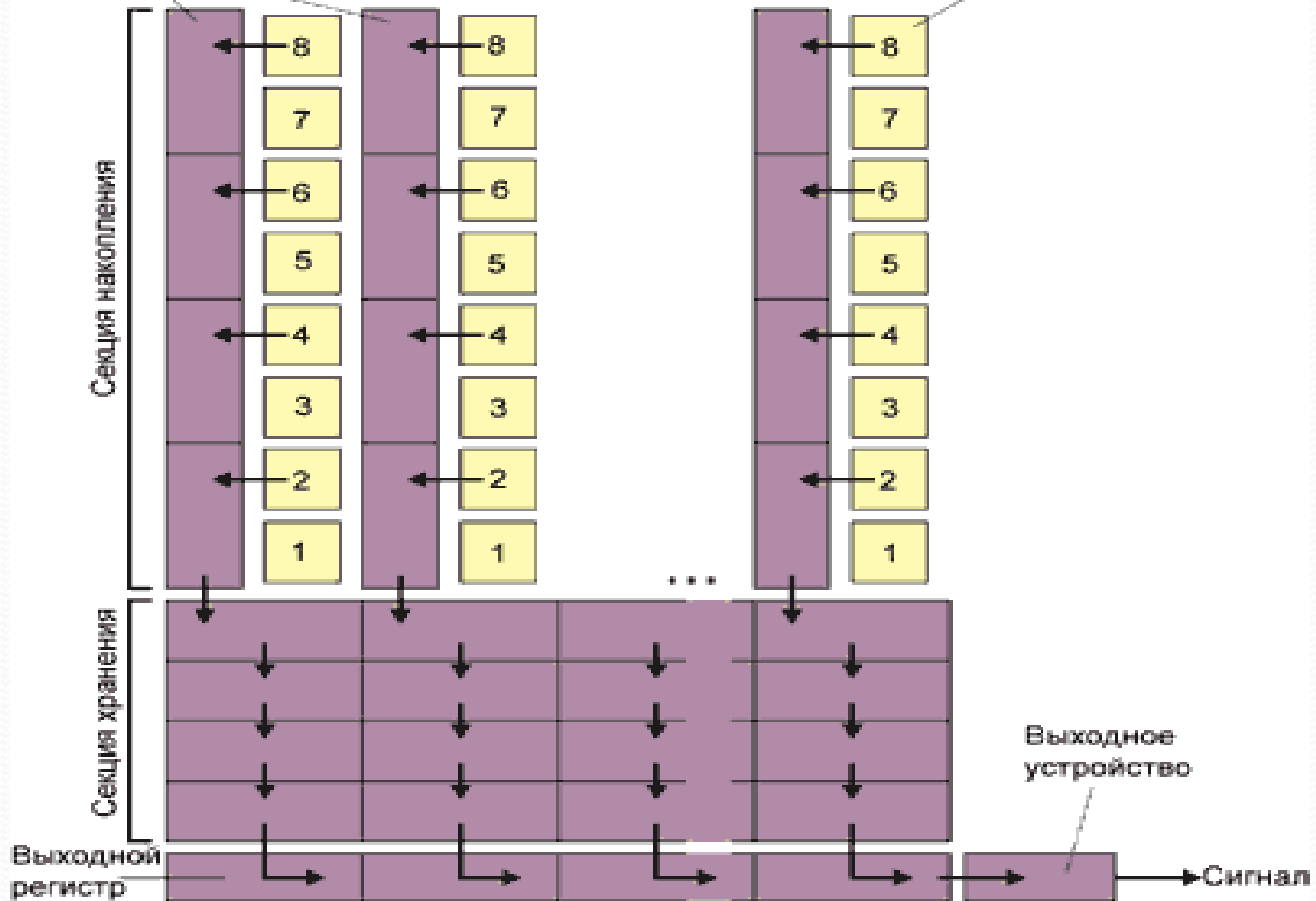


Рис. 5. ПЗС со строчно-кадровым переносом, FIT CCD

- IT CCD отличается от него только отсутствием секции хранения. Из рисунка видно, что часть светочувствительной поверхности секции накопления покрыта непрозрачными для света вертикальными регистрами переноса, что существенно снижает световую чувствительность таких ПЗС по сравнению с ПЗС с переносом кадра.
- Преодолеть этот недостаток позволило применение микролинз, которые располагаются перед каждым фотодиодом и поэтому практически весь свет собирается на них, минуя закрытые от света участки секции накопления.
- Следует отметить существование в преобразователях двух режимов накопления: режим накопления поля (это стандартный режим работы), и режим накопления кадра.
- Рассмотрим работу преобразователя в этих режимах на примере работы строчно-кадрового ПЗС (IT CCD), фрагмент которого представлен на рис. 6.
- В этих приборах регистр вертикального переноса, который закрыт от света, является четырехфазным (фазы $\phi V_1 \dots \phi V_4$), а горизонтальный выходной регистр - двухфазным (фазы $\phi H_1, \phi H_2$).

- В режиме накопления поля (рис. 6) все фотодиоды преобразователя опрашиваются одновременно - один раз в течение поля. Поэтому время накопления информации в таком режиме составляет одно ТВ-поле. Причем, два соседних по вертикали фотодиода объединяются в одну ТВ-строку.
- Чересстрочность обеспечивается следующим образом: в нечетном поле первой телевизионной строке принадлежат первый и второй фотодиоды, второй - третий и четвертый фотодиоды, третьей - пятый и шестой фотодиоды, и так далее.
- В четном же поле фотодиоды объединяются в пары со сдвигом на один фотодиод: первая строка - первый фотодиод, вторая строка - второй и третий фотодиод, третья - четвертый и пятый фотодиод и так далее.
- Такой режим обеспечивает минимальную временную инерционность, но разрешающая способность по вертикали при этом понижена, так как высота элемента накопления равна высоте двух фотодиодов.
- Повысить разрешающую способность позволяет режим накопления кадра, когда в нечетном поле опрашиваются нечетные фотодиоды (1, 2, 3 и так далее), а в четном - четные (2, 4, 6 и т. д.).
- Тем самым, размер элемента разложения по вертикали уменьшается вдвое, но также вдвое увеличивается временная инерционность ПЗС, так как фотодиоды накапливают информацию в течение двух телевизионных полей.
- Некоторые фирмы-производители для повышения разрешающей способности по вертикали применяют этот режим в выпускаемых ими видеокамерах, но применять его следует весьма осторожно, учитывая повышенную временную инерционность.

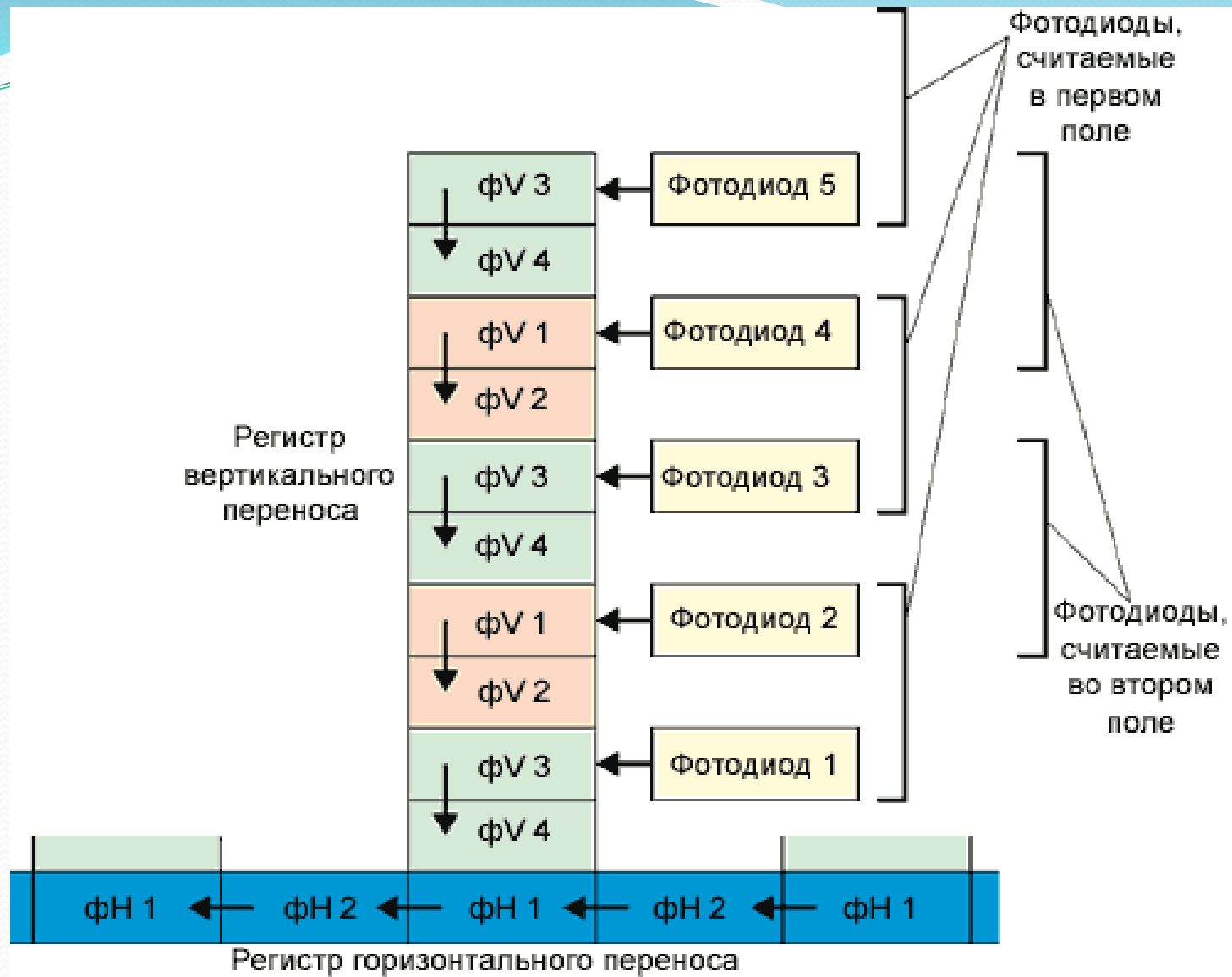


Рис. 6. Режим накопления поля

Аналоговая обработка сигнала

Схема двойной коррелированной выборки (ДКВ)

Сигнал, снимаемый с ПЗС, содержит характерные искажения и шумы, связанные с работой его выходного устройства. Чтобы найти пути, позволяющие избавиться от этих последствий, рассмотрим особенности формирования этого выходного сигнала. Как показано на рис. 7 выходной сигнал ПЗС имеет три уровня:

- уровень, определяемый импульсами сброса, проникающими в выходной сигнал через паразитные емкости (Reset Level);
- уровень фиксации, определяемый постоянным напряжением на стоке транзистора сброса с шумовой добавкой (Feed-Through Level);
- уровень сигнала с той же шумовой добавкой, вызванной цепями узла детектирования выходного устройства ПЗС (Signals).

Эти шумы включают в себя:

- шумы сброса;
- низкочастотные $1/f$ -шумы повторителя на МОП-транзисторе;
- тепловые шумы.

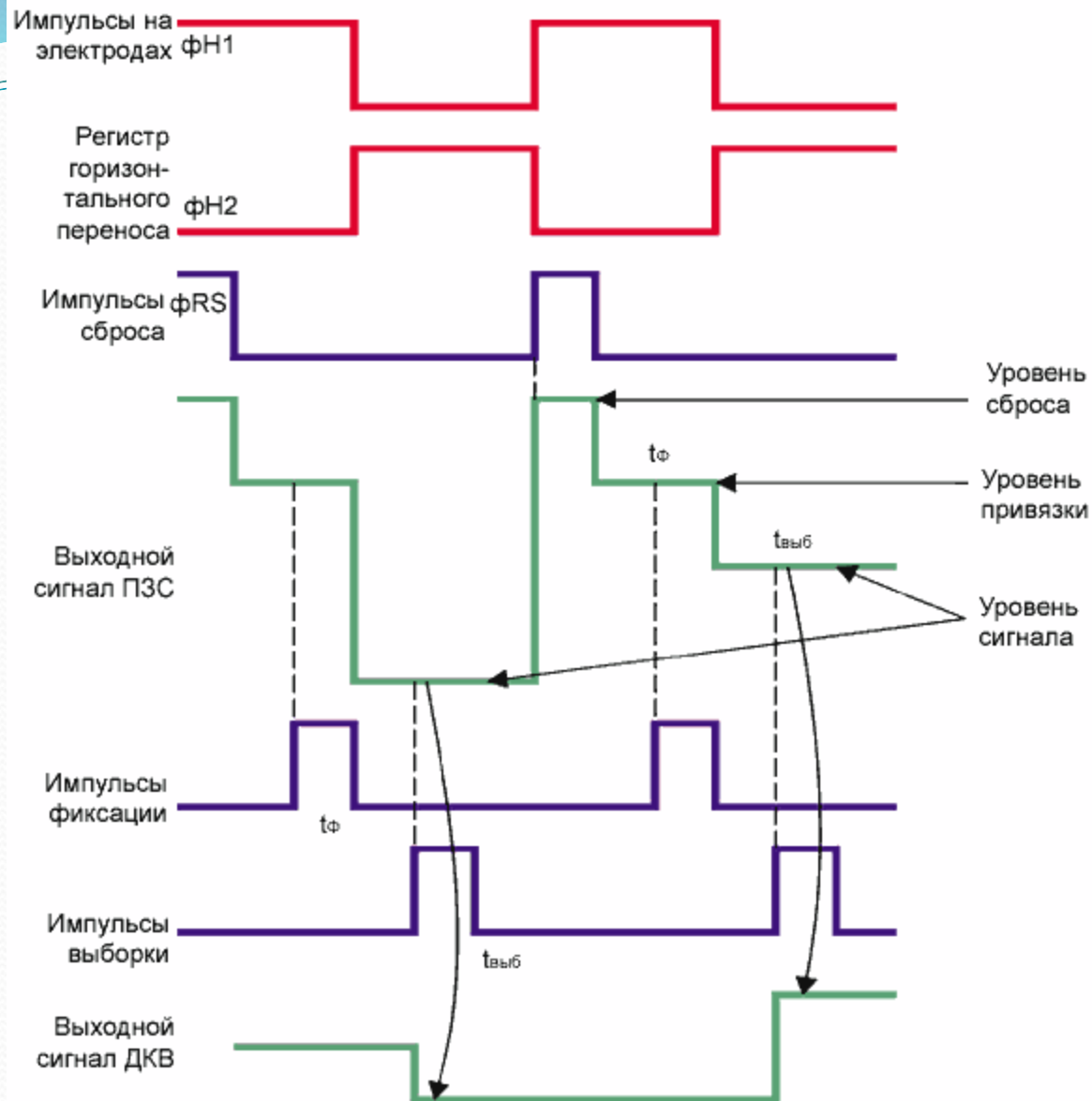
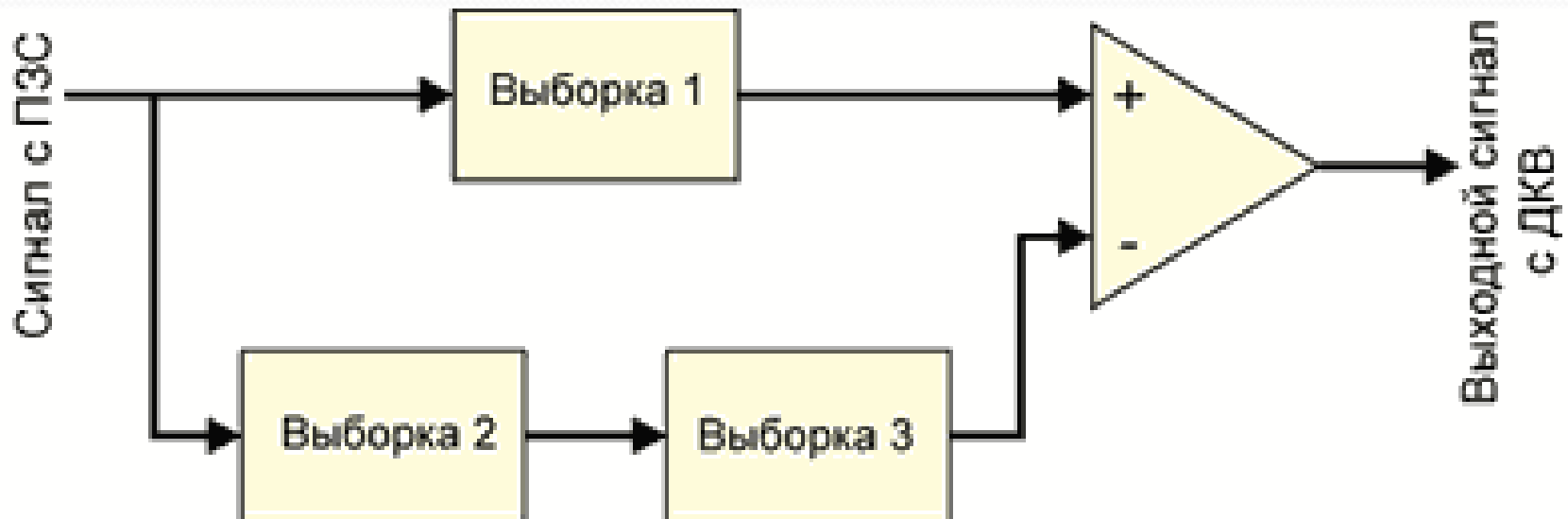


Рис. 7. Сигналы ПЗС и схемы ДКВ

- Устранить эту шумовую добавку $U_{ш}$ можно, так как ее величина в момент импульса фиксации $t_{ф}$ (когда информационный заряд еще не поступил в выходное устройство) и в момент импульса выборки $t_{выб}$ (когда информационный зарядный пакет уже слился с этой шумовой добавкой) остается неизменной. Именно операцию устранения шумовой добавки осуществляет схема двойной коррелированной выборки (ДКВ) или, в английской интерпретации, CDS (Correlated double sampling) (рис. 8).



- Схема ДКВ работает следующим образом. В момент времени фиксации t_f , когда на выходе ПЗС еще нет полезного сигнала, но есть шумовая составляющая $U_{ш}$, схема выборки осуществляет выборку и запоминание этой составляющей, которая передается на неинвертирующий вход операционного усилителя (ОУ). Схема выборки 1 осуществляет выборку и запоминание сигнала в момент времени $t_{выб}$, когда сигнал на выходе ПЗС уже содержит полезную составляющую U_c и ту же самую, что и в момент времени t_f , шумовую составляющую $U_{ш}$. Схема выборки 3 производит выборку шумовой составляющей $U_{ш}$ в момент времени $t_{выб}$, переписывая значение шума с выхода схемы выборки 2 на инвертирующий вход ОУ. В результате, с момента выборки $t_{выб}$ до следующей выборки на неинвертирующем входе ОУ будет присутствовать полезный сигнал с шумом $U_c + U_{ш}$, а на инвертирующем - $U_{ш}$. На выходе схемы ДКВ получим значение сигнала без шума U_c .

Предварительный регулируемый видеоусилитель

- После схемы ДКВ сигнал поступает на регулируемый усилитель, который обеспечивает заданный размах сигнала перед подачей его на аналого-цифровой преобразователь (АЦП), а также стабилизацию уровня черного и shading-коррекцию (коррекция проработки деталей изображения в местах со слабой освещенностью). Регулировка осуществляется путем задания необходимого уровня смещения, которое поступает на видеоусилитель с ЦАП, преобразующего сигнал обратной связи, формируемый цифровым процессором сигналов. Глубина регулировки усиления обычно составляет от -6 до 30 дБ. В усилителе осуществляется также регулировка, обеспечивающая постоянство уровня черного и уровня белого во всех трех каналах.

Аналого-цифровое преобразование

- Оценим разрядность АЦП, применяемого в цифровых видеокамерах. Стандартный видеосигнал на выходе видеокамеры, в соответствии с рекомендацией CCIR - 601, должен быть восьмиразрядным. В то же время, к современным видеокамерам предъявляется требование передачи динамического диапазона по освещенности, как минимум в шесть раз превышающей номинальную. С учетом этого динамический диапазон АЦП должен быть как минимум на 2,5 разряда ($\log 6/1$) больше. С учетом нелинейности гамма-характеристики, требующей дополнительного четырехкратного усиления в черном, потребуется дополнительно еще 2 разряда ($\log 4/1$).

- Таким образом, общая разрядность АЦП должна была бы составлять 3 разрядов ($8 + 2,5 + 2$). Создание такого АЦП, работающего на частоте преобразования видеосигнала, является в настоящее время достаточно сложной задачей. Поэтому разработчики видеокамер идут по пути сжатия динамического диапазона за счет регулировки режимов ПЗС, используя метод регулировки перегиба световой характеристики (knee correction), и обеспечения запаса по усилению в предварительном видеоусилителе (рис. 9). Этими методами удастся сузить динамический диапазон сигнала и ограничиться 10...12-разрядным АЦП. Учитывая, что в большинстве видеокамер используется три ПЗС - по одному на каждый из основных цветов - общее число АЦП в видеокамере равно трем.

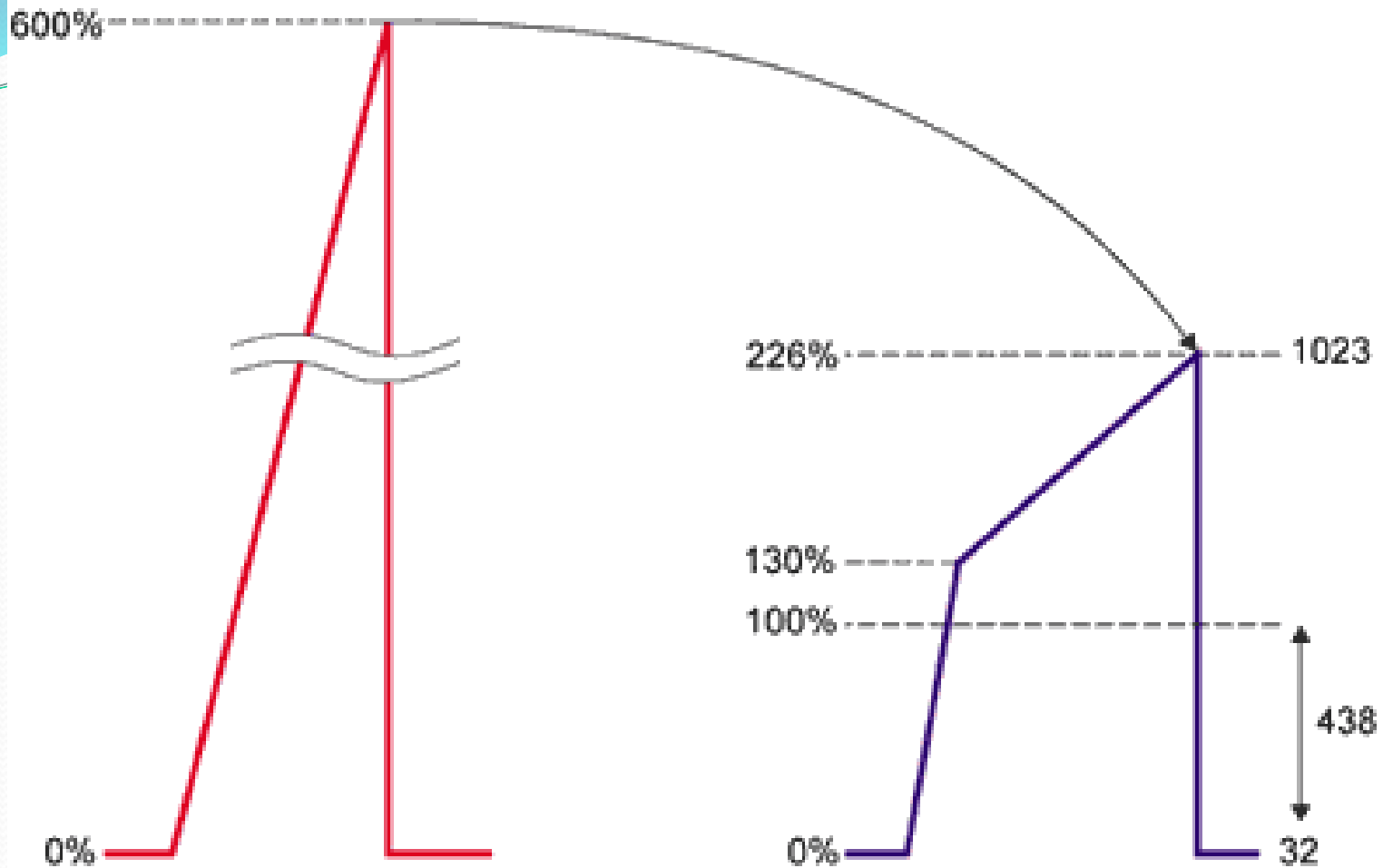


Рис. 9. Сжатие светового диапазона

Цифровой процессор сигналов (ЦПС)

- Назначение и работу ЦПС рассмотрим на примере ЦПС первой полностью цифровой видеокамеры фирмы SONY. Задачей цифровой обработки является такая обработка сигналов трех основных цветов, поступающих с АЦП, при которой обеспечиваются высокая разрешающая способность, широкий динамический диапазон, верность цветопередачи и высокая надежность работы видеокамеры. Высокая разрешающая способность формируемого видеокамерой изображения обеспечивается использованием ПЗС с большим числом элементов разложения, не менее $980(H) \times 576 (V)$, и сложным алгоритмом цифровой апертурной коррекции. Она заключается в интерполяции сигналов, полученных с двух ПЗС синего и красного каналов, сдвинутых относительно ПЗС зеленого канала в горизонтальном направлении на половину элемента разложения.

- При таком количестве элементов разложения ПЗС в горизонтальном направлении (980) и временем прямого хода по строке (52 мкс) нетрудно оценить частоту считывания информации с ПЗС, приближающуюся к 20 МГц. С учетом тактовой частоты цифрового сигнала, равной 13,5 МГц, и соответствующей рекомендации ССIR-601, выбирается частота считывания информации из ПЗС, равная $18 \text{ МГц} = 4/3 \times 13,5 \text{ МГц}$. Для исключения эффекта элайзинга тактовая частота, на которой работает ЦПС, выбирается в два раза больше частоты считывания информации с ПЗС - 36 МГц. Для исключения циклических ошибок при масштабировании сигнала в цепях цифрового процессора сигналов осуществляется как минимум 14-разрядная, а в последних моделях 22-разрядная, цифровая обработка и с каждым годом, благодаря совершенствованию технологических процессов производства больших интегральных схем, разрядность цифровой обработки повышается. Особенно важна высокая разрядность сетки при нелинейной обработке сигналов, например, при гамма-коррекции.

Гамма-коррекция сигнала в цифровом процессоре сигналов

- Задачей гамма-коррекции является создание такой "характеристики свет-сигнал" цифровой видеокамеры (обычно значение меньше единицы), чтобы она компенсировала модуляционную характеристику кинескопа, (которая больше единицы) и обеспечивала значение сквозной характеристики всего ТВ-тракта "от света до света" (то есть, по цепи "снимаемый объект - экран монитора"), близкое к единице. Одним из способов получения кривой, соответствующей требуемой гамма-характеристике, является кусочно-линейная аппроксимация, представленная на рис.10, из которой видно, что в области малых освещенностей (где X мало) коэффициент усиления тракта существенно больше, чем в области средних и, тем более, больших сигналов.

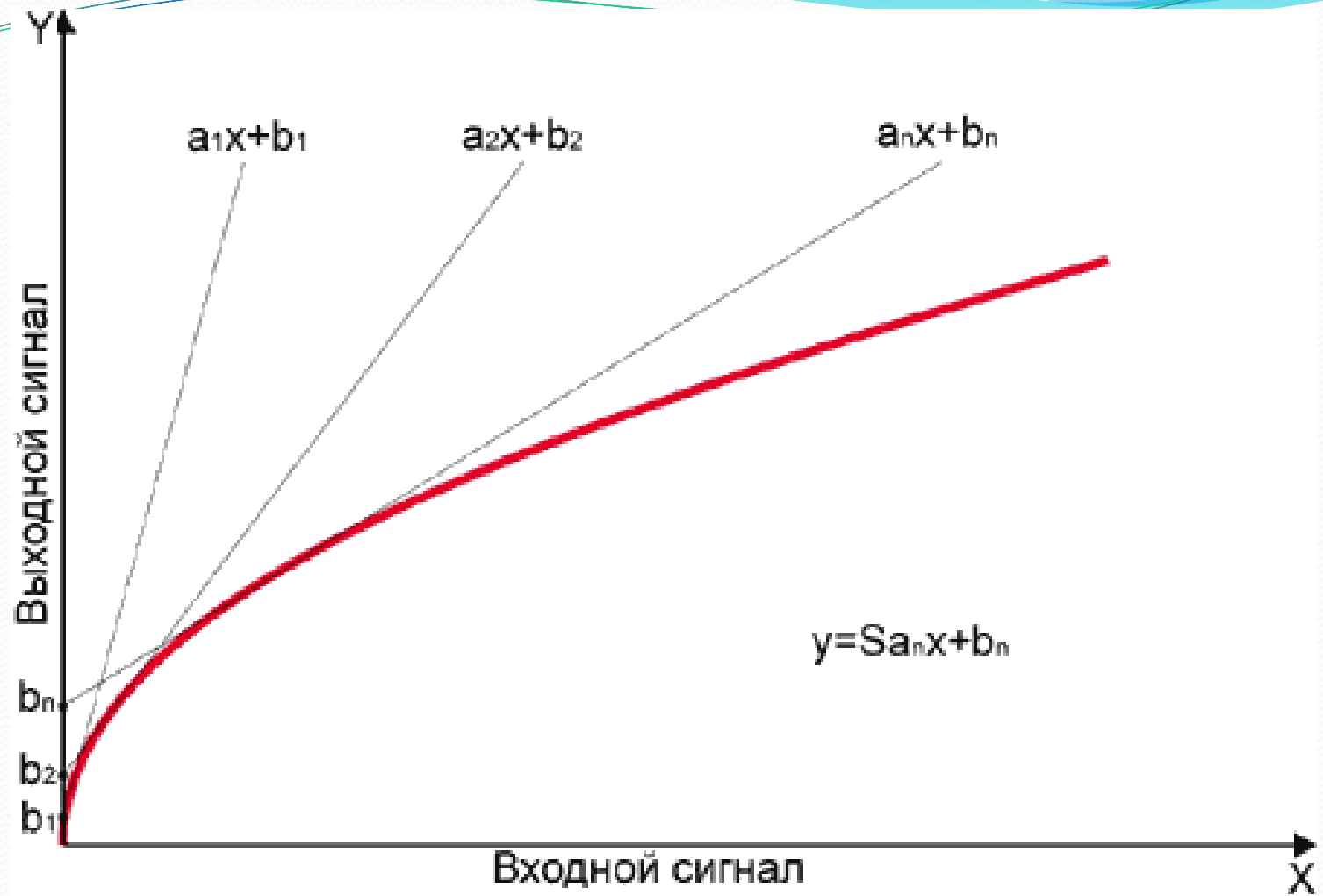


Рис. 10. Гамма-коррекция

- Пропорционально увеличению коэффициента усиления расширяется и разрядная сетка цифрового процессора. Реализация заданной кривой осуществляется путем запоминания в устройстве памяти (RAM) необходимых коэффициентов a_n и b_n , а выходной сигнал Y вычисляется по формуле: $y = a_n x + b_n$. Реализация этого алгоритма представлена на рис. 11. Альтернативным методом формирования заданной выходной характеристики является табличный, когда в отдельных ячейках таблицы по адресам, определяемым входным сигналом X , хранятся выходные сигналы Y . Недостатком такого метода является большой объем памяти, обусловленный необходимостью плавной регулировки гамма-коэффициента.

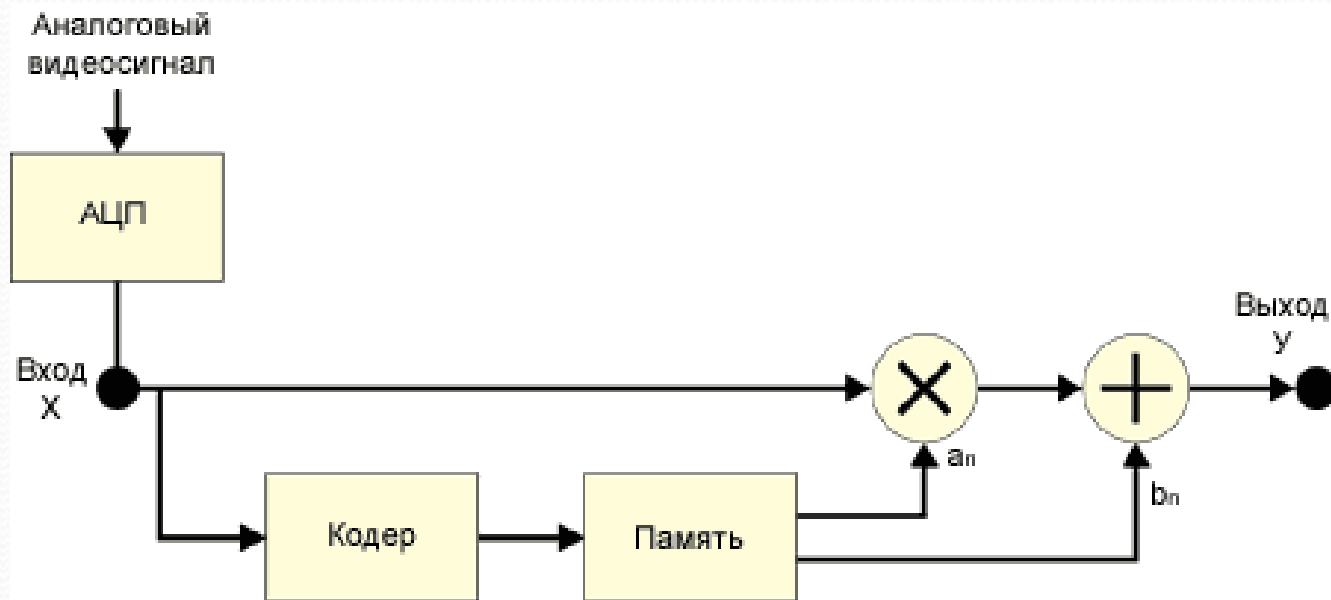


Рис. 11.
Структурная
схема гамма-
корректора

Цифровая апертурная коррекция

- Как уже упоминалось, ПЗС красного и синего каналов смещены относительно ПЗС зеленого канала на половину элемента разложения. В цифровом процессоре производится интерполяция сигналов, позволяющая вдвое поднять частоту дискретизации сигнала Y. В результате, практически полностью исключается эффект элайзинга в горизонтальном направлении, а также влияние эффектов дискретизации, снижающих разрешающую способность ПЗС на предельных пространственных частотах, приближающихся к половине частоты дискретизации, то есть на частоте 900 ТВ линий в горизонтальном направлении для 980-элементного ПЗС. Следует отметить, что этот же метод может быть применен для повышения разрешающей способности в вертикальном направлении. Для исключения влияния на разрешающую способность перегиба световой характеристики (knee correction) и гамма-регулировки, сигнал апертурной коррекции вводится и до, и после гамма-коррекции.

Цветовая коррекция

- Цифровой процессор сигналов открывает широкие возможности для цветовой обработки и коррекции изображения. Линейное матрицирование позволяет корректировать цветовой тон в соответствии с творческими задачами оператора или режиссера, а также в зависимости от предпочтений ТВ-аудитории. Особенно это касается цветового тона лиц диктора и артистов, участвующих в передаче. Цифровой процессор позволяет корректировать только эту область изображения, не затрагивая других цветowych деталей. Использование этой функции позволяет оператору, не прибегая к хирургическому вмешательству, на наших глазах превратить чернокожего Майкла Джексона в бледнолицего.

Матрица цветности и цифровые кодеры

- После гамма-коррекции и коррекции перегиба световой характеристики расположена матрица цветности, которая из сигналов трех основных цветов - R, G и B - формирует цифровой сигнал яркости Y и два цветоразностных сигнала R-Y и B-Y, которые разделяются на два цифровых потока. Из одного с помощью цифрового кодера получают аналоговые композитные сигналы PAL или NTSC, а из другого, имеющего тактовую частоту 36 МГц, с помощью цифрового конвертера, использующего цифровые интерполяционные фильтры, - цифровой поток стандарта CCIR-601 с тактовой частотой 13,5 МГц.

Блок управления цифровой видеокамерой

- Для управления цифровым процессором сигналов и выполнения огромного числа служебных функций и регулировок в современной цифровой видеокамере используется специальный контроллер. В число функций, выполняемых этим устройством, входят:
 - - автоматическая предустановка режимов;
 - - автоматический контроль за уровнем пересвеченных областей;
 - - управление интерфейсами связи с другими цифровыми аппаратами;
 - - связь с блоком дистанционного управления и др.

- Точность и стабильность работы цифровых узлов видеокамеры обеспечивает быструю и простую установку ее режимов, существенно облегчая работу оператора, позволяя ему сосредоточиться на решении творческих задач. Значительно облегчается и упрощается работа с видеокамерой за счет использования дополнительной карты памяти, в которой хранятся установочные параметры камеры. С помощью специального устройства, расположенного в видеокамере, эти параметры могут быть легко записаны или считаны и, при необходимости, перенесены на другие цифровые камеры, снабженные такими же устройствами. Преимуществом цифровых технологий является то, что они обеспечивают практически абсолютную согласованность установочных параметров многокамерного комплекса, обеспечивая полную идентичность формируемого изображения.

Интерфейс цифрой видеокамеры

- Видеокамеры можно условно разделить на моноблочные камеры, когда камерная головка и видеомагнитофон представляют собой единую конструкцию, и камерные головки с пристыковываемым видеомагнитофоном. В камерных головках с пристыковываемым видеомагнитофоном необходимо преобразование сигналов в аналоговую форму. В моноблочных камерах, где видеомагнитофон и камерная головка объединены в один узел, такой необходимости нет, и вся обработка сигнала происходит в цифровой форме. Для стыковки видеокамер со студийным видеоборудованием используются как аналоговые, так и цифровые интерфейсы.

Цифровые интерфейсы

- DI - последовательный цифровой интерфейс, разработанный фирмой Sony и предназначенный для передачи изображения в формате 4:2:2 со скоростью 270 Мбит/с на расстояние до 300 м.
- Интерфейс IEEE-1394 Fire Wire ("огненный провод"), разработанный фирмой Texas Instruments для периферийных устройств в компьютерной технике, нашел широкое применение как в бытовой технике, так и в видеотехнике форматов DV и DVCAM. По инициативе VESA он стал стандартом для домашней сети. IEEE-1394 представляет собой последовательный двунаправленный интерфейс со скоростью передачи 100, 200 и 400 Мбит/с, позволяющий передавать одновременно два цифровых потока изображения со скоростью 25 Мбит/с. Стандарт предусматривает связь устройств с помощью шестипроводного кабеля, помещенного в общий экран. Две витые пары используются для передачи сигналов (одна для приемника, вторая для передатчика). Два провода используются для питания устройств (напряжение 8...40В, ток до 1,5А). Некоторые видеокамеры, например, DSR-200, имеют один 4-контактный разъем меньшего размера, у которого имеются только сигнальные цепи. Длина линии связи определяется стандартом и составляет) около 4,5м (17 футов). Интерфейс позволяет также осуществлять управление подключенным устройством.

Аналоговые интерфейсы

- Аналоговые выходы используются для стыковки с оборудованием, работающим с аналоговыми сигналами. Использование цифровой камеры совместно с аналоговым оборудованием позволяет улучшить качество изображения и осуществить постепенный переход на цифровые технологии при производстве программ.

Интерфейс с радиоканалом

- При использовании видеокамер в составе ПТС иногда возникают трудности с обеспечением проводной связи с камерой. В этом случае используются специальные системы беспроводной передачи видеосигнала, использующие частотную модуляцию с индексом модуляции "2", и работающие на частоте 2...2,5 ГГц. Например, фирма CamLink предлагает несколько комплексов - S100, S150, S200 - с радиусом действия от 800 м до 6,5 км. Однако, в сложных условиях приема, при наличии промышленных помех и многолучевом приеме возникают искажения принимаемого сигнала, поэтому в системе CamLink используются три антенны, и приемник выбирает сигнал с той антенны, где он наиболее сильный и качественный. В последние годы фирмы-изготовители проявляют интерес к цифровой системе модуляции COFDM - многочастотной ортогональной модуляции, использующей компрессированный цифровой сигнал MPEG-2 со скоростью цифрового потока до 32 Мбит/с. Такой способ модуляции способен передать изображение в условиях многолучевого приема и с движущихся объектов.