

**Министерство Российской Федерации  
по связи и информатизации**

---

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ  
им. проф. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА**

---

# **ОСНОВЫ ТЕЛЕВИДЕНИЯ И ВИДЕОТЕХНИКИ**

**Конспект лекций**

**Санкт-Петербург**

**2020**

## **СОДЕРЖАНИЕ**

1. Основные параметры телевизионной системы и полного телевизионного сигнала.....	1
2. Синхронизация телевизионных приемников.....	13
3. Нелинейные искажения телевизионного сигнала.....	22
4. Передача информации о цвете.....	29
5. Формирование сигналов изображения.....	34
6. Принципы цифровой передачи сигналов изображения.....	40
Литература.....	64

# **1. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ И ПОЛНОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО СИГНАЛА.**

В основе телевизионной передачи и воспроизведения изображений лежат три физических процесса:

- преобразование световой энергии, исходящей от объекта передачи, в электрические сигналы;
- передача и прием электрических сигналов;
- преобразование электрических сигналов в световые импульсы, воссоздающие оптическое изображение объекта.

Телевизионному преобразованию изображений в электрический сигнал предшествует построение оптического изображения. Это изображение может быть представлено множеством интегральных источников, интенсивность каждого из которых может принимать  $m$  различных значений. Чем больше число элементарных источников  $N$  (элементов изображения), тем выше предельно различимая детальность изображения, т.е. элементы должны быть достаточно мелки, а их число на изображении должно быть достаточно велико, чтобы глаз не замечал дискретной структуры изображения.

Первый принцип телевидения заключается в разбиении изображения на отдельные элементы и в поэлементной передаче всего изображения. Элементом изображения называется минимальная деталь

изображения, которая может быть различима и воспроизведена ТВ системой. Изображение, образованное совокупностью всех элементов, называется кадром.

Второй принцип, на котором базируется телевидение, - это последовательные во времени передача и воспроизведение информации о яркости (и цвете) отдельных элементов изображения. Это возможно благодаря инерционности зрения человека, которая проявляется в том, что мелькающий источник света при высокой частоте мельканий кажется непрерывно светящимся.

Процесс последовательной поэлементной передачи (анализа) и воспроизведения (синтеза) изображения называется разверткой изображения.

В ТВ вещательных системах развертка изображения и на передающей, и на приемной стороне осуществляется в результате движения луча с постоянной скоростью по горизонтали (строке) слева направо и по вертикали (кадру) сверху вниз. Образованная в процессе развертки структура поля - совокупность строк - называется ТВ растром.

Передача и воспроизведение каждого элемента изображения должны осуществляться синхронно и синфазно. Это обеспечивается поддержанием в заданных пределах закона разверток и их периодической принудительной синхронизацией по строке и по кадру на передающей и приемной сторонах ТВ системы.

## Основные параметры ТВ системы

**Формат кадра.** Форматом кадра называется отношение ширины изображения  $b$  к его высоте  $h$

$$k = \frac{b}{h}. \quad (1.1)$$

В ТВ величина формата кадра выбрана равной  $k = 4 : 3$ , что определяется угловыми размерами поля ясного зрения глаза и учитывает опыт выбора формы изображения в кино, фотографии и живописи. В современных системах используется  $k = 16 : 9$ .

**Число строк разложения.** Число строк разложения  $z$  определяет номинальную четкость ТВ изображения, т.е. его детальность. Эти параметры зависят от числа элементов в изображении  $N$ . Учитывая, что вдоль строки укладывается  $kz$  элементов,

$$N = z \cdot kz = kz^2. \quad (1.2)$$

Под элементом понимается минимальный участок ТВ изображения, внутри которого воспроизводится лишь средняя яркость. Число

строк разложения выбирается исходя из величины разрешающей способности глаза (при рассматривании изображения в угле ясного зрения). Разрешающая способность глаза количественно определяется минимальным углом, равным  $(1,0 \dots 1,5)'$ , в пределах которого две точки еще различаются отдельно.

В России принято число строк разложения  $z = 625$ . Это в известной мере реализует разрешающую способность глаза, если наблюдение изображения осуществляется при оптимальном расстоянии рассматривания  $l_{\text{опт}} = (5 \dots 6)h$ , т.е. при рассматривании изображения в угле ясного зрения. В ТВ системах высокой четкости (ТВЧ) число строк разложения  $z_{\text{ТВЧ}} = 1125 (1250)$ .

Ширина спектра ТВ сигнала определяется в основном верхней граничной частотой

$$f_{\text{в}} = \frac{N_{1\text{с}}}{2} = \frac{kz^2n}{2}, \quad (1.3)$$

где  $n$  – число кадров, передаваемых в секунду;  $N_{1\text{с}} = kz^2n$  – число элементов изображения, передаваемых в секунду.

**Число кадров, передаваемых в секунду.** Число кадров – число неподвижных изображений, передаваемых в одну секунду  $n$ , – выбирается исходя из инерционных свойств зрительного анализатора. Благодаря инерции зрительного восприятия («памяти») удается имитировать плавное движение деталей изображения и восприятие мерцающего светового потока, как непрерывного излучения.

Из опыта кино известно, что для получения впечатления плавного движения объектов в большинстве случаев достаточно воспроизводить 16 неподвижных изображений в секунду. Однако при таком числе кадров глаз замечает мерцание яркости изображения на экране. Величина критической частоты мерцаний, при которой глаз перестает замечать периодическое изменение яркости телевизионного экрана, лежит в пределах  $(48 \dots 50)$  Гц. Исходя из этого число кадров ТВ системы при построчной развертке должно быть выбрано  $n = 50$  к/с.

Однако при  $n = 50$  к/с по каналу связи передается избыточная информация, что значительно расширяет спектр сигнала изображения. При этом верхняя частота спектра согласно (1.3) может быть определена как

$$f_{\text{в}} = \frac{kz^2n}{2} = \frac{4}{3} \cdot \frac{625^2 \cdot 50}{2} \approx 13 \text{ МГц.}$$

Сокращения спектра ТВ сигнала за счет уменьшения скорости передачи изображения (числа кадров в секунду) можно добиться с помощью чересстрочной развертки. При чересстрочной развертке

каждый кадр передается за два приема: сначала нечетные строки (нечетное поле), затем четные (четное поле). При этом частота мерцаний яркости изображения в 2 раза превышает число кадров, передаваемых в секунду, поэтому для современных вещательных систем с чересстрочной разверткой число кадров выбрано равным  $n = 25$  к/с при мерцании яркости изображения с частотой 50 Гц. Это позволяет сократить спектр частот сигнала изображения в 2 раза и обеспечить незаметность мерцаний яркости изображения на экране. Действительно, при  $k = 4 : 3$ ,  $z = 625$ ,  $n = 25$  к/с верхняя частота спектра равна

$$f_{\text{в}} = \frac{kz^2n}{2} = \frac{4}{3} \cdot \frac{625^2 \cdot 25}{2} \approx 6,5 \text{ МГц.}$$

Процесс сокращения спектра сигнала изображения можно пояснить следующим образом. При передаче изображения с распределением яркости  $L_m$  вдоль строки  $m$  ТВ системой с построчной разверткой (рис. 1.1, а, б) форма сигнала изображения будет иметь вид, показанный на рис. 1.1, в. При передаче этого же изображения ТВ системой с чересстрочной разверткой с тем же числом строк появляется возможность в 2 раза уменьшить число кадров. Из-за этого скорость движения развертывающего луча передающей трубки по строке уменьшается в 2 раза. Форма сигнала изображения в этом случае показана на рис. 1.1, г. Длительность импульсов  $t_{\text{и}}$  от соответствующих деталей изображения и длительность фронтов этих импульсов  $t_{\text{ф}}$  увеличиваются в 2 раза. Из общей теории связи известно, что ширина спектра импульса обратно пропорциональна его длительности, поэтому при чересстрочной развертке с тем же числом строк спектр сигнала изображения уменьшается в 2 раза и для его передачи требуется меньшая полоса частот тракта.

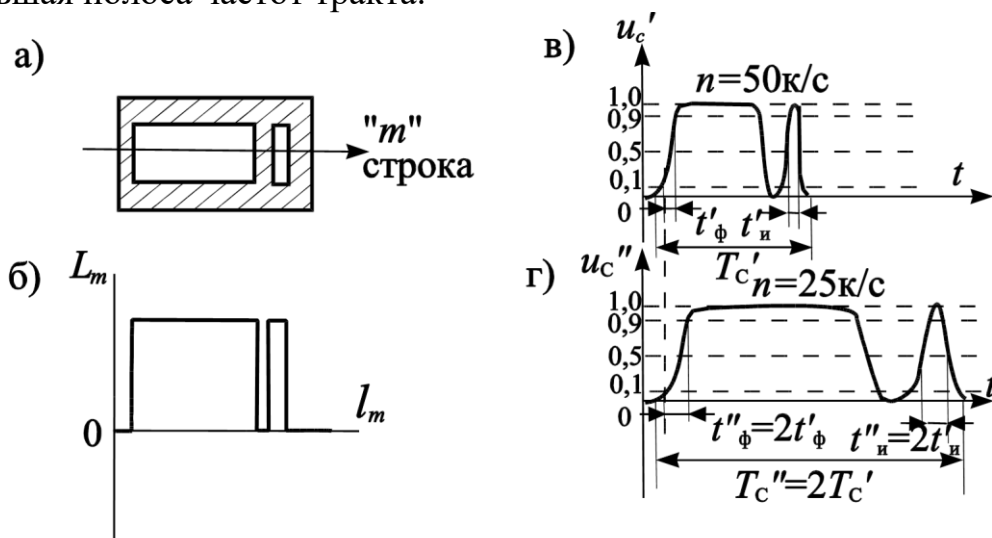


Рис. 1.1

**Контраст и число воспроизводимых градаций яркости изображения.** Контрастом изображения называется отношение максимальной яркости изображения  $L_{\max}$  к минимальной яркости  $L_{\min}$

$$K_{\text{из}} = \frac{L_{\max}}{L_{\min}}. \quad (1.4)$$

Контраст является одним из важнейших качественных параметров изображения, так как он характеризует диапазон изменения яркости и определяет число различимых градаций яркости (полутонів изображения). При уменьшении контраста изображение становится блеклым, как бы покрывается туманом, уменьшается различимость его деталей. К этому явлению приводит и внешняя засветка изображения, так как контраст при наличии паразитной засветки  $L_{\text{д}}$  неизбежно падает:

$$K'_{\text{из}} = \frac{L_{\max} + L_{\text{д}}}{L_{\min} + L_{\text{д}}} < K_{\text{из}}. \quad (1.5)$$

Особенностью нашего зрения является то, что глаз реагирует не на абсолютное значение изменения яркости  $\Delta L$ , а на ее относительное приращение  $\Delta L/L$ .

Минимальный (пороговый) контраст, обнаруживаемый глазом (пороговая градация яркости), равен  $(\Delta L/L) = 0,02 \dots 0,05$ . Мерой визуального ощущения любого перепада яркости может служить число пороговых градаций. В частности, при заданном контрасте наблюдатель может воспринять на изображении вполне определенное количество уровней изменений яркости (пороговых градаций яркости). Так, при характерных для ТВ изображений значениях параметров  $K_{\text{из}} = 100$  и  $(\Delta L/L)_{\text{пор}} = 0,05$  максимально возможное число воспроизводимых градаций определяется как

$$m' = \frac{\ln K_{\text{из}}}{(\Delta L/L)_{\text{пор}}} = \frac{\ln 100}{0,05} \approx 90. \quad (1.6)$$

**Вид развертки.** Передача ТВ изображения может осуществляться с помощью построчной и чересстрочной разверток. В современном вещательном ТВ, как указывалось выше, используется чересстрочная развертка, обеспечивающая двукратное сокращение спектра ТВ сигнала по сравнению с построчной (при одинаковой четкости и частоте мерцаний яркости изображения).

Однако чересстрочная развертка имеет и недостатки. Наиболее существенным из них являются жесткие условия формирования чересстрочного раstra: в каждом кадре должно быть строго определен-

ное нечетное число строк разложения; следовательно, в каждом поле должно быть целое число строк плюс половина строки. Для этого необходима жесткая связь частот кадровой и строчной разверток. Нарушение чересстрочной развертки – «слипание» строк – может происходить и при неидентичности (порядка 0,16%) размахов сигналов кадровой развертки нечетного и четного полей.

**Основные параметры системы ТВ вещания России:**

- число строк разложения  $z = 625$ ,
- число кадров в секунду  $n = 25$  к/с,
- формат кадра  $k = 4 : 3$ ,
- вид развертки – чересстрочная.

## Состав, назначение и особенности полного телевизионного сигнала

Полный телевизионный сигнал (ПТВС) черно-белой ТВ системы содержит следующие составляющие: сигнал изображения (сигнал яркости), сигнал гашения, сигнал синхронизации разверток приемников.

На рис. 1.2 показаны осциллограммы ПТВС при частотах развертки осциллографа, кратных частоте строчной развертки  $f_z$  (рис. 1.2, а) и частоте кадровой развертки  $f_n$  (рис. 1.2, б).

**Сигнал изображения.** Сигнал изображения (сигнал яркости) располагается в активной части строки  $T_{za}$  (рис. 1.2, а) и является основной составляющей ПТВС, так как несет информацию о яркости элементов изображения. Форма сигнала изображения имеет импульсный характер и соответствует изменению яркости изображения в направлении строчной развертки. Любое искажение формы сигнала неизбежно

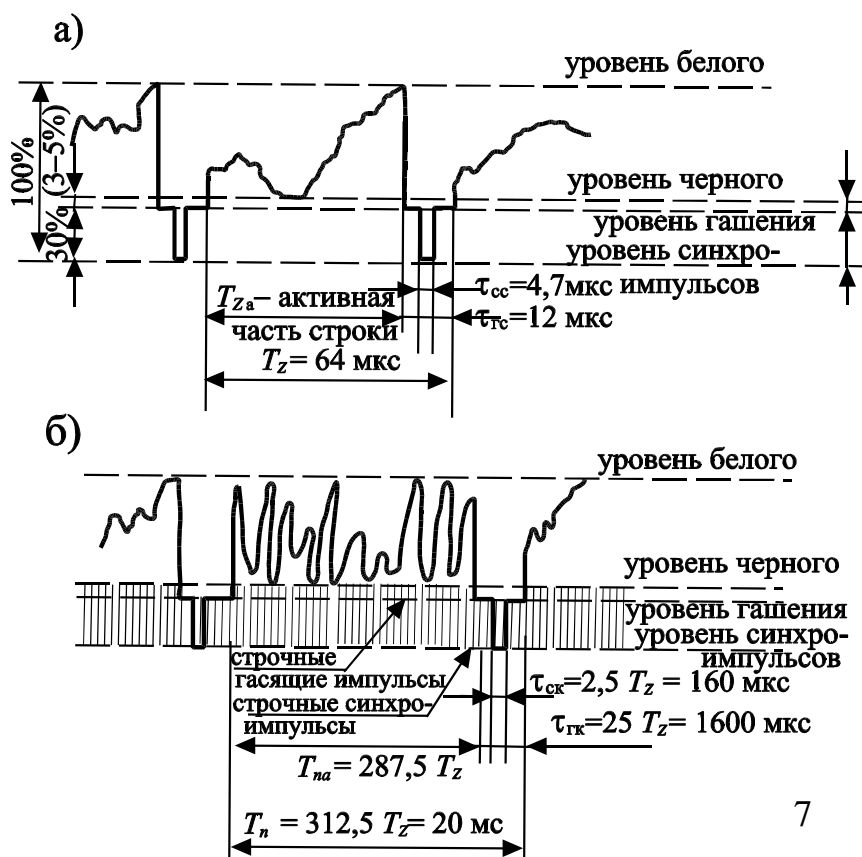


Рис. 1.2

вызывает яркостные искажения деталей ТВ изображения.

Так как яркость является униполярной физической величиной, сигнал изображения также униполярен и, следовательно, имеет постоянную составляющую, пропорциональную средней яркости изображения. При этом за положительную полярность сигнала принимается такая полярность, при которой максимальное значение сигнала соответствует максимальной яркости (уровню белого, рис. 1.2), а за негативную – полярность, при которой максимальное значение сигнала соответствует минимальной яркости (уровню черного).

Размах сигнала изображения между реальными уровнями белого и черного характеризует контраст изображения.

Верхняя граничная частота спектра сигнала изображения

$$f_{\text{в}} = \frac{kz^2 n}{2},$$

а нижняя, при чересстрочной развертке,

$$f_{\text{н}} = 2n. \quad (1.7)$$

**Сигнал гашения.** Сигнал гашения в ПТВС предназначен для запираания лучей приемных трубок – кинескопов – во время обратных ходов разверток. Он состоит из совокупности П-образных гасящих импульсов частоты строк длительностью 12 мкс (19% от длительности строки  $T_z = 64$  мкс, рис. 1.2, а) и П-образных гасящих импульсов частоты полей длительностью  $25 T_z = 1600$  мкс (8% от длительности поля  $T_n = 20$  мс, рис. 1.2, б). Из 625 строк ТВ раstra 50 не используются для передачи изображения и затрачиваются на два обратных хода кадровой развертки.

Полярность и размах сигнала гашения выбираются такими, чтобы вершины П-образных импульсов находились на уровне гашения – на (0...5)% ниже уровня черного ПТВС (рис. 1.2). В случае отсутствия или малого размаха кадровых гасящих импульсов, недостаточных для надежного запираания луча приемной трубки, на изображении появляются характерные белые полосы – след от луча кинескопа во время обратного хода по кадру. В случае недостаточного размаха строчных гасящих импульсов след от луча при обратном ходе по строке создает паразитную засветку. Это приводит к уменьшению контраста ТВ изображения.

**Сигнал синхронизации.** Сигнал синхронизации предназначен для жесткой синхронизации разверток ТВ приемника с соответствующими развертками передающей камеры ТВ центра.

Сигнал синхронизации состоит из совокупности П-образных строчных синхроимпульсов длительностью 4,7 мкс и кадровых дли-



тельностью  $2,5T_z = 160$  мкс (рис. 1.2). Для идентичности кадровых синхроимпульсов, следующих в начале четных и нечетных полей, в них сделаны пять импульсов врезок с двойной строчной частотой длительностью 4,7 мкс каждый. Для одинаковых условий выделения синхроимпульсов четных и нечетных полей в приемнике перед этими импульсами и после них передаются две последовательности из пяти уравнивающих импульсов с двойной строчной частотой и длительностью 2,35 мкс каждый.

Сигналы синхронизации передаются во время следования соответствующих гасящих импульсов в области уровней ниже уровня гашения. Размах сигнала синхронизации устанавливается равным 30% от размаха ПТВС (рис. 1.2).

## Оценка параметров и искажений ТВ изображения и ПТВС

Оценка величин основных параметров и искажений ТВ изображения, а также настройка оборудования производится в большинстве случаев с помощью телевизионных испытательных таблиц (ТИТ). В частности, в лабораторном макете ТВ системы для оценки параметров и искажений ТВ изображения используется универсальная электронная испытательная таблица УЭИТ.

**Координатные искажения изображения.** Координатные (геометрические) искажения изображения – нарушение геометрического подобия репродукции по отношению к оригиналу. Чаще всего они возникают из-за следующих причин:

1) неидентичности форматов кадра на передающей и приемной трубках, т. е. неправильного соотношения размахов сигналов строчной и кадровой разверток. При этом возникает равномерное по всему полю изменение масштаба изображения по горизонтали или по вертикали. Эти искажения ликвидируются изменением размеров изображения по вертикали или горизонтали;

2) неидентичности формы сигналов строчных (кадровых) разверток передающих и приемных устройств, т. е. неодинаковости относительных скоростей движения лучей в горизонтальном (вертикальном) направлении в передающей и приемной трубках. При этом часть репродукции увеличивается в размерах относительно оригинала, а другая часть уменьшается.

Визуальная качественная оценка координатных искажений и их коррекция с помощью регулировок размахов и линейностей сигналов строчной и кадровой разверток производится по окружностям сравнительно большого диаметра. Они размещаются обычно в центре и по углам поля ТИТ. К искажениям этих окружностей глаз наиболее критичен.

**Оценка искажений низкочастотных составляющих сигнала изображения.** Искажения низкочастотных составляющих сигнала изображения вызывают искажения яркости крупных деталей изображения (тянущиеся продолжения).

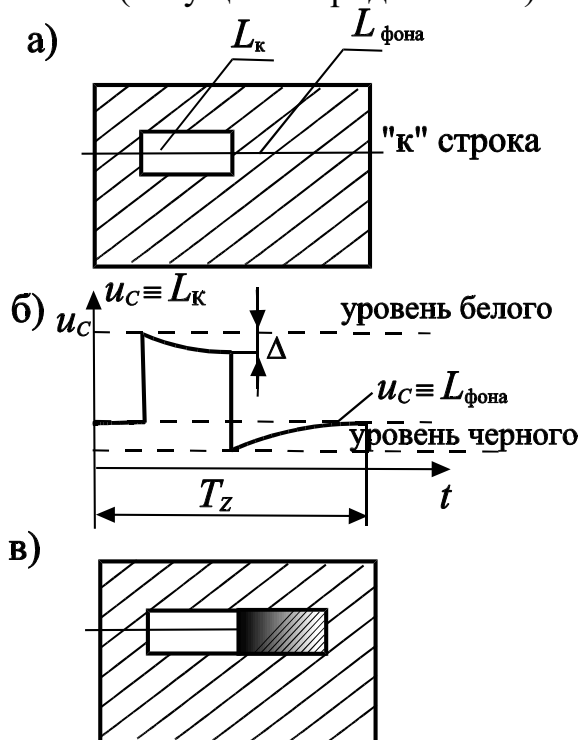


Рис. 1.3

Сигнал изображения от относительно крупных деталей (рис. 1.3,а) оригинала представляет собой импульсы сравнительно большой длительности (рис. 1.3, б), поэтому спектр такого сигнала содержит и относительно низкие частоты. Искажения указанных импульсов определяются формой амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) тракта в области низких частот (или формой переходной характеристики в области больших времен – горизонтальной части единичного скачка).

Как известно, при спаде (подъеме) АЧХ в области низких частот, у импульса сравнительно

большой длительности наблюдается спад (подъем) плоской части, а за импульсом появляется тянущееся продолжение «за белым – черное» («за белым – белое»). Плавное изменение яркости крупной детали в направлении строчной развертки, возникающее из-за наклона плоской части импульса, визуально сравнительно мало заметно. А вот искажения яркости фона ТИТ – тянущееся продолжение за деталью в виде своеобразного «хвоста» – заметно значительно сильнее (рис. 1.3, в).

В УЭИТ для оценки низкочастотных искажений сигнала изображения предусмотрены черные и белые детали в центре таблицы.

**Оценка искажений высокочастотных составляющих сигнала изображения.** Искажения высокочастотных составляющих сигнала изображения вызывают изменение четкости изображения в горизон-

тальном направлении и появление ложных узоров на изображении (пластика, повторы контуров деталей и т. п.).

Четкость изображения определяется: по вертикали – числом строк разложения  $z$  и качеством чересстрочной развертки, а по горизонтали – шириной полосы частот пропускания канала передачи сигнала изображения (или формой переходной характеристики в области малых времен – длительностью фронта переходной характеристики).

Практически четкость изображения оценивается величиной минимальной детали, воспроизводимой с помощью ТВ системы.

Величины деталей измеряются в относительных единицах (по отношению к высоте кадра  $h$ ), а четкость – в условных единицах – строках. Например, если визуально на репродукции различаются детали размером не менее  $(1/550)h$ , то четкость изображения составит 550 строк.

Для оценки четкости изображения используются штриховые миры из черно-белых линий с одним, двумя и тремя черными штрихами одинаковой толщины, а также многштриховые миры с одинаковой толщиной штрихов в центре и углах ТИТ. Около этих мир нанесены числа условных единиц измерения четкости изображения, соответствующие относительной толщине штрихов в данном месте. Для количественной оценки четкости изображения наблюдатель определяет область, где штрихи миры перестают различаться раздельно.

Спад АЧХ тракта в области верхних частот и соответствующее увеличение длительности фронта переходной характеристики (рис. 1.4, а) являются основной причиной уменьшения четкости изображения по горизонтали.

При подъеме АЧХ в области верхних частот уменьшается длительность фронта переходной характеристики (рис. 1.4, б), и,

кроме того, на горизонтальной части ее может возникнуть затухающий колебательный процесс (рис. 1.4, в). В соответствии с искажениями переходной характеристики искажаются и детали изображения, т. е. после резкого изменения яркости по строке на репродукции могут возникнуть повторы контура детали с постепенно убывающей интенсивностью. Если же колебательный процесс апериодичен, т. е. если имеется только один (первый) выброс  $\varepsilon$ , то границы детали им как бы

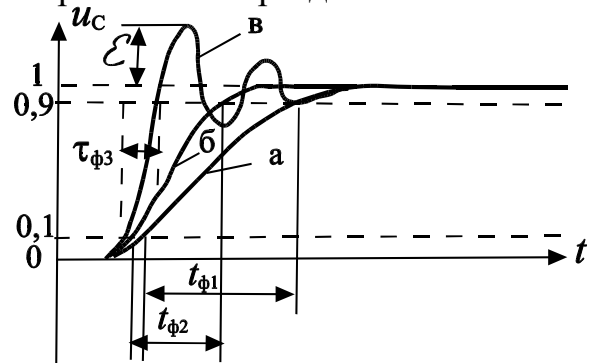


Рис. 1.4

подчеркиваются. Эти искажения носят название «пластика». В ряде случаев небольшая пластика даже полезна, так как она улучшает распознаваемость объектов.

Оценка четкости по вертикали с помощью горизонтальных штриховых миш затруднена муар-эффектом – биением пространственных частот, образованных дискретной структурой растра по вертикали и горизонтальными штрихами миры. С помощью УЭИТ косвенно оценивается лишь качество чересстрочной развертки по искажениям наклонных линий в центре таблицы. При нарушении чересстрочной развертки эти линии воспроизводятся в виде ступенчатых кривых.

**Оценка нелинейных искажений сигнала изображения.** Нелинейные искажения сигнала изображения вызывают изменение контраста деталей репродукции и числа воспроизводимых градаций (полутонов).

Оценка контраста изображения и числа воспроизводимых градаций производится по шкале перепадов яркости – градационному клину. Эти шкалы ТИТ составлены в большинстве случаев из 10 сравнительно больших черно-белых прямоугольников, причем первый и последний имеют соответственно максимальную и минимальную яркости, а яркость промежуточных прямоугольников визуальнo линейно меняется в заданном диапазоне яркостей. Шкалы располагаются, как правило, горизонтально в центральной части таблицы. Форма сигнала изображения от подобного клина представляет собой ступенчатую спадающую (возрастающую) кривую.

Измерение яркостей первого и последнего элементов шкалы дает возможность оценить величину контраста изображения, а число прямоугольников с отличающимися от соседних яркостями (число ступеней яркости) позволяет ориентировочно оценить число воспроизводимых градаций (полутонов) изображения. Обычно для универсальных ТИТ контраст репродукции должен быть порядка 50, а число полутонов 7–9. Следует учесть, что при этом номинальное число градаций, которое может воспроизвести ТВ система, будет примерно на порядок выше – 70–80, так как величина каждого перепада яркости градационного клина содержит 8–10 пороговых градаций.

Указанные значения яркостных параметров изображения на экране кинескопа ТВ приемника достигают с помощью многократных последовательных регулировок яркости и контраста (размаха ПТВС). Остальные параметры репродукции (четкость, тянущиеся продолжения и др.) оцениваются по ТИТ только после установки оптимальных яркостных параметров изображения.

## 2. СИНХРОНИЗАЦИЯ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПРИЕМНИКОВ

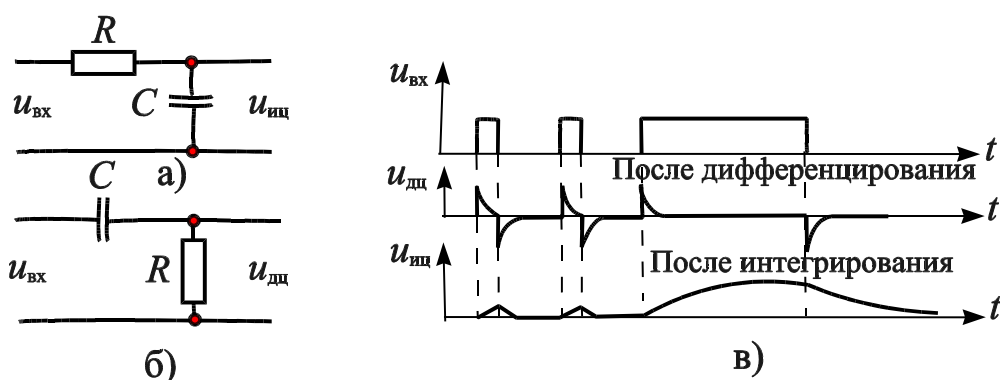
В данном разделе рассматриваются различные способы выделения синхронизирующих импульсов из полного телевизионного сигнала и определяются основные характеристики селекторов синхронизирующих импульсов строчной и кадровой частот.

### Требования к сигналам синхронизации

Все развертывающие устройства телевизионной системы работают синхронно и синфазно. Это обеспечивается принудительной синхронизацией, для чего на все развертывающие устройства в начале каждой строки и каждого кадра подаются специальные синхронизирующие импульсы, которые заставляют срабатывать эти устройства в строго определенные моменты времени. Принудительная синхронизация развертывающих устройств передающей камеры и телевизионного приемника осуществляется от единого источника синхросигнала - синхрогенератора, находящегося в комплекте передающей аппаратуры телецентра. Между способами синхронизации развертывающих устройств телецентра и телевизионных приемников имеется существенная разница. Развертывающие устройства передающей телевизионной камеры синхронизируются непосредственно импульсами строчной и кадровой синхронизации, подаваемыми по камерному кабелю. Для синхронизации развертывающих устройств приемников синхронизирующие импульсы строк и кадров должны передаваться с телевизионного центра совместно с ТВ сигналом по одному каналу. Это приводит к необходимости формирования специального сигнала синхронизации приемников, имеющего весьма сложную форму. При этом для передачи синхронизирующих импульсов используется время обратного хода луча, т. е. время передачи гасящих импульсов. Вершины гасящих импульсов примерно соответствуют уровню «черного» сигнала. Часто говорят, что синхронизирующие импульсы располагаются в области «чернее черного». Импульсы синхронизации в этом случае могут быть отделены от сигнала изображения и гасящих импульсов обычным амплитудным ограничителем (амплитудным селектором). Схема амплитудного селектора содержит устройство фиксации вершин импульсов синхронизации и пороговый элемент, пропускающий на дальнейшую обработку только сигналы синхронизации. Легкость и надежность указанного процесса является одним из основ-

ных достоинств данного метода синхронизации.

Не менее важной задачей является разделение строчных синхронизирующих импульсов и импульсов синхронизации полей друг от друга. Для этого они должны отличаться либо по уровню, либо по длительности. В первом случае импульсы синхронизации полей можно выделять с помощью ограничителя. Однако из-за увеличения общего размаха сигнала значительно возрастает мощность радиопередатчика, поэтому лучше делать синхронизирующие импульсы разными по длительности (длительность строчных синхронизирующих импульсов значительно меньше длительности импульсов синхронизации полей). Разница в длительности строчных импульсов и импульсов полей преобразуется с помощью дифференцирующих и интегрирующих цепей в разницу напряжений, как показано на рисунке ниже. При этом разница в напряжении может быть сделана столь значительной, что остатки строчных импульсов после интегрирования не будут оказывать никакого влияния на синхронизацию кадровой развертки.

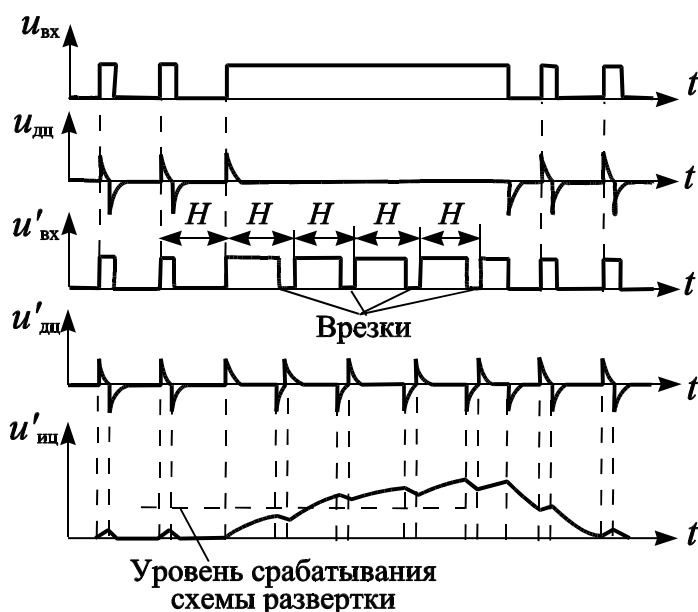


Выделение синхронизирующих импульсов полей с помощью интегрирующей цепи наряду с простотой обладает еще одним положительным качеством - большой помехоустойчивостью. Импульсы помех, имеющие малую длительность, не успевают создавать на конденсаторе значительных напряжений и как бы сглаживаются интегрирующей цепью. Недостатком такого выделения синхронизирующих импульсов являются невозможность получения крутого фронта интегрированных импульсов и, как следствие, возможная нестабильность момента синхронизации.

Выделение синхронизирующих импульсов строк с помощью дифференцирующей цепи возможно, однако следует иметь в виду, что импульсные помехи будут свободно проходить через конденсатор цепи и помехоустойчивость такого способа выделения будет низкой.

## Форма сигнала синхронизации ТВ приемников

При построчном разложении между фронтами двух кадровых синхронизирующих импульсов размещаются  $z$  строчных импульсов. Длительность кадрового импульса синхронизации в несколько раз больше периода строки (рисунок ниже). После прохождения сигнала  $u_{вх}$  через дифференцирующую цепь получим сигнал  $u_{дц}$ , положительные импульсы которого могут использоваться для синхронизации строчной развертки приемника, а отрицательные – никакого действия на работу



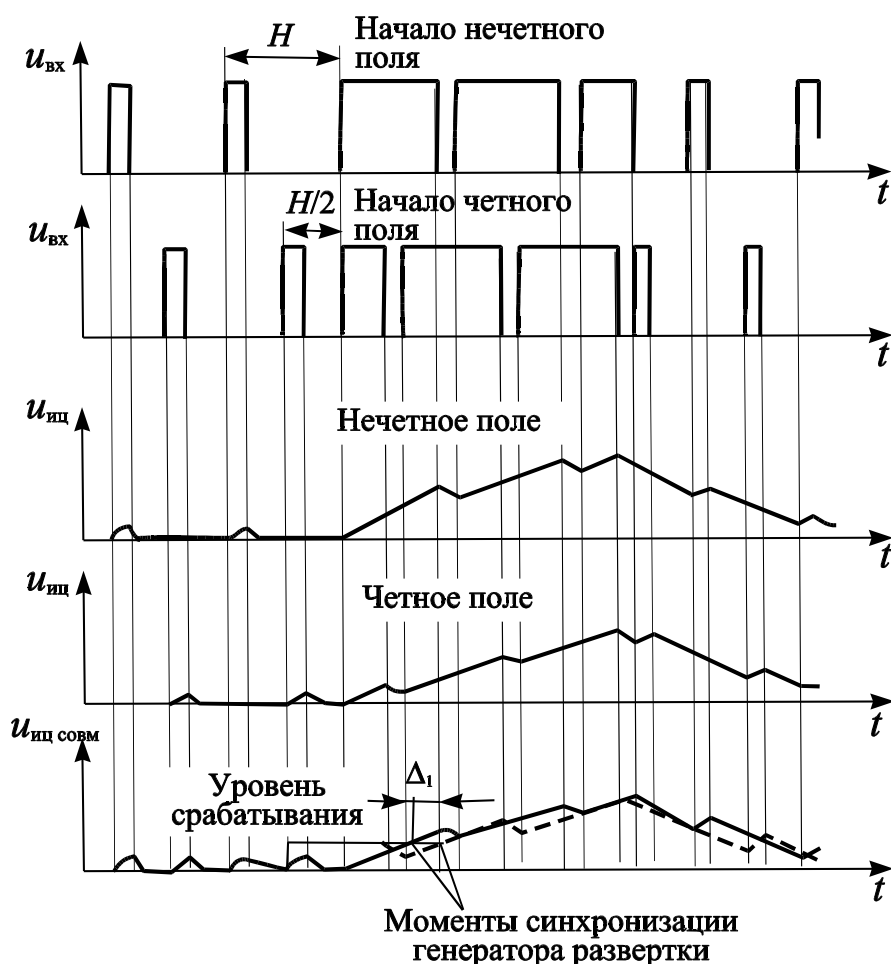
генератора развертки оказывать не будут.

Во время действия кадрового синхронизирующего импульса в канале строчной синхронизации импульсы отсутствуют. Синхронизации строчной развертки в этот промежуток времени не будет, и генератор импульсов строчной развертки ТВ приемника будет работать в автономном режиме. В результате

несколько первых строк после окончания действия кадрового импульса могут оказаться "сбитыми".

Для сохранения непрерывности следования строчных импульсов в кадровый синхронизирующий импульс вводят прямоугольные врезки, следующие со строчной частотой. Длительность врезок на рисунке условно равна длительности строчных импульсов. Срез врезки должен совпадать с фронтом строчного импульса, который должен был бы быть в этом месте. После дифференцирования такого сигнала  $U'_{вх}$  положительные импульсы используются для синхронизации. Таким образом, они следуют без перерыва со строчной частотой ( $u'_{дц}$  на рисунке); кадровые синхронизирующие импульсы выделяются интегрирующей цепью. Наличие врезок приводит к получению на выходе интегрирующей цепи "зубчатой" формы кривой  $u''_{дц}$ . Такое искажение

формы будет одинаковым у всех кадровых синхронизирующих импульсов. Исходя из этого при постоянном уровне срабатывания кадрового генератора развертки это не приведет к нарушению синхронизации.



При чересстрочном разложении число строк  $z$  в кадре нечетно, и между фронтами двух следующих друг за другом синхронизирующих импульсов четных и нечетных полей размещается  $m + 1/2$  периодов строчной частоты  $f_z$ , где  $m$  - число целых строк в одном поле. Эта одна вторая периода строчной частоты обуславливает соответствующий временной сдвиг строчных врезок относительно синхронизирующего импульса четного поля (поля, в котором разворачиваются четные строки). В результате форма синхронизирующих импульсов четных и нечетных полей оказывается неодинаковой (см. предыдущий рисунок): в импульсе нечетных полей время от фронта импульса до первой врезки равно длительности почти целой строки (за вычитанием длительности врезки), а в импульсе четных полей это время составляет половину длительности строки. Из-за этого формы интегри-



рованных импульсов  $u_{\text{иц}}$  для четных и нечетных полей также будут различными. Их различие хорошо видно на рисунке при совмещении обоих интегрированных импульсов на одном графике  $u_{\text{ицсовм}}$ .

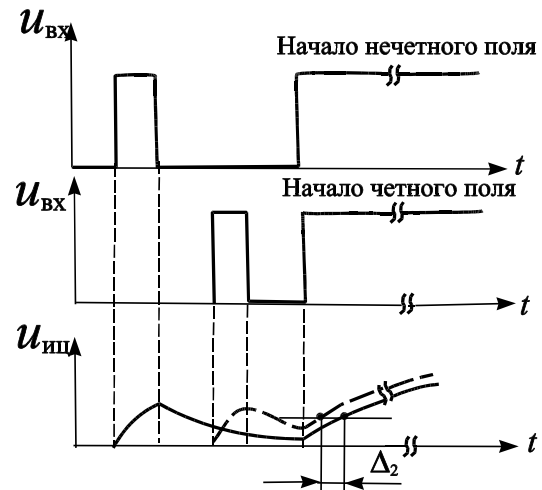
При синхронизации кадрового генератора такими импульсами может произойти нежелательный сдвиг во времени начала обратных ходов развертки по полям. Этот сдвиг, как видно из рисунка, равен  $\Delta_1$  и может достигать долей длительности строки. Наличие сдвига приведет к нарушению чересстрочности развертки, т.е. растры полей будут сдвинуты по вертикали не точно на половину расстояния между соседними строками, и появится так называемое спаривание строк. Спаривание строк ухудшает качество изображения. Становится заметной структура строк, уменьшается четкость по вертикали. Исходя из этого необходимо так изменить форму синхронизирующих импульсов, чтобы исчезло различие между интегрированными четными и нечетными импульсами полей и сдвиг  $\Delta_1$  стал равен нулю. Для устранения различия в форме синхронизирующих импульсов четных и нечетных полей врезки в них целесообразно сделать с двойной строчной частотой. Форма четных и нечетных импульсов синхронизации полей становится как до, так и после интегрирования идентичной.

Во время действия синхронизирующего импульса полей строчные импульсы будут следовать с удвоенной частотой. Для устойчивой синхронизации генератор импульсов строчной развертки настраивается так, чтобы частота его колебаний в режиме без синхронизации была ниже частоты строк. При этом, если амплитуда импульсов синхронизации не чрезмерно велика, генератор не будет реагировать на дополнительные импульсы и будет работать в режиме деления частоты с коэффициентом 2. Таким образом, при полной идентичности синхронизирующих импульсов полей импульсы после интегрирования  $u_{\text{иц}}$  получаются тоже одинаковыми и при наложении совпадают. Однако при более строгом рассмотрении процессов приходится сделать заключение, что совпадение интегрированных импульсов не является все же точным. На интегрирующую цепь поступают наряду с синхронизирующими импульсами полей строчные синхронизирующие импульсы. От каждого строчного импульса конденсатор получает определенный заряд. Так как строчные импульсы в четных и нечетных полях располагаются на разных расстояниях от начала и конца синхронизирующего импульса полей, они, естественно, оказывают разное влияние на ход кривой накопления заряда на конденсаторе в четных и нечетных полях (см. следующий рисунок). В то время как в синхронизирующих импульсах нечетных полей (сплошная линия на графике)

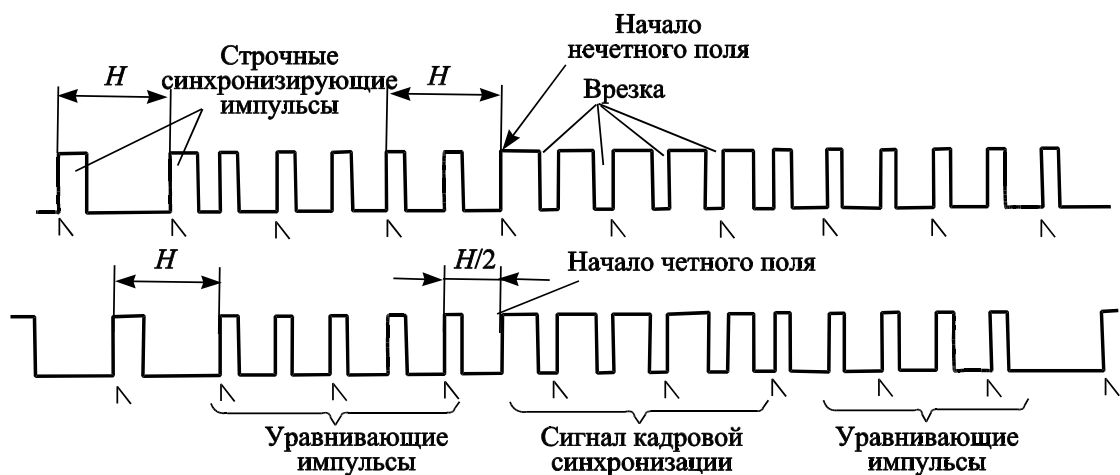
остаточный заряд конденсатора от последнего строчного импульса почти равен нулю, в импульсах четных полей он значителен (штриховая линия). Начальные условия интегрирования кадровых импульсов в нечетных и четных полях получаются различными, а это также приводит к нежелатель

ному временному сдвигу  $\Delta_2$ .

Правда, в этом случае он мал ( $\Delta_2 < \Delta_1$ ), но достаточен, чтобы нарушить регулярность развертки. Чтобы избежать разницы в форме импульсов после интегрирования, достаточно до и после синхронизирующих импульсов полей ввести по несколько импульсов, следующих с двойной строчной частотой. Такие импульсы называются уравнивающими.



Таким образом, для получения устойчивой чересстрочной развертки приходится усложнять форму синхронизирующего импульса полей (рисунок ниже). Моменты синхронизации строчной развертки для наглядности отмечены знаками (N). Длительность импульса синхронизации кадровой развертки и число уравнивающих импульсов до и после него выбираются в зависимости от требований к точности синхронизации. Период строчной развертки на рисунке обозначен  $H$ .



Отечественным стандартом длительность импульса кадровой синхронизации определяется  $2,5 H$  (160 мкс), а длительность уравнивающих импульсов делается в 2 раза меньше строчных синхронизи-

рующих импульсов. Стандартом устанавливается число передних и задних уравнивающих импульсов, а также импульсов, составляющих сигнал кадровой синхронизации, равным пяти.

Импульсы синхронизации расположены на вершинах гасящих импульсов и составляют 43 % размаха сигнала изображения от уровня черного до уровня белого. Для работы развертывающих устройств желательно, чтобы синхронизирующие импульсы располагались как можно ближе к левому краю гасящих импульсов, чтобы во время обратного хода экран был погашен гасящим импульсом. Если синхронизирующий импульс будет сдвинут вправо, то на обратный ход луча приемной трубки будет отведено меньше времени. При превышении этого времени вследствие каких-либо причин обратный ход луча на экране не будет полностью погашен.

Итак, в сигнале синхронизации телевизионных приемников наиболее сложным по форме является сигнал кадровой синхронизации. Его форма, принятая отечественным стандартом, а также большинством европейских стран и США, является наиболее совершенной. Такая форма позволяет получить хорошее качество чересстрочной развертки при наиболее простом способе разделения сигналов - с помощью интегрирующей цепи - и большую помехоустойчивость.

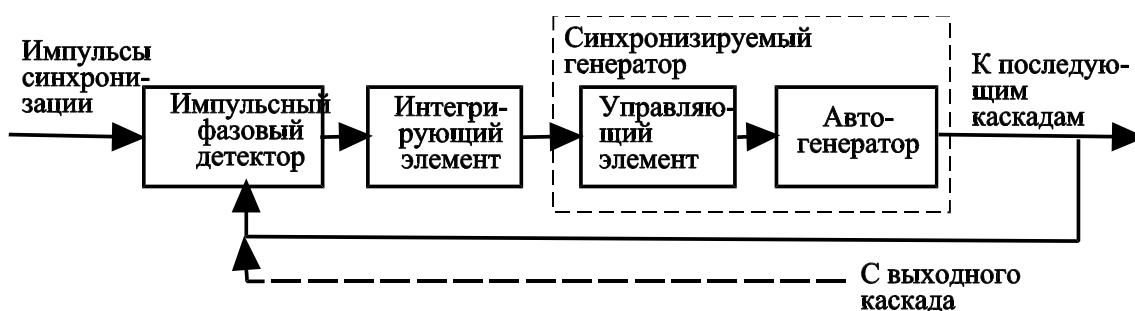
### **Повышение помехоустойчивости канала синхронизации**

По линии связи между ТВ центром и приемником передается сложный ТВ сигнал, содержащий сигнал изображения и сигналы синхронизации разверток ТВ приемника. Наличие в этой линии помех поразному сказывается на сигналах изображения и синхронизации. Если синхронизация развертывающих устройств не нарушается, то изображение можно получить и при очень больших помехах. Если же нарушена синхронизация, то даже при малых помехах практически невозможно синтезировать изображение вообще.

Помехи в радиоканале будут неодинаково сказываться на синхронизации кадровой и строчной разверток. Синхронизация кадровой развертки будет меньше подвержена влиянию импульсных помех, так как синхронизирующие импульсы полей выделяются из синхросмеси интегрирующей цепью, являющейся фильтром нижних частот. Дифференцирующая цепь, выделяющая строчные синхронизирующие импульсы, не может защитить генератор импульсов строчной развертки от импульсных помех, и канал строчной синхронизации оказывается значительно менее помехозащищенным, чем канал кадровой. Исходя из этого в первую очередь принимаются меры по защите от помех ка-

нала строчной синхронизации. Для этого в нем используется инерционная синхронизация.

Метод инерционной синхронизации автогенератора является параметрическим. Под воздействием внешнего сигнала изменяется тот или иной параметр генератора, определяющий частоту и фазу его колебаний. Этим параметром может быть не только элемент схемы генератора, но и питающие его напряжения. Управление параметром генератора производят с помощью системы автоматического регулирования, получившей название фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). В литературе получила применение также аббревиатура АПЧиФ - автоматическая подстройка частоты и фазы. Структурная схема ФАПЧ приведена на рисунке ниже.



Синхронизирующие импульсы и колебания синхронизируемого автогенератора (например, с задающего генератора развертки или его выходного каскада) поступают на импульсный фазовый детектор, где сравниваются их фазы и вырабатывается выходное напряжение, пропорциональное разности мгновенных значений этих фаз. Из-за импульсного характера поступающего на детектор сигнала выходное напряжение получается также импульсным, поэтому после детектора устанавливается интегрирующий элемент (фильтр нижних частот), на выходе которого образуется постоянное напряжение с величиной и знаком, соответствующими разности фаз синхронизирующих импульсов и колебаний генератора. Это напряжение, воздействуя на управляемый параметр автогенератора, перестраивает частоту его колебаний, обеспечивая необходимую синхронизацию.

Интегрирующий элемент в значительной мере подавляет влияние хаотических помех, так как среднее изменение фазы, вызванное такими помехами, за достаточно большой промежуток времени равно нулю.

Применение системы ФАПЧ позволяет обеспечить не только высокую помехоустойчивость, но и удобство установки любого заданно-

го значения фазы автогенератора. В частности, ручной регулировкой можно в автогенераторе добиться опережения строчных синхронизирующих импульсов, что очень важно, например, в устройствах строчной развертки, построенных на транзисторах.

### 3. НЕЛИНЕЙНЫЕ ИСКАЖЕНИЯ ТЕЛЕВИЗИОННОГО СИГНАЛА

В данном разделе рассматриваются воздействие нелинейности телевизионного тракта на форму сигнала, проявление этих искажений при воспроизведении телевизионных изображений и методы их коррекции.

Нелинейные искажения телевизионного сигнала возникают в фотоэлектронных и электронно-оптических преобразователях из-за нелинейности световой и модуляционной характеристик соответственно, а также в электрическом канале передачи (модуляторе передатчика, каскадах видеоусилителя и др.).

На практике эти искажения определяются главным образом нелинейными характеристиками оконечных устройств – передающими и приемными трубками.

Световая характеристика передающей трубки определяется зависимостью тока сигнала от освещенности на фотокатодe  $I_c = f(E)$  или, учитывая, что  $I_c \equiv U_c$ , а  $E \equiv L_{об}$ , световую характеристику передающей трубки часто выражают следующим соотношением:  $U_c = \varphi(L_{об})$ , где  $U_c$  - напряжение сигнала,  $L_{об}$  - яркость передаваемого объекта.

Световая характеристика передающих трубок нелинейна, и в общем случае с достаточной для практики точностью может быть аппроксимирована выражением

$$U_c = k_1 L_{об}^{\gamma_1},$$

где  $k_1$  - коэффициент пропорциональности,  $\gamma_1$  - показатель степени, определяющий форму световой характеристики.

Световые характеристики различных передающих трубок имеют не одинаковые значения  $\gamma_1$ . Более того, значение  $\gamma_1$  может в некоторых пределах меняться при изменении режима работы трубки или со-

держания передаваемого изображения. Однако для всех передающих трубок  $\gamma_1 \leq 1$ .

Модуляционная характеристика кинескопа представляет собой зависимость яркости свечения экрана от напряжения на модулирующем электроде и выражается зависимостью:  $L_{из} = \varphi(U_c)$ , где  $L_{из}$  - яркость изображения.

Как известно, модуляционная характеристика кинескопа нелинейна и может быть аппроксимирована с достаточной для практики точностью следующей функцией:

$$L_{из} = k_2 U_c^{\gamma_2},$$

где  $k_2$  – коэффициент пропорциональности.

Обычно для приемных трубок  $\gamma_2 = 2...3$ . Общая характеристика нелинейности может быть определена аналитически путем подстановки значения  $U_c$  в предыдущую формулу из более ранней:

$$L_{из} = k_2 (k_1 L_{об}^{\gamma_1})^{\gamma_2} = k L_{об}^{\gamma},$$

где  $k = k_2^{\gamma_2} \cdot k_1^{\gamma_2}$ ;  $\gamma = \gamma_1 \cdot \gamma_2$ .

Из формулы видно, что результирующий гамма-коэффициент нелинейности  $\gamma$  равен произведению показателей степени  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$ . Если телевизионный канал имеет нелинейную характеристику с показателем  $\gamma_3$ , то в результирующее значение  $\gamma$  должна войти и эта величина, т. е.  $\gamma = \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3$ . Следовательно, показатель степени  $\gamma$  определяет результирующую нелинейность и может приобретать различные значения в зависимости от нелинейности отдельных узлов тракта.

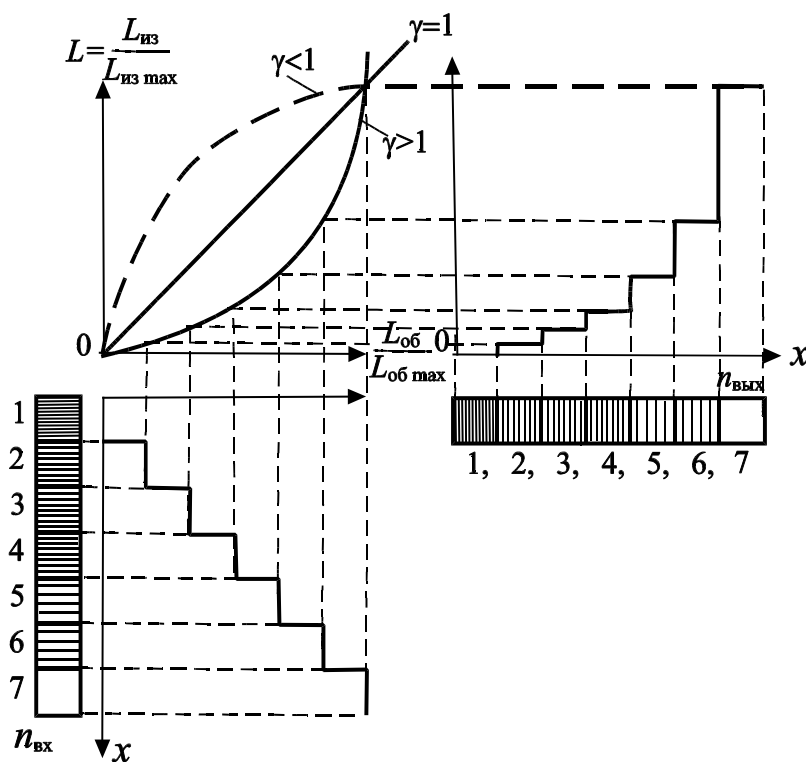
Нелинейные искажения в черно-белом телевидении приводят к нарушению правильного воспроизведения градаций яркости (передачи полутонов), а в цветном, кроме того, и к искажениям цветности. Если результирующая нелинейность телевизионного тракта будет иметь показатель степени  $\gamma < 1$ , то изображение на экране кинескопа воспроизведется вялым, т. е. контрастность полученного изображения будет меньше контрастности передаваемого объекта, а при  $\gamma > 1$  изображение будет излишне контрастным по сравнению с контрастностью передаваемого объекта.

Яркость реальных объектов может достигать нескольких тысяч кандел на квадратный метр, а контраст – 1000 и выше. Современные же кинескопы могут обеспечить максимальную яркость 100–200 кд/м<sup>2</sup> при контрасте 100–200. Следовательно, динамический диапазон яркости репродукции в общем случае меньше диапазона изменения яр-

кости передаваемого объекта. Таким образом, при воспроизведении число градаций на репродукции будет меньше, чем на объекте. При ограниченном числе воспроизводимых градаций с целью улучшения качества изображения необходимо перераспределить число воспроизводимых градаций внутри динамического диапазона яркости изображения так, чтобы увеличить число градаций в сюжетно важном участке диапазона за счет уменьшения числа градаций в остальных участках. Это может быть осуществлено с помощью выбора определенной формы нелинейности амплитудной характеристики передачи.

Рассмотрим графически искажения градаций яркости изображения при коэффициенте  $\gamma > 1$ . Для удобства количественной оценки нелинейных искажений на вход исследуемого устройства подают напряжение равноступенчатого сигнала.

Для упрощения построения графиков обычно по оси абсцисс и ординат откладывают не абсолютные значения яркости объекта и



изображения, а их относительные значения.

На рисунке показано графически возникновение нелинейных искажений при коэффициенте  $\gamma > 1$ . Нетрудно видеть, что нелинейные искажения будут присутствовать при любых значениях  $\gamma \neq 1$ . В частном случае при  $\gamma = 2$ , как видно из рис. 7.1, перепады яр-

костей первых нескольких ступенек будут практически неразличимы, и они сольются. Следовательно, количество видимых градаций уменьшается.

В черно-белых телевизионных системах сюжетно важными полутонами являются полутона крупных деталей в области больших освещенностей. Исходя из этого для этих систем форма характеристики

должна иметь нелинейность с коэффициентом контрастности  $\gamma > 1$ . При этом в области белого перепады яркости растягиваются (увеличиваются по амплитуде), и там может воспроизводиться большее число градаций. Экспериментальным путем установлено, что наилучшее качество изображения для черно-белых вещательных систем получается при  $\gamma \cong 1,3$ .

Для обеспечения подобия воспроизведенного изображения с объектом необходимо иметь прямую пропорциональность между яркостями соответствующих точек объекта и изображения. Для коррекции полутонных искажений изображений, т. е. получения определенной формы нелинейной амплитудной характеристики, в телевизионный тракт вводится нелинейный корректор с амплитудной характеристикой, описываемой выражением:  $U_{\text{вых}} = kU_{\text{вх}}^{\gamma_k}$ , где  $\gamma_k$  – показатель степени, определяющий форму нелинейности амплитудной характеристики корректора.

В этом случае результирующий коэффициент нелинейности телевизионного тракта «от света до света» будет определяться так:

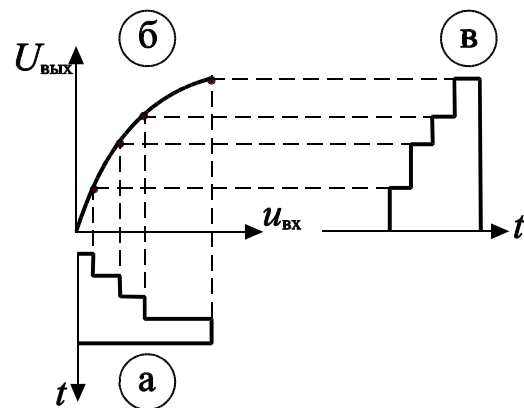
$$\gamma = \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3 \cdot \gamma_k.$$

Из этого выражения видно, что для получения линейной амплитудной характеристики всего телевизионного тракта необходим корректор с коэффициентом нелинейности

$$\gamma_k = \frac{1}{\gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3}.$$

Выбор оптимального значения  $\gamma_k$  осложняется тем, что модуляционные характеристики кинескопов имеют довольно большой разброс коэффициентов нелинейности, а нелинейность световой характеристики передающих трубок кроме этого зависит от содержания изображения.

Принцип работы схемы корректора нелинейности (гамма-корректора) поясняется на рисунке. Он основан на применении нелинейных элементов с таким расчетом, чтобы, регулируя их, можно было менять гамма-характеристику в желаемых пределах. Сигнал передаваемого изображения, искаженный нелинейной характеристикой телевизионного тракта (график «а») (сигнал с неравномерными перепадами





напряжений), поступает на вход гамма-корректора, нелинейная характеристика (график «б») которого рассчитана так, что сигнал на выходе (график «в») получается необходимой формы.

Схемы гамма-корректоров строятся на разных принципах, однако наибольшее распространение получили гамма-корректоры, в которых требуемая форма амплитудной характеристики получается за счет изменения амплитудно-зависимой отрицательной обратной связи, нелинейного изменения сопротивления нагрузки или амплитудно-зависимого делителя сигнала изображения.

Для работы гамма-корректора необходимо, чтобы уровни сигналов, соответствующие одинаковым яркостям изображения, всегда располагались на одних и тех же нелинейных участках характеристики корректора. Для этого в телевизионном сигнале, поступающем на нелинейный элемент корректора, должна быть восстановлена постоянная составляющая, т. е. фиксирован уровень черного сигнала изображения.

В качестве нелинейных элементов в схемах гамма-корректоров обычно используются полупроводниковые диоды, имеющие нелинейные вольт-амперные характеристики. Для получения достаточно больших значений нелинейности диоды иногда включают последова-

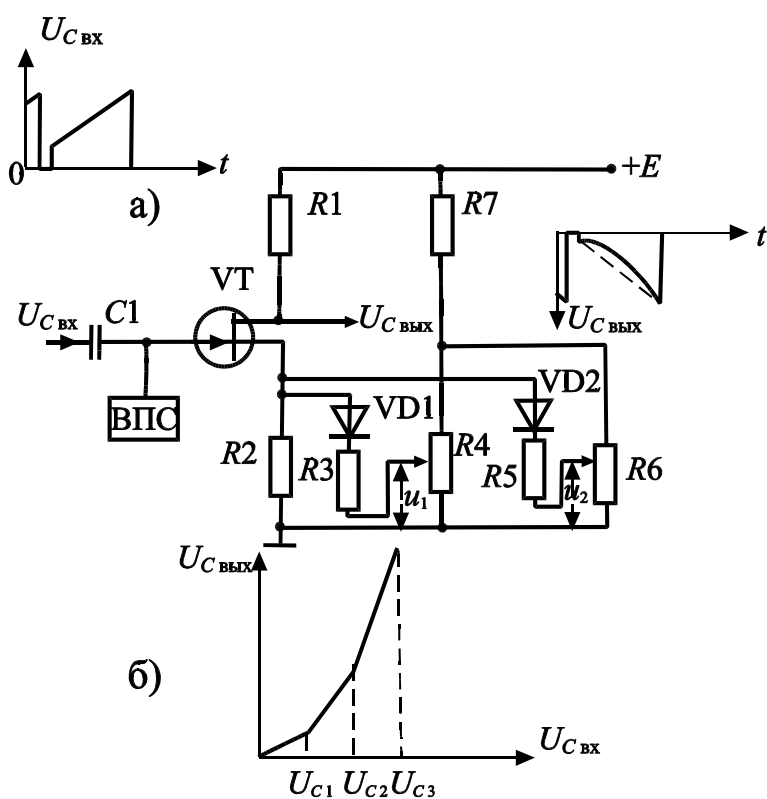


Рис. 7.3

тельно или параллельно.

В качестве примеров рассмотрим два вида корректоров, используемых на практике.

На рис. 7.3 изображена упрощенная схема гамма-корректора, в которой использован принцип амплитудно-зависимой отрицательной обратной связи. Величина отрицательной обратной связи меняется нелинейно в зависимости от мгновенного значения телеви-

зионного сигнала, подаваемого на затвор полевого транзистора VT. В цепи затвора VT производится восстановление постоянной составляющей сигнала (ВПС). Диоды VD<sub>1</sub> и VD<sub>2</sub>, включенные в цепь истока, заперты напряжениями U<sub>1</sub> и U<sub>2</sub> до тех пор, пока на затвор VT не поступит сигнал. При определенной амплитуде сигнала сначала отпирается диод VD<sub>1</sub>, и сопротивление в цепи истока уменьшается от величины R<sub>2</sub> до значения  $R_{э1} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$ . Для упрощения будем считать,

что VD<sub>1</sub> и VD<sub>2</sub> в запертом состоянии обладают бесконечно большим сопротивлением, а доля сопротивлений резисторов R<sub>4</sub> и R<sub>6</sub> при определении эквивалентной нагрузки в цепи истока пренебрежимо мала.

При увеличении амплитуды сигнала отпирается VD<sub>2</sub>, а эквивалентное сопротивление в цепи истока определится так:

$$R_{э2} = \frac{R_{э1} \cdot R_5}{R_{э1} + R_5}.$$

Коэффициент усиления данного каскада будет равен

$$K = \frac{U_{с\text{ Вых}}}{U_{с\text{ Вх}}} S_d \cdot R_1,$$

где S<sub>d</sub> - динамическая крутизна.

Как известно,  $S_d = S \frac{1}{1 + SR_{и}}$ , где S – статическая крутизна, а R<sub>и</sub>

– сопротивление в цепи истока. Исходя из этого в данном каскаде усиление меняется обратно пропорционально изменению R<sub>2</sub>. Следовательно, если R<sub>2</sub> уменьшается с увеличением амплитуды сигнала на затворе VT, то коэффициент усиления растет с увеличением сигнала.

На рис.7.3, б показан график зависимости U<sub>с Вых</sub> от U<sub>с Вх</sub>. Как видно из рисунка, это – ломаная линия, а не плавная кривая. Однако чем больше диодов включать в цепь истока, тем точнее будет приближение к требуемой зависимости. Потенциометры R<sub>4</sub> и R<sub>6</sub> изменяют напряжения U<sub>1</sub> и U<sub>2</sub> отпираания диодов, т. е. с их помощью можно изменять координаты точек перегиба кривой и таким образом в некоторых пределах регулировать величину γ<sub>к</sub>.

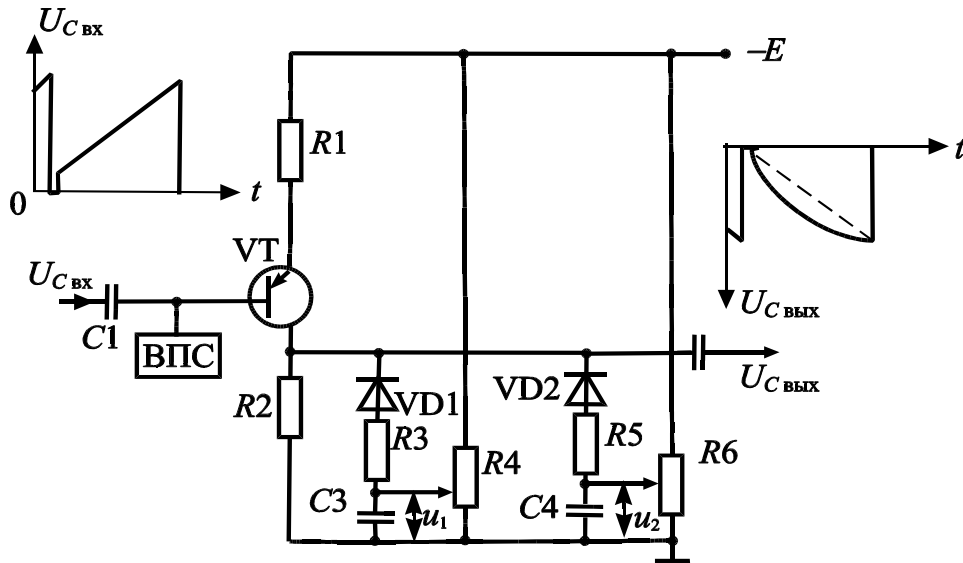


Рис. 7.4

В схеме корректора с нелинейной нагрузкой в коллекторной цепи (рис. 7.4) величина коэффициента передачи меняется в результате изменения сопротивления нагрузки каскада. Аналогично предыдущей схеме (рис. 7.3) эквивалентное сопротивление нагрузки данного каскада будет уменьшаться по мере открывания диодов  $VD_1$  и  $VD_2$ , т. е. поочередно по мере увеличения входного сигнала, в зависимости от напряжения задержки  $U_1$  и  $U_2$ , задаваемого резисторами  $R_5$  и  $R_6$ . В отличие от предыдущей схемы коэффициент усиления этого корректора будет уменьшаться по мере увеличения амплитуды сигнала на входе ( $\gamma_k < 1$ ).

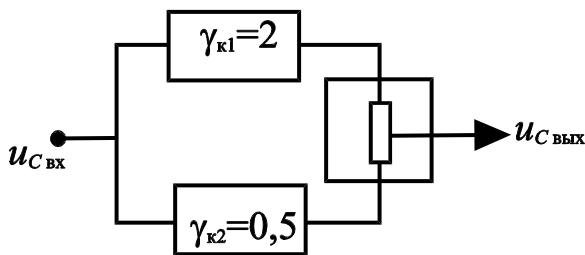


Рис. 7.5

свободны так называемые двухканальные гамма-корректоры (рис. 7.5). Сигнал подается на два самостоятельных гамма-корректора, имеющих различное значение  $\gamma_k$ . В первом корректоре  $\gamma_{k1} > 1$ , например,  $\gamma_{k1} = 2$ , а во втором -  $\gamma_{k2} < 1$  ( $\gamma_{k2} = 0,5$ ). Выходные сигналы с двух гамма-корректоров, одинаковые по амплитуде и полярности, подаются на регулирующую суммирующую схему. Она построена таким образом, что можно менять соотношение напряжений каждого корректора в

В описанных схемах гамма-корректоров при регулировке величины гамма-коэффициента происходит изменение размаха выходного сигнала. Это может нарушить режим работы последующих звеньев телевизионного тракта. От этого недостатка сво-

выходном сигнале, т. е. менять значение  $\gamma_{к\text{общ}}$  от  $\gamma_{к1}$  до  $\gamma_{к2}$  при постоянном уровне выходного сигнала.

Выходное напряжение  $U_{с\text{вых}} = U_{\gamma_{к1}} + U_{\gamma_{к2}} = \text{const}$  будет постоянным при любом положении движка сумматора, а  $\gamma_{к\text{общ}}$  будет меняться от  $\gamma_{к1}=2$  до  $\gamma_{к2}=0,5$ , проходя через значение  $\gamma = 1$ . В аппаратуре блока камерного канала БКК-1014 аппаратно-студийных комплексов цветного ТВ один из каналов двухканального корректора - линейный, а  $\gamma_{к\text{общ}} = 0,4 \dots 0,6$ .

Применяются также более сложные схемы гамма-корректоров, которые позволяют производить оперативное плавное изменение формы амплитудной характеристики изменением постоянных напряжений в схеме, что дает возможность сделать эти регулировки дистанционными.

## 4. ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ О ЦВЕТЕ

В данном разделе рассматриваются воспроизводящие изображения экраны на базе цветных кинескопов и жидкокристаллических \ЖК\ панелей. Даются принципы формирования сигналов в совместимых системах цветного телевидения.

### Понятие о цвете

Ощущение цвета есть результат субъективного восприятия зрительным аппаратом объективно существующих световых излучений. Воздействующее на глаз излучение определенного спектрального состава дает ощущение одного присущего ему цвета. Известный спектральный состав и интенсивность излучения полностью определяют его цвет. Количество различимых глазом цветов очень велико и требует их классификации и символического обозначения. Цветовая система, позволяющая дать наиболее полное численное описание цвета, была создана на основе теоретических и экспериментальных работ, осветивших природу цветного зрения и положивших в основу построения науки об измерении цвета - колориметрии - понятие о трехмерном цветовом пространстве. Физиологические основы цветного зрения базируются на трехкомпонентной теории, согласно которой мы

допускаем существование в нашем зрительном анализаторе трех видов аппаратов, каждый из которых чувствителен к определенному участку видимого спектра – коротковолновому, средневолновому, длинноволновому.

Изолированное возбуждение одного из этих аппаратов дает ощущение одного из трех насыщенных цветов - синего, зеленого, красного. Обычно воздействующее излучение содержит весь спектр видимого диапазона длин волн, но с разной спектральной интенсивностью. Это приводит к раздражению не одного, а двух или трех световоспринимающих аппаратов одновременно. Различное соотношение возбуждения световоспринимающих аппаратов вызывает ощущение цвета. Теория эта хорошо согласуется с законами смешения цветов, которые косвенно ее подтверждают. В телевидении используется локальное, пространственное и бинокулярное смешение цветов. Локальное смешение может быть одновременным (оптическим), когда на одну поверхность проектируется два или несколько излучений, вызывающих каждый в отдельности ощущение разных цветов, и последовательным, когда аналогичные излучения воздействуют на глаз последовательно одно за другим. При быстрой смене излучений в глазу возникает ощущение единого результирующего цвета.

При пространственном смешении участки, окрашиваемые смешиваемыми цветами, имеют достаточно маленькие размеры, и глаз воспринимает их как единое целое. Примером этому могут служить мелкие цветные штрихи, мозаика и др. Бинокулярным смешением называют смешение двух или нескольких цветов путем раздельного раздражения левого и правого глаз разными цветами, в результате чего возникает ощущение нового цвета.

Основной закон смешения утверждает, что любой цвет может быть выражен с помощью трех основных цветов

$$f'F = r'R + g'G + b'B, \quad (8.1)$$

здесь  $f'F$  - излучение произвольного спектрального состава, единица которого обозначена через  $F$ , а количество единиц - через  $f'$ ,  $R$ ,  $G$ ,  $B$  - единичные цвета выбранных излучений, соответствующих красному ( $R$ ), зеленому ( $G$ ) и синему ( $B$ ) цветам;  $r'$ ,  $g'$ ,  $b'$  - множители излучений, указывающие, в каких количествах смешиваются излучения, соответствующие единице цветов  $R$ ,  $G$ ,  $B$ .

Для измерения цвета в качестве основных (единичных) цветов  $R$ ,  $G$ ,  $B$  были выбраны монохроматические излучения с длинами волн:

$$\lambda = 700 \text{ нм}; \lambda = 546 \text{ нм}; \lambda = 435 \text{ нм}.$$

Из уравнения (8.1) следует, что цвет является величиной трехмерной, а следовательно, характеризуется тремя параметрами, например, светлотой, цветовым тоном и насыщенностью. Светлота определяется количественной характеристикой цвета – его яркостью, а цветовой тон и насыщенность – качественной характеристикой цвета – цветностью. Под цветовым тоном понимают характерное свойство цвета, позволяющее обозначить его как красный, зеленый, синий и т.д. Насыщенность цвета определяется степенью его разбавленности белым. Насыщенность максимальна для чистых спектральных цветов и равна 0 для белого цвета.

Перечисленные параметры являются субъективными, так как не могут быть подвержены объективному измерению. Однако им соответствуют физические параметры излучения – яркость  $L$ , доминирующая (преобладающая) длина волны  $\lambda$  и чистота цвета  $p$ . Субъективные и физические параметры связаны между собой, так как увеличение яркости приводит к увеличению светлоты, изменение доминирующей длины волны – к изменению цветового тона, а возрастание чистоты цвета – к увеличению насыщенности.

### Геометрическое представление цвета

Трехмерность цвета, вытекающая из (8.1), позволяет представить его вектором в трехмерном пространстве, которое называется цветовым. При этом длина вектора характеризует *количественную* характеристику цвета – *яркость*, а направление вектора в пространстве – его *качественную* характеристику – *цветность*. Все векторы в цветовом пространстве выходят из точки нулевой яркости, соответствующей черному цвету. Совокупность направлений векторов реальных цветов образует цветное тело, которое принято называть конусом реальных цветов. Сказанное иллюстрирует рис. 8.1, где в колориметрической системе, построенной на векторах трех основных цветов  $R$ ,  $G$ ,  $B$ , изображена коническая поверхность, образованная векторами цветов монохроматических излучений.

Поскольку в телевизионном изображении абсолютные значения яркости объекта не воспроизводятся, при проведении большинства цветовых расчетов в телевидении пользуются качественной характеристикой цвета – *цветностью*, которая характеризуется *цветовым тоном* и *насыщенностью* и, следовательно, является величиной двумерной, т.е. может быть определена точкой на плоскости. Наиболее удобной для цветовых расчетов является *единичная плоскость*  $Q$ , пересекающая координатные оси  $R$ ,  $G$ ,  $B$  в точках, соответствующих единичным количествам основных цветов  $R$ ,  $G$ ,  $B$ .

След пересечения плоскости  $Q$  с конической поверхностью цветового тела образует locus чистых спектральных цветов. Следы пересечения этой плоскости с координатными плоскостями образует равносторонний цветовой треугольник  $RGB$ . Любая точка в плоскости треугольника  $RGB$ , например точка белого цвета  $E$ , характеризует направление цветового вектора  $E$  в пространстве, т.е. качественную характеристику цвета - цветность. Координаты точки в треугольнике определяются выражением  $r = r'/m$ ,  $g = g'/m$ ,  $b = b'/m$ , где величина  $m = r' + g' + b'$  называется модулем цвета, а величины  $r, g, b$  - координатами цветности, сумма которых  $r + g + b = 1$ .

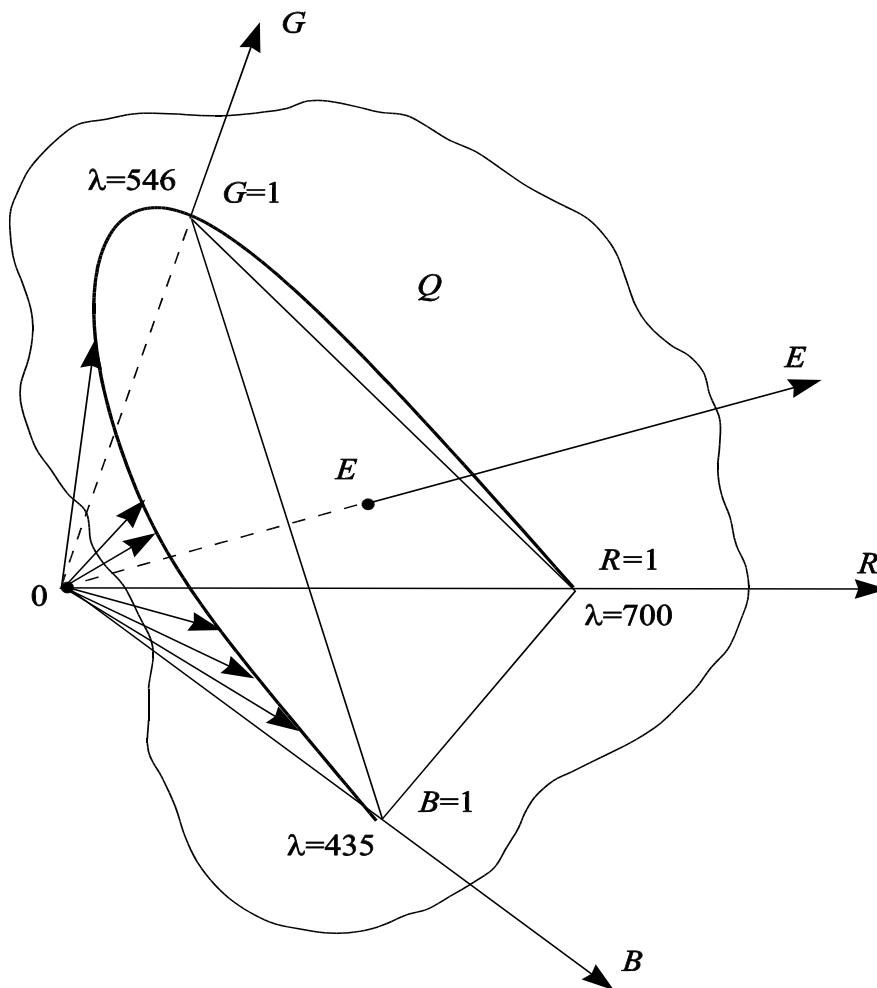


Рис. 8.1

Анализируя рис. 8.1, необходимо отметить следующее:

- цветности всех реальных цветов находятся внутри спектрально-го локуса и определяются значениями величин  $r, g, b$  ;
- равноэнергетический белый цвет  $E$  находится в центре тяжести треугольника  $RGB$ ;

- дополнительные цвета лежат на пересечении прямой, проходящей через точку  $E$ , с кривой спектральных цветов;
- цветность смеси двух цветов отображается точкой, лежащей на прямой, соединяющей смешиваемые цвета;
- цветность смеси трех цветов отображается точкой внутри треугольника, вершины которого образованы смешиваемыми цветами;
- цветовой тон любого цвета в цветовой плоскости определяется длиной волны, соответствующей пересечению кривой спектральных цветов с прямой, проведенной через точку  $E$  и точку, отображающую цветность заданного цвета.

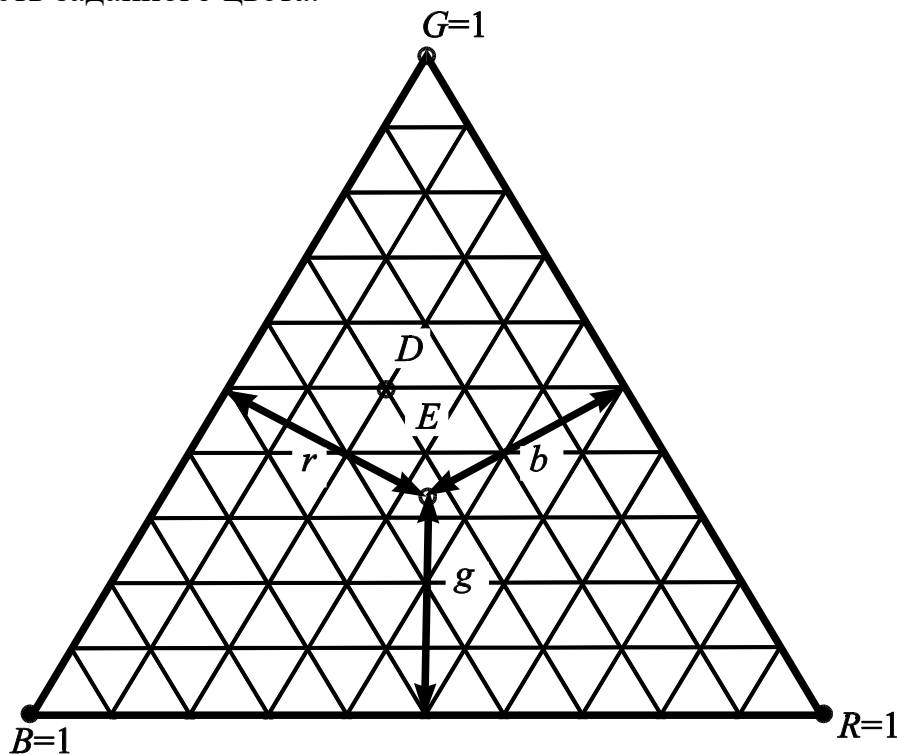


Рис. 8.2

На рис.8.2 изображен треугольник основных цветов  $BRG$ , из которых синтезируется цветное телевизионное изображение. Основные цвета воспроизводятся при возбуждении электронным лучом соответствующих люминофоров. Результирующий цвет определяется отношением возбуждающих электронных потоков.

Если положение точки внутри равностороннего треугольника  $BRG$  задано, то перпендикуляры, опущенные из нее на стороны, противоположные вершинам  $B, R, G$  дадут непосредственно координаты цветности  $r, g, b$ , сумма которых равна единице. Для нахождения координат цветности по положению точки внутри равностороннего треугольника удобно пользоваться равномерной сеткой, нанесенной внутри треугольника  $RGB$ , линии которой параллельны его сторонам.



Пользуясь сеткой, легко определить, что координаты цветности равноинтенсивного цвета  $E$  (точка  $E$ ) следующие:  $r = 1/3$ ;  $g = 1/3$ ;  $b = 1/3$ , а в точке  $D = 0,2$ ;  $g = 0,5$ ;  $b = 0,3$ .

## 5. ФОРМИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Данный раздел посвящен изучению принципов формирования и прохождения сигнала изображения в телевизионной системе, содержащей телевизионную камеру и блок камерного канала, в котором осуществляется необходимая коррекция первичных сигналов  $E_R$ ,  $E_G$ ,  $E_B$ , поступающих от передающей камеры.

### Телевизионные передающие камеры

Передающая телевизионная камера предназначена для преобразования светового потока, отраженного от объекта, в электрические сигналы трех цветоделенных изображений, подаваемых в блок камерного канала. Камера состоит из оптической головки, самой камеры и электронного видоискателя.

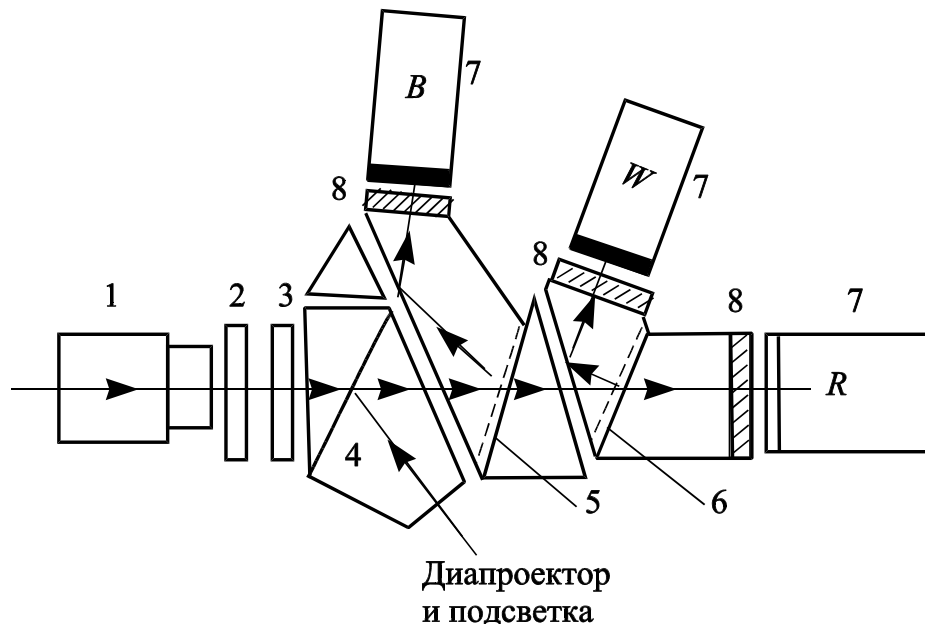


Рис. 10.1

На рис. 10.1 изображена схема оптической системы трехтрубчатой WRB камеры. Световой поток, пройдя через вариообъектив 1, сменные нейтральные светофильтры 2 и приводные светофильтры 3, корректирующие при необходимости источник освещения, поступает на компоненты призматического цветоделительного блока 4. Нанесенные на грани призмы дихроические слои 5 и 6 расщепляют световой поток на разделенные по спектру составляющие, которые образуют на фоточувствительной поверхности передающих трубок 7 цветоделенные изображения. Светофильтры 8, наклеенные на грани призмы, корректируют спектральные характеристики оптических каналов.

Применение призматического блока позволяет реализовать более жесткую конструкцию цветоделительной системы, упростить юстировку схемы, снизить потери света, вызываемые отражением от границы воздух – стекло, а также ввести световой поток от диапроектора, проецирующего изображение тест-таблицы на фотокатоды трех передающих трубок при настройке камеры.

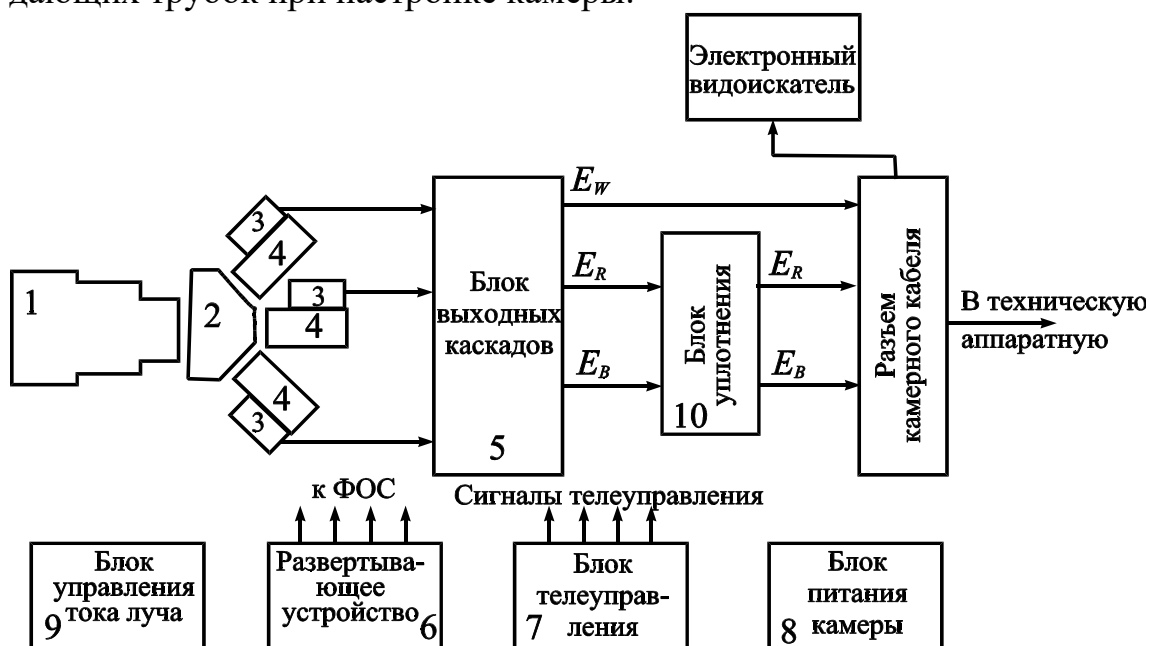


Рис. 10.2

Структурная схема цветной передающей камеры изображена на рис. 10.2. Оптическая головка 2 конструктивно объединена с тремя блоками передающих трубок типа плюмбикон 4. В блок каждой трубки входят фокусирующая и отклоняющая системы (ФОС) и предварительный усилитель 3. В самой камере размещены блоки: выходных каскадов 5, развертывающих устройств 6, телеуправления 7, питания 8, регулировки тока луча 9 и высокочастотного уплотнения 10. Для

контроля изображения на камере установлен электронный видеискатель.

На мишени передающих трубок формируются: красное ( $R$ ), синее ( $B$ ) и псевдояркое ( $W$ ) изображения передаваемого объекта. Использование псевдояркого сигнала вместо зеленого ( $G$ ) позволяет улучшить чувствительность камеры при допустимом ухудшении цветопередачи. Светоделенные сигналы  $E_R$ ,  $E_W$ ,  $E_B$  с сигнальных пластин передающих трубок поступают на соответствующие предварительные усилители 3, размещенные непосредственно на ФОС передающей трубки 4. В предварительных усилителях осуществляется противозумовая коррекция сигналов. С выходов предварительных усилителей сигналы поступают в блок выходных каскадов 5, где они усиливаются, ограничиваются их полосы частот, вводятся и ограничиваются строчные гасящие импульсы, замешиваются импульсы телеуправления. Усиленные выходные сигналы по камерному кабелю поступают на камерный канал.

Система уплотнения предназначена для передачи по двум коаксиальным жилам камерного кабеля во встречных направлениях сигналов: основных цветов  $E_R$ ,  $E_B$ , звукового сопровождения, передаваемых из камеры в каналы, и сложного сигнала телеуправления (ССТУ), передаваемого из канала в камеру.

Сигнал ССТУ представляет собой смесь сигналов, уплотненных во времени: сигнала яркости для электронного видеискателя, сигнала синхронизации разверток передающих трубок, сигнала звука для служебной связи с оператором и сигналов телеуправления.

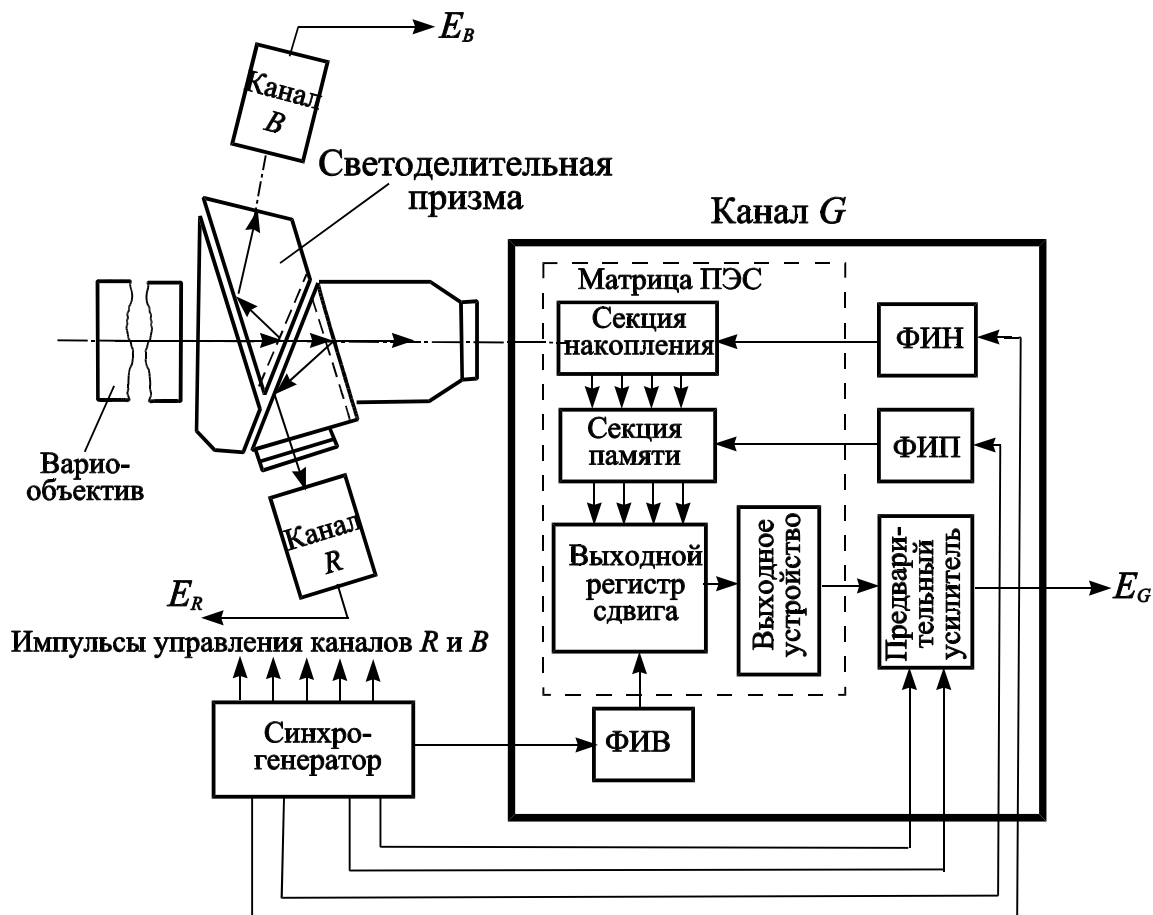


Рис. 10.3

В современных разработках передающих камер применяются твердотельные аналоги передающих трубок – однострочные и матричные приборы с зарядовой связью (ПЗС). На рис. 10.3 изображена структурная схема цветной телевизионной камеры на трех полноформатных матрицах ПЗС. Изображение передаваемого объекта вариообъективом проецируется на светоделительный блок, который разделяет световой поток на три составляющие. Принцип получения сигнала изображения рассмотрим для одного из каналов на примере ПЗС с кадровым переносом зарядов. Основной элемент каждого из каналов – матрица ПЗС. Она преобразует распределение светового потока в плоскости матрицы в поверхностное распределение фотогенерированных неосновных носителей заряда – потенциальный рельеф (секция накопления). Затем во время следования кадрового гасящего импульса все поле зарядов перемещается в соответствующие зоны хранения, экранированные от светового потока (секция памяти). В течение следующего периода накопления во время следования строчных гасящих импульсов заряды построчно перемещаются из секции памяти к выходному регистру сдвига. В нем в период активной части строки заряды продвигаются к выходному устройству. Таким образом, на

выходе матрицы образуется ТВ сигнал в виде поэлементной последовательности импульсов различной амплитуды, пропорциональной освещенности элементов секции накопления. Перемещение зарядов в матрице ПЗС – развертка изображения – производится с помощью тактовых импульсов синхрогенератора, образующихся в формирователях импульсов секций накопления (ФИН), памяти (ФИП) и выходного регистра (ФИВ).

Использование в ЦТ камерах твердотельных датчиков сигналов вместо вакуумных передающих трубок позволило значительно сократить габариты, вес и потребляемую мощность камеры, а также существенно повысить надежность ее работы. Дополнительным достоинством камер на матрицах ПЗС является ее так называемый «жесткий растр», т.е. точная привязка координаты передаваемой точки текущему времени, что оказывается определяющим параметром при решении некоторых прикладных задач.

### ***Камерный канал***

Структурная схема камерного канала изображена на рис. 10.4. Цветоделенные сигналы от камеры в камерный канал поступают по коаксиальным парам камерного кабеля. Сигнал  $E_W$  в полосе частот 6,5 МГц подается непосредственно в усилительный тракт, а сигналы  $E_R$  и  $E_B$  в полосе частот 1,5 МГц – через блок уплотнения. В усилительном тракте производится установочная регулировка усиления, замешивание и ограничение гасящих импульсов для удаления с площадки обратного хода флуктуационных помех, паразитных сигналов строчной частоты. В нем предусмотрена также схема коррекции светорассеяния, из-за рассеяния светового потока в оптической части камеры и в передающих трубках. Здесь же осуществляется коррекция неравномерности фона изображения по полю путем замешивания в видеосигнал сигналов параболической и пилообразной формы частоты строк и полей и модуляции видеосигнала путем изменения коэффициента усиления.

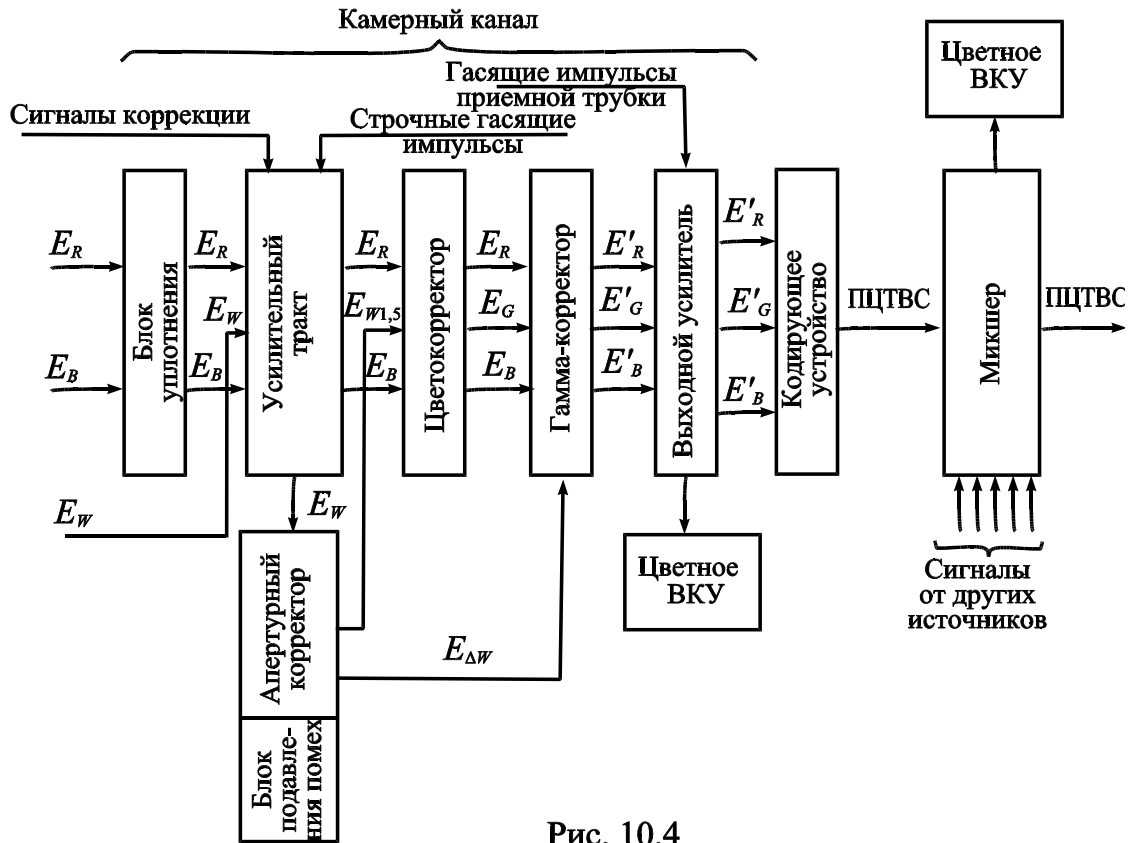


Рис. 10.4

Далее сигналы  $E_R$  и  $E_B$  непосредственно поступают на цветокорректор, а сигнал  $E_W$  – через апертурный корректор. В цветокорректоре осуществляется коррекция ошибки цветоанализа, вызванной несоответствием спектральных характеристик камеры кривым смешения основных цветов приемника, и производится нормирование сигналов  $E_R$ ,  $E_G$ ,  $E_B$ . В апертурном корректоре производится коррекция апертурных искажений луча передающей трубки в горизонтальном и вертикальном направлениях, а также разделение спектра сигнала на низкочастотный сигнал в полосе 1,5 МГц ( $E_W - 1,5$ ) и сигнал высокочастотных деталей. Сигнал  $E_W - 1,5$  МГц поступает на цветокорректор. С выходов блока цветокорректора сигналы  $E_{R0}$ ,  $E_{G0}$ ,  $E_{B0}$  в полосе частот 1,5 МГц поступают на гамма-корректор, где преобразуются по степенному закону в сигналы  $E'_R$ ,  $E'_G$ ,  $E'_B$  для коррекции модуляционной характеристики кинескопа. После нелинейного преобразования в сигналы  $E'_R$ ,  $E'_G$ ,  $E'_B$  вводится сигнал  $E_{\Delta W}$  с выхода апертурного корректора, несущего информацию о мелких деталях изображения в полосе частот 1,5 – 6,5 МГц, а также сигналы вертикальной и горизонтальной апертурной коррекции. Таким образом, на выходе

гамма-корректора формируются сигналы в полной полосе частот в соответствии с выражениями:

$$E'_R = E'_{R0} + E_{\Delta W};$$

$$E'_G = E'_{G0} + E_{\Delta W};$$

$$E'_B = E'_{B0} + E_{\Delta W}.$$

После гамма-корректора в выходном усилителе в сигнал изображения замешиваются гасящие импульсы приемной трубки и производится ограничение гасящих импульсов на уровне черного. С выхода усилителя сигналы поступают на кодирующее устройство и цветные ВКУ. На микшер поступают также сигналы от других камерных каналов.

## **6. ПРИНЦИПЫ ЦИФРОВОЙ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ**

### **1. Преобразование аналоговых сигналов в цифровую форму.**

В телевидении информация об изображении и звуковом сопровождении передается с помощью электрических сигналов. Используются для этого аналоговый или цифровой способы передачи данных. Для осуществления такой передачи должен изменяться какой-либо из параметров сигнала (ток, напряжение, частота). Если это изменение происходит аналогично изменению передаваемых данных, то такой сигнал называется аналоговым. Примером аналоговой формы передачи информации может служить электрический сигнал от микрофона — напряжение сигнала изменяется аналогично изменению звукового давления на микрофон, в телевидении — сигнал изображения изменяется аналогично яркости объекта вдоль строки, и т.д.

В отличие от аналоговой, существует цифровая форма передачи информации. В этом случае передаются численные данные (цифры, символы), обозначающие конкретные значения передаваемого параметра через определенные промежутки времени. Цифровая форма представ-

ления информации хорошо сочетается с компьютерными средствами передачи, обработки и хранения информации, и, в силу своих преимуществ, цифровой сигнал все больше используется в современном телевидении.

В процессе формирования сигналы видео- и аудиоинформации в современных цифровых системах должны быть преобразованы в цифровую форму. Рассмотрим подробнее, как происходит такое преобразование. Чтобы преобразовать аналоговый сигнал в цифровой, его необходимо сначала подвергнуть дискретизации, т.е. измерить мгновенные значения сигнала в заранее выбранные моменты, отстоящие друг от друга на время, равное шагу дискретизации, как показано на рисунке:



О выборе шага дискретизации и подробнее о преобразовании сигнала в цифровую форму сказано в работе [5 глава учебника].

Изменение амплитуды сигнала, обозначенной вертикальной осью на предыдущем графике, также передается в виде дискретных значений, которые называются уровнями квантования. Преобразование амплитуды сигнала, при котором его мгновенная амплитуда изменяется на ближайшее разрешенное значение, называется квантованием. Форма сигнала после этого становится ступенчатой:





Передача амплитуды сигнала по каналу связи при этом сводится лишь к передаче номера уровня квантования. Например, при квантовании сигнала на восемь уровней номер текущего уровня квантования передается тремя битами (поскольку восемь — это два в третьей степени):



Здесь на горизонтальной оси времени для каждого отсчета указан номер уровня квантования, который передается на приемную сторону вместе с данным отсчетом. Этот номер фактически обозначает текущую амплитуду передаваемого сигнала. В примере, показанном на рисунке, этот номер содержит три бита, т.к. число уровней квантования, показанных на рисунке, равно восьми. Очевидно, что ошибка квантования (разность между текущим значением входного сигнала и ближайшим уровнем квантования) будет тем меньше, чем на большее число уровней мы квантуем сигнал. Сколько же должно быть уровней квантования в сигнале изображения? Если вспомнить о том, что график сигнала изображения снизу ограничен уровнем черного, а сверху

– уровнем белого, то, очевидно, число уровней квантования – это количество градаций яркости полученного изображения.

Число уровней квантования из соображений удобства кодирования информации устанавливается равным целой степени числа два. Последовательность номеров уровней квантования, указанных на оси времени на предыдущем рисунке, по существу представляет собой сигнал изображения в цифровой форме. Такая форма представления сигнала называется иногда импульсно-кодовой модуляцией. Очевидно, что по этой последовательности, переданной на приемную сторону, вполне можно восстановить исходный сигнал, и что точность такого восстановления будет тем выше, чем чаще по оси времени были расположены отсчеты при дискретизации сигнала (чем выше была частота дискретизации) и чем больше было число уровней квантования исходного аналогового сигнала. Во многих случаях для квантования сигнала яркости необходимо и достаточно 256 уровней квантования, хотя в современном телевидении их больше.

## 2. Кодирование сигналов для передачи и записи

Кодирование сигналов осуществляется с разными целями. Есть способы кодирования для защиты информации, где применяется шифрование или иные средства, существуют способы кодирования сигнала с целью защиты от ошибок передачи и их коррекции — в этом случае передаваемая информация даже специально увеличивается. Однако для цифрового телевидения большой интерес представляют алгоритмы кодирования информации, позволяющие уменьшить цифровой поток. Такая обработка сигнала называется аудио- или видеокompрессией или «цифровым сжатием».

### 3. Сокращение избыточной информации. Стандарты цифровой компрессии.

Только что описанный способ цифровой передачи изображения, поясняемый последним рисунком, предполагает наличие большого количества информации, которую нужно передать. Действительно, если стандартный телевизионный кадр содержит порядка полумиллиона элементов изображения, и для каждого элемента нужно передать информацию о яркости хотя бы восемью битами, и таким же количеством бит — информацию о цвете, и сделать это надо для каждого из 25 кадров в секунду, то получится, что скорость цифрового потока для среднестатистического ТВ изображения составит порядка 250 ме-

габит в секунду. Это очень большая величина. Если не изыскать способы для ее снижения, то реализация всей идеи цифрового телевидения оказывается нецелесообразной.

#### 4. Стандарты MPEG. Кодирование изображений и звука.

Для снижения информации, содержащейся в передаваемом ТВ изображении, были найдены остроумные решения. Они сначала использовались для видеотелефона, а позже были закреплены Международным союзом электросвязи в качестве стандартов аудио- и видеокompresии. Рассмотрим подробнее наиболее общие черты стандартов семейства MPEG.

Оказывается, значительная часть содержащейся в изображении информации является избыточной, она не играет существенной роли и может не передаваться в составе ТВ сигнала на приемную сторону. Такая «избыточная» информация может находиться, например, в последовательности кадров при малоподвижном изображении — в этом случае для уменьшения избыточной информации используют так называемое «межкадровое кодирование». Межкадровое кодирование изображений содержит ряд интересных решений, его целесообразно рассматривать вместе с особенностями структуры цифрового потока от изображения, закодированного по стандарту MPEG. Поэтому надо подробно и на физическом уровне себе представить, что же происходит в процессе кодирования с каждым отдельно взятым ТВ кадром изображения и как избыточная информация может быть снижена «внутрикадровым кодированием» или «межкадровым кодированием».

##### Внутрикадровое кодирование

Примером внутрикадрового кодирования при сокращении избыточной информации в изображении является дискретное косинусное преобразование (ДКП). Что оно дает, и почему способствует сокращению избыточной информации, рассмотрим на простом примере.

Предположим, для сокращения передаваемой информации об изображении необходимо сократить число уровней квантования (число градаций яркости), т.е., как говорят, сделать квантование более «группым». Оказывается, тот предел, до которого можно сокращать число уровней квантования или градаций яркости, зависит от характера

изображения. Предположим, мы хотим сократить информацию в изображении с количеством градаций яркости, равным 256:



Сократим это количество до 16:



Хорошо заметно, что пострадало только изображение облаков, т.е. изображение, передаваемое самой низкочастотной частью спектра сигнала.

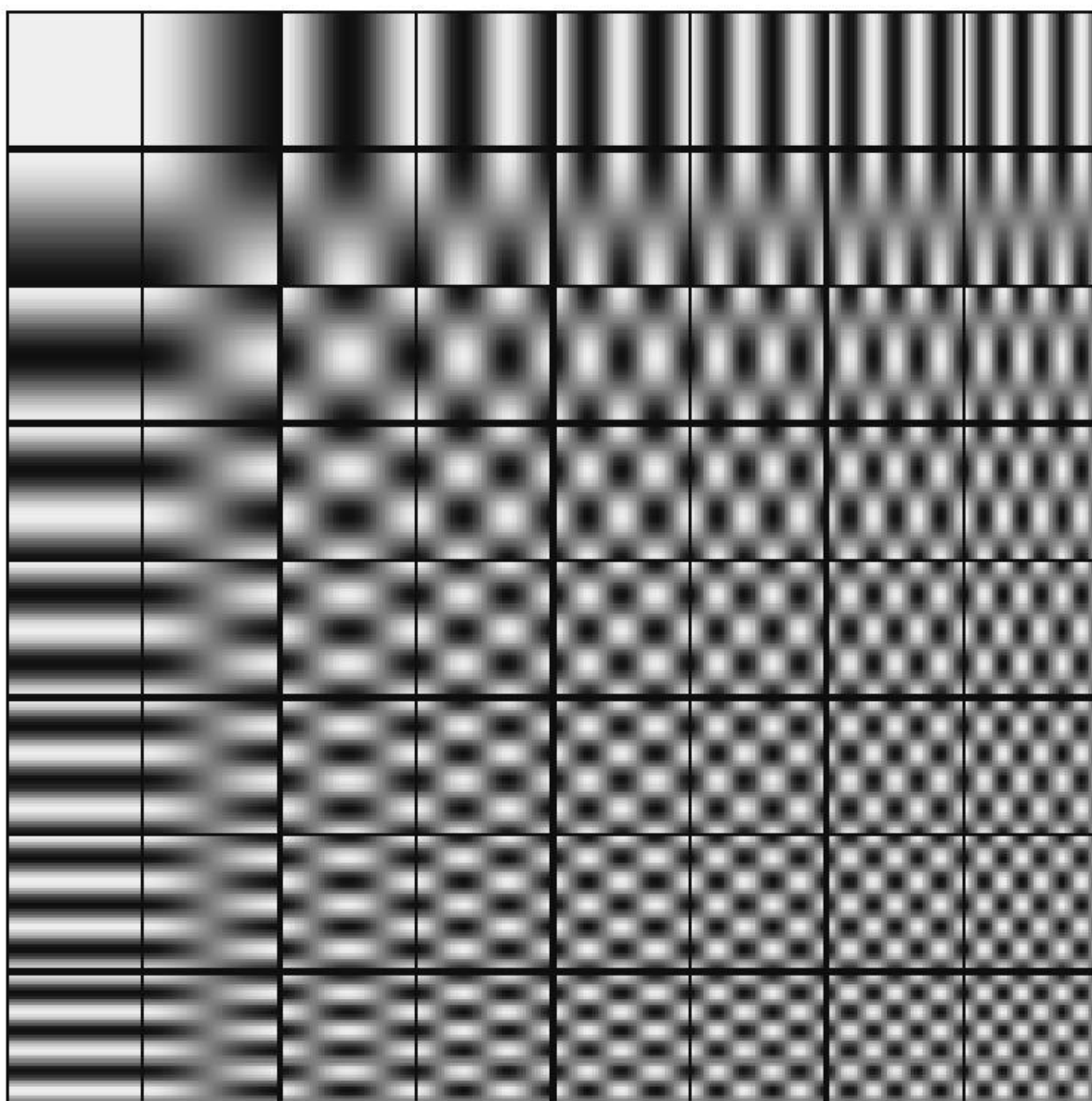
Сократим число уровней квантования (градаций яркости) до 4:



Изображение выглядит безобразно, но, тем не менее, на некоторых зданиях дефектов изображения почти не заметно. Такое неодинаковое ухудшение качества изображения при угрублении квантования происходит оттого, что дефекты изображений мелких деталей наш глаз замечает хуже, поэтому и квантовать такие изображения можно более грубо, сократив тем самым объем информации.

Как же отделить крупные детали от мелких? Оказывается, это можно сделать по их частотному спектру, пространственному или временному. Поскольку такое разделение необходимо делать в автоматическом режиме и в реальном времени, то для этой задачи используют преобразование Фурье, позволяющее разложить любой сигнал в ряд синусоид или косинусоид, т.е. представить как сумму гармонических составляющих. При этом результатом преобразования является определенное количество коэффициентов при членах ряда. Сигнал изображения, однако, является двумерным, и поэтому преобразование изображения или его части в тригонометрический ряд происходит в двух измерениях, в результате оно дает не ряд коэффициентов, а матрицу коэффициентов. Такая матрица коэффициентов преобразования называется трансформантой. У каждого из ее коэффициентов определен-

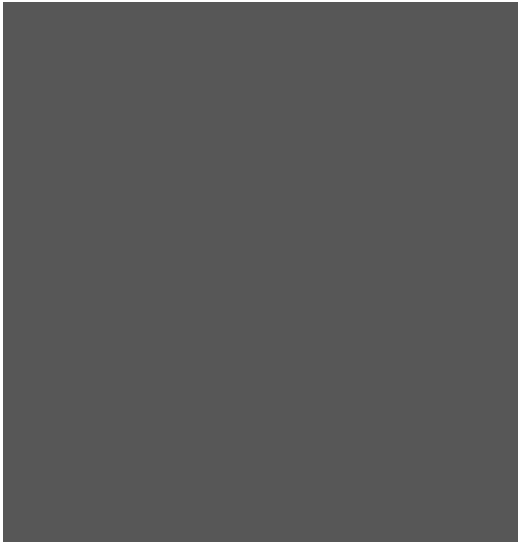
ная роль – он отвечает за присутствие в преобразуемом фрагменте изображения определенной пространственной частоты, возрастающей с номером коэффициента. Если изображения, соответствующие каждому из коэффициентов трансформанты размером 8 x 8 элементов изобразить также в виде квадратной матрицы, то мы получим так называемый набор 64 базисных изображений. Так он выглядит:



В существующих стандартах кодирования изображений, таких как JPEG, MPEG и связанных с ними рекомендациями Международного союза электросвязи (рекомендации H.261 — H.265) для целей внут-

рикадрового кодирования изображений используется преобразование Фурье с разложением изображения по косинусоидальным составляющим, так называемое дискретное косинусное преобразование (ДКП). При этом преобразованию подвергается изображение, разделенное на блоки размером, равным, в основном,  $8 \times 8$  элементов. В результате преобразования (ДКП) каждого блока получается двумерный набор коэффициентов (трансформанта), размер которого также ограничивается величиной  $8 \times 8$ .

Как же выглядит связь между самим преобразуемым блоком изображения и его трансформантой? Предположим, исходное преобразуемое изображение (блок) содержит элементы одинаковой яркости и выглядит так:



Продукт преобразования этого блока изображения (трансформанта) в таком случае будет содержать лишь один коэффициент, отличный от нуля, левый верхний, так называемый коэффициент DC, соответствующий средней яркости преобразуемого изображения. Он показан красным цветом. Точно так же, как и в процессе обычного разложения одномерной функции или сигнала в ряд Фурье, самое первое слагаемое соответствует постоянной составляющей преобразуемого сигнала. Остальные коэффициенты трансформанты, отвечающие за наличие в рассматриваемом блоке пространственных частот (так называемые коэффициенты AC) для однотонного блока равны нулю:

700	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Этот случай является наиболее простым. Если же преобразованию подвергается блок, в котором все 64 элемента изображения имеют различную яркость, то в этом случае, зная распределение яркости в блоке, мы подбираем из набора показанных ранее 64 базисных изображений такие, которые в сумме будут возможно ближе соответствовать распределению яркости в преобразуемом блоке.

Так, например, если распределение яркости в преобразуемом блоке содержит плавное ее уменьшение слева направо, что может быть описано половиной пространственной гармоники в горизонтальном направлении:

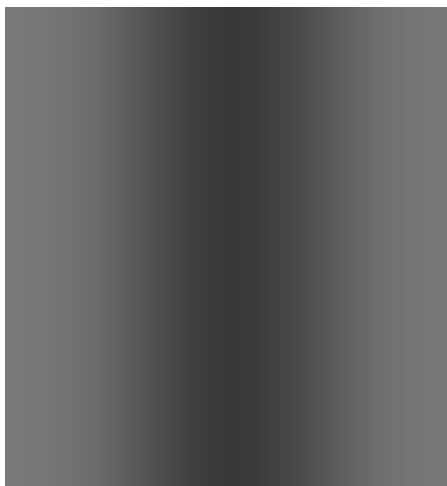


то трансформанта такого изображения будет выглядеть так:



700	100	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Красным цветом отмечен коэффициент, показывающий величину средней яркости блока (он называется коэффициент DC), при этом остальные коэффициенты, показывающие изменения яркости (они называются коэффициентами AC) по-прежнему равны нулю, кроме одного, показанного синим цветом. Этот коэффициент отражает присутствие в изображении блока изменений яркости в виде половины периода горизонтальной пространственной гармоника, это хорошо видно на показанном ранее наборе 64 базисных изображений. Рассмотрим еще пример. Пусть преобразуемый блок изображения выглядит так:



Легко заметить, что это такое изменение яркости в блоке напоминает целый период горизонтальной пространственной гармоника (косинусоиды), от максимума одного периода до максимума следующего. Этой гармонике соответствует третий слева коэффициент в верхнем ряду 64 базисных изображений, показанных ранее. Это значит, что трансформанта для такого блока выглядит примерно так:

700	0	100	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

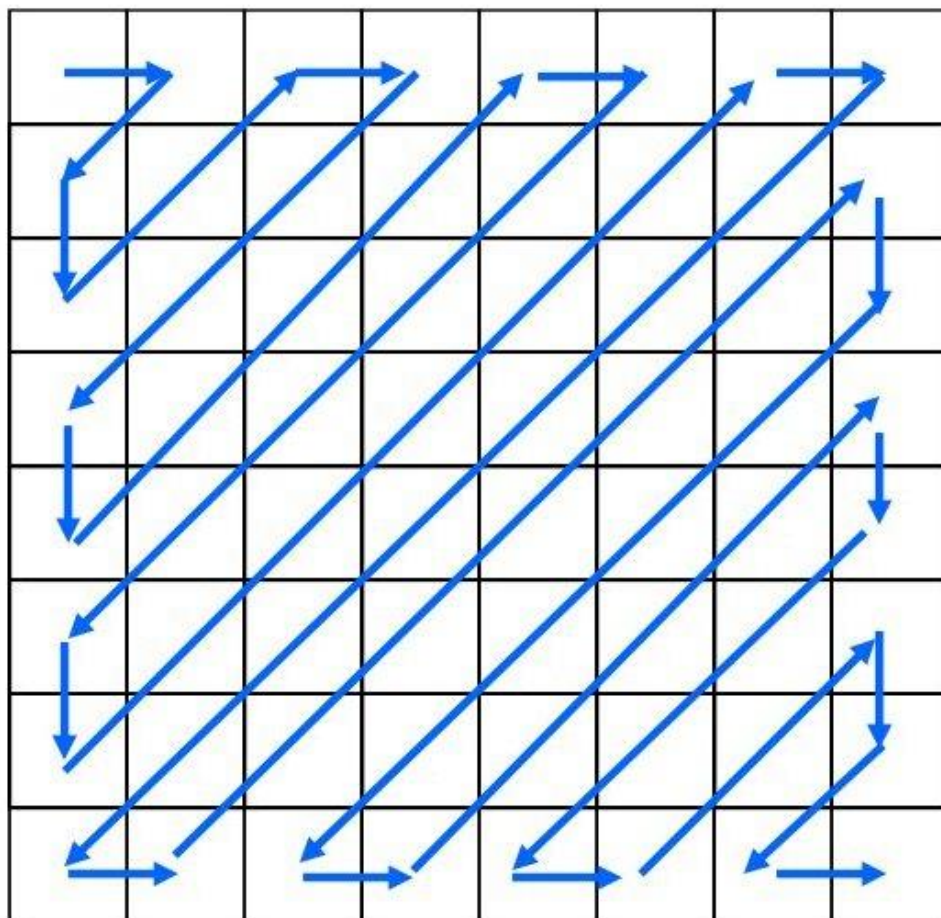
Нетрудно догадаться, что изменения яркости в вертикальном направлении в преобразуемом блоке аналогично приведут к отличию от нуля других коэффициентов трансформанты.

Если полученные коэффициенты передать на приемную сторону, то по ним может быть восстановлено исходное изображение.

Однако нецелесообразно тратить одинаковое количество информации на передачу каждого из полученных коэффициентов — мы знаем, что не все пространственные частоты в изображении воспринимаются глазом одинаково. Низкие частоты видны на изображении лучше, поэтому и передавать нужно коэффициенты трансформанты с разным приоритетом, и квантовать их для передачи нужно по-разному. Поэтому следующим этапом кодирования изображения после ДКП является процедура умножения матрицы коэффициентов ДКП на матрицу «коэффициентов спектрального взвешивания», которые умножают каждый из коэффициентов трансформанты на определенную величину, масштабируя его с учетом восприятия зрением. После умножения полученные коэффициенты подвергаются так называемому адаптивному квантованию. Оно называется адаптивным, т.к. квантователь, способный изменять число уровней квантования и управляемый внешним сигналом, способен сокращать или увеличивать цифровой поток кодированного изображения, адаптируя его к степени загрузки канала передачи.

После адаптивного квантования коэффициенты трансформант считываются из своих матриц в определенной последовательности, которая называется «зигзагообразным сканированием», она учитывает приоритет передачи коэффициентов с учетом заметности в изображении тех частот, за которые отвечают соответствующие им коэффициенты. Считывание коэффициентов начинается с левого верхнего угла трансформанты, с коэффициента DC, затем передаются коэффициенты низкочастотной части трансформанты, и заканчивается считывание

в правом нижнем углу в области высоких частот. Последовательность такого сканирования показана на рисунке:



В результате сканирования последовательно кодируются и передаются все коэффициенты трансформанты. Рассмотрим в качестве примера последовательность считывания и передачи коэффициентов для трансформанты следующего содержания:

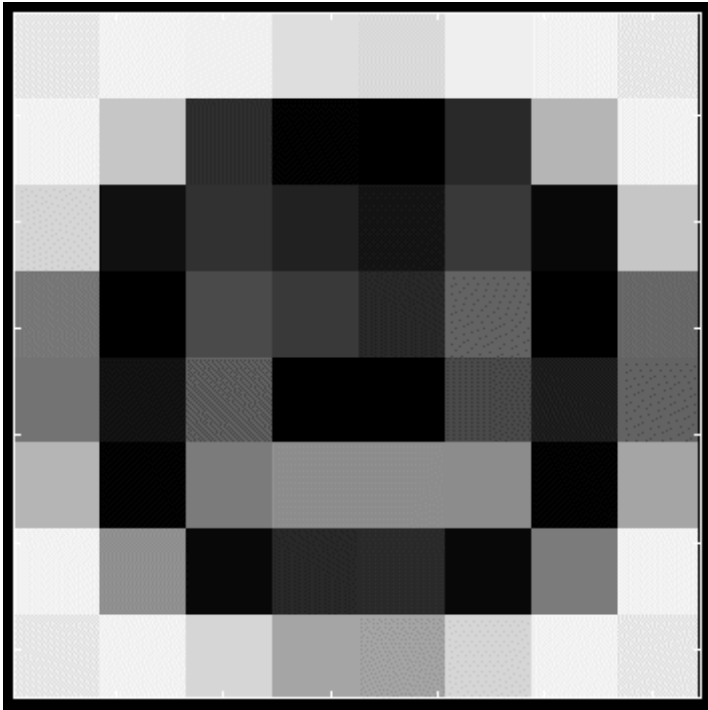
8	24	-2	0	0	0	0	0
-31	-4	6	-1	0	0	0	0
0	-12	-1	2	0	0	0	0
0	0	-2	-1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

В результате зигзагообразного сканирования получим: 8, 24, -31, 0, -4, -2, 0, 6, -12, 0, 0, 0, -1, -1, 0, 0, 0, 2, -2, 0, 0, 0, 0, 0, -1, EOB  
EOB (End of block) – символ конца блока.

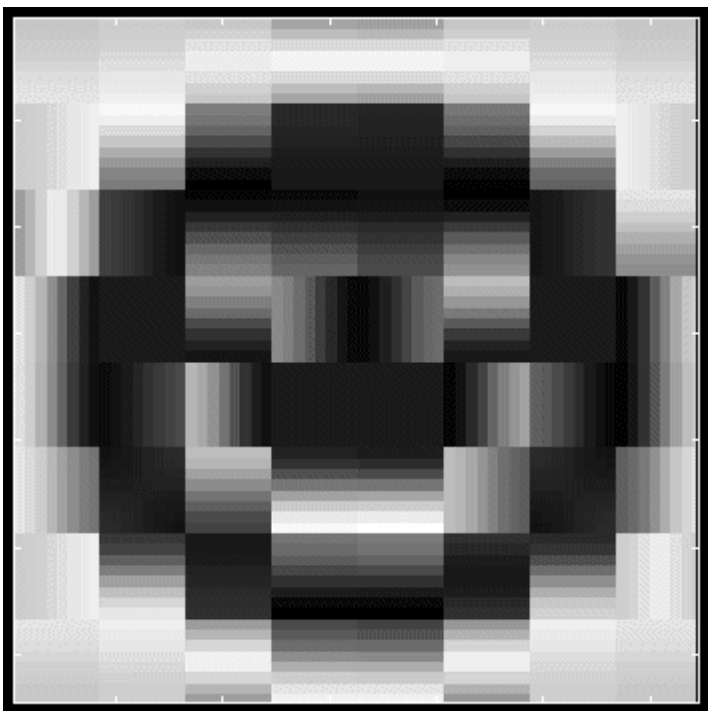
Сформированная таким образом последовательность данных направляется в выходной буфер кодирующего устройства. Таким образом, мы увидели, что каждый блок кодируемого изображения может быть преобразован методом ДКП в набор коэффициентов трансформанты, по которым можно восстановить изображение закодированного блока. Однако восстановление изображения можно осуществить и по ограниченному числу коэффициентов трансформанты подобно тому, как и обычный сигнал мы можем восстановить из ограниченного числа составляющих гармонического ряда. Такая ситуация возникает, если, например, в процессе спектрального взвешивания и последующего зигзагообразного сканирования какие-либо коэффициенты трансформанты, чаще высокочастотные, в силу своей малости не передаются на приемную сторону. Рассмотрим это на примере. Предположим, мы кодируем черно-белое изображение размером 64 x 64 элемента. Так оно выглядит в увеличенном виде:



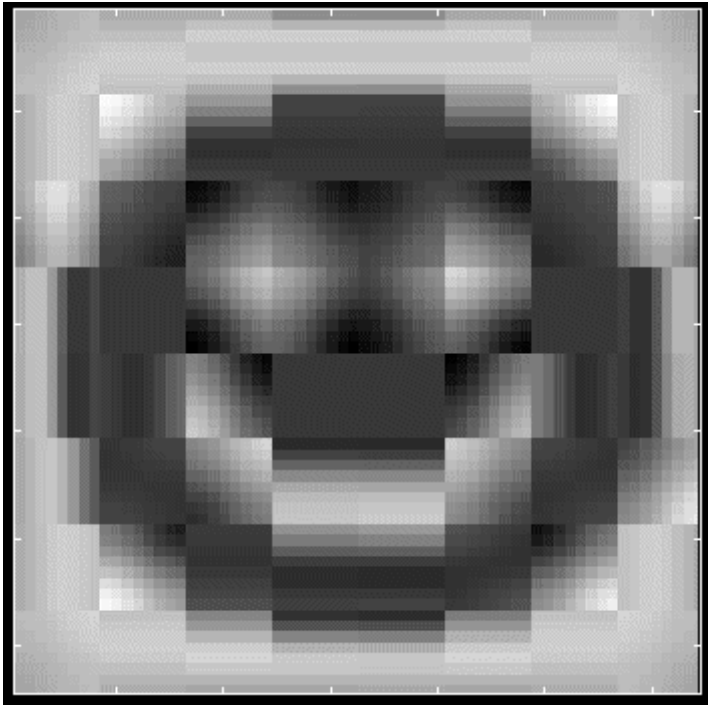
Согласно стандартному алгоритму, мы разделяем изображение на 64 блока, каждый из которых содержит 8 x 8 элементов изображения. Изображение каждого блока подвергается ДКП, получающиеся при этом трансформанты (по 64 коэффициента от каждой трансформанты) передаются на приемную сторону и по ним восстанавливается исходное изображение. Если в процессе кодирования передаются не все коэффициенты трансформанты от кодируемых блоков, то результат декодирования будет выглядеть следующим образом. При передаче только одного коэффициента от каждой трансформанты, коэффициент DC, восстановленное изображение окажется таким:



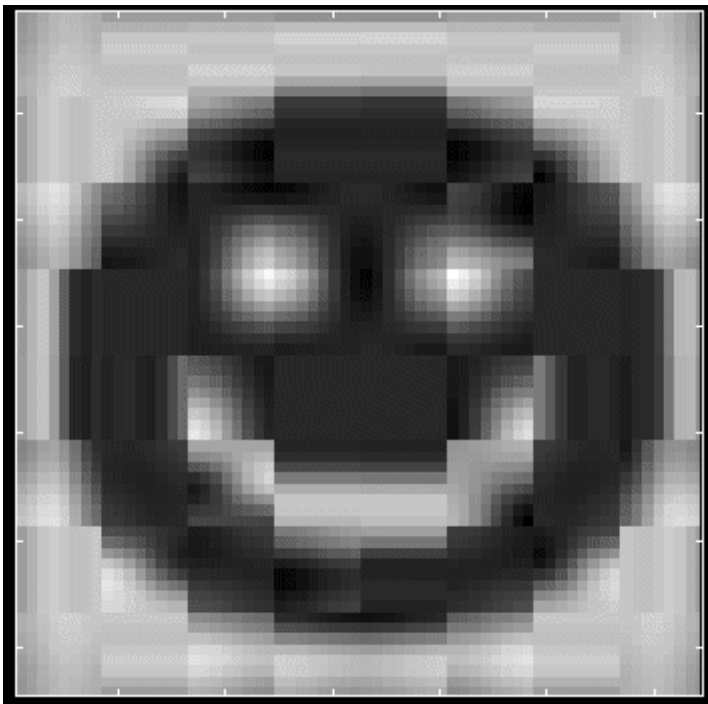
При передаче двух коэффициентов:



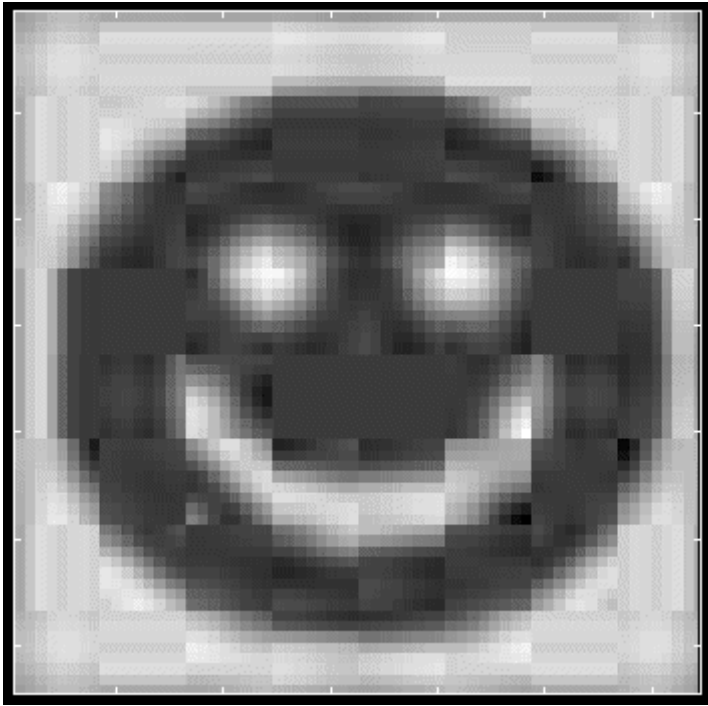
Трех коэффициентов



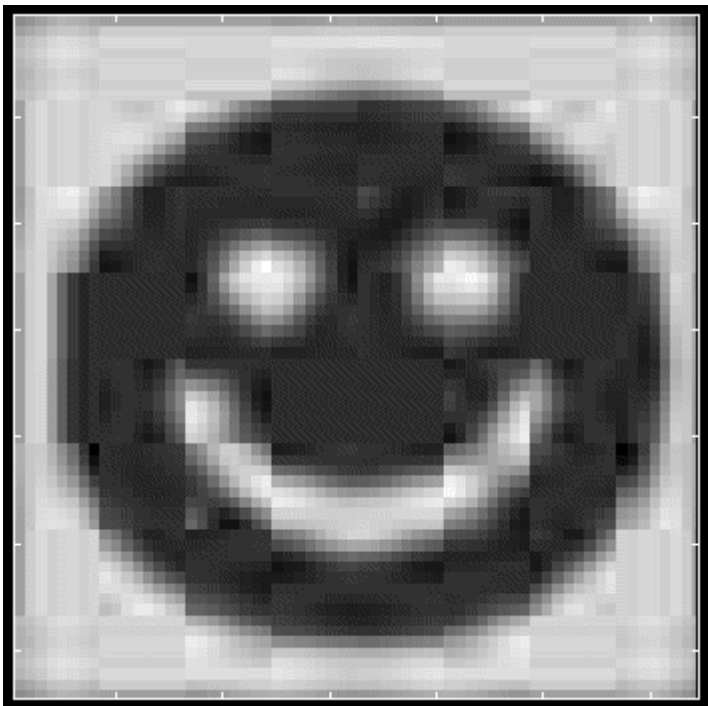
Четырех:



Пяти:

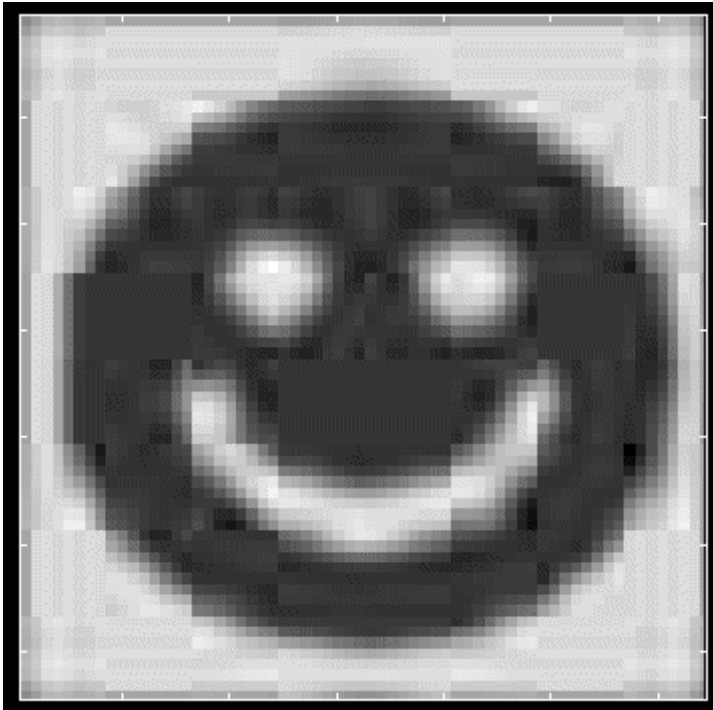


Шести:



Семи:



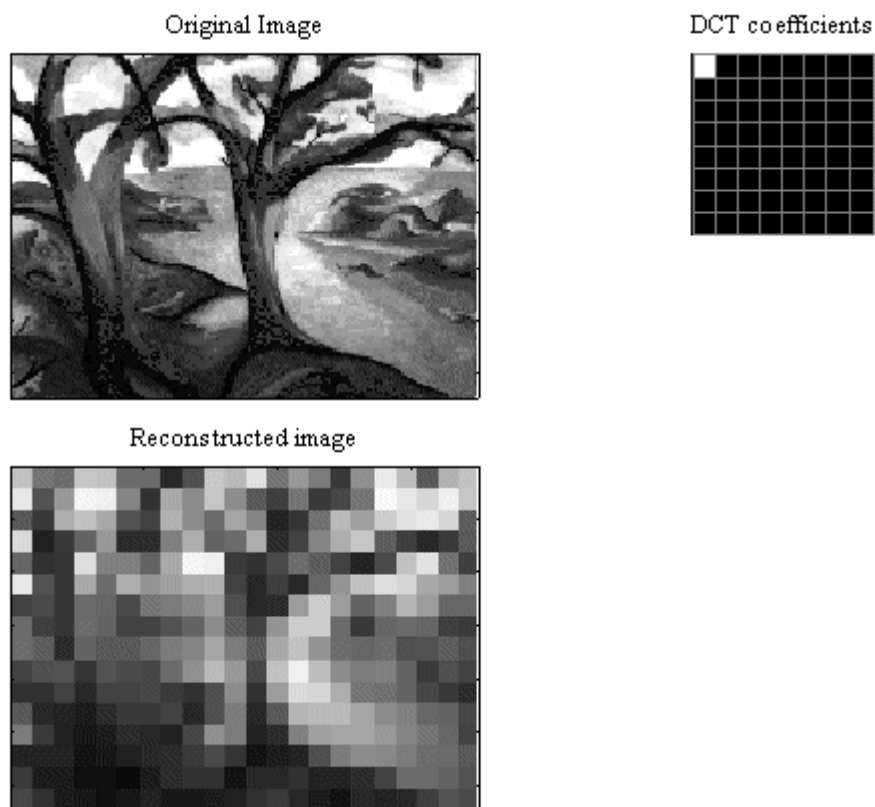


Всех 64 коэффициентов:



Есть еще более наглядный пример с анимированным изображением, показывающий постепенное улучшение качества при участии в пере-

даче изображения всё большего числа коэффициентов трансформанты. На этом примере видно, во-первых, как улучшается качество восстановленного изображения при добавлении коэффициентов, по которым это восстановление осуществляется, и, во-вторых, хорошо заметно, что вклад в качество восстановленного изображения определяется, в основном, теми коэффициентами, которые расположены ближе к левому верхнему углу трансформанты:



Этот пример позволяет сделать очень важный вывод — если прирост качества изображения при добавлении высокочастотных коэффициентов практически не заметен для глаза, то, очевидным является и обратный вывод: можно ограничить число высокочастотных коэффициентов, участвующих в передаче, и это так же будет не очень заметно. Однако, как уже говорилось, избыточная информация в изображении содержится также и в последовательности кадров. Такой вид избыточной информации снижается благодаря межкадровому кодированию. Рассмотрим этот процесс подробнее.

Межкадровое кодирование.

Видеопоток, представляющий собой закодированную по стандарту MPEG цифровую видеопоследовательность, имеет сложную иерархическую структуру. Формирование этого видеопотока и параллельно осуществляемое межкадровое кодирование изображения популярно и обстоятельно рассмотрены в работе К.Ф. Гласмана «MPEG – это просто». Итак, иерархическая структура видеопотока по стандарту MPEG включает в себя 6 элементов:

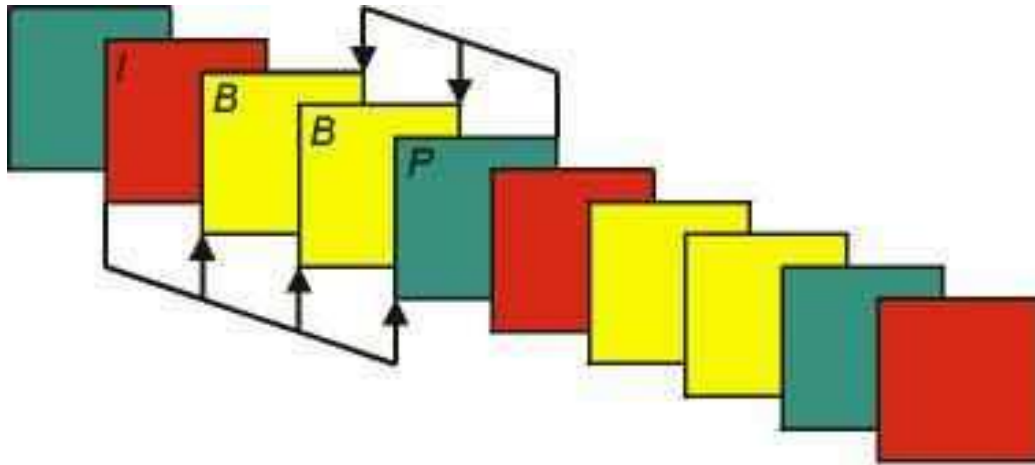
- Видеопоследовательность
- Группа изображений
- Изображение
- Срез
- Макроблок
- Блок.

Видеопоследовательность – элемент потока видеоданных высшего уровня. Она представляет собой серию последовательных кадров телевизионного изображения. MPEG-2 допускает как построчные, так и чересстрочные последовательности. Чересстрочная последовательность – это серия телевизионных полей. В процессе компрессии поля могут кодироваться отдельно. Это дает изображения типа «поле». Два поля, кодируемые как телевизионный кадр, образуют изображение типа «кадр». В одной чересстрочной последовательности могут использоваться и изображения-поля, и изображения-кадры. В последовательностях с построчным разложением каждое изображение представляет собой кадр.

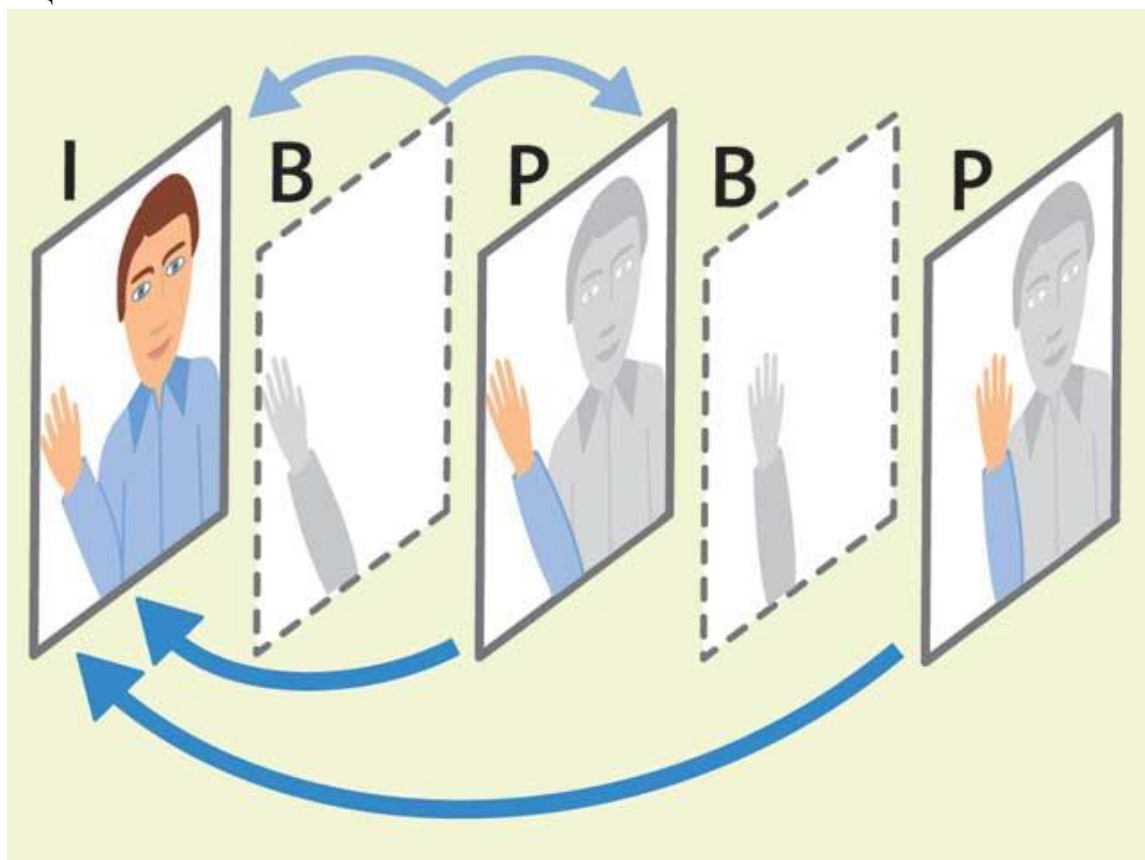
В соответствии с используемыми методами дифференциального кодирования различают три типа изображений: I, P и B. Изображение типа I кодируется с использованием только той информации, которая содержится в нем самом (I - Intra-coded picture). В нем устраняется только пространственная избыточность. При кодировании P и B изображений используется межкадровое кодирование. При кодировании изображения типа P формируется разность между исходным изображением и предсказанием, полученным на основе предшествующего или последующего изображения типа I (P – Predictive-coded picture). Изображение типа B – это изображение, при кодировании которого используется предсказание, сформированное на основе предшествующего и последующего изображений типа I или P (B – Bidirectionally-predicted-coded picture). В изображениях типа P и B устраняется и пространственная, и временная избыточность.

Серия изображений, содержащих одно I-изображение, называется группой изображений. Чем больше группа изображений, тем большая степень компрессии может быть достигнута.

Последовательность изображений в группе (GOP – Group of pictures) показана на этом рисунке (стрелками показаны направления предсказания в пределах одной группы изображений):



Взаимные отличия кадров I, P и B можно схематически представить еще и так:



На этом рисунке представлена полная группа изображений, т.е. группа, содержащая один кадр I. Из рисунка видно, что кадры P содержат изменения, а расположенные между ними B-кадры синтезируются методом двумерной интерполяции. Последовательность декодирования и предъявления зрителю этих изображений в силу особенностей стандарта MPEG не совпадают, и в этом состоит еще одна интересная особенность стандарта. Например, на предыдущем рисунке второй слева кадр, кадр B, должен предъявляться зрителю вторым из группы, но для этого он должен быть готов, т.е. получен из обоих соседних по времени кадров. То есть показанный справа от него кадр типа P для этого должен быть декодирован раньше! Чтобы такие условия выполнить, в цифровой поток вставляются специальные метки времени. Эти метки бывают двух типов: метки времени представления PTS (Presentation Time Stamps) и метки времени декодирования DTS (Decoding Time Stamps). Метки PTS определяют момент времени, когда кодированное изображение нужно показать зрителю. Для всех элементарных потоков, кроме видео, PTS – единственные метки, которые необходимы. Для потока видеоданных необходимы метки времени декодирования DTS, определяющие моменты времени, когда информация декодируется, но еще не предъявляется зрителю. Декодированные изображения хранятся и предъявляются в более позднее время, назначаемое метками PTS. Метки DTS необходимы изображениям типа I и P, которые должны декодироваться раньше, чем B-изображения, для кодирования которых I и P изображения использовались в качестве опорных. Метки DTS не появляются в одиночку, а должны сопровождаться метками PTS.

Метки не должны сопровождать каждый блок доступа. Ограничение, определяемое стандартом MPEG-2, заключается в том, чтобы в элементарных потоках видео и звука метки должны появляться не реже, чем раз в 0,7 секунды. Метки переносятся в заголовках PES-пакетов (рис.10). Если метка сопровождает блок доступа, то она появляется в заголовке PES-пакета, в котором этот блок доступа начинается.

Информация о звуковом сопровождении также подвергается кодированию и компрессии, вследствие чего аналогично страдает та часть информации, которая хуже воспринимается ухом. Отделение избыточной информации аналогично происходит по времени действия и по частоте.

Звуковые данные с компрессией по технологии MPEG (раздел стандарта Layer 3, Audio MPEG) позволяют обеспечить наилучшее качество звука при минимальном объеме файла. Яркий пример – звуковые файлы \*.mp3. Аудиокомпрессия достигается с учетом особенностей

человеческого слуха, в том числе эффекта маскирования слабого сигнала одного диапазона частот более мощным сигналом соседнего диапазона, когда он имеет место, или мощным сигналом предыдущего фрагмента, вызывающего временное понижение чувствительности уха к сигналу (проще говоря, удаляются второстепенные звуки, которые не слышатся человеческим ухом из-за наличия в данный момент другого — более громкого). Также учитывается неспособность большинства людей различать сигналы, по мощности лежащие ниже определенного уровня, разного для разных частотных диапазонов. Данный процесс называется адаптивным кодированием и позволяет экономить на наименее значимых с точки зрения восприятия человеком деталях звучания. Степень сжатия (а, следовательно, и качество), определяются скоростью потока данных при кодировании.

## 5. Развитие алгоритмов компрессии аудиовидеоинформации

Развитие методов аудио- и видеокомпрессии постоянно приводит к появлению более совершенных алгоритмов, обладающих новыми средствами кодирования мультимедийных данных. В качестве примера следует назвать стандарт H.264/AVC, а также стандарт H.265, пока не нашедший в силу новизны широкого применения в вещательном телевидении.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Телевидение: Учебник для вузов / Под ред. проф. В.Е. Джакони. – М.: Радио и связь, 2007.
2. Методические указания к лабораторным работам по телевидению / ЛЭИС; Под ред. проф. В.Е. Джакони. – Л., 1992.
3. Лабораторный практикум. Телевидение. \ Под ред. проф. А.А.Гоголя – СПб ; Линк, 2009.
4. **Беляева Н.Н., Бучатский А.Н., Гоголь А.А., Друзин Я.В., Дуклау В.В., Ерганжиев Н.А., Коганер С.Э., Смаглиенко Т.Г., Украинский О.В.** Практикум по телевидению. Ответственный редактор – Гоголь А.А.: Учеб. пособие / СПбГУТ. – СПб, 2013.

