Физические основы формирования видеоконтента

11.03.02. 02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи
профиль: Цифровое телерадиовещание

Опорный конспект

Содержание

1. Физические основы передачи визуальной информации.
2. Принципы формирования видеоконтента
3. Телевизионный сигнал
4. Оценка качества изображения.

1. Физические основы передачи визуальной информации

Видеоконтент, понятие и виды видеоконтента.

Видеоконтент – информация, представленная в мультимедийном формате, основанном на потребностях целевой аудитории и ее перцептивных навыках. Видеоконтент – самый гибкий и эффективный инструмент для коммуникации с аудиторией.

Мультимедиа – данные, которые представляются одновременно в разных формах: звук, анимированная компьютерная графика, видеоряд.

Видеоинформация – изображение, зафиксированное на носителе информации, с которого оно может быть воспроизведено.

Виды видеоконтента:

- Информационный
- Образовательный
- Научно-технический
- Документальный
- Развлекательный
- Рекламный

Видеоинформация воздействует непосредственно на зрительный анализатор.

Зрительный анализатор и его структура. Оптическая и световоспринимающая системы глаза.

Зрение человека (зрительное восприятие) – способность человека воспринимать информацию путем преобразования энергии электромагнитного излучения светового диапазона, осуществляемого зрительной системой.

Таким образом, зрение можно определить как субъективное восприятие объективного мира посредством света с помощью зрительной системы.

По разным данным от 80% до более, чем 90% информации об окружающем мире человек получает с помощью зрения.

Основные функции зрительного анализатора – восприятие, проведение и обработка зрительной информации.

Зрительный анализатор состоит из 3-х частей (рис.1):

- периферический отдел – глазные яблоки с рецепторами сетчатки глаза
- проводниковая часть – зрительный нерв
- центральный отдел – центр зрительного анализатора, локализованный в затылочной части головы.

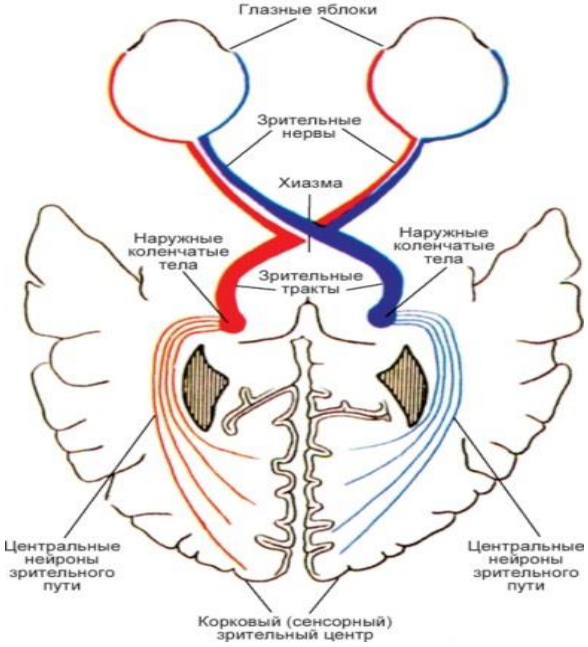


Рисунок 1. Схема строения зрительного анализатора.

Глазное яблоко реагирует на раздражитель, преобразует его в нервные импульсы. Передача информации в центральный отдел производится с помощью проводниковой части, состоящей из нервных волокон. Зрительный нерв, идущий от каждого глаза, содержит более миллиона нервных волокон. По пути к мозгу оба нерва перекрещиваются, их перекресток называется хиазмой. В зрительном перекресте волокна от назальной (медиальной) половины сетчатки входят в противоположный зрительный тракт, а волокна от височной (латеральной) половины сетчатки не переходят на другую сторону и попадают в зрительный тракт той же стороны.

Информация от сетчатки поступает к среднему мозгу (участвующему в регуляции движений глаз, размера зрачка и циркадных ритмов) и наружному (латеральному) коленчатому телу, откуда направляется к зрительной коре, отвечающей за различные аспекты зрения).

Таким образом, с помощью зрительных проводящих путей происходит передача информации от различных частей глаза в различные области головного мозга, в результате чего в конечном итоге и извлекается зрительная информация.

В результате происходит:

- восприятие сложных зрительных объектов, например, печатного текста в книге;
- оценка размеров, формы, удаленности предметов;
- формирование восприятия перспективы;
- различие между плоскими и объемными предметами;

- объединение всей полученной информации в целостную картинку.

Хотя конечное изображение и формируется головным мозгом, но его качество зависит от состояния и функциональности воспринимающего органа – глаза.

Анатомия и физиология этого органа у человека сформировались в ходе эволюции под влиянием условий, необходимых для выживания нашего вида, поэтому имеет ряд особенностей – центральное, периферическое, бинокулярное зрение, возможность приспосабливаться к интенсивности освещения (зрительная адаптация), фокусироваться на объектах, находящихся на разном расстоянии (аккомодация). Строение глаза (в разрезе) приведено на рис.2.

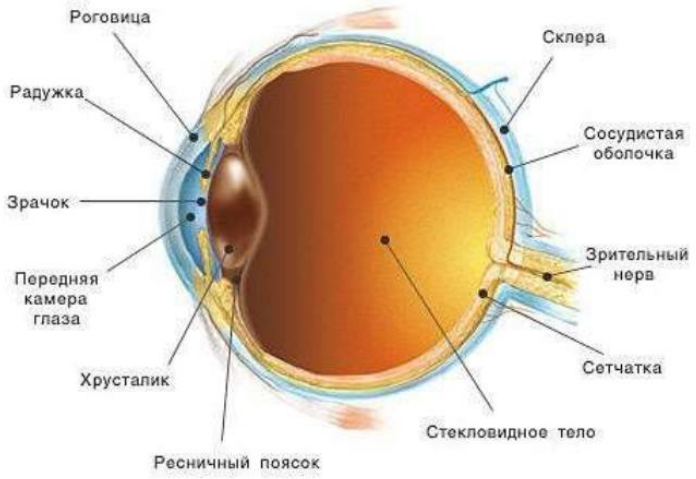


Рисунок 2. Строение глаза.

Глазное яблоко имеет не совсем правильную форму сферы. Глаза расположены на передней части черепа в одной плоскости, достаточно близко друг к другу, чтобы обеспечивать перекрывание полей зрения.

Размер глазного яблока вдоль передне-задней оси примерно 24 мм, весит оно около 7 г и анатомически состоит из трех оболочек (наружной - фиброзной, средней - сосудистой, внутренней - сетчатки) и трех прозрачных сред (внутриглазной жидкости, хрусталика и стекловидного тела).

Наружная плотная фиброзная оболочка неоднородна.

Задняя непрозрачная часть – склера. Она выполняет скелетную, определяющую форму глаза функцию. К ней также прикрепляются мышцы, обеспечивающие движение глаза. Она образована беспорядочным скоплением фибриновых волокон. У младенцев склера настолько нежная, что имеет голубой оттенок, затем она белеет, с возрастом характерно желтеет. В задней части глазного яблока склера на некотором продолжении покрывает зрительный глазной нерв на его выходе из глаза.

Передняя, меньшая часть наружной оболочки - роговица - прозрачна, менее плотная, не имеет сосудов, в ней разветвляется огромное количество нервов. Диаметр ее - 10-11 мм. Являясь сильной оптической линзой, она пропускает и преломляет лучи. Именно от ее прозрачности, гладкости и симметричности кривизны зависит характер преломления лучей и качество зрения. Вместе с хрусталиком роговица ответственна за фокусировку света на сетчатке. Роговица также выполняет важные защитные функции.

За роговицей располагается передняя камера.

К склере изнутри глаза прилегает средняя оболочка - сосудистый, или увеальный тракт. По анатомическим особенностям и функциям в ней выделяют три отдела - радужку, цилиарное (ресничное) тело, хориоидею.

Первый, самый передний, видимый через роговицу, - радужка (или ирис)- имеет отверстие - зрачок. Радужка является как бы дном передней камеры. Основная ее функция – адаптация – регулирование количества света, которое достигнет сетчатки. С помощью двух мышц радужки зрачок суживается и расширяется, автоматически регулируя величину светового потока, входящего в глаз, в зависимости от освещения. Радужка, как правило, малочувствительна к болевым ощущениям, т.к. содержит мало нервных окончаний. Цвет радужки зависит от различного содержания в ней пигмента: при малом его количестве глаза светлые (серые, голубые, зеленоватые), если его много - темные (карие). Большое количество радиально и циркулярно расположенных сосудов радужки, окутанных нежной соединительной тканью, образует своеобразный ее рисунок, рельеф поверхности.

Второй, средний отдел - цилиарное (или ресничное) тело - имеет вид кольца шириной до 6-7 мм, примыкающего к радужке и обычно недоступного визуальному наблюдению. В цилиарном теле различают две части: передняя отростчатая, в толще которой лежит цилиарная мышца, при сокращении ее расслабляются тонкие нити цинновой связки, удерживающей в глазу хрусталик, что обеспечивает акт аккомодации. Около 70 отростков цилиарного тела, содержащих капиллярные петли и покрытых двумя слоями эпителиальных клеток, продуцируют внутриглазную жидкость. Задняя, плоская часть цилиарного тела является как бы переходной зоной между цилиарным телом и собственно сосудистой оболочкой.

Третий отдел - собственно сосудистая оболочка, или хориоидея - занимает заднюю половину глазного яблока, состоит из большого количества сосудов, располагается между склерой и сетчаткой, соответствуя ее оптической (обеспечивающей зрительную функцию) части. Благодаря ей, реализуется питание сетчатки, ультрафильтрация, а также механическая амортизация.

Часто на фото и видео при расширенном зрачке и яркой вспышке могут получиться «красные глаза» – это видимая часть глазного дна, сетчатки и сосудистой оболочки.

Наиболее важной для восприятия световых раздражителей является внутренняя оболочка глаза – сетчатка. Ведь на самом деле сетчатка, хоть и отделилась от мозга на ранней стадии развития, но до сих пор посредством

зрительного нерва имеет прочную связь с мозгом и обеспечивает трансформацию световых раздражителей в нервные импульсы.

Сетчатка (ретина) представляет собой тонкую (0,1-0,3 мм), прозрачную пленку: оптическая (зрительная) ее часть покрывает хориоидею от плоской части цилиарного тела до места выхода зрительного нерва из глаза, неоптическая (слепая) - цилиарное тело и радужку, слегка выступая по краю зрачка. Значение сетчатки для формирования зрительного восприятия состоит в том, что именно в ней располагаются фоторецепторы – особые клетки, содержащие светочувствительные пигменты. Сетчатка имеет сложное строение. В ней выделяют 10 слоев. Первый слой (от сосудистой оболочки) - содержит клетки пигментного эпителия. Его назначение состоит в питании сетчатки и в поглощении света, не поглощенного рецепторами, чтобы рассеянный внутри глазного яблока свет не вуалировал изображение внешних предметов на сетчатке. Далее располагается слой, в котором располагаются фоторецепторы – палочки и колбочки. Фоторецепторы сложным образом связаны с окончаниями волокон через биполярные и ганглионарные (ганглиозные) клетки.

Сложность объясняется тем, что уже в сетчатке происходит некоторая обработка зрительной информации.

Для зрительного акта необходим распад зрительного вещества (пурпура) под влиянием света. В палочках содержится родопсин, в колбочках – йодопсин. Далее пигмент восстанавливается, в результате этих фотохимических процессов и формируется нервный импульс. Он проходит второй нейрон (биполярную клетку), затем третий нейрон (ганглиозную клетку), зрительный нерв и по зрительным путям попадает в подкорковые центры и далее в кору затылочной доли больших полушарий мозга, вызывая зрительные ощущения.

Фоторецепторы различаются по форме и способности к восприятию электромагнитных излучений различных длин волн. Распределение фоторецепторов в слое сетчатки также различно. Палочки в сетчатке расположены преимущественно по периферии и отвечают за светоощущение, сумеречное и периферическое зрение. Несколько палочек, как веер, соединяются с одной биполярной клеткой, а группа биполярных клеток – с одной ганглиозной. Таким образом, нервная клетка получает достаточно мощный сигнал при малом освещении, и человеку предоставляется возможность видеть в сумерках. Сетчатка содержит около120-130 млн.палочек.

Колбочки локализуются в центральных отделах сетчатки, в условиях достаточного освещения формируя цветоощущение и центральное зрение. Сетчатка содержит порядка 7 млн. колбочек. Они концентрируются по центру сетчатки. Самая большая густота колбочек наблюдается в так называемом желтом пятне. И здесь есть место самого острого восприятия, входящее в состав желтого пятна – центральное углубление – фовеа или фовеола. Эта зона полностью избавлена от кровеносных сосудов, застилающих поле зрения. А высокая четкость зрительного сигнала

обусловлена прямой связью каждого из фоторецепторов через единственную биполярную клетку с ганглиозной. Благодаря такой физиологии, сигнал напрямую транслируется к зрительному нерву. Таким образом, наивысшую остроту зрения обеспечивает область желтого пятна и центральная ямка сетчатки.

Световая чувствительность у колбочек меньше, чем у палочек, но они обеспечивают цветовое зрение. Существует три вида колбочек, отличающихся друг от друга по спектральной чувствительности (рис.4).

Один вид более чувствителен к коротковолновой части спектра, другой – к средней части, третий – к длинноволновой. Условно их можно назвать синими, зелеными и красными колбочками.

Всего волокон зрительного нерва, отходящих от сетчатки примерно 1 млн. Поэтому изображение на сетчатке разбивается примерно на 1 млн. элементов – рецепторных полей.

Распределение светового потока и фокусировку изображения на сетчатке обеспечивает оптическая система глаза.

Рассмотрим оптическую систему глаза. Оптическая система глаза состоит из роговицы, влаги передней и задней камер, хрусталика и стекловидного тела.

Внутреннее пространство глаза поделено на несколько «отсеков». Ближайший к роговичной поверхности глаза называют передней камерой. Ее местоположение – от роговицы до радужки. Она имеет несколько важных ролей в глазах. Во-первых, обладает иммунной привилегией – здесь не развивается иммунный ответ на появление антигенов. Так появляется возможность избегать чрезмерных воспалительных реакций органов зрения. Во-вторых, своим анатомическим строением, а именно наличием угла передней камеры, она обеспечивает циркуляцию внутриглазной водянистой влаги.

Следующий «отсек» – задняя камера – небольшое пространство, ограниченное радужкой спереди и линзой с цинной связкой позади.

Эти две камеры заполнены водянистой влагой, вырабатываемой цилиарным телом. Основное назначение данной жидкости – питание участков глаза, где нет кровеносных сосудов. Ее физиологичная циркуляция обеспечивает поддержание внутриглазного давления.

Далее расположено стекловидное тело. Эта структура отделена от других тонкой фиброзной мембраной, а внутреннее наполнение имеет особую консистенцию, благодаря растворенным в воде белкам, гиалуроновой кислоте и электролитам. Обеспечивает сохранение формы и объема глаза.

В глазе несколько поверхностей раздела разных сред, причем все они асферические, но, тем не менее, приближенно можно считать оптическую систему центрированной и выделить в ней оптическую ось. Видно, что ОО не проходит через центральную ямку. Но именно на центральную ямку ложится изображение точки, на которой мы фиксируем взгляд. Направление взгляда называют осью фиксации или зрительной осью. Угол между оптической и зрительной осями приблизительно 5º.

Лучи света проходят прозрачные среды глаза, преломляются на поверхностях основных линз - роговицы и хрусталика и, фокусируясь на сетчатке, "рисуют" на ней изображение предметов внешнего мира.

Для обеспечения ясного и четкого видения разноудаленных предметов в зрительном аппарате человека заложен механизм аккомодоции. По команде, сформированной определенным отделом мозга, с помощью цилиарных (ресничных) мышц изменяется кривизна хрусталика. В результате обеспечивается фокусировка изображения объекта на поверхности сетчатки как для удаленных, так и для близкорасположенных объектов.

Спектральная чувствительность зрения. Цветовое зрение.

Из всего спектра электромагнитных излучений глаз воспринимает как свет лишь небольшую область - с длинами волн от 380 до 770 нм.

Но и в этом узком интервале чувствительность к разным длинам волн весьма различна. Как уже указывалось раньше, спектральная чувствительность человеческого зрения описывается функцией, которая носит название кривой видности (рис.3) и представляет собой зависимость относительной чувствительности человеческого глаза от длины волны падающего излучения.

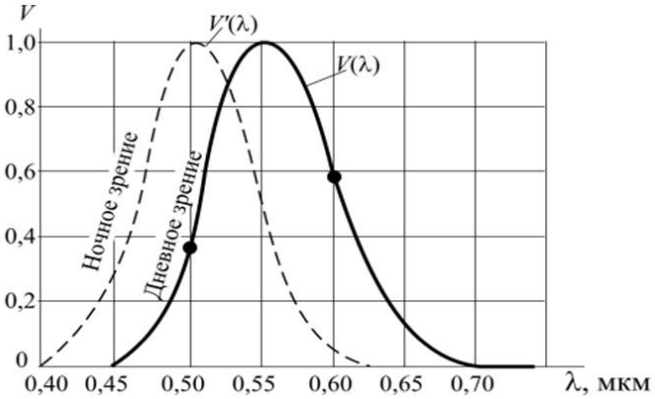


Рисунок 3. Функция относительной спектральной чувствительности глаза (кривая видности) в условиях дневного *V(λ)* и ночного *V'(λ)* зрения.

Под относительной чувствительностью, соответствующей длине волны λ, понимается величина

$$\upsilon_\lambda \equiv \frac{P(\lambda_0)}{P(\lambda)} \qquad (1)$$

Здесь $P(\lambda)$ и $P(\lambda_0)$ –мощности э/м излучений с длиной волны соответственно λ и λ_0, вызывающие одинаковые зрительные ощущения.

Длина волны λ_0 = 555нм (зеленый цвет) соответствует максимальной чувствительности глаза $\nu_\lambda = 1$. При других длинах волн $\nu_\lambda < 1$ $P(\lambda) > P(\lambda_0)$, т.е. для получения того же ощущения требуется большая мощность.

Характеристики спектральной чувствительности трех видов колбочек представлены на рис.4.

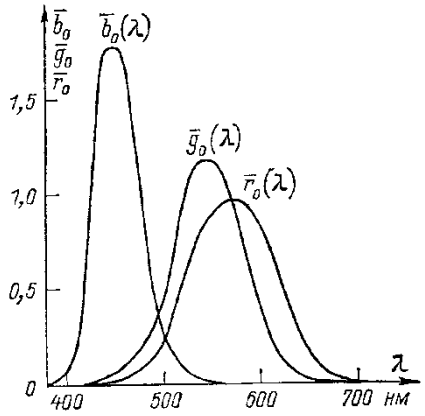


Рисунок 4. Характеристики спектральной чувствительности трех видов рецепторов.

Наличие трех видов колбочек, чувствительных к различным областям видимого спектра, позволяет зрительному аппарату человека анализировать спектральный состав излучения, вызывая у наблюдателя цветовые ощущения.

Основные принципы колориметрии.

Следствием широкого использования цвета в повседневной жизни, науке, технике, многочисленных отраслях стало логичное возникновение ряда задач, как теоретического, так и практического характера, связанных с его количественным описанием (вычислением цветовых параметров), с повышением точности воспроизведения требуемых цветов. Решением подобных задач занимается колориметрия.

Колориметрия - наука о способах измерения, оценки и количественного выражения цвета.

Все приборы, которые функционируют в рамках данной науки, тестируются глазами, иными словами, основной измерительный инструмент в колориметрии – это глаз человека, в котором зарождается цветовое ощущение. Выражение цвета посредством величин, определяющих его место среди многообразия цветов, воплощенных в некоторой системе, и есть его измерение.

В колориметрии цвет является трехмерной векторной величиной, определяющий группу излучений, которые невозможно различить в колориметрических условиях.

Наиболее близким к человеческому восприятию является описание цвета следующими параметрами:

- Субъективные параметры – светлота, цветовой тон, насыщенность;
- Объективные (измеряемые) параметры – яркость, доминирующая длина волны, колориметрическая чистота цвета.

Указанные параметры полностью описывают цвет, однако не удобны для целей синтеза цвета. Поэтому в цветном телевидении, как и во многих других областях науки и техники, используют представление цвета в

соответствии с трехкомпонентной теорией цвета - как аддитивную смесь трех соответственно выбранных основных (первичных) цветов.

Законы смешения цветов.

В основном законе смешения утверждается, что любые четыре цвета находятся в линейной зависимости. Иначе говоря, любой цвет может быть выражен через любые три взаимно независимых цвета:

$$f'F = r'R + g'G + b'B, \qquad (2)$$

где $f'F$ – излучение произвольного состава, единица которого обозначена через F, а количество единиц – через f'; R, G, B – единичные количества основных цветов; r', g', b' – множители, указывающие количества излучений, соответствующих цветам R, G, B,– или «модули этих цветов».

Основными цветами называются взаимно независимые цвета, которые нельзя получить смешением двух других, т. е. они не могут быть связаны уравнениями типа

$$r'R = g'G + b'B;\ g'G = r'R + b'B;\ b'B = r'R + g'G. \qquad (3)$$

Примером взаимно независимых цветов являются красный (R), зеленый (G) и синий (B).

Необходимо отметить, что для чистых спектральных цветов нельзя получить цветового равенства (2) ни при каких значениях основных цветов R, G, B. Согласование для этих цветов наступает лишь тогда, когда один из основных цветов переносится на сторону исследуемого цвета.

В случае переноса в сторону исследуемого цвета, например красной составляющей, цветовое уравнение принимает следующий вид

$$f'F + r'R = g'G + b'B \qquad (4)$$

или

$$f'F == -r'R + g'G + b'B. \qquad (5)$$

Таким образом, при описании некоторых цветов с помощью (2) коэффициенты r', g', b' могут иметь отрицательные значения. Это позволяет расширить применимость формулы цветового уравнения (2), показывающего, что в общем случае цвет определяется тремя независимыми переменными r', g', b', что подтверждает его трехмерность.

Знание численных значений цветовых коэффициентов r', g', b' полностью определяет воздействующее на глаз излучение и количественно и качественно. Для определения только качественной характеристики светового потока цветности F достаточно знать не абсолютные, а относительные количества основных цветов r, g, b, определяемые из выражений

$$r = \frac{r'}{r' + g' + b'} = \frac{r'}{m};$$

$$g = \frac{g'}{r' + g' + b'} = \frac{g'}{m}; \qquad (6)$$

$$b = \frac{b'}{r' + g' + b'} = \frac{b'}{m},$$

где $m = r' + g' + b'$ – цветовой модуль.

Очевидно, что

$$r + g + b = 1. \qquad (7)$$

Символы r, g, b носят название координат цветности. В (2) множитель f' указывает количество цвета F, необходимое для обеспечения цветового равенства. Известно, что яркость смеси равна сумме яркостей смешиваемых цветов, т. е.

$$f' = r' + g' + b' = m. \qquad (8)$$

Тогда, разделив (2) на цветовой модуль, получим

$$F = rR + gG + bB. \qquad (9)$$

Цвет F носит название единичного цвета, сумма его координат равна единице.

Координаты цветности являются зависимыми величинами, так как, зная две из них, третью находим из (7). Это подтверждает двумерность параметра цвета – цветности и позволяет отобразить ее точкой в плоскости треугольника основных цветов.

Стандартные колориметрические системы.

Колориметрическая система RGB.

Сверка результатов измерения цвета возможна только при одной колориметрической системе, пользующейся определенными основными цветами. МКО в 1931 г. стандартизовала в качестве основных цветов три монохроматических излучения с длинами волн λ_R=700 нм; λ_G=546,1 нм и λ_B=435,8 нм. Выбранные основные цвета очень удобны: два из них R и B близки к краям видимого спектра, а третий G – к его середине, поэтому каждый из них действует преимущественно на свою группу рецепторов.

Любой цвет в системе определяется по (10):

$$f'F = r'R + g'G + b'B \qquad (10)$$

где R, G, B – обозначения выбранных основных цветов, а r`, g`, b` - их количества, т.е. координаты цвета. Такие координаты удобно обозначают как в энергетических, так и в световых единицах.

Абсолютные значения единичных цветов не устанавливают, а лишь нормируют их соотношения исходя из того, что при сложении единичных

цветов в равных количествах получилось ощущение равноэнергического белого цвета Е.

$$E = 1R + 1G + 1B \qquad (11)$$

Такое соотношение цветов для белого цвета Е, оказалось удобным при представлении цвета точкой в трехмерном пространстве или вектором.

Из опыта смешения цветов известно, что для получения цветового ощущения белого от равноэнергетического излучения – источника типа E необходимо к единице цвета R прибавить 4,5907 единицы цвета G и 0,0601 единицы цвета B. Тогда, если через L_R L_G, L_B обозначить относительные яркостные коэффициенты основных цветов, то количественное соотношение компонентов смеси можно записать как

$$L_r\, r'_E : L_G\, g'_e : L_B b'_E = 1 : 4{,}5907 : 0{,}0601, \qquad (12)$$

где r'_E , g'_E , b'_E – координаты белого цвета равноэнергетического излучения E, которые в системе RGB будут:

$$r'_E = g'_E = b'_E = 1. \qquad (13)$$

Координаты цвета r', g', b' любого сложного излучения могут быть определены, если известен спектральный состав этого излучения

$$r' = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(\lambda)\bar{r}(\lambda)d\lambda;$$

$$g' = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(\lambda)\bar{g}(\lambda)d\lambda; \qquad (14)$$

$$b' = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(\lambda)\bar{b}(\lambda)d\lambda.$$

Величины $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$ представляют собой цветовые свойства среднего наблюдателя, фиксирующего достижения цветового равенства (10), которые были стандартизованы в 1931 г. МКО на основе экспериментальных результатов, полученных Райтом и Гилдом. Цветовые свойства наблюдателей были стандартизованы для монохроматического излучения мощностью 1 Вт во всем видимом диапазоне длин волн. В результате были получены удельные координаты или удельные цветовые коэффициенты, которыми называются коэффициенты цветового уравнения (10), необходимые для получения ощущения цвета, соответствующего монохроматическому излучению мощностью в 1 Вт. Графическая зависимость удельных координат длины волны, или кривые смешения, изображены на рис.5. Они связывают воздействующее на глаз излучение данного спектрального состава с результатом этого воздействия – ощущением цвета, выраженным в цветовых координатах r', g', b'.

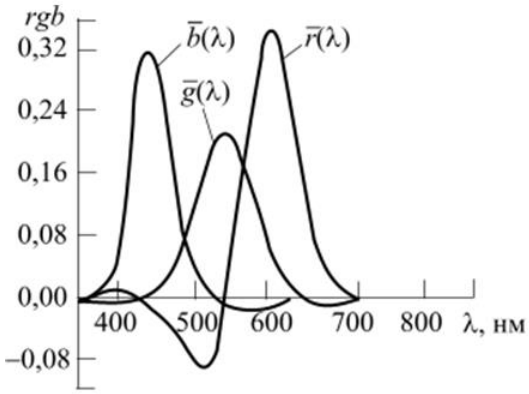


Рисунок 5. Удельные координаты цвета в системе RGB.

Для равноэнергетического белого цвета E и $P_E(\lambda)$ = const и $r'_E = g'_E = b'_E$, откуда

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \bar{r}(\lambda)d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \bar{g}(\lambda)d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \bar{b}(\lambda)d\lambda \qquad (15)$$

а, следовательно, площади под кривыми $\bar{r}(\lambda), \bar{g}(\lambda), \bar{b}(\lambda)$ равны.

Отрицательные участки ординат кривых смешения показывают, что в цветовом уравнении (10) величины r', g', b' для чистых спектральных цветов имеют отрицательные значения. Это подтверждает невозможность получения чистых спектральных цветов смешением основных реальных цветов *RGB*. Это является первым недостатком системы RGB, потому что затрудняются расчеты цвета по спектральному составу.

Следующий недостаток системы – необходимость расчета третьей координаты цвета при определении его яркости. Чтобы избежать таких недостатков, МКО в 1931 году приняла более удобную колориметрическую систему для расчетов, связанных с цветовоспроизведением в телевидении.

Колориметрическая система XYZ.

В основу построения системы *XYZ* были положены следующие условия.

1. Удельные координаты – кривые смешения не должны иметь отрицательных ординат, т. е. все реальные цвета должны определяться положительными значениями модулей основных цветов выбранной координатной системы, и, следовательно, координаты цветности всех реальных цветов должны лежать внутри координатного треугольника основных цветов.

2. Количественная характеристика цвета – яркость – должна полностью определяться одним его компонентом.

3. Координаты белого цвета равноэнергетического излучения должны быть равными, т. е. точка цветности этого излучения должна лежать в центре тяжести треугольника основных цветов.

Для обеспечения первого требования в качестве основных цветов были выбраны три теоретических (реально не воспроизводимых) цвета *XYZ*. Координатная система *XYZ* выбрана так, чтобы векторы основных цветов находились в цветовом пространстве вне тела реальных цветов, т. е. тело реальных цветов находилось бы внутри координатной системы *XYZ*. Координата *Y* полностью определяется яркостью цвета.

Любой цвет в системе *XYZ* описывается следующим выражением:

$$f'F = x'X + y'Y + z'Z \qquad (16)$$

и изображается в цветовом пространстве точкой с координатами x', y', z' или вектором, проведенным в эту точку из начала координат. Модули основных цветов x', y', z' определяются выражениями, аналогичными (14):

$$x' = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(\lambda)\bar{x}(\lambda)d\lambda;$$

$$y' = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(\lambda)\bar{y}(\lambda)d\lambda; \qquad (17)$$

$$z' = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(\lambda)\bar{z}(\lambda)d\lambda.$$

Графики удельных координат (кривые смешения) в системе *XYZ* показаны на рис.6.

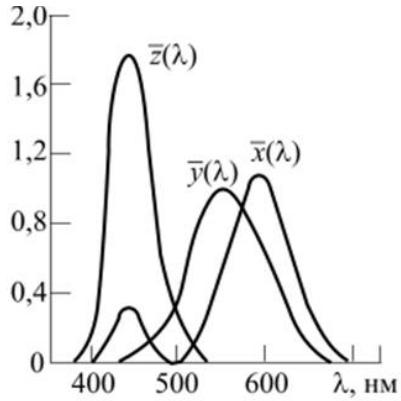


Рисунок 6. Удельные координаты цвета в системе XYZ.

Кривая $y(\lambda)$ тождественна кривой стандартной относительной видимости глаза $V(\lambda)$. Две другие кривые $\bar{x}(\lambda)$ и $\bar{z}(\lambda)$ получены в результате пересчета удельных координат системы *RGB* в координатную систему *XYZ*. Подынтегральные площади всех трех кривых равны между собой, что обеспечивает выполнение третьего условия построения системы.

По аналогии с системой RGB (6), координаты цветности вычисляются по формулам:

$$x = x'/m;\ y = y'/m;\ z = z'/m, \qquad (18)$$

где $m = x' + y' + z'$ – модуль цвета.

В системе XYZ одна из координат цветности является зависимой от двух других, так как $x + y + z = 1$. Поэтому для определения цветности достаточно двух координат: x и y, то есть цветность является двумерной

величиной. Для графического представления цветностей различных цветов удобно пользоваться диаграммой цветности. Диаграмма цветности МКО системы XYZ представлена на рис.7.

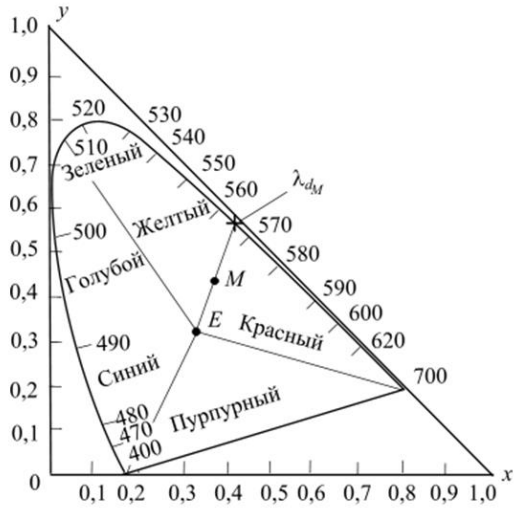


Рисунок 7. Диаграмма цветности МКО.

Требования к точности воспроизведения цветов при формировании видеоконтента.

Качество воспроизведения изображения определяется степенью соответствия репродукции оригиналу. Российский биофизик и математик Н.Д. Нюберг подробно изучил тему точности воспроизведения изображения первоисточника и представил несколько критериев для определения точности воспроизведения цвета:

1. Физическая точность воспроизведения цвета, когда спектральные составы излучения оригинала и изображения совпадают.

2. Физиологическая точность воспроизведения, когда ощущения цветов оригинала и его изображения одинаковы.

3. Психологическая точность воспроизведения, когда изображение оценивается наблюдателем как высококачественное, хотя физиологическая точность не выполняется.

Важно помнить, что реальный объект обладает большими размерами деталей в сравнении с телевизионным изображением. В свою очередь фоновая яркость, которая окружает изображение, как правило, меньше яркости самого изображения, а, значит, зрительная оценка человека и возможности адаптации глаза играют важную роль в данных условиях.

Это позволяет не воспроизводить абсолютное значение яркостей отдельных элементов изображений, соответствующих оригиналу, и сохранить только пропорции между яркостями отдельных элементов изображения и цветность.

Чистое колориметрическое отображение цветности реализуемо лишь в границах треугольника первичных цветов отображающего устройства. Цветовой тон и насыщенность подвержены искажению в случае, если

цветности оригинала будут расположены вне треугольника. Для того, чтобы оценить искажения цвета по отношению к оригиналу используют критерий психологической точности цветного изображения. Следует принимать во внимание то, что цвет малознакомых предметов воспринимается менее критично по сравнению с известными предметами. Главной задачей психологически точного восприятия цвета является максимально точное воспроизведение цвета тех объектов, которые ассоциируются у нас с какими-то конкретными предметами.

Для обеспечения максимально точной цветопередачи необходимо выполнение следующих условий:

- площадь цветового треугольника должна быть максимально;
- цветности хорошо знакомых человеку предметов (кожа лица и рук, трава, небо и т.д.) должны находиться внутри треугольника или как можно ближе к нему.
- спектральные характеристики устройства, формирующего цветоделенные сигналы, должны быть максимально приближены к спектральным характеристикам колориметрической камеры.

Колориметрической называется телевизионная камера, характеристики спектральной чувствительности которой $S(\lambda)_R$, $S(\lambda)_G$, $S(\lambda)_B$ тождественны по форме кривым смешения $\bar{r}(\lambda)$ $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$ в выбранной системе основных цветов. Сигналы такой камеры пропорциональны координатам цвета в выбранной колориметрической системе, т.е. она проводит измерение координат цвета.

Вследствие реальности первичных цветов R, G, B кривые смешения имеют участки отрицательных значений ординат. Из-за невозможности реализации побочных отрицательных и положительных ветвей разработчики ранних ЦТ систем в качестве спектральных характеристик камеры использовали лишь основные положительные ветви кривых сложения. Для уменьшения искажений цветовоспроизведения в тракт передачи включается матричный цветокорректор, действие которого эквивалентно изменению формы характеристик спектральной чувствительности телевизионного датчика. Таким образом, принимая форму кривых спектральной чувствительности датчика, удобную для практической реализации и включая в тракт передачи матричные пересчетные устройства, получаем на выходе этого устройства сигналы $E_{R_п}$, $E_{G_п}$, $E_{B_п}$, приближенные к координатам цветов цветовой системе основных цветов приемника и, как следствие, уменьшение искажений цветопередачи всех цветностей в пределах треугольника основных цветов приемника. Принцип работы цветокорректора основан на том, что побочные отрицательные и положительные ветви каждого из каналов RGB кривых сложения первичных цветов приемника (рис. 5) расположены под основными ветвями кривых остальных каналов и подобны им по форме. Это позволяет, вычитая из каждого сигнала основных цветов два других в определенных пропорциях, имитировать отсутствие побочных

ветвей и таким образом улучшать качество цветопередачи. Зависимость выходных сигналов $E_{R_п}$, $E_{G_п}$, $E_{B_п}$ от вводимых на матрицу сигналов E_R, E_G, E_B описывается в общем виде уравнениями

$$\begin{aligned} E_{R_п} &= a_{11}E_R + a_{12}E_G + a_{13}E_B; \\ E_{G_п} &= a_{21}E_R + a_{22}E_G + a_{23}E_B; \\ E_{B_п} &= a_{31}E_R + a_{32}E_G + a_{33}E_B, \end{aligned} \qquad (19)$$

где a_{11}–a_{33} – коэффициенты матрицы. Математически операция цветокоррекции аналогична матричному преобразованию (19) и потому называется матричной цветокоррекцией. Отличие заключается в определении коэффициентов матрицы (19), рассчитываемых с помощью ЭВМ путем поиска оптимальных коэффициентов, при которых ошибки цветоанализа для совокупности испытательных цветов оказываются минимальны. Применение цветокоррекции позволяет снизить среднюю ошибку цветоанализа для совокупности цветов, но для отдельных цветов они могут оказаться значительными, что снижает эффективность цветокоррекции.

2. Принципы формирования видеоконтента. Упрощенная структурная схема ТВС.

В основе формирования видеоконтента 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.

Преобразованию изображений в электрический сигнал предшествует построение оптического изображения. Это изображение может быть представлено множеством интегральных источников, яркость каждого из которых может принимать множество различных значений в интервале от Lmin до Lmax. Чем больше число элементарных источников N (элементов изображения), тем выше предельно различимая детальность изображения, т.е. элементы должны быть достаточно малы, 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 кадров.

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 перемещения развертывающего элемента 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.

На рис. 8 приведена обобщенная структурная схема телевизионной вещательной системы.

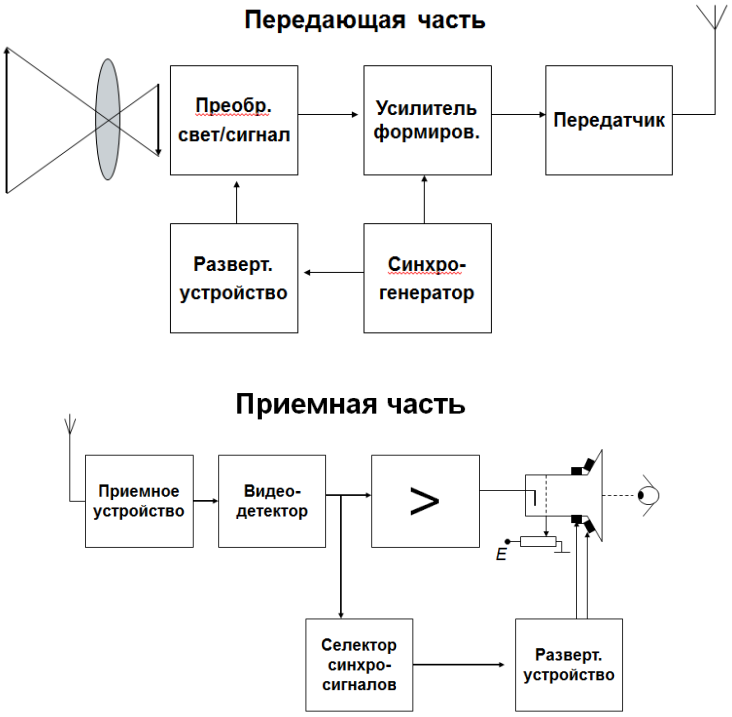


Рисунок 8. Обобщенная структурная схема телевизионной системы.

Основные параметры ТВ системы.

Основные параметры, характеризующие вещательную телевизионную систему:

- Формат кадра
- Число строк разложения
- Число кадров, передаваемых в секунду
- Вид развертки

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

$$k = \frac{b}{h}. \qquad (20)$$

Первоначально величина формата кадра в телевидении была 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 выбирается исходя из величины разрешающей способности глаза (при рассматривании изображения в угле ясного зрения). Разрешающая способность глаза количественно определяется минимальным углом, равным $(1{,}0 \ldots 1{,}5)'$, в пределах которого две точки еще различаются отдельно. Для комфортного восприятия изображения число строк в кадре должно быть таким, чтобы две соседние строки телевизионного растра наблюдались под углом, меньшим угла разрешения. Число строк разложения z определяет номинальную четкость ТВ изображения, т.е. его резкость и детальность. Эти параметры зависят от числа элементов в изображении N. Под элементом понимается минимальный участок ТВ изображения, внутри которого воспроизводится лишь средняя яркость. Учитывая, что при числе строк в кадре z и формате кадра k вдоль строки укладывается kz элементов, общее число элементов в кадре составит

$$N = z \cdot kz = kz^2$$

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

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 ... 50) Гц. Исходя из этого, число кадров должно быть выбрано n = 50 к/с.

Вид развертки. В телевидении используется линейно-строчная развертка.

Структура растра, формируемого с помощью линейно-строчной развертки, приведена на рис.9.

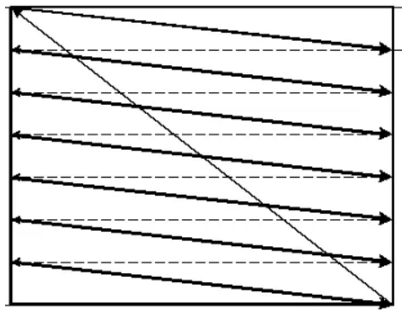


Рисунок 9. Структура растра при линейно-строчной развертке.

Вид развертки и ее параметры выбирались, исходя из особенностей зрительного восприятия (число строк разложения, число кадров, передаваемых в секунду) и характеристик преобразователя «сигнал – свет», используемого для создания изображения. Первоначально и в течение долгого времени в качестве преобразователя «сигнал – свет» использовалась электронно-лучевая трубка (ЭЛТ), иначе называемая кинескопом. Процесс развертки в ЭЛТ осуществляется с помощью отклоняющих систем, выполняющих горизонтальное и вертикальное отклонение электронного луча, на которые поступают периодические сигналы пилообразной формы. Быстрая (строчная) развертка обеспечивает перемещение развертывающего элемента по горизонтали (координата X), медленная (кадровая) развертка – его перемещение по вертикали (координата Y). Осциллограммы отклоняющих сигналов представлены на рис. 10.

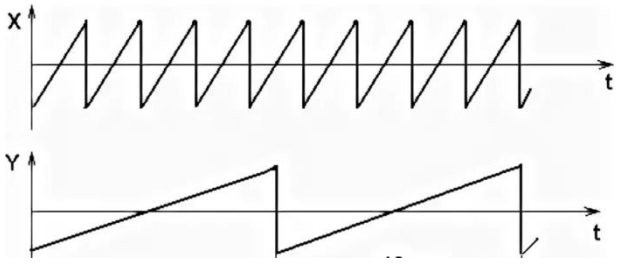


Рисунок 10. Форма отклоняющих сигналов для формирования линейно-строчного растра на экране ЭЛТ.

Период каждого из сигналов включает два временных интервала – прямой и обратный ход разверток. Интервал прямого хода строчной развертки длительностью t_{Z1} соответствует перемещению развертывающего элемента по горизонтали слева направо. Обратный ход с длительностью t_{Z2} соответствует движению справа налево. Тогда период строчной развертки можно определить, как

$$T_Z = t_{Z1} + t_{Z2},$$

а частоту

$$f_Z = 1/ T_Z$$

Интервал прямого хода кадровой развертки длительностью t_{n1} соответствует перемещению развертывающего элемента по вертикали сверху вниз. Обратный ход с длительностью t_{n2} соответствует движению снизу вверх. Тогда период кадровой развертки можно определить, как

$$T_n = t_{n1} + t_{n2},$$

а частоту

$$f_n = 1/ T_n = n$$

Частоты строчной и кадровой разверток связаны между собой соотношением

$$f_Z / f_n = Z$$

Параметрами разверток определяется одна из основных характеристик сигнала изображения - ширина его спектра. При этом нижняя граница спектра $f_н$, соответствующая самым крупным деталям изображения, совпадает с частотой медленной развертки $f_n = n$, а верхняя $f_в$, соответствующая самым мелким деталям, равным элементу разложения, может быть определена следующим образом:

$$f_в = 1/2\tau_э$$

где $\tau_э$ – длительность элемента. В свою очередь, $\tau_э$ определяется, как

$$\tau_э = T_n / N = 1/ f_n N = 1/ kz^2n$$

Следовательно

$$f_в = kz^2n/2 \qquad (21)$$

С учетом параметров ТВ системы, приведенных выше, верхняя частота спектра сигнала изображения равна:

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

Однако при n = 50 к/с по каналу связи передается избыточная информация, что значительно расширяет спектр сигнала изображения.

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). Структура растра, формируемого с помощью чересстрочной развертки, приведена на рис.11.

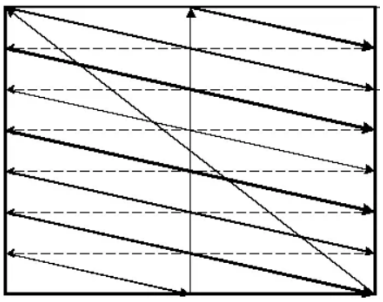


Рисунок 11. Структура растра при чересстрочной развертке.

При использовании чересстрочной развертки 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

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

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).

Чересстрочная развертка с кратностью 2: 1 обеспечивается при выполнении двух условий:

1) количество строк в кадре должно быть нечетным:

$$z = 2m + 1$$

где m – целое положительное число (для отечественного стандарта $m = 312$). Это нужно для того, чтобы в каждом поле прочерчивалось $z/2$ строк и, следовательно, происходило перемежение строк;

2) должна устанавливаться жесткая связь между частотами строк и полей:

$$f_z = (z/2)\, f_n$$

Жесткая связь между частотами строк и полей (кадров) осуществляется за счет применения в синхрогенераторе (рис.12) общего задающего генератора (ЗГ), работающего при чересстрочной развертке на частоте

$$f_{ЗГ} = 2f_z$$

Для формирования сигналов частоты кадров делят частоту $f_{ЗГ}$ на z, а для формирования сигналов частоты строк – на 2.

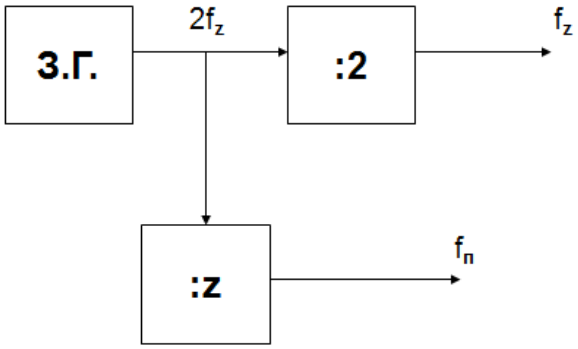


Рисунок 12. Структурная схема синхрогенератора для формирования чересстрочного растра.

Основные параметры системы ТВ вещания России (ГОСТ 7845 - 92 «Система вещательного телевидения»):

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

3. Телевизионный сигнал.

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. 12 приведены осциллограммы ПТВС при частотах развертки осциллографа, кратных частоте строчной развертки f_z (рис. 13, а) и частоте

кадровой развертки f_n (рис. 13, б). На осциллограммах указаны временные параметры сигналов для системы вещательного телевидения согласно ГОСТ 7845 - 92.

а)

б)

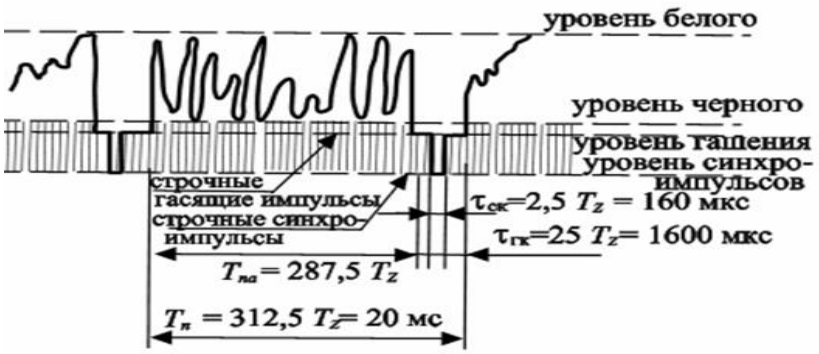


Рисунок 13. Осциллограммы полного телевизионного сигнала (ПТВС)
а) строчная осциллограмма, б) кадровая осциллограмма.

Сигнал изображения.

Сигнал изображения (сигнал яркости) располагается в активной части строки T_{za} (рис. 13, а), соответствующей прямому ходу строчной развертки, и является основной составляющей ПТВС, так как несет информацию о яркости элементов изображения.

В вертикальном направлении прямому ходу кадровой развертки, во время которого передается сигнал изображения, соответствуют активные строки, передающиеся во время интервала T_{na} (рис. 13, б). Сигнал изображения имеет импульсный характер и соответствует изменению яркости изображения в направлении строчной и кадровой разверток. Любое искажение формы сигнала неизбежно 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), 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.

Сигнал гашения.

Во время обратного хода строчной и кадровой разверток в ПТВС передается сигнал гашения. Первоначально сигнал гашения предназначался для запирания лучей приемных трубок – кинескопов – во время обратных ходов разверток. Во время сигнала гашения сигнал изображения не передается, и этот временной интервал может использоваться для передачи дополнительных сигналов, например, сигналов цветовой синхронизации в аналоговых системах цветного телевидения. Сигнал гашения представляет собой совокупность П-образных гасящих импульсов частоты строк и П-образных гасящих импульсов частоты полей,

Сигналы ТВ системы, приведенные на рис. 13, содержат строчные гасящие импульсы, длительность которых составляет $\tau_{гс}$ = 12 мкс (18% от длительности строки T_z = 64 мкс, (рис. 13, а)) и кадровые гасящие импульсы, длительность которых $\tau_{кг}$ =25 T_z =1600 мкс (8% от длительности поля $T_п$ = 20 мс, (рис. 13, б)). Из 625 строк ТВ растра 50 строк 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. 13). Это обусловлено тем, что, при использовании в качестве отображающего устройства ЭЛТ, в случае отсутствия или малого размаха кадровых гасящих импульсов, недостаточных для надежного запирания луча приемной трубки, на изображении появляются характерные белые полоски – 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 на экране ЭЛТ.

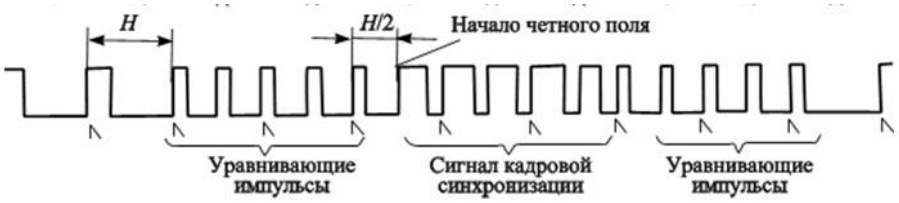
Сигнал синхронизации.

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

Согласно ГОСТ 7845-92 сигнал синхронизации состоит из совокупности П-образных строчных синхроимпульсов длительностью 4,7мкс и кадровых длительностью 2,5 T_z = 160 мкс (рис. 13). 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.

Форма кадровых синхроимпульсов для четного и нечетного полукадров приведена на рис. 14.

а)



б)

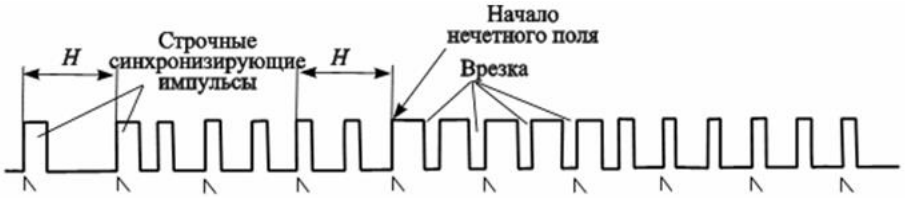


Рисунок 14. Интервал кадровых синхроимпульсов
а) четное поле; б) нечетное поле

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

Спектр ТВ сигнала. Определение верхней и нижней граничных частот. Постоянная составляющая ТВ сигнала.

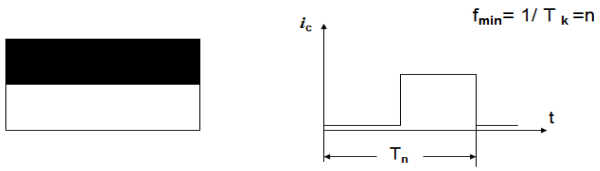
Как известно, любой сложный сигнал, в том числе и телевизионный, можно представить в виде суммы гармонических (синусоидальных) колебаний с различными частотами и начальными фазами. Совокупность этих колебаний составляет частотный спектр сигнала или просто спектр. Ширина спектра телевизионного сигнала (т. е., низшая и высшая частоты) определяется следующим образом. Низшая частота характеризуется длительностью периода повторения изображения максимального размера. Этот период не может превышать времени передачи одного кадра T_n, как уже отмечалось выше. Следовательно, низшая частота спектра телевизионного сигнала

$$f_н = 1/ T_n = n$$

где n – количество кадров в секунду.

На рисунке (рис. 15,а) представлено наиболее простое изображение, спектр которого содержит составляющие наименьшей частоты. Это изображение состоит из белого и черного прямоугольников, каждый из которых занимает половину кадра. ТВ сигнал в этом случае включает гармонические составляющие с частотами f_n, $3f_n$, $5f_n$, ..., $(2n+1)f_n$, так как, колебание типа «меандр» содержит в спектре только нечетные гармоники.

а)



б)

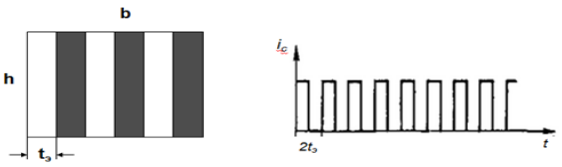


Рисунок 15. – Простые изображения и соответствующие им формы телевизионных сигналов.

Для простоты рассуждения синхронизирующие и гасящие импульсы не учитывались, а развертка считалась построчной.

Для правильного воспроизведения крупных деталей изображения (сигналы от которых имеют низкую частоту первой гармоники) необходимо точно воспроизводить форму импульсов. Графически нетрудно определить, что для приведенного на рисунке (рис. 15, а) изображения форма прямоугольных импульсов будет очень близка к исходной, если передаются только первая, третья, пятая и седьмая гармоники частоты следования импульсов. Другими словами, при передаче крупных деталей изображения требуемая высшая частота спектра сигнала всегда значительно ниже верхней частоты спектра телевизионного сигнала, определяемой мелкими деталями изображения. Поэтому их передача не вызывает особых трудностей.

Высшая частота спектра телевизионного сигнала $f_в$ характеризует минимальный размер передаваемой детали изображения, которой является элемент разложения – квадрат со стороной, равной толщине одной строки $a = h / z$ (рисунок 15,б). При восприятии очень мелких деталей глаз плохо различает градации яркости, т. е, он практически не отличает синусоидальное распределение яркости (при воспроизведении только первой гармоники) от прямоугольного. Поэтому для воспроизведения мелких деталей достаточно передать только первую гармонику импульсов – частоту повторения импульсов. Эта частота без учета времени, требуемого на обратный ход разверток, определяется ранее приведенным выражением (21).

Необходимость учета потерь на обратный ход приводит к уточнению формулы (21).

Время прямого хода по строке составляет

$$T_{za} = T_z - \tau_{гс} = (1-\alpha)T_z ,$$

где $\alpha = \tau_{гс} / T_z$ – относительная длительность строчных гасящих импульсов. Уменьшение длительности прямого хода приводит к тому, что мелкие детали и переходы яркости будут передаваться за более короткий промежуток времени. Это и является причиной расширения спектра, т. е. увеличения частоты $f_в$, определяемой выражением (21), в $1/(1 - \alpha)$ раз.

Наличие обратного хода по кадру приводит к тому, что для передачи изображения будут использоваться не все строки (z), а только так называемые активные строки (z_a). Число активных строк z_a будет определяться относительной длительностью кадровых гасящих импульсов β.

$$z_a = z - \beta z = (1-\beta) z,$$

где $\beta = \tau_{кг} / T_n$ - относительной длительностью кадровых гасящих импульсов. Чтобы сделать примерно равной четкость по вертикали и горизонтали, полосу частот, отводимую для передачи телевизионного сигнала, сокращают в $1/(1-\beta)$ раз.

С учетом указанных факторов верхняя частота спектра телевизионного сигнала составит:

$$f_B = p\frac{kz_k^2 n}{2}\cdot\frac{(1-\beta)}{(1-\alpha)} \quad (22)$$

где p – коэффициент Келла;

k = 4/3 – формат кадра;

z – число строк в кадре;

n – количество кадров в секунду;

α и β – коэффициенты, которые учитывают потери времени на обратный ход соответственно по строке и по кадру.

В выражение (22) входит коэффициент Келла. Поясним его смысл. При ширине спектра телевизионного сигнала, определяемой согласно выражению (22), минимальный размер детали в горизонтальном направлении (вдоль строк), который может быть передан без искажения яркости, равен толщине одной строки. В вертикальном же направлении (поперек строк) такая деталь в зависимости от ее расположения относительно строк растра может быть воспроизведена одной или двумя строками. Таким образом, четкость по вертикали не является постоянной величиной и составляет от 1 до 0,5 величины четкости по горизонтали. Четкость выравнивается путем уменьшения ее в горизонтальном направлении за счет сокращения полосы частот в p раз. Величина p теоретически равна 0,64, но практически берется несколько выше – 0,8...0,9.

Подставляя в выражение (22) значения соответствующих величин, определенных стандартом системы вещательного телевидения, а именно:

$k = 4/3$, $z = 625$, $n = 25$, $\alpha = 0{,}18$, $\beta = 0{,}08$, $p = 0{,}75 \div 0{,}84$,

получим:

$$f_B = p\frac{kz_k^2 n}{2}\cdot\frac{(1-\beta)}{(1-\alpha)} \approx 5,5 \div 6{,}0 \text{ МГц}$$

Рассмотрим структуру спектра телевизионного сигнала. Для упрощения его анализа не будем учитывать синхронизирующие и гасящие импульсы и предположим, что передается неподвижное изображение. В этом случае телевизионный сигнал можно считать почти периодическим с частотой строк (очень мало изменяющимся от строки к строке) и частотой кадров. Периодические сигналы (в том числе и телевизионные) имеют дискретный спектр (рис. 16), содержащий частотные составляющие:

$$f_{lm} = l\, f_z \pm m\, f_n$$

где l и m – целые положительные числа от 0 до ∞.

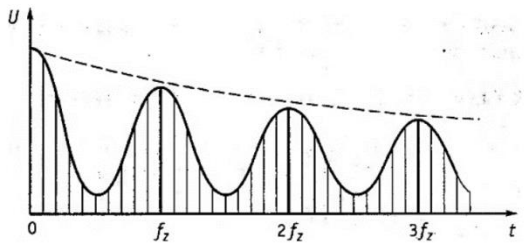


Рисунок 16. Спектр телевизионного сигнала.

Периодичность сигнала с частотой кадров приводит к тому, что каждая гармоника частоты строк оказывается промодулированной гармониками частоты кадров, в результате чего вокруг гармоник частоты строк появляются боковые частоты mf_n .

Особенности спектра состоят в следующем:

1) количество частотных составляющих и их амплитуды зависят от содержания изображения;

2) амплитуды составляющих с ростом частоты резко уменьшаются;

3) большая часть энергии переносится низкочастотными составляющими спектра.

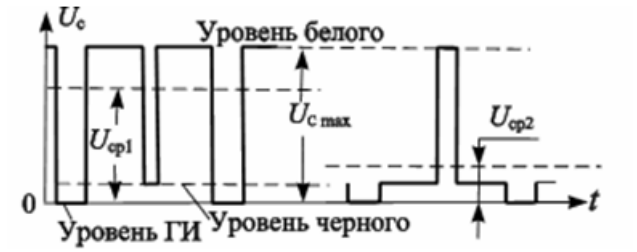
При передаче подвижных изображений дискретная структура каждого из участков спектра, расположенного по обе стороны от гармоник строчной частоты, нарушается, и указанные участки приобретают сплошной непрерывный характер. Однако скорость смены кадров в телевизионной системе значительно превосходит скорость движения объектов в телевизионных изображениях, поэтому незаполненные промежутки в спектре сохраняются, а структура спектра по-прежнему остается почти периодической.

Наличие свободных промежутков, т. е. частотных интервалов, в пределах которых составляющие спектра имеют столь малые амплитуды, что с ними практически можно не считаться, позволяет передавать в этих промежутках дополнительную информацию, например, о цветности в цветном телевидении.

Поскольку телевизионный сигнал униполярен, кроме гармонических составляющих в спектре сигнала присутствует постоянная составляющая, несущая информацию о средней яркости изображения. При изменении средней яркости изображения в спектре сигнала появляются очень низкие частоты (от 0 до 2…3 Гц).

Для определения величины постоянной составляющей в сигнале нужно провести линию, параллельную оси абсцисс, так, чтобы площади, ограниченные сигналом и осью абсцисс выше и ниже этой оси, были равны между собой (в этом случае говорят о том, что уровень постоянной составляющей располагается по линии равных площадей) (рис.17,а).

а)



б)

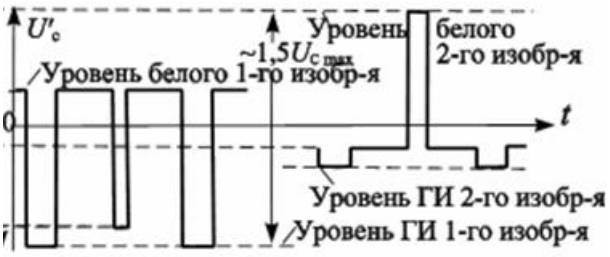


Рисунок 17. Определение постоянной составляющей телевизионного сигнала.

Если информация о постоянной составляющей будет потеряна, это приведет к изменению мгновенных значений сигнала яркости (рис.17, б), а, следовательно, к искажению воспроизведения градаций яркости в изображении. Следовательно, для исключения градационных искажений, необходимо передавать информацию об этой составляющей.

Усиление и передача сигнала с постоянной составляющей связана с техническими трудностями, поэтому в телевизионной технике прибегают к ее потере с последующим восстановлением в нужной точке тракта (например, на входе модулятора передатчика). Восстановление осуществляется с помощью привязки уровня гасящих импульсов к одному потенциалу, т.е. путем стабилизации положения телевизионного сигнала от всех передаваемых изображений относительно некоторого постоянного потенциала. Этот процесс называется фиксацией, или привязкой уровня, и производится с частотой строчной развертки. Используемые для этого схемы называются фиксирующими. Фиксирующие цепи дают возможность также уменьшить величину низкочастотных помех, суммируемых с ТВ сигналом и вызывающих паразитное изменение яркости изображения.

Формирование сигналов цветного телевидения, сигналы первичных цветов.

Как было показано выше, цвет является трехмерной величиной и, следовательно, информация о нем должна быть передана с помощью трех сигналов. Такими сигналами являются сигналы основных цветов приемника E_R, E_G, E_B. Для формирования этих сигналов датчик ТВ сигнала (ЦТ камера, диапроектор, и т.д.), кроме поэлементного анализа должен осуществлять спектральное разложение воздействующего излучения на три составные части аналогично тому, как это делает наш зрительный аппарат. На приемной стороне должно совершаться обратное действие – синтез ЦТ изображения из

трех основных цветов. Анализ воздействующего излучения на три составляющие и синтез ЦТ изображения могут быть осуществлены одновременным либо последовательным способом.

Последовательный способ. Способность зрительного аппарата воспринимать чередующиеся во времени цвета как цвет смеси при достаточной скорости чередования позволяет разлагать натуральные цвета на основные и осуществлять синтез ЦТ изображения из трех основных цветов последовательным способом, упрощенная структурная схема которого изображена на рис. 18.

Изображение передаваемого объекта при помощи объектива проецируется на фоточувствительный преобразователь последовательно в трех цветах – красном, зеленом и синем. Для разложения светового потока на три основных цвета используется вращающийся диск со светофильтрами, устанавливаемый между объективом и фотодатчиком. На приемном конце наблюдатель видит изображение на экране черно-белого воспроизводящего устройства также через вращающиеся светофильтры. При этом оба диска должны вращаться с одинаковой скоростью (синхронно) и фильтры одного и того же цвета должны проходить перед обеими трубками одновременно (должна соблюдаться синфазность вращения дисков). Таким образом, наблюдатель видит последовательно телевизионное изображение в трех разных цветах. Благодаря инерции зрительного восприятия возникает впечатление слитного изображения в натуральных цветах.

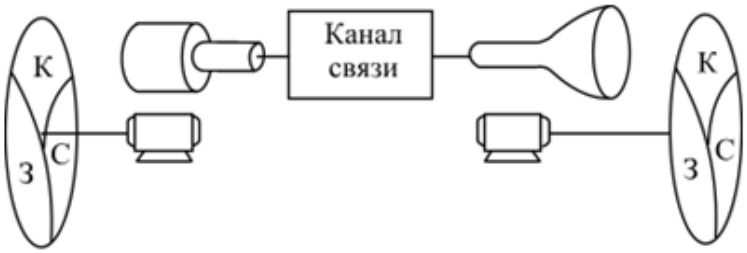


Рисунок 18. Схема последовательного способа передачи и воспроизведения основных цветов.

Для того чтобы мелькания не были заметны, необходимо, чтобы общее время передачи трех цветоделенных изображений, образующих в совокупности полное ЦТ изображение, не превышало времени передачи одного кадра в черно-белом телевидении. В связи с этим в такой системе число элементов изображения, передаваемых за один полный кадр, возрастает в 3 раза. Соответственно в 3 раза возрастает и полоса частот передаваемого видеосигнала.

Последовательному способу присущи недостатки: он не совместим с системой черно-белого телевидения, так как частоты кадровой и строчной разверток, а также спектр частот ТВ сигнала при таком способе передачи увеличены в 3 раза по сравнению с аналогичными параметрами черно-белой системы; при быстром перемещении объектов на изображении наблюдается цветная бахрома, так как следующие друг за другом изображения в трех основных цветах оказываются несовмещенными. Кроме этого, применение

диска со светофильтрами ограничивает размеры экрана воспроизводящего устройства. По этим причинам последовательная система не могла быть использована в телевизионном вещании.

Основным достоинством последовательного способа является простота передающего и приемного оконечных устройств, в связи с чем он нашел применение в замкнутых телевизионных системах прикладного назначения.

Одновременный способ передачи цветов требует в общем случае трех фотоприемников и трех воспроизводящих устройств. Разложение светового потока, воздействующего на ЦТ датчик излучения, на три составляющие может осуществляться непосредственно светофильтрами, установленными перед фотоприемниками, либо с помощью специальной цветоделительной системы, содержащей дихроические зеркала. Упрощенная структурная схема одновременного способа показана на рис. 19.

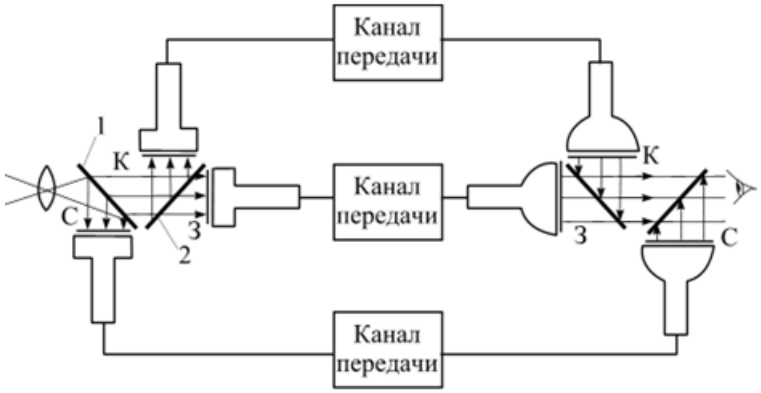


Рисунок 19. Схема одновременного способа передачи и воспроизведения основных цветов: 1,2 – дихроические зеркала.

Воздействующий на ЦТ датчик световой поток разделяется на три с помощью двух дихроических зеркал, цветоизбирательные свойства которых таковы, что они отражают одну часть спектра и почти без потерь пропускают остальную часть. Так, дихроическое зеркало 1 отражает синюю составляющую светового потока к соответствующему фотоприемнику и пропускает остальную часть излучения. Дихроическое зеркало 2 отражает красную составляющую ко второму фотоприемнику и пропускает зеленую составляющую к третьему. Полученные от трех фоториемников видеосигналы передаются к воспроизводящему устройству, где три цветоделенных изображения необходимо совместить в одно.

Одновременный способ передачи и воспроизведения основных цветов требует точного оптического и электрического совмещения трех растров передающих, а также приемных преобразователей. Недостаточно точное выполнение этого требования может привести к потере четкости и появлению цветных окантовок.

В вещательном телевидении используется одновременный способ передачи и воспроизведения основных цветов.

Качество воспроизведения цветного изображения зависит от точности формирования сигналов основных цветов. Условием верности цветовоспроизведения, учитывая особенности зрительного восприятия и телевизионного цветовоспроизведения, следует считать колориметрическую тождественность изображения оригиналу. Это означает, что цветность каждого элемента изображения не отличается от цветности соответствующего элемента оригинала, а отношение яркостей соответствующих элементов изображения и оригинала является величиной постоянной для всех передаваемых цветностей, т. е.

$$x'_{и} = nx'_{о}, \quad y'_{и} = ny'_{о}; \quad z_{и}' = nz'_{о},$$

где n – коэффициент пропорциональности.

Очевидно, что выполнение этих условий определяется всеми звеньями телевизионного тракта от света до света, структурная схема которого изображена на рис. 20. Телевизионный тракт включает в себя передающую камеру, преобразующую воздействующий световой поток $F_{О}$ в сигналы основных цветов E_R, E_G, E_B, канал передачи этих трех сигналов и три воспроизводящих устройства, преобразующие усиленные сигналы основных цветов в соответствующие световые потоки $F_{Rи}$, $F_{Gи}$, $F_{Bи}$, которые с помощью оптической системы совмещаются в одно многоцветное изображение.

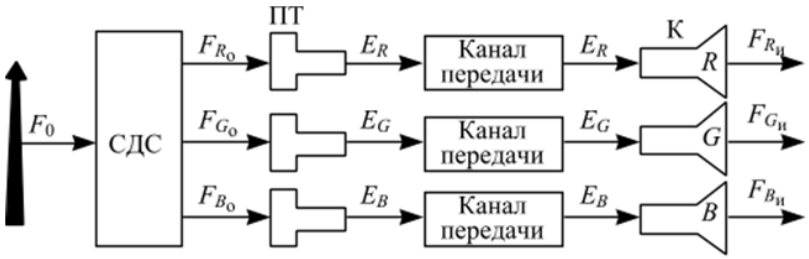


Рисунок 20. Структурная схема ЦТ тракта «от света до света».

Передающая камера содержит светоделительную систему (СДС), которая разделяет световой поток $F_{О}$, отраженный от передаваемой сцены, на три составляющие: красную $F_{RО}$, зеленую $F_{GО}$, синюю $F_{BО}$, образуя на поверхности фоточувствительных преобразователей ЦТ три оптических изображения в основных цветах. Таким образом, телевизионная камера или любой другой датчик цветных телевизионных сигналов (кинопроектор, диапроектор и т.д.), помимо анализа изображения на отдельные элементы, осуществляет еще и трехкомпонентный анализ элементарных излучений, отображая каждый элемент передаваемой сцены электрическими сигналами E_R, E_G, E_B. Совокупность последних должна содержать качественную и количественную характеристики каждого элементарного лучистого потока.

Для того чтобы электрические сигналы на выходе ТВ камеры несли верную информацию о цветах (т. е. о яркостях и цветностях) воздействующих на нее излучений, необходимо обеспечить прямую

пропорциональность между величинами этих сигналов и координатами цвета этих излучений, в выбранной колориметрической системе. Тогда в системе *RGB* величины сигналов основных цветов будут равны:

$$E_R = K_1 r'; \quad E_G = K_2\, g'; \; E_B = K_3 b',$$

где r', g', b' – модули основных цветов, а K_1, K_2, K_3 постоянные коэффициенты.

Учитывая (14), можем записать:

$$E_R = K_1 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(\lambda)\bar{r}(\lambda)d\lambda; \; E_G = K_2 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(\lambda)\bar{g}(\lambda)d\lambda; \; E_B = K_3 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(\lambda)\bar{b}(\lambda)d\lambda,$$

где $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$ – удельные координаты (кривые смешения), связывающие воздействующее на глаз излучение $P(\lambda)$ с результатом этого воздействия ощущением цвета.

Как было указано в разделе 1 настоящего конспекта, реальная телевизионная камера не способна точно сформировать требуемые сигналы, так что для точного воспроизведения цвета цветной телевизионной системой необходимо проведение цветокоррекции.

Телевизионный тракт, структурная схема которого приведена на рис.20, содержит три раздельных тракта передачи цветоделенных сигналов. Кроме того, не предусмотрена передача сигнала яркости. В результате этого, во-первых, в три раза увеличивается требуемая полоса частот канала передачи сигнала, и, во-вторых, не обеспечивается принцип совместимости телевизионных систем. Принцип совместимости систем заключается в возможности приема черно-белыми приемниками цветных телевизионных программ в черно-белом виде (прямая совместимость) и возможности приема цветными телевизорами в черно-белом виде сигналов черно-белого телевидения (обратная совместимость.

Совместимость систем обеспечивается идентичностью их основных параметров и характеристик: форматом изображения, числом строк разложения, шириной полосы частот телевизионного канала, наличием сигналов, несущих информацию о яркости и др.

Для обеспечения принципа совместимости в вещательных системах ЦТ передаются сигнал, несущий информацию о яркости E_Y, и два цветоразностных сигнала E_{R-Y} и E_{B-Y}, несущие информацию о цветности. В качестве совместимого сигнала, который может приниматься черно-белыми и цветными приемниками, используется сигнал яркости E_Y.

Яркостный сигнал E_Y формируется в телевизионном тракте, путем суммирования в определенном соотношении сигналов основных цветов E_R, E_G, E_B. Соотношение это определяется спектральной чувствительностью глаза (кривой стандартной относительной видности) к основным цветам излучений трех люминофоров. Для основных цветов приемника и опорного равносигнального цвета стандарта NTSC яркостный сигнал формируется в соответствии с выражением

$$E_Y = 0{,}30\,E_R + 0{,}59\,E_G + 0{,}11\,E_B \qquad (23)$$

Сформированный в соответствии с выражением (23) яркостный сигнал теоретически содержит всю информацию о распределении яркости передаваемой сцены и должен занимать полную полосу частот 0…6 МГц. Для передачи полной информации о цвете объекта необходимо сформировать еще сигнал, который содержал бы все сведения о цветности (цветовом тоне и насыщенности). Кроме сигнала E_Y имеются еще три сигнала – E_R, E_G, E_B. Последние, как известно, в совокупности полностью характеризуют и яркость, и цветность передаваемой сцены. Если из этих сигналов устранить (вычесть) информацию о яркости, то образуются цветоразностные сигналы $E_{R\text{-}Y}$, $E_{G\text{-}Y}$ и $E_{B\text{-}Y}$. Учитывая пониженную разрешающую способность зрения к цветовым переходам (мелкие детали в цвете не видны), можно без ущерба для качества передаваемого изображения сократить с помощью фильтра нижних частот (ФНЧ) полосу частот цветоразностных сигналов до 1,5 МГц. Как указывалось в разделе 1, цветность – величина двумерная и для ее представления достаточно передавать два сигнала. Цветоразностные сигналы являются линейно зависимыми, т. е. любой из них может быть получен, если известны два других. Исходя из помехоустойчивости, для передачи были выбраны цветоразностные сигналы $E_{R\text{-}Y}$ и $E_{B\text{-}Y}$ которые могут быть вычислены согласно выражениям:

$$E_{R-Y} = E_R - E_Y = 0{,}70\,E_R - 0{,}59\,E_G - 0{,}11\,E_B;$$

$$E_{B-Y} = E_B - E_Y = -0{,}30\,E_R - 0{,}59\,E_G + 0{,}89\,E_B. \qquad (24)$$

Основным достоинством цветоразностных сигналов по сравнению с сигналами E_R и E_B, кроме возможности передачи в сокращенной полосе частот, является то, что при передаче неокрашенных участков изображения они равны нулю (так как в этом случае $E_R = E_G = E_B = E_Y$), а при передаче слабонасыщенных цветов их амплитуды минимальны. Это позволяет существенно снизить заметность цветовой поднесущей на экранах черно-белых приемников и тем самым улучшить совместимость ЦТ системы, так как цветовая поднесущая, на которой передаются цветоразностные сигналы $E_{R\text{-}Y}$ и $E_{B\text{-}Y}$, является помехой для черно-белого изображения.

Формирование яркостного сигнала E_Y и цветоразностных сигналов $E_{R\text{-}Y}$, $E_{B\text{-}Y}$ осуществляется с помощью матричных схем в кодирующем устройстве. Структурная схема такой матрицы приведена на рис. 21. Матрица состоит из линейных цепей с резисторами R1, R2 и т.д., величины которых рассчитываются исходя из коэффициентов матричных уравнений.

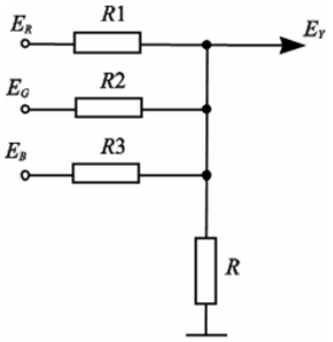


Рисунок 21. Структурная схема матрицы для формирования яркостного сигнала.

Восстановление цветоделенных сигналов E_R, E_G, E_B осуществляется путем обратного матрицирования в декодирующем устройстве ЦТ приемника в соответствии с уравнениями:

$$E_R = E_{R-Y} + E_Y;\ \ E_G = E_{G-Y} + E_Y;\ \ E_B = E_{B-Y} + E_Y.$$

Сигнал $E_{G\text{-}Y}$ восстанавливается из сигналов $E_{R\text{-}Y}$ и $E_{B\text{-}Y}$ путем их алгебраического сложения в следующем соотношении:

$$E_{G-Y} = -(0{,}51\,E_{R-Y} + 0{,}19\,E_{B-Y}). \qquad (25)$$

Структурная схема системы цветного телевидения, отвечающей требованиям совместимости, приведена на рис.22.

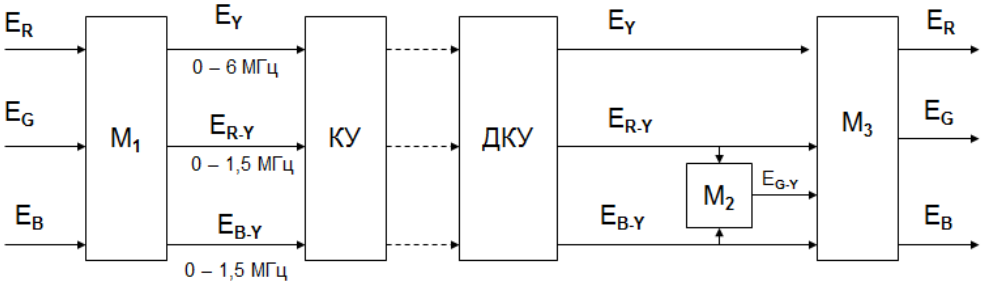


Рисунок 22. Структурная схема совместимой системы ЦТ.

Для обеспечения принципа совместимости цветоразностные сигналы необходимо передать в полосе частот сигнала яркости. Возможность такой передачи основана на том, что спектры образующихся на выходе камеры сигналов основных цветов E_R , E_G и E_B дискретны и их энергия концентрируется вокруг гармоник строчной частоты. Следовательно, у сигнала яркости и цветоразностных сигналов, являющихся линейными комбинациями этих сигналов также дискретный характер спектра.

Сложить непосредственно цветоразностные сигналы с сигналом яркости E_Y нельзя, потому что их спектральные составляющие совпадут и разделить три сигнала на приемной стороне будет невозможно. К тому же передавать цветоразностные сигналы, являющиеся помехой для черно-белых телевизоров, в области низких частот сигнала E_Y нецелесообразно, так как это существенно ухудшит совместимость: заметность низкочастотных помех значительно выше, чем высокочастотных. В связи с этим цветоразностные

сигналы передаются в области высокочастотных составляющих спектра сигнала E_Y. Для переноса их спектра в эту область используется модуляция цветовой несущей частоты, которая в отличие от несущей частоты радиопередатчика изображения называется поднесущей частотой f_s (рис. 23).

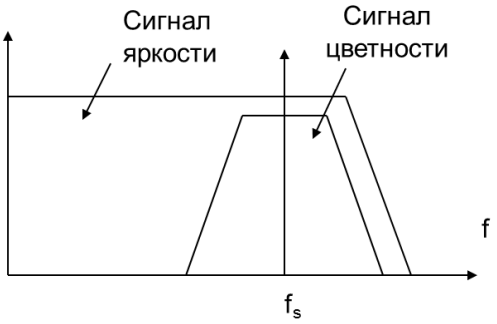


Рисунок 23. Спектр совместимой системы ЦТВ.

Поднесущая частота, промодулированная цветоразностными сигналами, называется сигналом цветности. В совместимых системах ЦТВ NTSC, PAL и СЕКАМ вопрос о передаче цветоразностных сигналов решается по-разному. Особенности различных систем ЦТВ приведены на диаграмме (Рис. 24).

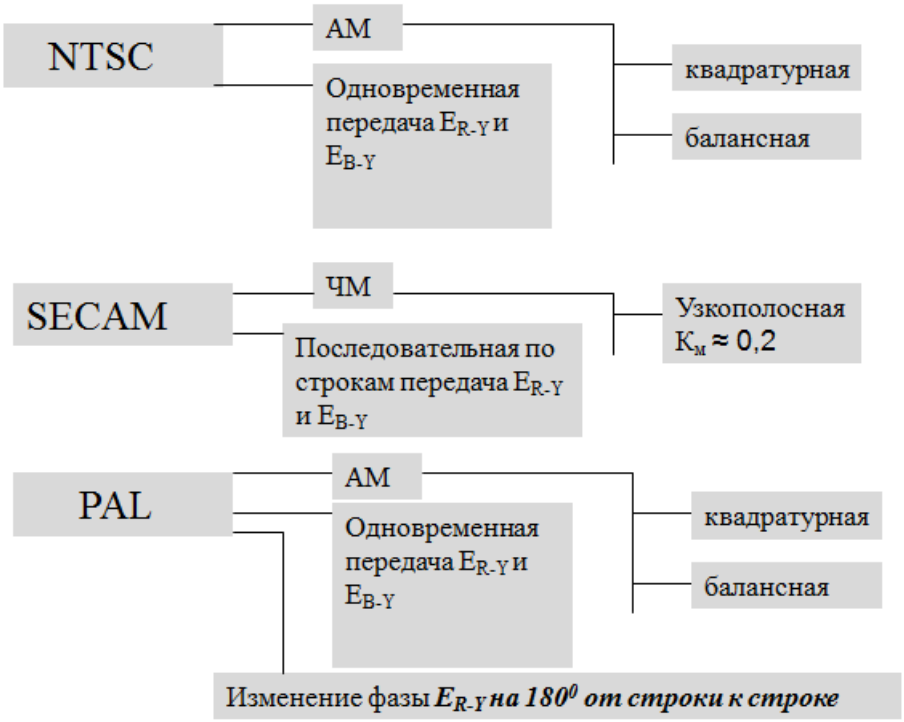


Рисунок 24. Особенности совместимых систем ЦТВ.

Именно методом формирования и приема сигнала цветности и различаются между собой совместимые системы ЦТВ NTSC, PAL и СЕКАМ:

- В системах NTSC и PAL для уплотнения сигналов используется амплитудная квадратурная балансная модуляция, а в системе СЕКАМ – частотная;
- В системах NTSC и PAL два цветоразностных сигнала передаются одновременно, а в системе СЕКАМ — последовательно через строку.
- В системе PAL выполняется изменение фазы сигнала $E_{R\text{-}Y}$ на 180 ° от строки к строке.

Перечисленные отличия приводят к принципиально разному построению как кодирующих, так и декодирующих устройств, а также к различию в таких эксплуатационных параметрах систем, как совместимость и качество цветного изображения.

4. Оценка качества изображений.

В телевизионной технике качество изображения оценивается как степень соответствия изображения передаваемому оригиналу.

Степень соответствия изображения оригиналу зависит от параметров используемой системы. Например, выбор системы предопределяет, какие характеристики объекта могут быть воспроизведены в принятом изображении (цвет, объемность и т.д.). Система определяет метод развертки изображения, его максимально возможную четкость, формат кадра и т.д. На практике известные возможности данного ТВ тракта позволяют достаточно надежно предсказать ожидаемое качество воспроизводимого ТВ изображения.

Качественные показатели ТВ изображения условно можно подразделить на световые и растровые.

Световые показатели изображения – максимальная яркость, контраст, число воспроизводимых градаций яркости, диапазон воспроизводимых цветов, четкость, резкость, а также различные искажения, проявляющиеся в нарушении распределения яркостей и цветностей в изображении.

Растровые показатели – это размеры и формат кадра, нелинейные и геометрические искажения растра, возникающие в передающих и приемных устройствах, которые в основном нарушают геометрическое подобие принятого изображения его оригиналу.

При оценке изменения качества изображения в зависимости от уровня искажений или помех в ТВ сигнале используют методы субъективно-статистических экспертиз. Поскольку основой таких экспертиз является использование специальных и универсальных испытательных изображений, им должно быть уделено особое внимание. В качестве испытательных выбирают сюжетные изображения, близкие по характеру к наиболее часто встречающимся в практике ТВ вещания. Это изображения человеческого лица (крупный и средний план), групп лиц, пейзажей и архитектурных композиций с большим количеством деталей разного размера. Эти изображения должны содержать достаточную гамму полутонов и содержать контрастные переходы (яркостные и цветовые).

Для быстрой оценки основных характеристик передающей и приемной ТВ аппаратуры, а также для проверки качества черно-белых и цветных изображений широко используются телевизионные испытательные таблицы (ТИТ), специальные или универсальные. Специальные испытательные таблицы предназначены для проверки одного или нескольких параметров ТВ изображения. Универсальные таблицы, состоящие из совокупности элементов, составляющих содержание специальных таблиц, позволяют одновременно комплексно оценить важнейшие параметры изображения. В зависимости от способа использования и методов получения испытательные таблицы можно подразделить на оптические и электронные. Оптические испытательные таблицы так же, как и оптические сюжетные изображения, могут быть непрозрачными, предназначенными для проецирования на фотоэлектрический преобразователь ТВ камеры, или прозрачными, изготовленными в виде диапозитивов или кадров ТВ испытательного кинофильма. Широко применяют электронные испытательные таблицы. Они создаются совокупностью сигналов, сформированных электрическим путем и обеспечивающих воспроизведение изображения всей таблицы (специальной или универсальной).

Оптические испытательные таблицы позволяют проверить полный тракт и незаменимы при проверке фотоэлектрических преобразователей передающих камер. Примером подобной таблицы является телевизионная испытательная таблица 0249 (рис.25) – черно-белая испытательная таблица, разработанная в 1949 году.

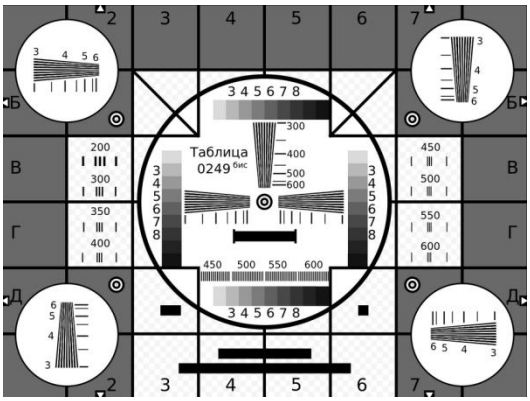


Рисунок 25. Оптическая телевизионная испытательная таблица 0249.

Электронные испытательные таблицы более пригодны для проверки качества прохождения сигналов изображения и воспроизводящих устройств, поскольку они лишены искажений, вносимых фотопреобразователями. Пример подобной таблицы – универсальная электронная испытательная таблица (УЭИТ) (рис. 26).

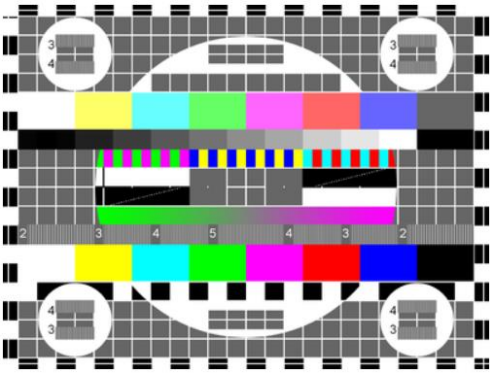


Рисунок 26. Изображение универсальной электронной испытательной таблица (УЭИТ)

Сложный сигнал УЭИТ позволяет как визуально оценить качество изображения, обеспечиваемое ТВ трактом и воспроизводящим устройством, так и так и измерить характеристики тракта при помощи приборов. Таблица позволяет визуально оценить такие параметры, как видимый размер изображения, геометрические искажения, сведение лучей воспроизводящего устройства, разрешающую способность, установку яркости и контрастности, наличие отраженных сигналов, правильность цветопередачи, точность чересстрочной развертки, линейность канала цветности и т.д.

Для оценки точности формирования яркостного и цветоразностных сигналов широко используется более простой испытательный сигнал «Цветные полосы» (рис. 27), представляющий собой сигнал, формирующий тестовое изображение, состоящее из восьми вертикальных цветных полос, размещенных слева направо в определенном порядке: белая, желтая, голубая, зеленая, пурпурная, красная, синяя и черная.

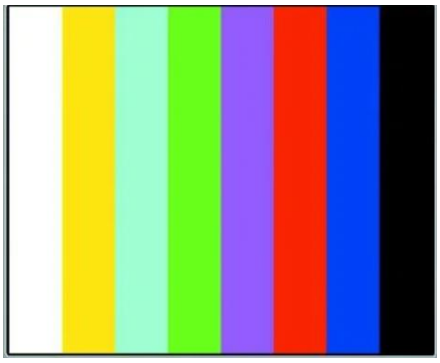


Рисунок 27. Тестовое изображение «Цветные полосы».

Этот сигнал является также основным для настройки большинства узлов аналоговых телевизоров. Большинство напряжений и осциллограмм на принципиальных схемах телевизоров приводятся именно при условии подачи на вход сигнала «вертикальные цветные полосы».

Осциллограммы сигналов основных цветов, формирующих это тестовое изображение, а также яркостного и цветоразностных сигналов, ему соответствующих, приведены на рис. 28.

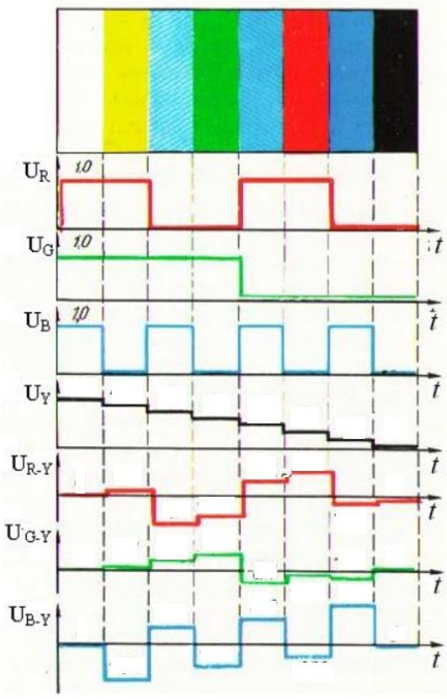


Рисунок 28. Формирование испытательного сигнала цветных полос.

Рассмотрим перечисленные выше показатели, методы их оценки с помощью ТИТ и причины возникновения искажений.

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 в передающей и приемной части ТВ тракта. При этом возникает равномерное по всему полю изменение масштаба изображения по горизонтали или по вертикали. Эти искажения ликвидируются изменением формата кадра приемного устройства;

2) неидентичности формы сигналов строчных (кадровых) разверток приемных устройств, выполненных на ЭЛТ, т. е. неодинаковости относительных скоростей движения лучей в горизонтальном (вертикальном) направлении в различных областях растра приемной трубки. При этом часть репродукции увеличивается в размерах относительно оригинала, а другая часть уменьшается.

Визуальная качественная оценка координатных искажений и их коррекция 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).

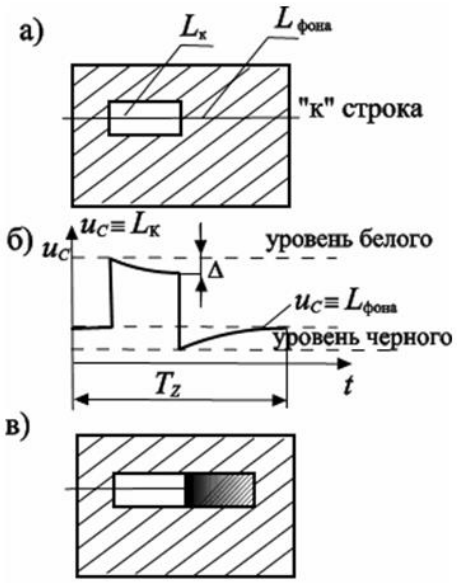


Рисунок 29. Искажения яркостей крупных деталей изображения.

Сигнал изображения от относительно крупных деталей (рис.29,а) оригинала представляет собой импульсы сравнительно большой длительности (рис.29,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 белой детали в направлении строчной развертки, возникающее из-за наклона плоской части импульса, визуально сравнительно мало заметно. А вот искажения яркости фона ТИТ, в особенности серого – тянущееся продолжение за деталью в виде своеобразного «хвоста» – заметно значительно сильнее (рис.29, в). В УЭИТ для оценки низкочастотных искажений сигнала изображения предусмотрены черные и белые детали в центре таблицы на сером фоне.

Оценка искажений высокочастотных составляющих сигнала изображения.

Искажения высокочастотных составляющих сигнала изображения вызывают изменение четкости изображения в горизонтальном 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 многоштриховые 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.30,а) являются основной причиной уменьшения четкости изображения по горизонтали.

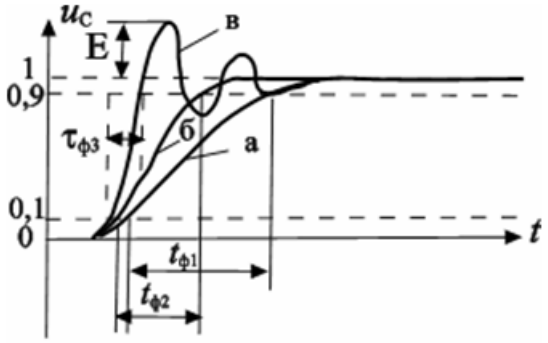


Рисунок 30. Форма переходной характеристики при изменении АЧХ в области верхних частот:
а) при спаде, б) при подъеме (апериодический процесс),
в) при подъеме (колебательный процесс)

При подъеме АЧХ в области верхних частот уменьшается длительность фронта переходной характеристики (рис.30,б), и, кроме того, на горизонтальной части ее может возникнуть затухающий колебательный процесс (рис.28,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 **ε**, то границы детали им как бы 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 мир 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 визуально 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 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.