

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

Факультет инфокоммуникаций

Кафедра инфокоммуникационных технологий

**П. А. Капура**

## ***ТЕХНИКА ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ***

*Рекомендовано УМО по образованию в области информатики  
и радиоэлектроники  
для направления специальности  
1-45 01 01-04 «Инфокоммуникационные технологии  
(цифровое теле- и радиовещание)»  
в качестве пособия*

Минск БГУИР 2017

УДК 621.397.13(076.5)  
ББК 32.94я73  
К20

Рецензенты:  
кафедра телекоммуникаций и информационных технологий  
Белорусского государственного университета  
(протокол №11 от 12 апреля 2016 г.);

декан факультета повышения квалификации и переподготовки кадров  
учреждения образования «Белорусская государственная академия связи»,  
кандидат технических наук, доцент О. Р. Ходасевич

**Капуρο, П. А.**  
К20 Техника телевизионных измерений. Лабораторный практикум :  
пособие / П. А. Капуρο. – Минск : БГУИР, 2017. – 84 с. : ил.  
ISBN 978-985-543-315-7.

Даны описание и порядок выполнения четырех лабораторных работ, посвященных проведению измерений параметров и характеристик телевизионного изображения, каналов передачи видеосигналов, систем цифрового телевизионного вещания.

**УДК 621.397.13(076.5)**  
**ББК 32.94я73**

**ISBN 978-985-543-315-7**

© Капуρο П. А., 2017  
© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №1	
Измерение и контроль основных качественных показателей изображения по испытательной таблице .....	4
Лабораторная работа №2	
Исследование влияния помех на качество телевизионного изображения.....	28
Лабораторная работа №3	
Измерение характеристик и параметров каналов передачи видеосигналов.....	42
Лабораторная работа №4	
Измерение параметров сигналов в системах цифрового ТВ вещания.....	63
Литература .....	84

Библиотека БГУИР

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

### ИЗМЕРЕНИЕ И КОНТРОЛЬ ОСНОВНЫХ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПО ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ТАБЛИЦЕ

#### 1.1 Цель работы

Изучение методов оценки качества изображения по испытательным изображениям; измерение и контроль основных качественных показателей изображения по испытательной таблице типа ИТ 0249.

#### 1.2 Краткие теоретические сведения

##### 1.2.1 Качественные показатели изображения

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

Качественные показатели ТВ изображения условно можно подразделить на *световые* и *растровые* [1].

Световые показатели изображения характеризуют степень соответствия световых параметров элементов воспроизводимого изображения параметрам элементов исходного изображения. К световым показателям относятся:

- максимальная яркость;
- контраст;
- число воспроизводимых градаций яркости;
- четкость;
- правильность цветопередачи;
- наличие различных искажений, проявляющихся в нарушении распределения яркостей и цветностей в изображении, вызываемых искажениями ТВ сигнала или воздействием помех и шумов.

В цифровом телевидении некоторые искажения изображения, связанные с процессом кодирования-декодирования (например, блочность) и дефектами цифрового сигнала (джиттер, цифровые ошибки и т. п.), отличаются от искажений, характерных для аналогового телевидения. Как в аналоговых, так и в цифровых системах искажения могут зависеть от содержания передаваемого изображения.

Растровые показатели характеризуют степень соответствия взаимного местоположения на экране ТВ приемника элементов воспроизводимого изображения взаимному положению элементов исходного изображения. Растровые показатели:

- размер и формат изображения;
- координатные (нелинейные и геометрические) искажения раstra;
- стабильность положения раstra.

Качественные показатели ТВ растров практически не связаны с характеристиками ТВ канала, а определяются работой систем разверток преобразователей «свет – сигнал» и «сигнал – свет».

### 1.2.2 Измерение и контроль качественных показателей изображения

**Максимальная яркость.** Экран воспроизводящего ТВ устройства представляет собой источник пульсирующего света, который благодаря инерционности зрения кажется светящимся непрерывно. Поэтому под яркостью экрана понимают не яркость развертывающего светового пятна, а кажущуюся яркость, воспринимаемую глазом. Максимальная яркость экрана – это яркость наиболее ярких мест ТВ изображения (при отсутствии внешнего освещения). Ее измеряют при помощи визуальных или фотоэлектрических фотометров на крупных белых участках изображения (размером не менее  $1...2 \text{ см}^2$ ), обычно в центральной части экрана. При этом важно поддерживать определенный белый цвет свечения экрана, так как общая яркость цветного экрана складывается из яркостей свечения трех совокупностей цветных субпикселей (зеленого, красного и синего цвета свечения) и изменение соотношения между ними влияет на общую яркость. Например, при установке на экране белого D6500 (с цветовыми координатами  $x = 0,313$ ,  $y = 0,329$ ) и белого с цветовой температурой 9300 К ( $x = 0,281$ ,  $y = 0,311$ ) общая яркость экрана изменяется на несколько процентов. Поэтому в качестве цветности белого цвета при измерениях яркости изображения на цветном экране необходимо использовать цветность, принятую за опорную для цветовой системы приемника.

**Контраст изображения** характеризуют отношением максимальной яркости  $L_{max}$  изображения к яркости  $L_{min}$  наиболее темных его участков:

$$K_{max} = \frac{L_{max}}{L_{min}}. \quad (1.1)$$

Для оценки контраста с помощью фотометра последовательно измеряют  $L_{max}$  и  $L_{min}$  на сравнительно крупных участках изображения в условиях отсутствия внешней засветки. Изображение оценивают как хорошее при контрасте 30 и как очень хорошее при увеличении его до 100. Дальнейшее повышение контраста мало сказывается на качестве изображения.

Вследствие рассеяния света на экране, переотражений в стекле экрана и из-за других причин наиболее темные участки изображения имеют минимальную яркость  $L_{min}$ , которая зависит от размеров, взаимного расположения и яркости отдельных участков воспроизводимого изображения, но абсолютно черными не будут. Поэтому для характеристики контраста изображения на практике можно ограничиться двумя крайними значениями: максимальным контрастом (полным контрастом), когда размер светлого участка составляет не более половины раstra кинескопа, и детальным контрастом, когда размер светлого участка сравним с удвоенной толщиной стекла экрана преобразователя «сигнал – свет». Максимальный контраст достигает значений 100...200, а детальный 15...25.

Измерить контраст можно по испытательным изображениям черно-белого поля, шахматного поля с малым числом клеток (например,  $2 \times 2$ ) и т. п. (рисунок 1.1, а, б). Во втором случае максимальный контраст может быть определен по выражению

$$K_{max} = \frac{L_1 + L_3}{L_2 + L_4}, \quad (1.2)$$

где  $L_1, L_3$  – яркости экрана, измеренные при отсутствии постороннего освещения в серединах белых квадратов;

$L_2, L_4$  – яркости экрана, измеренные при отсутствии постороннего освещения в серединах черных квадратов испытательного изображения.

Детальный контраст измеряют с помощью изображения небольшой черной площадки на белом фоне (рисунок 1.1, в) с линейными размерами в 10...15 раз меньше высоты экрана:

$$K_{dem} = \frac{L_2 + L_3 + L_4 + L_5}{4L_1}, \quad (1.3)$$

где  $L_1$  – минимальная яркость в пределах черной площадки;

$L_2 \dots L_5$  – яркости экрана вокруг нее.

Наличие внешней засветки с яркостью  $\Delta L$  снижает контрастность изображения:

$$K_{max}^* = \frac{L_{max} + \Delta L}{L_{min} + \Delta L} < K_{max}. \quad (1.4)$$

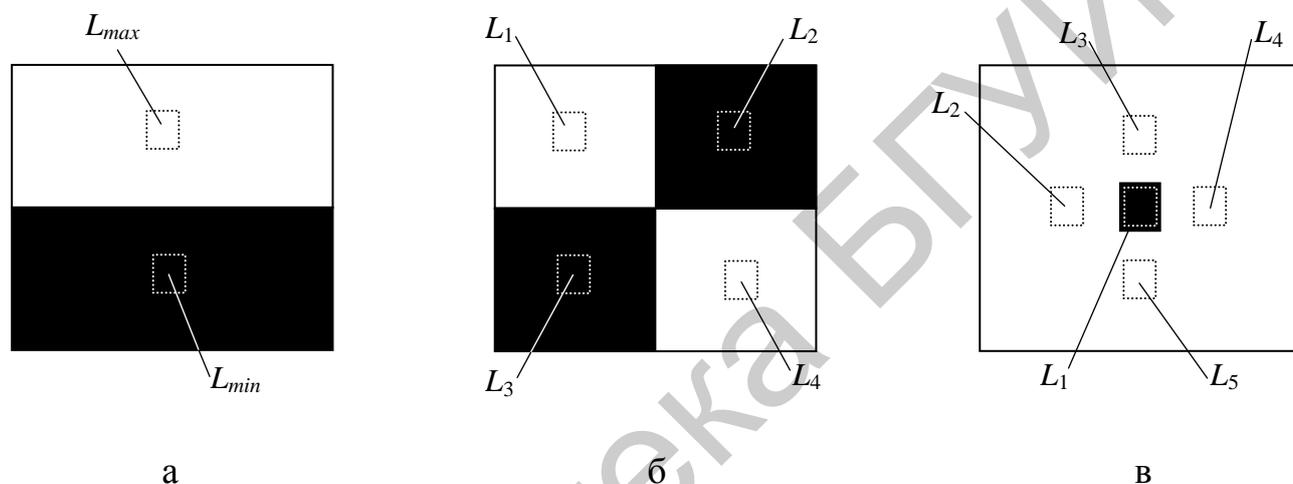


Рисунок 1.1 – Испытательные изображения для измерения контраста

**Количество градаций яркости** – количество полутонов серого в интервале между белым и черным (в интервале между максимальной и минимальной яркостью), отчетливо наблюдаемых на телевизионном экране.

Для оценки количества градаций яркости используют испытательное изображение в виде ряда полосок со ступенчато нарастающей или убывающей яркостью – *градационный клин*. Число воспроизводимых градаций яркости оценивают числом прямоугольников градационного клина, которые воспринимаются отличающимися по яркости от смежных прямоугольников.

Градационные полоски на испытательной таблице, проецируемой на светочувствительный элемент светозащитного преобразователя, должны иметь разные коэффициенты отражения. Если проецируется диапозитив с испытательным изображением, просвечиваемым внешним источником света, градационные полоски должны обладать разными коэффициентами пропускания.

В зависимости от закона изменения коэффициента отражения (или пропускания) полосок на исходном испытательном изображении различают три вида градационных клиньев. Для изображений первого вида коэффициент отражения при переходе от самой светлой полоски к темным уменьшается на постоянное значение – это *линейный градационный клин*. Он удобен при оценивании по ступенчатому ТВ сигналу линейности преобразования «свет – сигнал» или линейности канала передачи. Однако равные приращения яркости экрана между различными парами полосок градационного клина воспринимаются глазом как неодинаковые, что обусловлено особенностями субъективного восприятия приращений яркости. В изображениях второго вида коэффициент отражения при переходе от полоски к полоске изменяется по квадратичному закону, приращения же яркости воспринимаются не так сильно различающимися, как при линейном законе. Широкое распространение получили испытательные изображения третьего вида, содержащие логарифмический градационный клин, при котором различия в приращениях яркости между парами смежных полосок визуально обнаруживаются еще в меньшей степени.

Пусть на испытательном изображении имеется  $M$  градационных полосок, а коэффициенты отражения самой светлой и самой темной равны  $\rho_C$  и  $\rho_T$  соответственно. Тогда контраст изображения

$$K = \frac{\rho_C}{\rho_T}. \quad (1.5)$$

Порядковый номер полоски обозначим через  $m$ . Нумерация будет идти в сторону увеличения коэффициента отражения. Условие возрастания  $\rho$  с ростом  $m$  при  $\rho_1 = \rho_T$  и  $\rho_M = \rho_C$  характеризуется уравнениями:

- при линейном законе изменения:

$$\rho_m = \rho_T + (\rho_C - \rho_T) \frac{m-1}{M-1} = \rho_T \left[ 1 + (K-1) \frac{m-1}{M-1} \right]; \quad (1.6)$$

- при квадратичном законе:

$$\rho_m = \rho_T + (\rho_C - \rho_T) \left( \frac{m-1}{M-1} \right)^2 = \rho_T \left[ 1 + (K-1) \left( \frac{m-1}{M-1} \right)^2 \right]. \quad (1.7)$$

При логарифмическом законе отношение коэффициентов отражения каждой пары смежных полосок одинаково, т. е.

$$\rho_m / \rho_{m-1} = p. \quad (1.8)$$

С учетом (1.5) и (1.8) имеем

$$(\rho_2 / \rho_1)(\rho_3 / \rho_2)(\rho_4 / \rho_3) \dots (\rho_M / \rho_{M-1}) = p^{M-1} = K, \quad (1.9)$$

так как число сомножителей равно  $M - 1$ , а каждый из них равен  $p$ .

Ограничив ряд в (1.9) сомножителем  $\rho_m / \rho_{m-1}$ , получим  $\rho_m / \rho_T = p^{m-1}$ , откуда

$$\rho_m = \rho_T p^{m-1}. \quad (1.10)$$

Согласно (1.9)

$$p = K^{1/(M-1)}. \quad (1.11)$$

Подставляя (1.11) в (1.10), получим

$$\rho_m = \rho_T K^{(m-1)/(M-1)}. \quad (1.12)$$

Логарифмируя левую и правую части (1.12), имеем

$$\lg \rho_m = \lg \rho_T + \frac{m-1}{M-1} \cdot \lg K, \quad (1.13)$$

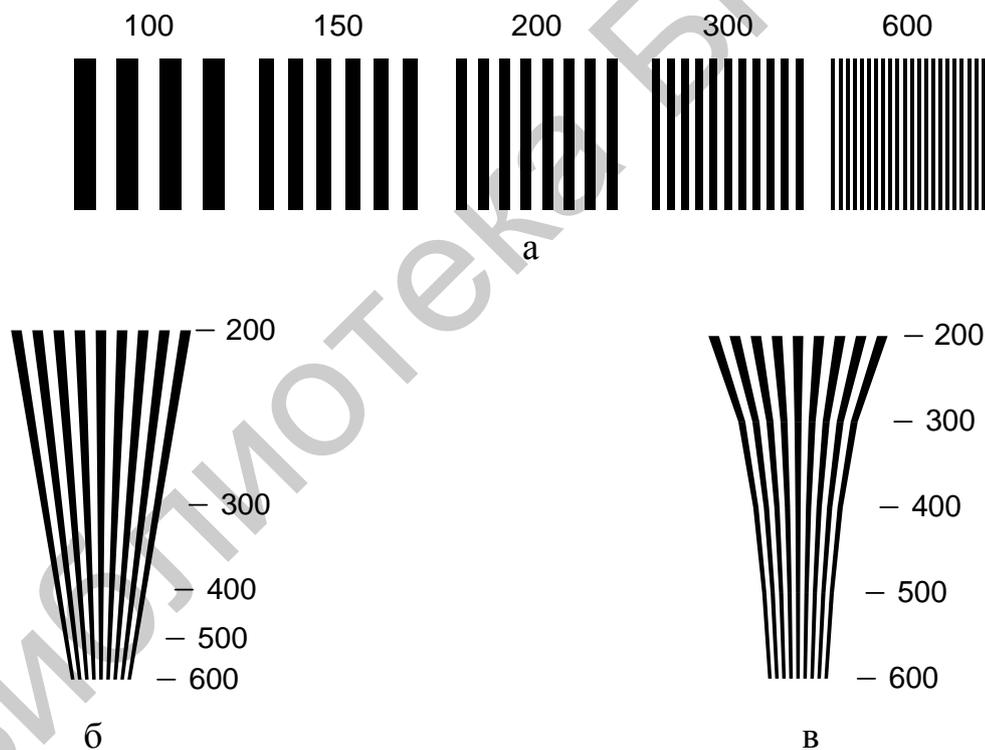
откуда видно, что логарифм коэффициента отражения возрастает с увеличением номера полосы.

Аналогично рассчитывают коэффициенты пропускания градационных полосок в диапозитивах.

**Четкость изображения.** Результирующим параметром, количественно характеризующим разрешающую способность ТВ системы, может служить четкость ТВ изображения специальной испытательной таблицы. Практически четкость изображения, а тем самым и разрешающую способность ТВ системы оценивают максимальным числом темных и светлых штрихов (линий), которые еще можно раздельно различать на ТВ изображении при данных условиях наблюдения. Четкость тем больше, чем выше резкость (воспроизведение границ яркостных переходов) и детальность (воспроизведение одиночных деталей малой протяженности). Наиболее важным параметром является резкость. Это связано с тем, что глаз наиболее «остро» реагирует на искажения очень часто встречающихся яркостных скачков.

Предельное значение четкости по горизонтали определяется полосой частот, пропускаемой телевизионным каналом, и его переходной характеристикой в области малых времен (верхних видеочастот). Четкость по вертикали определяется числом строк, на которое разлагается изображение. Четкость в обоих направлениях зависит также от яркости и контрастности изображения, конечного размера и формы апертуры считывающего и воспроизводящего лучей и ряда других факторов.

В соответствии со структурой ТВ изображения различают четкость изображения вдоль строк – *четкость по горизонтали* и поперек строк – *четкость по вертикали*. Для оценки четкости по горизонтали используют испытательные изображения, содержащие группы параллельных вертикальных черных и белых полосок (штрихов) равной ширины (рисунок 1.2, а). В пределах одной группы ширина белых и черных полосок одинакова.



а – группы вертикальных полосок;  
 б – клинообразные полосы с неравномерной шкалой;  
 в – клинообразные полосы с равномерной шкалой

Рисунок 1.2 – Испытательные изображения для определения четкости

Наряду с группами параллельных полосок для удобства отсчета промежуточных значений четкости используют испытательные изображения (миры)

в виде групп вертикальных или горизонтальных черных и белых клинообразных полосок (рисунок 1.2, б, в). Общее число полосок в каждой группе обычно не менее 15. Для определения наибольшей четкости изображения по вертикали или горизонтали находят тот участок группы полосок, где они еще различимы раздельно. Затем по мере сближения полоски сливаются в сплошной серый фон.

Ширину черных и белых полосок при изготовлении испытательных таблиц для оценки разрешающей способности рассчитывают исходя из того, что число чередующихся черных и белых полосок, которые укладываются по высоте изображения таблицы, равно

$$N = h / \Delta, \quad (1.14)$$

где  $\Delta$  – ширина одной полоски (черной или белой).

Для удобства отсчета величин, характеризующих четкость изображения, группы полосок обычно связывают с величиной  $N$ , а не  $\Delta$ , независимо от того, как расположены полоски – вертикально или горизонтально.

При высоте таблицы  $h_T$  ширина одной полоски  $\Delta = h_T / z$ , где  $z = N_{max}$  – номинальное число строк развертки, устанавливаемое стандартом, служит единицей измерения ширины полосок на испытательной таблице. Группе черных и белых полосок шириной  $\Delta$  соответствует отметка, указывающая максимальную четкость, например  $N_{max} = 625$ ; полоскам шириной в  $2\Delta$  – отметка  $N = 313$ ; а  $3\Delta$  – отметка  $N = 208$  и т. д. На испытательные таблицы, предназначенные для ТВ вещания, обычно наносят полоски, соответствующие оценкам четкости, кратным 50, например 200, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600 линий, а на клинообразных полосках ставят числовые отметки, кратные 100, например 300, 400, 500 и 600 линий.

При расчете ширины черных и белых полосок можно также учитывать, что фактически ТВ изображение всегда развертывается на число строк, меньшее номинального, поскольку часть строк каждого поля приходится на интервал гашения полей.

С учетом этого ширину черных и белых полосок в таблицах можно рассчитывать так:

$$\Delta = h_T / z(1 - \beta), \quad (1.15)$$

где  $\beta$  – относительная длительность гасящих импульсов полей.

Отметим, что в таблице 0249 у групп полосок разной ширины указано значение четности, соответствующее номинальному числу строк. Действительное же число черно-белых линий, которое помещается по высоте изображения таблицы при  $\beta = 0,08$ , оказывается на 8 % меньше, чем это указано в таблице, т. е. 575 на отметке 625, 550 на отметке 600 и т. д. Это учтено в таблице ИТ-72.

Для калибровки вертикальных полосок по эквивалентной частоте на некоторых таблицах рядом с группами вертикальных параллельных полосок или на определенных участках по высоте клинообразных полосок наносят соответствующие значения частот ТВ сигнала:

$$f_N = pf_K zN / 2(1 - \alpha), \quad (1.16)$$

где  $p$  – формат кадра;

$f_K$  – частота кадров;

$\alpha$  – относительная длительность строчных гасящих импульсов.

С учетом параметров разложения изображения по отечественному стандарту получаем в мегагерцах:

$$f_N = 0,0127N, \quad (1.17)$$

$$N \approx 79f_N. \quad (1.18)$$

На основании (1.17), (1.18) испытательные таблицы калибруют по частоте.

Оценить четкость изображения по вертикали с помощью клинообразных и параллельных горизонтальных полосок обычно трудно, в частности, из-за появления на экране посторонних узоров (муара).

При определении четкости изображения важно, чтобы испытательная таблица была правильно вписана в растр, т. е. чтобы рамка на таблице совпадала с границами раstra передающей трубки, образованного активными частями строк и полей. Для этого границы рамки дополнительно указывают стрелками или вершинами треугольников.

**Качество цветопередачи.** Многие параметры цветного ТВ изображения, например максимальная яркость, контраст, четкость и др., оценивают такими же методами, как и в черно-белом ТВ. Важнейшим параметром цветного ТВ изображения является качество воспроизведения цветов (качество цветопередачи). Оно определяется цветовой системой приемника и верностью цветопередачи в пределах ограничений, накладываемых системой цветного телевидения.

Цветовой треугольник системы приемника определяет область цветностей, которые могут быть воспроизведены на его экране, – это так называемый цветовой охват приемника. В пределах цветового треугольника системы приемника все цветности могут быть воспроизведены правильно, но на практике они претерпевают искажения.

Искажения цветопередачи в цветном ТВ изображении можно разделить на два основных вида: искажения на больших и на малых участках изображения, так как цветовосприятие и цветовоспроизведение на этих участках различны. Ограничения в восприятии цветов вызваны тем, что нормальное цветовое зрение сохраняет трехцветный характер при достаточно больших размерах рассматриваемых участков изображения (до углов зрения примерно 10'). При уменьшении участков зрение становится сначала двухцветным (при углах зрения около 2...10'), а затем бесцветным (при углах зрения менее 2'). Это означает, что при расстояниях наблюдения, равных 4...6 высот экрана, зрение сохраняет трехцветный характер для участков, размеры которых превышают восемь – десять элементов изображения, становится двухцветным при размерах участков в четыре – восемь элементов и бесцветным для самых мелких деталей.

Ограничения в воспроизведении цветов связаны также с исходным ТВ сигналом. На основании вышеуказанных свойств цветового зрения передаваемый сигнал цветного изображения составляют из широкополосного (6 МГц) сигнала яркости и двух узкополосных (до 1,5 МГц) цветоразностных сигналов. Поэтому детали изображения с размерами в направлении строк менее четырех элементов воспроизводятся в черно-белом виде. Следовательно, о качестве воспроизведения цветов можно судить лишь по цвету «крупных» участков ТВ изображения с размерами вдоль и поперек строк больше восьми – десяти элементов изображения.

Под *колориметрической верностью* цветопередачи понимают одинаковость цветностей передаваемого и воспроизводимого цветов при пропорциональности их яркостей.

Испытательные изображения для проверки верности цветопередачи содержат большие равномерные цветные участки с известными цветовыми координатами, которые сравнивают с измеренными значениями координат цветов соответствующих участков ТВ изображений. Обычно измерения проводят с помощью колориметра. Используют как визуальные, так и фотоэлектрические колориметры.

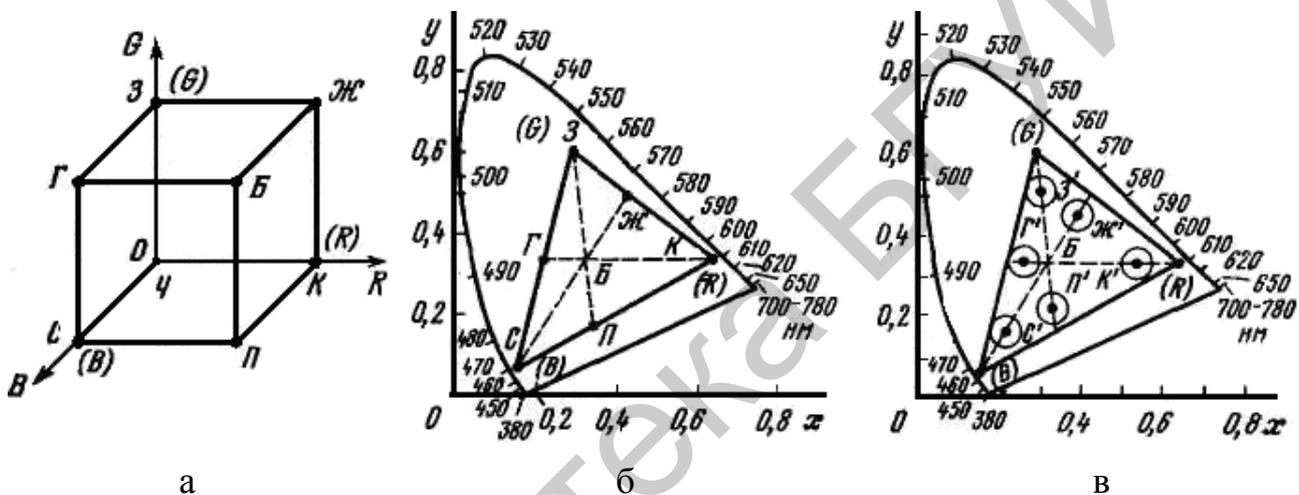
При проверке качества цветопередачи желательно передавать цвета, которым соответствуют максимальные значения формируемых ТВ сигналов, что позволяет оценить способность передачи трактом сигналов, соответствующих всему множеству цветов объектов. Оценим, каково это множество и какими немногими испытательными цветами можно охарактеризовать его наилучшим образом. Рассмотрим наиболее распространенные при ТВ передачах цвета несамосветящихся предметов, отражающих свет источника освещения. Предположим, студийная камера настроена так, что при передаче максимально яркого белого цвета при освещении равномерно и полно отражающей поверхности источником студийного освещения выходные сигналы камеры  $E_R$ ,  $E_G$  и  $E_B$  равны и максимальны (условно примем их равными единице). Тогда при передаче изображений всех несамосветящихся предметов при том же освещении размах ни одного из сигналов не превысит единицы. Следовательно, точки всех возможных цветов несамосветящихся предметов заключены в пределах куба (рисунок 1.3, а) в цветовом пространстве цветовой системы приемника для случая, когда в камере использована эта цветовая система.

Начало координат, для которого равенство цветов  $R = G = B = 0$ , соответствует черному цвету  $Ч$ . В единичных точках координатных осей расположены основные цвета ( $R$ ), ( $G$ ) и ( $B$ ). В противоположной началу координат вершине куба расположена точка белого цвета  $Б$  ( $R = G = B = 1$ ), а в трех оставшихся вершинах находятся дополнительные цвета: желтый  $Ж$ , голубой  $Г$  и пурпурный  $П$  с максимально возможными яркостью и насыщенностью. Для этих дополнительных цветов одна из цветовых координат равна нулю, а две остальные – единице. Например, для голубого цвета  $R = 0$ , а  $G = B = 1$ .

Точки цветов самосветящихся предметов, например источников освещения, могут выходить за пределы единичного куба, что бывает редко и при расчетах не учитывается. Поэтому при оценивании качества воспроизведения цветов и способности тракта передавать амплитудный диапазон сигналов, соответствующих всем передаваемым цветам, в качестве испытательных целесообразно взять, как это обычно и делается, цвета, соответствующие вершинам рассмотренного единичного куба. Цветности этих цветов показаны на графике цветностей  $x_u$  МКО (рисунок 1.3, б) для цветовой системы приемника, принятой у нас в стране. Основные цвета  $R$ ,  $G$  и  $B$  определяют цветовой треугольник системы приемника, ограничивающий область воспроизводимых цветов, точки дополнительных цветов  $Ж$ ,  $Г$  и  $П$  находятся на пересечениях со сторонами треугольника прямых, проведенных из его вершин через точку белого  $Б$ .

При искажениях цветов, возникающих в процессе передачи, точка воспроизводимой цветности сдвигается на графике цветностей (см. рисунок 1.3, б) в различных направлениях. При передаче цветностей, находящихся в вершинах или на сторонах цветового треугольника, на экране кинескопа могут быть обнаружены только те искажения, которые уводят эту точку внутрь треугольника, ибо цветности вне треугольника не могут быть воспроизведены в приемнике.

Поэтому для того чтобы в приемнике могли быть обнаружены все возможные сдвиги цветности, при испытаниях надо использовать цвета ненасыщенные, цветности которых отстоят от сторон цветового треугольника, подобно точкам  $K'$ ,  $Ж'$ ,  $З'$ ,  $Г'$ ,  $С'$ ,  $П'$  показанным на рисунке 1.3, в.



а – в цветовом пространстве;

б, в – на графике цветностей МКО  $xy$

Рисунок 1.3 – Положение точек цветов испытательного изображения

**Световые искажения изображения** характеризуют несоответствие распределения яркости (цветности) элементов воспроизводимого изображения оригиналу. Качество воспроизведения (пространственная протяженность) на изображении границ между крупными светлыми и темными участками характеризует *резкость* изображения. Для получения изображения с хорошей резкостью, т. е. с малой зоной размытости между смежными участками и отчетливыми их контурами, прежде всего необходимо, чтобы светозахватывающий преобразователь мог создавать ТВ сигнал в виде прямоугольных импульсов с крутыми фронтами и срезами при достаточном размахе между уровнями черного и белого, а канал передачи не искажал форму такого сигнала.

Искажение в виде увеличения длительности фронта видеоимпульсов приводит к размытости границ в изображении в направлении строчной развертки между двумя смежными участками разной яркости, т. е. к снижению резкости изображения.

Выбросы по фронту видеоимпульса создают темные и светлые *окантовки* на изображении вблизи границ перехода от темного к светлому. Например, после темных участков может наблюдаться одна или несколько узких полосок светлых или серых (окантовок), различие в яркости которых постепенно убывает. Они обнаруживаются глазом при относительной величине выброса 3...5 % и более в зависимости от его длительности.

Появление *повторных изображений* с постоянно затухающей интенсивностью (многоконтурность) связано с наличием в канале отраженных сигналов, вызванном, например, несоответствием сопротивления нагрузки волновому сопротивлению соединительного кабеля.

*Искажения цветопередачи* на малых участках изображения проявляются в виде цветных окантовок, искажений цвета на резких переходах яркости и цвета, уменьшения четкости, расслоений трех цветных растров при плохом их совмещении и т. п. Чтобы оценить эти искажения, используют различные испытательные таблицы, детали которых представляют собой черные, белые, серые или цветные прямоугольники (штрихи). При проверке совмещения трех цветных растров используют испытательные изображения в виде горизонтальных и вертикальных рядов точек, сетчатого поля и т. п.

Искажения плоской части импульсов ТВ сигнала приводят к искажениям яркости и цветности крупных участков изображения. Эти искажения называют *тянущимися продолжениями*, поскольку они наблюдаются на экране в виде горизонтальных светлых или темных полос с монотонно изменяющейся яркостью, которые тянутся от скачков яркости вправо, часто продолжаясь левее и ниже их. Тянущиеся продолжения связаны с искажениями сигналов в области средних времен, соизмеримыми с периодом строк. Количественно этот вид искажений характеризуют косвенным путем с помощью отношения величины спада или подъема (наклона) плоских участков сигнала к их средней величине напряжения. При неподвижном изображении глаз обнаруживает тянущиеся продолжения при их величине в 1...2 %.

Тянущиеся продолжения приводят к искажениям цвета (*размазывание цвета*). Особенность этих искажений состоит в том, что они повреждают крупные участки изображений, достаточные для нормального цветовосприятия и

возможности верного цветовоспроизведения. Чтобы обнаружить тянущиеся продолжения, можно использовать испытательные изображения в виде черных, серых и белых прямоугольников разных размеров.

Искажения переходной характеристики ТВ тракта в области больших времен приводят к неравномерности яркости крупных участков изображения в вертикальном направлении.

**Воздействие шумов и помех.** Воздействие на ТВ видеосигнал аддитивного *флуктуационного шума* проявляется в виде хаотически расположенных и перемещающихся на изображении темных и светлых точек. Они снижают четкость и контраст изображения, вызывают у зрителя неприятное ощущение из-за хаотического изменения яркости и цветности мелких участков изображения. Четкость изображения уменьшается из-за того, что размываются границы изменения яркости в изображении и могут оказаться незамеченными мелкие детали с небольшим контрастом. Контраст изображения уменьшается из-за дополнительного подсвечивания темных мест экрана шумами, что проявляется в сокращении числа различимых градаций яркости. Степень заметности флуктуационного шума на изображении зависит от характера распределения его энергии по спектру, а также яркости и цветности участков изображения.

Количественной оценкой степени мешающего действия шума является отношение сигнала к флуктуационному шуму (ОСШ), под которым понимают отношение размаха ТВ сигнала между контрольными уровнями черного и белого  $U_C$  к действующему (эффективному) напряжению шума  $U_{ш\ эф}$ , выраженное в децибелах:

$$\text{ОСШ} = 20 \lg(U_C / U_{ш\ эф}), \text{ дБ.} \quad (1.19)$$

При ОСШ = 46 дБ шумы практически не влияют на различимость градаций яркости. При ОСШ = 40 дБ максимально возможное число различимых градаций становится на 20 % меньше, чем при отсутствии шумов. Полученные различными исследователями значения ОСШ для помех с равномерным спектром составляют: пороговое значение (помеха едва заметна) – 41...48 дБ; допустимое значение (значение, при котором сохраняется достаточно высокое качество черно-белого ТВ изображения) – 30...40 дБ. Для хорошего качества цветного изображения в сигналах основных цветов ОСШ  $\geq 40$  дБ. При передаче сигналов цветного ТВ увеличивается мешающее действие помех в полосе частот, занимаемой сигналом цветности.

Зрительный анализатор человека и люминофор кинескопа усредняют яркости от отдельных выбросов флуктуационных помех в смежных кадрах. Поэтому, например, на одном кадре изображения, в частности «стоп-кадре», помеха более заметна, чем при наблюдении ТВ изображения, составленного из нескольких сменяющихся кадров.

Воздействие на ТВ сигнал аддитивных *периодических помех* проявляется в появлении на экране более-менее регулярной структуры в виде чередующихся темных и светлых участков. Степень заметности периодической помехи на изображении зависит от соотношения частоты помехи и частот разверток ТВ приемника, формы помехи, яркости и цветности участков изображения.

Количественной оценкой степени мешающего действия периодических помех является отношение сигнала к помехе (ОСП), под которым понимают отношение размаха ТВ сигнала между контрольными уровнями черного и белого  $U_C$  к размаху напряжения помехи  $U_{П}$ , выраженное в децибелах:

$$\text{ОСП} = 20 \lg(U_C / U_{П}), \text{ дБ.} \quad (1.20)$$

Зависимость степени заметности помехи от ее частоты учитывается при измерениях через *защитное отношение*. Это минимально допустимое ОСП, при котором обеспечивается заданное качество изображения.

**Координатные искажения раstra.** Телевизионная система должна обеспечить геометрическое подобие воспринимаемого зрителем масштабно измененного изображения относительно исходного изображения, под которым понимается изображение на светочувствительной поверхности преобразователя «свет – сигнал» передающей ТВ камеры. Нарушение геометрического подобия связано с искажениями телевизионного изображения, которые из-за различного характера их зрительного восприятия принято разделять на нелинейные и геометрические.

Нелинейные искажения раstra проявляют себя в нарушении масштаба отдельных участков воспроизводимого изображения по отношению к исходному. Они возникают вследствие непостоянства скорости развертывающего элемента во время прямого хода строчной (кадровой) развертки, что приводит к растягиванию или сужению отдельных участков раstra по горизонтали (вертикали). В матричных устройствах отображения нелинейные искажения изображения могут возникать из-за некорректных процедур преобразования формата передаваемого изображения к формату устройства отображения. При  $k_H < 5\%$  нелинейные искажения визуально обычно не обнаруживаются.

Геометрические искажения раstra проявляются в виде нарушения прямоугольности раstra, а также в искривлении краев раstra и прямых линий воспроизводимого изображения. Принято различать геометрические искажения следующих типов: «бочка», «подушка», «трапеция» и «параллелограмм». Эти искажения возникают вследствие неравенства радиуса кривизны экрана радиусу отклонения электронного луча в кинескопе, а также из-за дефектов сборки кинескопа и отклоняющей системы. Геометрические искажения возникают также при плохой фильтрации питающих напряжений и неисправностях выпрямителей питания и проявляются в искривлении вертикальных линий изображения и смещении строк раstra.

Проверка наличия нелинейных и геометрических искажений раstra производится по элементам, имеющим правильную геометрическую форму (окружности, квадраты и т. п.). Количественно искажения раstra оценивают коэффициентами нелинейных и геометрических искажений по вертикали и горизонтали. Типовыми изображениями при измерениях являются изображения шахматного или сетчатого поля.

Для определения величины нелинейных искажений раstra по горизонтали измеряют ширину наиболее широкой  $l_{max}$  и ширину наиболее узкой  $l_{min}$  полных клеток на изображении, а также общую ширину полных клеток  $l_{общ}$  вдоль горизонтальной оси экрана (рисунок 1.4). Коэффициенты нелинейных искажений раstra по горизонтали определяются по выражениям:

$$k_{H \text{гор}1} = \frac{l_{max} - l_{cp}}{l_{cp}} \cdot 100 \% ; \quad (1.21)$$

$$k_{H \text{гор}2} = \frac{l_{min} - l_{cp}}{l_{cp}} \cdot 100 \% ; \quad (1.22)$$

$$l_{cp} = \frac{l_{общ}}{N} , \quad (1.23)$$

где  $N$  – число полных клеток, вмещающихся в экран вдоль горизонтальной оси.

Для определения величины нелинейных искажений раstra по вертикали измеряют высоту наиболее широкой  $h_{max}$  и высоту наиболее узкой  $h_{min}$  полных клеток на изображении, а также общую ширину полных клеток  $h_{общ}$  вдоль вертикальной оси экрана. Коэффициенты нелинейных искажений раstra по вертикали определяются по выражениям:

$$k_{H\text{вер}1} = \frac{h_{\max} - h_{\text{ср}}}{h_{\text{ср}}} \cdot 100 \% ; \quad (1.24)$$

$$k_{H\text{вер}2} = \frac{h_{\min} - h_{\text{ср}}}{h_{\text{ср}}} \cdot 100 \% ; \quad (1.25)$$

$$h_{\text{ср}} = \frac{h_{\text{общ}}}{M} , \quad (1.26)$$

где  $M$  – число полных клеток, вмещающихся в экран вдоль вертикальной оси.

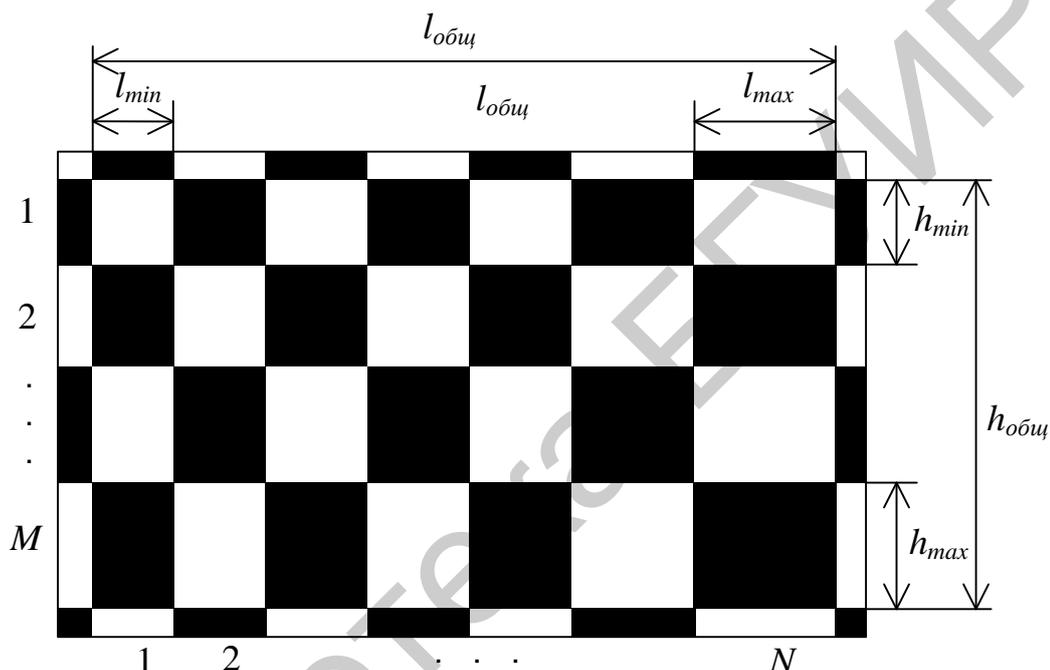


Рисунок 1.4 – Измерение параметров нелинейных искажений раstra

Рекомендуется для снижения относительной погрешности измерений использовать испытательные изображения с числом клеток  $20 \times 15$  или  $28 \times 21$  и проводить измерения размеров двух или трех смежных клеток соответственно.

Для определения коэффициентов геометрических искажений раstra на испытательном изображении шахматного или сетчатого выделяют четырехугольник  $ABCD$  максимальных размеров, состоящий только из полных квадратов. Измеряют расстояния  $AB$ ,  $BC$ ,  $CD$ ,  $AD$ ,  $AC$  и  $BD$  и максимальные отклонения  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $d_1$  и  $d_2$  воспроизводимых границ квадратов от прямых линий, соединяющих вершины четырехугольника (рисунок 1.5).

Геометрические искажения изображения  $k_g$  в процентах рассчитывают по формулам, приведенным ниже.

Искажения горизонтальных линий:

- типа «бочка»:

$$k_{\Gamma \text{ б.з}} = 2 \frac{a_1 + a_2}{AD + BC} \cdot 100; \quad (1.27)$$

- типа «подушка»:

$$k_{\Gamma \text{ п.з}} = 2 \frac{b_1 + b_2}{AD + BC} \cdot 100; \quad (1.28)$$

- типа «трапеция»:

$$k_{\Gamma \text{ т.з}} = \frac{|AD - BC|}{AD + BC} \cdot 100. \quad (1.29)$$

Искажения вертикальных линий:

- типа «бочка»:

$$k_{\tilde{A} \hat{a} \hat{a}} = 2 \frac{\tilde{n}_1 + \tilde{n}_2}{A\hat{A} + CD} \cdot 100; \quad (1.30)$$

- типа «подушка»:

$$k_{\tilde{A} \check{r} \hat{a}} = 2 \frac{d_1 + d_2}{A\hat{A} + CD} \cdot 100; \quad (1.31)$$

- типа «трапеция»:

$$k_{\tilde{A} \hat{\delta} \hat{a}} = \frac{|\hat{A}B - CD|}{AB + CD} \cdot 100. \quad (1.32)$$

Искажения типа «параллелограмм»:

$$k_{\Gamma \text{ нар}} = 2 \frac{|AC - BD|}{AC + BD} \cdot 100. \quad (1.33)$$

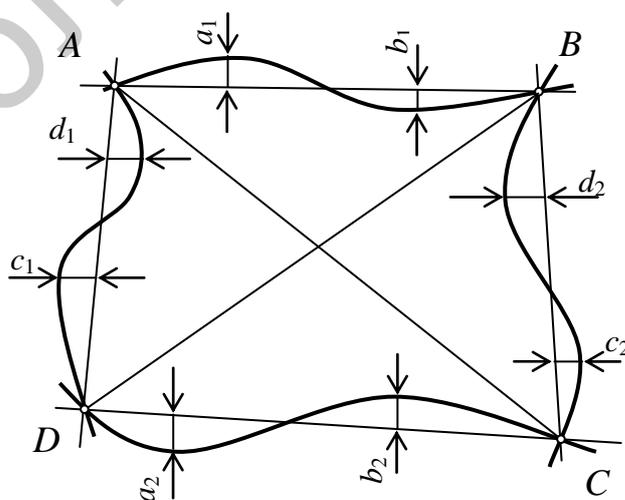


Рисунок 1.5 – Измерение параметров геометрических искажений раstra

### 1.2.3 Телевизионные испытательные изображения

Для измерения и оценки качества воспроизводимого ТВ изображения используют различные испытательные изображения. В качестве испытательных изображений применяют испытательные таблицы, специальные или универсальные, и сюжетные изображения.

Специальные испытательные таблицы предназначены для проверки одного или нескольких качественных показателей ТВ изображения. Универсальные таблицы, состоящие из совокупности элементов, составляющих содержание специальных таблиц, позволяют одновременно комплексно оценить важнейшие параметры изображения. Сюжетные изображения также предназначены для комплексной визуальной оценки качества воспроизводимого изображения, его соответствия известному оригиналу, и содержат элементы, наиболее часто встречающиеся в ТВ программах (лицо диктора крупным планом, высокодетальный план и т. д.). Кроме того, они зачастую содержат движение на изображении и, следовательно, позволяют контролировать возникающие при этом искажения. В настоящее время динамические сюжетные изображения широко применяются при проверке эффективности сжатия в цифровых ТВ системах с устранением избыточности.

В зависимости от использования и способа получения соответствующего ТВ сигнала испытательные изображения можно подразделить на *оптические*, *электронные* и *электрические*. Сюжетные изображения обычно бывают оптическими. Оптические испытательные изображения наносятся на непрозрачную (карты) или прозрачную основу (диапозитивы) [2] и предназначены для проецирования на преобразователь «свет – сигнал» передающей ТВ камеры. При съемке такого изображения задействуется весь комплекс аппаратуры формирования ТВ сигнала в аппаратно-студийном комплексе. Оптические испытательные таблицы позволяют проверить показатели качества сквозного ТВ тракта и незаменимы при проверке преобразователей «свет – сигнал» передающих камер. Однако для детальных испытаний приемной аппаратуры такой метод формирования нецелесообразен, так как требует длительного использования ТВ канала для передачи испытательного изображения, а не вещательной программы. Сигналы сюжетных изображений используются для контроля тракта в условиях, приближенных к реальным вещательным.

В процессе светозлектрического преобразования испытательных изображений с помощью передающей камеры формируемый ТВ сигнал бывает искажен уже на ее выходе. Поэтому в дальнейшем часто невозможно разделить ис-

кажения, создаваемые передающим устройством, от искажений, возникающих в проверяемой аппаратуре. Чтобы избежать этого, используют методы формирования сигналов испытательных таблиц без светоэлектрического преобразования – электронные и электрические.

При электронном методе формирования использовалась специальная электронно-лучевая трубка – моноскоп, на мишени которой наносилось изображение универсальной испытательной таблицы с использованием материалов, резко отличающихся коэффициентом вторичной эмиссии электронов. Этот метод широко применялся при эксплуатации телевизионных систем черно-белого изображения.

При электрическом методе ТВ сигнал испытательного изображения формируется специальным генератором. Посредством генераторов испытательных телевизионных сигналов (ГИТС) формируют обычно сигналы электрических испытательных таблиц (ЭИТ), содержащих обычно те же основные элементы, что и оптические таблицы (специальные или универсальные). Сигнал изображения ЭИТ кроме субъективной оценки качества изображения на экране воспроизводящего устройства позволяет объективно измерять ряд характеристик и параметров ТВ канала. Однако для этих целей чаще используются телевизионные измерительные сигналы, также формируемые электрическим способом. Кроме этого, электрический способ позволяет синтезировать телевизионные сигналы, которые невозможно получить оптическим способом (т. е. путем съемки какого-либо изображения), что предоставляет дополнительные возможности по контролю работоспособности оборудования.

Одной из первых универсальных испытательных таблиц для оценки качества ТВ изображения с разложением на 625 строк явилась таблица 0249, модификации которой (рисунок 1.6) широко применяются и по настоящее время (отличие приведенной таблицы от стандартной 0249 заключается в меньшем разрешении штриховых пар).

На таблице имеется центральная и четыре угловых окружности. Таблица разделена на двенадцать больших квадратов, каждый из которых разделен на четыре малых. Для определения координат в каждой части таблицы введены обозначения квадратов по вертикали буквами Б, В, Г, Д и по горизонтали цифрами со второй по седьмую. Буквы А и Е и цифры 1 и 8 на таблице не указаны.

При изменении формата отображения, а также из-за нелинейных и геометрических искажений раstra передающего или приемного устройства искажается форма квадратов и окружностей. Эти искажения легко замечаются визуально.

Для оценки четкости изображения на таблице предусмотрены клинообразные горизонтальные и вертикальные полосы (штрихи) в центральном круге и в кругах по углам. В нижней части центрального круга имеются группы вертикальных штрихов разной ширины. Вдоль вертикальных клинообразных штрихов сделаны отметки  $N = 100, 200, 300, 400$ , что соответствует значению четкости, выраженной в телевизионных линиях (твл). Промежуточные отметки без цифр соответствуют значениям  $N = 150, 250$  и  $350$  твл. Такие же отметки (черточки и точки без цифр) сделаны на горизонтальных клинях. Группы вертикальных параллельных штрихов (квадраты Б-2, -7, В-2, -7, Г-2, -7 и Д-2, -7) имеют четкость 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 и 450 твл.

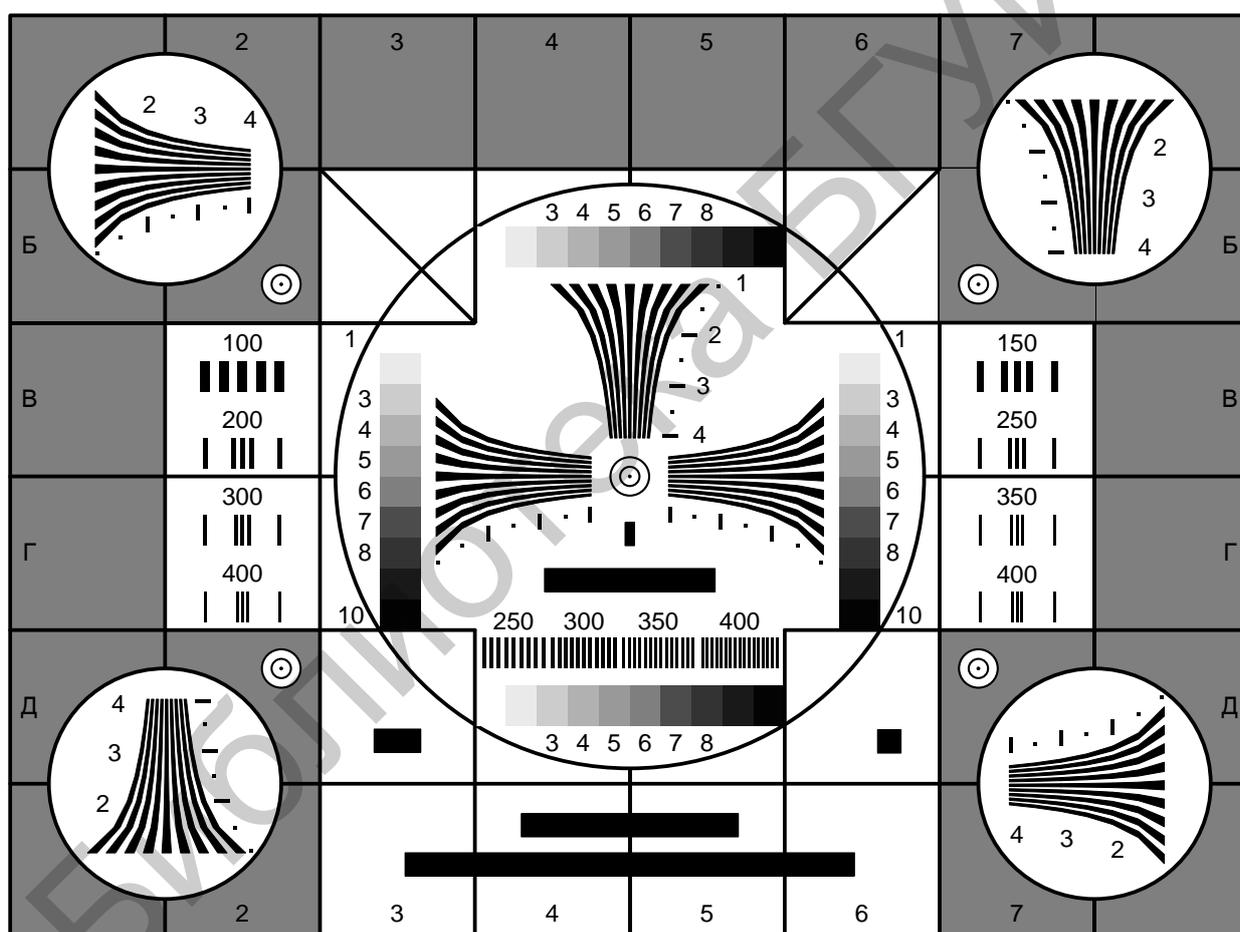


Рисунок 1.6 – Универсальная испытательная таблица типа 0249

Пять concentрических колец (в квадратах Б-2, Б-7, Д-2, Д-7 и в центре таблицы) служат для контроля равномерности фокусировки развертывающего луча по площади раstra.

На таблице в центральном круге имеются четыре шкалы серого (градационных клиньев), что позволяет правильно осуществить регулировку яркости приемного экрана. Каждая шкала содержит десять прямоугольников разной яркости, расположенных в виде ступеней постепенного перехода от черного к белому с изменением по логарифмическому закону.

В квадратах Г-4, -5, Д-3, Д-6, Е-3, -4, -5, -6 размещены черные прямоугольники, с помощью которых могут быть выявлены искажения в изображении в виде темных и светлых тянущихся продолжений.

Наличие повторных изображений можно обнаружить с помощью узких вертикальных черных штрихов на белом фоне, расположенных в квадратах на линиях В и Г. При отражениях обычно справа за штрихами наблюдаются повторные светлые или темные их изображения.

Качество чересстрочной развертки устанавливают по наклонным линиям, расположенным в углах таблицы 0249 (квадраты Б-3 и Б-6).

### 1.3 Схема проведения измерений

При выполнении лабораторной работы используется оптическая испытательная таблица, изображение которой снимается ТВ камерой (рисунок 1.7). Сформированный камерой ТВ видеосигнал по распределительной кабельной сети лаборатории подается на каждое рабочее место. Для подключения видеоконтрольного устройства (ВКУ) и осциллографа к источнику видеосигнала переключатель SA1 макета установить в положение «АТК».



Рисунок 1.7 – Схема проведения измерений

## 1.4 Порядок выполнения работы

По изображению универсальной испытательной таблицы типа ИТ 0249, воспроизводимом на экране видеоконтрольного устройства, измерить и оценить основные качественные показатели изображения.

1.4.1 Определить наличие и измерить величину нелинейных искажений раstra.

1.4.2 Определить наличие и измерить величину геометрических искажений раstra.

1.4.3 Определить четкость изображения в вертикальном и горизонтальном направлениях в центре и по краям изображения.

1.4.4 Используя режим выбора строки осциллографа, получить осциллограммы ТВ сигнала в части строки изображения с группой вертикальных полосок (клинообразных или параллельных), соответствующих меткам 150 и 350 твл. Зафиксировать (зарисовать, сфотографировать либо сохранить на USB-накопитель экранную копию) осциллограмму для помещения ее в отчет. Измерить размахи ТВ сигнала, соответствующие штриховым мирам. Сделать вывод о формировании мелких деталей изображения.

1.4.5 Определить число различимых градаций яркости.

1.4.6 Используя режим выбора строки осциллографа, получить осциллограммы ТВ сигнала в части строки изображения с градационным клином. Зафиксировать осциллограмму для помещения ее в отчет. Измерить уровни ТВ сигнала, соответствующие различным градациям яркости. Сопоставить полученные результаты с результатами пункта 1.4.5.

1.4.7 Оценить однородность яркости фона по полю изображения. Однородность яркости фона изображения можно оценить визуально по равномерности яркости серого фона, занимающего значительную часть поля таблицы. При этом дополнительную помощь оказывают четыре серые шкалы, так как при равномерной яркости фона на каждой шкале будет различаться одно и то же число градаций яркости.

1.4.8 Определить наличие и величину тянувшихся продолжений.

1.4.9 Определить наличие повторных изображений.

1.4.10 Оценить равномерность фокусировки электронного луча по полю изображения (для устройств отображения на базе кинескопа).

1.4.11 Оценить качество чересстрочной развертки.

## 1.5 Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Изображение испытательной таблицы.
3. Результаты измерений качественных показателей изображения и осциллограммы ТВ сигналов по пунктам 1.4.1–1.4.11;
4. Вывод.

## 1.6 Вопросы для самопроверки

1. По каким параметрам производится оценка качества телевизионного изображения?
2. Какие искажения переходной характеристики видеоканала вызывают:
  - а) ухудшение резкости;
  - б) появление окантовок;
  - в) появление тянущихся продолжений?
3. Поясните природу геометрических и нелинейных искажений раstra.
4. Какие причины могут привести к уменьшению количества воспроизводимых градаций яркости?
5. Что такое и как определяется четкость телевизионного изображения?
6. От чего зависит предельная четкость изображения по вертикали, горизонтали?
7. Какие искажения АЧХ видеоканала приводят к ухудшению резкости изображения?
8. Одинаково ли изменится четкость телевизионного изображения (по горизонтали и вертикали) при сокращении полосы пропускания видеоканала со стороны верхних частот?
9. Для определения качества цветовоспроизведения используется изображение цветных полос. С какими параметрами (яркость, насыщенность) целесообразнее выбрать испытательное изображение?
10. В чем заключаются достоинства и недостатки использования оптических испытательных изображений?
11. Поясните необходимость использования подвижных испытательных изображений для контроля качества в цифровых ТВ системах.
12. Поясните назначение больших окружностей на испытательной таблице 0249.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОМЕХ НА КАЧЕСТВО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

#### 2.1 Цель работы

Изучение характера влияния периодических помех и флуктуационного шума на качество телевизионного изображения. Измерение отношения сигнала к помехе. Исследование заметности периодической помехи в зависимости от соотношения между частотами помехи и развертки. Учет визуального восприятия шумов при их измерении.

#### 2.2 Краткие теоретические сведения

**Виды помех.** Помехи по-разному проявляют себя в ТВ тракте и на изображении. В зависимости от характера воздействия на сигнал различают аддитивные и мультипликативные помехи. Аддитивные помехи, проникая в тракт, суммируются с ТВ сигналом, мультипликативные – возникают только в процессе передачи ТВ сигнала и вызывают регулярные или нерегулярные изменения коэффициента передачи канала (уровня сигнала). В первом случае ТВ сигнал на выходе тракта (или какого-либо устройства) можно записать в виде  $U_{ТВ}^*(t) = U_{ТВ}(t) + U_{ном}(t)$ , во втором –  $U_{ТВ}^*(t) = U_{ТВ}(t) \cdot r(t)$ , где  $r(t)$  – множитель, учитывающий влияние мультипликативной помехи (например, замираний, возникающих при распространении радиосигнала).

В ТВ тракте существуют три основных вида помех: периодические, импульсные (непериодические) и флуктуационные. Первый и второй виды помех порождаются преимущественно внешними устройствами. При этом, если они создаются непреднамеренно во время работы различных электрических и радиоустройств, их считают индустриальными радиопомехами. Источниками таких помех могут быть другие радиостанции, в том числе и телевизионные (например, помехи от соседних и зеркальных каналов), электродвигатели транспортных средств и бытовых приборов и т. п.

Уровень таких помех особенно высок в городах, поэтому все предприятия и организации, на которых изготавливаются или эксплуатируются приборы и оборудование, являющиеся источниками радиопомех, обязаны принимать меры

по их ослаблению до уровня, соответствующего нормам Государственной инспекции по электросвязи (БелГИЭ).

Флуктуационные шумы обусловлены дискретной природой электрического тока, т. е. являются внутренними помехами ТВ системы.

Полезные сигналы при определенных обстоятельствах порождают помехи, которые описываются как сигналы. К ним относятся эхо-сигналы, обусловленные многолучевым приемом прямого и отраженных радиотелевизионных сигналов, а также рассогласованием в линии связи; перекрестные помехи между сигналами яркости и цветности в композитных ТВ системах, вызванные их совместной передачей в общей полосе частот и плохим разделением в приемнике.

При преобразовании аналогового сигнала в цифровой в связи с ограниченным числом уровней квантования появляются помехи, получившие название шумы квантования.

**Отношение сигнала к шуму (помехе).** Количественной оценкой степени мешающего действия шума (помехи) является отношение сигнала к шуму (помехе). В телевидении под отношением сигнала к флуктуационному шуму (ОСШ)  $\psi_{эф}$  (периодической помехе (ОСП)  $\psi_n$ ) понимают отношение размаха ТВ сигнала  $U_C$  между контрольными уровнями черного и белого к эффективному значению шума  $U_{Ш\ эф}$  (максимальному размаху помехи  $U_{П}$ ) в рабочей полосе видеочастот, которое выражают в децибелах [1, 3]:

$$\psi_{эф} = 20 \lg U_C / U_{Ш\ эф}, \quad (2.1)$$

$$\psi_n = 20 \lg U_C / U_{П}. \quad (2.2)$$

**Визуальное восприятие помех** зависит от ряда факторов, основным из которых является характер распределения помех по спектру: низкочастотные помехи более заметны, чем высокочастотные той же мощности. Это объясняется тем, что зрительная система является пространственно-временным фильтром нижних частот. Менее заметна также помеха, создающая неподвижный узор на изображении. Ослабление восприятия высокочастотных составляющих помех происходит потому, что зрительная система сглаживает выбросы помех, имеет пониженную контрастную чувствительность при наличии помех, а также вследствие сглаживающего действия послесвечения люминофора экрана.

Восприятие помех зависит и от яркости участков экрана (уровня ТВ сигнала): наиболее заметны помехи на уровне темно-серого, что объясняется зависимостью контрастной чувствительности зрения от яркости (в силу закона Ве-

бера – Фехнера глаз реагирует не на абсолютное изменение яркости, а на относительное).

**Влияние периодических помех.** В зависимости от соотношения частот помехи  $f_{ном}$ , полей  $f_{пол}$  и строк  $f_{стр}$  они могут по-разному проявляться на изображении ( $m$  и  $n$  – целые числа):

-  $f_{ном} \ll f_{пол}$  – в виде периодических изменений яркости всего изображения с разностной частотой;

-  $f_{ном} < f_{стр}$ ,  $f_{ном} = nf_{пол}$  – в виде неподвижных чередующихся горизонтальных темных и светлых полос;

-  $f_{ном} < f_{стр}$ ,  $f_{ном} \neq nf_{пол}$  – в виде горизонтальных полос, перемещающихся вверх или вниз по экрану;

-  $f_{ном} > f_{стр}$ ,  $f_{ном} = mf_{стр}$  – в виде неподвижных вертикальных полос;

-  $f_{ном} > f_{стр}$ ,  $f_{ном} \neq mf_{стр}$ ,  $f_{ном} = nf_{пол}$  – в виде неподвижных чередующихся наклонных темных и светлых полос;

-  $f_{ном} > f_{стр}$ ,  $f_{ном} \neq mf_{стр}$ ,  $f_{ном} \neq nf_{пол}$  – в виде наклонных темных и светлых полос, перемещающихся по экрану.

Периодические помехи могут создаваться и непосредственно в тракте передачи ТВ сигнала, например, при преобразовании частот в аппаратуре линии связи и в ТВ приемниках. Особое место занимают низкочастотные периодические помехи, проникающие в ТВ сигнал и в развертывающие устройства из цепей электропитания. Периодическую помеху с частотой питающей сети и с частотами ее гармоник до 1 кГц называют фоновой помехой.

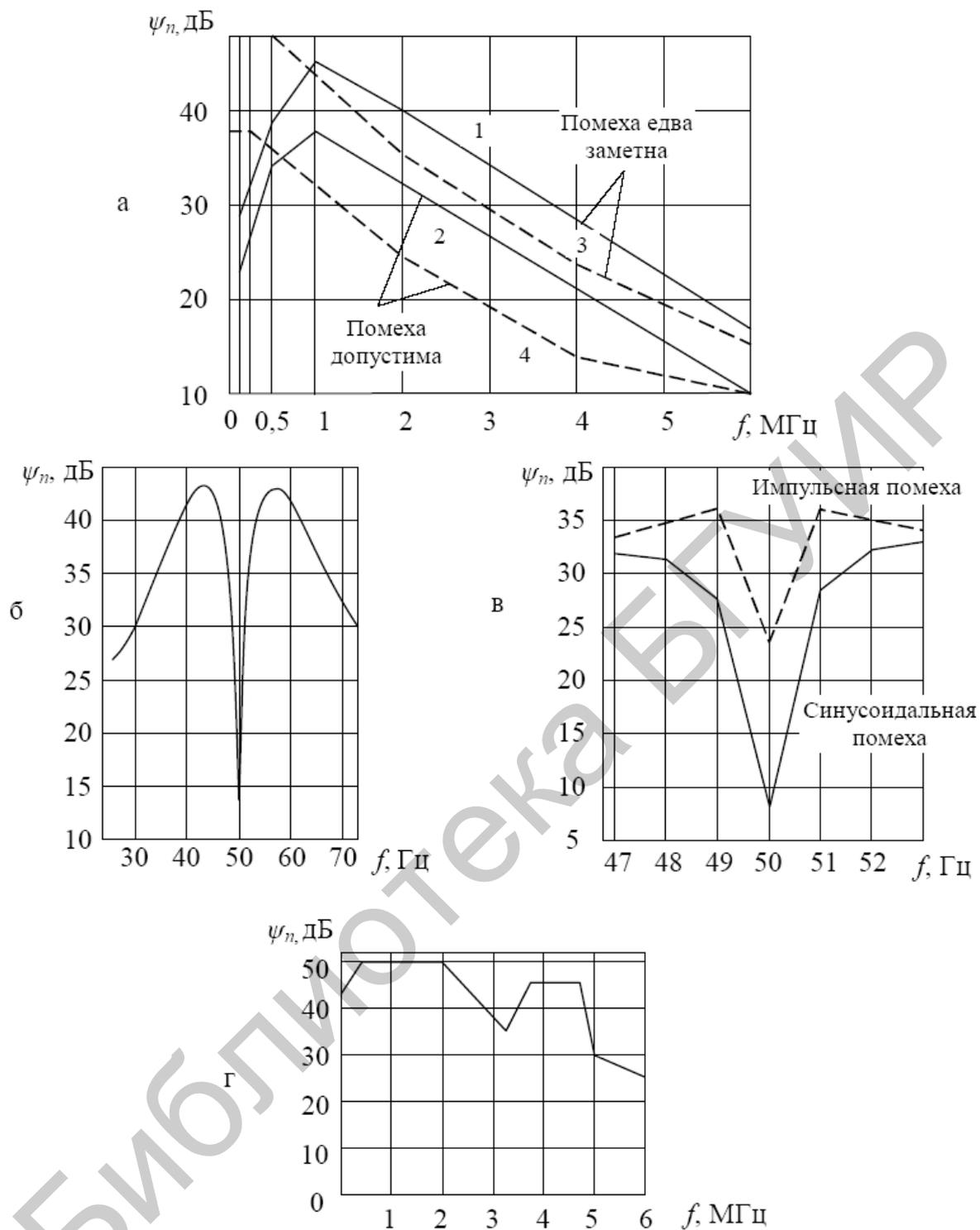
Зависимости допустимого ОСП от частоты  $\psi_n = \varphi(f)$  для черно-белых ТВ изображений показаны на рисунке 2.1, а – в; для системы ЦТВ СЕКАМ от немодулированной синусоидальной помехи – на рисунке 2.1, г.

Фоновая помеха, частота которой  $f_{ном} = f_{пол}$ , едва заметна на изображении при  $\psi_n \geq 14$  дБ, так как она создает неподвижный узор; если  $f_{ф} = f_{пол} \pm (6...8)$  Гц, то та же степень заметности обеспечивается при  $\psi_n = 43$  дБ (см. рисунок 2.1, б). При этом заметность периодических импульсных помех той же мощности больше (см. рисунок 2.1, в). Для того чтобы фоновая помеха не искажала цветное изображение,  $\psi_n$  должно быть не менее 46 дБ.

Известно, что синусоидальная помеха, частота которой кратна нечетной гармонике полустрочной частоты:

$$f_{ном} = (2n+1)(f_{стр} / 2), \quad (2.3)$$

примерно на 20 дБ заметна меньше, чем помеха с частотой  $f_{ном} = nf_{стр}$  [1].



- а – частота помехи кратна (кривые 1, 2) и не кратна (кривые 3, 4) частотам разверток;
- б – фоновая помеха едва заметна (оценка 4,5);
- в – фоновая помеха допустима (оценка 3);
- г – защитное отношение для системы ЦТВ СЕКАМ

Рисунок 2.1 – Защитные отношения для периодической помехи

Такая помеха приводит к дополнительному увеличению (например, во время положительных полуволн) и уменьшению (во время отрицательных полуволн) яркости изображения. При этом, как следует из условия (2.3), в течение строки укладывается нецелое число  $(n + 1/2)$  периодов (нечетное число полупериодов) помехи, что приводит к изменению на  $180^\circ$  ее фазы от строки к строке. Ввиду нечетного числа строк в кадре фаза синусоидальной помехи изменяется и от кадра к кадру. В результате помеха, отвечающая условию (2.3), создает на ТВ изображении шахматную структуру из светлых и темных точек, которые с каждым кадром меняются местами: на какую величину яркость каждого элемента увеличивается в одном кадре, на такую же в другом она уменьшается. При наблюдении (благодаря инерционности зрения) происходит пространственное и временное усреднение мешающего влияния помехи, т. е. создаваемые ею изображения как бы компенсируют друг друга. Это свойство, называемое самокомпенсацией, используется, например, в цветном телевидении при выборе значения поднесущей частоты, на которой передается информация о цветности.

**Влияние случайных импульсных помех.** Источники таких помех уже были рассмотрены. НЧ помехи, попадая в тракт ТВ сигнала, приводят к появлению на изображении хаотически расположенных темных и светлых горизонтальных штрихов разной длины в зависимости от параметров помехи.

**Влияние флуктуационного шума.** Эти помехи имеют широкий спектр частот с практически равномерным распределением энергии (поэтому часто их называют белым шумом по аналогии с белым светом, имеющим равномерное распределение энергии в видимом диапазоне). Они снижают четкость, контраст изображения и количество воспроизводимых градаций яркости. Их действие вызывает у зрителя неприятное ощущение из-за хаотического изменения яркости и цветности мелких участков изображения. Уменьшение четкости происходит потому, что помехи размывают резкие границы в изображении. Действие помех увеличивает яркость темных мест экрана и уменьшает контраст изображения, а также количество различимых градаций яркости. Детали с небольшой контрастностью становятся менее заметными.

**Учет визуального восприятия помех при измерении ОСШ. Взвешивающий фильтр.** В настоящее время при измерении ОСШ учитывается только первое из рассмотренных выше свойств зрения: большая заметность низкочастотных шумов (основная энергия шума сосредоточена в низкочастотной области спектра ТВ сигнала), чем высокочастотных шумов той же мощности. Если

этого не делать, результаты измерений не будут соответствовать визуальной оценке. Рассмотрим пример. Пусть имеются два ТВ канала, на выходах которых ОСШ (измеренное прибором) одинаково, но в первом спектр помех спадает с ростом частоты, а во втором, наоборот, растет (мощность помех одинакова в обоих каналах). Ясно, что на экране телевизора, подключенного ко второму каналу, заметность помехи в силу указанного свойства зрения будет меньшей. Следовательно, для полной характеристики помех недостаточно знать только величину ОСШ, поскольку при традиционном способе измерений ОСШ не учитываются особенности визуального восприятия шумов.

Для измерения уровня шума с учетом его видимости вводят понятие электрической модели частотной характеристики глаза, представляемой в виде ФНЧ. АЧХ этого фильтра и определяет относительную степень мешающего действия («вес») частотных составляющих помех на различных участках спектра ТВ сигнала, поэтому ее называют весовой функцией помех  $\Phi(f)$ , а сам фильтр – взвешивающим [1, 3]. В соответствии с рекомендациями МСЭ-Р квадрат АЧХ взвешивающего фильтра при измерениях помех в каналах передачи сигнала черно-белого телевидения, а также в каналах сигналов яркости и основных цветов в цветном телевидении описывается выражением

$$\Phi(f)_{\text{ЧБТВ}} = 1 / [1 + (2\pi f\tau)^2], \quad (2.4)$$

где  $\tau$  – постоянная времени взвешивающего фильтра, мкс;

$f$  – частота, МГц,

а характеристика затухания, выраженная в децибелах (рисунок 2.2, кривая 1), равна

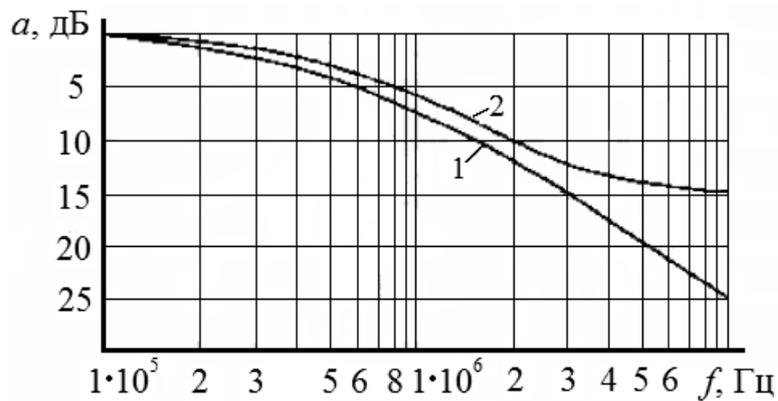
$$a(f) = 10 \lg 1/\Phi(f) = 10 \lg [1 + (2\pi f\tau)^2]. \quad (2.5)$$

Постоянная времени взвешивающего фильтра для канала передачи сигнала черно-белого телевидения (сигнала яркости) принята равной  $\tau = 0,33$  мкс, а для каналов сигналов основных цветов «красного», «синего» и «зеленого» – соответственно  $\tau_R = 0,17$  мкс,  $\tau_B = 0,15$  мкс,  $\tau_G = 0,21$  мкс.

Мощность помехи определяется по известной спектральной плотности мощности  $G_n(f)$ :

$$P = \int_{f_n}^{f_s} G_n(f) df, \text{ Вт}, \quad (2.6)$$

где  $f_n$  и  $f_s$  – нижняя и верхняя частоты ТВ канала.



- 1 – для канала сигнала яркости;  
2 – универсального

Рисунок 2.2 – Характеристики затухания взвешивающих фильтров

Если теперь на входе прибора, измеряющего мощность помехи, включить взвешивающий фильтр с АЧХ (2.4), его показания будут соответствовать визуально воспринимаемой мощности помехи  $P_{виз}$ , которая характеризует видность помехи ( $P_{виз}$  – это по сути мощность помехи на выходе некоторого светочувствительного прибора, аналогичного аппарату зрения). Таким образом, мощность помехи на выходе взвешивающего фильтра

$$P_{вых} = P_{взв} = \int_{f_H}^{f_B} G_n(f) \Phi(f) df, \text{ Вт}, \quad (2.7)$$

и равна визуально воспринимаемой  $P_{виз}$ .

При использовании взвешивающего фильтра, независимо от спектрального состава помех  $G_n(f)$ , равные результаты измерений  $P_{вых}$  будут соответствовать практически одинаковому восприятию флуктуационных помех на изображении.

Затухание, вносимое взвешивающим фильтром, определяется как отношение мощности помехи на входе фильтра  $P_{вх}$  (2.6) к мощности помехи на его выходе  $P_{вых}$  (2.7):

$$A = 10 \lg \frac{P_{вх}}{P_{вых}} = 10 \lg \frac{\int_{f_H}^{f_B} G_n(f) df}{\int_{f_H}^{f_B} G_n(f) \Phi(f) df}, \text{ дБ}, \quad (2.8)$$

и характеризует эффективность подавления зрительной системой помех на изображении.

В цветном телевидении в ВЧ области спектра полного сигнала (примерно от 3 до 6 МГц) передается информация о цветности. В ТВ приемниках находящиеся в этой полосе частот спектральные составляющие флуктуационных помех демодулируются вместе с сигналом цветности. Продетектированная флуктуационная помеха, являющаяся более низкочастотной ( $\Delta F$  определяется полосой частот цветоразностных сигналов 0...1,3 МГц) и, следовательно, визуально более заметной, воздействует на изображение совместно с флуктуационной помехой в канале яркости, увеличивая тем самым общий уровень помех. В связи с этим для измерений в трактах передачи полного цветового ТВ сигнала применяется другой взвешивающий фильтр [1, 3]:

$$\Phi(f)_{\text{ЦТВ}} = [1 + (2\pi f\tau/\alpha)^2] / [1 + (2\pi f\tau)^2(1+1/\alpha)^2], \quad (2.9)$$

где  $\tau = 0,245$  мкс,  $\alpha = 4,5$ .

Затухание этого фильтра в ВЧ области (см. рисунок 2.2, кривая 2) меньше, чем фильтра (2.4): при  $f \rightarrow \infty$  значение затухания, определяемого по выражению (2.5), равно  $a_{\text{ЧТВ}} \rightarrow 0$ ,  $a_{\text{ЦТВ}} \rightarrow 14,8$  дБ.

Характеристика фильтра (2.9) подобрана таким образом, чтобы его можно было применять для измерений помех при международном обмене ТВ программами, когда по линиям связи передаются сигналы различных систем цветного телевидения. Поэтому фильтр называется универсальным.

Отношение сигнала к взвешенной помехе на выходе фильтра  $\psi_{\text{эф. вэв}}$  определяют суммированием в децибелах ОСШ  $\psi_{\text{эф}}$  на входе фильтра и затухания  $A$ , вносимого взвешивающим фильтром:

$$\psi_{\text{эф. вэв}} = \psi_{\text{эф}} + A. \quad (2.10)$$

Для наиболее характерных типов помех, например с равномерной или квадратичной спектральной плотностями, затухания  $A$ , вносимые взвешивающим фильтром, определены математически, что позволяет упростить процесс измерения  $\psi_{\text{эф. вэв}}$  [1].

**Измерение ОСШ.** Существует много способов измерения ОСШ, подробно описанных в [1]. Рассмотрим осциллографический способ, который, однако, позволяет измерять отношение размаха сигнала  $U_C$  не к эффективному напряжению флуктуационного шума  $U_{\text{Ш эф}}$ , а к его размаху – квазипиковому значению  $U_{\text{Ш кп}}$ :

$$\psi_{\text{кп}} = 20 \lg U_C / U_{\text{Ш кп}}. \quad (2.11)$$

Под размахом шума понимают некоторый условный размах светящейся размытой полосы – «шумовой дорожки», образуемой помехой на экране осциллографа, сверху и снизу которой наблюдаются хаотически возникающие узкие выбросы. При этом, чем больше мгновенные выбросы превышают  $U_{Ш\ \text{эф}}$ , тем они менее вероятны. Отношение квазипикового напряжения шума  $U_{Ш\ \text{кп}}$  к эффективному напряжению помехи  $U_{Ш\ \text{эф}}$  называют пик-фактором:

$$K_n = U_{Ш\ \text{кп}}/U_{Ш\ \text{эф}}. \quad (2.12)$$

Величина пик-фактора  $K_n$  определена экспериментально и для флуктуационного шума с нормальным законом распределения считается равной  $K_n = 6,5...7$  (16...17 дБ).

Представление об  $U_{Ш\ \text{эф}}$  и  $U_{Ш\ \text{кп}}$  можно получить, если воспользоваться выражением для распределения плотности вероятности мгновенных значений флуктуационной помехи с нормальным законом и нулевым средним:

$$p(u) = \frac{1}{U_{Ш\ \text{эф}}\sqrt{2\pi}} \exp\left[-0,5\left(\frac{u}{U_{Ш\ \text{эф}}}\right)^2\right]. \quad (2.13)$$

Тогда при  $u = 0$   $p(0) = p_{\max} = \frac{1}{U_{Ш\ \text{эф}}\sqrt{2\pi}}$ , а при  $u = U_{Ш\ \text{эф}}$

$$p(U_{Ш\ \text{эф}}) = \frac{1}{U_{Ш\ \text{эф}}\sqrt{2\pi}} \exp(-0,5),$$

а их отношение

$$p(U_{Ш\ \text{эф}})/p(0) = \exp(-0,5) = 0,607 = L_{n\ \text{эф}}/L_{\max}, \quad (2.14)$$

где  $L_{n\ \text{эф}}$  и  $L_{\max}$  – средние яркости свечения экрана осциллографа в точках  $u = U_{Ш\ \text{эф}}$  и  $u = 0$ .

Действительно, средняя яркость свечения экрана осциллографа вдоль вертикальной оси распределена по тому же закону, что и помеха. Поэтому значение  $U_{Ш\ \text{эф}}$  можно определить в соответствии с (2.14) фотоэлектрическим преобразователем с узкой горизонтальной щелью, параллельной линии развертки.

Расчет ОСШ при измерении с помощью осциллографа производят по выражению (2.11), а затем, учитывая (2.12), пересчитывают в соответствии с определением (2.1) по выражению

$$\psi_{\text{эф}} = 20 \lg U_C / (U_{Ш\ \text{кп}}/K_n) = 20 \lg U_C / U_{Ш\ \text{кп}} + 20 \lg K_n = \psi_{\text{кп}} + (16...17), \text{ дБ}. \quad (2.15)$$

Преимущество осциллографического способа – простота, основной недостаток – невысокая точность измерений из-за трудностей четкого определения границ, между которыми следует измерять размах помехи, что ведет к большим расхождениям результатов измерений. Действительно, при  $\psi_{эф} = 40$  дБ (помеха едва заметна) и размахе сигнала на экране осциллографа, равном 50 мм, эффективное напряжение помехи составляет 0,5 мм, а видимый на экране осциллографа размах помехи – примерно 3,5 мм. Если при визуальном отсчете линейных размеров помехи и сигнала ошибка составит всего лишь  $\pm 1$  мм, ошибка измерений будет около 6 дБ.

Повысить точность измерений можно путем увеличения масштаба помехи на экране осциллографа. Чтобы при этом не происходило ограничения помехи, наложенной на сигнал, необходимо, например, разделить помеху и сигнал. Другие методы повышения точности измерений с помощью осциллографа описаны в [1].

**Три варианта измерения и расчета  $\psi_{эф}$  и  $\psi_{эф. в3в}$ .** Первый вариант соответствует сравнению по величине ОСШ ТВ систем (или устройств), имеющих одинаковый характер спектра флуктуационных помех (равномерный, квадратичный или другой). В этом случае сравнение достаточно проводить по измеренным величинам  $\psi_{эф}$  ( $\psi_{кп}$ ), так как при одинаковом характере спектра помех значения  $\psi_{эф. в3в}$  в двух сравниваемых системах будут отличаться от  $\psi_{эф}$  на одну и ту же величину затухания  $A$  взвешивающего фильтра.

Во втором варианте характер спектра флуктуационных помех различен, но соответствует типовому или задан математически. Тогда необходимо определить  $\psi_{эф. в3в}$  в каждой системе. Как и в первом варианте измеряют  $\psi_{эф}$ , а  $\psi_{эф. в3в}$  рассчитывают по (2.10), если затухание  $A$  известно для данного типа помех, если нет, то его предварительно определяют по (2.8), зная  $G_n(f)$  и  $\Phi(f)$ .

Третий вариант отличается от второго тем, что зависимости  $G_n(f)$  для сравниваемых систем (или устройств) математически не заданы. Для нахождения  $\psi_{эф. в3в}$ , как и ранее, сначала определяют  $\psi_{эф}$ . Затем, аппроксимируя форму кривой спектральной плотности  $G_n(f)$  помех, наблюдаемую на анализаторе спектра, получают математическое выражение для  $G_n(f)$  и рассчитывают  $\psi_{эф. в3в}$ , как во втором варианте. Более простым способом определения  $\psi_{эф. в3в}$  в этом случае является включение взвешивающего фильтра на входе измерительного прибора.

**Нормы на ОСШ.** Связь между ОСШ и качеством изображения очевидна: чем выше ОСШ, тем лучше качество. Однако количественные соотношения

имеют довольно большой разброс [1]. Считается, что изображение отличного качества воспроизводится ТВ системой, ОСШ на выходе которой для помех с равномерным спектром выше 46 дБ (200 раз); пороговое значение (помеха едва заметна) – 41...46 дБ; допустимое значение (при котором обеспечивается достаточно высокое качество изображения) – 30...40 дБ. При ОСШ, равном 40 дБ, количество различимых градаций яркости на 20 % меньше, чем при отсутствии шума.

### 2.3 Схема проведения измерений

Структурная схема лабораторной установки представлена на рисунке 2.3.

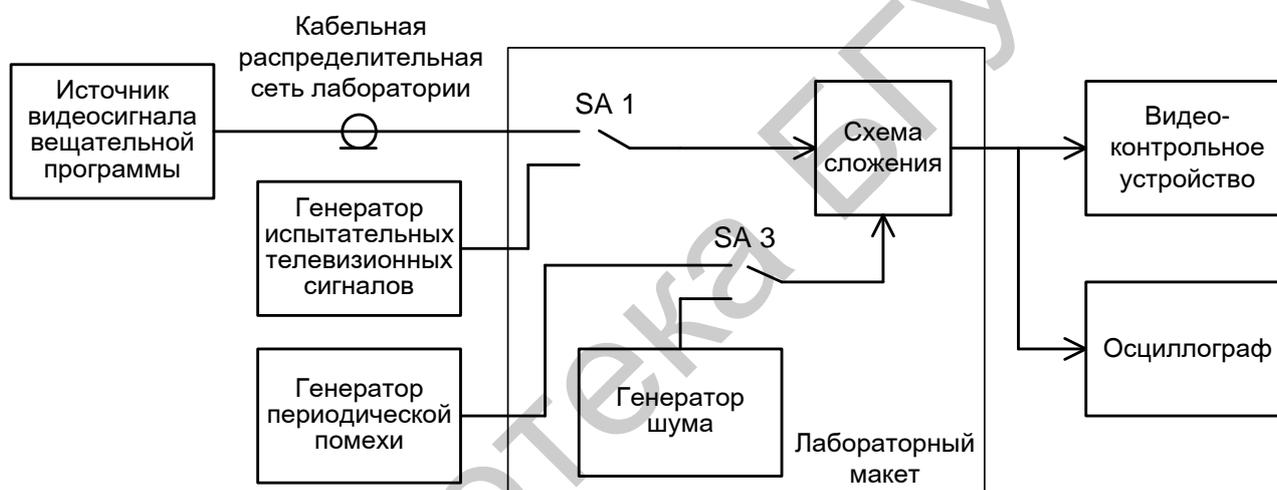


Рисунок 2.3 – Схема проведения измерений

Лабораторный макет кроме коммутации входных телевизионных видеосигналов (переключатель SA1) обеспечивает их сложение с помехой, имитируя тем самым воздействие на видеосигнал аддитивной помехи. В качестве источника ТВ сигнала испытательного изображения может быть использован генератор сигналов черно-белого и цветного телевидения (ГИТС) либо ПЭВМ с платой ввода-вывода ТВ сигналов и соответствующим программным обеспечением, установленные на рабочем месте. Выбор вида мешающих воздействий (периодическая помеха либо флуктуационный шум) осуществляется при помощи переключателя SA 3 лабораторного макета. В качестве источника периодических помех используется внешний генератор, установленный на каждом рабочем месте и обеспечивающий формирование сигналов синусоидальной или

прямоугольной формы с регулируемой частотой и амплитудой. Флуктуационный шум с возможностью регулировки уровня формируется генератором шума, входящим в состав лабораторного макета.

## 2.4 Порядок выполнения работы

2.4.1 Исследование влияния периодических помех на качество ТВ изображения.

2.4.1.1 Подать на вход видеоконтрольного устройства (ВКУ) ТВ сигнал от ГИТС (например, вертикальные полосы) вместе с периодической помехой прямоугольной формы с частотой 50 Гц, при которой она неподвижна на изображении. Установить на генераторе такое напряжение помехи, при котором она едва заметна или допустима (условие, соблюдаемое при всех измерениях). Качество изображения в соответствии с рекомендациями МСЭ-Р может оцениваться по шкале ухудшений: 5 – помеха незаметна; 4 – заметна, но не мешает; 3 – заметна, немного мешает; 2 – мешает, надоедает; 1 – сильно мешает.

Измерить размахи сигнала, помехи и рассчитать ОСП по выражению (2.2).

Убедиться, что при отклонении частоты помехи от 50 Гц помеха начинает перемещаться по изображению и ее заметность возрастает. Измерить ОСП для любых двух частот, отличающихся от 50 Гц на  $\pm (1 \dots 5)$  Гц. По результатам трех измерений построить график, аналогичный представленному на рисунке 2.1, в.

Сделать вывод о заметности помех на разных уровнях яркости изображения.

2.4.1.2 Определить допустимый уровень помехи прямоугольной формы и синусоидальной помехи, частота которой: а) кратна частоте строк; б) удовлетворяет условию (2.3). Объяснить полученный результат.

2.4.1.3 Аналогично подпункту 2.4.1.2 измерить ОСП при подаче на вход ВКУ ТВ сигнала реального изображения вместе с периодической помехой 50 Гц. Сделать вывод о допустимом уровне помех на реальных и испытательных изображениях.

2.4.2 Исследование влияния флуктуационного шума на качество ТВ изображения.

2.4.2.1 Измерить ОСШ для ТВ сигналов, поступающих с ГИТС и вещательной программы. Расчет невзвешенного ОСШ производится по выражению (2.15), взвешенного – по (2.10), предполагая, что помеха имеет равномерную спектральную плотность. Если помеха на изображении незаметна, результаты измерений будут соответствовать изображению отличного качества.

2.4.2.2 Включить генератор флуктуационного шума и подать его в тракт ТВ сигнала, например, вещательной программы АТК. Изменяя мощность шума, добиться изображений хорошего и плохого качества, каждый раз измеряя ОСШ.

## 2.5 Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Результаты исследований по пунктам 2.4.1, 2.4.2 (результаты измерений, графики, пояснение результатов измерений и расчетов).
3. Вывод.

## 2.6 Вопросы для самопроверки

1. Какие виды помех наиболее характерны для ТВ трактов?
2. Назовите источники помех и их основные характеристики.
3. Как влияют на качество ТВ изображения периодические, импульсные и флуктуационные помехи?
4. Что понимают под ОСП в телевидении?
5. При каких соотношениях между частотами периодической помехи, строк и полей они создают неподвижные или перемещающиеся полосы?
6. Какие периодические помехи менее заметны: частота которых кратна или не кратна частотам развертки? Приведите пример по результатам измерений.
7. Какая из помех – низкочастотная или высокочастотная – создает более заметную структуру на изображении? Почему?
8. Объясните механизм меньшей заметности синусоидальной помехи, частота которой удовлетворяет условию (2.3).
9. Почему и как зависит заметность помех от яркости ТВ экрана?

10. От каких факторов зависит визуальное восприятие периодической помехи и какие из них учитываются при измерении ОСП?
11. Как зависит визуальное восприятие флуктуационного шума от распределения его энергии по спектру?
12. Объясните назначение взвешивающего фильтра.
13. Почему визуально оцениваемая зашумленность изображений на двух ТВ приемниках может оказаться разной при одинаковом ОСШ?
14. Поясните принцип измерения ОСШ с помощью осциллографа.
15. Поясните разницу между эффективным и квазипиковым напряжением флуктуационного шума.
16. Одинакова ли видность шумов на изображении, если спектр у одного равномерен, у другого – спадает с ростом частоты, а показания измерителя мощности с взвешивающим фильтром равны?
17. Как изменятся показания прибора (см. 16-й вопрос), если измерения произвести без взвешивающего фильтра?
18. При каком условии флуктуационные помехи с разными спектрами одинаково заметны на изображении?
19. Почему характеристика взвешивающего фильтра, являющегося электрической моделью глаза, для цветного телевидения изменена по сравнению с черно-белым?
20. На каком из изображений цветовых полей – красном, зеленом, синем – шум будет наиболее заметен?
21. От каких факторов зависит визуальное восприятие шума и какие из них учитываются при измерении ОСШ?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

### ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ КАНАЛОВ ПЕРЕДАЧИ ВИДЕОСИГНАЛОВ

#### 3.1 Цель работы

Изучение методов измерения основных характеристик и параметров аналоговых и цифровых каналов передачи видеосигналов; изучение состава измерительных сигналов и их назначения; измерение характеристик и параметров канала передачи видеосигналов.

#### 3.2 Краткие теоретические сведения

##### 3.2.1 Измерения в каналах передачи аналоговых видеосигналов

ТВ сигналы на выходе преобразователя «свет – сигнал» передающей телевизионной камеры являются электрическим аналогом передаваемого изображения. Поэтому основное требование к их передаче в аналоговом виде в исходной полосе частот (на уровне сигналов основных цветов, сигнала яркости и цветоразностных или же полного цветового ТВ сигнала) – обеспечение минимальных искажений. При определении качественных показателей каналов передачи аналоговых видеосигналов используют соответствующие характеристики и параметры четырехполюсника. Искажения ТВ сигналов, вносимые видеоканалом, разделяются на линейные и нелинейные.

*Линейные искажения* ТВ видеосигналов возникают из-за неидеальности частотных характеристик. Среди частотных характеристик различают амплитудно-частотную (АЧХ), фазочастотную (ФЧХ) характеристики и тесно с ней связанную характеристику группового времени запаздывания (ХГВЗ).

АЧХ определяется как зависимость модуля комплексного коэффициента передачи канала (устройства) от частоты. В идеале сквозная АЧХ канала должна быть равномерной в полосе частот передаваемого сигнала.

Искажения АЧХ количественно определяются отношением модуля коэффициента передачи  $K(\omega_i)$  синусоидального напряжения данной частоты  $\omega_i$  к модулю коэффициента передачи  $K(\omega_0)$  на частоте  $\omega_0$ , по отношению к которой измеряются искажения, т. е.  $p = K(\omega_i)/K(\omega_0)$ . Величину  $p$  называют коэффициентом частотных искажений.

При контроле АЧХ используется достаточно много методов, среди которых можно выделить метод измерения по частотным точкам и метод качающейся частоты.

При первом методе на вход проверяемого устройства (канала) с выхода генератора гармонических колебаний подают напряжение с постоянной амплитудой фиксированной частоты. На выходе устройства измеряют величину напряжения (например, с помощью осциллографа) и рассчитывают коэффициент передачи устройства на частоте измерений. Последовательно изменяя частоту сигнала генератора, получают ряд значений коэффициента передачи для соответствующих частотных точек. Данный метод не обладает высокой оперативностью и наглядностью результатов измерений (представление о форме АЧХ можно получить только проведя весь комплекс измерений), однако обладает высокой точностью.

Второй метод заключается в подаче на вход проверяемого устройства частотно-модулированного измерительного сигнала (сигнала качающейся частоты). На вход проверяемого устройства с выхода генератора качающейся частоты подают напряжение с постоянной амплитудой, частота которого обычно линейно изменяется в пределах измеряемого участка частотной характеристики. При этом на выходе проверяемого устройства появляются модулированные по амплитуде колебания, огибающая которых отражает форму АЧХ этого устройства. Эти колебания поступают на амплитудный детектор, выделяющий напряжение огибающей, которое после усиления подают на вход осциллографа. Развертка осциллографа должна быть синхронна и синфазна с сигналом, модулирующим генератор качающейся частоты. Наблюдая форму характеристики на экране осциллографа, легко обнаружить дефекты на отдельных ее участках.

Один из основных источников погрешностей этого способа измерения АЧХ – большая скорость изменения частоты, приводящая к тому, что наблюдаемая на осциллографе динамическая характеристика может значительно отличаться от действительной статической, снятой на отдельных дискретных частотах. При быстром изменении частоты значения напряжений огибающей на выходе устройства могут не достигать значений, которые были бы зафиксированы при измерении на отдельных частотах (инерционность измерений). В результате динамические характеристики могут отличаться от статических по форме (особенно в области резкого изменения АЧХ) и могут быть смещены по оси частот в направлении развертки.

Стандартные методы измерения АЧХ по частотным точкам, а также с помощью генераторов качающейся частоты неприемлемы для видеоканала, в отдельных звеньях которого имеются цепи фиксации уровней, так как они искажают форму синусоидальных измерительных сигналов. Поэтому синусоидальные сигналы прореживают строчными и кадровыми гасящими импульсами и добавляют строчные и кадровые синхронизирующие импульсы, приводя тем самым измерительный сигнал к телевизионному по его структуре.

Для оперативного контроля АЧХ в характерных частотных точках используется измерительный сигнал [3, 4], состоящий в строке из опорного элемента  $C1$  и шести пакетов синусоидальных колебаний (элемент  $C2$ ) с частотами 0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 4,8 и 5,8 МГц, расположенных на пьедестале (рисунок 3.1)

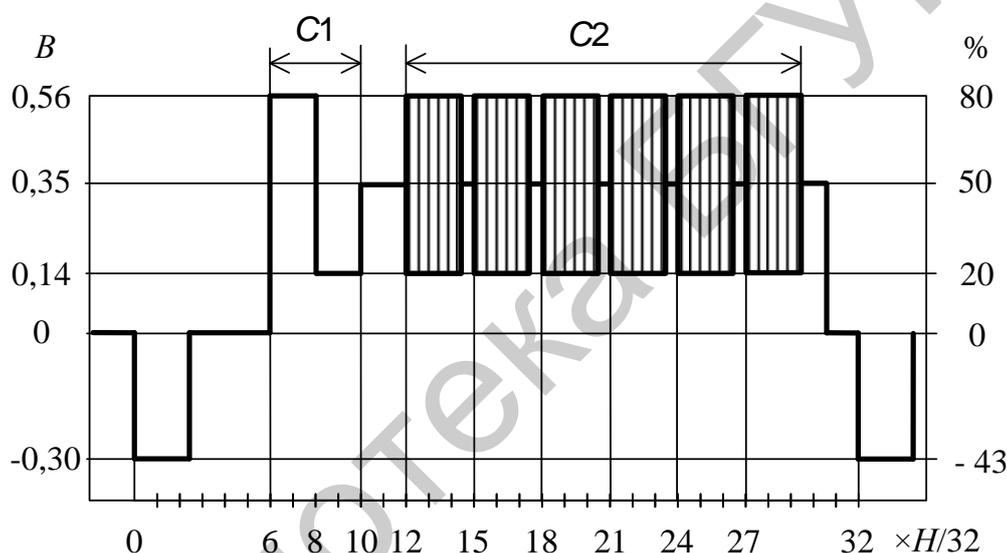


Рисунок 3.1 – Сигнал испытательной строки для измерения искажений АЧХ

Неравномерность АЧХ в частотных точках  $\delta_{ACHi}$  определяют как соотношение разности размахов  $U_i$  синусоидальных колебаний в пакетах элемента  $C2$  ( $i$  – номер пакета) и размаха  $U_{C1}$  опорного сигнала  $C1$  на выходе измеряемого канала (устройства):

$$\delta_{ACHi} = [(U_i - U_{C1})/U_{C1}] \cdot 100, \% \quad (3.1)$$

Следует отметить, что поскольку передаются сигналы дискретных частот, то невозможен контроль формы АЧХ на частотах, которые не входят в состав измерительного сигнала. Несмотря на это, использование рассмотренного измерительного сигнала целесообразно, так как он позволяет наглядно судить об

АЧХ канала и имитирует ТВ сигнал, соответствующий группам вертикальных штрихов разной ширины на испытательных таблицах.

Для детального исследования и измерения АЧХ аналоговых видеоканалов используют измерительный сигнал качающейся частоты, содержащий синусоидальные колебания, модулированные по частоте в пределах 0,5...8,5 МГц в интервалах между гасящими импульсами частоты полей, и прореженный строчными гасящими импульсами (сигнал С3).

В интервалах строк сигнал С3 состоит из пакета синусоидальных колебаний качающейся частоты, расположенных на «пьедестале», и опорного сигнала С1 с двумя отсчетными уровнями, соответствующими экстремумам синусоидальных колебаний. Эти уровни сигнала при скорости развертки, соответствующей длительности полей, создают на осциллограмме две опорные горизонтальные линии, позволяющие повысить точность измерения АЧХ. Сигналы в строках, в которых передаются синусоидальные колебания частот, кратных 1 МГц, различаются тем, что размах опорного сигнала С1 уменьшен до 0,28 В. Это позволяет создать отметки частот, кратных 1 МГц.

Общую неравномерность АЧХ  $\delta_{АЧХ}$  видеоканала определяют отношением разности максимального и минимального размаха  $U_{max}$  и  $U_{min}$  сигнала С3 (рисунок 3.2) к размаху  $U_{C1}$  сигнала С1:

$$\delta_{АЧХ} = [(U_{max} - U_{min})/U_{C1}] \cdot 100, \% \quad (3.2)$$



Рисунок 3.2 – Измерение АЧХ при помощи сигнала С3

Однако только по АЧХ нельзя судить об искажениях сигнала, вносимых ТВ каналом. Кроме нее необходимо знать, какой фазовый сдвиг вносит этот канал для каждой составляющей спектра частот передаваемого сигнала. Зависимость аргумента комплексного коэффициента передачи от частоты называется

фазовой или фазочастотной характеристикой. Искажения ФЧХ определяют отклонением ее от линейной зависимости.

При линейном характере ФЧХ сигнал на выходе ТВ канала совпадает по форме со входным и сдвигнут относительно него на время задержки сигнала. Если времена задержки (запаздывания) отдельных гармоник неодинаковы, сигнал искажается. Поэтому при оценке фазовых искажений можно оперировать временем задержки синусоидальных колебаний и зависимостью этого времени от частоты.

Фазовый сдвиг синусоидального колебания частоты  $\omega_i$ , равный  $\varphi(\omega_i)$  (в радианах), соответствует времени задержки этого колебания  $t_\varphi(\omega_i) = \varphi(\omega_i)/\omega_i$ , которое иначе называют временем распространения фазы, а его зависимость от частоты – характеристикой времени распространения или запаздывания фазы.

Однако измерения ФЧХ и характеристики времени запаздывания фазы требуют сравнения фаз измерительных сигналов на входе и выходе ТВ канала, что затруднительно, например, в каналах большой протяженности. Поэтому на практике пользуются характеристикой группового времени запаздывания (ХГВЗ), которая определяется как производная ФЧХ по частоте.

Преимуществами частотного (гармонического) метода оценки аналогового ТВ канала является сравнительная простота, возможность использования распространенных измерителей АЧХ и ХГВЗ, упрощение расчетов при проектировании различных ТВ устройств и т. д. Однако, пользуясь частотными характеристиками, довольно сложно предсказать ожидаемые искажения передаваемого видеосигнала в силу достаточно сложного его спектра. Этого недостатка лишен временной метод оценки ТВ канала.

Временные характеристики – это реакция ТВ канала при подаче на его вход импульсных измерительных сигналов. Такие характеристики однозначно устанавливают связь между АЧХ и ФЧХ и могут служить непосредственным критерием для оценки характера и величины искажений ТВ сигналов, в силу того что достаточно значительная их часть носит импульсный характер. Аналитическая связь между частотными и временными характеристиками определяется интегральным преобразованием Фурье.

Однако использование импульсных характеристик не исключает применения гармонического метода (измерения АЧХ и ФЧХ), и наоборот. Дело в том, что при настройке ТВ канала по импульсным характеристикам могут существенно искажаться гармонические характеристики и, наоборот, по форме АЧХ и ФЧХ трудно предсказать заметные искажения импульсных сигналов (выбро-

сы, перекосы вершин прямоугольных импульсов и т. д.). Поэтому частотный метод чаще всего используют при настройке ТВ канала, а импульсный – для оценки его как перед, так и непосредственно во время передачи ТВ сигналов.

Среди временных характеристик выделяют переходную и импульсную характеристики. Переходная характеристика (ПХ) определяется по форме сигнала на выходе ТВ канала при подаче на его вход единичного скачка напряжения. При ее измерении используют прямоугольные импульсы с малыми длительностями фронта и среза. Подобные импульсы претерпевают искажения фронта (среза) и плоской части импульса. Оба эти искажения определяются формами АЧХ и ФЧХ, первые – в области верхних частот видеоспектра (малых времен), вторые – в области средних и нижних частот (средних и больших времен). Однако при использовании таких импульсов для проверки качества передачи по ТВ каналу высокочастотной части спектра ТВ сигнала возникает ряд затруднений. Частотные характеристики канала передачи ТВ сигналов эквивалентны характеристикам фильтра нижних частот, а прямоугольные импульсы с малыми длительностями фронта и среза обладают спектром частот, превышающим полосу частот пропускания канала. Поэтому измерительный сигнал на выходе канала обычно имеет искажения, вызванные не только искажениями в полосе частот пропускания канала, но и ограничением спектра импульса в канале, причем не всегда легко разделить эти искажения.

В связи с тем, что проявление на изображении линейных искажений ТВ сигналов и степень их мешающего воздействия в значительной мере зависят от их длительности, переходную характеристику измеряют в разных областях времен – больших, средних и малых. Также для определения реакции канала на воздействия малой длительности измеряют импульсную характеристику (теоретически как реакцию на дельта-импульс).

Переходные характеристики измеряют с помощью генератора прямоугольных импульсов (П-импульсов).

Искажения ПХ видеоканала в области больших времен измеряют с помощью измерительного сигнала  $A$ , представляющего собой прямоугольные импульсы со скважностью 2, следующие с частотой полей. Для нормальной работы схем привязки уровня в видеоканале эти импульсы стробированы строчными гасящими и сложены со строчными синхронизирующими импульсами. Указанные искажения определяют по изменениям участков прямоугольных импульсов с частотой полей, соответствующих передаче уровня белого (или черного), без учета переходных процессов в областях их фронтов и срезов.

Неравномерность плоской части  $\delta_A$  сигнала  $A$  оценивают разностью  $\Delta U_A$  между уровнями в точках  $a_1$  и  $a_2$ , расположенных на расстоянии 250 мкс (примерно 4 Н) от фронта и среза сигнала, отнесенной к  $U_A$  (рисунок 3.3, а):

$$\delta_A = [\Delta U_A / U_A] \cdot 100, \% \quad (3.3)$$

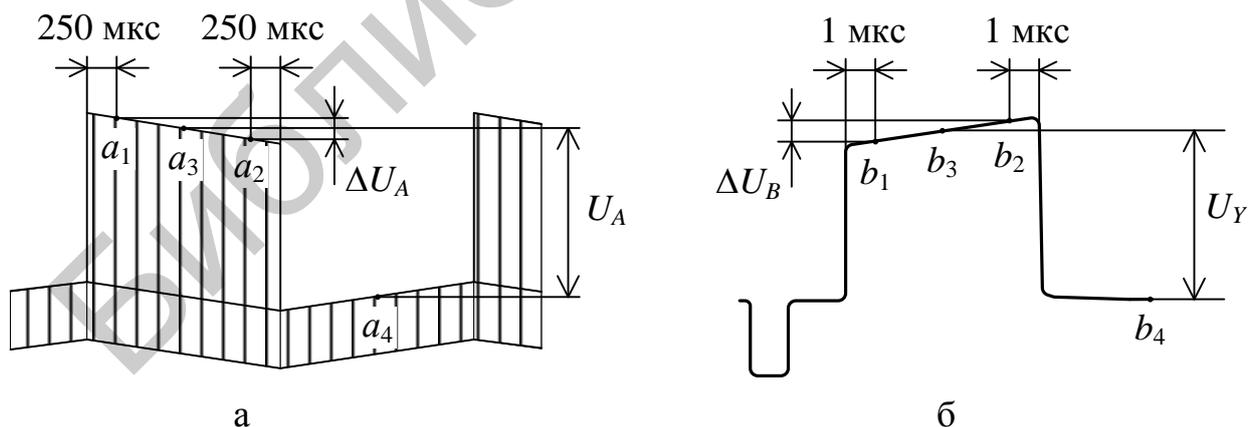
Размах сигнала  $A$  ( $U_A$ ) соответствует разности между его уровнями в точках  $a_3$  и  $a_4$ , расположенными на середине интервалов передачи уровней белого и гашения. Неравномерность считается положительной, если точка  $a_2$  располагается выше точки  $a_1$ .

Для измерения искажений в области средних времен используют прямоугольные импульсы, соответствующие передаче уровня белого (без учета переходных процессов в областях их фронта и среза), – сигнал  $B2$  (длительностью 10 мкс) или  $B3$  (24 мкс), вводимые в активную часть строки.

Неравномерность  $\delta_{B2}$  ( $\delta_{B3}$ ) плоской части этих сигналов оценивают разностью  $\Delta U_Y$  между уровнями в точках  $b_1$  и  $b_2$ , расположенных на расстоянии 1 мкс от фронта и среза импульса, отнесенной к размаху импульса  $U_Y$  (рисунок 3.3, б):

$$\delta_{B2(B3)} = [\Delta U_Y / U_Y] \cdot 100, \% \quad (3.4)$$

Неравномерность считается положительной, если точка  $b_2$  располагается выше точки  $b_1$ .



- а – в области больших времен при помощи сигнала  $A$ ;  
 б – в области средних времен при помощи сигнала  $B2$  ( $B3$ )

Рисунок 3.3 – Измерение искажений ПХ

Искажения в области малых времен характеризуются изменением формы фронта и среза прямоугольных импульсов, а также искажениями синус-квадратичных импульсов, обозначаемых как  $\sin^2$ -импульсы (сигнал B1 [3, 4]):

$$U(t) = \begin{cases} U_0 \sin^2 \frac{\pi}{2\tau_H} t & \text{при } 0 < t < 2\tau_H; \\ 0 & \text{при } t < 0, t \geq 2\tau_H, \end{cases} \quad (3.5)$$

где  $\tau_H$  – длительность импульса на уровне половины его размаха.

К особенностям  $\sin^2$ -импульса относится следующее. Их спектр имеет более ограниченный характер по сравнению с прямоугольным импульсом той же длительности, а также форма  $\sin^2$ -импульсов при  $\tau_H = 1/f_{cp}$  близка к форме ТВ сигнала одного элемента разложения. Таким образом, искажения  $\sin^2$ -импульса соответствуют искажениям ТВ сигнала одиночных деталей (уменьшение амплитуды – снижению контраста, увеличение длительности – «размытости» и т. д.).

Размах импульса, а также его длительность на выходе канала зависят от ширины полосы частот. Для испытания канала используются два  $\sin^2$ -импульса с длительностями  $T = 1/2 f_{cp}$  ( $T$ -импульс) и  $2T = 1/f_{cp}$  ( $2T$ -импульс), отсчитываемыми по уровню половины их размаха. При  $f_{cp} = 6$  МГц,  $T = 83$  нс, а  $2T = 166$  нс. Спектр  $2T$ -импульса ограничен верхней граничной частотой ТВ канала и при отсутствии частотных искажений на выходе канала имеет практически такую же форму, как и на входе. С помощью  $2T$ -импульса легко обнаруживаются искажения частотных характеристик ТВ канала в полосе частот до  $(0,5...0,6) f_{cp}$ . Однако чувствительность этого сигнала к частотным искажениям, возникающим в верхней части полосы видеочастот, мала. Для выявления этих искажений можно использовать  $T$ -импульс, который весьма чувствителен к искажениям АЧХ и ФЧХ вблизи частоты  $f_{cp}$ , так как его спектр значительно шире, чем у  $2T$ -импульса. Однако при этом искажения сигнала должны оцениваться путем сравнения его формы на выходе канала не с идеальным  $T$ -импульсом, а с сигналом, форма которого соответствует  $T$ -импульсу, прошедшему через идеальный фильтр нижних частот с граничной частотой  $f_{cp}$ .

При измерении искажений  $\sin^2$ -импульса B1 определяют изменение его размаха по отношению к размаху сигнала B2 (для удобства измерений эти два элемента передаются в строке совместно):

$$\delta_{B1} = [(U_{B1} - U_Y)/U_Y] \cdot 100, \% \quad (3.6)$$

а также разность между длительностью  $\tau_{И}$  импульса, измеренной на уровне половины размаха, и ее номинальным значением, относительные размахи выбросов по отношению к  $U_Y$  (рисунок 3.4).

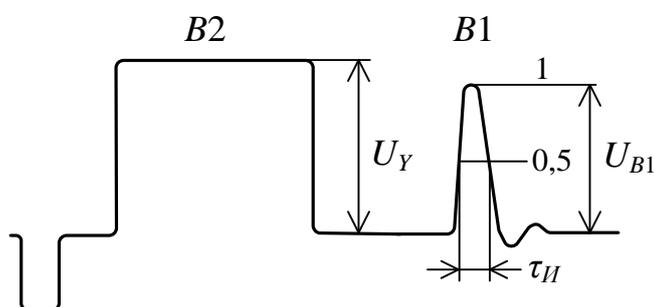


Рисунок 3.4 – Измерение искажений  $\sin^2$ -импульса  $B1$

В каналах передачи полного цветового ТВ сигнала наряду с измерением искажений частотных характеристик измеряют параметры, характеризующие амплитудные и временные соотношения между сигналами яркости и цветности.

Различие усиления (РУ) и расхождения во времени (РВ) сигналов яркости и цветности связаны с искажениями АЧХ и ФЧХ (ХГВЗ) видеоканала. Измеряют РУ и РВ с помощью сигнала, имитирующего совместную передачу сигналов яркости и цветности, – сложного  $\sin^2$ -импульса  $F$ . Данный элемент представляет собой сумму сигнала яркости в виде  $\sin^2$ -импульса длительностью 2 мкс и сигнала цветности, получаемого в результате 100 %-й амплитудной модуляции цветовой поднесущей частоты  $f_{ЦП} = 4,43$  МГц таким сигналом яркости. Верхняя огибающая сигнала  $F$  описывается синус-квадратичным законом, а нижняя – прямая линия.

При таких параметрах сложного сигнала  $F$  его спектр охватывает область нижних частот в полосе до 0,5 МГц и область цветовой поднесущей в полосе  $f_{ЦП} \pm 0,5$  МГц. Соответственно, с его помощью можно обнаружить искажения частотных характеристик ТВ канала в областях частот, где сосредоточена основная энергия передаваемых сигналов яркости и цветности. Для оценки искажений спектра полного цветового ТВ сигнала практически во всей частотной области можно использовать сложный  $\sin^2$ -импульс  $F1$  длительностью 1 мкс.

На рисунке 3.5 показаны характерные искажения импульса  $F$ , вызванные неравномерностью АЧХ и ХГВЗ и проявляющиеся в изменении характера поведения нижней огибающей. При искажениях только АЧХ нижняя огибающая имеет один экстремум; при искажениях только ХГВЗ – два с одинаковыми зна-

чениями  $U_1$  и  $U_2$ ; при искажениях как АЧХ, так и ХГВЗ – два с разными значениями  $U_1$  и  $U_2$ .

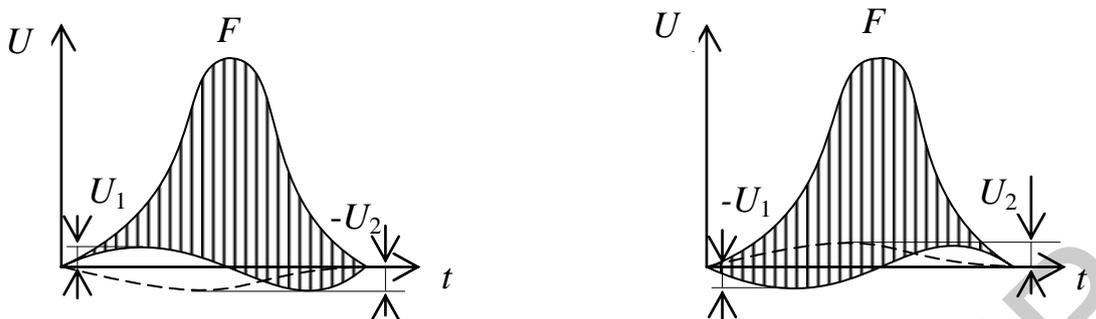


Рисунок 3.5 – Возможные искажения формы нижней огибающей измерительного сигнала  $F$

Различие усиления сигналов яркости и цветности оценивают отношением удвоенной суммы экстремальных значений  $U_1$  и  $U_2$  (с учетом знака) огибающей основания к размаху  $U_Y$  элемента  $B2$  ( $B3$ ), обычно передаваемого совместно с элементом  $F$ :

$$\delta_{PY} = 2 \cdot ((U_1 + U_2) / U_Y) \cdot 100, \% \quad (3.7)$$

Расхождение во времени  $\tau_{PB}$  сигналов яркости и цветности соответствует задержке составляющих яркости и цветности сложного  $\sin^2$ -импульса друг относительно друга, измеряется в наносекундах и считается положительным, если ось симметрии составляющей сигнала цветности смещена вправо относительно оси симметрии составляющей сигнала яркости. При расчетах используют приближенную формулу

$$\tau_{PB} \approx 2543 \sqrt{|U_1 U_2| / U_Y^2}, \text{ нс.} \quad (3.8)$$

*Нелинейные искажения* видеосигнала возникают из-за неидеальности амплитудных характеристик канала. Под амплитудной характеристикой (АХ) понимают зависимость амплитуды сигнала на выходе канала от амплитуды сигнала на входе канала (в общем случае под амплитудой сигнала понимают не только величину напряжения или тока!). В идеале АХ должны быть линейными. Различают статические и динамические нелинейные искажения. К *статическим* относят нелинейные искажения, не зависящие от частоты сигнала. С ними связано качество воспроизведения градаций яркости и цветности крупных

участков ТВ изображения. *Динамические* искажения зависят от частоты сигнала, с ними связаны способность ТВ канала передавать информацию о мелких элементах изображения и качество передачи сигнала цветности.

Методы измерения АХ можно объединить в две группы. Одну составляют методы оценки амплитудной характеристики по измерительным сигналам, наблюдаемым на выходе проверяемого участка канала. Вторая группа объединяет методы, при которых оценивают изменения крутизны амплитудной характеристики в рабочем диапазоне уровней ТВ сигналов.

В качестве сигналов для оценки амплитудной характеристики видеоканала можно использовать пилообразное напряжение строчной частоты, смешанное со строчными синхронизирующими импульсами. При наличии нелинейности пилообразный сигнал исказится и на выходе повторит форму АХ, что легко проконтролировать при помощи осциллографа. Однако при этом затруднена количественная оценка нелинейных искажений.

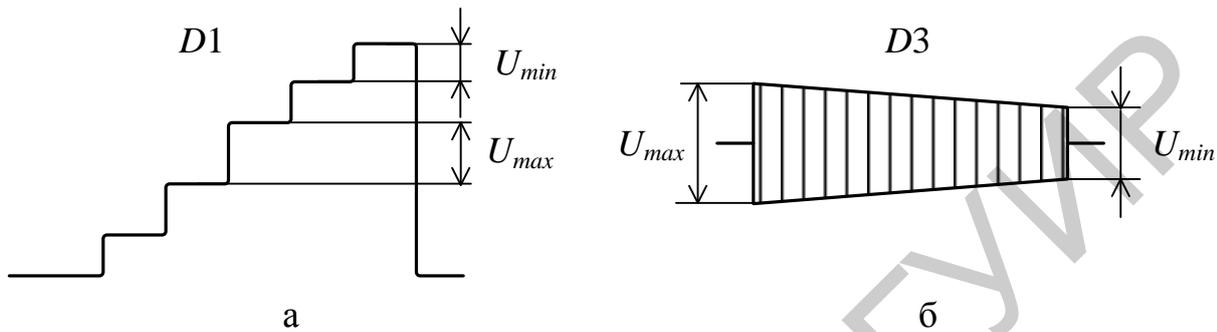
Проще оценивать нелинейность амплитудной характеристики с помощью измерительного сигнала ступенчатой формы. На экране осциллографа измеряют размах отдельных ступенек, а в качестве критерия нелинейности АХ используют, например, отношение размахов наименьшей и наибольшей ступеней. Обычно ограничиваются пятью – десятью ступеньками (так как чем их больше, тем труднее проводить измерения). Ступенчатый измерительный сигнал позволяет обнаружить изменения крутизны лишь на определенных уровнях (ступеньках), в то время как по пилообразному сигналу можно получить представление о форме всей амплитудной характеристики.

Типовым измерительным сигналом для определения величины нелинейности видеоканала (нелинейных искажений сигнала яркости) является пятиступенчатый сигнал (элемент  $D1$ ), содержащий шесть равноотстоящих уровней, первый из которых соответствует уровню гашения, а шестой – уровню белого. На выходе канала измеряют размахи максимальной  $U_{max}$  и минимальной  $U_{min}$  ступеней (рисунок 3.6, а) и вычисляют величину  $\delta_Y$  нелинейных искажений по выражению

$$\delta_{НИY} = ((U_{max} - U_{min}) / U_{max}) \cdot 100, \% \quad (3.9)$$

Размах ступени определяется как разность напряжений в точках, расположенных на середине ступеней.

Контроль поведения АХ видеоканала может также осуществляться путем измерения изменения крутизны амплитудной характеристики. Для этого на пилообразный сигнал частоты строк (элемент  $D4$ ) накладывают пакет синусоидальных колебаний (элемент  $D3$ ) с частотой 1,2 МГц и нелинейность оценивают на выходе видеоканала по изменению формы выделенного полосовым фильтром пакета  $D3$  (рисунок 3.6, б) по выражению (3.9).



а – с использованием элемента  $D1$ ;

б – с использованием элемента  $D3$  (на выходе фильтра)

Рисунок 3.6 – Измерение искажений амплитудной характеристики

Нелинейность АХ видеоканала при передаче полного цветного ТВ сигнала приводит к искажениям, проявляющимся в изменении амплитудных соотношений в сигнале цветности, а также к появлению перекрестных искажений между сигналами яркости и цветности, что обусловлено одновременной передачей этих сигналов.

В результате перекрестных искажений изменяются размах и фаза сигнала цветности в зависимости от размаха сигнала яркости. Нежелательное относительное изменение размаха сигнала цветности при изменении уровня сигнала яркости называют *дифференциальным усилением*. *Дифференциальной фазой* называют нежелательное изменение фазы (фазового сдвига) сигнала цветности при изменении уровня сигнала яркости.

Одним из видов перекрестных искажений, обусловленных нелинейностью амплитудной характеристики, является изменение уровня сигнала яркости в зависимости от изменения размаха цветовой поднесущей (искажения цветность – яркость).

Для измерения дифференциального усиления применяется сигнал  $D2$  – пятиступенчатый сигнал яркости с высокочастотной (4,43 МГц) насадкой,

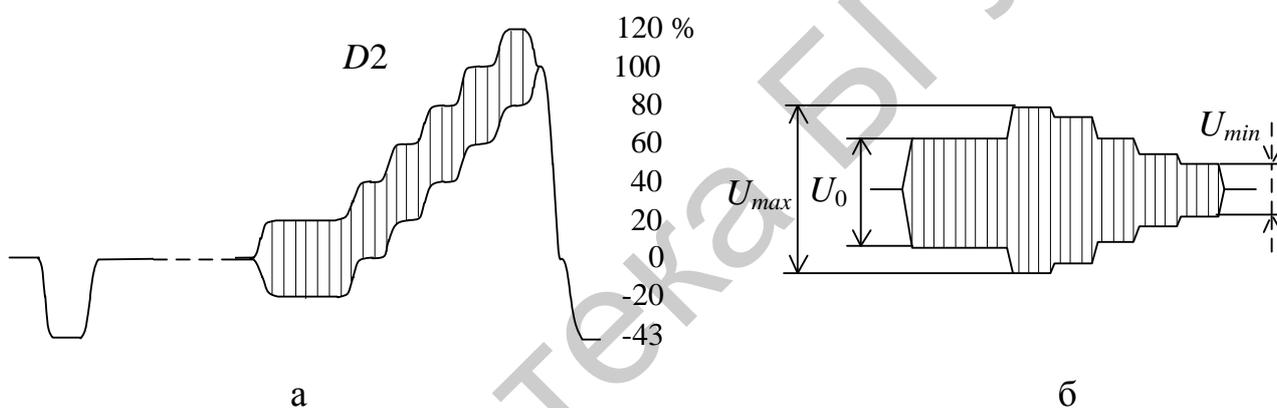
имитирующий сигнал цветности (рисунок 3.7, а). На выходе контролируемого канала полосовым фильтром выделяют высокочастотную насадку и измеряют размахи этого сигнала – максимальный  $U_{max}$ , минимальный  $U_{min}$  и соответствующий передаче на уровне гашения  $U_0$  (рисунок 3.7, б), затем вычисляют  $\delta_{ДУ}$  по формуле

$$\delta_{ДУ} = \begin{cases} x, & \text{если } x \geq y; \\ -y, & \text{если } x < y, \end{cases} \quad (3.10)$$

где  $x = ((U_{max} - U_0)/U_0) \cdot 100 \%$ ;

$y = ((U_0 - U_{min})/U_0) \cdot 100 \%$ .

Размах цветовой поднесущей измеряется в точках, соответствующих серединам ступеней.



а – измерительный сигнал  $D2$ ;

б – измеряемые параметры сигнала

Рисунок 3.7 – Измерение дифференциального усиления

При измерениях дифференциальной фазы также используют сигнал  $D2$ . Дифференциальная фаза, град:

$$\Delta\varphi_{Д} = \begin{cases} \varphi_1, & \text{если } \varphi_1 \geq \varphi_2; \\ -\varphi_2, & \text{если } \varphi_1 < \varphi_2, \end{cases} \quad (3.11)$$

где  $\varphi_1 = \varphi_{max} - \varphi_0$  – максимальное опережение;

$\varphi_2 = \varphi_0 - \varphi_{min}$  – максимальное отставание фазы поднесущей на разных уровнях ступенчатого сигнала на выходе канала относительно фазы поднесущей на уровне гашения.

Измерительную информацию получают либо путем выделения квадратурных составляющих поднесущей, либо с помощью частотного или фазового детектирования. При частотном детектировании выделяется мгновенное изменение частоты сигнала, возникающее в результате фазовых искажений поднесущей, при фазовом – сравнивают исследуемый сигнал с опорным (сигналом цветовой поднесущей с опорной фазой, относительно которой отсчитывается фазовый сдвиг). Опорным сигналом может служить либо сигнал, формируемый в измерителе ДФ, либо поднесущая, выделенная из измерительного сигнала, при этом для фазового детектирования не нужно формировать или передавать опорный сигнал. При выделении квадратурных составляющих поднесущей ДФ измеряют на экране вектороскопа.

Вследствие нелинейности амплитудной характеристики видеоканала при передаче полного цветного ТВ сигнала возникают нелинейные искажения сигнала цветности, проявляющиеся в изменении его амплитудных и фазовых соотношений. Для измерений этих искажений используют измерительный сигнал, состоящий из сигнала яркости с постоянным уровнем и трехступенчатого сигнала  $G2$  с частотой 4,43 МГц, имитирующего сигнал цветности. В исходном сигнале размахи цветовой поднесущей отдельных ступенек находятся в отношении 1:3:5 (рисунок 3.8).

Нелинейные искажения сигнала цветности приводят к нарушению пропорциональности между размахами цветовой поднесущей отдельных ступенек. На выходе канала измеряют размахи участков максимальной  $U_G$  и минимальной  $U_1$  амплитуды элемента  $G2$  и вычисляют  $\delta_{ЦВ}$  по выражению

$$\delta_{ЦВ} = ((U_G - 5U_1)/U_G) \cdot 100, \% . \quad (3.12)$$

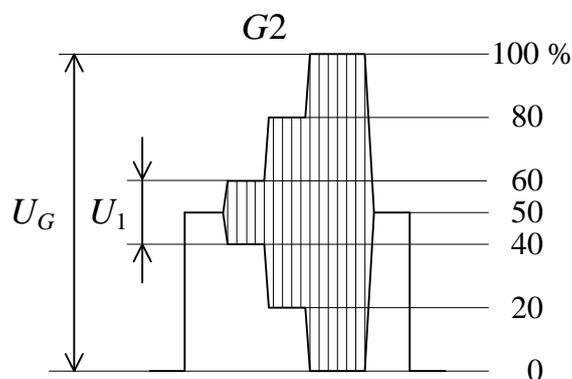


Рисунок 3.8 – Измерение нелинейных искажений сигнала цветности

Для унификации процедур и оборудования для измерения параметров аналогового видеоканала рассмотренные измерительные сигналы зачастую объединяют, формируя испытательные строки (рисунок 3.9).

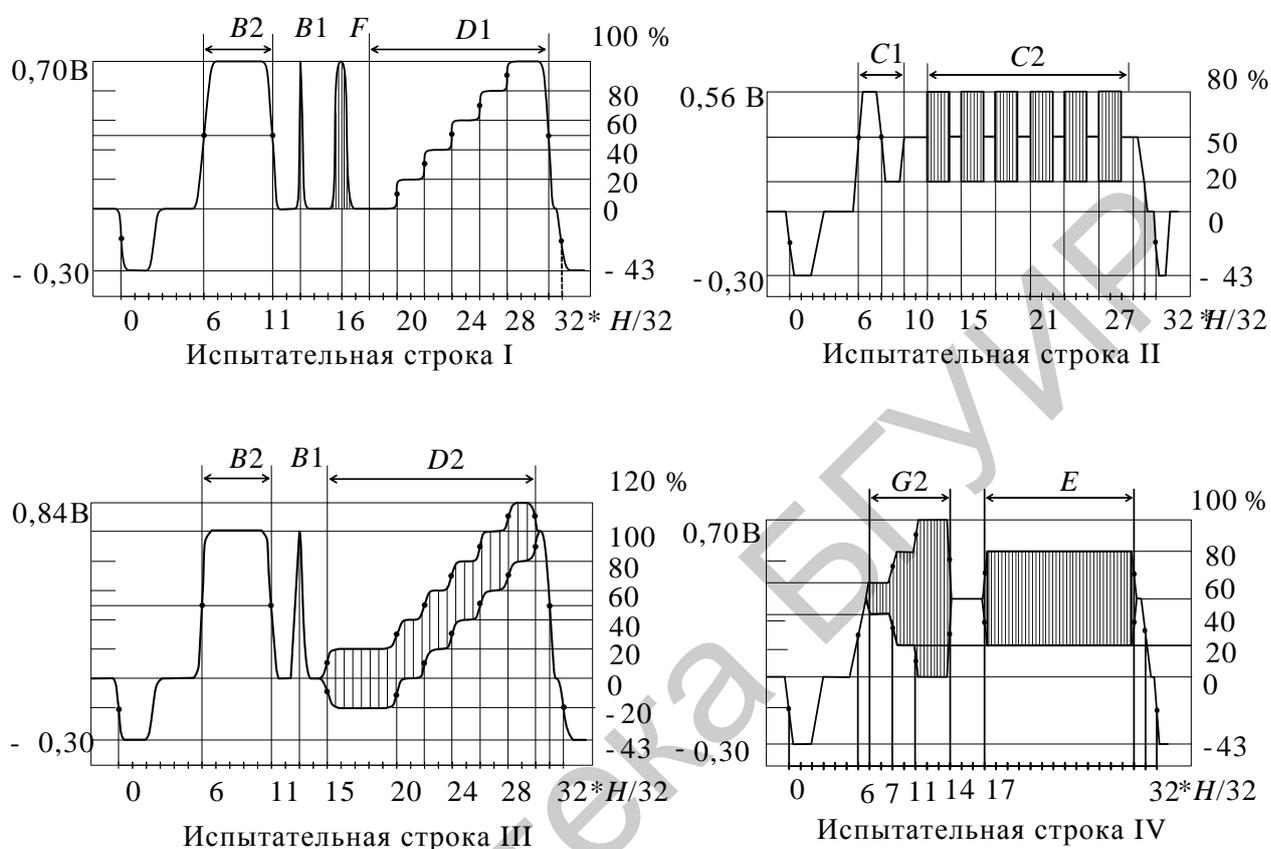


Рисунок 3.9 – Состав измерительных сигналов испытательных строк

### 3.2.2 Измерения в каналах передачи цифровых видеосигналов

Конечным параметром качества цифровых каналов является коэффициент ошибок (BER – Bit Error Ratio), который определяется как отношение количества ошибочно принятых битов к общему количеству переданных битов цифрового сигнала. Коэффициент ошибок в характерных точках цифрового тракта измеряется в общем случае с использованием измерительного сигнала в виде псевдослучайной последовательности (ПСП) символов. Однако этот метод не в полной мере может быть реализован при измерениях в цифровых видеоканалах (под видеоканалом в данном случае понимается канал передачи цифрового потока, соответствующего некомпьютеризированным или компьютеризированным ТВ сигналам, в исходной полосе частот). Это объясняется тем, что используемые в настоящее время ТВ цифровые интерфейсы требуют определенной структуры (формата) передаваемого потока, что при передаче ПСП заведомо не выполня-

ется. При одном из возможных вариантов реализации метода ПСП вводится только в поле данных структурированного потока, а на приемной стороне ведется параллельный подсчет ошибок, приведших к нарушению структуры потока, и ошибок, поражающих данные.

Кроме определения коэффициента ошибок важную роль играет выяснение причин его повышения. Здесь в первую очередь необходимо контролировать физические параметры используемого интерфейса передачи цифрового потока. Одним из способов такого контроля является анализ глазковой диаграммы (рисунок 3.10), получаемой на экране осциллографа при синхронизации его развертки сигналом восстановленной тактовой частоты приемного устройства. Структура получаемой диаграммы определяется следующим образом. При запуске развертки в моменты передачи серии «1», «0» на экране получается изображение верхней и нижней горизонтальных линий, в моменты передачи смены «0» на «1» или «1» на «0» – вертикальных элементов (линий) диаграммы.

Воздействие аддитивного шума канала приводит к «размытию» осциллограммы в вертикальном направлении, линейные искажения цифрового сигнала проявляются в изменении длительности переходов от «0» к «1» (фронт импульса) или от «1» к «0» (спад импульса) и возможном появлении выбросов относительно горизонтальных линий. Основной вклад в «размытие» осциллограммы в горизонтальном направлении вносит фазовое дрожание (джиттер) сигнала восстановленной тактовой частоты приемника относительно моментов смены уровней в передаваемом цифровом сигнале. Высокий уровень дрожания фазы приводит к сбою в цепях ФАПЧ восстановителя тактовой частоты приемника, в результате возникают битовые ошибки в виде отдельных ошибок или даже последовательностей ошибок разной длины. В этом случае измерения уровня фазового дрожания обеспечивают непосредственную локализацию причины деградации качества.

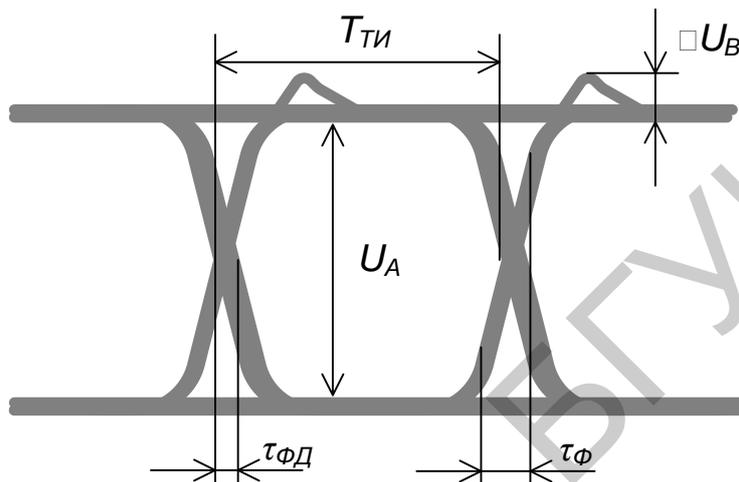
По глазковой диаграмме измеряют (рисунок 3.10, а):

- амплитуду (размах)  $U_A$  сигнала, как величину напряжения вертикального раскрытия диаграммы;
- абсолютную  $\Delta U_B$  или относительную  $(\Delta U_B/U_A)$  величину выброса по фронту (срезу) импульса;
- длительность  $T_{ТИ}$  тактового интервала по уровню 0,5 от амплитуды сигнала;
- длительность фронта  $\tau_\phi$  импульса как время между достижением напряжением значений 0,1 и 0,9 от амплитуды сигнала, если нормами на кон-

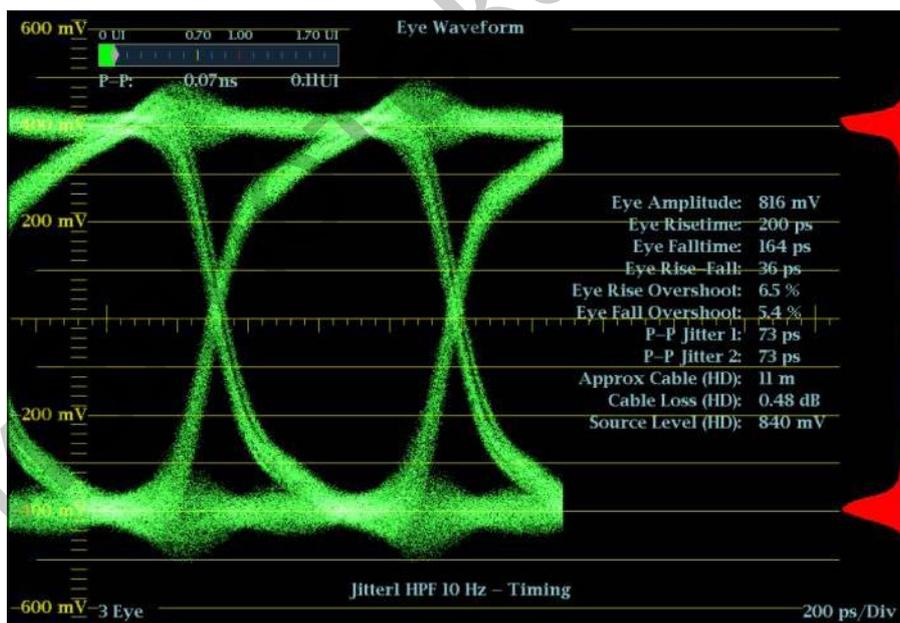
кретный тип интерфейса не определены другие значения уровней (например, для интерфейса SDI – 0,2 и 0,8);

- величину фазового дрожания (джиттера) как абсолютное значение  $\tau_{\Phi Д}$  или выраженное в долях длительности тактового интервала.

Кроме величины джиттера важную роль играют его спектральные характеристики (зависимость амплитуды фазового дрожания от частоты дрожания).



а



б

а – идеализированная;

б – реальная

Рисунок 3.10 – Глазковая диаграмма

Перечисленные параметры нормируются для любого типа цифрового интерфейса, и невыполнение этих норм будет приводить к увеличению коэффициента ошибок.

### 3.3 Схема проведения измерений

В ходе выполнения лабораторной работы используется осциллографический метод контроля качественных показателей видеоканалов. Схема проведения измерений представлена на рисунке 3.11.

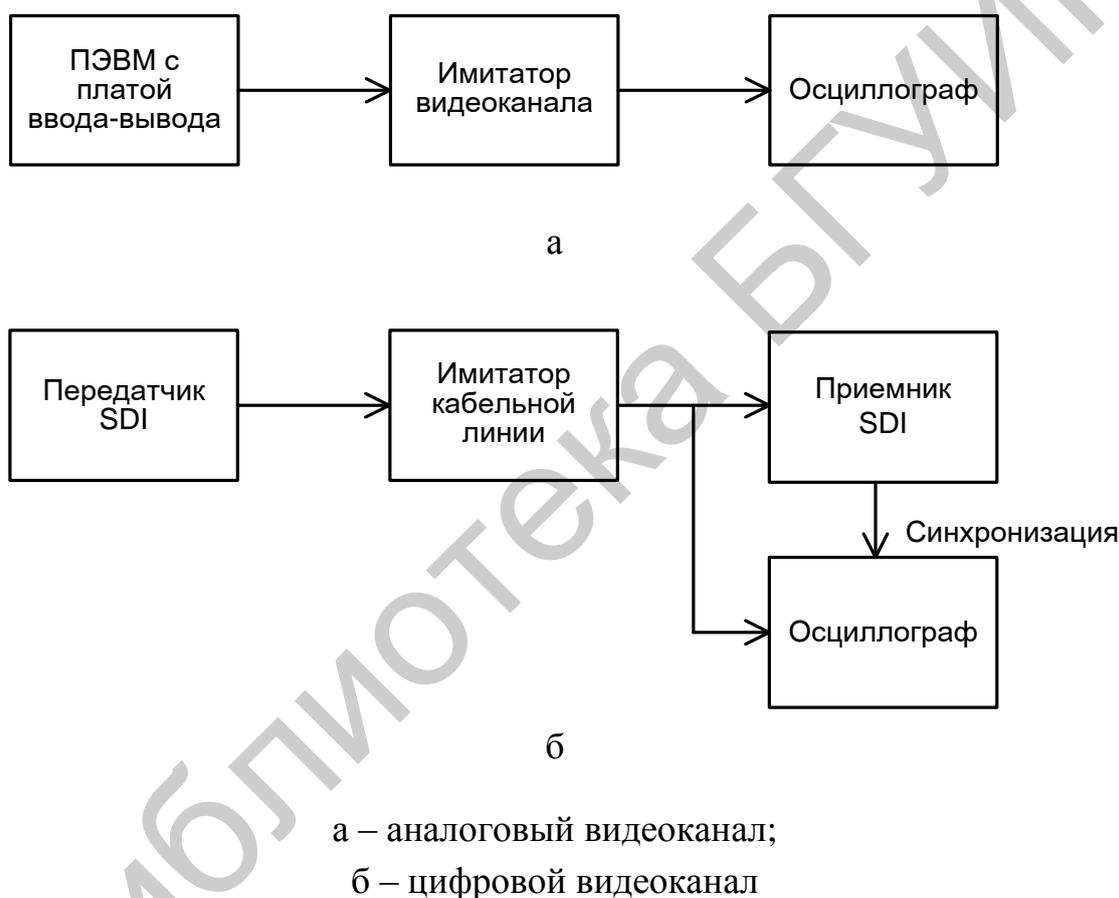


Рисунок 3.11 – Схема проведения измерений

При контроле качественных показателей аналогового видеоканала в качестве источника ТВ измерительного сигнала используется ПЭВМ с платой ввода-вывода телевизионных сигналов и соответствующим программным обеспечением, установленные на рабочем месте. Для канала передачи цифрового видеосигнала исследуется влияние параметров кабельной линии на работоспособность последовательного цифрового интерфейса SDI.

### 3.4 Порядок выполнения работы

#### 3.4.1 Подготовка к измерениям

Включить лабораторный макет, ПЭВМ и осциллограф. Подключить выход сигнала яркости платы ввода-вывода ( $Y$  out) ко входу «1» или «2» осциллографа.

Используя управляющую программу «Blackmagic Control Devices», сконфигурировать плату ввода-вывода ПЭВМ на работу с сигналами стандартной четкости.

Загрузить ПО «Media Express», открыть проект «SD Test Signal manager». Выбрать из перечня доступных сигналов испытательных изображений (отображаются в виде пиктограмм) и перенести в окно просмотра (далее для краткости описания этой операции будет использоваться термин «подать сигнал») один из измерительных сигналов (ИС), например ИС вертикальных градаций яркости (ВГЯ). Обеспечить синхронизацию осциллографа, добиться получения осциллограмм сигнала в масштабе строки и поля. Включить имитатор видеоканала в цепь передачи сигнала с ПЭВМ на осциллограф.

#### 3.4.2 Измерение АЧХ видеоканала

3.4.2.1 Подать сигнал «Test\_C3», получить осциллограмму в масштабе поля. Зафиксировать (зарисовать, сфотографировать либо сохранить на USB-накопитель экранную копию либо таблицу отсчетных значений) осциллограмму для помещения ее в отчет. Измерить неравномерность АЧХ исследуемого видеоканала.

3.4.2.2 Подать сигнал «Test\_Line\_II», содержащий испытательную строку II (см. рисунок 3.9). Получить и зафиксировать осциллограмму в масштабе строки. Измерить неравномерность АЧХ.

3.4.3 Измерение различия в усилении и расхождения во времени сигналов яркости и цветности

Подать сигнал «Test\_Line\_I», содержащий испытательную строку I (см. рисунок 3.9). Получить и зафиксировать осциллограмму элемента  $F$  в масштабе части строки. Измерить  $P_U$  и  $P_V$ . Сделать вывод о поведении АЧХ и ХГВЗ.

#### 3.4.4 Измерение временных характеристик видеоканала

3.4.4.1 Подать сигнал «Test\_Line\_I» (или «Test\_Line\_III»), содержащий испытательную строку I (III, см. рисунок 3.9). Получить и зафиксировать осциллограмму элементов  $B_2$  и  $B_1$  в масштабе части строки. Измерить величину искажений переходной характеристики в области средних времен и искажения  $\sin^2$ -импульса  $B_1$ .

3.4.4.2 Подать сигнал «Test\_A», получить и зафиксировать осциллограмму в масштабе поля. Измерить величину искажений переходной характеристики в области больших времен.

3.4.5 Измерение амплитудных характеристик видеоканала

3.4.5.1 Подать сигнал «Test\_Line\_I». Получить и зафиксировать осциллограмму элемента  $D1$  в масштабе части строки. Измерить величину нелинейных искажений сигнала яркости.

3.4.5.2 Подать сигнал «Test\_Line\_IV», содержащий испытательную строку IV. Получить и зафиксировать осциллограмму элемента  $G2$  в масштабе части строки. Измерить величину нелинейных искажений сигнала цветности.

3.4.5.3 Подать сигнал «Test\_Line\_III». Получить и зафиксировать осциллограмму элемента  $D2$  в масштабе части строки. Измерить величину дифференциального усиления.

3.4.6 Исследование цифрового видеоканала

3.4.6.1 Подключить осциллограф к выходу передатчика интерфейса SDI. Перевести синхронизацию осциллографа в режим «по фронту», получить осциллограмму выборки цифрового потока. Измерить размах, длительность тактового интервала и длительность фронта цифрового сигнала.

3.4.6.2 Осуществить подключение оборудования в соответствии с рисунком 3.11, б. Установить входное сопротивление осциллографа «1 МОм». Получить на экране осциллографа глазковую диаграмму, зафиксировать ее. Измерить параметры сигнала цифрового интерфейса при работе на длинную линию (имитатор кабельной линии). Сравнить полученные результаты с результатами подпункта 3.4.6.1.

3.4.6.3 Установить входное сопротивление осциллографа «75 Ом». Получить на экране осциллографа глазковую диаграмму, зафиксировать ее. Измерить параметры сигнала цифрового интерфейса при работе на длинную линию с рассогласованием нагрузки. Сравнить полученные результаты с результатами подпункта 3.4.6.2.

### **3.5 Содержание отчета**

1. Цель работы.
2. Результаты исследований по пунктам 3.4.2 – 3.4.6 (осциллограммы, результаты измерений, пояснения результатов измерений).
3. Вывод.

### 3.6 Вопросы для самопроверки

1. С помощью каких характеристик можно описать свойства аналогового видеоканала?
2. Как проявляются линейные (нелинейные) искажения сигналов с точки зрения искажений их спектра?
3. Как проявляются линейные (нелинейные) искажения сигналов с точки зрения искажений их формы?
4. Перечислите составляющие измерительного сигнала III. Для измерения и контроля каких характеристик и параметров ТВ канала они используются?
5. Поясните понятие и причины возникновения искажений типа дифференциальное усиление, дифференциальная фаза.
6. Амплитудно-частотная характеристика канала имеет спад в области верхних частот. Какие элементы измерительных сигналов испытательных строк будут искажены и каким образом?
7. Какая взаимосвязь существует между характеристикой ГВЗ и ФЧХ?
8. Неидеальность каких характеристик канала приводит к появлению линейных (нелинейных) искажений сигналов?
9. Амплитудная характеристика канала имеет отличие от идеальной формы. Какие элементы измерительных сигналов испытательных строк будут искажены и каким образом?
10. В видеоканале присутствуют нелинейные искажения сигнала яркости. Какие качественные показатели изображения при этом ухудшатся?
11. В видеоканале присутствуют искажения переходной характеристики в области средних времен. Как это скажется на изображении?
12. Для каких целей используется элемент  $E$  измерительного сигнала IV?
13. Какие особенности синус-квадратичного импульса определяют его широкое использование для целей измерения в телевидении?
14. В цифровом видеоканале со скоростью передачи 270 Мбит/с ошибка встречается в среднем два раза в минуту. Чему равен коэффициент ошибок?
15. Есть ли радикальные отличия в измерении переходной характеристики канала передачи цифрового сигнала и в измерениях по глазковой диаграмме?
16. Чему равно эквивалентное сопротивление нагрузки линии в подпункте 3.4.6.3.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

### ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ ЦИФРОВОГО ТВ ВЕЩАНИЯ

#### 4.1 Цель работы

Изучение методов измерения и контроля параметров сигналов в системах наземного цифрового ТВ вещания (НЦТВ) первого (DVB-T) и второго (DVB-T2) поколений. Оценка состава и параметров передаваемых транспортных потоков данных, измерение параметров радиосигналов систем НЦТВ DVB-T/T2.

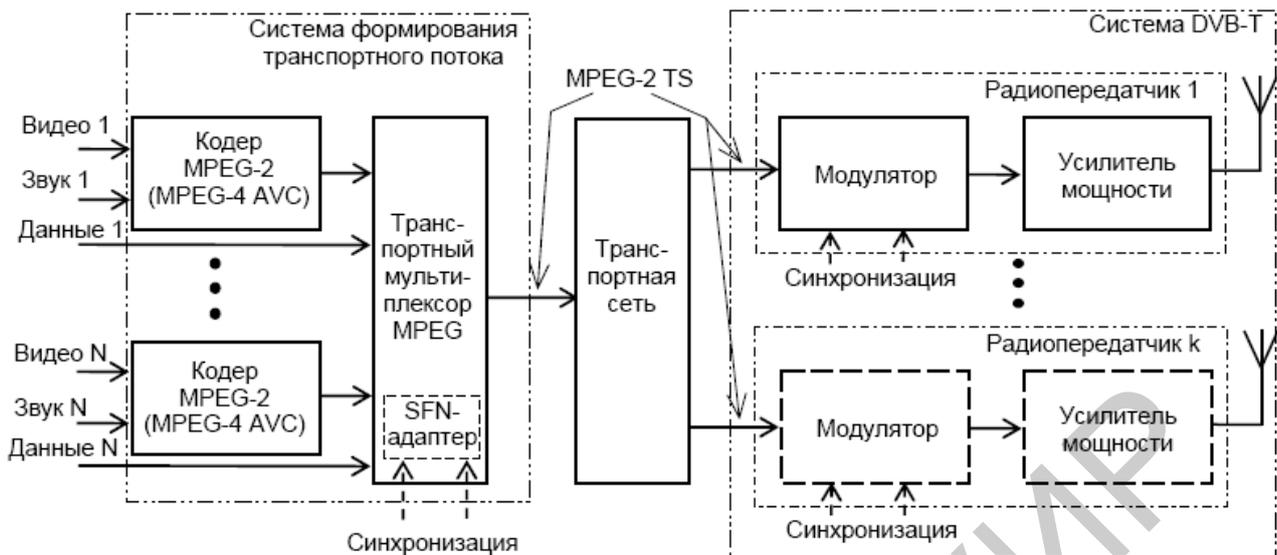
#### 4.2 Краткие теоретические сведения

##### 4.2.1 Принципы построения систем НЦТВ DVB-T/T2

Системы НЦТВ DVB-T и DVB-T2 предназначены для организации цифрового наземного многопрограммного ТВ вещания ограниченной, стандартной, повышенной и высокой четкости (рисунок 4.1). Построение систем DVB-T и DVB-T2 и их функциональный состав устанавливаются [5–7]. Радиопередающее оборудование систем обеспечивает передачу транспортного потока MPEG-2 TS, сформированного в соответствии с [8, 9], на приемные терминалы.

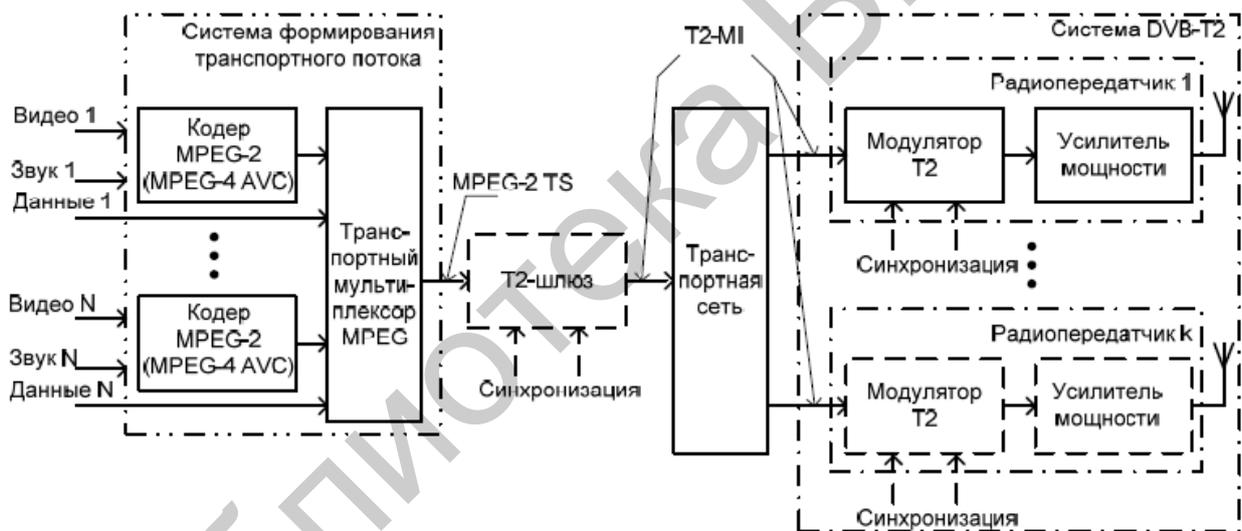
Транспортный поток формируется в транспортном мультиплексе MPEG и может содержать один или более пакетизированных программных потоков, каждый из которых несет информацию об отдельных компонентах одной ТВ программы – видео- и аудиоданных. Также в составе транспортного потока передается служебная информация о его содержании и способе мультиплексирования и дополнительные данные, не регламентированные MPEG, – телетекст, контрольные сигналы и т. п.

Транспортный поток (ТП) представляет собой последовательность пакетов длиной 188 байт без использования кодирования для защиты от ошибок. Структурно пакет включает заголовок (4 байта) и поле данных (184 байта). Это поле может содержать видео- или аудиоданные, данные пользователя или пустые байты – стаффинг, вводимый в ТП для согласования скоростей. Каждый пакет содержит данные только одного вида. Общая скорость ТП определяется скоростями передачи данных каждого элементарного потока, зависящими от требований к качеству передаваемого изображения и звукового сопровождения и используемых алгоритмов компрессии.



Примечание – Штриховыми линиями выполнены элементы системы, предназначенные для использования только в одночастотных сетях.

а



Примечание – Штриховыми линиями выполнены элементы системы, предназначенные для использования в одночастотных сетях.

б

а – система DVB-T;

б – система DVB-T2

Рисунок 4.1 – Схема организации телевизионного вещания

Для компрессии (устранения избыточности) сигналов изображения и звукового сопровождения, используемых для телевизионного вещания, в системах DVB-T/T2 в соответствии с [11] может использоваться алгоритм MPEG-2 или MPEG-4 AVC [13]. В случае использования алгоритма MPEG-4 AVC сформи-

рованные кодерами MPEG элементарные потоки должны быть мультиплексированы в транспортный поток MPEG-2 TS в соответствии с [9].

В состав транспортной сети могут входить соединительные линии, магистральные каналы, волоконно-оптические линии связи, цифровые радиорелейные линии и иное оборудование, предназначенное для доставки транспортного потока от системы его формирования до радиопередающего оборудования. Интерфейс между транспортной сетью и радиопередающим оборудованием должен соответствовать требованиям [10].

В соответствии с [5] процесс формирования радиосигнала системы DVB-T должен включать следующие этапы: рандомизацию данных; помехоустойчивое кодирование (внешнее – блочным кодом Рида – Соломона и внутреннее – сверточным кодом); внешнее и внутреннее перемежение; модуляцию индивидуальных ортогональных несущих и формирование из них многочастотного COFDM-сигнала. Процесс формирования радиосигнала DVB-T2 несколько отличается – выполняются: инкапсуляция входных данных в основные кадры логического уровня сигнала DVB-T2 (ВВ-кадры); рандомизация данных внутри ВВ-кадра; помехоустойчивое кодирование (внешнее – коротким кодом Боуза – Чоудхури – Хоквенгема, внутреннее – кодами LDPC); битовое, временное, частотное перемежение данных; модуляция индивидуальных ортогональных несущих и формирование из них многочастотного COFDM-сигнала [6]. Сформированный радиосигнал для обеих систем должен передаваться в радиоканале вещательного телевидения, соответствующем ГОСТ 7845.

Для повышения эффективности использования частотного ресурса и улучшения качества покрытия территорий наземным цифровым ТВ вещанием могут применяться одночастотные сети, состоящие из нескольких передатчиков, синхронно передающих одинаковую информацию на одной и той же несущей частоте. В этом случае в системе DVB-T (рисунок 4.1, а) в состав транспортного мультиплексора (либо дополнительно устанавливаемого ремультимплексора) должен входить SFN-адаптер, объединяющий пакеты в мегакадры и формирующий MIP-вставки в соответствии с [12] для управления режимами работы радиопередатчиков. Также должна обеспечиваться синхронизация режимов работы адаптера и всех радиопередатчиков посредством сигналов внешней временной (1 PPS) и частотной (10 МГц) синхронизации.

В одночастотных сетях наземного цифрового телевизионного вещания системы DVB-T2 должен входить T2-шлюз, который обеспечивает формирование метки времени (DVB-T2\_timestamp), необходимой для синхронизации всех

радиопередатчиков одночастотной сети НЦТВ системы DVB-T2. Также должна обеспечиваться синхронизация режимов работы T2-шлюза и всех радиопередатчиков DVB-T2 посредством сигналов внешней временной (1 PPS) и частотной (10 МГц) синхронизации.

#### 4.2.2 Измерения в системах цифрового ТВ вещания

Правила и процедуры контроля параметров входных и выходных сигналов всех блоков сквозного цифрового ТВ тракта определяются руководством TR 101 290 [14]. Эти правила установлены для спутникового, кабельного и наземного телевизионного вещания DVB. Они позволяют идентифицировать проблемы модулятора и передатчика, обеспечивают правильное определение измеряемых параметров на физическом уровне систем DVB.

При эксплуатации систем цифрового вещания большое внимание уделяется контролю транспортного потока MPEG-2 TS. Все его параметры можно разделить на две части:

- параметры, относящиеся к структуре и синтаксису транспортного потока;
- параметры, относящиеся к физическим характеристикам транспортного потока.

Транспортный поток MPEG-2 TS должен иметь структуру и синтаксис в соответствии с [8]. Параметры структуры и синтаксиса разделены на три группы по приоритетности. Для каждого параметра в [14] определен алгоритм его оценки, состоящий из одного или нескольких условий. Для принятия решения о появившейся ошибке достаточно выполнение одного любого условия для данного параметра. Все параметры являются двоичными индикаторами. Если индикатор активен, то транспортный поток содержит соответствующую ошибку.

Параметры первого приоритета определяют возможность декодирования транспортного потока и измеряются в первую очередь. К ним относятся:

1. TS\_sync\_loss (потеря синхронизации транспортного потока). Несоответствие байтов синхронизации двух и более последовательно принятых пакетов заданному значению ( $47_h$ ). Восстановлению синхронизации соответствует успешный прием байтов синхронизации пяти и более последовательно принятых пакетов. При потере синхронизации остальные параметры транспортного потока не измеряются.

2. Sync\_byte\_error (ошибка приема байта синхронизации). Отсутствие корректного байта синхронизации сразу после последовательно принятых 188 байт потока.

3. PAT\_error (ошибка таблицы объединения программ). Отсутствие пакета с таблицей объединения программ (пакета с идентификатором PID = 0000<sub>h</sub>) в течение более 0,5 с; отсутствие в пакете с идентификатором PID = 0000<sub>h</sub> идентификатора таблиц 00<sub>h</sub>, показывающего начало секции таблицы объединения программ, либо неравенство значению 00<sub>h</sub> поля контроля скремблирования пакета.

4. Continuity\_count\_error (нарушение правильности последовательности пакетов). Потеря (либо повтор) более чем двух пакетов с одинаковым идентификатором.

5. PMT\_error (ошибка таблицы структуры программы). Отсутствие пакета с таблицей структуры программы для каждого идентификатора в таблице соединения программ в течение более чем 0,5 с; отсутствие в пакетах с таблицей структуры программы идентификатора таблиц 02<sub>h</sub> либо неравенство значению 00<sub>h</sub> поля контроля скремблирования пакета.

6. PID\_error (ошибка идентификатора пакета). Интервал между двумя последовательными пакетами с одинаковыми данными для идентификации (PID) будет более 0,5 с.

Параметры второго приоритета позволяют выявить ситуацию, способную повлиять на функционирование системы цифрового ТВ вещания в целом, и рекомендуются для периодического либо непрерывного контроля:

1. Transport\_error (ошибка в транспортном пакете). Бит контроля правильности передачи транспортного потока, передаваемый в заголовке пакета, имеет значение логической «1», что свидетельствует о как минимум одной нескорректированной ошибке в пакете.

2. CRC\_error (ошибка циклического контроля таблиц со служебной информацией о передаваемых программах). Несоответствие содержания таблицы со служебной информацией о передаваемых в составе транспортного потока программах проверочным данным кодового слова циклического избыточного контроля.

3. PCR\_error (ошибка в передаче опорного программного тактового сигнала). Интервал между двумя последовательно принятыми временными метками PCR превышает 40 мс.

4. PCR\_accuracy\_error (недопустимое отклонение частоты опорного программного тактового сигнала). Разность между фактическим временем прихода временной метки программного потока и расчетным временем выходит за пределы  $\pm 500$  нс.

5. PTS\_error (ошибка меток времени представления). Метки времени представления отсутствуют в потоке более 700 мс.

6. CAT\_error (ошибка таблицы условного доступа). Отсутствие таблицы условного доступа в пакете с шифрованными данными.

Параметры третьего приоритета отражают соответствие использованных средств MPEG правилам DVB и рекомендуются для специальных измерений.

Параметрами, относящимися к физическим характеристикам, являются скорость цифрового транспортного потока MPEG-2 и джиттер программных тактов.

Транспортный поток MPEG-2, передаваемый через любую реальную сеть, подвергается определенным воздействиям, которые вызваны неидеальностью сетевых компонентов. Одно из преобладающих воздействий в отношении значений PCR и их позиций в транспортном потоке – это приобретение джиттера.

Транспортный поток содержит программные компоненты с существенно различающимися тактовыми частотами, поэтому невозможно или очень трудно привести все сигналы к единой временной базе. Для управления такими потоками вводится механизм синхронизации, называемый ссылкой на программные часы (PCR – Program Clock Reference). PCR, как и другие временные метки, представляет собой 33-битовое число, отсчитываемое в периодах частоты 90 кГц, получаемой делением частоты тактового генератора 27 МГц на 300. Оно показывает ожидаемое время завершения считывания в декодере поля PCR из транспортного потока, после чего декодер может приступить к сравнению пришедшего и местного отсчетов и выработке корректирующего сигнала.

В отличие от ссылки на системные часы (SCR – System Clock Reference), ссылки на программные часы (PCR) вводятся в поток на программном, а не на системном уровне. В одном потоке может передаваться несколько различных PCR – по числу программ. Декодер при переключении на каждую новую программу заново синхронизирует свой внутренний генератор частоты 27 МГц. Стандарт предписывает повторение метки PCR не реже чем один раз в 0,7 с. В промежутках декодер вычисляет значения меток путем интерполяции. PCR передается в поле адаптации. Одним из негативных эффектов передачи является изменение программных часов PCR (джиттер) в транспортном потоке.

Определены следующие составляющие джиттера:

- отклонение частоты (PCR\_FO);
- дрейф (PCR\_DR);
- общий джиттер (PCR\_OJ);
- точность программных тактов (PCR\_AC).

Отклонение частоты (PCR\_FO) определяется как разница между переданной частотой программных тактов и номинальной тактовой частотой. Допустимое отклонение определяется в [8] и соответствует  $\pm 810$  Гц или  $\pm 30$  млн<sup>-1</sup>.

Дрейф (PCR\_DR) определяется как первая производная частоты и измеряется на компонентах низкой частоты программных тактов при помощи разницы между переданной частотой программных тактов и номинальной частотой тактов. Допустимое отклонение определено в ИСО/IEC 13818-1 и составляет  $\pm 75$  мГц/с, или  $\pm 10$  млн<sup>-1</sup>/ч.

Общий джиттер (PCR\_OJ) определяется как мгновенное изменение компонентов с высокой частотой, т. е. это разница между тем, когда PCR должен прибыть в точку измерения, и тем, когда он прибыл фактически. Измеренное значение параметра PCR\_OJ выражается в наносекундах.

Измерение PCR\_OJ разработано для учета всех совокупных ошибок, влияющих на значения PCR в течение генерации программного потока, мультиплексирования, передачи и т. п. Все эти воздействия проявляются как джиттер на входе приемника, но все они являются комбинацией неточностей PCR и джиттера при передаче. Поэтому допустимое значение может быть сравнимо с максимальной ошибкой, определенной в ISO/IEC 13818-1 как точность PCR, равной  $\pm 500$  нс, при том условии, что джиттер при передаче принимается равным нулю.

Точность PCR (PCR\_AC) определяется как разница между фактическим значением PCR и величиной, которая должна быть в транспортном потоке, представляемая байтовым индексом для своей фактической позиции. Она может быть вычислена для постоянной скорости транспортного потока. Измеренное значение параметра PCR\_AC выражается в наносекундах. Допустимое значение определено в ISO/IEC 13818-1 и составляет  $\pm 500$  нс.

В системе НЦТВ DVB-T2 наряду с параметрами транспортного потока необходимо контролировать структуру и параметры цифрового потока на уровне интерфейса T2-MI и инкапсуляции этого потока в транспортный поток MPEG-2.

Вторым направлением измерений в системах DVB является измерение радиочастотных параметров оборудования. Для систем НЦТВ – это, например, параметры излучаемого радиосигнала, влияние шумов на качество передачи информации, измерение коэффициента битовых ошибок *BER*, анализ квадратурных составляющих *I/Q*, ошибки модуляции и синхронизации и т. п.

Уровень мощности внеполосных составляющих спектра выходного сигнала радиопередатчика в области отклонений от центральной частоты  $\pm 12$  МГц не должен выходить за пределы не критичной ограничительной маски (рисунок 4.2). При необходимости дополнительного снижения уровня создаваемых радиопередатчиком помех радиосредствам, работающим в соседних каналах, должна применяться критичная ограничительная маска, накладывающая более жесткие требования на уровень внеполосных составляющих спектра выходного сигнала. Координаты узловых точек ограничительных масок для спектральной плотности мощности выходного сигнала радиопередатчика приведены в таблице 4.1.

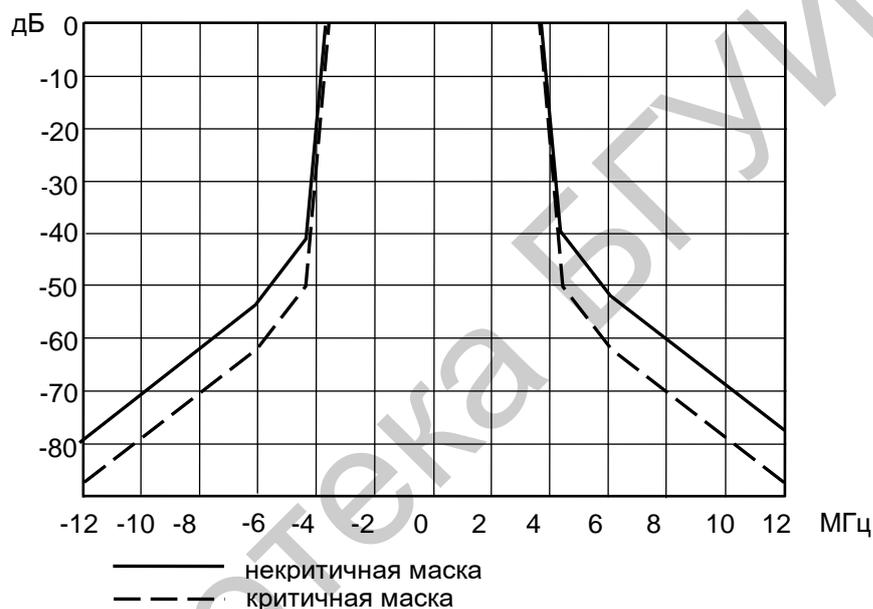


Рисунок 4.2 – Вид ограничительной маски для спектральной плотности мощности выходного сигнала радиопередатчика

Успешная обработка сигналов OFDM требует, чтобы центральная частота спектра поддерживалась в передатчике с высокой точностью. Особенно высокой точности требуют специфические режимы работы, такие как одночастотные сети SFN.

В режиме 8k DVB-T всегда имеет непрерывный пилот с непрерывной фазой в последовательности OFDM-символов точно в центре канала ( $K = 3408$ ). Его частота может быть непосредственно измерена при помощи анализатора спектра, имеющего встроенный частотомер и фильтр с разрешением не менее 300 Гц (при необходимости используется опорный источник с достаточной точностью).

Таблица 4.1 – Координаты узловых точек ограничительных масок для спектральной плотности мощности выходного сигнала радиопередатчика

Некритичная спектральная маска		Критичная спектральная маска	
Отклонение от центральной частоты, МГц	Уровень мощности внеполосных составляющих спектра, дБ	Отклонение от центральной частоты, МГц	Уровень мощности внеполосных составляющих спектра, дБ
Минус 12	Минус 77,2	Минус 12	Минус 87,2
Минус 6	Минус 52,2	Минус 6	Минус 62,2
Минус 4,2	Минус 40,2	Минус 4,2	Минус 50,2
Минус 3,8	0	Минус 3,8	0
3,8	0	3,8	0
4,2	Минус 40,2	4,2	Минус 50,2
6	Минус 52,2	6	Минус 62,2
12	Минус 77,2	12	Минус 87,2

В режиме  $2k$  имеется непрерывный пилот с непрерывной фазой при  $K = 1140$ . Его частота также может быть измерена анализатором спектра. Центральная частота канала с полосой 8 МГц может быть определена вычитанием значения 1 285 714 Гц из измеренной частоты.

Для режима  $2k$  этот метод может давать некоторую неточность, если частота тактирования модулятора нестабильна, однако такая ошибка должна быть очень высокой, чтобы значительно повлиять на измерение центральной частоты канала. Если требуется более высокая точность, могут быть измерены два внешних пилота (ширина радиочастотного канала) и рассчитано среднее значение из двух измеренных величин.

Для характеристики качества выходных сигналов передающих систем или модуляторов одним из наиболее часто используемых параметров является коэффициент ошибок модуляции  $MER$ . Это параметр, характеризующий расхождение между идеальной (вычисленной) и реальной позициями векторов в сигнальном созвездии. Его можно интерпретировать как расширенную версию отношения сигнал/шум. Он также включает систематические ошибки от специфических искажений модулятора, таких, как амплитудный дисбаланс, фазовое дрожание и квадратурные ошибки. На приемной стороне величина  $MER$  характеризует качество сигнала, включая систематические ухудшения, вызванные передающей системой. Считается, что ее минимальное значение находится в пределах 37 – 43 дБ.

Уровень ошибок модуляции зависит от многих факторов в передающем тракте.  $MER$  является мерой суммарного воздействия помех в системе передачи. В результате суммарного воздействия всех факторов точки сигнального созвездия смещаются относительно их номинального положения в центре окна решения. Если отклонения слишком большие, то вектор точки сигнального созвездия пересекает границы своего окна и в приемнике принимается ошибочное решение по величинам составляющих  $I$  и  $Q$ . Отклонение от центра квадратной области («поля решения») можно рассматривать как параметр, соответствующий величине помехи. Вектор ошибки направлен от центра окна к точке действительного положения (рисунок 4.3). Измеряются длины всех векторов ошибок за определенный интервал времени, вычисляется среднее квадратическое значение или определяется пиковая величина.  $MER$  рассчитывают в соответствии с выражением

$$MER = 10 \lg \left[ \frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)} \right], \text{ дБ}, \quad (4.1)$$

где  $I_j$  и  $Q_j$  – координаты в сигнальном созвездии идеальной точки;

$\delta I_j$  и  $\delta Q_j$  – соответственно отклонения принятой  $j$ -й точки от идеальной.

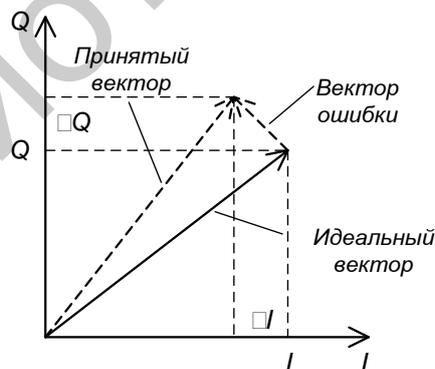


Рисунок 4.3 – Определение коэффициента  $MER$

### 4.3 Схема проведения измерений

Измерительная установка (рисунок 4.4) собрана на базе специализированного измерительного приемника Alitronika AT780 и ПЭВМ с соответствующими

шим программным обеспечением (ПО) – DVSSStation4 (или более новых версий). Для контроля качества принимаемых сигналов изображения и звука используется телевизионный приемник сигналов НЦТВ систем DVB-T/T2/C. Измерение параметров спектра радиосигнала выполняется анализаторами спектра Tektronix YBT-250 или AAronia.

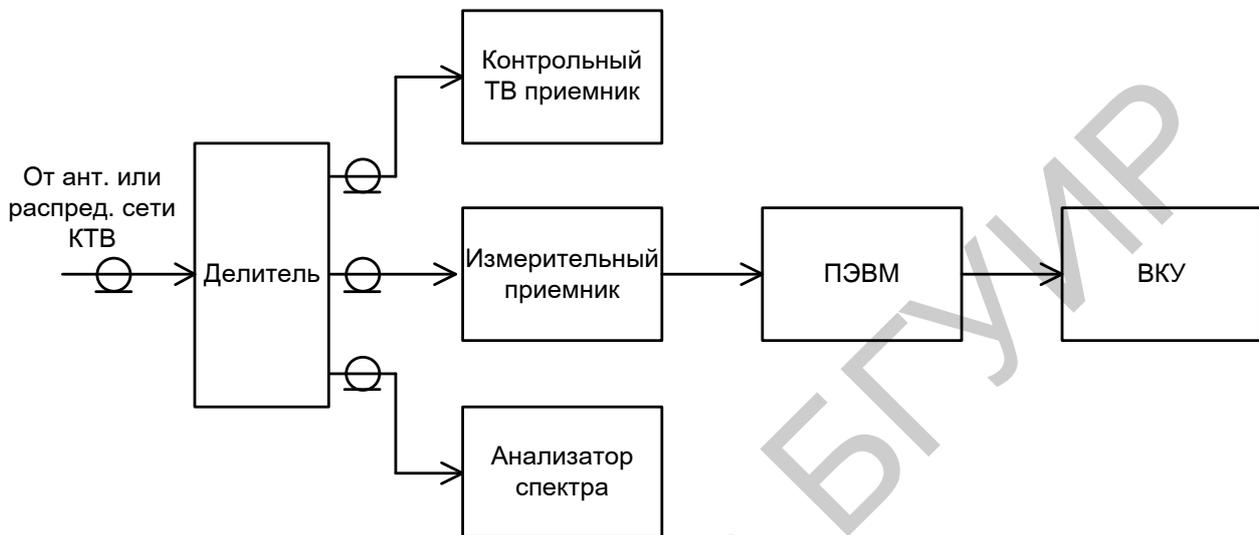


Рисунок 4.4 – Схема измерений

## 4.4 Порядок выполнения работы

### 4.4.1 Подготовка к измерениям

4.4.1.1 Подключить измерительное оборудование в соответствии со схемой на рисунке 4.4. Включить оборудование.

4.4.1.2 Запустить ПО «DVSSStation 4». В окне выбора устройства («Select Device») выбрать соответствующее устройство – приемник AT780USB-T для работы с сигналами системы DVB-T либо AT780USB-T2 для работы с сигналами системы DVB-T2 (рисунок 4.5). При отсутствии в списке доступных устройств какого-либо аппаратного обеспечения, кроме «Demo device», обновить список («Update list»). Если список пуст, проверить подключение измерительного приемника к ПЭВМ и наличие напряжения питания на нем.

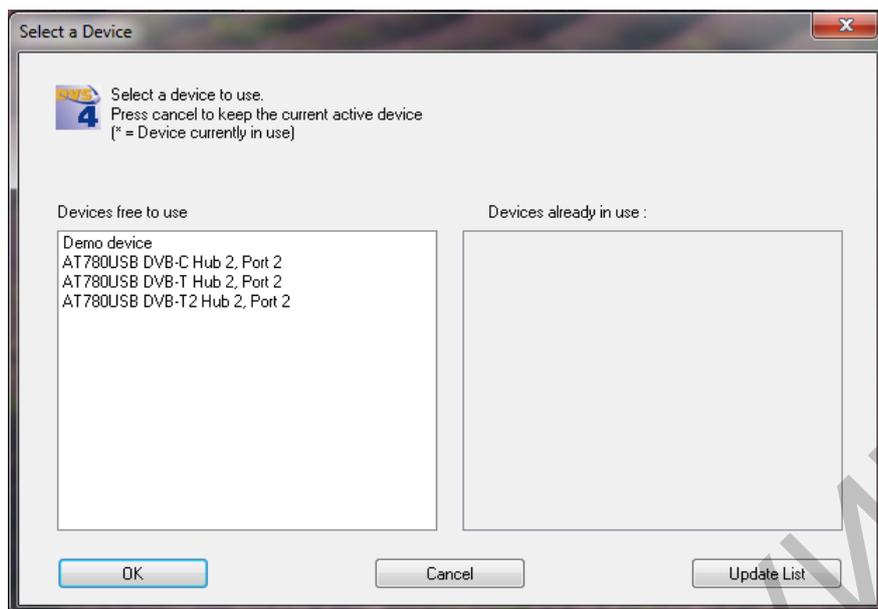


Рисунок 4.5 – Окно выбора модели измерительного приемника

В случае успешного подключения выполнится инициализация выбранного устройства и появится основное окно программы (рисунок 4.6).

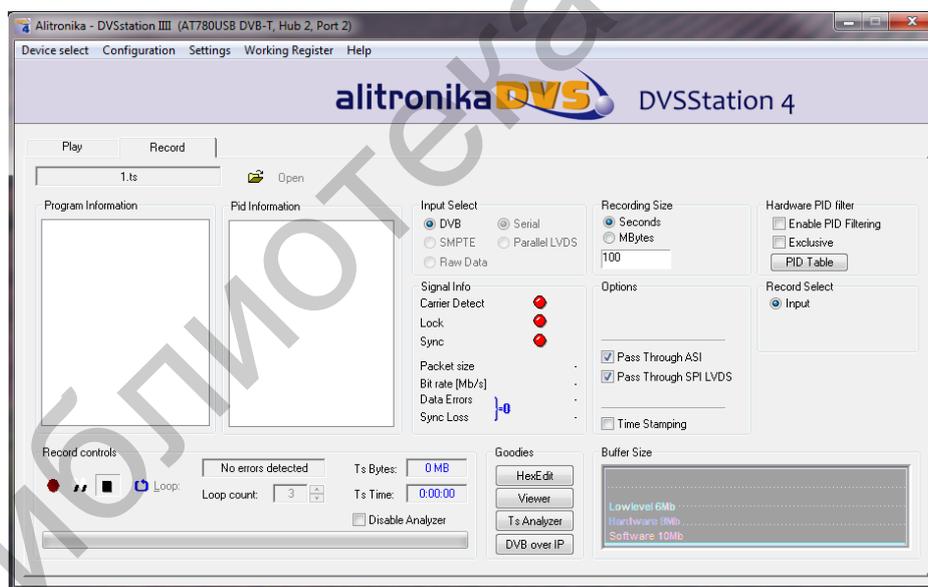
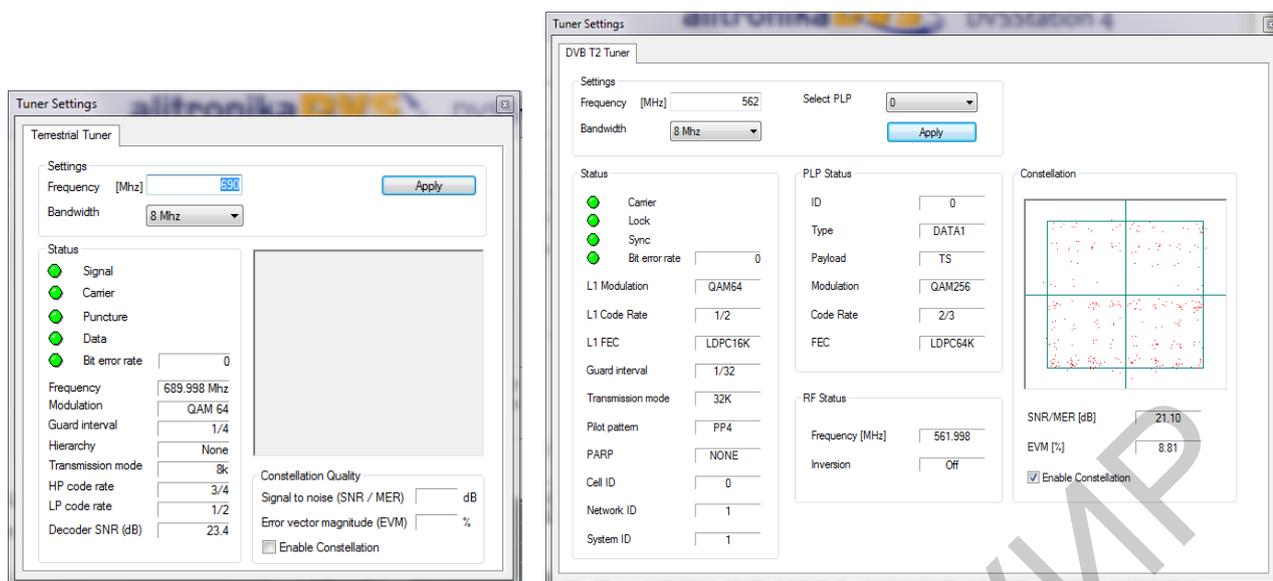


Рисунок 4.6 – Основное окно программы

4.4.1.3 Во вкладке «Configuration» выбрать пункт настроек приемника («Tuner settings»). В открывшемся окне (рисунок 4.7) указать значения центральной частоты («Frequency») и ширины полосы частот («Bandwidth») радиоканала в соответствии со стандартом принимаемого сигнала.



а

б

а – для системы НЦТВ DVB-T;  
 б – для системы НЦТВ DVB-T2

Рисунок 4.7 – Окна настроек параметров приемника

При наличии в заданном частотном канале радиосигнала выбранной системы DVB индикаторы состояния канала («Status») приобретут зеленый цвет, а ниже отобразятся основные параметры радиосигнала. Зафиксировать параметры модуляции радиосигнала принимаемого канала.

Отображение и оценка параметров сигнального созвездия производится посредством подключения соответствующего программного модуля («Enable constellation»). Для получения информации о параметрах сигнального созвездия требуется достаточно продолжительное время – не менее 1 мин. Зафиксировать вид сигнального созвездия, сделать вывод о характере его искажений. Зафиксировать величины *MER* и *EVM*.

4.4.1.4 Для просмотра программ подключить внешний программный проигрыватель videoLAN. Для этого при отжатой кнопке «▶▶» нажать кнопку «Viewer». В появившемся окне установки конфигурации видеоплеера (рисунок 4.8) выбрать его тип – Use videoLAN, установить путь к его исполняемому файлу и номер UDP-порта (при выполнении лабораторной работы эти параметры заранее предустановлены и изменять их не нужно). После запуска видеоплеера во вкладке «Media» его главного окна (рисунок 4.9) выбрать пункт «Открыть URL», далее в окне «Источники» (рисунок 4.10) указать сетевой адрес источника и нажать кнопку «Воспроизвести». Далее перейти в основное ок-

но программы (см. рисунок 4.6) и включить режим контроля транспортного потока данных кнопкой «▶▶». После этого должно начаться отображение видеопрограммы в окне видеоплеера. Управление параметрами воспроизведения изображений и звука осуществляется средствами видеоплеера.

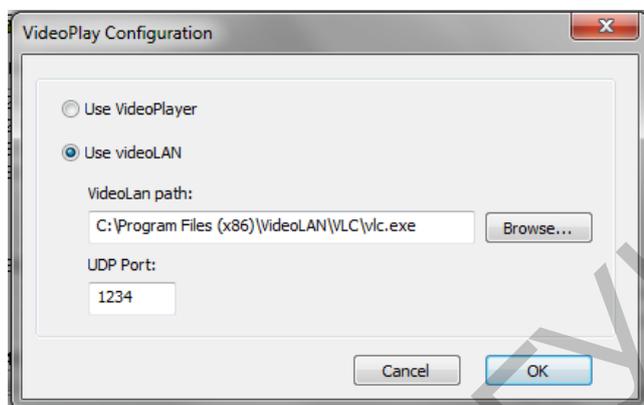


Рисунок 4.8 – Окно конфигурации видеоплеера

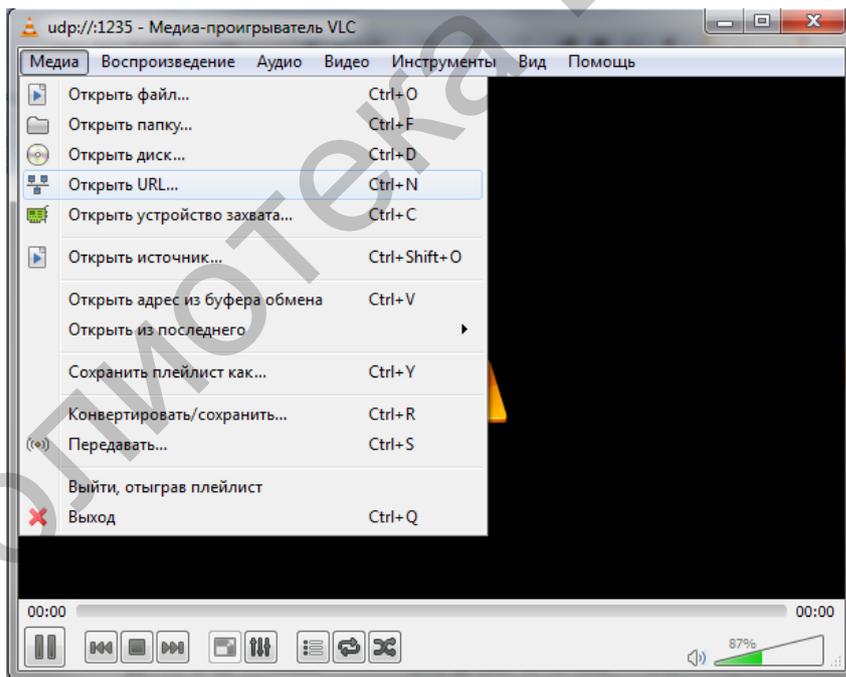


Рисунок 4.9 – Основное окно видеоплеера

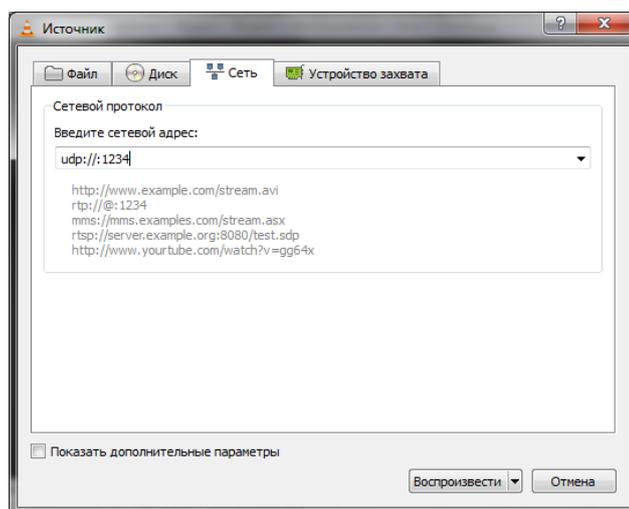


Рисунок 4.10 – Установка пути к источнику видео

#### 4.4.2 Измерение и контроль параметров транспортного потока данных

4.4.2.1 Для контроля параметров транспортного потока данных нажать кнопку с пиктограммой «▶▶» («Monitor input stream») в подменю управления параметрами записи («Record control») основного окна программы (см. рисунок 4.6). При этом отображается (рисунок 4.11) информация о перечне передаваемых в потоке программ, их наименования (если заданы) и состав.

Зафиксировать номера пакетных идентификаторов PID составляющих одной из принимаемых программ и скорости их передачи.

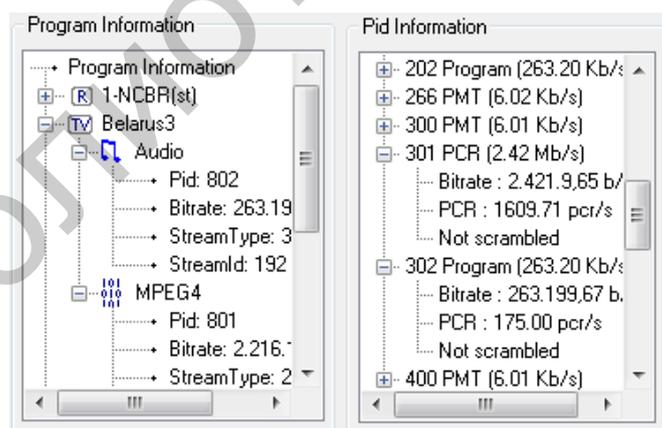


Рисунок 4.11 – Окно отображения состава транспортного потока данных

4.4.2.2 Подключение анализатора транспортного потока данных произвести при отключенном режиме внутреннего контроля параметров (кнопка «▶▶» в отжатом состоянии) нажатием кнопки «TsAnalyzer». В открывшемся окне (рисунок 4.12) проконтролировать выбранный тип анализатора (для выполне-

ния лабораторной работы – TSReader Standard), указать путь к его исполняемому (\*.exe) файлу и номер UDP-порта (при выполнении лабораторной работы эти параметры предустановлены и их изменение не требуется). Инициализировать TSReader. В случае успешного подключения анализатора транспортного потока появится основное окно программы (рисунок 4.13). Проконтролировать структуру принимаемого транспортного потока, при наличии ошибок в структуре потока – зафиксировать их.

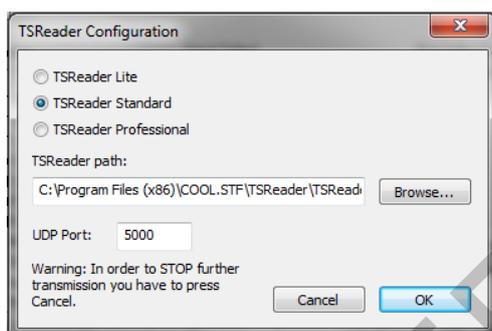


Рисунок 4.12 – Окно конфигурации анализатора транспортного потока данных

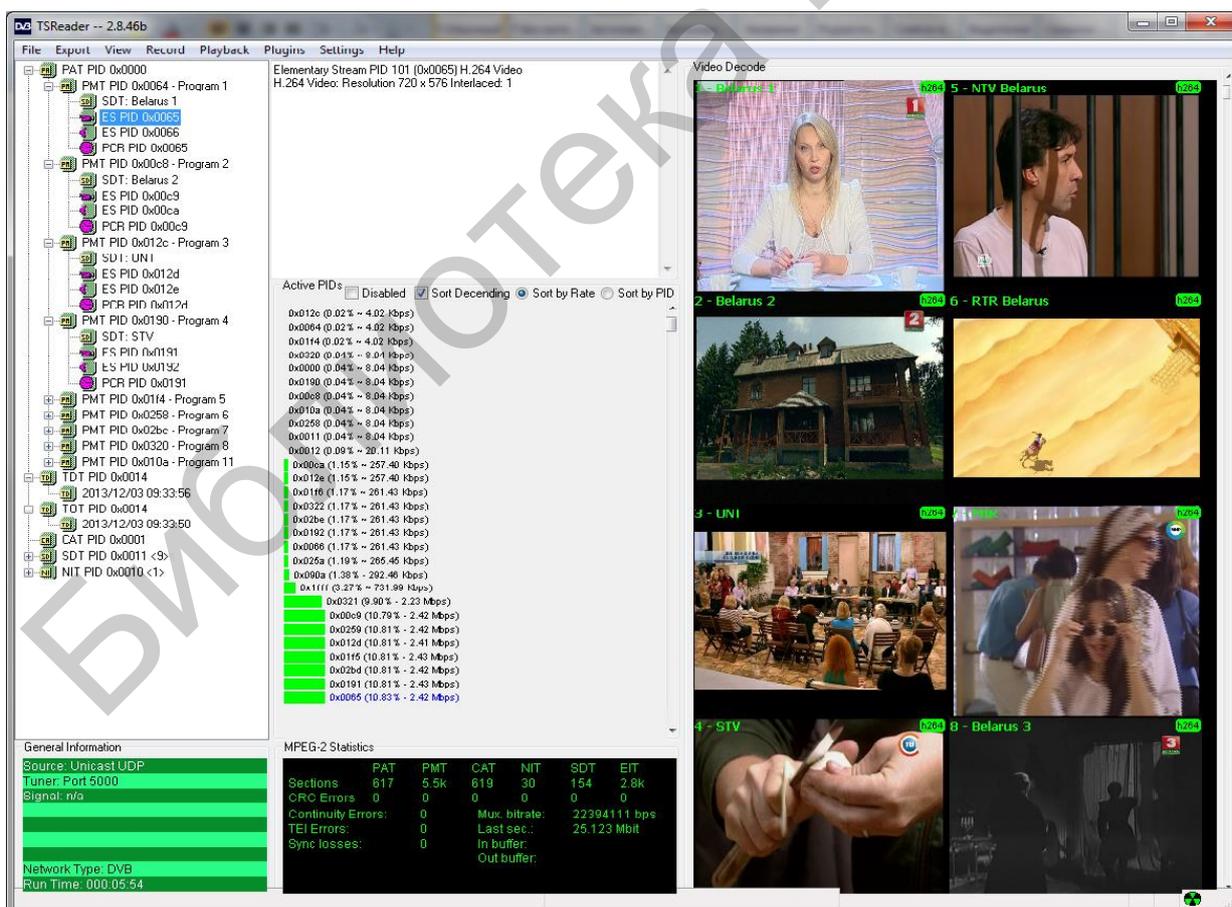
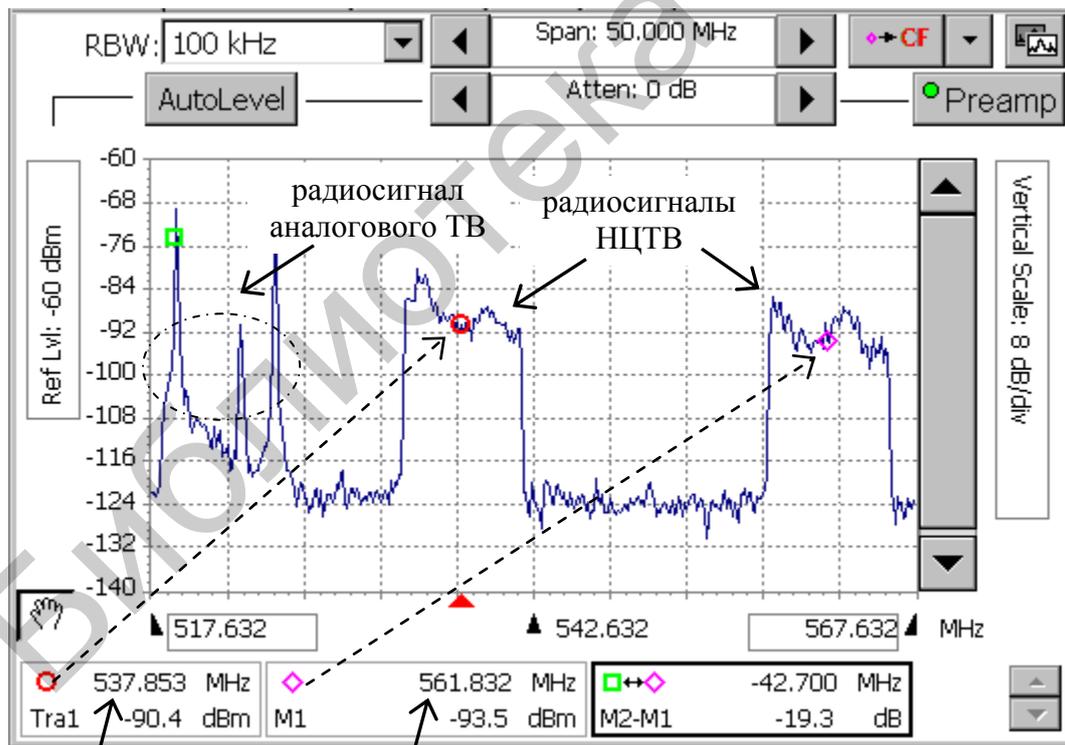


Рисунок 4.13 – Основное окно анализатора транспортного потока

#### 4.4.3 Измерение и контроль параметров спектра радиосигнала

4.4.3.1 Произвести поиск сигналов НЦТВ следующим образом. Включить анализатор спектра Tektronix, активировать ПО анализа спектра RFScout. Просмотреть частотный диапазон от 470 до 790 МГц на предмет наличия сигналов НЦТВ. Для этого установить значение диапазона перестройки по частоте («Span») равным 50 МГц, полосу пропускания тракта ПЧ («RBW») – не более 1 МГц, опорный уровень («Ref lvl») – в положение «авто», цена деления вертикальной шкалы («Vertical Scale») – 10 или 5 дБ.

Последовательно устанавливая значение центральной частоты в пределах от 470 до 790 МГц с шагом, равным установленному диапазону перестройки по частоте, определить количество транслируемых радиосигналов систем НЦТВ DVB-T и DVB-T2, зафиксировать примерные (с точностью  $\pm 0,5$  МГц) значения их центральных частот (рисунок 4.14). Сохранить на внешний накопитель необходимые экранные копии в любом из графических форматов и привести их в отчете. Радиосигнал НЦТВ обнаруживается по характерному, близкому к прямоугольному спектру с шириной полосы частот порядка 7,7 МГц.



центральная частота радиосигнала 1, примерное значение

центральная частота радиосигнала 2, примерное значение

Рисунок 4.14 – Поиск сигналов НЦТВ

4.4.3.2 Определить граничные частоты радиосигнала. Установить значение диапазона перестройки по частоте равным 10 или 20 МГц, полосу пропускания тракта ПЧ – в положение «авто», значение центральной частоты – равным средней частоте одного из найденных радиосигналов НЦТВ. При помощи маркеров «◆» и «■» определить значения нижней  $f_n$  и верхней  $f_с$  граничных частот спектра радиосигнала. Граничными частотами считать ближайшие к центральной частоте радиосигнала частоты, на которых его спектральная плотность мощности (СПМ) становится равной СПМ шума (рисунок 4.15).

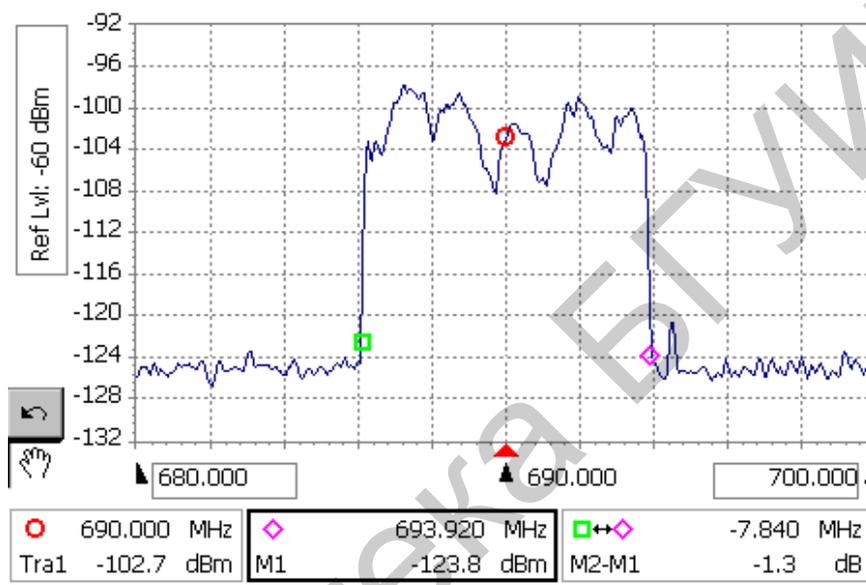


Рисунок 4.15 – Определение граничных частот радиосигнала НЦТВ

4.4.3.3 Определить мощность радиосигналов на входе приемника. Установить значение диапазона перестройки по частоте равным 10 МГц, полосу пропускания тракта ПЧ – не более 100 кГц, режим отображения («Trace») – с усреднением («Average»), дождаться завершения процесса усреднения. Определить среднее значение СПМ в пределах занимаемой радиосигналом полосы частот для всех принимаемых радиосигналов НЦТВ. Мощность сигнала на входе приемника вычислить по выражению

$$P_{\text{сх.ППМ}} = P_{RBW} + 10 \cdot \lg\left(\frac{\Delta F_{PC}}{RBW}\right), \text{ дБм}, \quad (4.2)$$

где  $P_{RBW}$  – среднее значение СПМ в полосе пропускания тракта ПЧ, дБм;

$RBW$  – значение ширины полосы пропускания тракта ПЧ, Гц;

$\Delta F_{PC} = f_с - f_n$  – ширина занимаемой радиосигналом полосы частот, Гц.

4.4.3.4 Определить центральную частоту радиосигнала. Установить центральный маркер на нижний по частоте край спектра радиосигнала, значение центральной частоты принять равным  $f_n$ , диапазон перестройки по частоте – 200 кГц, полосу пропускания тракта ПЧ – не более 3 кГц, режим отображения («Trace») – с усреднением («Average»), дождаться завершения процесса усреднения. При помощи маркера определить значение частоты  $f_{n.n}$  крайнего снизу непрерывного пилот-сигнала (рисунок 4.16). Переместить центральный маркер на верхний по частоте край спектра, значение центральной частоты принять равным  $f_e$  и определить значение частоты  $f_{n.e}$  крайнего сверху непрерывного пилот-сигнала. Значение центральной частоты вычислить по формуле

$$f_{ц} = \frac{f_{n.e} - f_{n.n}}{2}. \quad (4.3)$$

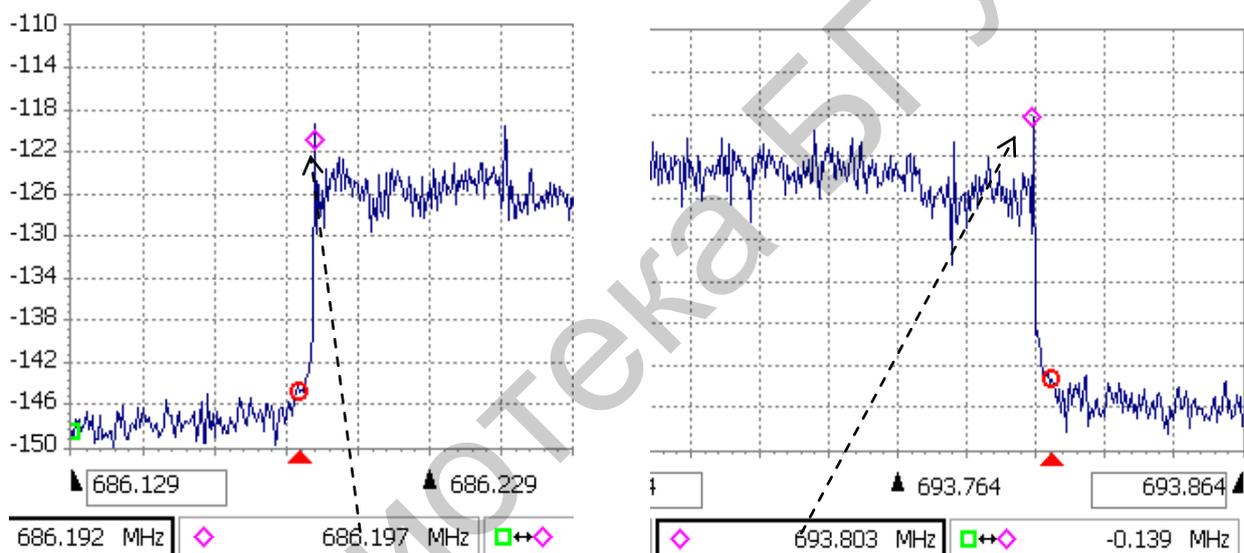


Рисунок 4.16 – Определение частот граничных пилот-сигналов

Определить точные значения центральной и граничных частот спектра всех принимаемых радиосигналов НЦТВ, а также значения занимаемой полосы частот. Результаты измерений представить в виде таблицы (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Параметры спектра принимаемых радиосигналов НЦТВ

Номер радиосигнала	Нижняя граничная частота, МГц	Верхняя граничная частота, МГц	Центральная частота, МГц	Занимаемая полоса частот, МГц	$P_{ex. ПРМ}$ , дБм
Р/сигнал 1					
Р/сигнал 2					
...					
Р/сигнал N					

4.4.3.5 Исследовать структуру спектра радиосигнала. Установить диапазон перестройки по частоте равным 10 либо 20 кГц, полосу пропускания тракта ПЧ – 10 Гц, значение центральной частоты – в пределах от  $f_n$  до  $f_e$  (желательно, чтобы в анализируемую полосу частот попал хотя бы один непрерывный пилот-сигнал), режим отображения – с усреднением. При помощи маркеров «◆» и «■» определить разность  $\Delta f$  между значениями частот локальных максимумов СПМ радиосигнала (рисунок 4.17), образованных несущими данными. Сравнить полученное значение со стандартным расстоянием между несущими COFDM-сигнала, сделать вывод об используемом режиме передачи (количестве формируемых несущих сигнала).

Проанализировать изменения в микроструктуре спектра, образованные распределенными пилот-сигналами, сделать вывод об используемой схеме их передачи.

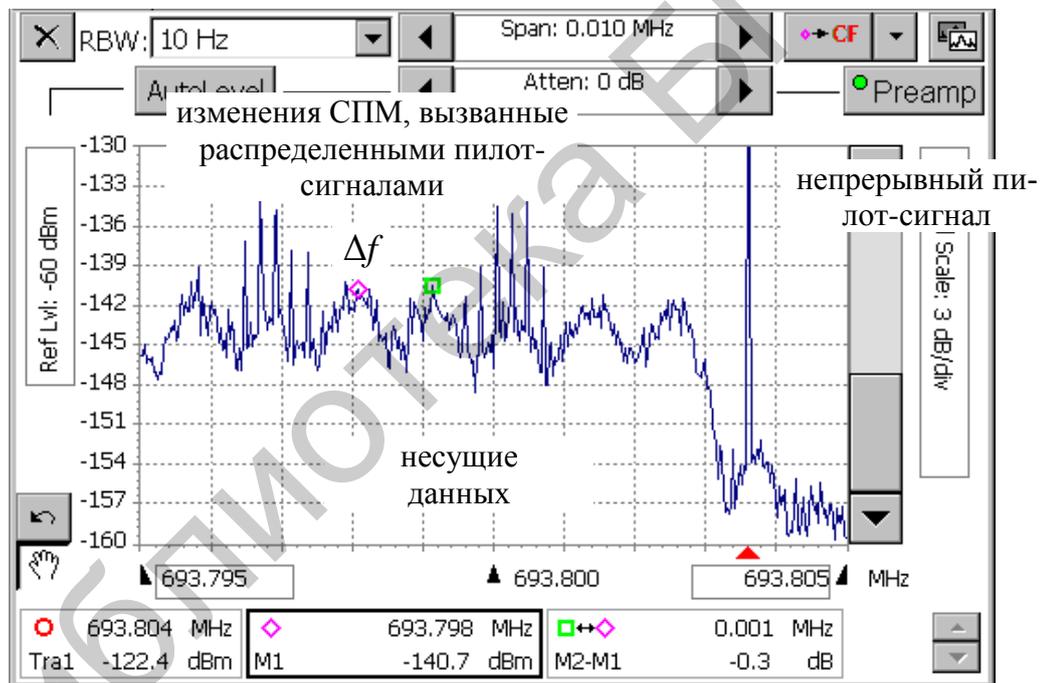


Рисунок 4.17 – Определение структуры спектра радиосигнала

## 4.5 Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Результаты исследований по пунктам 4.4.2, 4.4.3 (результаты измерений, спектрограммы, пояснение результатов измерений и расчетов).
3. Вывод.

## 4.6 Вопросы для самопроверки

1. Перечислите основные отличия в процессах формирования радиосигнала систем DVB-T и DVB-T2.

2. Как скажется на работе системы НЦТВ потеря синхронизации транспортного потока MPEG-2 TS?

3. Почему при измерениях в системах НЦТВ большое внимание уделяется измерению параметров временных меток PCR?

4. Какую информацию несут пакетные идентификаторы PID?

5. Какую роль играют пилот-сигналы в радиосигнале DVB-T?

6. Какой маске должна соответствовать спектральная плотность мощности выходного сигнала радиопередатчика, если в соседнем канале работает другое радиосредство?

7. Как будет выглядеть констелляционная диаграмма радиосигнала при наличии нелинейности амплитудной характеристики радиопередатчика?

8. Как будет выглядеть констелляционная диаграмма радиосигнала при наличии шума в канале?

9. В каких точках схемы приемника системы DVB-T можно измерять коэффициент *BER*?

10. В каких точках сквозного тракта системы DVB-T2 можно измерять коэффициент *MER*?

## Литература

1. Кривошеев, М. И. Основы телевизионных измерений / М. И. Кривошеев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Радио и связь, 1989. – 608 с.
2. ГОСТ 14872-82. Таблицы испытательные оптические телевизионные. Типы, размеры и технические требования.
3. Recommendation ITU-T J.61. Transmission performance of television circuits designed for use in international connections.
4. Recommendation ITU-R BT.1204. Measuring methods for digital video equipment with analogue input/output.
5. ETSI ETS 300 744. Digital Video Broadcasting (DVB). Framing structure, channel coding and modulation for terrestrial television.
6. ETSI EN 302 755. Digital Video Broadcasting (DVB). Framing structure, channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television system (DVB-T2).
7. ETSI EN 302 307. Digital Video Broadcasting (DVB). Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications.
8. ISO/IEC 13818-1 / Recommendation ITU-T H.222.0. Information Technology – Generic Coding of moving pictures and associated audio information: Systems.
9. ISO/IEC 13818-1:2000 / Amendment 3 : 2004. Recommendation ITU-T H.222.0 / Amendment 3. Transport of AVC video data over ITU-T Recommendation H.222.0 / ISO/IEC 13818-1 streams.
10. СТБ 1697 – 2010. Радиопередатчики телевизионные цифровые. Основные параметры и методы измерений. – 2013. – 40 с.
11. ETSI TS 101 154. Digital Video Broadcasting (DVB). Specification for the use of Video and Audio Coding in Broadcasting Applications based on the MPEG-2 Transport Stream.
12. ETSI TS 101 191. Digital Video Broadcasting (DVB). DVB mega-frame for Single Frequency Network (SFN) synchronization.
13. ISO/IEC 14496-10 : 2010 / Recommendation ITU-T H.264. Information technology – Coding of audio-visual objects. – Part 10 : Advanced Video Coding.
14. ETSI TR 101 290. Digital Video Broadcasting (DVB). Measurement guidelines for DVB systems.
15. Дворкович, В. П. Метрологическое обеспечение видеоинформационных систем / В. П. Дворкович, А. В. Дворкович. – М. : Техносфера, 2015. – 784 с.

*Учебное издание*

**Капуро Павел Александрович**

***ТЕХНИКА ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ.  
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ***

ПОСОБИЕ

Редактор *Е. И. Герман*

Корректор *Е. Н. Батурчик*

Компьютерная правка, оригинал-макет *А. А. Луцикова*

Подписано в печать 04.09.2017. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 5,12. Уч.-изд. л. 5,0. Тираж 50 экз. Заказ 391.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования

«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя

печатных изданий №1/238 от 24.03.2014, №2/113 от 07.04.2014,

№3/615 от 07.04.2014.

ЛП №02330/264 от 14.04.2014.

220013, Минск, П. Бровки, 6