

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОРДОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. Н. П. ОГАРЁВА»

Пьянзин Д. В., Королев В. И.

ЦИФРОВОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ  
СИГНАЛОВ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

САРАНСК  
2014

УДК 621.377.6

Рецензенты: доктор технических наук, профессор *В. К. Свешников*; доктор физико-математических наук, профессор *В. А. Маргулис*

**Цифровое представление телевизионных сигналов** : лабор. практикум / сост.: Д. В. Пьянзин, В. И. Королев – Саранск, 2014. – 29 с.

Составители: кандидат технических наук, доцент *Д. В. Пьянзин*; кандидат технических наук, доцент *В. И. Королев*

Приведены сведения, поясняющие принципы преобразования аналоговых видеосигналов в цифровую форму. Текстовый материал дополняется примерами дискретизации и квантования сигналов, а также описанием лабораторной установки предназначенной для изучения данной тематики.

Предназначено для студентов специальностей «Радиотехника» и «Радиоэлектронные системы и комплексы» очной и заочной форм обучения, может быть полезно студентам других специальностей, связанных с электронной техникой.

## Содержание

<u>Введение</u> .....	4
<u>1. Этапы преобразования аналоговых сигналов в цифровую форму</u> .....	5
<u>2. Цифровое кодирование ТВ изображений стандартной четкости</u> .....	11
<u>3. Цифровое кодирование ТВ изображений повышенной (EDTV) и высокой (HDTV) четкости</u> .....	16
<u>4. Описание лабораторного стенда «Цифровое преобразование видеосигналов»</u> .....	18
<u>5. Описание лабораторного стенда «Изучение смещения цветов»</u> .....	21
<u>6. Лабораторная работа №1 «Изучение цифрового кодирования компонентов видеосигнала»</u> .....	22
<u>7. Лабораторная работа №2 «Изучение цифрового кодирования композитного видеосигнала»</u> .....	27
<u>Библиографический список</u> .....	29

## Введение

Цифровое телевидение – это отрасль телевизионной техники, в которой передача, обработка и хранение телевизионного сигнала осуществляются в цифровой форме.

Перед аналоговым телевизионным вещанием цифровое имеет существенные преимущества: повышение помехоустойчивости трактов передачи и записи телевизионных сигналов; существенное увеличение числа телевизионных программ, передаваемых в том же частотном диапазоне; повышение качества изображения и звука в телевизионных приемниках с обычным стандартом разложения; создание телевизионных систем с новыми стандартами разложения изображения (телевидение высокой четкости – ТВЧ и т.д. Данные преимущества обусловлены как самими принципами, присущими цифровому телевидению, так и наличием разнообразных алгоритмов, схемных решений и мощной технологической базы для создания соответствующих систем.

В настоящее время в Российской Федерации высокими темпами внедряется цифровое телевизионное вещание, представляющее собой новый этап в развитии средств массовой информации. Развитие сети цифрового эфирного телерадиовещания на территории РФ на ближайшие годы (проектирование, строительство и эксплуатация) определено Федеральной целевой программой «Развитие телерадиовещания в России в 2009–2015 г. г.», принятой в декабре 2009 г. Создание и развертывание цифровых наземных сетей для их эфирной трансляции осуществляется единым государственным оператором по распространению общероссийских обязательных общедоступных телерадиоканалов ФГУП «Российская телевизионная радиовещательная сеть» [6]. В России принят стандарт наземного телевизионного вещания DVB-T/T2 [5].

С целью эффективного освоения студентами современных быстро изменяющихся реалий в области стандартов, методов и аппаратуры цифрового телевизионного вещания в рамках спецкурса «Основы цифрового телевидения» разработан лабораторный стенд для изучения преобразования аналоговых видеосигналов в цифровую форму.

Данный лабораторный практикум предназначен для выполнения лабораторных работ «Изучение цифрового кодирования компонентов видеосигнала» и «Изучение цифрового кодирования композитного видеосигнала».

## 1. Этапы преобразования аналоговых сигналов в цифровую форму

Преобразование аналогового сигнала в цифровую форму включает три этапа:

- дискретизацию по времени;
- квантование по уровню;
- присвоение квантованным значениям двоичного кода (кодирование).

В основе дискретизации лежит теорема Котельникова.

**Теорема.** Непрерывный аналоговый сигнал, ограниченный по спектру, может быть представлен последовательностью коротких импульсов (выборок), амплитуда которых повторяет огибающую аналогового сигнала, а частота их следования должна быть минимум в 2 раза больше верхней частоты в спектре исходного сигнала.

Таким образом, частота дискретизации  $f_d$  должна удовлетворять следующему неравенству (условие теоремы Котельникова):

$$f_d \geq 2f_B, \quad (1)$$

где  $f_B$  – верхняя частота в спектре аналогового сигнала

Данное условие, экспериментально найденное Найквистом, было строго обосновано В. А. Котельниковым. При выполнении указанного неравенства исходный аналоговый сигнал может быть восстановлен из дискретного без искажений с помощью фильтра нижних частот (ФНЧ).

Рассмотрим процесс дискретизации и условия возникновения искажений при восстановлении аналогового сигнала со спектральной точки зрения. Пусть спектр исходного сигнала занимает полосу частот от 0 до  $f_B$ . В результате выполнения дискретизации в спектре полученного сигнала будут присутствовать составляющие исходного спектра аналогового сигнала и побочные составляющие, которые совпадают по форме с исходным спектром и располагаются симметрично относительно частот  $f_d$ ,  $2f_d$ ,  $3f_d$  и т.д.

**Пример 1.** Выполним дискретизацию аналогового сигнала приведенного на рис. 1, с частотой  $f_d$  превышающей в 10 раз наивысшую частоту в спектре исходного сигнала. Аналоговый сигнал представляет собой сумму постоянной составляющей и гармоники с частотой равной 50 Гц.

Согласно условиям задачи, выбираем частоту дискретизации равную 500 Гц. Полученный дискретный сигнал приведен на рис. 2.

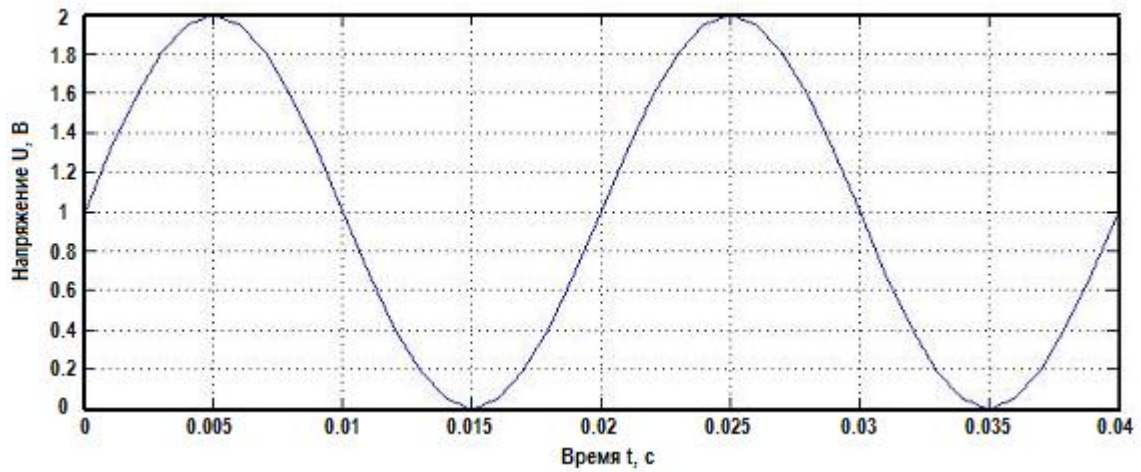


Рис. 1. Временная диаграмма аналогового сигнала

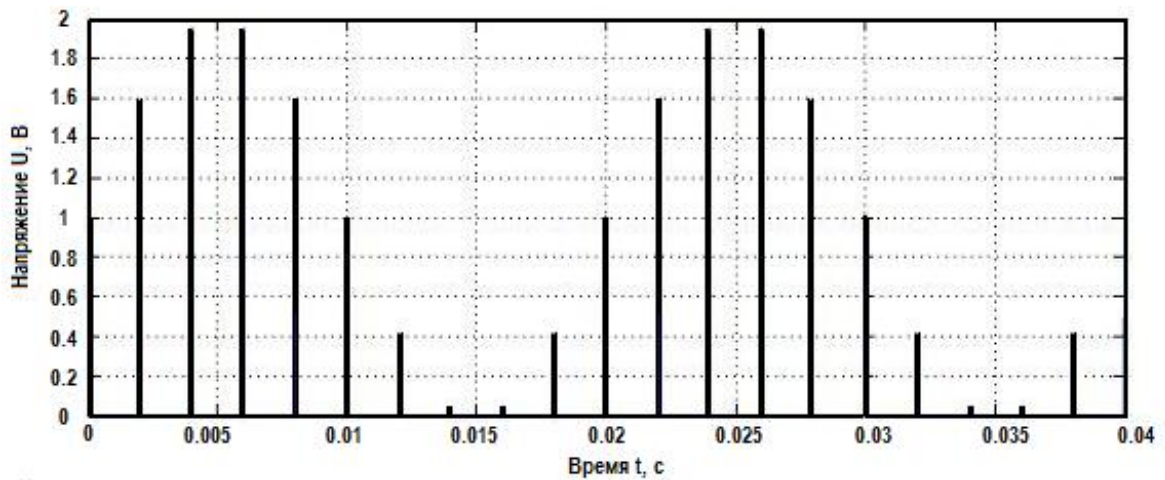


Рис. 2. Временная диаграмма дискретного сигнала

**Пример 2.** Построим спектры аналогового и дискретного сигналов, приведенных на рис. 1 и 2 соответственно.

На рис. 4 приведен спектр аналогового сигнала, а на рис. 5 – дискретного.

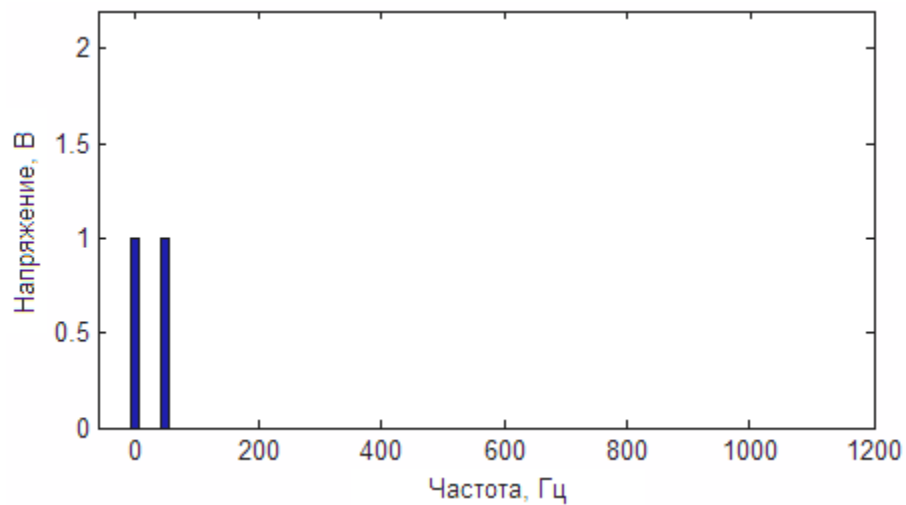


Рис. 4. Спектр исходного аналогового сигнала

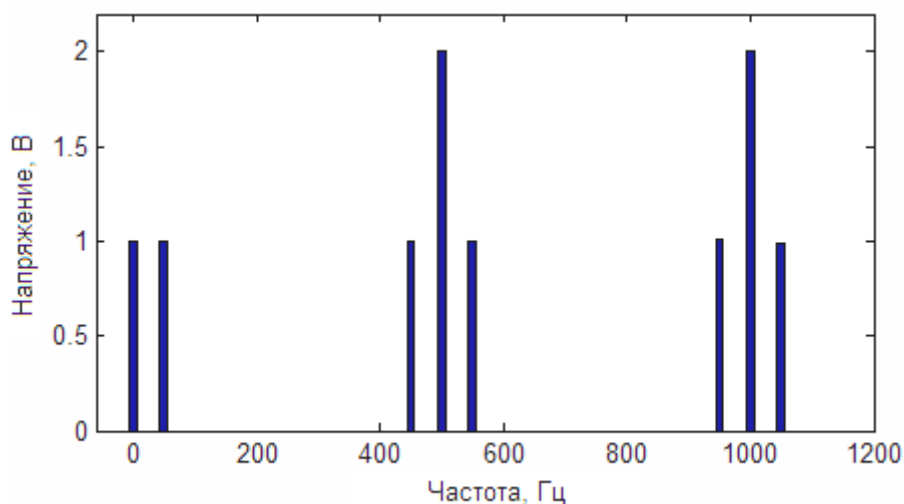


Рис. 5. Спектр дискретного сигнала

При выполнении условия теоремы Котельникова частотные составляющие исходного спектра сигнала не пересекаются с побочными составляющими, которые возникли при дискретизации, поэтому можно выделить исходный сигнал без искажений.

Если условие теоремы Котельникова не выполняется, то в таком случае спектр исходного сигнала перекрывается со спектром хотя бы одной из побочных составляющих. В результате при восстановлении сигнала возникнут необратимые искажения.

На практике частота дискретизации обычно выбирается больше чем в 2 раза (сверхдискретизация), что позволяет применять более простые ФНЧ для восстановления исходного сигнала.

Для представления дискретных отсчетов сигнала двоичным кодом их предварительно квантуют по уровню. В процессе квантования весь диапазон возможных изменений амплитуд аналогового сигнала от минимального  $U_{\text{мин}}$  до максимального  $U_{\text{макс}}$  значений разбивается на конечное число уровней напряжения (уровней квантования  $N_{\text{кв}}$ ). Величина, равная интервалу между соседними уровнями квантования называется шагом квантования  $\Delta$ .

Общее число уровней квантования определяется из следующего выражения:

$$N_{\text{кв}} = 2^k, \quad (2)$$

где  $k$  – разрядность двоичного кода, которым будет закодирован каждый дискретный отсчет.

Различают равномерное и неравномерное квантование. В первом случае шаг квантования является постоянной величиной, а во втором – переменной. При равномерном квантовании значение одного шага квантования связано с числом разрядов двоичного кода формулой:

$$\Delta = \frac{U_{\text{макс}} - U_{\text{мин}}}{2^k}. \quad (3)$$

В процессе квантования каждому дискретному отсчету присваивается значение ближайшего к нему уровня со шкалы квантования. В результате может возникнуть ошибка квантования  $e(n)$  (шум квантования), представляющая собой разность между квантованным и истинным значением сигнала. Шум квантования оказывает на процесс передачи информации, по существу, такое же влияние, как и помехи в канале связи.

При равномерном квантовании шум квантования является одинаковой величиной для всех амплитуд сигнала. Следовательно, отношение сигнал/шум для сигналов с малой амплитудой будет хуже, чем для больших амплитуд, что в свою очередь влияет на качество. Данная проблема может быть решена посредством использования неравномерного квантования, когда меньшие уровни сигнала квантуются с меньшим шагом, а большие уровни – большим. На рис. 6 приведена структура неравномерного квантования.

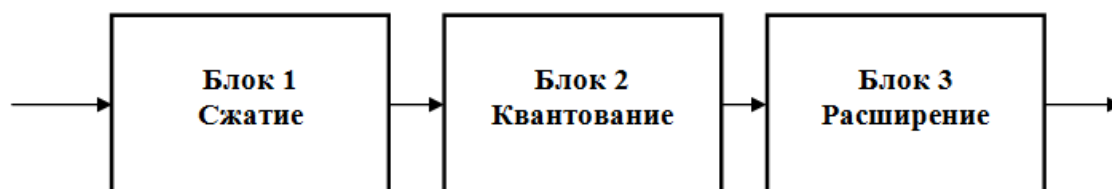


Рис. 6. Структура неравномерного квантования

В блоке 1 выполняется сжатие входного сигнала, который затем подается на равномерный квантователь (блок 2). Характеристика сжатия является логарифмической функцией, она позволяет устранить нежелательную зависимость отношения сигнал/шум от уровня входного сигнала. Для расширения сигнала он пропускается через устройство (блок 3) с проходной характеристикой, обратной к устройству сжатия. Пара преобразований сигнала – сжатие и расширение – называется компрессированием.

После квантования выполняется кодирование квантованных уровней сигнала путем присвоения двоичного кода каждому уровню. Таким образом, аналоговый сигнал представляется последовательностью двоичных чисел (цифровой код), соответствующих величине сигнала в определенные моменты времени. Преобразование аналогового сигнала в цифровой код называется импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ).

**Пример 3.** Выполним равномерное квантование дискретного сигнала, приведенного на рис. 2, с последующим кодированием квантованных значений трехрядным двоичным кодом ( $k=3$ ). Пусть диапазон возможных изменений амплитуды сигнала составляет от 0 до 2 В.

Согласно выражению (2), получаем число уровней квантование равное  $N_{\text{кв}} = 8$ . Разобьем диапазон изменения амплитуды сигнала на восемь уровней, как показано на рис. 7.



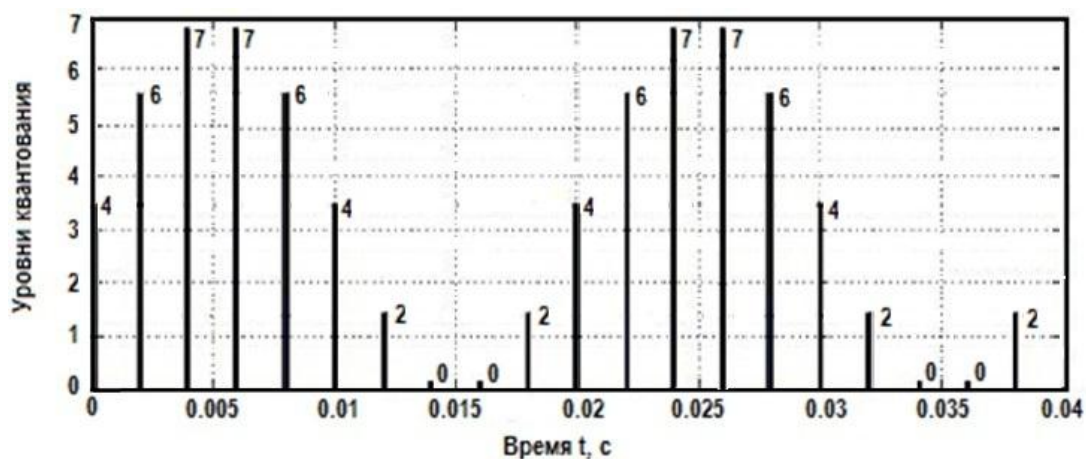


Рис. 7. Квантование дискретного сигнала

Каждому отсчету дискретного сигнала присвоим со шкалы квантования ближайший к нему номер и отобразим полученные значения на временной диаграмме. Далее выполним кодирование полученных квантованных значений сигнала трехразрядным двоичным кодом. Результаты кодирования сведем в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты кодирования аналогового сигнала

Номер отсчета	Квантованное значение	Результат кодирования отсчета
1	4	100
2	6	101
3	7	111
4	7	111
5	6	101
6	4	100
7	2	010
8	0	000
9	0	000
10	2	010
11	4	100
12	6	110
13	7	111
14	7	111
15	6	110
16	4	100
17	2	010
18	0	000
19	0	000
20	2	010

Зная частоту дискретизации  $f_D$  и разрядность двоичного кода  $k$ , определяем скорость передачи цифровой информации [8]:

$$c = f_D \cdot k, \left[ \frac{\text{Бит}}{\text{с}} \right]. \quad (4)$$

Из выражения (4) следует, что увеличение частоты дискретизации или разрядности двоичного кода приводит к росту скорости передачи информации.

Длительность одного бита информации  $\tau$  определяется следующим образом:

$$\tau = \frac{1}{f_{\text{д}} \cdot k} = \frac{1}{c} \quad (5)$$

Чем выше скорость передачи информации, тем меньше длительность бита, а, следовательно, шире полоса частот, занимаемая цифровым сигналом.

**Пример 4.** Рассчитаем скорость передачи двоичного кода, полученного в предыдущем примере, и вычислим длительность бита информации.

Для частоты дискретизации сигнала  $f_{\text{д}} = 500$  Гц и разрядности двоичного кода  $k = 3$ , скорость передачи равна

$$c = 500 \text{ Гц} \cdot 3 \text{ Бит} = 1500 \left[ \frac{\text{Бит}}{\text{с}} \right] = 1,5 \left[ \frac{\text{кБит}}{\text{с}} \right],$$

а длительность бита

$$\tau = \frac{1}{500 \text{ Гц} \cdot 3 \text{ Бит}} \approx 0,67 \text{ мс.}$$

Преобразование аналоговых сигналов в цифровую форму осуществляется с помощью аналого-цифровых преобразователей (АЦП), а обратное преобразование – с помощью цифроаналоговых преобразователей (ЦАП).

Перейдем к рассмотрению дискретизации и квантованию телевизионных сигналов.

В телевидении передаются движущиеся изображения. Аналоговое телевизионное изображение уже является дискретным по времени, так как состоит из последовательности кадров, и по вертикальной координате вследствие разложения кадра на строки. Для дискретизации по горизонтальной координате выполняется одномерная дискретизация телевизионного сигнала по времени.

В таблице 2 приведен ряд нормативных документов, определяющих частоты дискретизации и параметры квантования телевизионных сигналов различной четкости.

Таблица 2

Нормативные документы по дискретизации и квантованию

№ п/п	документация	Название
1.	<a href="#">ITU-R BT.601 – 5</a> (ITU-R подразделение международного союза электросвязи (сектор радиосвязи)) [9]	Единый международный стандарт цифрового кодирования ТВ – сигнала обычной четкости для студийной аппаратуры
2.	<a href="#">ГОСТ Р 53536 – 2009</a> [2]	Цифровое телевидение повышенной четкости.

		Основные параметры цифровой системы с построчным разложением. Аналоговые и цифровые представления сигналов. Параллельный цифровой интерфейс.
3.	<a href="#">ГОСТ Р 53535 – 2009</a> [3]	Цифровое телевидение высокой четкости. Аналоговое и цифровое представление сигналов. Цифровые интерфейсы.
4.	<a href="#">ГОСТ Р 53540 – 2009</a> [4]	Цифровое телевидение. Широкоформатные цифровые системы. Основные параметры. Аналоговые и цифровые представления сигналов. Параллельный цифровой интерфейс.

## 2. Цифровое кодирование ТВ изображений стандартной четкости

В таблице 3 приведены различные форматы дискретизации телевизионных сигналов. Рекомендация 601 (единый международный стандарт цифрового кодирования ТВ – сигнала обычной четкости (соотношение сторон 4:3/16:9) для студийной аппаратуры) определяет стандарт полного цифрового видеосигнала с соотношением частот дискретизации яркостного и цветоразностных сигналов как 4:2:2. В каждой строке передается полный сигнал яркости, а для цветоразностных сигналов производится выборка каждого второго отсчета.

Таблица 3

Форматы дискретизации ТВ сигналов

№ п/п	Формат	Частота дискретизации сигнала яркости $E_Y$ , МГц	Частота дискретизации сигнала красного цветоразностного $E_{R-Y}$ , МГц	Частота дискретизации сигнала синего цветоразностного $E_{B-Y}$ , МГц
1	4:2:2	13,5	6,75	6,75
2	4:2:0	13,5	6,75	6,75
3	4:1:1	13,5	3,375	3,375
4	4:4:4	13,5	13,5	13,5

Структура дискретизации сигнала обозначается как соотношение между тремя частями  $X:a:b$  (например, 4:2:2), описывающими число выборок яркостных и цветоразностных сигналов:

$X$  – частота дискретизации яркостного канала, выраженная коэффициентом базовой частоты. Первое число всегда равно «4» и соответствует исторически сложившемуся соотношению между частотой дискретизации сигнала яркости и частотой поднесущей сигнала цветности стандарта *NTSC* (3,58 МГц);

$a$  – число выборок цветоразностных сигналов ( $C_r, C_b$ ) в горизонтальном направлении в первой строке;

$b$  – число (дополнительных) выборок цветоразностных сигналов ( $C_r, C_b$ ) во второй строке.

Форматы 4:2:2 и 4:2:0 различаются тем, что во втором из них число передаваемых строк цветоразностных сигналов уменьшается вдвое.

Сведем в таблицу 4 параметры разложения и дискретизации ТВ сигнала стандартной четкости с форматом дискретизации 4:2:2.

Таблица 4

Параметры дискретизации и разложения ТВ сигнала стандартной четкости	
Параметр	Значение
1. Порядок сканирования	Слева направо, сверху вниз
2. Разложение	Чересстрочное
3. Формат кадра	16:9/4:3
4. Частота кадров / полей, Гц	25/50
5. Полное число строк	625
6. Активное число строк в кадре	576
7. Число элементов яркости в строке	720
8. Строчная частота, Гц	15625
9. Частота дискретизации сигналов яркости, МГц	13,5
10. Частота дискретизации цветоразностных сигналов, МГц	6,75
11. Число отсчетов яркости в полной строке / в активной строке	864/720
12. Число отсчетов цветоразностных сигналов в полной строке / в активной строке	432/360

Для преобразования аналоговых видеосигналов в цифровую форму применяется 8 и 10 разрядный код. При этом применяется неравномерное квантование. Выбор данного метода квантования обусловлен тем, что шаг квантования должен быть меньше для значений ТВ – сигнала, близких к уровню черного, по сравнению со значениями близкими к уровню белого. Это обусловлено в первую очередь свойствами зрительного аппарата человека.

Неравномерное квантование видеосигнала выполняется в соответствии со структурной схемой, приведенной на рис. 6. В качестве характеристики сжатия используется гамма-корректор, передаточная функция которого описывается следующим соотношением:

$$\left(\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВЫХ.М}}}\right) = \left(\frac{U_{\text{ВХ}}}{U_{\text{ВХ.М}}}\right)^\gamma, \quad (6)$$

где  $U_{\text{ВЫХ}}$  – выходной сигнал;  $U_{\text{ВЫХ.М}}$  – максимальное значение выходного сигнала;  $U_{\text{ВХ}}$  – входной сигнал, поступающий на гамма-корректор;  $U_{\text{ВХ.М}}$  – максимальное значение входного сигнала;  $\gamma$  - показатель гамма-коррекции (0,42 – 0,48).

На рис. 8 приведена передаточная характеристика гамма-корректора с  $\gamma = 0,45$  [8].

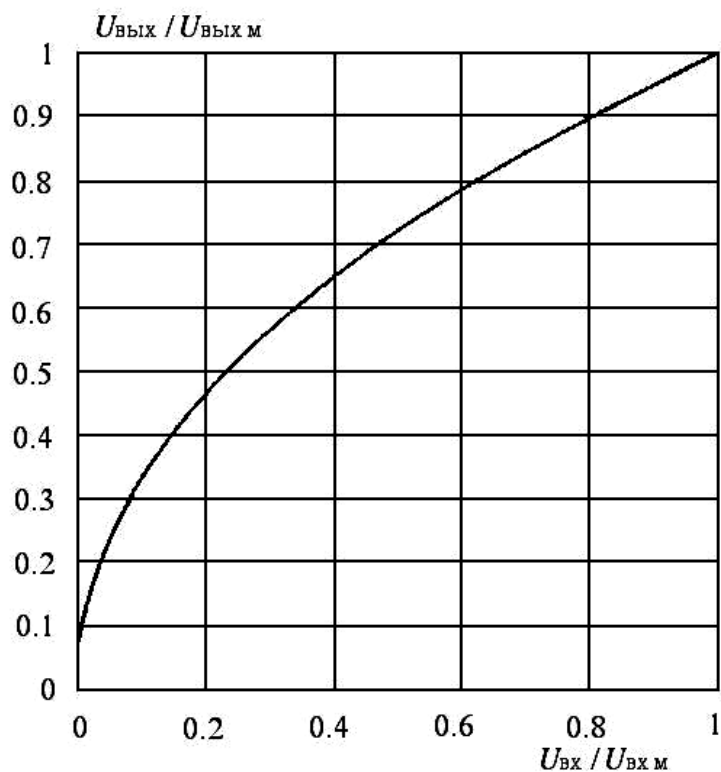


Рис. 8. Передаточная характеристика гамма-корректора

В таблице 5 приведены параметры 8-ми разрядного квантования. Применяется неравномерное квантование с  $\gamma = 0,45$ .

Таблица 5

Параметры квантования

Параметры	Значения
Соотношения между уровнями видеосигнала и уровнями квантования	От 0 до 255
Сигнал яркости	220 уровней квантования; уровню черного соответствует 16-й уровень; уровню белого 235-й уровень; допускаются отдельные выбросы за 235-й уровень
Каждый из цветоразностных сигналов	225 уровней квантования в центральной части шкалы квантования; ноль сигнала соответствует 128-му уровню
Использование кодовых слов	Кодовые слова 0 и 255 используются исключительно для синхронизации

Ниже приведены выражения для 8-ми разрядного квантования сигналов яркости и цветности.

Квантование сигнала яркости:

$$Y = \text{Round}(219 \cdot E_Y') + 16, \quad (7)$$

где  $Y$  – квантованный сигнал яркости, изменяющийся в диапазоне от 16 до 235;  $E_Y'$  – аналоговый сигнал яркости, изменяющийся в диапазоне от 0 до 1 В и прошедший гамма-коррекцию;  $\text{Round}(x)$  – операция округления числа  $x$  до целого.

Квантование цветоразностных сигналов:

$$\begin{aligned} C_R &= \text{Round}(224 \cdot E'_{CR}) + 128 = \text{Round}(160 \cdot E'_{R-Y}) + 128, \\ C_B &= \text{Round}(224 \cdot E'_{CB}) + 128 = \text{Round}(126 \cdot E'_{B-Y}) + 128, \end{aligned} \quad (8)$$

где  $E'_{CR} = 0,713 \cdot E'_{R-Y}$  и  $E'_{CB} = 0,564 \cdot E'_{B-Y}$  – компрессированные красный и синий цветоразностные сигналы соответственно, изменяющиеся в диапазоне от -0,5 В до 0,5 В;  $E'_{R-Y}$  и  $E'_{B-Y}$  – цветоразностные сигналы после гамма-коррекции.

Рассмотренный выше метод цифрового представления ТВ – сигнала получил название компонентного, так как яркостный и цветоразностные сигналы преобразуются в цифровую форму отдельно и затем объединяются в единый поток.

Существует также композитный метод преобразования ТВ – сигнала, в котором в цифровую форму преобразуется телевизионный сигнал одной из систем цветного телевидения *SECAM*, *PAL*, *NTSC* [1].

В случае композитного цифрового преобразования частота дискретизации для систем *PAL* и *NTSC* выбирается из следующего выражения [8]:

$$f_D = 4 \cdot f_{цп}, \quad (9)$$

где  $f_{цп}$  – частота цветовой поднесущей в указанных системах.

Для системы *SECAM* частота дискретизации выбирается кратной частоте строк, так как в данной системе частота цветовой поднесущей меняется вследствие частотной модуляции.

Переходим к цифровому представлению широкоформатного вещательного телевидения стандартной четкости (ГОСТ Р 53540 – 2009), которое определено как телевидение с форматом изображения 16:9 и параметрами разложения активной части кадра на 960x540 элементов изображения. Параметры разложения и дискретизации для данного типа вещательного телевидения приведены в таблице 6.

Таблица 6

Параметры разложения и дискретизации широкоформатного вещательного телевидения

Параметр	Значение параметра			
	625/100/1:1	625/50/1:1	625/25/1:1	625/50/2:1
Порядок сканирования	Слева направо сверху вниз			
				Первая строка первого поля выше первой строки второго поля
Разложение	Построчное	Построчное	Построчное	Чересстрочное
Частота полей, Гц	-			50
Частота кадров, Гц	100	50	25	25
Полное число строк	625			
Активное число строк в кадре	540/576			
Число элементов яркости в строке	960			

Формат кадра	16:9/4:3			
Строчная частота, Гц	62500	31250	15625	15625
Частота дискретизации сигналов яркости, МГц	74,250	37,125	18,5625	18,5625
Частота дискретизации цветоразностных сигналов, МГц	37,125	18,5625	9,28125	9,28125
Число выборок для яркости в полной строке	1188			
Число выборок для цветности в полной строке	594			

Уровни сигналов широкоформатного ТВ в аналоговом представлении при сопротивлении нагрузки  $R = 75 \text{ Ом}$  приведены в таблице 7.

Таблица 7

Уровни сигналов в аналоговом представлении

Параметр	Значение параметра			
	625/100/1:1	625/50/1:1	625/25/1:1	625/50/2:1
Номинальные уровни сигнала яркости $E'_Y$ , мВ	опорный уровень черного – 0 опорный уровень белого – 700			
Номинальные уровни цветоразностных сигналов $E'_{CR}$ и $E'_{CB}$ , мВ	от -350 до 350			

Уравнения связи нормированных сигналов цветности  $E'_{CR}$  и  $E'_{CB}$  с цветоразностными сигналами представлены ниже:

$$E'_{CR} = \frac{E'_{R-Y}}{1,5748} = 0,635 \cdot E'_{R-Y}, \quad (10)$$

$$E'_{CB} = \frac{E'_{B-Y}}{1,8558} = 0,539 \cdot E'_{B-Y}.$$

Параметры 8-ми и 10-ти разрядного квантования приведены в таблице 8

Таблица 8

Параметры квантования с  $\gamma = 0,45$

Уровни сигналов	Значение	
	8-ми разрядное	10-разрядное
1. Уровни квантования	0-255	0-1023
2. Номинальный уровень черного в сигнале яркости $E'_Y$	16	64
3. Номинальный уровень белого в сигнале яркости $E'_Y$	240	960
4. Номинальные значения уровней для максимальных отрицательных и положительных значений цветоразностных сигналов $E'_{CR}$ и $E'_{CB}$	16 и 240 соответственно	64 и 960 соответственно
5. Номинальные уровни для нулевых значений цветоразностных сигналов $E'_{CR}$ и $E'_{CB}$	128	512
6. Уровни квантования, используемые для передачи сигналов синхронизации	0 и 255	0-3 и 1020-1023
Допускается использование номинальных уровней белого 235 для 8-разрядного представления и 940 для 10-разрядного представления.		

Выражения для 8-ми разрядного квантования сигнала яркости и цветоразностных сигналов приведены ниже.

Квантование сигнала яркости:

$$Y = \text{Round}(224 \cdot E'_Y) + 16. \quad (11)$$

Допускается также квантовать сигнал яркости согласно выражению (7).

Квантование цветоразностных сигналов:

$$\begin{aligned} C_R &= \text{Round}(224 \cdot E'_{CR}) + 128 = \text{Round}(142 \cdot E'_{R-Y}) + 128, \\ C_B &= \text{Round}(224 \cdot E'_{CB}) + 128 = \text{Round}(121 \cdot E'_{B-Y}) + 128. \end{aligned} \quad (12)$$

По аналогии с выражениями (7), (8), (11) и (12), используя значения, приведенные в таблице 8, составим выражения для 10-ти разрядного квантования сигнала яркости и цветоразностных сигналов.

Квантование сигнала яркости:

$$Y = \text{Round}(896 \cdot E'_Y) + 64. \quad (13)$$

Квантование цветоразностных сигналов:

$$\begin{aligned} C_R &= \text{Round}(896 \cdot E'_{CR}) + 512 = \text{Round}(569 \cdot E'_{R-Y}) + 512, \\ C_B &= \text{Round}(896 \cdot E'_{CB}) + 512 = \text{Round}(483 \cdot E'_{B-Y}) + 512. \end{aligned} \quad (14)$$

### 3. Цифровое кодирование ТВ изображений повышенной (EDTV) и высокой (HDTV) четкости

Параметры разложения и дискретизации цифровой телевизионной системы повышенной четкости (ГОСТ Р 53536-2009) приведены в таблице 9.

Таблица 9

Параметры разложения и дискретизации цифровой ТВ системы повышенной четкости

Параметр	Значение
1. Порядок сканирования	Слева направо, сверху вниз
2. Разложение	Построчное
3. Формат кадра	16:9/4:3
4. Частота кадров, Гц	50
5. Полное число строк	825
6. Активное число строк в кадре	720/768
7. Число элементов яркости в строке	1280
8. Строчная частота, Гц	41250
9. Частота дискретизации сигналов яркости, МГц	74,25
10. Частота дискретизации цветоразностных сигналов, МГц	37,125
11. Число отсчетов яркости в полной строке / в активной строке	1800/1280
12. Число отсчетов цветоразностных сигналов в полной строке / в активной строке	900/640



Уровни сигналов для телевидения повышенной четкости в аналоговом представлении при сопротивлении нагрузки  $R = 75$  Ом приведены в таблице 7.

В таблице 10 приведены параметры квантования с показателем  $\gamma=0,45$ .

Таблица 10

Параметры квантования

Уровни сигналов	Значение	
	8-ми разрядное	10-разрядное
1. Уровни квантования	0-255	0-1023
2. Номинальный уровень черного в сигнале яркости $E'_Y$	16	64
3. Номинальный уровень белого в сигнале яркости $E'_Y$	235	940
4. Номинальные значения уровней для максимальных отрицательных и положительных значений цветоразностных сигналов $E'_{CR}$ и $E'_{CB}$	16 и 240 соответственно	64 и 960 соответственно
5. Номинальные уровни для нулевых значений цветоразностных сигналов $E'_{CR}$ и $E'_{CB}$	128	512
6. Уровни квантования, используемые для передачи сигналов синхронизации	0 и 255	0-3 и 1020-1023

Квантование сигнала яркости при 8-ми разрядном кодировании выполняется по выражению (7). Для 10-ти разрядного кодирования:

$$Y = Round(876 \cdot E'_Y) + 64 . \quad (15)$$

Квантование цветоразностных сигналов выполняется по выражениям (12) и (14).

Параметры разложения и дискретизации цифровой телевизионной системы высокой четкости (ГОСТ Р 53535-2009) приведены в таблице 11.

Таблица 11

Параметры разложения и дискретизации цифровой ТВ системы высокой четкости

Параметр	Значение параметра		
	1250/50/1:1	1250/25/1:1	1250/50/2:1
Порядок сканирования	Слева направо сверху вниз		
			Первая строка первого поля выше первой строки второго поля
Разложение	Построчное 1:1		Чересстрочное 2:1
Частота полей, Гц	-		50
Частота кадров, Гц	50	25	
Полное число строк	1250		
Активное число строк в кадре	1080/1125		
Число элементов яркости в строке	1920		
Формат кадра	16:9/4:3		
Строчная частота, Гц	62500	31250	
Частота дискретизации сигналов	148,5	74,25	

яркости, МГц		
Частота дискретизации цветоразностных сигналов, МГц	74,25	37,125
Число выборок для яркости в полной строке / в активной части строки	2376/1920	
Число выборок для цветности в полной строке / в активной части строки	1188/960	

Параметры квантования компонентов телевизионного сигнала высокой четкости приведены в таблице 8. При квантовании используются выражения (11) – (14). Уровни сигналов для телевидения высокой четкости в аналоговом представлении при сопротивлении нагрузки  $R = 75 \text{ Ом}$  приведены в таблице 7.

#### 4. Описание лабораторного стенда «Цифровое преобразование видеосигналов»

Лабораторный стенд разработан на кафедре радиотехники НИУ «МГУ им. Н.П. Огарева» (г. Саранск) с применением современных микросхем АЦП и ЦАП фирмы Analog Devices. Структурная схема лабораторного стенда приведена на рис. 9.

Лабораторный стенд включает следующие функциональные узлы:

- АЦП, выполняющий преобразование входного аналогового сигнала в цифровую форму (на выходе микросхемы информация представляется в параллельном двоичном коде);
- регистр, выполняющий запись цифрового кода с микросхемы АЦП для дальнейшего обратного преобразования;
- ЦАП, выполняющий обратное преобразование;
- блок формирования синхроимпульсов, обеспечивающий тактирование схемы.

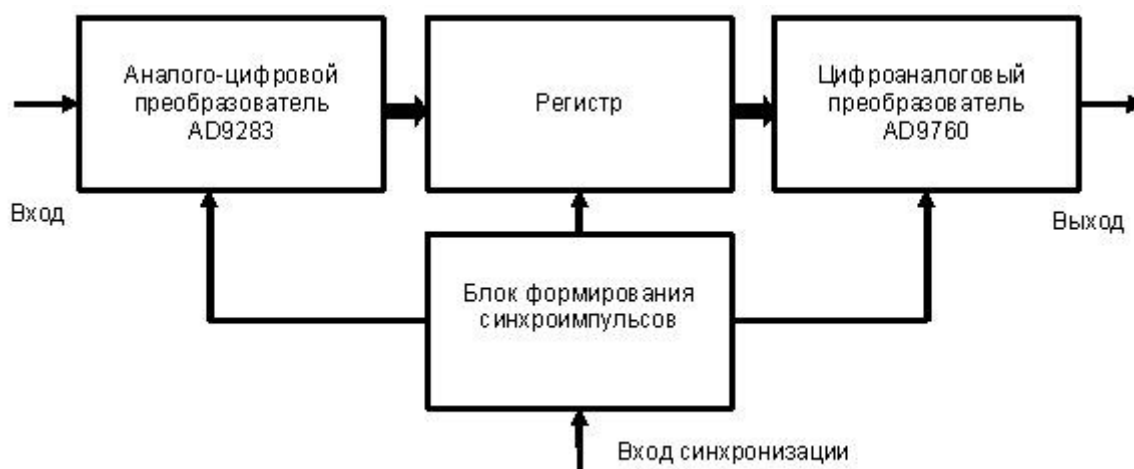


Рис. 9. Структурная схема лабораторного стенда

Для цифрового преобразования видеосигналов необходимы АЦП и ЦАП с разрядностью 8 или 10 бит и частотами дискретизации не менее 13,5 МГц. Этим требованиям соответствуют выбранные преобразователи AD9283 и AD9760, основные технические характеристики которых приведены в таблице 12 [7].

Таблица 12

Технические характеристики микросхем АЦП и ЦАП

Микросхема AD9283		
1	Разрядность	8 бит
2	Максимальная скорость преобразования	100 М выборок в секунду
3	Энергопотребление	90 мВт при 100 М выборок в секунду
4	Полоса пропускания аналогового сигнала	475 МГц
5	Отношение сигнал/шум	46,5 дБ при 41 МГц и 100 М выборок в секунду
6	Диапазон аналоговых входных сигналов	1 В (двойная амплитуда)
7	Однополярное напряжение питания	3 В (2,7 В – 3,6 В)
8	Режим пониженного энергопотребления	4,2 мВт
Микросхема AD9760		
1	Разрядность	10 бит
2	Максимальная скорость преобразования	125 М выборок в секунду
3	Энергопотребление	45 мВт
4	Напряжение питания	3 В (2,7 В – 5 В)
5	Режим пониженного энергопотребления	10 мВт

Микросхема AD9283 является 8-разрядным, монолитным, АЦП с функцией выборки. Она требует подключения только однополярного источника питания 3 В и тактового сигнала для обеспечения полного функционирования. Микросхема AD9760 представляет собой 10-разрядный ЦАП, относится к семейству TxDAC, имеет параллельный интерфейс, встроенный источник опорного напряжения и дифференциальный токовый выход.

Питание лабораторного стенда осуществляется от внешнего импульсного источника питания, выполняющего преобразование сетевого переменного напряжения 220 В в постоянное – 12 В, которое затем в схеме лабораторного стенда понижается до 3,3 В.

Внешний вид лабораторного стенда приведен на рис. 10.

Для выполнения лабораторных работ с использованием разработанного стенда используется следующий комплект приборов:

- генератор испытательных телевизионных сигналов;
- высокочастотный генератор сигналов;
- цифровой осциллограф и анализатор спектра;
- телевизионный приемник.

# Лабораторная работа Цифровое преобразование видеосигналов

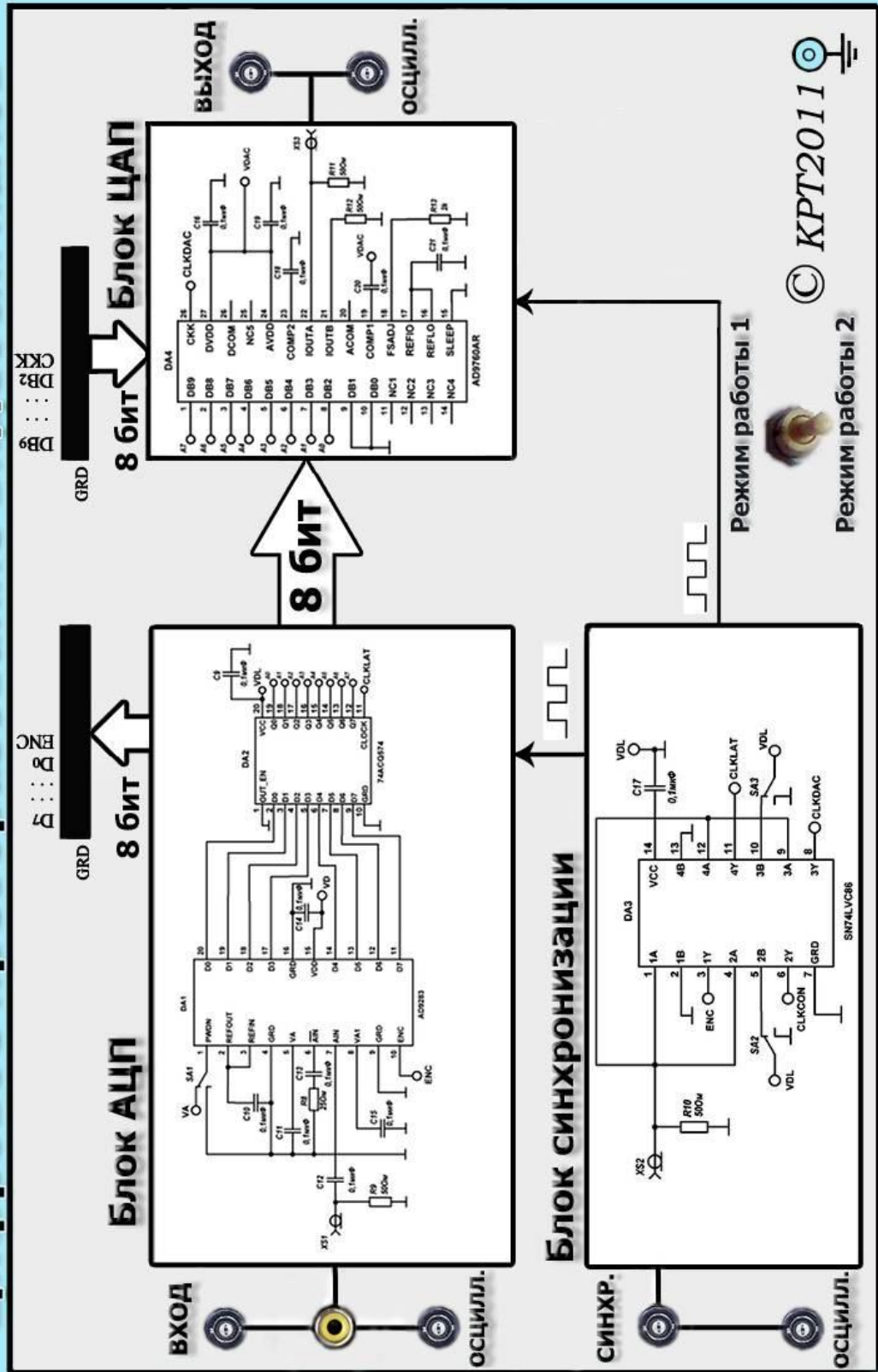


Рис. 10. Внешний вид лабораторного стенда «Цифровое преобразование видеосигналов»

## 5. Описание лабораторного стенда «Изучение смещения цветов»

Лабораторный стенд «Изучение смещения цветов» разработан на кафедре радиотехники НИУ «МГУ им. Н.П. Огарева» (г. Саранск). Структурная схема лабораторного стенда, приведенная на рис. 11, включает в себя следующие функциональные узлы:

- блок *RGB* светодиодов;
- генераторы импульсов с изменяющейся частотой и длительностью;
- блок управления, позволяющий менять скважность импульсов.

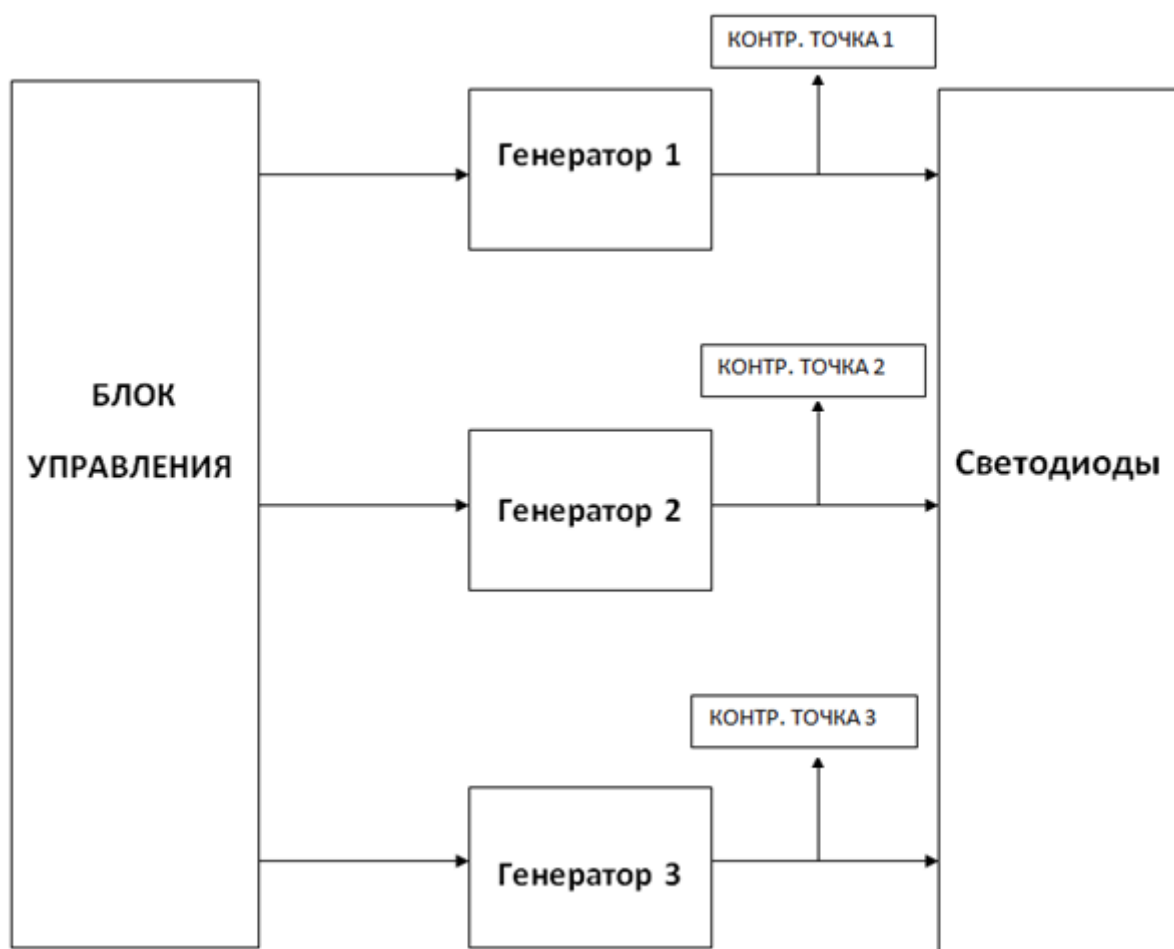


Рис. 11. Структурная схема лабораторного стенда

В качестве *RGB* светодиодов используются шесть индикаторных светодиодов. Генератор импульсов представляет собой ШИМ-контроллер, позволяющий изменять скважность импульсной последовательности. Блок управления представляет собой набор переменных сопротивлений, подключенных к ШИМ-контроллеру и обеспечивающих в ручном режиме изменение параметров импульсов.

В таблице 13 приведены технические характеристики лабораторного стенда.

Технические данные на разработку

№ п/п	Параметры	Значения
1.	Напряжение питания, В	10
2.	Ток потребления не более, мА	600
3.	Количество каналов управления, шт.	3
4.	Частота импульсов управления, Гц	30 – 1000
5.	Скважность импульсов управления, %	0 – 100
6.	Тип применяемых светодиодов	<i>RGB</i> (индикаторные)
7.	Количество светодиодов, шт.	6

Лабораторный стенд представляет собой три генератора импульсов. Каждый из генераторов питает 6 светодиодов: первый – красные; второй – зеленые; третий – синие (каналы являются идентичными). Изменяя длительность импульсов с помощью потенциометров, меняется среднее значение тока через соответствующие светодиоды, тем самым получаются различные оттенки цветов.

Базовым узлом лабораторного стенда являются генераторы импульсов с переменной скважностью. В качестве микросхемы управления использовался ШИМ генератор на базе драйвера *TL494* фирмы *Texas Instrument*. Она выпускается рядом зарубежных фирм под разными наименованиями. Например, фирма *SHARP* (Япония) выпускает микросхему *IR3M02*, фирма *FAIRCHILD* (США) – и *A494*, фирма *SAMSUNG* (Корея) – *KA7500*, фирма *FUJITSU* (Япония) – *MB3759* и т. д. Все эти микросхемы являются полными аналогами отечественной микросхемы КР1114ЕУ4.

Внешний вид лабораторного стенда приведен на рис. 12.

## 6. Лабораторная работа №1 «Изучение цифрового кодирования компонентов видеосигнала»

Цель работы: изучение этапов преобразования компонентов испытательного аналогового видеосигнала цветных полос в цифровую форму

Методические указания к выполнению лабораторной работы

1. Изучите теоретическую часть лабораторной работы.
2. Изучите работу [лабораторного стенда «Изучение смещения цветов»](#).
3. Получите у преподавателя допуск к выполнению лабораторной работы.
4. Определение основных цветов  $E_R$  (красный),  $E_G$  (зеленый),  $E_B$  (синий), участвующих в формировании цветных полос испытательного аналогового видеосигнала с помощью лабораторного стенда «Изучение смещения цветов».

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА "ИЗУЧЕНИЕ СМЕШЕНИЯ ЦВЕТОВ"

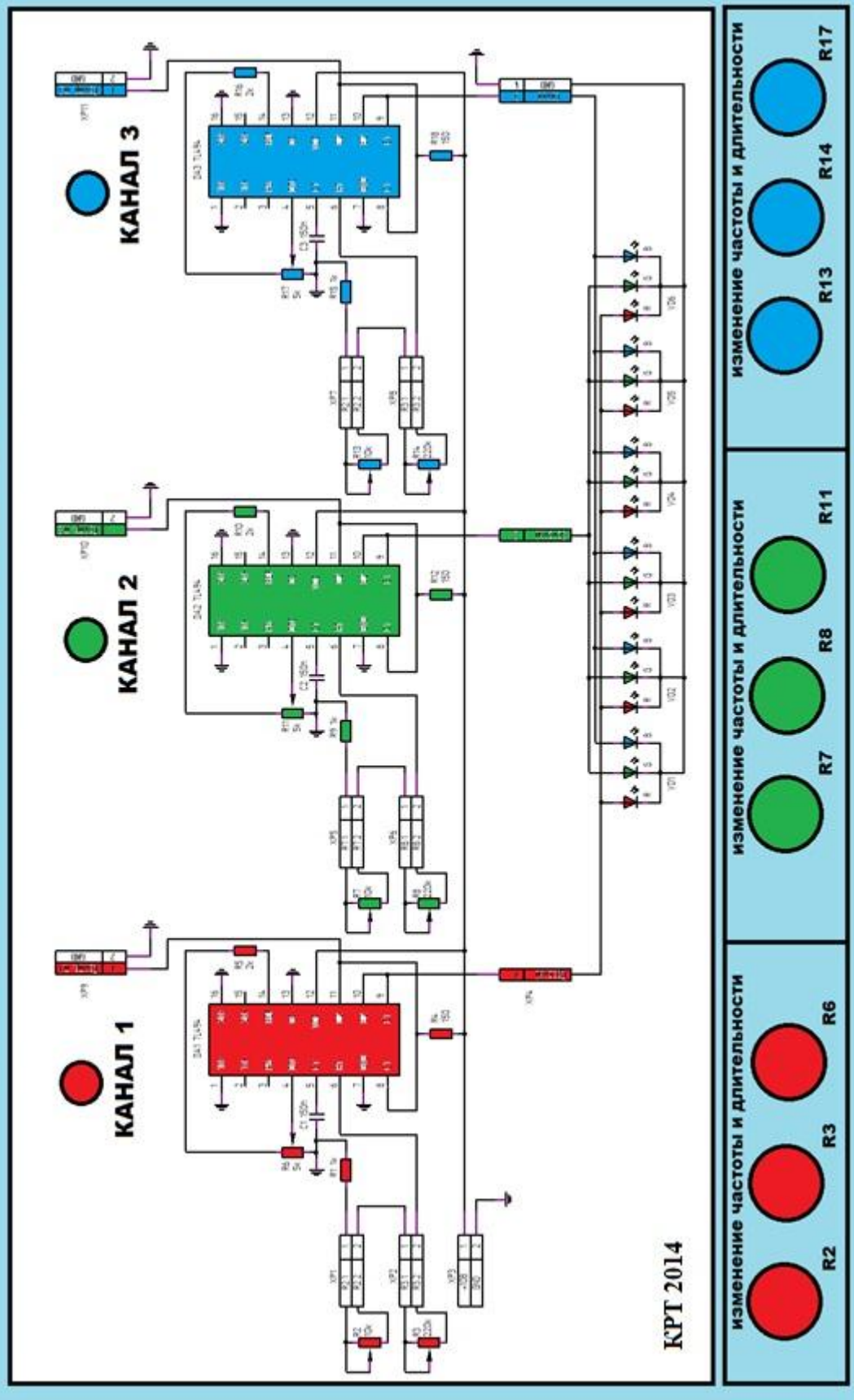


Рис. 12. Внешний вид лабораторного стенда «Изучение смешения цветов»

4.1. Включите лабораторный стенд «Изучение смешения цветов».

4.2. Переведите потенциометры  $R_6$ ,  $R_{11}$  и  $R_{17}$  лабораторного стенда в среднее положение.

4.3. Установите частоту импульсного напряжения в каналах  $R$ ,  $G$ ,  $B$ , равную 100 Гц. Для этого поочередно подключая осциллограф к контрольным точкам 1, 2 и 3 лабораторного стенда установите требуемое значение частоты с помощью потенциометров  $R_2$ ,  $R_3$  (для  $R$ ),  $R_7$ ,  $R_8$  (для  $G$ ) и  $R_{13}$ ,  $R_{14}$  (для  $B$ ).

4.4. Изменяя с помощью потенциометров  $R_6$ ,  $R_{11}$  и  $R_{17}$  среднее значение тока через светодиоды в каналах  $R$ ,  $G$  и  $B$ , определите основные цвета  $E_R$  (красный),  $E_G$  (зеленый),  $E_B$  (синий), участвующие в формировании цветных полос испытательного аналогового видеосигнала. Наличие цвета отобразите единицей, а его отсутствие – нулем. Результаты запишите в таблицу 14.

Таблица 14

Формирование цветных полос

Сигнал основного цвета	Уровень сигнала в вертикальной полосе							
	Белый	Желтый	Голубой	Зеленый	Пурпурный	Красный	Синий	Черный
$E_R$ (красный)								
$E_G$ (зеленый)								
$E_B$ (синий)								

5. По результатам, полученным в пункте 4.4, рассчитайте значения служебных сигнала яркости  $E_Y$  и цветоразностных сигналов  $E_{R-Y}$ ,  $E_{B-Y}$  по выражениям

$$\begin{aligned}
 E_Y &= 0,299 \cdot E_R + 0,587 \cdot E_G + 0,114 \cdot E_B, \\
 E_{R-Y} &= E_R - E_Y = 0,701 \cdot E_R - 0,587 \cdot E_G - 0,114 \cdot E_B, \\
 E_{B-Y} &= E_B - E_Y = -0,299 \cdot E_R - 0,587 \cdot E_G + 0,886 E_B
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

Результаты расчета запишите в таблицу 15 и постройте временные диаграммы полученных служебных сигналов.

Таблица 15

Служебные сигналы

Сигнал основного цвета	Уровень сигнала в вертикальной полосе							
	Белый	Желтый	Голубой	Зеленый	Пурпурный	Красный	Синий	Черный
$E_Y$								
$E_{R-Y}$								
$E_{B-Y}$								



6. Рассчитайте компрессированные красный и синий цветоразностные сигналы, согласно Рекомендации 601 для сигнала стандартной четкости, по выражениям

$$E_{CR} = 0,713 \cdot E_{R-Y},$$

$$E_{CB} = 0,564 \cdot E_{B-Y}$$

и запишите результаты в таблицу 16.

Таблица 16

Сигнал яркости и компрессированные цветоразностные сигналы

Сигнал основного цвета	Уровень сигнала в вертикальной полосе							
	Белый	Желтый	Голубой	Зеленый	Пурпурный	Красный	Синий	Черный
$E_Y$								
$E_{CR}$								
$E_{CB}$								

По результатам расчета постройте временные диаграммы полученных сигналов.

7. Перейдите от условных значений уровней сигналов к напряжению, учитывая, что сигнал яркости  $E_Y$  изменяется в диапазоне от 0 до 1 В, а цветоразностные сигналы  $E_{CR}$  и  $E_{CB}$  от -0,5 до 0,5 В. Результаты запишите в таблицу 17 и постройте временные диаграммы полученных сигналов.

Таблица 17

Переход от условных уровней к напряжению

Сигнал основного цвета	Уровень сигнала в вертикальной полосе							
	Белый	Желтый	Голубой	Зеленый	Пурпурный	Красный	Синий	Черный
$E_Y$ (В)								
$E_{CR}$ (В)								
$E_{CB}$ (В)								

8. Выполните дискретизацию и 8-ми разрядное квантование (выражения (7) – (8)) компонентов аналогового телевизионного сигнала цветных полос, согласно Рекомендации 601. Запишите в таблицу 18 по одному квантованному отсчету для каждой вертикальной полосы.

Таблица 18

## Квантованные значения дискретных отсчетов

Сигнал основного цвета	Уровень сигнала в вертикальной полосе							
	Белый	Желтый	Голубой	Зеленый	Пурпурный	Красный	Синий	Черный
$Y$								
$C_R$								
$C_B$								

9. Преобразуйте квантованные значения в 8-ми разрядный двоичный код. Результаты запишите в таблицу 19.

Таблица 19

## Преобразованные в двоичный код квантованные значения

Вертикальные полосы	$Y$	$C_R$	$C_B$
Белый			
Желтый			
Голубой			
Зеленый			
Пурпурный			
Красный			
Синий			
Черный			

10. Рассчитайте скорость передачи двоичного кода по выражению (4) для компонент телевизионного сигнала стандартной, повышенной и высокой четкости, используя параметры дискретизации и квантования, представленные в таблицах (4) – (6), (8) – (10). Для расчета используйте 8-ми разрядное кодирование. По полученным результатам заполните таблицу 20.

Таблица 20

## Значения скорости передачи двоичной информации

Телевидение стандартной четкости			Широкоформатное телевидение			Телевидение повышенной четкости			Телевидение высокой четкости		
$C_Y$ , Бит/с	$C_{R-Y}$ , Бит/с	$C_{B-Y}$ , Бит/с	$C_Y$ , Бит/с	$C_{R-Y}$ , Бит/с	$C_{B-Y}$ , Бит/с	$C_Y$ , Бит/с	$C_{R-Y}$ , Бит/с	$C_{B-Y}$ , Бит/с	$C_Y$ , Бит/с	$C_{R-Y}$ , Бит/с	$C_{B-Y}$ , Бит/с
Суммарная скорость передачи двоичной информации											

По результатам расчета сделайте выводы о зависимости скорости передачи двоичной информации от частоты дискретизации и параметров квантования.

11. Используя результаты, полученные в пункте 10, рассчитайте длительность бита по выражению (5) для компонент телевизионного сигнала стандартной, повышенной и высокой четкости. Результаты запишите в таблицу 21.

Значения длительности бита двоичной информации

Телевидение стандартной четкости			Широкоформатное телевидение			Телевидение повышенной четкости			Телевидение высокой четкости		
$\tau_Y, \text{с}$	$\tau_{R-Y}, \text{с}$	$\tau_{B-Y}, \text{с}$	$\tau_Y, \text{с}$	$\tau_{R-Y}, \text{с}$	$\tau_{B-Y}, \text{с}$	$\tau_Y, \text{с}$	$\tau_{R-Y}, \text{с}$	$\tau_{B-Y}, \text{с}$	$\tau_Y, \text{с}$	$\tau_{R-Y}, \text{с}$	$\tau_{B-Y}, \text{с}$

По результатам расчета сделайте выводы о зависимости полосы частот занимаемого цифрового сигнала от длительности бита, а, следовательно, и от скорости передачи двоичной информации.

### Контрольные вопросы

1. Этапы преобразования аналогового сигнала в цифровую форму. Теорема Котельникова.
2. Равномерное и неравномерное квантование.
3. Нормативные документы, определяющие параметры цифрового кодирования телевизионных сигналов стандартной, повышенной и высокой четкости.
4. Параметры разложения телевизионных систем стандартной, повышенной и высокой четкости.
5. Дискретизация и квантование телевизионных сигналов стандартной четкости.
6. Дискретизация и квантование телевизионных сигналов повышенной четкости.
7. Дискретизация и квантование телевизионных сигналов высокой четкости.

## 7. Лабораторная работа №2 «Изучение цифрового кодирования композитного видеосигнала»

Цель работы: изучение композитного преобразования аналоговых видеосигналов в цифровую форму с применением лабораторного стенда, разработанного на базе современных микросхем АЦП AD9283 и ЦАП AD9760 фирмы «Analog Devices».

### Методические указания к выполнению лабораторной работы

1. Изучите теоретическую часть лабораторной работы.
2. Изучите работу [лабораторного стенда «Цифровое преобразование видеосигналов»](#).
3. Получите допуск к лабораторной работе у преподавателя и включите лабораторный стенд.
4. Переведите переключатель режимов работы в положение «Режим работы 1».
5. Подключите к разъему «ВХОД» генератор испытательных телевизионных сигналов, к разъему «СИНХР.» – высокочастотный генератор импульсов, а к разъему «ВЫХОД» – телевизионный приемник.

6. Подайте с генератора испытательных телевизионных сигналов сигнал вертикальных цветных полос.

7. Подайте с высокочастотного генератора последовательность однополярных импульсов с частотой  $f = 6$  МГц (частота дискретизации) и амплитудой  $U = 3$  В.

8. Наблюдайте с помощью осциллографа, подключенных к разъемам «ОСЦИЛЛ.», телевизионный сигнал на входе и выходе лабораторного стенда. Снимите временные диаграммы и сделайте выводы о влиянии частоты дискретизации на качество восстановленного аналогового телевизионного сигнала.

9. Включите телевизионный приемник и переведите его в режим «AV». Сравните с его помощью телевизионный сигнал на входе и выходе лабораторного стенда для заданной частоты дискретизации. Сделайте выводы о качестве телевизионного сигнала до и после цифрового преобразования.

10. Изменяя частоту импульсов с генератора в диапазоне от 6 до 20 МГц с шагом 1 МГц, выполните пункты 8 и 9.

11. Выполните пункты 7 – 10 для остальных телевизионных сигналов испытательного генератора.

#### Контрольные вопросы

1. Телевизионные стандарты *PAL*, *SECAM* и *NTSC*.
2. Компонентный и композитный способы цифрового кодирования телевизионных сигналов.
3. Выбор частоты дискретизации и параметров квантования при композитной методе цифрового кодирования телевизионных сигналов.
4. Принцип работы лабораторного стенда «Цифровое преобразование видеосигналов».
5. Классификация и принципы работы современных АЦП и ЦАП.
6. Основные характеристики микросхем АЦП AD9283 и ЦАП AD9760 фирмы «Analog Devices».

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Быков Р. Е. Основы телевидения и видеотехники : учеб. для вузов / Р. Е. Быков. – М. : Горячая линия – телеком, 2006. – 299 с.
2. ГОСТ Р 53536 – 2009. Цифровое телевидение повышенной четкости. Основные параметры цифровой системы с построчным разложением. Аналоговые и цифровые представления сигналов. Параллельный цифровой интерфейс. М., 2011. 20 с.
3. ГОСТ Р 53535 – 2009. Цифровое телевидение высокой четкости. Аналоговое и цифровое представление сигналов. Цифровые интерфейсы. М., 2011. 28 с.
4. ГОСТ Р 53540 – 2009. Цифровое телевидение. Широкоформатные цифровые системы. Основные параметры. Аналоговые и цифровые представления сигналов. Параллельный цифровой интерфейс. М., 2011. 24 с.
5. Официальный сайт Европейского стандарта цифрового телевизионного вещания [http:// www.dvb.org](http://www.dvb.org).
6. Официальный сайт ФГУП «Российская телевизионная радиовещательная сеть» [http:// www.rtrs.ru](http://www.rtrs.ru).
7. Официальный сайт фирмы Analog Devices [http:// www.analog.com](http://www.analog.com).
8. . Смирнов А. В. Цифровое телевидение : от теории к практике / Смирнов А. В., Пескин А. Е. – 2-е изд. - М. : Горячая линия – Телеком, 2012. – 352 с.
9. ITU-R. Recommendation BT.601-6 «Studio encoding parameters of digital television for standard 4:3 and wide screen 16:9 aspect ratios»