

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

Московский технический университет связи и информатики

Кафедра Телевидения

Лабораторная работа № 68

АНАЛОГО-ЦИФРОВОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ
ТЕЛЕВИЗИОННОГО СИГНАЛА

1,2 части

Москва 2010

План УМД на 2010/2011 уч. г.

Лабораторная работа № 68

АНАЛОГО-ЦИФРОВОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ
ТЕЛЕВИЗИОННОГО СИГНАЛА

1,2 части

Составители к.т.н. Власюк И.В.
 Врагова М.В.

Издание утверждено советом факультета Р и Т. Протокол №
от 20 г.

Рецензент д.т.н., проф. Безруков В.Н.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить процессы дискретизации и квантования изображения, а так же влияние вносимых ими искажений в телевизионный сигнал.

ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

1. Изучить процесс аналого-цифрового преобразования телевизионного сигнала [1, с. 82-90].

2. Изучить причины возникновения искажений, вносимых операциями дискретизации и квантования в телевизионный сигнал [2, с. 13-21, с.34-37].

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Процесс выполнения работы сводится к изучению и фиксации в отчете информации, появляющейся на экране монитора, а так же осциллограмм, объясняющих процесс формирования ПЦТВС.

ВНИМАТЕЛЬНО следуйте указаниям методического описания, при возникновении затруднений при выполнении работы обратитесь к преподавателю.

Лабораторный стенд имеет три панели. На левой панели расположены коммутатор входов, DVD-проигрыватель, генератор испытательных сигналов и тумблер «Сеть».

На средней панели располагается дисплей, предназначенный для отображения лабораторной работы со схемой исследуемого устройства и вспомогательными блоками. Слева, справа и снизу от дисплея расположены гнезда для подачи сигналов от различных источников на исследуемую схему или снятия сигналов на измерительные приборы (осциллограф). Пять ручек управления, находящихся под дисплеем используются для изменения различных параметров схемы или настроек вспомогательных блоков (например, номер строки в блоке осциллографа). На правой панели расположен видеомонитор, предназначенный для просмотра видеоизображения. На панели видеомонитора находятся гнезда «ПЦТВС», «R», «G», «B», тумблер «ПЦТВС/RGB».

В первой части работы используются следующие ручки управления:

К – коэффициент усилителя на входе АЦП. Используется для установки рабочего уровня сигналов (уровень белого 700 мВ),

Частота генератора тактовой частоты.

Остальные ручки применяются для управления блоком осциллографа.

Вторая часть аналогична первой. Отличие заключается в том, что используется RGB сигнал, 3-х каналные АЦП и ЦАП и, следовательно, искажения наблюдаются на цветном изображении. Наблюдение искажений сигнала в этой работе не предусмотрено.

Дискретизация и квантование видеосигнала осуществляется при помощи АЦП. Помимо этого АЦП осуществляет кодирование полученных отсчётов в двоичный код, поэтому в работе присутствует ЦАП для преобразования цифровых отсчётов обратно в аналоговую форму. Разрядность АЦП, устанавливаемая кнопками, определяет шаг квантования. Тактирование АЦП и ЦАП осуществляется от одного генератора. Частота импульсов генератора ТЧ является частотой дискретизации сигнала.

Внимание! Некоторые модели видеомониторов в режиме «внешний» + «RGB» не синхронизируются от компонентного RGB сигнала и требуют также подачи на гнездо «ПЦТВС» сигнала, содержащего синхросмесь. Поэтому в некоторых лабораторных работах для этих целей предусмотрено гнездо «синхр.». В случае, если монитор не синхронизируется, подключите «синхр.» к входу «ПЦТВС» монитора.

ОСНОВНЫЕ ИЗУЧАЕМЫЕ ВОПРОСЫ

1. Анализ операции дискретизации и условий возникновения искажений.
2. Анализ операции квантования и условий возникновения вносимых ей искажений.

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ часть 1

1.

Внимание! Включать стойку следует прежде, чем системный блок ПК, а выключать после того, как будет выключен ПК.
--

В противном случае это может приводить к ошибкам в работе установки, а также к потере настроек расширения рабочего стола Windows в случае использования этого режима.

2. Запустите программу TV_****.exe, воспользовавшись ярлыком на рабочем столе, и выберете работу в меню. Зарисуйте схему, появившуюся на мониторе.

3. Работа проводится с использованием сигнала яркости, поэтому переключите DVD-проигрыватель в формат «Y_cC_b».

4. Подайте с выхода «G/Y» DVD – проигрывателя видеосигнал на вход АЦП.

5. Выход ЦАП подключите к входу ПЦТВС видеомонитора. Видеомонитор должен быть переведён в режим «внешний» кнопкой «выбор входа», тумблер в положении «ПЦТВС».

6. Оба канала осциллографа подключите к выходам коммутатора КТ. Для наблюдения осциллограммы одной строки изображения используйте блок осциллографа в режиме «выбор 1 строки».

7. Исследование искажений дискретизации.

7.1 Подать на вход макета сигнал тестовой последовательности с DVD-проигрывателя. Установить максимальную частоту дискретизации. Уменьшая частоту дискретизации, наблюдать возникающие при этом искажения. Записать значение частоты, при котором искажения сигнала становятся заметны.

7.2 Подать на вход макета УЭИТ. Снять зависимость горизонтальной четкости от частоты дискретизации.

8. Исследование искажений квантования.

8.1 Установит 8-битную разрядность АЦП. На вход макета подать от ГИС испытательный сигнал «градационный клин». Зарисовать осциллограмму строки в КТ1. Под ней в том же масштабе зарисовать осциллограммы в контрольных точках КТ-2-КТ9. По полученным осциллограммам записать кодовые комбинации всех градаций яркости в бинарном и десятичном виде.

8.2 Уменьшая число разрядов АЦП, контролируйте осциллограммы на выходе макета в КТ11. Зарисовать две любые осциллограммы для искаженного ТВ сигнала.

8.3 Подать с DVD-проигрывателя испытательное изображение «градационный клин». Оценить с помощью осциллографа величину искажений квантования для всех значений разрядов АЦП. Для этого измерить разницу соседних уровней. Найдите значение шума квантования.

9. Оценка перегрузочной способности АЦП.

Используя испытательное изображение «градационный клин», установить разрядность АЦП равной 8, а частоту дискретизации максимальную. Увеличивать коэффициент передачи K и одновременно контролировать осциллограммы одной из строк. Определить размах $U_{ВХ}$, при котором возникают ограничения уровня ТВ сигнала сверху. Увеличивая коэффициент K , визуально оценить возникающие искажения. Зарисовать осциллограмму сигнала строки при максимальном значении K .

10. Уменьшая с помощью регулятора K размах ТВ сигнала относительно номинального размаха $1В$ от уровня синхроимпульса до уровня белого на входе АЦП, снять зависимость шумов квантования изображения от коэффициента K .

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ *часть 2*

1-2. См. пункты 1-2 части 1.

3. Работа проводится с использованием RGB сигнала, поэтому переключите DVD-проигрыватель в формат «RGB».

4. Подайте с выходов «R/C_r», «G/Y» и «B/C_B» DVD – проигрывателя видеосигналы на входы «R», «G», «B» АЦП.

5. Выходы ЦАП подключите к входам RGB видеомонитора. Видеомонитор должен быть переведён в режим «внешний» кнопкой «выбор входа», тумблер в положении «RGB».

6. Выход макета «синхр.» соединить с входом «ПЦТВС» видеомонитора.

7. Подать с DVD-проигрывателя тестовый ролик 1. Последовательно изменяя частоту дискретизации и число уровней квантования, наблюдайте искажения на каждом изображении. Запишите значение частоты дискретизации и уровня квантования, при котором становятся заметны искажения изображений.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Преобразование аналогового сигнала в цифровую форму представляет собой комплекс операций, наиболее существенными из которых являются дискретизация, квантования и кодирование.

Дискретизация сигнала во времени - это преобразование непрерывного аналогового сигнала в последовательность его значений в дискретные моменты времени. Эти значения называются отсчетами или выборками. В результате дискретизации непрерывного синусоидального сигнала (рис. 1, а) получается дискретный сигнал, показанный на (рис. 1, б).

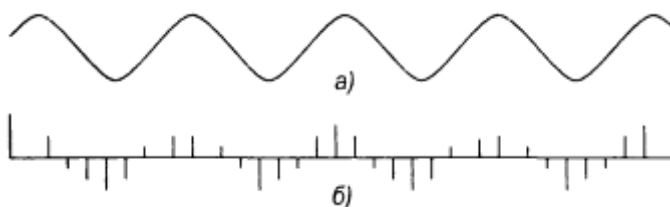


Рисунок 1. Дискретизация сигнала

Однако выбор частоты дискретизации – это всегда компромисс между качеством воспроизведения мелких деталей и степенью сокращения информации в изображении. Частота дискретизации f_d должна удовлетворять неравенству $f_d \geq 2f_B$, где f_B - верхняя

граничная частота дискретизируемого сигнала. Это условие было строго обосновано В.А. Котельниковым. В случае нарушения теоремы Котельникова, например, используется частота исходного синусоидального сигнала больше, чем половина частоты дискретизации. Тогда в дискретном и интерполированном (интерполяция – обратный процесс дискретизации) сигналах появилась ложная составляющая с частотой ниже, чем частота исходного непрерывного сигнала.

Анализ дискретизации и условий возникновения искажений возможен также с использованием спектрального подхода. Любой реальный сигнал содержит различные частотные составляющие. *Спектр* сигнала (или, более строго, спектральная плотность) - это функция, показывающая соотношение уровней частотных составляющих сигнала.

Действие дискретизации на спектр сигнала поясняется рис. 2. Спектр исходного сигнала занимает полосу частот от 0 до f_B .

В результате дискретизации в спектре возникают побочные составляющие, которые совпадают по форме с исходным спектром и симметричны относительно частот $f_d, 2f_d, 3f_d, (\dots)$. Если условие Котельникова выполнено и $f_B < f_d/2$ (рис. 2,а), то побочные составляющие спектра не перекрываются с исходным спектром. Поэтому с помощью идеального ФНЧ, имеющего частоту среза, равную $f_d/2$, можно выделить частотные составляющие исходного сигнала, полностью подавив побочные частотные составляющие, возникшие в результате дискретизации. Это

означает, что исходный сигнал, передаваемый с использованием дискретизации, может быть восстановлен без искажений.

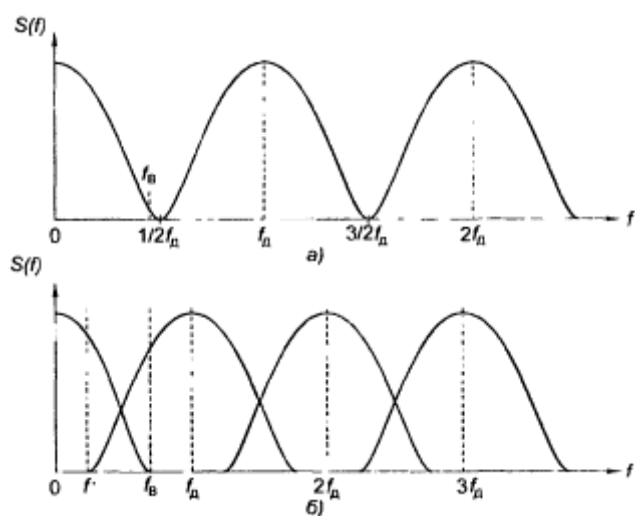


Рисунок 2. Спектры сигналов при дискретизации

На рис. 2,б показан спектр дискретизированного сигнала в случае, когда условие Котельникова не выполняется, т.е. $f_d < 2f_n$. При этом спектр исходного сигнала и спектр хотя бы одной из побочных составляющих, возникших при дискретизации, перекрываются. Это перекрытие нельзя устранить никаким фильтром, поэтому искажения, создаваемые дискретизацией, в данном случае необратимы.

Конкретный вид искажений в изображении зависит от форм составляющих его объектов и особенностей его пространственного спектра.

При наличии в исходном изображении хорошо выраженных периодических составляющих искажения могут проявиться в виде появления новых периодических составляющих, часто имеющих вид муара. Муар в виде криволинейных полос наблюдается на участке таблицы, содержащем периодическую структуру из тонких линий, предназначенную для визуальной оценки четкости на экране.

Другой распространенный вид искажений, создаваемых дискретизацией, наблюдается, если исходное изображение содержит наклонные линии. В результате края этих линий становятся зубчатыми. Размеры зубцов зависят от наклона линии.

Чтобы избежать возникновения необратимых искажений при дискретизации необходимо выбирать достаточно большую частоту дискретизации и ограничивать верхнюю граничную частоту дискретизируемого сигнала так, чтобы условие Котельникова выполнялось. Во многих случаях частоту дискретизации задают в несколько раз превышающей верхнюю граничную частоту исходного сигнала (избыточная дискретизация). Использование избыточной дискретизации позволяет применять более простые ФНЧ для ограничения полосы частот входного сигнала.

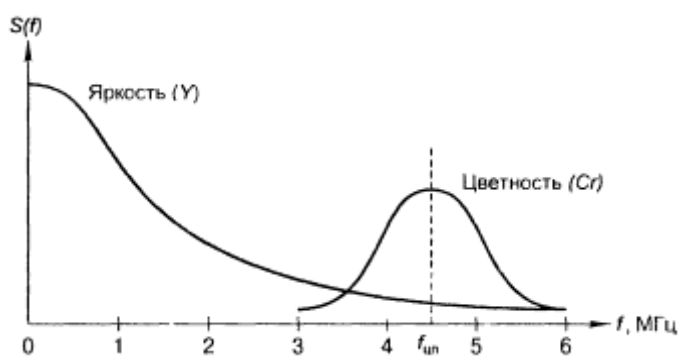


Рисунок 3. Спектр полного цветного телевизионного сигнала

Супердискретизация (Oversampling) - дискретизация с запасом по частоте. В системах телевидения в этом случае обычно применяется частота

дискретизации, кратная номинальной, что позволяет сохранить ортогональную структуру отсчетов сигнала. Например, для яркостного сигнала в телевидении стандартной чёткости использование частот дискретизации 27 или 54 МГц вместо 13,5 МГц называют соответственно двукратной и четырехкратной супердискретизацией. Супердискретизация применяется для упрощения требований к фильтрам на входе АЦП. Например, для частоты дискретизации 27 МГц полоса задерживания фильтра будет начинаться не с 6,75 МГц, а с 13,5 МГц. Это позволяет уменьшить порядок фильтра, соответственно упростить его реализацию и, самое важное, сделать более линейной его ФЧХ, так что задержка телевизионного сигнала в меньшей степени будет зависеть от частоты, а значит будут уменьшены искажения в виде повторов и смазывания вертикальных границ изображений. При повышении частоты дискретизации пропорционально

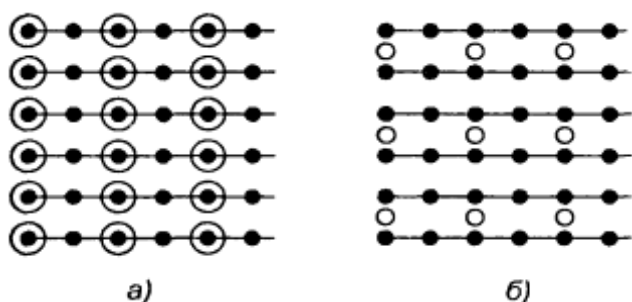


Рисунок 4. Положение отсчетов яркостного и цветоразностных сигналов при форматах дискретизации 4:2:2 (а) и 4:2:0 (б):

- - отсчеты сигналов яркости;
- о - отсчеты цветоразностных сигналов

увеличивается и скорость цифрового потока на выходе АЦП. Для приведения ее к номинальному значению необходимо проредить лишние отсчеты (провести децимацию). Однако перед децимацией должно быть обеспечено условие теоремы Котельникова для новой (стандартной) частоты дискретизации, что достигается цифровой низкочастотной фильтрацией телевизионного сигнала. Если при этом используется нерекурсивный цифровой фильтр нижних частот, то фазовые искажения не будут внесены в телевизионный сигнал.

Примерный вид спектра $S(f)$ полного цветового телевизионного сигнала (ПЦТС) систем SECAM или PAL показан на рис. 3. Спектр сигнала яркости занимает полосу частот от 50 Гц (в масштабе рисунка совпадает с 0 Гц) до 6 МГц. В нем преобладают низкие частоты, соответствующие крупным деталям изображения. Спектр сигнала цветности расположен вокруг частоты цветовой поднесущей f_m , отступая примерно на 1,5 МГц от нее. Таким образом, при полосе частот яркостного сигнала, равной 6 МГц, частота дискретизации должна быть выбрана не менее 12 МГц. Учитывая невозможность создания фильтра нижних частот с прямоугольной АЧХ, эта цифра должна быть несколько увеличена.

На выбор частоты дискретизации влияют также следующие обстоятельства. Необходимо, чтобы частота дискретизации была кратной частоте строк. Кроме того, желательно удовлетворение этому требованию одновременно для двух мировых стандартов разложения: 625/50 и 525/60. Одним из вариантов, отвечающих этим условиям, является частота 13,5 МГц. Каждый цветоразностный сигнал дискретизируется с вдвое меньшей частотой 6,75 МГц. Данный формат дискретизации телевизионных сигналов обозначается 4:2:2. Это

означает, что частота дискретизации цветоразностных сигналов в 2 раза меньше, чем частота дискретизации яркостного сигнала, причем в каждой строке присутствуют оба цветоразностных сигнала. Взаимное расположение отсчетов яркостного и цветоразностных сигналов показано на рис. 4,а.

Предусмотрены и другие варианты дискретизации телевизионных сигналов. Например, при использовании формата 4:2:0 каждый цветоразностный сигнал имеет частоту дискретизации в 2 раза ниже частоты дискретизации яркостного сигнала, и число передаваемых строк для него уменьшается вдвое. Расположение отсчетов яркостного и цветоразностных сигналов в плоскости изображения для этого варианта показано на рис. 4,б. В формате 4:1:1 число строк для каждого цветоразностного сигнала такое же, как для сигнала яркости, но частоты дискретизации цветоразностных сигналов в 4 раза меньше частоты дискретизации сигнала яркости, т.е. равны 3,375 МГц. Число элементов каждого цветоразностного сигнала в кадре в этом случае такое же, как для формата 4:2:0. Наконец, в формате 4:4:4 оба цветоразностных сигнала имеют столько же строк и дискретизируются с той же частотой, что и сигнал яркости.

Квантование сигнала по уровню заключается в нахождении для каждого отсчета сигнала ближайшего к нему уровня квантования из используемого набора уровней квантования или, говоря проще, округлении значений отсчетов сигнала до ближайших уровней квантования. Количество уровней квантования $N_{КВ}$ связано с числом двоичных разрядов АЦП b соотношением $N_{КВ} = 2^b$.

Рассмотрим пример квантования сигнала. На рис. 5,а показан дискретный сигнал, содержащий 256 отсчетов (отдельные отсчеты в этом масштабе не различимы), значения уровня сигнала измеряются в вольтах и изменяются непрерывно, т.е. квантования нет. На рис. 5,б показан тот же сигнал после квантования с числом двоичных разрядов $b = 4$, т.е. имеющий 16 уровней квантования. Размер шага квантования $h = 0,1$. Масштаб шкалы по вертикальной оси координат такой же, как на предыдущем рисунке.

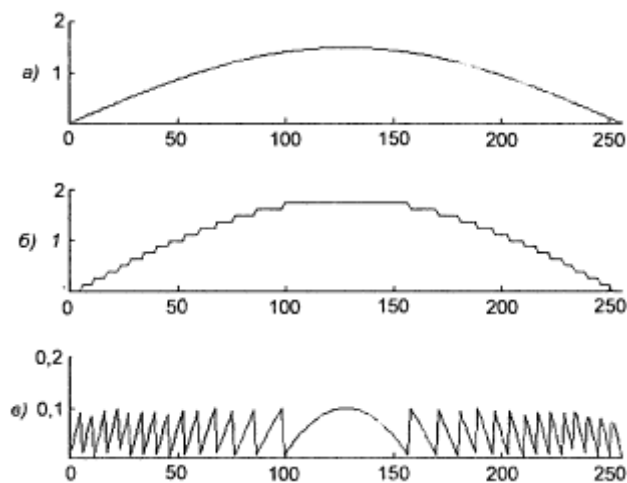


Рисунок 5. Сигнал до квантования (а), сигнал после квантования (б), ошибка квантования

На рис. 5,в показаны значения величины ошибки Δu , вносимой в сигнал операцией квантования. Величина ошибки квантования Δu изменяется в пределах от 0 до h ? При округлении до ближайшего снизу уровня квантования. Если же делать округление до ближайшего уровня сверху или снизу, то величина Δu будет изменяться в диапазоне $(-h/2; h/2)$.

Ошибка квантования является случайной величиной, поэтому ее часто называют шумом квантования. В случае, когда все значения сигнала равновероятны, распределение вероятности величины шума квантования также равномерное.

Среднеквадратическое значение шума квантования при квантовании путем округления до ближайшего уровня, постоянном шаге квантования и равновероятных значениях сигнала равно

$$\sigma_{\text{КВ}} = h / \sqrt{12}$$

Дисперсия шума квантования, характеризующая его мощность, может быть выражена в логарифмическом масштабе (в дБ - децибелах) по отношению к пиковому уровню мощности входного сигнала:

$$\sigma_{\text{КВ}}^2 = 10 \lg \left(h^2 / 12 \right) = 10 \lg \left(2^{-2b} / 12 \right) \approx -(6,02b + 10,8), \text{ дБ}$$

В этой формуле b - число двоичных разрядов без учета знакового разряда, максимальный уровень сигнала принят равным единице. Если полное число разрядов АЦП равно 8, из них один бит определяет полярность сигнала, то $b = 7$, и получается $\sigma_{\text{КВ}}^2 = -53$ дБ, т.е. средняя мощность шума квантования примерно в $2 \cdot 10^{-5}$ раз меньше максимальной мощности полезного сигнала.

На изображении шум квантования может проявляться различным образом в зависимости от характера изменений яркости или цвета на данном участке изображения. На участках, состоящих из мелких деталей, квантование приведет к случайным изменениям их яркости или цвета. На участках изображения с плавным изменением уровня видеосигнала квантование может привести к возникновению ложных контуров по тем линиям, на которых уровень видеосигнала переходит с одного уровня квантования на другой. На мелкоструктурных частях изображения искажения, создаваемые квантованием, практически незаметны. Следовательно, мелкие детали, текстуру изображения можно квантовать более грубо, чем участки с плавными изменениями яркости. Этот факт используется во многих методах сжатия изображений.

В Рекомендации 601 для всех сигналов предусмотрено число разрядов квантования $b = 8$, что дает число уровней квантования $N_{\text{КВ}} = 256$. При этом уровню черного сигнала яркости соответствует 16-й уровень квантования, а номинальному уровню белого - 235-й уровень квантования. 16 уровней квантования снизу и 20 уровней квантования сверху образуют *резервные зоны* на случай выхода значений аналогового сигнала яркости за пределы номинального диапазона. Особые назначения имеют 0-й и 255-й уровни квантования. С помощью соответствующих им кодов передаются сигналы синхронизации.

При квантовании цветоразностных сигналов также предусматриваются резервные зоны - по 16 уровней квантования сверху и снизу. На АЦП поступают не сами цветоразностные сигналы E'_{R-Y} , E'_{B-Y} , а компрессированные цветоразностные сигналы, формируемые в соответствии с соотношениями:

$$E_{\text{CR}} = 0,713 \cdot E'_{R-Y}, \quad E_{\text{CB}} = 0,564 \cdot E'_{B-Y},$$

причем значения сигналов E_{CR} и E_{CB} изменяются в диапазоне от -0,5В до 0,5В.

Если квантование яркостного и цветоразностных сигналов осуществляется 10-разрядными аналогово-цифровыми преобразователями (АЦП), это дает 1024

уровня квантования. Сигнала яркости Y изменяется от 16-го уровня до 235-го уровня (значение 0,63...0,922, то есть занимает 219 уровней (прямой ход строчной развертки). В резервную зону входят 20 уровней сверху и 16 уровней снизу.

Синхросигналы передаются во время обратного хода строчной развертки: перед началом активного участка передается сигнал начала активного участка строки, после окончания активного участка передается сигнал окончания активной строки.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Структурная схема исследуемого устройства.
2. Параметры и осциллограммы исследуемых сигналов.
3. Выводы о влиянии на качество ПТВС и RGB-сигнала искажений, вносимых операциями дискретизации и квантования.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое дискретизация? Какие значения частот дискретизации яркостной и цветоразностных составляющих установлены рекомендацией ITU-R BT.601 и почему?
2. Что произойдет, если при дискретизации не будет соблюдена теорема Котельникова?
3. Какие искажения возникают при дискретизации?
4. Что такое квантование? Как выбирается число уровней квантования?
5. Какие искажения возникают при квантовании?
6. Почему разные изображения по-разному «страдают» от «огрубления» шкалы квантования? От каких признаков изображения это зависит?

ЛИТЕРАТУРА

1. Телевидение / под ред. В.Е. Джаконии.- М.: Радио и связь, 2003. - 616с.
2. А. В. Смирнов, А. Е. Пескин. Цифровое телевидение от теории к практике. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2005. - 349с.