

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО ДИСЦИПЛИНАМ
«ОСНОВЫ ТЕЛЕВИДЕНИЯ»
И «ОСНОВЫ ТЕЛЕВИДЕНИЯ
И ВИДЕОТЕХНИКИ»**

Учебно-методическое пособие
для обучающихся очной и заочной форм обучения
укрупненной группы специальностей и направлений 11.00.00

Севастополь
СевГУ
2020

УДК 621.397
Л12

Р е ц е н з е н т:

И.В. Скорик - доцент кафедры «Электронная техника»,
канд. техн. наук

Ответственный за выпуск:

Ю.П. Михайлюк - заведующий кафедрой «Электронная техника»,
канд. техн. наук, доцент

Составители: Ю.П. Михайлюк, Д.В. Начаров, Ю.Н. Тыщук

Л12 Лабораторный практикум по дисциплинам «Основы телевидения» и «Основы телевидения и видеотехники» : учебно-методическое пособие для обучающихся очной и заочной форм обучения укрупненной группы специальностей и направлений 11.00.00 / Сост. Ю.П. Михайлюк, Д.В. Начаров, Ю.Н. Тыщук ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Севастопольский государственный университет. — Севастополь: СевГУ, 2020. — 88 с. — Текст : электронный.

Цель учебно-методического пособия: оказание помощи студентам очной и заочной форм обучения в подготовке и выполнении лабораторных работ по дисциплинам «Основы телевидения» и «Основы телевидения и видеотехники», а также в получении ими теоретических знаний и практических навыков анализа параметров телевизионных сигналов и характеристик устройств телевизионных систем.

УДК 621.397

Учебно-методическое пособие утверждено на заседании кафедры «Электронная техника», протокол № 8 от «17» марта 2020 года и заседании кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации», протокол № 11 от 23 марта 2020 г.

Учебно-методическое пособие одобрено на заседании методической комиссии Института радиоэлектроники и информационной безопасности, протокол № 11 от 29 мая 2020 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Лабораторная работа № 1. «Исследование качественных показателей телевизионной системы».....	5
2. Лабораторная работа № 2. «Исследование характеристик телевизионных воспроизводящих устройств».....	13
3. Лабораторная работа № 3. «Исследование параметров цифровой видеокамеры»	35
4. Лабораторная работа № 4. «Исследование параметров цветности телевизионных изображений»	57
5. Лабораторная работа № 5. «Исследование интерфейсов телевизионных систем»	75
Библиографический список	87

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Основы телевидения» является начальной из дисциплин телевизионного цикла и изучается студентами направлений 11.03.01 «Радиотехника», 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» очной и заочной форм обучения.

В данную методическую разработку включены пять лабораторных работ.

При разработке лабораторных работ использовались как программные продукты, находящиеся в свободном доступе (например, «*I liked color*», «*LCD Color Error Check*», «*PixPerAn*»), так и оригинальные программные продукты авторов пособия, в частности, программы к работе № 4.

Методические указания по выполнению каждой лабораторной работы содержат следующие разделы: цель работы; теоретическая часть; описание лабораторной установки; порядок выполнения исследований (теоретических и/или экспериментальных); контрольные вопросы для допуска к работе и для подготовки к защите работы.

Подготовка к выполнению каждой лабораторной работы предполагает изучение теоретического материала, как приведенного в настоящем пособии, так и сведений из лекционного курса и рекомендованной учебной литературы по дисциплине.

Первый этап выполнения работы — теоретические исследования — проводится в соответствии с программой исследований и на основании индивидуальных исходных данных, выбираемых студентом из соответствующих таблиц.

Результаты теоретических исследований оформляются каждым студентом в виде первой части отчета, которая проверяются преподавателем, и студент допускается к выполнению экспериментальных исследований.

Экспериментальные исследования проводятся бригадой из 2—3 студентов, однако выполняются каждым студентом по индивидуальному заданию.

В процессе экспериментов студенты должны вести подробный протокол, в котором фиксируют полученные результаты. Протокол подписывается преподавателем.

В итоге каждый студент оформляет индивидуальный отчет, который должен иметь титульный лист и содержать следующие разделы:

- цель работы с указанием исследуемых в лабораторной работе зависимостей, характеристик и параметров;
- результаты теоретических исследований;
- структурная схема и описание лабораторной установки;
- результаты экспериментальных исследований;
- выводы.

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

«ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ»

1.1. Цель работы

Целью лабораторной работы является ознакомление студентов с методами теоретического и экспериментального исследования основных качественных показателей телевизионной (ТВ) системы.

1.2. Теоретическая часть

При исследовании качественных показателей ТВ системы чаще всего на экране ТВ воспроизводящего (видеоконтрольного) устройства (ВКУ) формируют контрольные изображения в виде чередующихся темных и светлых полос. Изображение в виде неподвижных горизонтальных полос формируется в случае, если частота следования импульсов видеосигнала кратна частоте полей (кадров) и меньше частоты строк. При этом порядок чередования на экране черных и белых полос соответствует фазе видеосигнала относительно фазы импульса синхронизации кадровой развертки.

Если частота следования импульсов видеосигнала кратна частоте строк, то на экране ВКУ формируются вертикальные полосы.

Зависимость между яркостью элемента ТВ изображения $B_{из}$ и яркостью элемента объекта ТВ наблюдения $B_{об}$ называется световой характеристикой ТВ системы. В общем виде эта зависимость может быть выражена степенной функцией

$$B_{из} = AB_{об}^{\gamma},$$

где γ — коэффициент контрастности, определяющий форму амплитудной характеристики системы; A — коэффициент пропорциональности.

Преобразования в телевизионной системе осуществляются по схеме «объект — электрический сигнал — телевизионное изображение». В соответствии с этим для телевизионной системы можно выделить следующие характеристики:

— световую характеристику анализирующего устройства (оптоэлектронного преобразователя)

$$U_{c1} = A_1 B_{об}^{\gamma_1};$$

— амплитудную характеристику телевизионного канала связи

$$U_{c2} = A_2 U_{c1}^{\gamma_2};$$

— модуляционную характеристику воспроизводящего устройства (электронно-оптического преобразователя)

$$B_{из} = A_3 U_{c2}^{\gamma_2};$$

— результирующую (сквозную амплитудную) характеристику телевизионной системы

$$B_{из} = A_1 A_2 A_3 B_{об}^{\gamma_1 \gamma_2 \gamma_3} = AB_{об}^{\gamma}.$$

Для оценки изменений яркости деталей объекта обычно используются относительные единицы B_n/B_{max} , где B_{max} — показания прибора при измерении яркости наиболее светлой детали объекта; B_n — показания прибора, соответствующие яркости конкретной детали объекта. В этом случае амплитуды получаемого видеосигнала также удобно представлять в относительных единицах U_n/U_{max} , где U_{max} — амплитуда сигнала, соответствующее наиболее яркой детали объекта; U_n — текущее значение амплитуды видеосигнала (рис. 1.1).

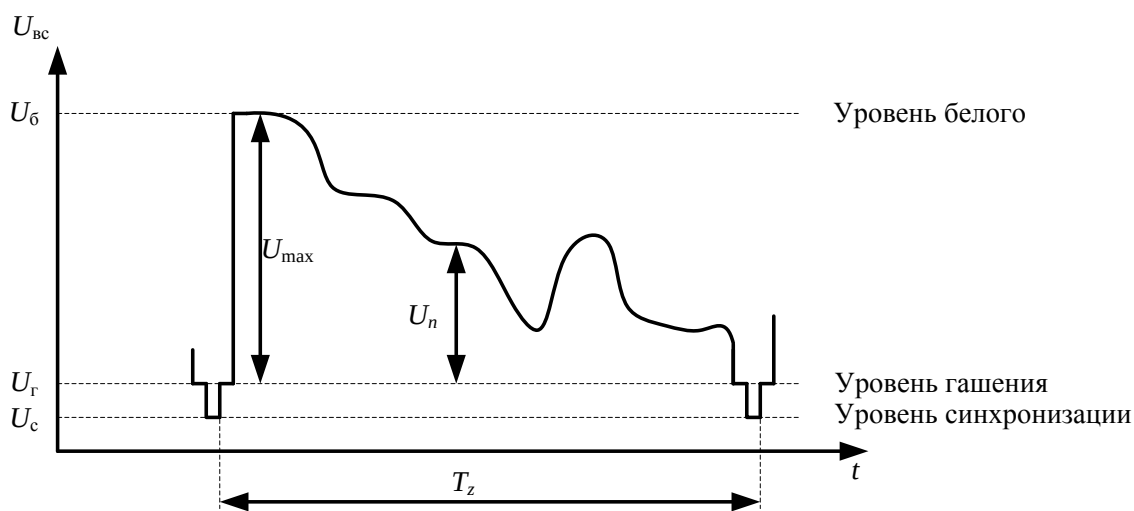


Рисунок 1.1 — Форма видеосигнала на интервале периода строчной развертки

Световую характеристику анализирующего устройства в этом случае можно представить в виде

$$\frac{U_n}{U_{max}} = A_1 \left(\frac{B_{обn}}{B_{обmax}} \right)^{\gamma_1}.$$

Телевизионный канал связи, как правило, не вносит искажений, поэтому при расчетах можно принять величины γ_2 и A_2 равными единице.

Модуляционная характеристика воспроизводящего устройства выражается в виде

$$\frac{B_{изn}}{B_{изmax}} = A_3 \left(\frac{U_n}{U_{max}} \right)^{\gamma_3}.$$

Точность воспроизведения телевизионной системой пространственного распределения яркостей деталей передаваемого объекта характеризуется величиной разрешающей способности, под которой понимается возможность раздельного наблюдения объектов заданных размеров при заданных расстояниях между ними. Для количественной оценки разрешающей способности наиболее удобно использовать специальную испытательную таблицу в виде чередующихся черных и белых штрихов одинакового размера, перпендикулярных направлению гори-

горизонтальной (строчной) развертки. При этом амплитуда видеосигнала будет зависеть от размеров штрихов и расстояния между ними, как это показано на рис. 1.2.

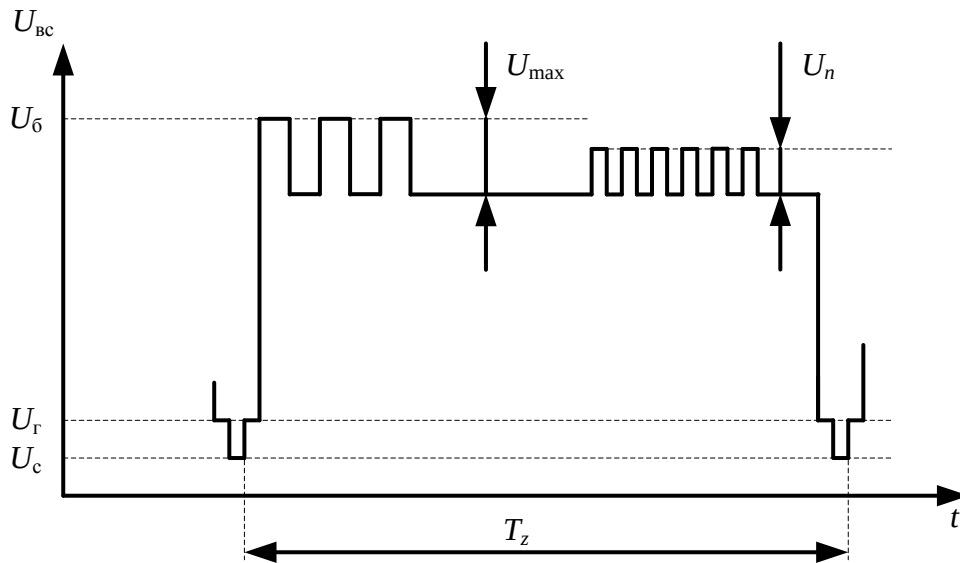


Рисунок 1.2 — Форма видеосигнала для объекта (таблицы) в виде чередующихся вертикальных полос

На основании полученной в результате эксперимента зависимости $(U_n/U_{max}) = f(x)$, где x — число полосок, приходящиеся на 1 м длины (указывается на испытательной таблице около каждой группы полосок); U_{max} — амплитуда видеосигнала для наиболее крупных деталей изображения, можно оценить разрешающую способность анализирующего устройства (передающей камеры), считая допустимым снижение вдвое контрастности мелких деталей по сравнению с крупными.

Снижение контрастности мелких деталей по сравнению с крупными обуславливается, в основном, двумя причинами. Первая — ограниченная сверху полоса пропускания телевизионного тракта. Чем меньше размеры детали объекта, тем более высокочастотные составляющие в спектре видеосигнала эти детали формируют. Вторая, характерная для ТВ преобразователей электронно-вакуумного типа, — наличие апертурных искажений, возникающих из-за конечных размеров апертуры развертывающего электронного луча.

Частота видеосигнала зависит от скорости развертки изображения. Если для развертки одного элемента изображения требуется время τ_s , то верхняя граничная частота спектра телевизионного сигнала определяется следующим соотношением:

$$f_b = \frac{1}{2\tau_s}.$$

При периоде кадровой развертки, равном T_k , верхняя граничная частота спектра ТВ сигнала f_b равна

$$f_{\text{в}} = \frac{kz^2}{2T_{\text{к}}},$$

где k — формат кадра; z — число строк в кадре.

С учетом времени обратного хода луча по строке $t_{\text{зобр}}$ и по кадру $t_{\text{кобр}}$ верхняя граничная частота спектра видеосигнала определится следующим образом

$$f_{\text{в}} = \rho \frac{kz^2(1-\beta)}{2T_{\text{к}}(1-\alpha)},$$

где ρ — коэффициент, учитывающий допустимое снижение верхней граничной частоты спектра, вызванное особенностями субъективного восприятия человеком изображения (значение ρ составляет от 0,75 до 0,85).

Величины α и β определяются следующим образом:

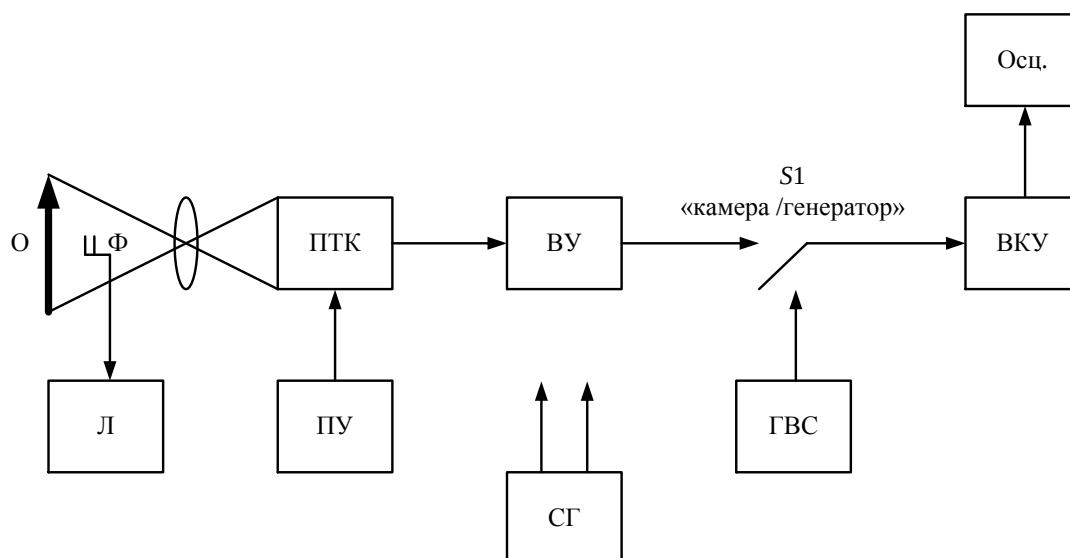
$$\alpha = t_{\text{зобр}}/T_z;$$

$$\beta = t_{\text{кобр}}/T_{\text{к}},$$

где T_z — период строчной развертки.

1.3. Описание лабораторной установки

Структурная схема лабораторной установки показана на рис. 1.3.



О — объект телевизионной передачи; ПТК — передающая телевизионная камера;

ВУ — видеоусилитель; ПУ — пульт управления;

ВКУ — видеоконтрольное устройство; Л — люксметр (с фотоэлементом Ф);

СГ — синхрогенератор; ГВС — генератор видеосигналов;

Осц. — осциллограф.

Рисунок 1.3 — Структурная схема лабораторной установки для исследования качественных показателей ТВ системы

Исследование параметров электрических сигналов производят при помощи цифрового осциллографа с функцией анализа спектра *FFT*.

Объекты телевизионной передачи представляет собой сменные таблицы следующих видов:

- стандартная телевизионная испытательная таблица ИТ-72, предназначенная для настройки ТВ аппаратуры;
- таблица, содержащая набор из пяти градационных полос различной яркости; служит для определения коэффициента нелинейных искажений (коэффициента контрастности) амплитудных характеристик ТВ тракта;
- таблица, содержащая набор из групп вертикальных полосок различной ширины; используется для оценки разрешающей способности ТВ системы.

Для определения яркости градационных полос используется люксметр с селеновым фотоэлементом: поднося фотоэлемент к соответствующей градационной полосе, можно измерить ее яркость.

В передающей камере формируется полный телевизионный сигнал. В видеоусилителе этот сигнал усиливается и через переключатель «камера-генератор», выведенный на лицевую панель лабораторного стенда, подается на видеоконтрольное устройство.

Генератор видеосигналов позволяет формировать на экране ВКУ, минуя передающую камеру, изображения в виде выбираемого (при помощи переключателей) числа горизонтальных или вертикальных полос.

Синхрогенератор вырабатывает синхронизирующие и гасящие импульсы, необходимые для работы развертывающих устройств.

Осциллограф позволяет исследовать сигналы синхронизации, видеосигналы, полный телевизионный сигнал, а также спектральные характеристики сигналов.

1.4. Порядок теоретических исследований

1.4.1. Рассчитать параметры видеосигналов, формирующих на экране ВКУ заданные изображения (рис. 1.4, 1.5). Индивидуальные задания выбираются по предпоследней M и последней N цифрам номера зачетной книжки (индивидуального плана) студента (табл. 1.1).

1.4.2. Рассчитать параметры видеосигнала, получаемого на выходе передающей ТВ камеры при заданном значении коэффициента нелинейных искажений γ_1 (табл. 1.2). Объект передачи представляет собой таблицу, содержащую 10 вертикальных полос, яркость которых изменяется ступенчато от нуля до максимума по линейному закону.

1.4.3. Рассчитать полосу пропускания канала связи, необходимую для передачи сигнала изображения, содержащего $Z_{\text{гор}}$ элементов разложения вдоль строки и l периодов строчной развертки, составляющих длительность обратного хода генератора кадровой развертки (см. табл. 1.2).

Таблица 1.1 — Исходные данные для выполнения исследований по п. 1.4.1

M	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Изображение на рис. 1.4	a/n	$\bar{b}/n$	$\bar{b}/n$	$\bar{b}/n$	$\bar{b}/n$	a/r	$\bar{b}/r$	$\bar{b}/r$	$\bar{b}/r$	$\bar{b}/r$
N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Изображение на рис. 1.5	a/n	$\bar{b}/n$	$\bar{b}/n$	$\bar{b}/n$	$\bar{b}/n$	a/r	$\bar{b}/r$	$\bar{b}/r$	$\bar{b}/r$	$\bar{b}/r$

Примечания:

1) « n » — построчный растр с периодом кадровой развертки $T_k = 20$ мс и числом строк разложения z , равным 625;

2) « r » — чересстрочный растр с периодом полей $T_{\Pi} = 20$ мс и числом строк разложения z , равным 625.

Таблица 1.2 — Исходные данные для выполнения исследований по п. 1.4.2 и п. 1.4.3

M	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$z_{\text{гор}}$	300	350	400	450	500	550	600	625	700	750
γ_1	0,6	0,8	1,4	1,7	2,0	2,2	2,7	0,5	2,5	2,3
N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
l	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Примечания:

растр — чересстрочный; формат кадра $k = 4/3$; время обратного хода луча на строке $t_{\text{зобр}} = 10$ мкс; $T_k = 40$ мс.

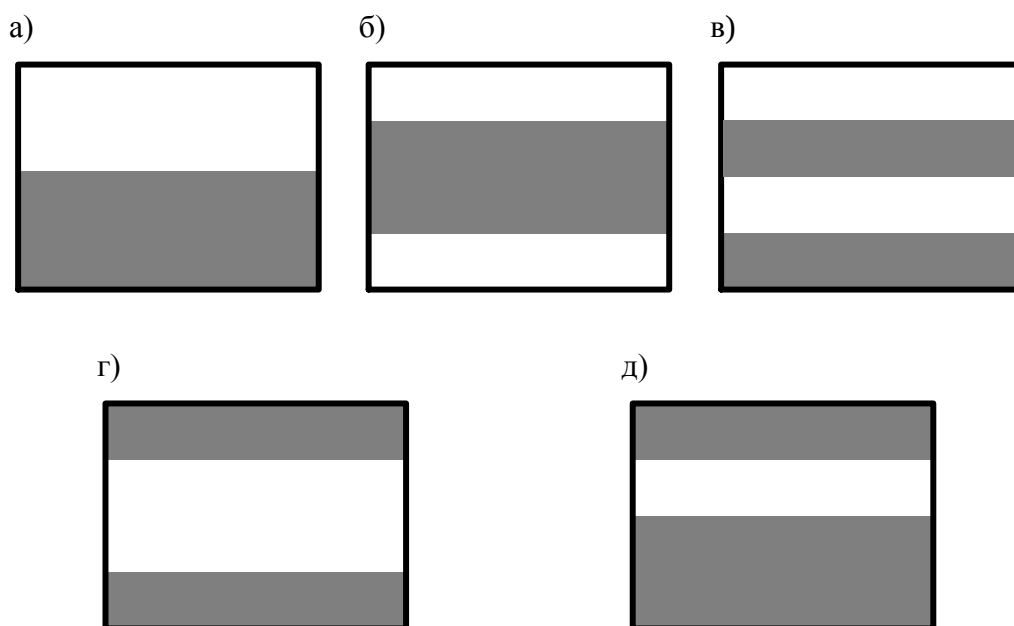


Рисунок 1.4 — Вид изображений горизонтальных полос

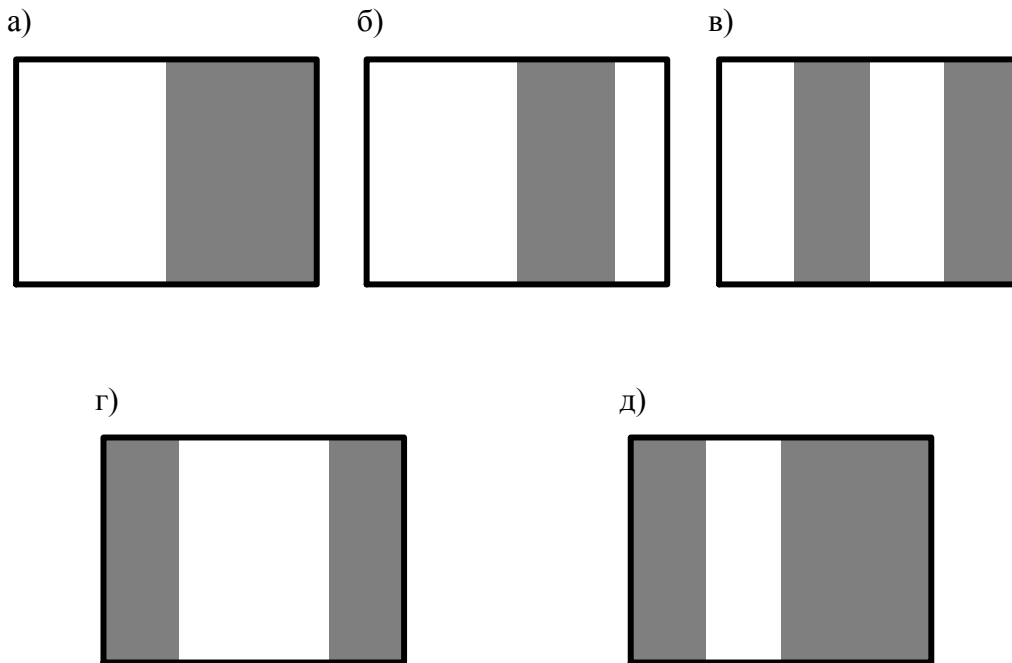


Рисунок 1.5 — Вид изображений вертикальных полос

1.5. Порядок выполнения экспериментальных исследований

1.5.1. Сформировать на экране ВКУ изображение в виде 2, 4, 6 и 8 горизонтальных и вертикальных полос. Измерить параметры подаваемого на вход ВКУ видеосигнала. Снять осциллограммы и спектрограммы.

1.5.2. Определить параметры кадровых и строчных импульсов синхронизации и гашения. Сопоставить период следования импульсов видеосигнала с периодами строчной и кадровой разверток ВКУ. Снять осциллограммы.

1.5.3. Измерить амплитудные характеристики передающей ТВ камеры и всего телевизионного тракта. Построить зависимости $U_c = f(B_{об})$ и $B_{из} = f(B_{об})$. Для U_c снять осциллограмму. По амплитудным характеристикам оценить величину нелинейных искажений передающей ТВ камеры и видеоконтрольного устройства. В качестве объекта наблюдения использовать таблицу с набором из 5 градационных полос различной яркости.

1.5.4. Используя таблицу, содержащую набор из групп вертикальных полосок различной ширины, измерить значения U_c для каждого указанного около группы полосок значения числа x . Для U_c снять осциллограмму. Построить зависимость $U_c = f(x)$. Оценить разрешающую способность ТВ системы.

1.5.5. С помощью испытательной таблицы ИТ-72 оценить разрешающую способность ТВ системы в центре и по краям экрана, по вертикали и по горизонтали.

1.5.6. Определить полосу пропускания видеотракта с учетом полученного значения разрешающей способности и значения нижней частоты в спектре ТВ f_n , соответствующей изображению с наименьшим числом градаций яркости на интервале кадровой развёртки.

1.6. Контрольные вопросы

1.6.1. Вопросы для допуска к работе

- 1.6.1.1. Как формируется растр при построчной развертке?
- 1.6.1.2. Как формируется растр при чересстрочной развертке?
- 1.6.1.3. Чем определяется верхняя граничная частота спектра ТВ сигнала?
- 1.6.1.4. Что понимается под апертурными искажениями?
- 1.6.1.5. Что определяет разрешающую способность телевизионной системы?
- 1.6.1.6. От чего зависит нижняя граничная частота спектра ТВ сигнала?
- 1.6.1.7. Поясните методику определения разрешающей способности ТВ системы.
- 1.6.1.8. От чего зависит амплитудная характеристика телевизионной системы?
- 1.6.1.9. В чем заключаются принципы телевидения?
- 1.6.1.10. Перечислите показатели качества телевизионной системы.

1.6.2. Вопросы для подготовки к защите

- 1.6.2.1. Поясните результаты исследования разрешающей способности ТВ системы.
- 1.6.2.2. Поясните результаты исследования спектральных характеристик ТВ системы.
- 1.6.2.3. Поясните результаты исследования амплитудных характеристик элементов ТВ системы.
- 1.6.2.4. К изменению каких показателей качества изображения приводят апертурные искажения и почему?
- 1.6.2.5. Каким образом может быть скорректирована амплитудная характеристика ТВ системы?
- 1.6.2.6. Каким образом влияет полоса пропускания телевизионного тракта на разрешающую способность?
- 1.6.2.7. Каковы особенности спектра телевизионного сигнала?
- 1.6.2.8. В чем заключается преимущества чересстрочной развертки по сравнению с прогрессивной?
- 1.6.2.9. Какие показатели качества телевизионного изображения определяются при помощи испытательной таблицы?
- 1.6.2.10. Проанализируйте спектр телевизионного сигнала для изображения, заданного преподавателем.

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

«ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ВОСПРОИЗВОДЯЩИХ УСТРОЙСТВ»

2.1. Цель работы

Целью лабораторной работы является ознакомление студентов с принципами построения и параметрами современных телевизионных воспроизводящих устройств (ТВУ), а также освоение методики оценки основных характеристик ТВУ.

2.2. Принципы построения и параметры телевизионных воспроизводящих устройств

2.2.1. Жидкокристаллические воспроизводящие устройства

Жидкокристаллическое (ЖК) индикаторное устройство (ЖКИ) или *LCD (Liquid crystal display)* ТВУ это плоский экран на основе жидких кристаллов [1].

Изображение в нём формируется с помощью отдельных элементов, как правило, через устройство строчной развёртки. Многоцветное изображение формируется с помощью *RGB*-триад, то есть ЖК элементов с тремя цветами свечения.

Выделяют следующие важнейшие характеристики *LCD* ТВУ:

- разрешение — горизонтальный и вертикальный размеры, выраженные в пикселях; в отличие от ЭЛТ-экранов, ЖК имеют одно фиксированное разрешение, остальные достигаются интерполяцией;

- размер точки (размер пикселя) — расстояние между центрами соседних пикселей; этот параметр непосредственно связан с физическим разрешением;

- соотношение сторон экрана (пропорциональный формат) — отношение ширины к высоте (5:4, 4:3, 3:2, 8:5, 5:3, 16:9, 16:10 и др.);

- видимая диагональ — размер самого экрана, измеренный по диагонали; площадь дисплеев зависит также от формата: экран с форматом 4:3 имеет большую площадь, чем с форматом 16:9 при одинаковой диагонали;

- контрастность — отношение яркостей самой светлой и самой тёмной точек; в некоторых ВУ используется адаптивный уровень подсветки с использованием дополнительных ламп, приведённое для них значение контрастности (так называемая динамической) не относится к статическому изображению;

- яркость — количество света, излучаемое дисплеем, обычно измеряется в канделах на квадратный метр;

- время отклика — минимальное время, необходимое пикселю для изменения своей яркости;

- угол обзора — угол, при котором падение контраста достигает заданного; этот угол для разных типов матриц и разными производителями вычисляется по-разному, и часто не подлежит сравнению; часто указывают параметр *CR*; аббревиатура *CR (contrast rate)* обозначает уровень контрастности при указанных углах обзора относительно перпендикуляра к экрану; при углах обзора 170°/160° контрастность в центре экрана снижается до значения не ниже, чем 10:1,

при углах обзора $176^\circ/176^\circ$ — не ниже, чем до значения 5:1;

— тип матрицы: технология, по которой изготовлен ЖК экран [2].

Конструктивно такое воспроизводящее устройство состоит из ЖК матрицы (стеклянной пластины, между слоями которой располагаются жидкие кристаллы), источников света для подсветки, контактного жгута и обрамления (корпуса), чаще всего пластикового, с металлической рамкой жёсткости.

Каждый пиксель ЖК матрицы состоит из слоя молекул между двумя прозрачными электродами и двух поляризационных фильтров, плоскости поляризации которых (как правило) перпендикулярны.

Устройство субпиксела цветного жидкокристаллического экрана показано на рис. 2.1.

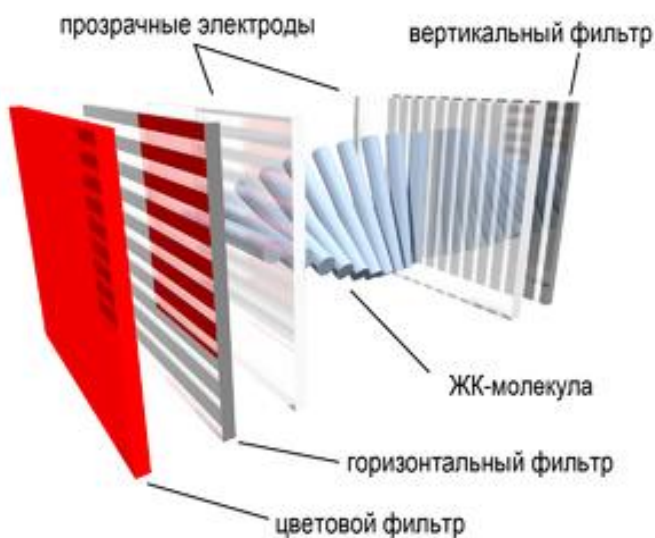


Рисунок 2.1 — Устройство субпиксела цветного ЖК экрана

В отсутствие жидких кристаллов свет, пропускаемый первым фильтром, практически полностью блокируется вторым. Поверхность электродов, контактирующая с жидкими кристаллами, специально обработана для изначальной ориентации молекул в одном направлении.

В *TN* (*Twisted Nematic*)-матрице эти направления взаимно перпендикулярны, поэтому молекулы в отсутствие напряжения выстраиваются в винтовую структуру. Эта структура преломляет свет таким образом, что до второго фильтра плоскость его

поляризации поворачивается и через него свет проходит уже без потерь. Если не считать поглощения первым фильтром половины неполяризованного света, ячейку можно считать прозрачной. Если к электродам приложено напряжение, то молекулы стремятся выстроиться в направлении электрического поля, что искажает винтовую структуру. При этом силы упругости противодействуют этому, и при отключении напряжения молекулы возвращаются в исходное положение.

При достаточной величине поля практически все молекулы становятся параллельны, что приводит к непрозрачности структуры. Варьируя напряжение, можно управлять степенью прозрачности. Если постоянное напряжение приложено в течение долгого времени, жидкокристаллическая структура может деградировать из-за миграции ионов. Для решения этой проблемы применяется переменный ток или изменение полярности поля при каждой адресации ячейки (так как изменение прозрачности происходит при включении тока, вне зависимости от его полярности).

Во всей матрице можно управлять каждой из ячеек индивидуально, но при увеличении их

количества это становится трудновыполнимо, так как растёт число требуемых электродов. Поэтому практически везде применяется адресация по строкам и столбцам.

Проходящий через ячейки свет может быть естественным — отражённым от подложки (в ЖК дисплеях без подсветки). Чаще применяют искусственный источник света (кроме независимости от внешнего освещения это стабилизирует свойства полученного изображения).

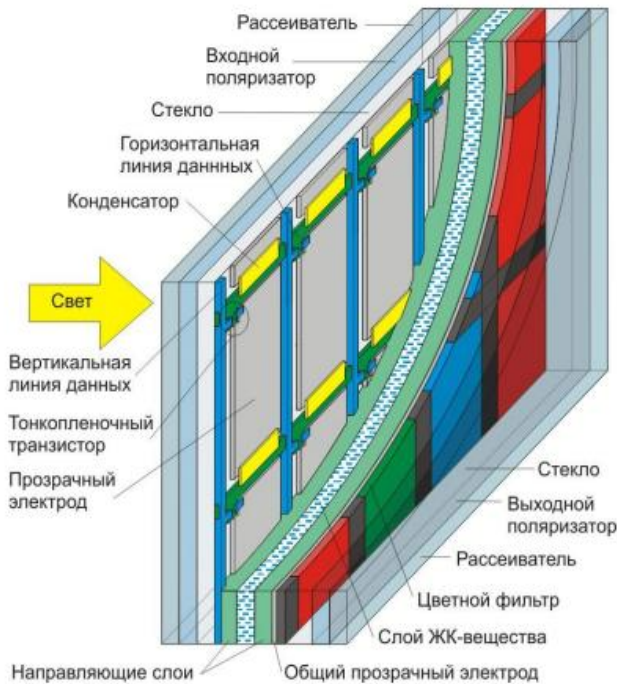


Рисунок 2.2 — Устройство активной ЖК матрицы

дущей строке, постепенно исчезает.

Такая матрица требует довольно большого времени для обновления изображения, то есть частота мельканий довольно низкая. Пассивные матрицы применяются только там, где не требуется высокой частоты обновления экрана — в часах, сотовых телефонах и т.д.

К преимуществам ЖК ТВУ можно отнести прежде всего малый размер «в глубину» и вес в сравнении с ЭЛТ. Кроме того у ЖК экранов ТВ приемников, в отличие от ЭЛТ, нет видимого мерцания, дефектов фокусировки лучей, помех от магнитных полей, проблем с геометрией изображения и четкостью. Энергопотребление ЖК ТВ приемника в зависимости от модели, настроек и выводимого изображения может как совпадать с потреблением ЭЛТ и плазменных экранов сравнимых размеров, так и быть существенно — до пяти раз ниже. Энергопотребление ЖК ВУ на 95% определяется мощностью ламп подсветки или светодиодной матрицы подсветки (англ. *backlight* — «задний свет») ЖК матрицы. Во многих воспроизводящих устройствах для настройки пользователем яркости свечения экрана используется широтно-импульсная модуляция ламп подсветки частотой от 150 Гц до 400 Гц и более.

ЖК ТВ приемники имеют и некоторые недостатки, часто принципиально трудноустраняемые. В отличие от ЭЛТ, ЖК воспроизводящие устройства могут отображать чёткое изображение лишь в одном («штатном») разрешении. Остальные достигаются интерполяцией с потерей

ЖК матрицы разделяют на пассивные и активные [3]. Устройство активной ЖК матрицы показано на рис. 2.2. Для управления ячейками пассивной матрицы используются прозрачные полосы-электроды. Они нанесены на стекла, между которыми находится ЖК вещество, причем с одной стороны полосы нанесены горизонтально, а с другой вертикально, образуя решетчатую структуру.

На пересечении электродов и находятся ячейки. В пассивной матрице можно управлять одновременно только ячейками одной строки. При переходе к управлению следующей строкой, изображение, сформированное на преды-

чёткости. Причем слишком низкие разрешения (например 320×200 точек) вообще не могут быть отображены на многих мониторах. Цветовой охват и точность цветопередачи ниже, чем у плазменных панелей и ЭЛТ соответственно. Это связано с тем, что субпиксели ЖК матрицы не являются светоизлучающими элементами, а представляют собой фильтры, пропускающие свет от белых ламп подсветки. Спектральные характеристики пропускания фильтров делают широкими, чтобы увеличить яркость. Поэтому цвета субпикселей получаются ненасыщенными, а значит, панель имеет небольшой цветовой охват [4]. Это означает, что хоть она и передает 16,8 миллионов цветов, среди них нет таких, которые может передать, например, ЭЛТ или плазменная панель. Важно не только количество передаваемых цветов, но и то, какие это цвета.

На рис. 2.3 изображены градации основных цветов для ЭЛТ и *LCD*.

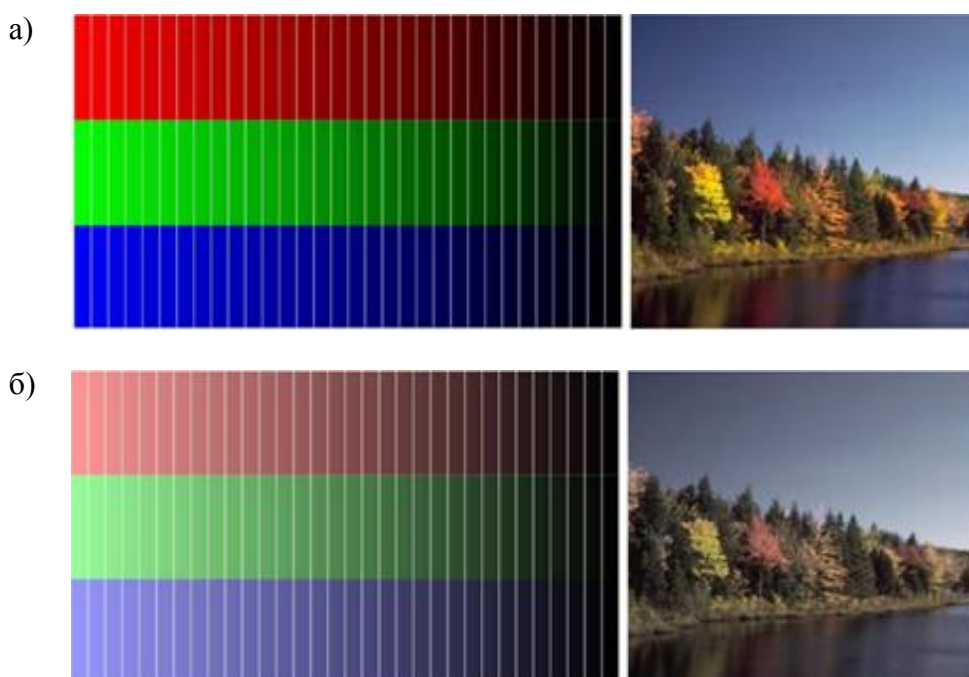


Рисунок 2.3 — Сравнение цветопередачи ЭЛТ (а) и *LCD* (б)

В обоих случаях количество градаций одинаково, то есть оба устройства передают одинаковое количество цветов. Однако цвета, передаваемые ЭЛТ, имеют насыщенность, изменяющуюся в больших пределах, чем цвета, передаваемые *LCD* [4].

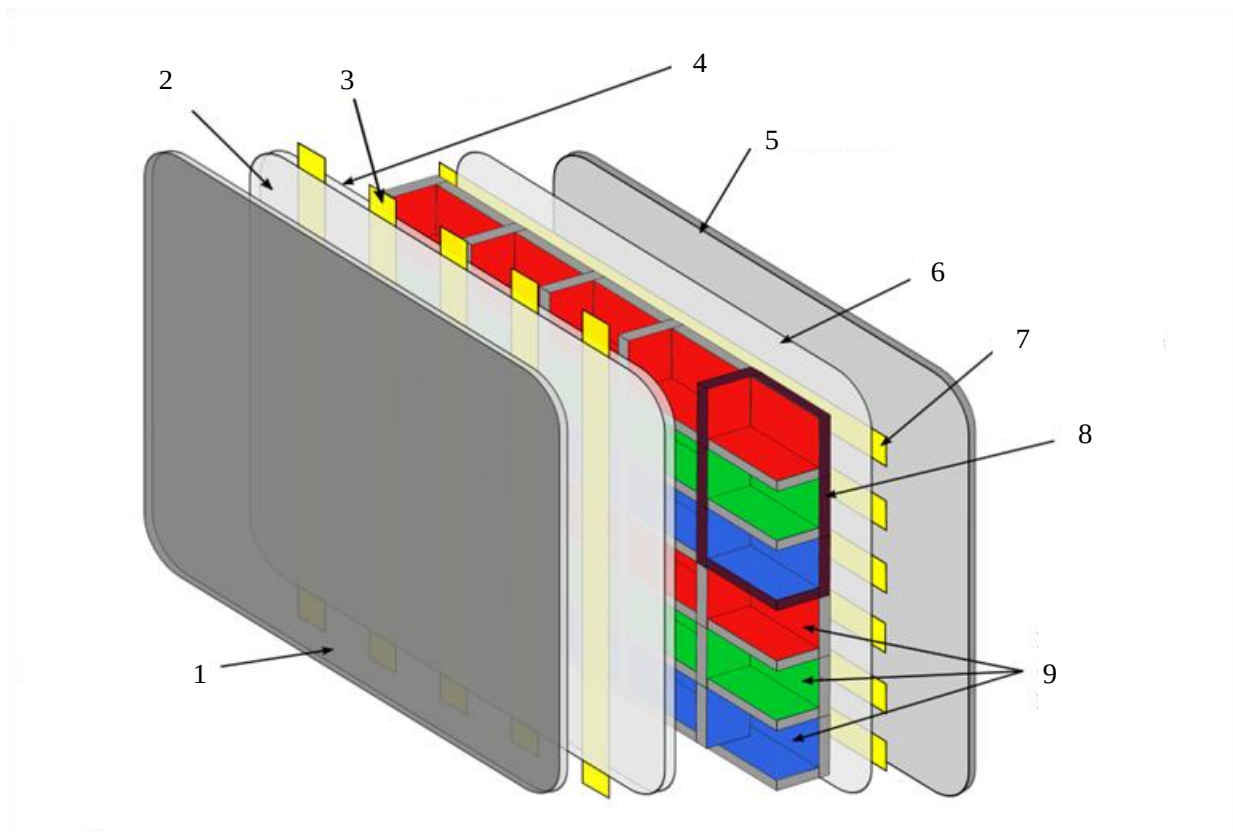
Также на экранах многих ЖК ТВУ имеется неустраняемая неравномерность передачи яркости (полосы в градиентах). Многие из них имеют сравнительно малый контраст и глубину чёрного цвета. Повышение фактического контраста часто связано с простым усилением яркости подсветки, вплоть до некомфортных значений. Широко применяемое глянцевое покрытие матрицы влияет лишь на субъективную контрастность в условиях внешнего освещения. Из-за жёстких требований к постоянной толщине матриц существует проблема неравномерности однородного цвета (неравномерность подсветки). Фактическая скорость смены изображения также остаётся ниже, чем у ЭЛТ и плазменных дисплеев. Зависимость контраста от угла обзора до сих пор остаётся существенным минусом технологии. Массово производимые *LCD* ТВ приемники плохо защищены от повреждений. Особенно чувствительна матрица, незащищённая стеклом.

При сильном нажатии возможна необратимая деградация. Также существует проблема дефектных пикселей. В процессе использования пиксели ТВ приемника ЖК технологии деградируют, хотя скорость деградации наименьшая из всех технологий отображения, за исключением лазерных дисплеев, не подверженных деградации пикселей.

2.2.2. Воспроизводящие устройства на основе плазменной технологии

Плазменный экран или *PDP (Plasma Display Panel)*— это газоразрядный экран, который является устройством отображения информации. Такие панели основаны на явлении свечения люминофора под воздействием ультрафиолетовых лучей, возникающих при электрическом разряде в ионизированном газе (в плазме) [5].

ТВ приемник с плазменным ВУ представляет собой матрицу газонаполненных ячеек, заключенных между двумя параллельными стеклянными пластинами, внутри которых расположены прозрачные электроды, образующие соответственно шины сканирования, подсветки и адресации (рис. 2.4) [6].



- 1 — передняя стеклянная панель; 2 — диэлектрический слой; 3 — экранные электроды;
4 — окисное покрытие; 5 — тыльное зеркальное стекло; 6 — диэлектрический слой;
7 — адресные электроды; 8 — пиксель; 9 — фосфорное покрытие плазменной ячейки.

Рисунок 2.4 — Устройство плазменного ВУ

Разряд в газе протекает между разрядными электродами (сканирования и подсветки) на лицевой стороне экрана и электродом адресации на задней стороне. Передний электрод изготавливается из оксида индия и олова, поскольку он проводит ток и максимально прозрачен. При протекании больших токов по довольно большому плазменному экрану из-за сопротивления

проводников возникает существенное падение напряжения, приводящее к искажениям сигнала, в связи с чем добавляют промежуточные проводники из хрома, несмотря на его непрозрачность. Для создания плазмы ячейки обычно заполняются газом — неоном или ксеноном (реже используется *He* и/или *Ar*, или, чаще, их микс-смеси).

Проблема в адресации миллионов пикселей решается расположением пары передних дорожек в виде строк (шины сканирования и подсветки), а каждой задней дорожки в виде столбцов (шина адресации). Внутренняя электроника плазменных экранов автоматически выбирает нужные пиксели. Эта операция проходит быстрее, чем сканирование лучом на электроннолучевых экранах. В *PDP* обновление экрана происходит на частотах (400...600) Гц, что не позволяет человеческому глазу замечать мерцания экрана. На рис. 2.5 показана схема плазменной ячейки.



Рисунок 2.5 — Схема плазменной ячейки (пикселя)

Работа ТВ приемника с плазменным воспроизводящим устройством состоит из трех следующих этапов:

- инициализация, в ходе которой происходит упорядочивание положения зарядов среды и её подготовка к следующему этапу (адресации). При этом на электроде адресации напряжение отсутствует, а на электрод сканирования относительно электрода подсветки подается импульс инициализации имеющий ступенчатый вид. На первой ступени этого импульса происходит упорядочивание расположения ионной газовой среды, на второй ступени разряд в газе, а на третьей — завершение упорядочивания;

- адресация, в ходе которой происходит подготовка пикселя к подсвечиванию. На шину адресации подается положительный импульс (+75 В), а на шину сканирования отрицательный (–75 В). На шине подсветки напряжение устанавливается равным +150 В;

- подсветка, в ходе которой на шину сканирования подается положительный, а на шину подсветки отрицательный импульс, равный 190 В. Сумма потенциалов ионов на каждой шине и дополнительных импульсов приводит к превышению порогового потенциала и разряду в газовой среде. После разряда происходит повторное распределение ионов у шин сканирования и подсветки. Смена полярности импульсов приводит к повторному разряду в плазме. Таким образом, меняя полярность импульсов обеспечивается многократный разряд ячейки.

Один цикл «инициализация — адресация — подсветка» образует формирование одного подполя изображения. Складывая несколько подполей можно обеспечивать изображение за-

данной яркости и контраста. В стандартном исполнении каждый кадр плазменной панели формируется сложением восьми подполей.

Таким образом, при подведении к электродам высокочастотного напряжения происходит ионизация газа или образование плазмы. В плазме происходит емкостной высокочастотный разряд, что приводит к ультрафиолетовому излучению, которое вызывает свечение люминофора: красное, зелёное или синее. Излучение люминофоров, проходя через переднюю стеклянную пластину, попадает на зрительную систему человека.

2.2.3. Достоинства и недостатки воспроизводящего устройства на основе плазменной технологии

ТВ приемники с плазменным воспроизводящим устройством имеют ряд достоинств. Среди них — высокая контрастность, наилучшая, по сравнению с жидкокристаллическими и электролучевыми ТВ экранами. *PDP* не имеют инерционности свойственной ЖК приемникам, время отклика *PDP* невелико. По сравнению с ЖК ТВ приемниками, плазменные имеют большой угол обзора; свойства и качество картинки не изменяются в зависимости от позиции наблюдателя. По сравнению с ЭЛТ, они имеют очень высокую чёткость изображения, обусловленную тем, что нет проблем со сведением лучей, характерных для ЭЛТ. Также по сравнению с ЭЛТ нет мерцания изображения, следовательно при длительном просмотре не устают глаза. Они нечувствительны к электромагнитным полям.

К недостаткам можно отнести высокое энергопотребление, высокую стоимость, имеет место выгорание люминофора в неподвижных частях экрана, размер пикселя больше, чем у *LCD*.

Перспективной технологией, которая может заменить ЖК и плазменные ТВ приемники, часто считают *OLED* (матрица с органическими светодиодами).

2.3. Воспроизводящие устройства на основе органических светодиодов

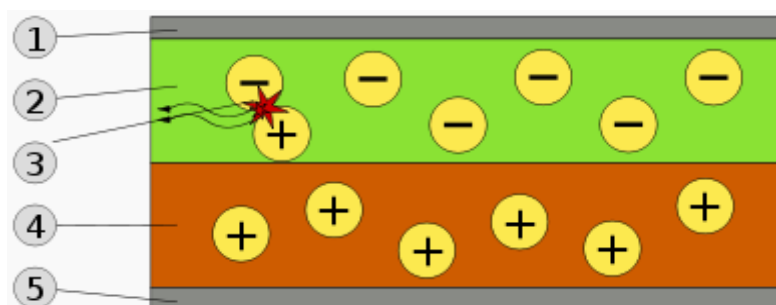
2.3.1. Устройство и принцип действия воспроизводящих устройств *OLED* технологии

Данная технология основана на использовании органических светодиодов (*Organic Light-Emitting Diode (OLED)*). Органический светоизлучающий диод — это полупроводниковый прибор, изготовленный из органических соединений, который эффективно излучает свет, если пропустить через него электрический ток [7].

Для создания органических светодиодов используются тонкопленочные многослойные структуры, состоящие из слоев нескольких полимеров. При подаче на анод положительного относительно катода напряжения, поток электронов протекает через прибор от катода к аноду. Таким образом катод отдает электроны в эмиссионный слой, а анод забирает электроны из проводящего слоя, или другими словами анод отдает дырки в проводящий слой. Эмиссионный слой получает отрицательный заряд, а проводящий слой — положительный. Под действием электростатических сил электроны и дырки движутся навстречу друг к другу и при встрече рекомбинируют. Это происходит ближе к эмиссионному слою, потому что в органических полупроводниках дырки обладают большей подвижностью, чем электроны. При рекомбинации про-

исходит понижение энергии электрона, которое сопровождается испусканием (эмиссией) электромагнитного излучения в области видимого света, поэтому слой и называется эмиссионным.

Структура двухслойного *OLED* воспроизводящего устройства изображена на рис. 2.6.



1 — катод; 2 — эмиссионный слой; 3 — испускаемое излучение;
4 — проводящий слой; 5 — анод

Рисунок 2.6 — Структура двухслойного *OLED* воспроизводящего устройства

2.3.2. Модификации воспроизводящих устройств, выполненных по технологии *OLED*

Как и все *OLED*, *PHOLED* (*Phosphorescent OLED*) функционируют следующим образом: электрический ток подводится к органическим молекулам, которые испускают яркий свет. Однако, *PHOLED* используют принцип электрофосфоресценции, чтобы преобразовать до 100% электрической энергии в свет [8]. К примеру, традиционные флуоресцентные *OLED* преобразовывают в свет приблизительно (25...30)% электрической энергии. Из-за их чрезвычайно высокого уровня эффективности энергии, даже по сравнению с другим *OLED*, *PHOLED* изучаются для потенциального использования в больших дисплеях типа телевизионных мониторов или экранов для потребностей освещения. Также к преимуществам *PHOLED*-дисплеев можно отнести яркие, насыщенные цвета, а также достаточно долгий срок службы.

SOLED (*Staked OLED*) — технология экрана от *UDC* (сложенные *OLED*). *SOLED* используют следующую архитектуру: изображение подпикселей складывается (красные, синие и зеленые элементы в каждом пикселе) вертикально вместо того, чтобы располагаться рядом, как это происходит в ЖК-дисплее или электронно-лучевой трубке. В *SOLED* каждым элементом подпикселя можно управлять независимо. Цвет пикселя может быть отрегулирован при изменении тока, проходящего через три цветных элемента (в нецветных дисплеях используется модуляция ширины импульса). Яркостью управляют, меняя силу тока. Преимущества *SOLED*: высокая плотность заполнения дисплея органическими ячейками, посредством чего достигается хорошее разрешение, а значит, высококачественная картинка [8].

TOLED (*Transparent and Top-emitting OLED*) — технология, позволяющая создавать прозрачные (*Transparent*) ТВ экраны, а также достигнуть более высокого уровня контрастности [8].

Прозрачные *TOLED* дисплеи: направление излучения света может быть только вверх, только вниз или в оба направления (прозрачный). *TOLED* может существенно улучшить контраст, что улучшает читаемость экрана ТВ приемника при ярком солнечном свете.

Так как *TOLED* на 70% прозрачны при выключении, то их можно крепить прямо на лобовое стекло автомобиля, на витрины магазинов или для установки в шлеме виртуальной реаль-

ности. Также прозрачность *TOLED* позволяет использовать их с металлом, фольгой, кремниевым кристаллом и другими непрозрачными подложками для дисплеев с отображением вперед (могут использоваться в будущих динамических кредитных картах). Прозрачность экрана достигается при использовании прозрачных органических элементов и материалов для изготовления электродов.

За счёт использования поглотителя с низким коэффициентом отражения для подложки *TOLED* воспроизводящего устройства ТВ приемника контрастное отношение может на порядок превзойти ЖК. По технологии *TOLED* также можно изготавливать многослойные устройства (например *SOLED*) и гибридные матрицы.

FOLED (Flexible OLED) — главная особенность — гибкость *OLED* воспроизводящего устройства ТВ приемника. Используется пластик или гибкая металлическая пластина в качестве подложки с одной стороны, и *OLED* ячейки в герметичной тонкой защитной пленке — с другой. Преимущества *FOLED*: ультратонкость дисплея, сверхнизкий вес, прочность, долговечность и гибкость, которая позволяет применять *OLED* телевизионные устройства в самых неожиданных местах.

2.3.3. Достоинства и недостатки воспроизводящих устройств *OLED* технологии

В сравнении с плазменными телевизионными приемниками *OLED* имеют меньшие габариты и вес, более низкое энергопотребление при той же яркости, возможность создания гибких экранов.

В сравнении с *LCD*, *OLED* имеют меньшие габариты и вес, отсутствует необходимость в подсветке, отсутствует такой параметр как угол обзора — изображение видно без потери качества с любого угла, мгновенный отклик (на порядок выше, чем у *LCD*) — по сути полное отсутствие инерционности, более качественная цветопередача (высокий контраст), возможность создания гибких экранов, большой диапазон рабочих температур: от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Телевизионные приемники с *OLED* экранами обеспечивают яркость излучения от нескольких кд/м^2 (для ночной работы) до очень высоких яркостей — свыше $100\,000\text{ кд/м}^2$, причем их яркость может регулироваться в очень широком динамическом диапазоне. Так как срок службы дисплея обратно пропорционален его яркости, для приборов рекомендуется работа при более умеренных уровнях яркости до 1000 кд/м^2 . При освещении *LCD* ярким лучом света появляются блики, а картинка на *OLED* ТВ приемнике останется яркой и насыщенной при любом уровне освещенности (даже при прямом попадании солнечных лучей на дисплей). *OLED* обладают контрастностью $10\,000\,000:1$ (для сравнения: контрастность *LCD* — $5000:1$, ЭЛТ — $2000:1$) [7]. Технология *OLED* позволяет смотреть на поверхность воспроизводящего устройства с любой стороны и под любым углом, причем без потери качества изображения. Впрочем, современные ЖК телевизионные приемники (за исключением основанных на *TN+Film* матрицах) также сохраняют приемлемое качество картинки при больших углах обзора.

Однако существует и ряд недостатков: малый срок службы люминофоров некоторых цветов ((2...3) года), как следствие первого, невозможность создания долговечных полноценных

TrueColor дисплеев, дороговизна больших матриц.

Время непрерывной работы *OLED* должно быть не менее 15 тыс. часов. Одна проблема, которая в настоящее время препятствует широкому распространению этой технологии, состоит в том, что «красный» *OLED* и «зелёный» *OLED* могут непрерывно работать на десятки тысяч часов дольше, чем «синий» *OLED*, причем продолжительность качественного показа недостаточна с коммерческой точки зрения. На сегодняшний день время непрерывной работы «синего» *OLED* достигает 17,5 тыс. часов [7].

2.3. Описание лабораторной установки и используемых программных средств

2.3.1. Структурная схема лабораторной установки

В процессе выполнения лабораторной работы оцениваются следующие основные характеристики: изменение яркостных параметров и цветопередачи при изменении угла наблюдения, четкость изображения в различных направлениях, приближенная оценка инерционности. Приемы и средства, используемые в лабораторной работе, интересны своей доступностью и возможностью широкого применения, поэтому оценка основных характеристик *LCD* и *PDP* осуществляется без использования каких-либо специальных измерительных приборов.

Лабораторная установка включает в себя стационарный компьютер для проведения измерений, к которому подключены: исследуемый ТВ приемник с ЖК воспроизводящим устройством (модель *Philips 22PFL3403*), исследуемый ТВ приемник с плазменным воспроизводящим устройством (модель *LG 32PC54*), вспомогательный монитор для проведения измерений (рис. 2.7).

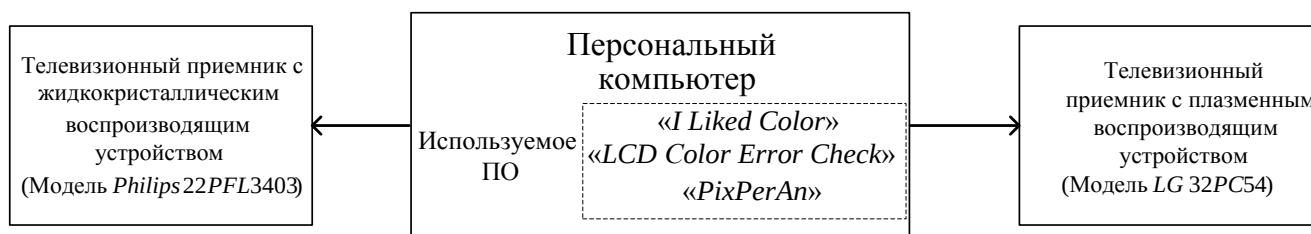


Рисунок 2.7 — Структурная схема лабораторной установки для исследования характеристик телевизионных воспроизводящих устройств

2.3.2. Характеристика используемых программных средств

В ходе выполнения лабораторной работы используются три компьютерные программы:

- «*I Liked Color*», позволяющая определить абсолютное значение сигнала для каждого элемента изображения и запускаемая файлом «*ilc.exe*» [9];
- «*LCD Color Error Check*», запускаемая файлом *ColorErrorCheck.exe*, и позволяющая оценить особенности воспроизведения цвета [10];
- «*PixPerAn*», созданная для качественной оценки инерционных свойств телевизионных приемников и определения этих характеристик с точностью, достижимой без специальных из-

мерительных приборов; программа запускается файлом «*PixPerAn.exe*» [11].

Первые две программы имеют понятный для пользователя интерфейс и в дополнительном описании не нуждаются, тогда как программа «*PixPerAn*» является относительно сложной.

Программа «*PixPerAn*» позволяет оценивать и сравнивать инерционность ТВ воспроизводящих устройств, которая выражается в нерезкости границ при плавном и достаточно быстро перемещающихся графических изображениях на экране.

Интерфейс программы «*PixPerAn*» изображен на рис. 2.8. В правом верхнем углу экрана в зеленой рамке (рис. 2.9) выводятся сведения о частоте обновления экрана (*Frame rate*), выраженной числом кадров в секунду (*fps*), количестве «потерянных» кадров (*Frame slost*), степени загрузки процессора (*CPU load*) в процентах, выбранном режиме (*Mode*) разрешения экрана (например, 1280×1024 элемента), а также «глубине» представления цвета — в количестве бит на один элемент изображения (*bpp*) [11].

Эти сведения видны на экране во время любого из тестов, проводимых с помощью программы *PixPerAn*. Если это окно убрано с экрана, его можно вызвать клавишей «*F12*».

Управление работой программы, а также включение определенных тестов, осуществляются с помощью функциональных клавиш клавиатуры, подсказка к которым приведена на экране. Режим синхронизации видеокарты управляется клавишами «*Shift+F7*» и «*Shift+F8*».

Нажатие на клавиша «*F10*» приводит к мгновенной остановке работы программы. Продолжить работу можно нажатием клавиши «*Esc*».

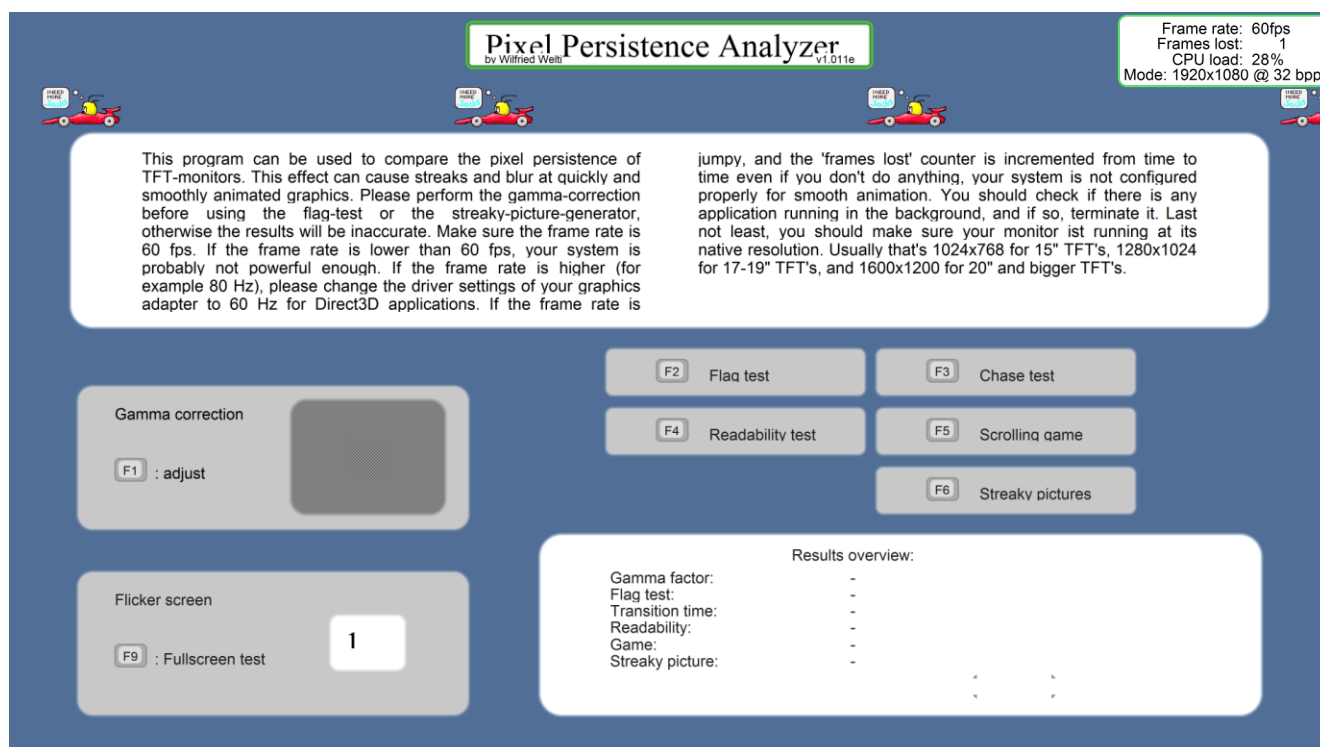


Рисунок 2.8 — Интерфейс программы «*PixPerAn*»

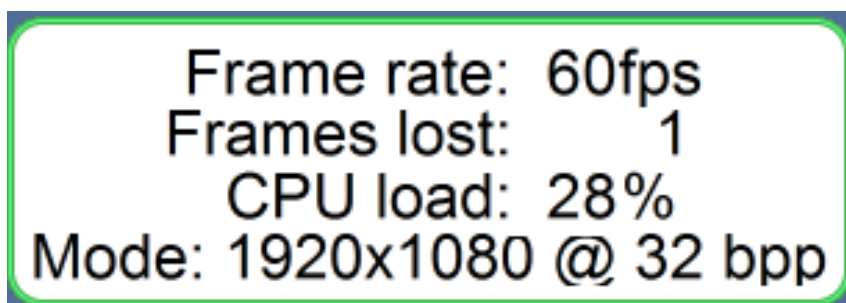


Рисунок 2.9 — Индикатор состояния работы программы «PixPerAn»

Все показатели скорости движения графических объектов на экране указаны в величинах смещения, выраженных числом элементов изображения на один кадр (*pixel per frame* — *ppf*). Например, обозначение «*Темпo:10*» при частоте кадров 60 кадров в секунду (*fps*) означает, таким образом, 600 элементов в секунду. Причиной привязки величины скорости к частоте кадров является то обстоятельство, что только целочисленное значение скорости, выраженное в числе элементов в секунду, соответствует плавному движению (без заметных рывков).

2.3.3. Процедура подготовки лабораторной установки

Перед началом работы необходимо выполнить последующие действия.

Проверить, соответствует ли частота кадров величине 60 Гц. Если частота кадров существенно меньше (30 Гц или менее), весьма вероятно, что графическая карта имеет недостаточную мощность. Если частота кадров неравномерна, и отдельные кадры теряются, то вероятно, что в фоновом режиме компьютер выполняет какое-то приложение. Его следует завершить для правильного проведения тестов. Если же частота кадров выше, следует изменить настройки видеокарты, установив частоту кадров, равной 60 Гц. Следует также иметь в виду, что программа может попытаться сама изменить режим вертикальной синхронизации, что регулируется нажатием клавиш «*Shift+F7*» и «*Shift+F8*». Деактивировать эту внутреннюю синхронизацию можно нажатием клавиш «*Shift+F7*».

Затем следует убедиться в том, что на тестируемом ТВ приемнике выставлено оптимальное для него разрешение, которое должно соответствовать номинальному значению разрешения индикаторного устройства таким образом, что каждому элементу экрана будет соответствовать один элемент изображения.

Необходимо оценить качество перемещения красной машинки, которая постоянно проезжает по экрану. Ее движение должно быть плавным, без рывков. Если в движении заметны рывки или неравномерности, но при этом не увеличивается число «потерянных» кадров, то возможно, что ТВ приемник при данных установках принципиально неспособен показывать движение плавно и равномерно.

Настроить гамма-характеристику ТВ приемника (*gamma-correction*) (клавиша «*F1*») для обеспечения повторяемости результатов при проведении остальных тестов, а также для наглядной демонстрации влияния нелинейности характеристики воспроизведения на качество изображения. Неверно выставленная величина коэффициента гамма ведет к неверным результатам

последующих тестов: «с флажками» и со «смазанными» изображениями. В этом режиме работы, ориентированном на правильное выставление коэффициента гамма, интерфейс программы выглядит следующим образом (рис. 2.10): с помощью клавиши «Esc» можно вернуться в главное меню программы, а клавишей «пробел» – убрать с экрана вспомогательные элементы для облегчения проведения теста. В нижней части экрана расположен движковый регулятор, позволяющий изменить величину показателя гамма монитора от 0,1 в крайнем левом положении до величины 4,0 в крайнем правом. Внизу экрана, под поясняющим текстом, расположена полутоновая шкала с 32 градациями серого, которая наглядно демонстрирует воспроизведение полутонов при изменении гамма-характеристики.

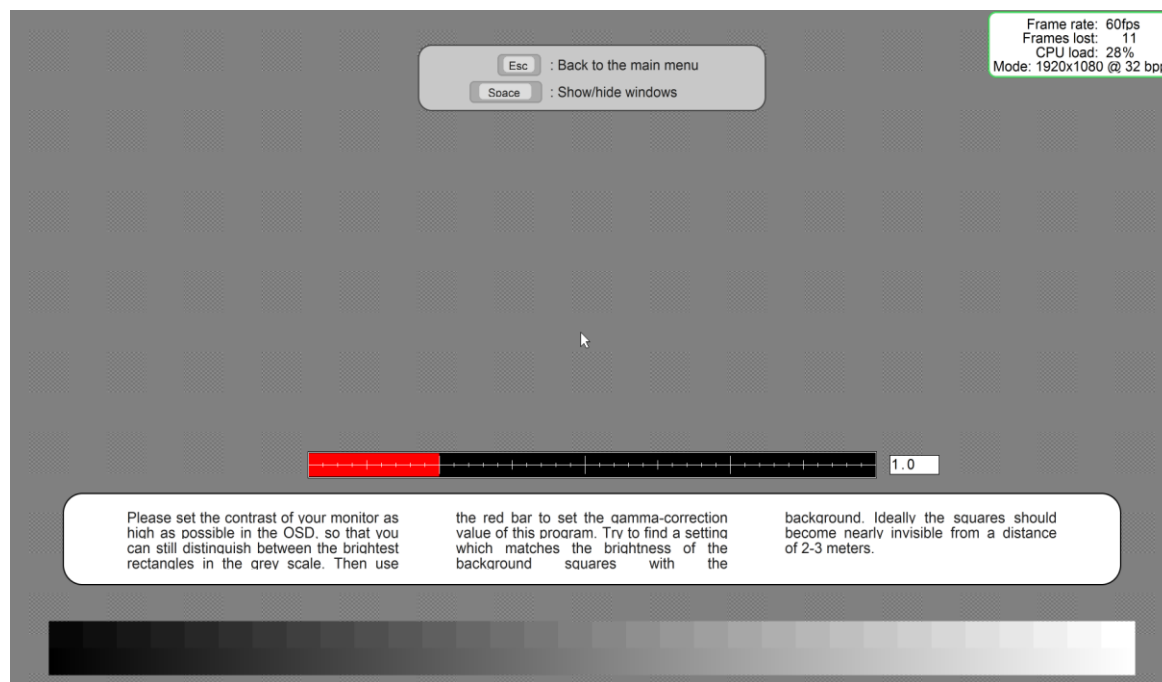


Рисунок 2.10 — Интерфейс программы «*PixPerAn*» в режиме регулировки гамма-характеристики

Установить регулировки яркости и контрастности исследуемого монитора в такое положение, чтобы все участки полутоновой шкалы, расположенной в нижней части экрана, были хорошо различимы и занимали весь динамический диапазон яркости свечения экрана.

Установить коэффициент гамма с помощью красной полосы таким образом, чтобы яркость квадратов на заднем плане изображения по возможности близко совпадала с яркостью серого фона. В идеальном случае квадраты становятся невидимы при удалении наблюдателя на (2...3) м от экрана.

У многих ЖК и плазменных ТВ приемников величина коэффициента гамма сильно зависит от угла наблюдения, таким образом, может оказаться невозможным сделать все квадраты «невидимыми». В этом случае следует постараться хотя бы в середине экрана заставить квадраты «исчезнуть». Кроме того, может получиться так, что слева и/или справа от квадратов (даже при наилучшим образом выставленной регулировке) оказываются заметными линии границ.

2.3.3.1. Проведение теста «с флажками»

Для проведения теста «с флажками» после нажатия клавиши *F2* открывается новое окно программы, в средней части которого слева направо перемещаются флажки, расположенные на контрастном фоне. Внешний вид окна программы при проведении теста с флажками изображен на рис. 2.11.



Рисунок 2.11 — Внешний вид окна программы «*PixPerAn*» при проведении теста «с флажками»

Клавиши «*F1*» и «*F2*» позволяют изменить цветовую схему объектов для проведения теста, клавиша «пробел» убирает лишние элементы с экрана, клавиша «*Esc*» — переход к главному меню. Два длинных движковых регулятора в нижней части экрана, расположенные друг над другом, изменяют яркость соответственно верхнего и нижнего рядов флажков, перемещающихся в средней части экрана также друг над другом. Справа от них расположен короткий движковый регулятор скорости перемещения флажков (обозначен «*Tempo*:»), под ним — переключатель, дублирующий клавишу «*Ctrl*» и изменяющий пределы регулировки яркости флажков (и соответственно границы регулировки длинных движковых регуляторов яркости флажков) от белого (или черного) до серого (эти границы подписаны по-английски рядом с регуляторами).

Тест «с флажками» позволяет определить, какой процент от перехода между двумя ступенями яркости индикаторное устройство осуществляет за один цикл отображения (1/60 с). Для проведения теста автором программы предлагается сначала ознакомиться с интерфейсом, выполнив несложный опыт: нужно установить оба больших движковых регулятора в среднее положение. Затем нажать клавишу «*Ctrl*», оба регулятора тотчас установятся в крайнее правое положение. Необходимо после этого снова установить оба регулятора в среднее положение и обратить внимание на то обстоятельство, что флажки при этом выглядят иначе, чем после запуска этого теста, то есть изображения с черно-белыми и полутоновыми переходами яркости подвержены «смазыванию» по-разному (из-за инерционности индикаторного устройства)

Тест проводится следующим образом. Необходимо сначала в режиме воспроизведения черно-белых флажков (без серого цвета) и при средней скорости их перемещения выставить обоими длинными регуляторами яркость движущихся флажков таким образом, чтобы она срав-

нилась с яркостью флажтоков. Сверху показаны три примера (см. рис. 2.12). Соответственно, средний пример показывает правильный вариант установки.



Рисунок 2.12 — Примеры установки яркости движущихся флажков

Важно чтобы в точке соединения флага и флажтока не было заметно разницы в окраске обеих частей фигуры. Затем необходимо переключиться в режим серых цветов (клавиша «Ctrl») и выполнить эту же установку снова, соблюдая то же условие. Дополнительные цветовые схемы («F1», «F2») не относятся к «официальной» версии теста, но помогают более детально изучить механизм воспроизведения отдельных цветовых составляющих исследуемым ТВ приемником.

По отдельному заданию также может проводиться тестирование с разными скоростями перемещения флажков. Регулятор скорости имеет 20 обозначенных положений, по умолчанию тест проводится в среднем из них.

В заключение необходимо показания обоих длинных регуляторов записать в отчет, до и после переключения в режим «с серыми цветами» (клавиша «Ctrl»). Результатом теста являются 4 числа (показания регуляторов) и ссылка на использовавшуюся цветовую схему.

2.3.3.2. Проведение теста «преследования»

Тест запускается клавишей «F3», при этом по-прежнему клавиша *Esc* означает возврат в главное меню, а клавиша «пробел» убирает с экрана лишние элементы, мешающие проведению теста. Интерфейс программы при проведении теста «преследования» изображен на рис. 2.13.

Назначение теста, как и остальных, состоит в оценке инерционности индикаторного устройства, которая заметна на движущихся объектах. От инерционности воспроизводящего устройства страдают, прежде всего, границы изображений, перпендикулярные направлению движения. Программа воспроизводит два прямоугольника, перемещающиеся по экрану на контрастном фоне с определенной скоростью. Границы прямоугольников размываются, увеличивая размеры на величину, зависящую от инерционности воспроизводящего устройства. Расстояние между «преследуемым» и «преследующим» прямоугольниками можно регулировать, и наблюдателю предлагается движковым регулятором «*Distance (pixels)*» установить для этого расстояния минимальное значение, при котором еще можно распознать неискаженный цвет фона в промежутке между движущимися фигурами. Одновременно с этой установкой перемещается движок регулятора «*Transitiontime(ms)*», означающий интервал между обоими прямоугольниками (время перехода), показания которого и являются количественным результатом теста.

Выше движущихся прямоугольников расположены три столбца движковых регуляторов, позволяющие по 3-компонентной схеме установить цвета соответственно первого прямоугольника, второго и фона. Кроме того, исследование проводится по заранее выбранным цветовым схемам («F1», «F2» и «F3»).

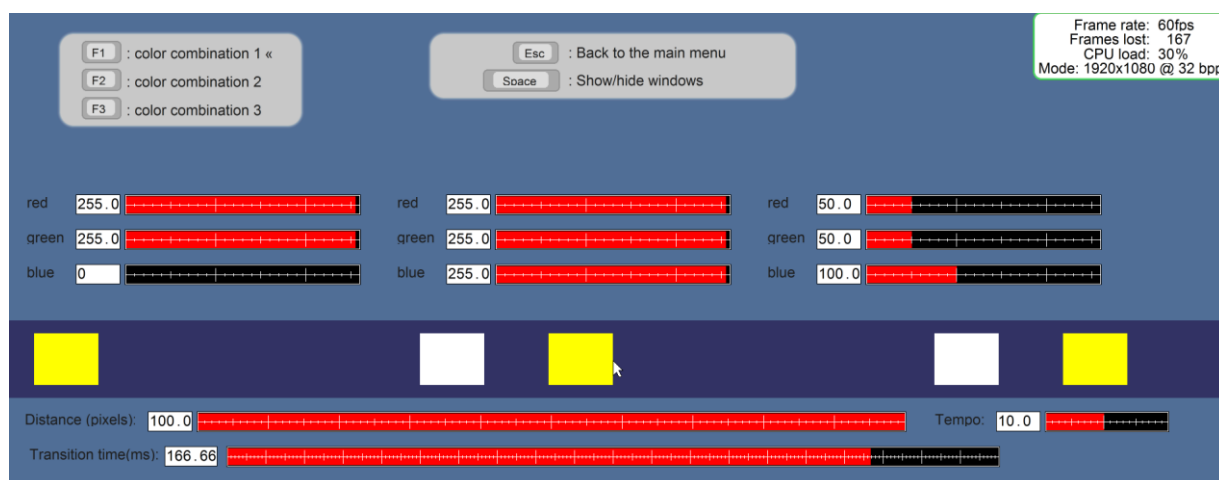


Рисунок 2.13 — Интерфейс программы «*PixPerAn*» при проведении теста «преследования»

По результатам этого теста следует получить ответ на вопрос: «Зависят ли результаты теста от скорости движения объекта по экрану монитора?». Результаты проведенного теста, представляющие собой одно число для каждой из цветовых схем, для которых проводилось исследование, записываются в отчет.

2.3.3.3. Тест «распознаваемости знаков»

Тест служит общей цели испытания, изучению влияния инерционности ТВ приемника на различные аспекты восприятия изображения. Один из них — чтение текста с экрана. Чтение затрудняется, если буквы перемещаются и, как следствие, «смазываются» в направлении перемещения из-за инерционности ВУ.

При переходе к тесту «распознаваемости знаков» клавишей «F4» открывается отдельное окно (рис. 2.14). В нем аналогично предыдущим тестам клавишей «пробел» можно убрать лишние элементы интерфейса, нажатием «Esc» выйти в главное меню, а клавишей «Enter» запустить тест.

После нажатия клавиши «Enter» (рис. 2.15), по экрану медленно (в течение 1 мин) перемещается случайная последовательность букв латинского алфавита, которую пользователю предлагается распознать и впечатать с помощью клавиатуры в светлый прямоугольник в центре экрана, где уже мигает курсор.

Для ввода текста ограничений во времени нет. После завершения ввода всей последовательности пробегающих букв следует нажать клавишу «Enter» на клавиатуре или клавишу «Return» мышкой на экране.

В случае успеха появляется надпись «*Input correct*», и регулятор скорости перемещения букв («*Tempo*:»), расположенный в середине экрана над буквами, переходит в следующее (более правое) положение. Скорость увеличивается. Клавишей «Ctrl» можно инициировать вывод новой последовательности букв. После ряда последовательно увеличивающихся значений скорости перемещения букв, когда их уже трудно прочесть, и допущена неизбежная ошибка, появляется надпись «*Input incorrect!*», и в светлом прямоугольнике в верхней части экрана появляется надпись, показывающая номер опыта, давшего хороший результат при наибольшей скорости пробегания текста («*Best readable Tempo so far:X*» — вместо «X» стоит номер опыта), являющегося

ся результатом теста, который следует зафиксировать в отчете.

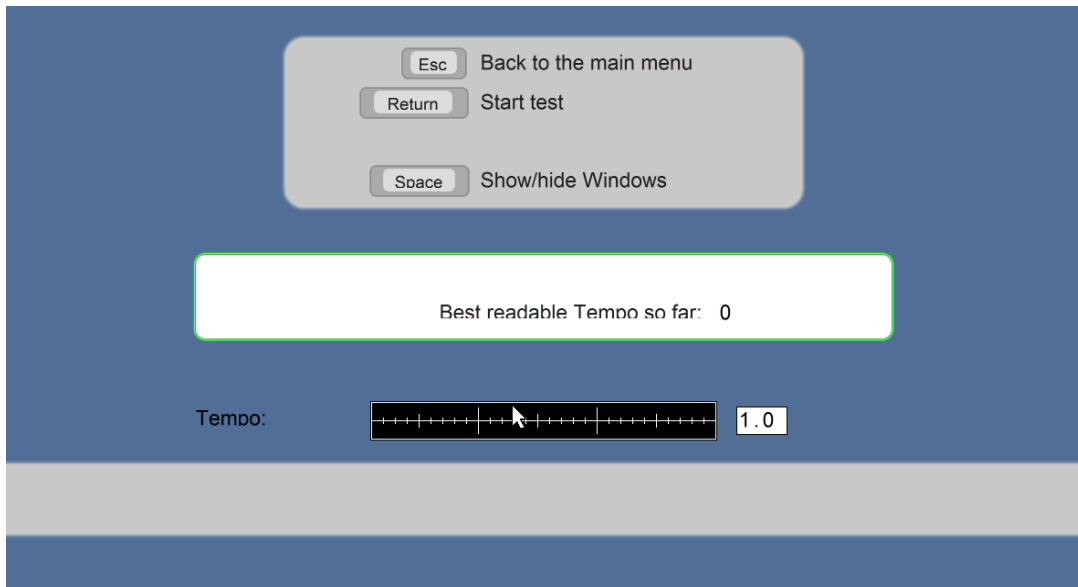


Рисунок 2.14 — Интерфейс программы «*PixPerAn*» перед запуском теста «распознаваемости знаков»

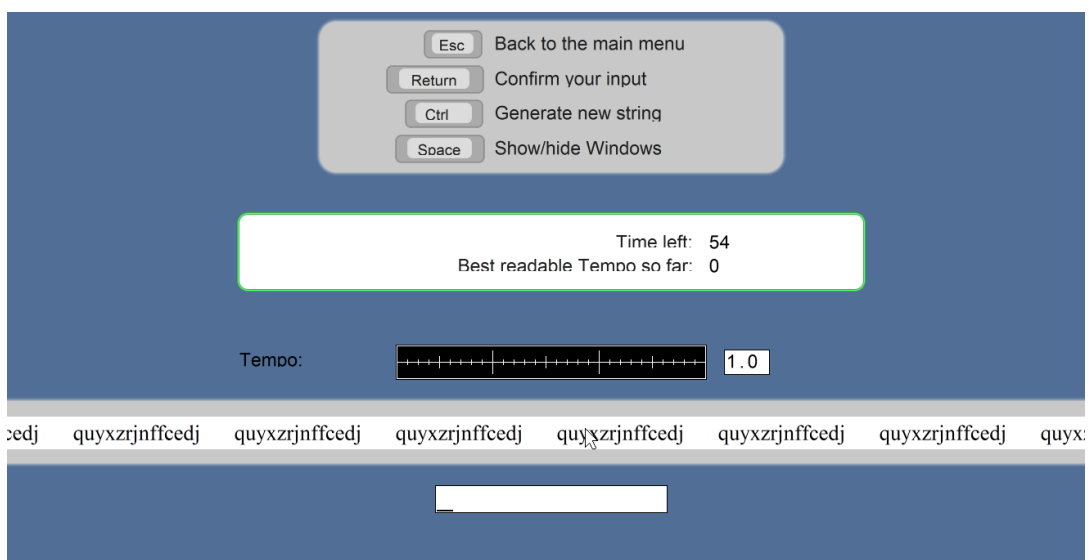


Рисунок 2.15 — Интерфейс программы «*PixPerAn*» после старта теста «распознаваемости знаков»

Если при вводе текста допущена ошибка (то есть если напечатана неверная буква, хотя прочитана правильно), следует начать тест сначала, поставив перед этим регулятор скорости в положение, соответствующее последней скорости с успешным чтением. Если одна или большее количество букв неправильно прочитаны, тест считается оконченным.

2.3.3.4. Имитация «смазанного» изображения

Заключительный тест, представляющий собой имитацию смазанного изображения, запускается клавишей «F6» и представляет собой по существу выбор электрической модели, описывающей переходные процессы в ячейках ЖК или плазменного воспроизводящего устройства.

Сущность теста можно пояснить следующим образом: из-за инерционности воспроизводящего устройства движущийся по его экрану объект имеет «смазанные» границы. Если взять изображение этого же объекта и специальной обработкой создать на нем «смазанные» границы, наиболее похожие на те, которые видны при его движении по экрану монитора, то алгоритм этой обработки будет близко соответствовать характеристикам инерционности телевизионного воспроизводящего устройства.

После нажатия клавиши «F6» появляется краткое описание (на английском языке), изложенное выше, после чего пользователю предлагается нажать «пробел» и открывать основное окно (см. рис. 2.16), содержащее пробегающее по горизонтали изображение, являющееся одним из графических объектов, имеющихся в программе. Горизонтальный 5-позиционный переключатель «Graphic no» позволяет сменить графический объект. Нажатие клавиши «F1» увеличивает число позиций переключателя и позволяет использовать для испытаний графические объекты, подготовленные пользователем. Для этого можно загрузить и собственный графический файл с разрешением (128×96) элементов, который должен лежать в том же каталоге, что и файл *PixPerAn.exe*, и иметь имя *PixPerAn_TestBildX.bmp*, где буква «X» заменяет цифру от 0 до 9. Ниже переключателя графических объектов расположен горизонтальный регулятор скорости их перемещения («Tempo»), имеющий 16 позиций, от 1 до 16 элементов на один кадр (*ppf*).

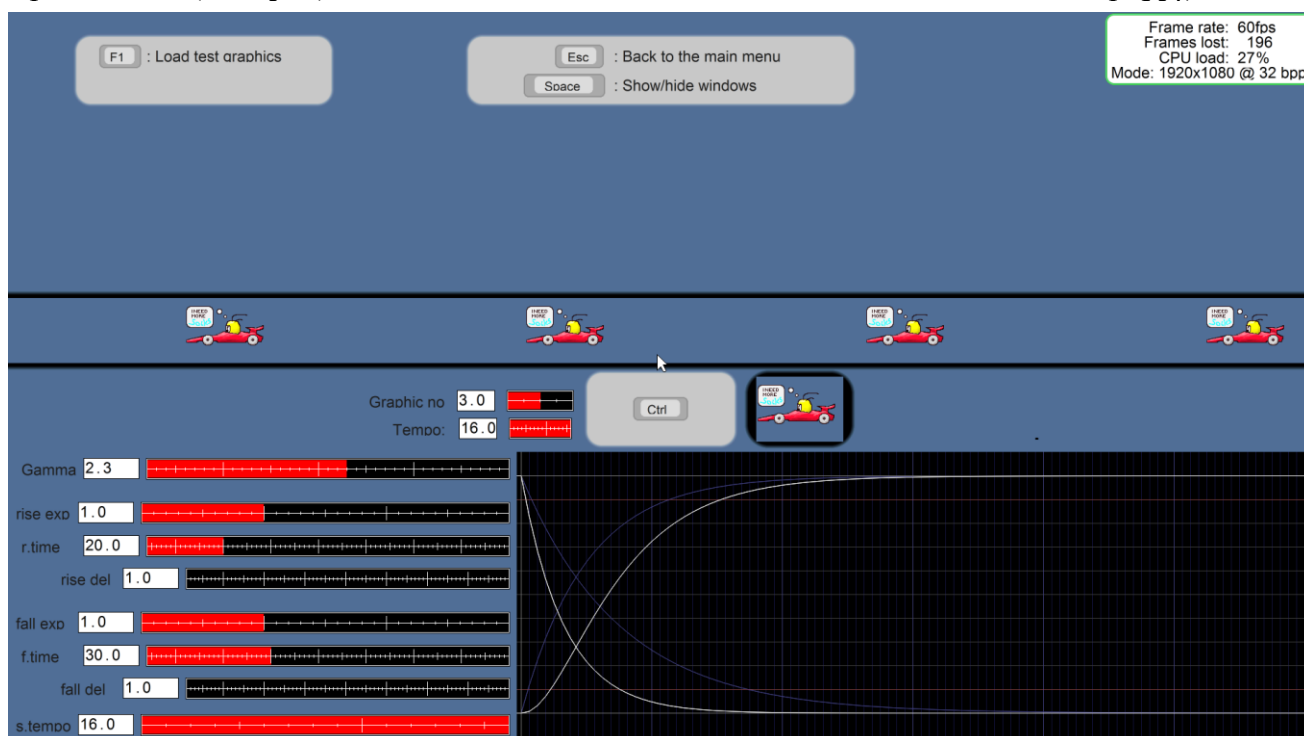


Рисунок 2.16 — Интерфейс программы «PixPerAn» при проведении имитации «смазанного» изображения»

Нижняя часть окна относится непосредственно к задаче имитации смазанного изображения программными средствами. Задача этого теста состоит по существу из двух частей, выполняемых одновременно.

Во-первых, по средней части экрана перемещается графический объект, границы которого воспринимаются нерезкими из-за инерционности ТВ приемника. Во-вторых, одновременно с

перемещением объекта, работает программный имитатор, органы управления которым расположены в нижней части экрана. Имитатор формирует изображение перемещающегося объекта со смазанными границами, причем величина и характер этого «смазывания» рассчитываются программой автоматически, они выбираются «по умолчанию», исходя из результатов ранее проведенных тестов. Кроме того, все параметры работы имитатора могут быть заданы пользователем, что позволяет пользователю их подбирать, постепенно приближаясь к наиболее близкому сходству изображения, сформированного имитатором, и реального изображения, «смазанного» только в результате движения по экрану.

Программная имитация «смазанного» изображения сводится к формированию функции, описывающей переходные процессы в ячейках ЖК или плазменных воспроизводящих устройств. Эти процессы (переход из «темного» состояния в «светлое» и наоборот) описываются в простейшем случае двумя функциями: нарастающей («*rise*») и спадающей («*fall*»), что иллюстрируется графиками, расположенными справа в нижней части экрана. Графики носят качественный иллюстративный характер; по горизонтальной оси откладывается время, а по вертикальной — относительная нормированная величина, показывающая состояние ячейки ЖК или плазменного экрана (например, ее прозрачность).

Слева от графика, описывающего переходные процессы в ячейках ЖК или плазменных воспроизводящих устройств, имеются следующие регулировки, влияющие на процесс имитации и отражающиеся на форме приведенных графиков:

— «*gamma*» — коэффициент гамма (эта величина не имеет отношения к измерениям, выполненным в начале тестирования, но используется программой для построения закона формирования смазанного изображения);

— «*riseexp*» — постоянная времени экспоненты, описывающей нарастающий фронт;

— «*r. time*» — длительность нарастающего фронта;

— «*risedel*» — время задержки нарастающего фронта;

— «*fallexp*» — постоянная времени экспоненты, описывающей спадающий фронт;

— «*f. time*» — длительность спадающего фронта;

— «*falldel*» — время задержки нарастающего фронта;

— «*s.tempo*» — скорость движения объекта, исходя из которой рассчитывалось «смазанное» изображение.

Тонкими синими линиями показаны те же графики для случая формирования смазанного изображения, исходя из величины показателя гамма, равного единице.

Проведение этого теста предполагает следующую последовательность действий:

— выбирается графическое изображение для наблюдения его перемещения по экрану;

— задается скорость перемещения;

— в случае необходимости, вносятся изменения в показания регуляторов имитатора, расположенных слева в нижней части экрана;

— нажимается клавиша «*Ctrl*» или кнопка с таким названием в центре экрана, в результате чего на ее месте появляется рассчитанное программой изображение, которое должно наиболее близко соответствовать «смазанному» изображению, наблюдаемому на перемещающемся объекте.

Тест можно повторять, но при изменении показаний регуляторов рассчитанное изображение исчезает и может быть построено вновь после нажатия клавиши «Ctrl». При достаточно близком совпадении рассчитанного программой изображения с наблюдаемым можно считать, что графики и регуляторы в нижней части экрана своими показаниями достаточно хорошо иллюстрируют переходные процессы в индикаторном устройстве ТВ приемника, которые в таком случае и являются результатами проведения теста.

После проведения заключительного теста и выхода в главное меню (клавиша «Esc») следует нажатием клавиши «Ctrl» зафиксировать полученные результаты в текстовом файле «PixPerAn_Ergebnis.txt».

2.4. Порядок выполнения исследований

2.4.1. Определение максимальной четкости изображения

Вывести на экран ТВ приемника изображение «зонной решетки», представленной файлом «Зонная пластинка».

Установить размер и масштаб изображения на экране таким образом, чтобы на краях экрана были хорошо видны периферические области «зонной решетки», где элементы решетки уже неразличимы.

Зная параметры линейного закона увеличения пространственной частоты решетки при удалении от центра, размер экрана и среднее число периодов решетки в одном сантиметре на определенном расстоянии от центра решетки, нужно рассчитать частоту решетки на границе области, внутри которой элементы решетки хорошо различимы. Далее нужно изобразить границы этой области на графике в полярной системе координат. Отметить на этом графике максимальные величины пространственных частот, различимых в вертикальном, горизонтальном и диагональных направлениях [12].

2.4.2. Определение заметности границы между грациями яркости

Вывести на экран ТВ приемника изображение черно-белого полутонного перехода, записанного в файле «Grey».

Увеличить это изображение в несколько десятков раз, прибавляя увеличение до тех пор, пока на изображении не станут заметны резкие границы между участками одинаковой яркости.

Добиться расстояния между соседними равнояркими участками изображения, равного приблизительно одному сантиметру.

С помощью программы «*I liked color*» [9] исследовать изменения яркости вблизи границ между участками одинаковой яркости, убедившись таким образом в том, что причиной заметности этих границ являются свойства зрения, заключающиеся в ошибке определения яркости вблизи границы разнотонных участков изображения.

Повторить опыт для красного, синего и зеленого цветов, используя для этого соответствующие файлы («красный», «синий», «зеленый») и программу «*I liked color*».

2.4.3. Оценка изменения воспроизводимого цвета при изменении угла наблюдения изображения

Вывести на экран ТВ приемника изображение рабочего окна программы «*LCD color error check*» [10], содержащее центральный круг с изменяемым цветом и 12 квадратных участков с испытываемыми цветами.

Воспользовавшись опцией главного меню программы «*Help*», ознакомиться с разделами «Работа с программой» и «Приложение». Уяснить механизм изменения воспроизводимого цвета и причины искажений цветовоспроизведения.

Произвести наблюдения, выставив субъективные оценки качества воспроизведения цвета для 3-х значений углов рассматриваемого изображения: 0°, 30° и 60°.

С помощью программы просмотра графических файлов вывести на экран ТВ приемника изображение, записанное в графическом файле «Тест угла»: необходимо вывести это изображение на экран в масштабе 100%, то есть каждый элемент изображения, записанного в файле, должен соответствовать элементу изображения на воспроизводящем устройстве.

Прочитать и записать в протокол различимые на испытательном изображении буквы (а также их цвета) для углов наблюдения изображения 0°, 30° и 60° при отклонении положения наблюдателя в сторону от фронтального положения перед экраном по вертикали и горизонтали на указанный угол.

Изменить масштаб представления изображения на экране на единицы процентов в большую или меньшую сторону от величины 100%. Попытаться рассмотреть на экране буквы с различных указанных в предыдущем пункте углов. Зафиксировать результат наблюдения в протоколе и объяснить его.

2.4.4. Оценка инерционности воспроизводящих устройств

Для выполнения оценки инерционности ЖК и плазменных воспроизводящих устройств, нужно активизировать компьютерную программу «*PixPerAn*» [11], ознакомиться с ее описанием и интерфейсом (см. п. 2.3).

Установить показатель «гамма» монитора, равным единице, как это указано в описании к программе «*PixPerAn*». Процедура осуществляется после нажатия клавиши «F1».

Провести последовательно с помощью программы «*PixPerAn*» следующие тесты:

- тест «с флажками» (клавиша «F2»);
- тест «преследования» (клавиша «F3»);
- тест «распознаваемости знаков» (клавиша «F4»);
- тест с имитацией смазанного изображения (клавиша «F6»), выполняемый со значениями, заданными по умолчанию.

Результаты тестирования записать в отчет, включив туда также содержание текстового файла отчета «*PixPerAn_Ergebnis.txt*».

2.4.5. Содержание отчета по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе может содержать:

- основные данные об исследуемых ТВ приемниках [13, 14];

- рассчитанные данные о пространственных частотах «зонной решетки» в различных частях экрана ТВ приемника;
- результаты наблюдений с субъективными оценками и краткими выводами;
- результат регулирования гамма-характеристики воспроизводящего устройства (см. описание программы «*PixPerAn*»);
- результаты тестов, выполняемых с помощью программы «*PixPerAn*»;
- общую оценку параметров исследованного телевизионного воспроизводящего устройства.

2.5. Контрольные вопросы

2.5.1. Вопросы для допуска к работе

- 2.5.1.1. Перечислите основные характеристики ЖК ТВ воспроизводящих устройств.
- 2.5.1.2. Каковы достоинства и недостатки ЖК ТВ воспроизводящих устройств?
- 2.5.1.3. Поясните принцип действия ТВ воспроизводящих устройств на основе плазменной технологии.
- 2.5.1.4. Каковы достоинства и недостатки ТВ воспроизводящих устройств на основе плазменной технологии?
- 2.5.1.5. Поясните принцип действия ТВ воспроизводящих устройств на основе *OLED* технологии.
- 2.5.1.6. Каковы достоинства и недостатки ТВ воспроизводящих устройств на основе *OLED* технологии?
- 2.5.1.7. Какие тесты могут быть выполнены с использованием программы «*PixPerAn*»?
- 2.5.1.8. Какие тесты могут быть выполнены с использованием программы «*I liked color*»?
- 2.5.1.9. Какие тесты могут быть выполнены с использованием программы «*LCD color error check*»?

2.5.2. Вопросы для подготовки к защите

- 2.5.2.1. Проанализируйте результаты, полученные в ходе выполнения с помощью программы «*PixPerAn*» теста «с флажками».
- 2.5.2.2. Проанализируйте результаты, полученные в ходе выполнения с помощью программы «*PixPerAn*» теста «преследования».
- 2.5.2.3. Проанализируйте результаты, полученные в ходе выполнения с помощью программы «*PixPerAn*» теста «распознаваемости знаков».
- 2.5.2.4. Проанализируйте результаты, полученные в ходе выполнения с помощью программы «*PixPerAn*» теста с имитацией смазанного изображения.
- 2.5.2.5. Проанализируйте результаты определения максимальной четкости изображения.
- 2.5.2.6. Проанализируйте результаты определения границы между грациями яркости.
- 2.5.2.7. Проанализируйте результаты оценки изменения воспроизводимого цвета при изменении угла наблюдения изображения.
- 2.5.2.8. Проанализируйте результаты оценки инерционности исследованных воспроизводящих устройств.

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

«ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦИФРОВОЙ ВИДЕОКАМЕРЫ»

3.1. Цель работы

Целью лабораторной работы является ознакомление студентов с физическими основами, принципами построения и параметрами цифровых видеокамер, а также освоение методик оценки и анализа основных параметров цифровых видеокамер.

3.2. Теоретический раздел

3.2.1. Принципы работы приборов с зарядовой связью

Основным элементом ПЗС является конденсатор МОП-структуры (металл-окисел-полупроводник-структуры), одной из обкладок которого служит металлический электрод, а второй — полупроводниковая подложка (p или n проводимости). Диэлектриком служит окисел беспримесного полупроводника, наносимый в виде тонкого слоя на подложку.

В изображенном на рис. 3.1 МОП-конденсаторе в качестве полупроводника использован кремний дырочного типа проводимости. В качестве диэлектрика использован слой двуокиси кремния толщиной 0,1 мкм. В полупроводнике дырочного типа проводимости основными носителями заряда являются дырки. При приложении к металлическому электроду положительного потенциала основные носители (дырки) в слое кремния, прилегающем к границе с окислом, будут отталкиваться от электрода и, покинув поверхностный слой, отойдут в толщину полупроводника.

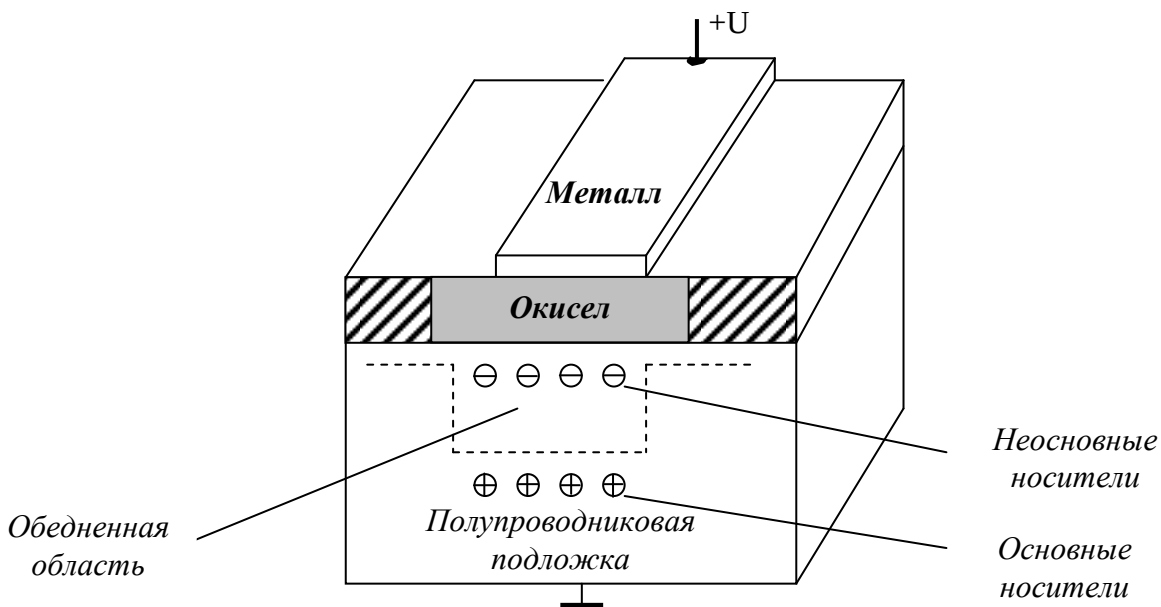


Рисунок 3.1 — Конденсатор МОП-структуры

Под электродами образуется область, обедненная основными носителями, — «потенциальная яма», глубина которой зависит от приложенного напряжения U , степени легирования полупроводника, толщины слоя окисла. Таким образом, выбирая значения напряжения затвора,

плотность примеси и толщину слоя окисла, можно эффективно управлять глубиной потенциальной ямы. Время жизни потенциальной ямы ограничено паразитным процессом термогенерации неосновных носителей, так как в кремнии при данной температуре всегда генерируются пары «электрон-дырка», которые под действием электрического поля разделяются: основные носители «отгоняются» в толщину, а неосновные — накапливаются, заполняя постепенно потенциальную яму. Накопление в потенциальных ямах термогенерированных носителей является паразитным процессом. Время, необходимое для заполнения потенциальной ямы из-за термогенерации, называется временем релаксации. Следовательно, промежуток времени, существенно меньший по сравнению со временем релаксации, может быть использован для хранения в потенциальных ямах зарядовых пакетов, несущих информацию о значении полезного сигнала, а МОП-конденсатор может служить элементом, запоминаящим информацию, представленную зарядом потенциальной ямы. Таким образом, максимальное время хранения зарядовой информации $t_{\text{хр max}}$, а, следовательно, и минимальная частота работы цифровых и аналоговых устройств на ПЗС определяются процессами накопления паразитного заряда в потенциальной яме.

Зарядовый пакет в ПЗС может быть введен электрическим путем или с помощью световой генерации. При световой генерации фотоэлектрические процессы, возникающие в кремнии, приведут к накоплению неосновных носителей в потенциальных ямах. Накопленный заряд пропорционален уровню освещенности и времени накопления.

Направленная передача заряда в ПЗС обеспечивается расположением МОП-конденсаторов на столь близком расстоянии друг от друга, что их обедненные области перекрываются и потенциальные ямы соединяются.

При этом подвижный заряд неосновных носителей будет накапливаться в том месте, где глубже потенциальная яма, как это показано на рис. 3.2.

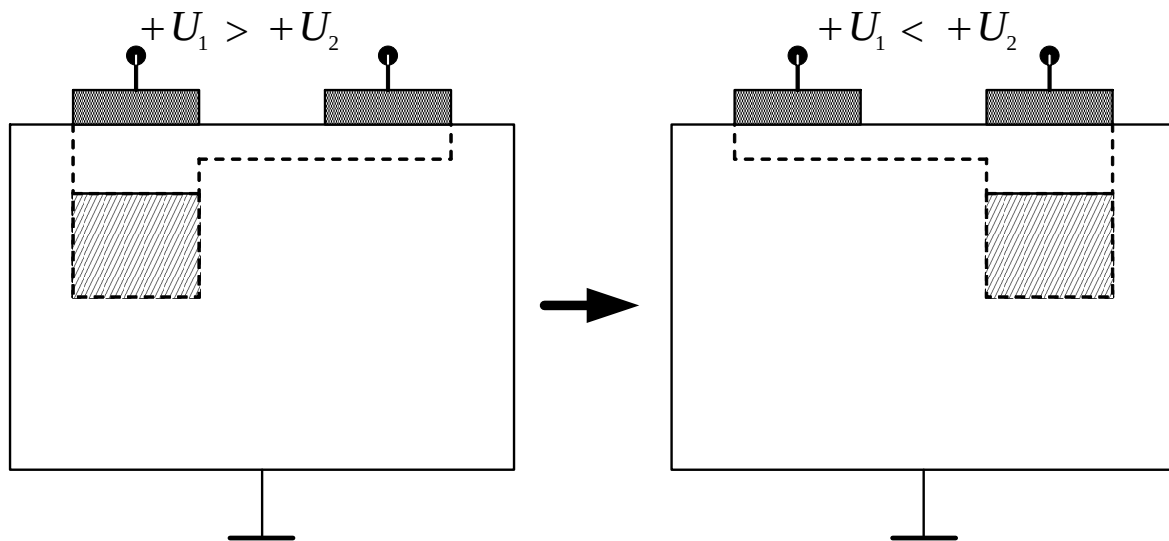


Рисунок 3.2 — Перенос зарядовых пакетов путем перемещения потенциалов электродов двух рядом расположенных МОП-конденсаторов

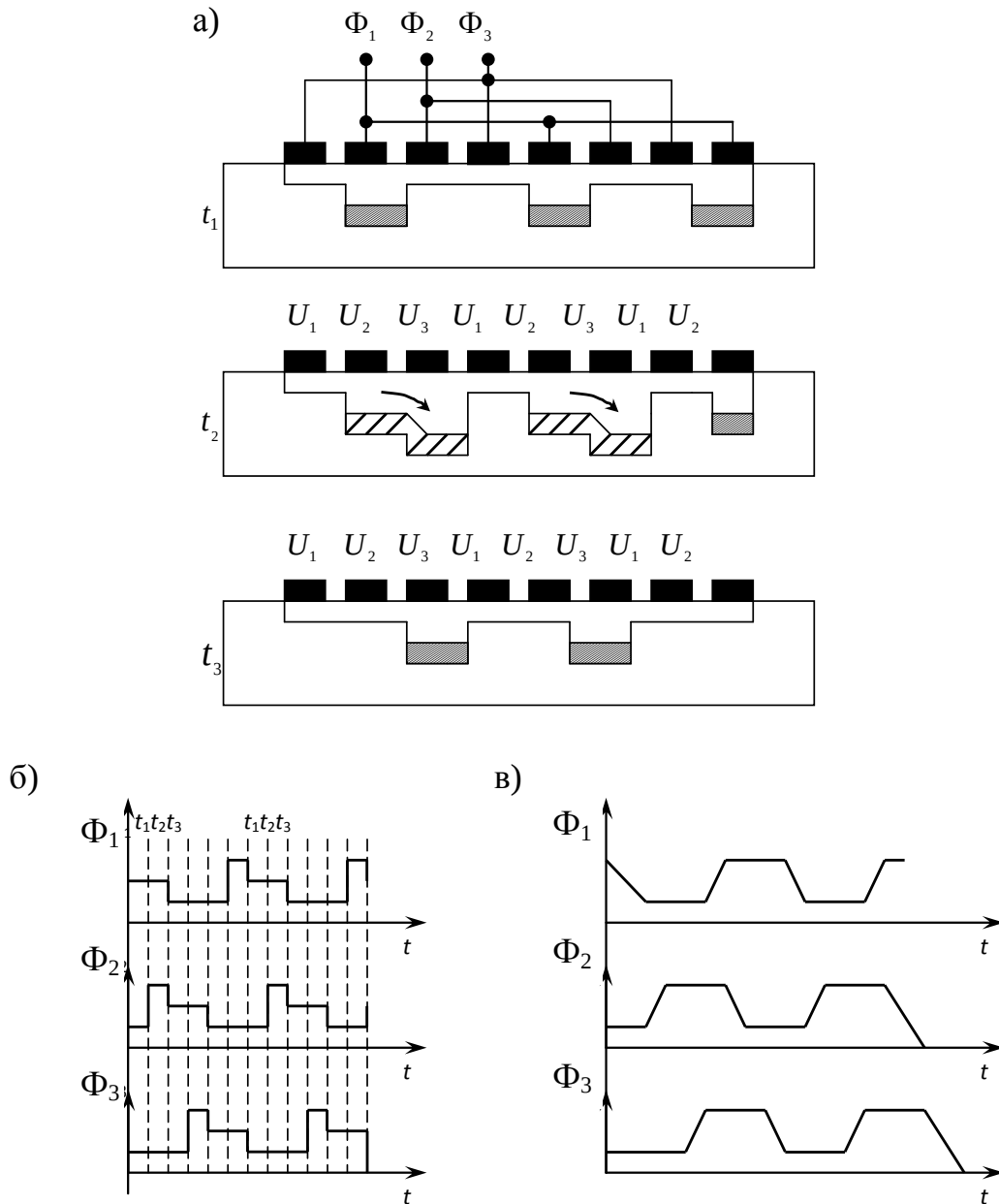


Рисунок 3.3 — Пример перемещения зарядовых пакетов в трехфазном сдвиговом регистре (а), идеальная тактовая диаграмма перемещения (б) и реальная форма управляющих импульсов (в)

Пусть на металлические электроды, расположенных рядом двух конденсаторов поданы положительные потенциалы U_1 и U_2 , причем в начальный момент $U_1 > U_2$. В образовавшуюся глубокую потенциальную яму левого конденсатора может быть помещена зарядовая информация (см. рис. 3.2, а).

Теперь потенциал левого электрода уменьшим, а потенциал правого — увеличим. Тогда под правым электродом образуется глубокая потенциальная яма, в которую перетечет зарядовый пакет, помещенный ранее в потенциальную яму левого конденсатора (см. рис. 3.2, б).

Следовательно, изменяя определенным образом потенциалы на электродах близко расположенных конденсаторов, можно направленно перемещать зарядовую информацию. Динамику перемещения зарядовых пакетов можно проследить на примере трехфазного сдвигового реги-

стра — устройства, состоящего из цепочки МОП-конденсаторов. Сдвиговым регистром управляют по трехтактной схеме. Каждый электрод прибора подключен к одной из трех тактовых шин с фазами Φ_1 , Φ_2 , Φ_3 , как показано на рис. 3.3.

Один элемент сдвигового регистра состоит из трех ячеек МОП-конденсаторов. В течение первого такта работы (момент t_1) на электроды фазы Φ_1 подано положительное напряжение U_2 . Под этими электродами образуются потенциальные ямы, в которых могут накапливаться и храниться заряды, образованные неосновными носителями. Это может происходить как в результате воздействия светового излучения — тогда заряды будут носителями полезной информации, так и вследствие паразитного процесса термогенерации. При этом термогенерированные заряды составляют паразитную добавку к информационному заряду и являются источником темнового тока сигнала изображения. Время хранения зарядов $t_{\text{хр}}$ равно времени действия напряжения U_2 , а режим работы ячейки (под электродами фазы Φ) в это время называется режимом хранения.

В момент t_2 (второй такт) на электроды фазы Φ_2 подается напряжение U_3 , значение которого превышает в 1,5—2 раза напряжение U_2 . Это напряжение называется напряжением записи. Оно вызывает появление под электродами фазы более глубоких потенциальных ям, в которые и перетекают электроны из-под электродов фазы Φ_1 . Режим, при котором электроны перетекают из одних потенциальных ям в другие, называется режимом записи.

В момент t_3 (третий такт) напряжение на электродах фазы уменьшится до значения U_2 , соответствующего режиму хранения, а напряжение на электродах фазы Φ_2 уменьшится от значения U_2 до U_1 что предотвращает возврат зарядового пакета под электроды фазы Φ_1 . Из рис. 3.3,а видно, что перенос зарядовых пакетов произойдет слева направо, так под электродами фазы Φ_1 , потенциал остается низким, равным U_1 .

Такой направленный перенос зарядовых пакетов является одним из достоинств трехтактных регистров. В регистрах, работающих по двухтактной схеме, направленный перенос зарядов приходится обеспечивать путем усложнения структуры ПЗС. Последовательность смены потенциалов на тактовых группах показана на тактовой диаграмме (см. рис. 3.3, б), на которой форма управляющих напряжений для трехтактной схемы идеальна. Для повышения эффективности переноса зарядов тактовые импульсы, подаваемые на электрод, должны перекрываться и иметь пологий фронт, что задерживает уменьшение глубины потенциальной ямы, поэтому практически для управления используют импульсы трапецеидальной формы (см. рис. 3.3, в). При этом остатки заряда успевают перетечь в соседнюю потенциальную яму и в результате повысится эффективность переноса заряда.

3.2.2. Принципы построения ПЗС матриц

ФЭП изображения на ПЗС делятся на два класса: линейные (одномерные) и матричные (двумерные). В линейных ФЭП фоточувствительные элементы расположены вдоль одной линии, обычно строки, и формируют одномерное изображение объекта. Такие однострочные ФЭП

могут быть использованы при контроле за технологическими процессами производства, при специальном анализе и анализе оптической плотности макро- и микрообъектов. Однострочные ФЭП могут быть использованы и для получения двумерного изображения. В этом случае необходимо перемещение ФЭП или объекта в направлении, перпендикулярном направлению строчной развертки.

Твердотельным аналогом передающей трубки с электронным сканированием по строке и кадру является матричный формирователь сигнала изображения. Формирователь представляет собой двухкоординатный массив светочувствительных элементов, осуществляющих электронное сканирование по обеим координатам.

Существует несколько способов организации считывания матричных формирователей.

Наиболее предпочтительна организация с кадровым переносом, схема которой показана на рис. 3.4.

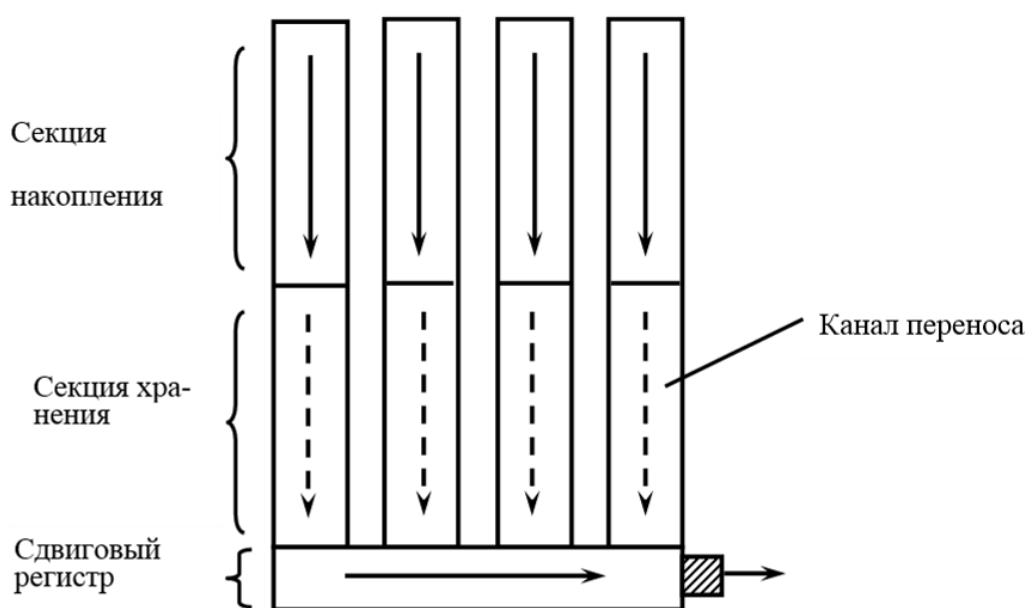


Рисунок 3.4 — К пояснению способа организации считывания с покадровым переносом

Характерной ее особенностью является наличие секции хранения или памяти, которая защищена от света и равна по площади секции накопления — фотоприемной секции. Накопленные заряды фотоприемной секции за время обратного хода по кадру последовательно сдвигаются в секцию хранения.

Во время накопления в фотоприемной секции следующего кадра информация из секции хранения построчно передается в секцию переноса заряда — сдвиговый регистр. Сдвиг строк в секцию переноса осуществляется во время обратного хода горизонтальной развертки. Затем зарядовые пакеты строки поэлементно выводятся сдвиговым регистром к выходному устройству, преобразующему заряды в сигнал изображения. После считывания всей видеoinформации, из секции хранения начинается перенос следующего кадра.

Одним из основных достоинств покадрового считывания является устранение эффекта смазывания изображения, так как зарядовая информация считывается из защищенной от света секции хранения и дополнительной засветки при сканировании не происходит. Принцип по-

кадрового переноса удобен для освещения матрицы со стороны подложек, что позволяет удвоить квантовую эффективность прибора и получить более равномерную характеристику спектральной чувствительности.

В качестве примера на рис. 3.5 показана схема матрицы ПЗС с числом элементов 288×232 , работающей с покадровым переносом накопленной информации и трехтактным регистром управления. Матрица содержит фоточувствительную секцию накопления, состоящую из 144×232 элементов; секцию памяти, состоящую из 144×233 элементов; сдвиговый регистр на 235 элементов и выходное устройство, состоящее из двух транзисторов.

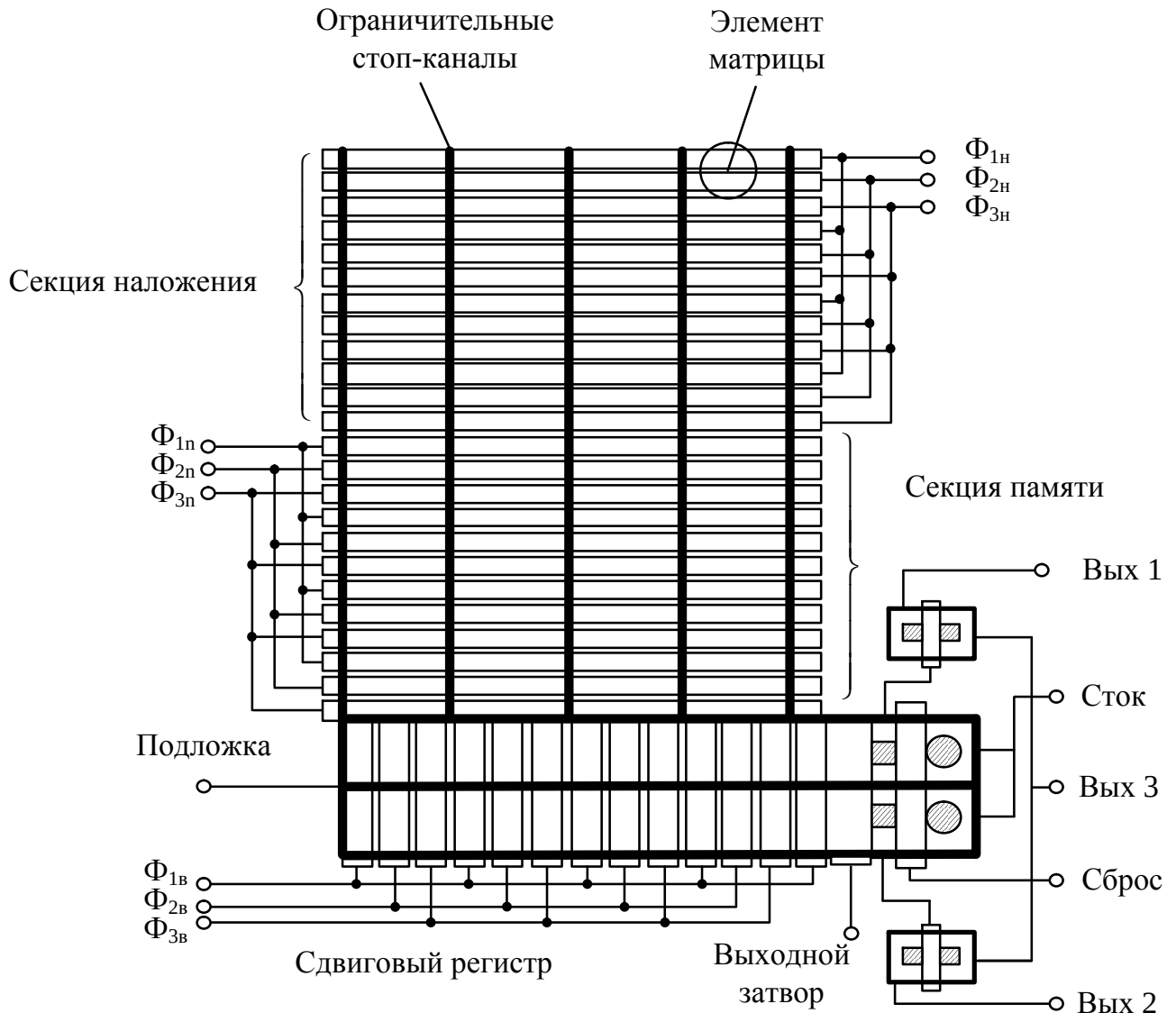


Рисунок 3.5 — Схема матрицы ПЗС

Для усиления сигнала изображения, снятого с матрицы, используется дифференциальное устройство, в котором происходит компенсация тактовых импульсов, поступающих на его входы в противофазе. Выходом дифференциального устройства является «Выход 3».

Матрица с покадровым переносом позволяет легко реализовать чересстрочное разложение изображения. Для этого в течение длительностей нечетных полей накопление производится под электродами Φ_1 , а в течение длительностей четных полей — под электродами фазы Φ_2 . Во время обратного хода по полям зарядовая информация нечетного поля переносится в секцию

хранения (памяти). В период следующего четного поля в режим накопления переводятся электроды фазы Φ_2 , и в секции накопления начинается новый цикл работы.

В то же время из секции хранения последовательно, строка за строкой, переносятся все строки нечетного поля в выходной регистр, который сдвигает элементы строки один за другим к выходному устройству. Перенос зарядов отдельных строк из секции памяти в сдвиговый регистр осуществляется во время обратного хода строчной развертки, а выход зарядов строки из регистра в выходное устройство — во время прямого хода строчной развертки.

Таким образом, в матрице с покадровым считыванием перенос зарядовых пакетов к выходному устройству осуществляется в три приема:

- перенос из секции накопления в секцию памяти;
- перенос из секции памяти в сдвиговый регистр;
- перенос из сдвигового регистра в выходное устройство.

Число переносов для разных элементов кадра будет различным. Максимальным оно будет для первого элемента верхней строки и минимальным — для последнего элемента нижней.

Максимальное число переносов для одного зарядового пакета рассчитывается следующим образом.

Для покадровой организации считывания по трехтактной схеме сдвига число переносов $N_{\max}$ равно

$$N_{\max} = 2 \cdot 3z + 2n,$$

где z — число строк; n — число элементов в строке.

В приведенном равенстве первый член учитывает число переносов по кадру, а второй — число переносов вдоль строки.

Для рассмотренной матрицы получаем

$$N_{\max} = 2 \cdot 3 \cdot 144 + 2 \cdot 235 = 1569.$$

Следует отметить, что зарядовые пакеты переносятся не полностью, так как, во-первых, часть заряда теряется в «ловушках», существующих на границе кремния с окислом; а во-вторых, при определенной скорости переноса часть заряда может отстать от пакета и появиться в следующем.

Вводится параметр относительной неэффективности переноса заряда ε , который характеризует часть заряда пакета, отставшую от пакета на один перенос. От параметра ε зависят скорость работы ПЗС и полное число переносов, которые можно совершить без существенного разрушения сигнала. Умножив ε на число переносов в приборе $N_{\max}$, получим результирующую неэффективность переноса $\varepsilon N_{\max}$ всего прибора. Приемлемым считается значение $\varepsilon = 1 \cdot 10^{-4} \text{—} 5 \cdot 10^{-5}$. При числе переносов $N_{\max} = 1569$ суммарная эффективность переноса η находится в интервале

$$\eta = (1 - \varepsilon N_{\max}) \cdot 100\% = 84\% \dots 92\%.$$

Таким образом, при использовании принципа последовательного переноса ограничивается возможность улучшения качества матрицы. Кроме этого, используемый в ПЗС принцип самосканирования требует, чтобы ни в одном элементе матрицы не было дефекта, так как неисправность одного элемента вызывает потерю информации всего передающего столбца или строки.

Световая характеристика матрицы в рабочем диапазоне освещенности E (рис. 3.6, а; U_c — амплитуда сигнала на выходе матрицы) практически линейна: нижняя точка соответствует выходному сигналу в отсутствие освещения и определяет темновой ток, обусловленный в большой степени термогенерацией неосновных носителей; верхняя точка характеризует режим насыщения элемента матрицы, то есть полное заполнение потенциальной ямы неосновными носителями. Глубина потенциальной ямы определяется конструктивными параметрами матрицы и потенциалом накопления, значение которого ограничено напряжением пробоя МОП-конденсатора.

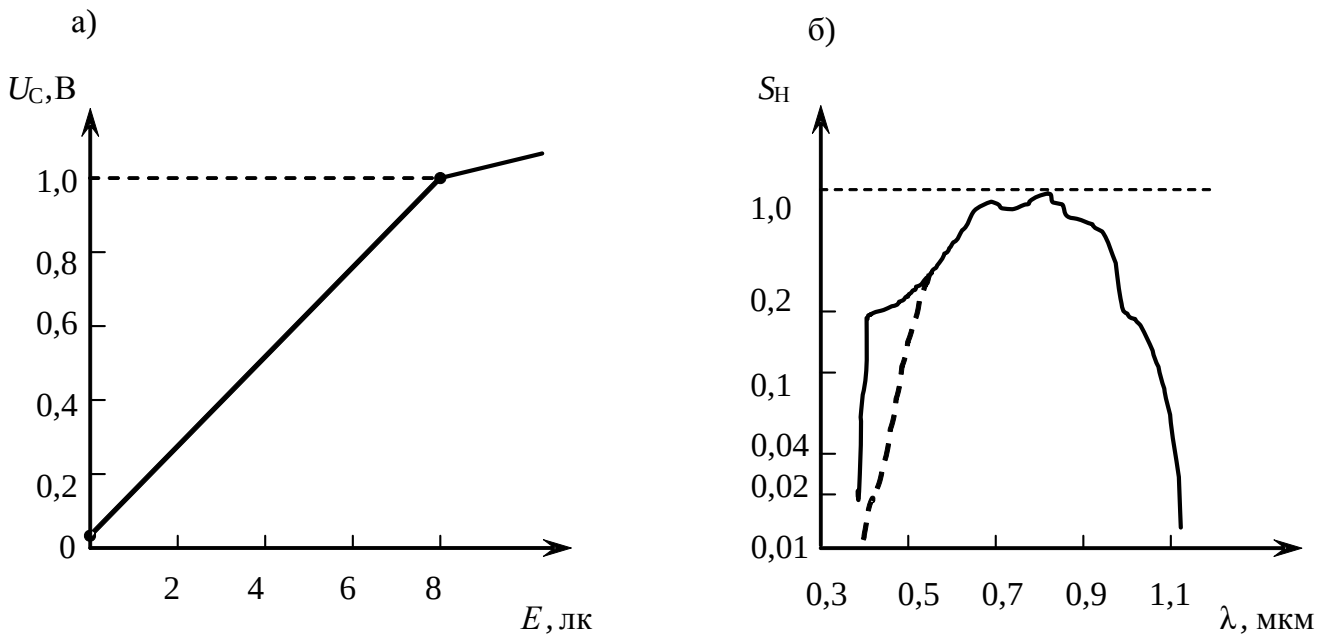


Рисунок 3.6 — Типовые характеристики матрицы ПЗС: а) световая; б) спектральная

Нормированная спектральная чувствительность S_n ($S_n = S(\lambda)/S(\lambda_{max})$, где λ_{max} — длина волны, соответствующая максимуму спектральной чувствительности) матричного формирователя (рис. 3.6, б) имеет подъем в длинноволновой области спектра и спад в области длин волн 0,4—0,5 мкм (пунктир), который обусловлен сильным поглощением на этом участке спектра поликремниевыми электродами, нанесенными на полупроводниковую подложку. В усовершенствованных образцах ПЗС для повышения чувствительности в этой области спектра в поликремниевых электродах выполнены «окна». Площадь окон составляет примерно 15%—20% от площади фоточувствительной поверхности. Благодаря этому чувствительность матрицы на длине волны $\lambda = 0,4$ мкм удалось повысить примерно на 20% (сплошная линия на рис. 3.6, б), что позволило использовать матрицу в цветном телевидении.

Разрешающая способность видеокамеры на ПЗС определяется числом элементов накопления в матрице ПЗС. Увеличению числа элементов матрицы препятствуют технологические

трудности, а также ухудшение параметров сигнала изображения, связанное со снижением эффективности переноса изображения.

3.2.3. Светочувствительные матрицы на основе КМОП-технологии

Технологии ПЗС успешно развиваются и используются уже более 40 лет. ПЗС-устройства вступили в пору зрелости и дают прекрасные изображения с низким уровнем шума. Хотя принципы работы ПЗС-матриц основаны на МОП-структурах, но для изготовления ПЗС-матриц требуется особая кремниевая технология и специализированные линии производства.

Использовать ПЗС-процесс для интеграции других функций видеокамеры — формирователей тактовых импульсов, логических схем синхронизации, обработки сигнала и так далее — было бы реальным решением с технической точки зрения, но не с экономической. Обычно эти функции реализованы в центральном процессоре либо непосредственно на персональном компьютере. Таким образом, большинство ПЗС-видеокамер состоит из нескольких микросхем.

В последнее время получили большое развитие светочувствительные матрицы, построенные на основе КМОП-технологии.

Основное преимущество КМОП-видеокамер в сравнении с ПЗС — это высокий уровень интеграции, который достигается за счет фактической реализации всех функций электроники видеокамеры на одной интегральной схеме. При этом логическая схема синхронизации, контроль экспозиции и аналого-цифровой преобразователь могут быть совмещены с матрицей, образуя завершённую однокристалльную видеокамеру.

КМОП-фотоприемник воспринимает попадающий на него свет так же, как и ПЗС, но обработка информации происходит иначе. Зарядовые пакеты не переносятся, а на ранней стадии обнаруживаются высокочувствительными усилителями зарядов на КМОП-транзисторах. В некоторых КМОП-матрицах усилители находятся поверх каждой колонки пикселей — сами пиксели содержат только один транзистор, который используется как шлюз, подключая содержимое пикселя к усилителю. Эти пассивные пиксельные КМОП-матрицы работают наподобие аналоговой DRAM-памяти (динамического ОЗУ).

Основное преимущество КМОП технологии — низкое энергопотребление в статическом состоянии. Это позволяет применять такие матрицы в составе энергонезависимых устройств, например, в датчиках движения и системах наблюдения, находящихся большую часть времени в режиме «сна» или «ожидания события».

Важным преимуществом КМОП матрицы является единство технологии с остальными, цифровыми элементами аппаратуры. Это приводит к возможности объединения на одном кристалле аналоговой, цифровой и обрабатывающей части (КМОП-технология, являясь в первую очередь процессорной технологией, подразумевает не только «захват» света, но и процесс преобразования, обработки сигналов не только собственно-захваченных, но и сторонних компонентов РЭА), что послужило основой для миниатюризации камер для самого разного оборудования и снижения их стоимости ввиду отказа от дополнительных процессорных микросхем.

С помощью механизма произвольного доступа можно выполнять считывание выбранных групп пикселей. Данная операция получила название кадрированного считывания. Кадрирова-

ние позволяет уменьшить размер захваченного изображения и потенциально увеличить скорость считывания по сравнению с ПЗС-матрицами, поскольку в последних для дальнейшей обработки необходимо выгрузить всю информацию. Появляется возможность применять одну и ту же матрицу в принципиально различных режимах.

В частности, быстро считывая только малую часть пикселей, можно обеспечить качественный режим живого просмотра изображения на встроенном в аппарат экране с относительно малым числом пикселей. Можно отсканировать только часть кадра и применить её для отображения на весь экран. Тем самым получить возможность качественной ручной фокусировки. Есть возможность вести репортажную скоростную съёмку с меньшим размером кадра и разрешением.

В дополнение к усилителю внутри пиксела, усилительные схемы могут быть размещены в любом месте по цепи прохождения сигнала. Это позволяет создавать усилительные каскады и повышать чувствительность в условиях плохого освещения. Возможность изменения коэффициента усиления для каждого цвета улучшает, в частности, балансировку белого. Стоимость производства КМОП-матриц в сравнении с ПЗС-матрицами значительно меньше, особенно при больших размерах матриц.

Однако КМОП-матрицы обладают и своими недостатками.

Фотодиод ячейки матрицы имеет сравнительно малый размер, величина же получаемого выходного напряжения зависит не только от параметров самого фотодиода, но и от свойств каждого элемента пикселя. Таким образом, у каждого пикселя матрицы оказывается своя собственная характеристическая кривая, и возникает проблема разброса светочувствительности и коэффициента контраста пикселей матрицы. В результате чего первые произведённые КМОП-матрицы имели сравнительно низкое разрешение и высокий уровень так называемого «структурного шума».

Из-за наличия на матрице большого по сравнению с фотодиодом объёма электронных элементов создаётся дополнительный нагрев устройства в процессе считывания, что приводит к возрастанию уровня теплового шума.

3.2.4. Общие сведения о цифровых видеокамерах

Цифровая видеокамера или веб-камера представляет собой сетевое устройство, которое состоит из собственно видеокамеры (построенной на основе ПЗС- или КМОП-матрицы) и процессора компрессии. Как правило, веб-камера используется как устройство для организации видеосъёмки, видеоконференций или видеонаблюдения и передачи видеоизображения по сетям LAN/WAN/Internet.

Веб-камера представляет собой цифровое устройство, производящее видеосъёмку, преобразование аналогового видеосигнала в цифровой, сжатие цифрового видеосигнала и передачу видеоизображения по компьютерной сети. Поэтому в состав веб-камеры входят следующие компоненты (рис. 3.7): ПЗС- или КМОП-матрица, объектив, оптический фильтр, блок оцифровки, блок компрессии (сжатия) видеоизображения, центральный процессор, сетевой интерфейс, порты *USB* и/или *Ethernet*.

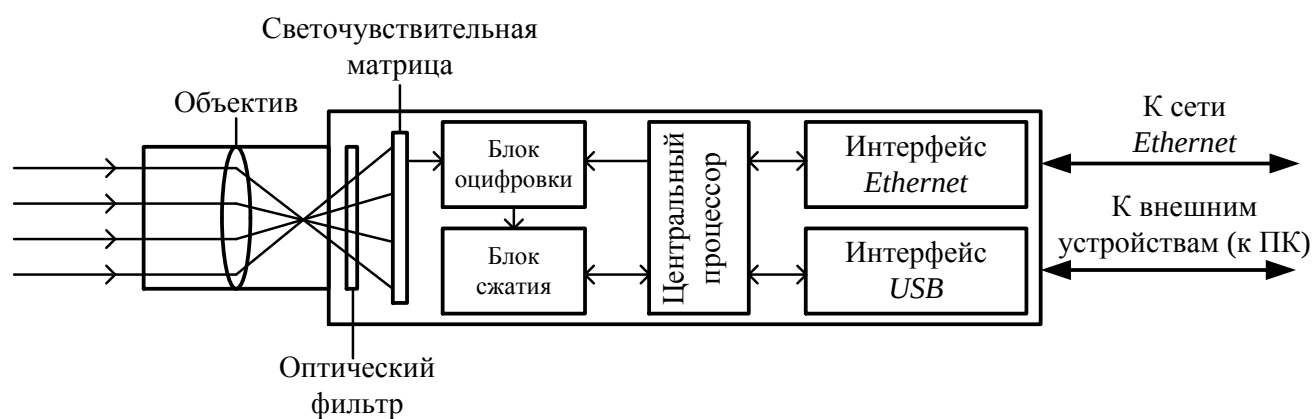


Рисунок 3.7 — Структурная схема веб-камеры

В качестве фотоприемника в веб-камерах применяется ПЗС- или КМОП-матрица, представляющая собой светочувствительную полупроводниковую пластину, которая преобразует падающее на нее оптическое излучение в электрический сигнал. Матрица состоит из большого числа светочувствительных ячеек.

Объектив веб-камеры — это линзовая система, предназначенная для проецирования изображения объекта наблюдения на светочувствительный элемент. Объектив является одной из важнейших частей веб-камеры, так как от него зависит качество видеоизображения.

Оптические инфракрасные отсекающие фильтры, которые устанавливают в веб-камеры, представляют собой оптически точные плоскопараллельные пластинки, монтируемые сверху светочувствительной матрицы. Они работают как оптические низкочастотные фильтры с частотой среза около 700 нм, вблизи красного цвета. Они отсекают инфракрасную составляющую световых волн, обеспечивая веб-камере правильную цветопередачу. Однако, на многие черно-белые веб-камеры такие фильтры не устанавливают, благодаря чему монохромные веб-камеры имеют более высокую чувствительность.

Блок оцифровки осуществляет преобразование аналогового электрического сигнала, сформированного светочувствительной матрицей, в цифровой формат.

Блок сжатия веб-камеры выполняет сжатие оцифрованного видеосигнала с помощью одного из форматов сжатия (*JPEG*, *MJPEG*, *MPEG-1/2/4* или подобных им). Благодаря сжатию сокращается размер видеокadra, что необходимо для хранения и передачи видеоизображения на персональный компьютер или по сети. Если локальная сеть, к которой подсоединена веб-камера, имеет ограниченную полосу пропускания, то во избежание переполнения сетевого трафика целесообразно сокращать объем передаваемой информации путем понижения либо частоты передачи кадров по сети, либо разрешения кадров. Большинство форматов сжатия, которые используют веб-камеры, обеспечивает разумный компромисс между этими двумя способами решения проблемы передачи видео сигнала по сети. Известные форматы сжатия позволяют получить оцифрованный поток с полосой пропускания от 64 Кб до 2 Мб (при такой полосе пропускания потоки видеоданных могут работать параллельно с другими потоками данных в сетях).

Сжатие видеоизображения в веб-камере может быть выполнено как аппаратным, так и

программным способом. Камеры с программной реализацией компрессии дешевле, однако, из-за высокой вычислительной емкости алгоритмов сжатия, такие камеры не обеспечивают высокого качества изображений, особенно когда требуется просматривать видеоизображение с веб-камеры в *online* режиме.

Центральный процессор является вычислительным ядром веб-камеры. Он осуществляет операции по выводу оцифрованного и сжатого видеоизображения, а также отвечает за выполнение функций встроенного веб-сервера и управляющей программы для веб-камер, используя при этом интерфейсы *Ethernet* и/или *USB*.

3.2.5. Технические параметры цифровых видеокамер

В качестве основных технических параметров цифровой видеокамеры можно назвать следующие:

- чувствительность;
- минимальная освещенность объекта, фиксируемая видеокамерой;
- разрешающая способность;
- отношение сигнал-шум;
- динамический диапазон.

В качестве неосновных технических параметров цифровой видеокамеры можно назвать следующие: наличие гамма-коррекции, величина темнового тока, характеристика спектральной чувствительности, наличие оптической низкочастотной фильтрации, диапазон АРУ, энергопотребление, габаритные размеры и так далее.

3.2.5.1. Чувствительность

Чувствительность веб-камеры характеризуют минимальным отверстием диафрагмы (максимальным *F*-числом), дающим видеосигнал полного размаха 1 В на тестовой таблице, освещенность которой равна точно 2000 лк и создана источником с цветовой температурой 3200 К [19]. Тестовая таблица для измерения чувствительности должна иметь шкалу градаций яркости от черного до белого и общий коэффициент отражения 90% для белой части этой шкалы.

Чтобы установить чувствительность видеокамеры, требуется объектив с ручной установкой диафрагмы, обычно с фокусным расстоянием 25—50 мм. Чтобы измерения были корректны, следует отключить АРУ видеокамеры. Однако подобные измерения чувствительности цифровой камеры, как правило, неосуществимы, так как видеосигнал на выходе камеры является цифровым и выполнить требуемые для измерения условия невозможно.

В случае веб-камеры имеет смысл проводить измерение минимальной освещенности объекта, отождествляя ее с понятием пороговой чувствительности.

3.2.5.2. Минимальная освещённость

Минимальная освещенность — это минимальное пороговое значение освещенности объекта в люксах, при котором данная видеокамера дает распознаваемый видеосигнал. Термин «расознаваемый» используется в широком смысле и может быть определен или не определен

производителем. Следует иметь в виду, что систему АРУ при измерении минимальной освещенности следует выключать. Однако при измерении параметра минимальной освещенности АРУ веб-камеры не выключается, поэтому эти измерения проводятся для всей видеосистемы в целом.

Следует различать минимальную освещенность объекта и минимальную освещенность светочувствительной матрицы.

Когда определяется минимальная освещенность объекта, необходимо учитывать соответствующий размер диафрагмы и коэффициент отражения объекта.

Если определяется минимальная освещенность на светочувствительной матрице, можно учитывать не все факторы (например, качественные показатели), однако при расчете эквивалентной освещенности объекта, проецируемого на матрицу, необходимо компенсировать все эти факторы.

Известно [19], что с объективом F/1.4 минимальная освещенность светочувствительной матрицы обычно в 10 раз выше, чем чувствительность на объекте. Например, освещенность объекта в 1 лк при коэффициенте отражения 75% с объективом F/1.4 соответствует освещенности в 0,1 лк на матрице.

Следует помнить, что черно-белые видеокамеры всегда обеспечивают более низкую минимальную освещенность, чем цветные видеокамеры. Одна из причин — использование инфракрасного отсекающего фильтра на светочувствительной матрице. Такой фильтр корректирует спектральную характеристику матрицы, приближая ее к характеристикам человеческого глаза, но одновременно снижает количество света, падающего на матрицу.

Другая причина заложена в конструктивных особенностях используемой цветной светочувствительной матрицы. Каждый пиксел цветной матрицы состоит из трех элементов (субпикселей), размещенных на физическом пространстве одного черно-белого пиксела. Размер каждого элемента составляет не более 1/3 черно-белого пиксела, что косвенно снижает чувствительность.

3.2.5.3. Разрешающая способность видеокамеры

Существует разрешающая способность по вертикали и разрешающая способность по горизонтали. Каждый из этих двух измеряется по испытательной таблице.

Разрешающая способность по вертикали — это максимальное число горизонтальных линий, которое способна передать видеокамера. Это число ограничено стандартом *CCIR/PAL* до 625 горизонтальных строк и стандартом *EIA/NTSC* до 525 строк.

Разрешающая способность по горизонтали — это максимальное число вертикальных линий, которые способна передать видеокамера. Это число ограничено только технологией и качеством монитора.

Горизонтальное разрешение цифровых видеокамер обычно примерно равно 75% горизонтальных пикселей светочувствительной матрицы (при соотношении сторон кадра 4:3).

Для оценки разрешения видеокамер существует большое число тестовых диаграмм (таблиц), две из которых показаны на рис. 3.8.

Стоит отметить, что измерение разрешающей способности видеокамеры необходимо проводить, убедившись в том, что разрешающая способность воспроизводящего устройства выше, чем у исследуемой видеокамеры.

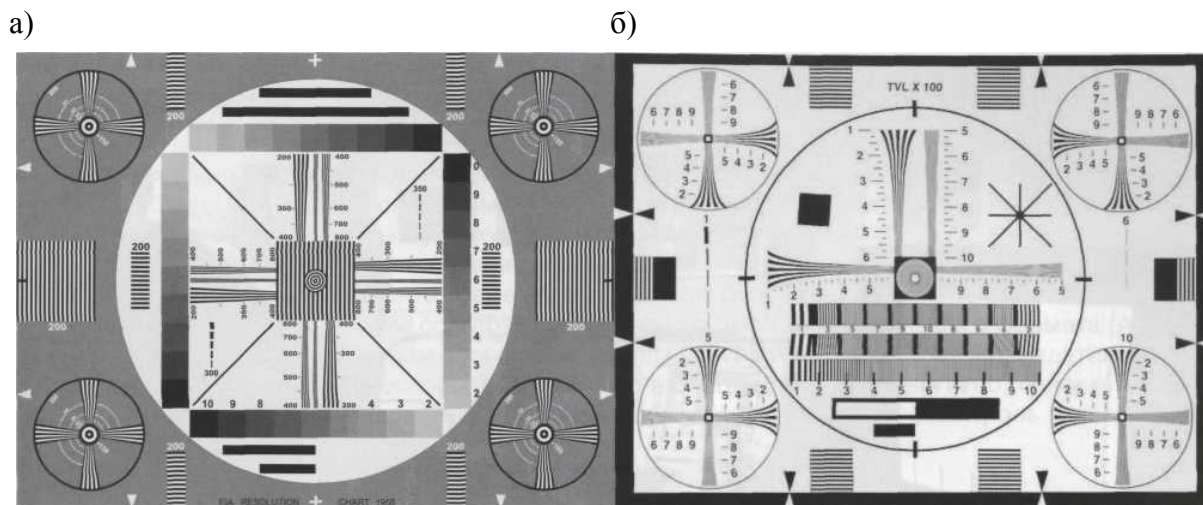


Рисунок 3.8 — Испытательные таблицы *RETMA* (а) и *IEEE-208* (б) для измерения разрешающей способности цифровой видеокамеры

Разрешающая способность оценивается по установлению момента, когда четыре сходящиеся линии в виде остроугольного треугольника на изображении испытательной таблицы перестают быть различимыми (см. рис. 3.8). Этот метод называется методом измерения по «испытательному клину».

Реально в силу дискретного характера светочувствительной матрицы строки начинают «разрываться» в нескольких местах, проявляется муар. Чтобы определить реальное место в тестовой таблице, соответствующее, например, разрешающей способности по горизонтали, следует поперемещать в небольших пределах камеру — при этом места биений будут перемещаться, а место, соответствующее пределу разрешающей способности, будет неподвижным.

Практический опыт показывает, что человеческий глаз с трудом видит разницу в разрешающей способности, если она составляет менее 50 горизонтальных или вертикальных линий или если она составляет менее 10% общего числа пикселей матрицы.

Разрешающая способность тесно связана с полосой частот сигнала, а, следовательно, со скоростью передачи видеoinформации. Чем выше разрешающая способность, тем больше информации передается, следовательно, тем больше должна быть скорость передачи данных.

Цветные видеокамеры с одной светочувствительной матрицей имеют меньшую разрешающую способность, чем черно-белые, из-за деления на три цветовых компонента при том, что размеры этих матриц такие же, как у черно-белых видеокамер.

3.2.5.4. Отношение сигнал-шум

Отношение сигнал-шум показывает, насколько качественным может быть видеосигнал видеокамеры, особенно в условиях низкой освещенности. Шума избежать невозможно, но его можно минимизировать. В основном, уровень шума зависит от качества светочувствительной матрицы, используемых электронных компонентов, внешних электромагнитных воздействий и

(в сильной степени) от температуры видеокамеры. Металлический корпус видеокамеры в значительной степени защищает от внешних электромагнитных воздействий. Источниками шума внутри видеокамеры являются как пассивные, так и активные элементы, поэтому «зашумленность» зависит от их качества, конструкции системы и в сильной степени от их температуры.

На экране зашумленное изображение дает зернистость или «снег», а на цветном изображении могут быть цветовые вспышки, изображение может получиться нечетким, с плохим разрешением. Зашумленное изображение от видеокамеры становится еще хуже при уменьшении освещенности объекта, а также при использовании АРУ с большим усилением.

Следует помнить, что увеличение отношения сигнал-шум на 3 дБ означает примерно 30-процентное уменьшение уровня шума, так как уровень видеосигнала не меняется. При сравнении, например, видеокамеры, у которой отношение сигнал-шум равно 48 дБ, с видеокамерой, у которой эта величина равна 51 дБ, последняя даст значительно лучшее изображение, что будет особенно заметно при низких уровнях освещенности.

Если не допускать значительного нагрева видеокамеры, то уровень шума будет ниже, чем при более высокой температуре. Эффективное охлаждение видеокамеры значительно уменьшает шумы. В астрономии и других подобных сферах применяют специальные видеокамеры с охлаждением, в которых светочувствительная матрица охлаждается до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже. Некоторые модели используют охлаждающие элементы Пельтье, для того чтобы постоянно поддерживать температуру матрицы на уровне $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, что снижает уровень шума до $1/8$ от его величины при комнатной температуре.

3.2.5.5. Динамический диапазон

Динамический диапазон светочувствительной матрицы определяется как отношение максимального сигнала накопления на общее среднеквадратическое значение уровня шума эквивалентной экспозиции (динамический диапазон аналогичен отношению сигнал-шум, но относится только к динамике светочувствительной матрицы при обработке темных и ярких объектов в пределах одной сцены). Это число показывает величину светового диапазона, обрабатываемого матрицей, только этот диапазон выражается не в фотометрических единицах, а в значениях уровня сформированного электрического сигнала. Динамический диапазон начинается с очень низких уровней света, равных среднеквадратическому значению уровню шума матрицы и доходит до уровня насыщенности. Поскольку динамический диапазон это отношение двух значений напряжения, то величина безразмерная, обычно порядка нескольких тысяч. Типичные значения лежат между 1000 и 100000. Внешний свет может легко превысить уровень насыщения светочувствительной матрицы, так как динамический диапазон вариаций света в уличных условиях гораздо шире, чем может обработать матрица. Например, в ясный солнечный день матрица быстро достигает насыщения, особенно если видеокамера не имеет АРУ, автодиафрагму или электронный затвор. Автодиафрагма оптически блокирует избыточный свет и снижает его до верхнего уровня матрицы, в то время как электронный затвор делает то же, электронным образом снижая время экспозиции матрицы.

Когда достигается уровень насыщения при экспозиции светочувствительной матрицы,

может проявиться эффект «заплывания» (*blooming*). При этом избыточный свет насыщает не только те элементы изображения (пиксели), на которые он падает, но и соседние тоже. В результате у видеокамеры снижается разрешающая способность и детальная информация в ярких зонах. Чтобы решить эту проблему, во многих светочувствительных матрицах используется специальная секция *anti-blooming*. Эта секция ограничивает количество зарядов, которые могут собираться на каждом пикселе, при этом ни один пиксел не может аккумулировать больший заряд, чем могут передать сдвиговые регистры. В этом случае даже если динамический диапазон такого сигнала ограничен, детали в ярких областях изображения не теряются. Это может оказаться чрезвычайно важным в сложных условиях освещения, если видеокамера «смотрит» на свет фар автомобиля или на объект в коридоре на фоне яркого света из окна.

Одним из способов исключения эффекта «заплывания» является блокировка перенасыщенных зон на этапе цифровой обработки сигнала. Схема АРУ видеосигнала исключает слишком яркие зоны и не использует их в качестве белых пиковых опорных точек. Вместо этого выбираются более низкие значения, благодаря чему детали в темных зонах становятся более различимы.

Компанией *Panasonic* запатентован метод работы с ПЗС-матрицей, при котором вместо экспозиции одного поля в каждый период проводится две экспозиции. Пример применения метода иллюстрируют изображения на рис. 3.9.

а)



б)



Рисунок 3.9 — Изображение с видеокамеры, полученное стандартным способом (а) и при двойной экспозиции (б)

Первая экспозиция производится за очень короткое время, обычно порядка 0,001 с, вторая — нормальное время, которое зависит от количества света, который попадает на матрицу. Затем две экспозиции комбинируются в одно поле, так что яркие зоны экспонируются более короткое время и дают детали в ярком участке изображения, а более темные области экспонируются дольше, что позволяет получить детали в темной части изображения, суммарный эффект — значительное увеличение динамического диапазона видеокамеры.

На величину динамического диапазона, как и на отношение сигнал-шум, существенно влияет температура: низкие температуры дают меньший уровень шума в любом электронном

устройстве, при этом динамический диапазон увеличивается.

3.3. Описание лабораторной установки

Структурная схема лабораторной установки для исследования параметров цифровой видеокамеры показана на рис. 3.10.

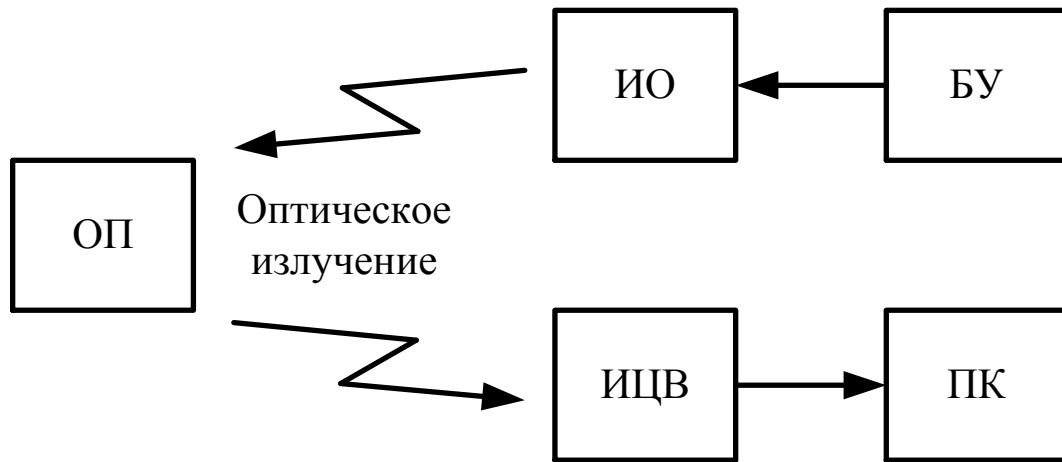


Рисунок 3.10 — Структурная схема лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из следующих элементов:

- ОП — объект передачи (испытательные изображения и таблицы);
- ИО — источник освещения (светодиодные источники света красного R , синего B , зеленого G и белого W цветов);
- БУ — блок управления источником освещения;
- ИЦВ — исследуемая цифровая видеокамера;
- ПК — персональный компьютер (на персональном компьютере показывается изображение с видеокамеры, по которому происходит оценка необходимых характеристик).

С помощью блока управления можно плавно управлять освещенностью объекта передачи (рис. 3.11).

Блок управления с источником освещения содержит четыре независимых канала: « R », « G », « B », « W ». В состав каждого из каналов входят: светодиод соответствующего цвета и регулятор, позволяющий управлять светимостью каждого из светодиодов. На каждом из регуляторов имеется шкала яркости свечения источника, проградуированная в люксах.

Переключатель $S1$ обеспечивает возможность выбора необходимого канала.

Исследуемая цифровая видеокамера представляет собой веб-камеру *IC-960 Web* производства компании *Sven*. Основным элементом видеокамеры является КМОП-матрица с разрешением 1280×1024 пикселей.

Вся измерительная установка накрывается непрозрачным защитным колпаком для исключения попадания на объект передачи света от внешних источников. Все используемые в ходе экспериментов испытательные изображения и таблицы размещаются на фиксированном расстоянии от видеокамеры через щелевое отверстие в защитном колпаке.

Для проведения экспериментальных исследований используется испытательное изображение (рис. 3.12, а) и испытательная таблица (рис. 3.12, б).

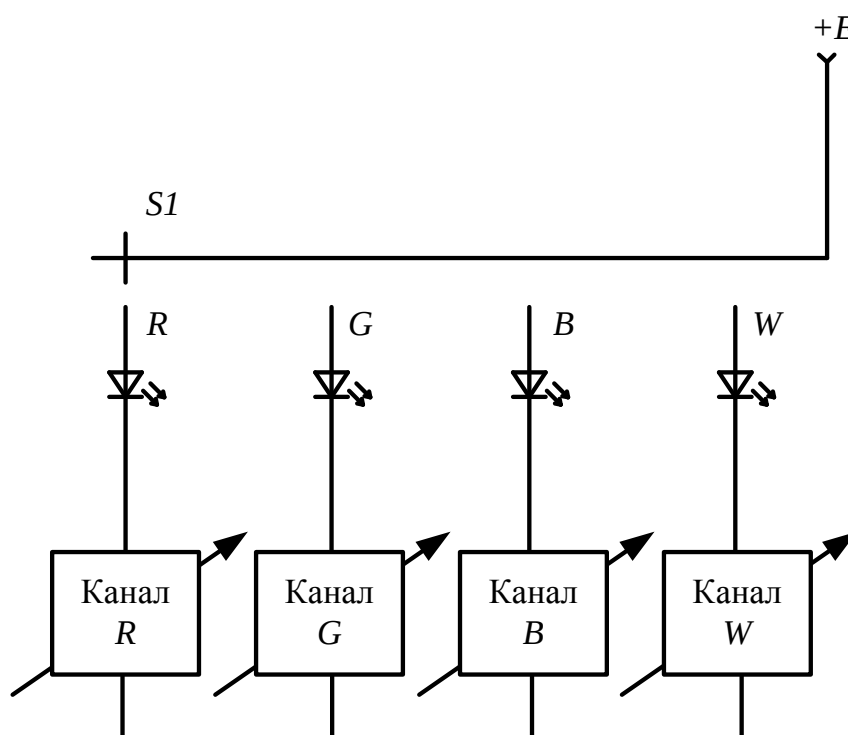


Рисунок 3.11 — Структурная схема блока управления источником освещения объекта передачи

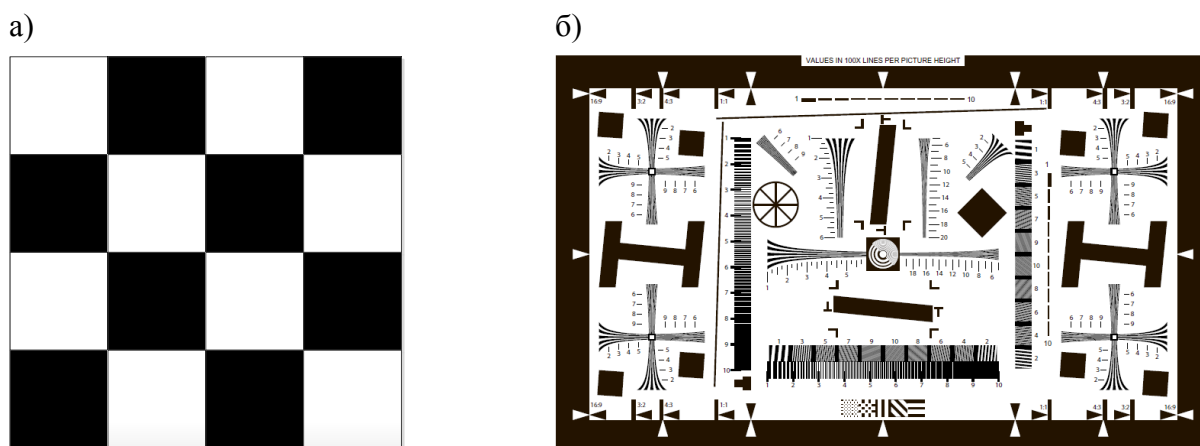


Рисунок 3.12 — Испытательное изображение (а) и испытательная таблица (б), предназначенные для проведения экспериментальных исследований

Испытательное изображение (см. рис. 3.12, а) предназначено измерения минимальной освещенности, динамического диапазона и уровня шума.

Испытательная таблица (рис. 3.12, б) предназначена для измерения разрешающей способности, при этом необходимо использовать участки таблицы, показанные на рис. 3.13. Для измерения, например, разрешающей способности по вертикали необходимо найти место, где вертикальные расходящиеся полосы (см. рис. 3.13, а) начинают различаться друг от друга. Число слева при этом, умноженное на 100, соответствует разрешающей способности по вертикали.

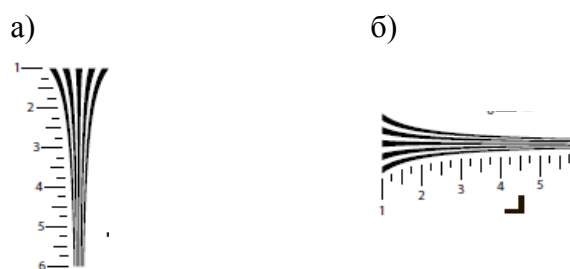


Рисунок 3.13 — Элементы испытательной таблицы для измерения разрешающей способности по вертикали (а) и горизонтали (б)

3.4. Порядок выполнения экспериментальных исследований

В процессе проведения измерений необходимо определить следующие параметры цифровой видеокамеры:

- минимальная освещенность (пороговая чувствительность);
- динамический диапазон;
- разрешающая способность камеры;
- уровень шума.

3.4.1. Измерение минимальной освещённости

Для измерения минимальной освещенности необходимо выполнить следующие действия.

3.4.1.1. Предварительно установить минимальный уровень яркости по всем четырем каналам «R», «G», «B», «W» путем поворота регуляторов в крайнее левое положение.

3.4.1.2. Установить испытательное изображение, показанное на рис. 3.12, а.

3.4.1.3. Переключить переключатель S1 в положение «R».

3.4.1.4. Увеличивать уровень яркости канала «R» путем поворота регулятора канала «R» по часовой стрелке до появления на экране монитора ПК изображения (см. рис. 3.12, а).

3.4.1.5. По шкале определить и зафиксировать величину минимальной освещенности видеокамеры для красного цвета.

3.4.1.6. Восстановить исходный (минимальный) уровень яркости путем поворота регулятора «R» в крайнее левое положение.

3.4.1.7. Переключить переключатель S1 в положение «G».

3.4.1.8. Повторить пп. 3.4.1.4...3.4.1.6.

3.4.1.9. Переключить переключатель S1 в положение «B».

3.4.1.10. Повторить пп. 3.4.1.4...3.4.1.6.

3.4.1.11. Переключить переключатель S1 в положение «W».

3.4.1.12. Повторить пп. 3.4.1.4...3.4.1.6.

3.4.1.13. Восстановить исходный (минимальный) уровень яркости путем поворота регулятора «W» в крайнее левое положение.

3.4.2. Измерение динамического диапазона

Для измерения динамического диапазона необходимо выполнить следующие действия.

3.4.2.1. Предварительно установить минимальный уровень яркости по всем четырем каналам «R», «G», «B», «W» путем поворота регуляторов в крайнее левое положение.

3.4.2.2. Установить испытательное изображение, показанное на рис. 3.12, а.

3.4.2.3. Переключить переключатель S1 в положение «R».

3.4.2.4. Увеличивать уровень яркости канала «R» путем поворота регулятора канала «R» по часовой стрелке до тех пор, пока на изображении (рис. 3.12, а) не начнет «расплываться» граница между светлыми и темными элементами изображения.

3.4.2.5. По шкале определить и зафиксировать величину максимальной освещенности видеокамеры для красного цвета.

3.4.2.6. Восстановить исходный (минимальный) уровень яркости путем поворота регулятора «R» в крайнее левое положение.

3.4.2.7. Переключить переключатель S1 в положение «G».

3.4.2.8. Повторить пп.3.4.2.4...3.4.2.6.

3.4.2.9. Переключить переключатель S1 в положение «B».

3.4.2.10. Повторить пп.3.4.2.4...3.4.2.6.

3.4.2.11. Переключить переключатель S1 в положение «W».

3.4.2.12. Повторить пп.3.4.2.4...3.4.2.6.

3.4.2.13. Рассчитать величину динамического диапазона для каждого из цветов, используя значения измеренных максимальной и минимальной освещенностей (п. 3.4.1).

3.4.3. Измерение разрешающей способности

Для измерения динамического диапазона необходимо выполнить следующие действия.

3.4.3.1. Предварительно установить минимальный уровень яркости по всем четырем каналам «R», «G», «B», «W» путем поворота регуляторов в крайнее левое положение.

3.4.3.2. Установить испытательную таблицу, показанную на рис. 3.12, б.

3.4.3.3. Переключить переключатель S1 в положение «R».

3.4.3.4. Рукояткой регулятора канала «R» установить величину освещенности, соответствующей половине значения максимальной освещенности для красного цвета.

3.4.3.5. Определить по таблице (рис. 3.12, б, рис. 3.13) величину разрешающей способности по вертикали и горизонтали для красного цвета.

3.4.3.6. Восстановить исходный (минимальный) уровень яркости путем поворота регулятора «R» в крайнее левое положение.

3.4.3.7. Переключить переключатель S1 в положение «G».

3.4.3.8. Повторить пп.3.4.3.4...3.4.3.6.

3.4.3.11. Переключить переключатель S1 в положение «B».

3.4.3.12. Повторить пп.3.4.3.4...3.4.3.6.

3.4.3.15. Переключить переключатель S1 в положение «W».

3.4.3.16. Повторить пп.3.4.3.4...3.4.3.6.

3.4.4. Оценка уровня шума

Оценить уровень шума цифровой камеры возможно только на основе анализа полученных

с ее помощью изображений.

Для оценки уровня шума цифровой камеры, работающей при различных уровнях освещенности, необходимо выполнить следующие действия.

3.4.4.1. Предварительно установить минимальный уровень яркости по всем четырем каналам «R», «G», «B», «W» путем поворота регуляторов в крайнее левое положение.

3.4.2.2. Установить испытательное изображение, показанное на рис. 3.12, а.

3.4.2.3. Переключить переключатель S1 в положение «W».

3.4.2.4. По полученному в условиях нулевой освещенности изображению оценить уровень шума, то есть оценить степень «зашумленности» изображения по пятибалльной системе.

3.4.2.5. С помощью регулятора освещенности «W» установить величину освещенности, соответствующую измеренной в п.3.4.1 величине (минимальной освещенности). Оценить уровень шума.

3.4.2.7. С помощью регулятора освещенности «W» установить величину освещенности, соответствующую половине от уровня максимальной освещенности. Оценить уровень шума.

3.4.2.8. С помощью регулятора освещенности «W» установить величину освещенности, соответствующую максимальному уровню. Оценить уровень шума.

3.4.2.18. Вывести рукоятку регулятора освещенности «W» в крайнее левое положение.

3.4.2.19. Сравнить между собой результаты оценки уровня шума для трех значений освещенности.

3.5. Содержание отчета по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе должен содержать следующее:

- структурную схему лабораторной установки;
- сравнительные результаты измерения минимальной освещенности цифровой видеокамеры для каждой из цветовых составляющих и белого цвета;
- сравнительные результаты измерения динамического диапазона цифровой видеокамеры для каждой из цветовых составляющих и белого цвета;
- сравнительные результаты измерения разрешающей способности цифровой видеокамеры для каждой из цветовых составляющих и белого цвета;
- анализ оценки уровня шума;
- подробные выводы.

3.6. Контрольные вопросы

3.6.1. Вопросы для допуска к работе

3.6.1.1. Поясните, что представляют собой приборы с зарядовой связью.

3.6.1.2. Поясните принцип построения ПЗС светочувствительных матриц.

3.6.1.3. Поясните принцип построения КМОП светочувствительных матриц.

3.6.1.4. Перечислите основные технические характеристики цифровой видеокамеры.

3.6.1.5. Нарисуйте и поясните структурную схему веб-камеры.

3.6.1.6. Поясните принцип измерения чувствительности цифровых камер.

3.6.1.7. Поясните принцип измерения динамического диапазона цифровых камер.

3.6.1.8. Что такое разрешающая способность и как она определяется?

3.6.1.9. Как оценить отношение сигнал-шум для цифровой камеры?

3.6.2. Вопросы для подготовки к защите

3.6.2.1. Приведите основные отличия ПЗС-матриц от КМОП-матриц. Сделайте вывод о возможности их применения для различных задач.

3.6.2.2. Поясните, как изменятся основные технические параметры цифровой камеры при увеличении физического размера светочувствительной матрицы.

3.6.2.3. Поясните, как друг относительно друга отличаются значения основных технических характеристик цифровых камер с цветной и монохромной светочувствительными матрицами.

3.6.2.4. Поясните, как и почему меняется уровень шума цифровой камеры с увеличением освещенности снимаемого объекта.

3.6.2.5. Дайте рекомендации по увеличению чувствительности и уменьшению уровня шума цифровой камеры.

3.6.2.6. Каким образом можно увеличить динамический диапазон цифровой камеры?

3.6.2.7. Чем определяется разрешающая способность цифровой камеры. Можно ли ее увеличить без ухудшения остальных технических параметров?

3.6.2.8. Поясните, как изменятся технические параметры цифровой камеры, если из ее состава исключить оптический фильтр.

3.6.2.9. К каким изменениям в технических параметрах цифровой камеры приводит наличие в ней постоянно включенной системы АРУ?

4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

«ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦВЕТНОСТИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ»

4.1. Цель работы

Целью лабораторной работы является ознакомление с особенностями формирования и обработки сигналов в различных системах цветного телевидения (ЦТВ).

4.2. Теоретический раздел

4.2.1. Общие представления о восприятии и формировании цвета. Цветовая система RGB

Ощущение цвета есть результат субъективного восприятия зрительным аппаратом человека объективно существующих электромагнитных излучений оптического диапазона длин волн. Физиологические основы цветового зрения базируются на трехкомпонентной теории, согласно которой в нашем зрительном анализаторе существуют три вида рецепторов, каждый из которых чувствителен к определенному участку видимого спектра: коротковолновому (синий цвет), средневолновому (желтый цвет), длинноволновому (красный цвет). Вопросы представления цвета рассматриваются в колориметрии — науке о методах измерения и количественного выражения цвета.

Определенное соотношение между уровнями возбуждения этих рецепторов воспринимается нами как определенный цвет. Физиологическая теория согласуется с законами, которые косвенно ее подтверждают [12]. Согласно фундаментальному закону смешения цветов излучение любого спектрального состава можно получить путем смешивания трех основных цветов, в качестве которых обычно берут красный (R), зеленый (G) и синий (B).

Примем за относительные единицы R , G , B такие уровни излучения основных цветов, при которых их смешение дает белый цвет, то есть

$$F_E = R + G + B,$$

где F_E — относительный уровень излучения белого цвета.

Тогда, подбирая множители r' , g' , b' к единицам R , G , B можем получить излучение любого спектрального состава

$$F = r'R + g'G + b'B. \quad (4.1)$$

Для определенности в качестве основных (единичных) цветов R , G , B в цветовой системе RGB выбраны монохроматические излучения с длинами волн 700 нм, 546 нм и 435 нм соответственно.

Множители r' , g' , b' в выражении (4.1) излучения любого спектрального состава могут быть определены, если известен спектральный состав этого излучения $P(\lambda)$:

$$r' = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(\lambda) \bar{r}(\lambda) d\lambda; \quad g' = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(\lambda) \bar{g}(\lambda) d\lambda; \quad b' = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(\lambda) \bar{b}(\lambda) d\lambda, \quad (4.2)$$

где λ_1 , λ_2 — соответственно минимальная и максимальная длины волн в спектре $P(\lambda)$.

Весовые функции $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$ характеризуют цветовые свойства среднего наблюдателя и стандартизованы Международной комиссией по освещению (МКО) на основе экспери-

ментальных результатов, полученных Райтом и Гилдом в 1931 году.

Цветовые свойства наблюдателей стандартизованы для монохроматического излучения мощностью 1 Вт во всем видимом диапазоне длин волн. Введены так называемые **удельные координаты** или **удельные цветовые коэффициенты**, входящие в уравнения (4.2), определяющие ощущение цвета, соответствующего монохроматическому излучению мощностью 1 Вт (рис. 4.1) и связывающие воздействующее на глаз излучение данного спектрального состава с результатом этого воздействия — ощущением цвета, выраженным в цветовых координатах r', g', b' .

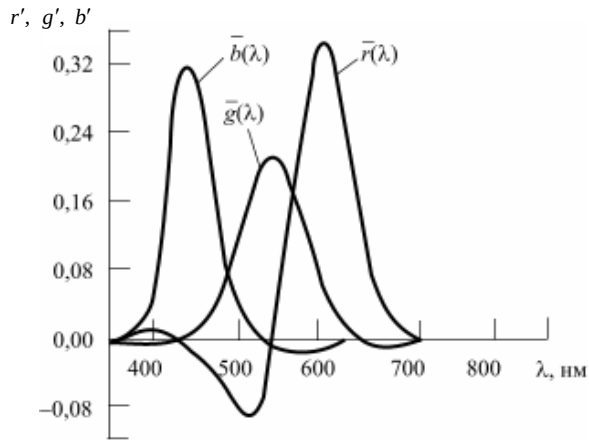


Рисунок 4.1 — Удельные координаты цвета (кривые смещения) в системе RGB

Для равноэнергетического белого цвета E при $P_E(\lambda) = \text{const}$, $r'_E = g'_E = b'_E = 1$ справедливо выражение

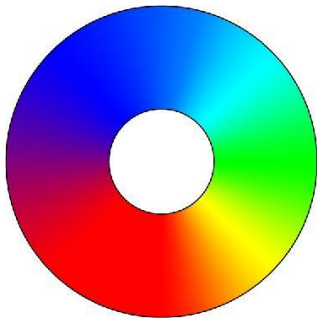
$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \bar{r}(\lambda) d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \bar{g}(\lambda) d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \bar{b}(\lambda) d\lambda.$$

Из уравнения (4.1) следует, что цвет является величиной трехмерной, и характеризуется тремя параметрами: **светлотой, цветовым тоном и насыщенностью**.

Светлота определяется количественной характеристикой цвета — его яркостью, а **цветовой тон** и **насыщенность** — качественной характеристикой цвета — цветностью.

Под **цветовым тоном** понимают характерное свойство цвета, позволяющее обозначить его как красный, зеленый, синий и т. д. (рис. 4.2, а). **Насыщенность цвета** определяется степенью его «разбавленности» белым. Насыщенность максимальна для чистых спектральных цветов и равна нулю для белого цвета (рис. 4.2, б).

а)



б)

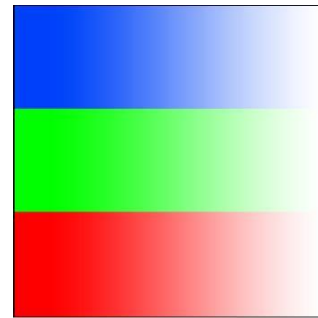


Рисунок 4.2 — Изменение цветового тона (а) и изменение насыщенности от максимума до минимума (б)

Насыщенность численно характеризуется чистотой цвета p , то есть относительным содержанием в нем спектрального цвета (монохроматического светового потока F_λ)

$$p = \frac{F_\lambda}{F_\lambda + F_b} \cdot 100\%,$$

где F_b — световой поток, вызывающий ощущение белого цвета.

Насыщенность максимальна ($p=100\%$) для чистых спектральных и пурпурных цветов и

минимальна ($p=0$) для белого цвета.

Светлота, цветовой тон и насыщенность являются субъективными, так как не могут быть измерены. Однако им соответствуют физические параметры излучения: яркость L , доминирующая (преобладающая) длина волны λ_d и чистота цвета p .

Субъективные и физические параметры связаны между собой, так как увеличение яркости приводит к увеличению светлоты, изменение доминирующей длины волны — к изменению цветового тона, а возрастание чистоты цвета — к увеличению насыщенности.

Существенную роль при определении параметров воспроизводящего устройства системы ЦТВ играет выбор равносигнального цвета, то есть цвета, воспроизводимого на экране дисплея при подаче на его управляющие электроды одинаковых по амплитуде сигналов. Передача сцен натуральных объектов происходит или при естественном освещении, или при освещении искусственными стандартными источниками света A , B , C , $D65$ с разной цветовой температурой (табл. 4.1), разным спектральным распределением мощности излучения $\rho(\lambda)$ (рис. 4.3). За эталонный источник света (опорный белый) в США принят источник C , а в Европе — источник $D65$. По координатам цветности они близки друг к другу (табл. 4.1). Как определяются координаты цветности на цветовом графике XY будет рассмотрено в п. 4.2.3. Цветовая температура — это физический параметр оптического излучения, определяемый как температура абсолютно чёрного тела, при которой его излучение имеет ту же цветность, что и рассматриваемое излучение.

Таблица 4.1 — Характеристики стандартных источников освещения

Источник освещения	Цветовая температура, К	Характеристика излучения	Координаты цветности на цветовом графике XY	
			X	Y
A	2854	Вольфрамовая лампа накаливания	0,448	0,407
B	4800	Желтые фазы дневного света (облачный день)	0,348	0,352
C	6500	Голубоватые фазы дневного света (солнечный день при голубом небе)	0,310	0,316
$D65$	6500	Европейский эталонный источник (свечение люминофоров кинескопа)	0,313	0,329

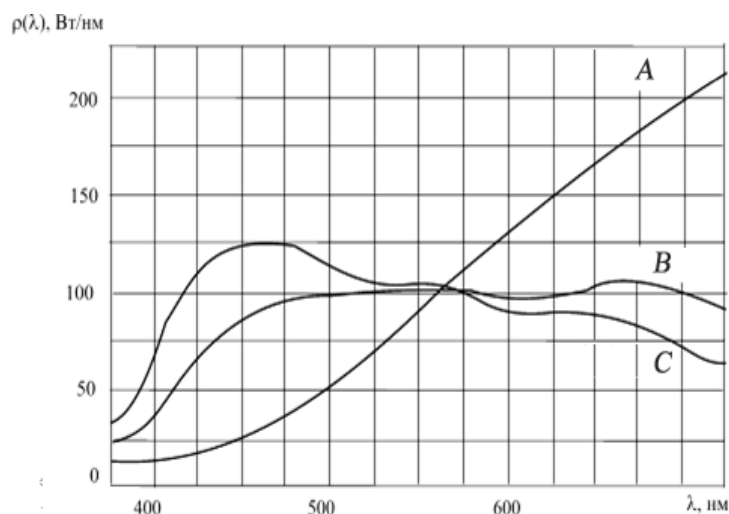


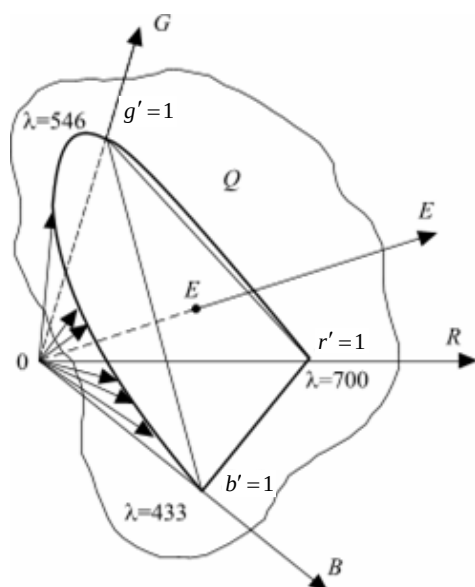
Рисунок 4.3 — Спектральные распределения мощности излучения нормированных источников света A , B , C

4.2.2. Геометрическое представление цвета

Как было показано выше (см. п. 4.2.1) любой цвет может быть представлен точкой в трехмерном пространстве R, G, B . Следовательно, его можно также представить вектором в трехмерном пространстве, которое называется цветовым. При этом длина вектора характеризует количественную характеристику цвета — яркость, а направление вектора в пространстве — его качественную характеристику — цветность. Началом векторов в цветовом пространстве считается точка нулевой яркости, соответствующая черному цвету. Совокупность направлений векторов реальных цветов образует цветовое тело, которое принято называть **конусом реальных цветов**.

На рис. 4.4 изображена коническая поверхность, образованная векторами цветов монохроматических излучений в колориметрической системе, построенной на векторах трех основных цветов R, G, B (значения длин волн указаны в нанометрах).

а)



б)

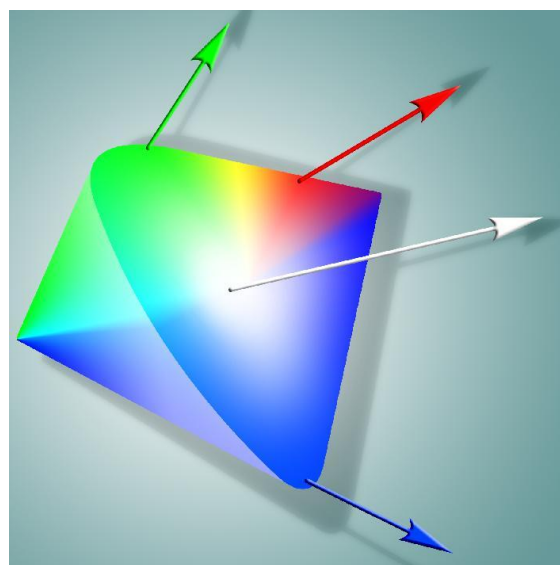


Рисунок 4.4 — Цветовое тело, построенное на векторах реальных цветов RGB (а) и конус реальных цветов (цветовое тело) (б)

Поскольку в ТВ изображении абсолютные значения яркости объекта не воспроизводятся, при проведении цветового анализа в телевидении пользуются качественной характеристикой цвета — цветностью, которая характеризуется цветовым тоном и насыщенностью и, следовательно, является величиной двумерной, то есть может быть определена точкой на плоскости. Наиболее удобной для цветового анализа является **единичная плоскость Q** , пересекающая координатные оси R, G, B в точках, соответствующих единичным их уровням ($r' = g' = b' = 1$, см. рис. 4.4).

Пересечения плоскости Q с конической поверхностью цветового тела образует так называемый **локус чистых спектральных цветов**. Пересечения этой плоскости с координатными плоскостями образует равносторонний цветовой треугольник RGB . Любая точка в плоскости треугольника RGB , например точка белого цвета E (см. рис. 4.4), характеризует направление

цветового вектора E в пространстве, то есть цветность.

Для любой точки в треугольнике можно ввести нормированные значения цветовых координат r, g, b так, чтобы их сумма давала единицу

$$r + g + b = 1.$$

Эти значения связаны с абсолютными значениями цветовых координат r', g', b' следующими соотношениями:

$$r = r'/m, g = g'/m, b = b'/m,$$

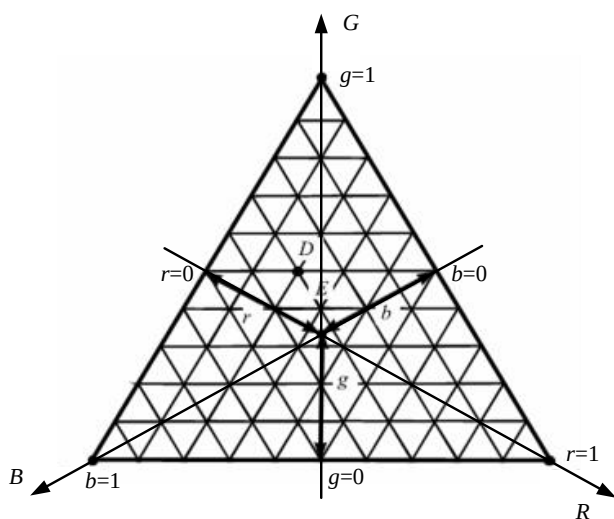
где $m = r' + g' + b'$ — величина, называемая **модулем цвета**.

В нормированных координатах для равносигнального цвета E можно записать

$$r_E = g_E = b_E = 1/3.$$

Следовательно, точка белого цвета E является как бы центром тяжести треугольника RGB и расположена на пересечении его медиан. Если положение точки внутри равностороннего треугольника RGB задано, то перпендикуляры, опущенные из нее на стороны, противоположные вершинам R, G, B , дадут координаты цветности r, g, b , сумма которых равна единице.

Для нахождения координат цветности по положению точки внутри равностороннего треугольника удобно пользоваться равномерной сеткой, нанесенной внутри треугольника RGB , линии которой параллельны его сторонам. Для примера рассмотрим цветовой треугольник с десятичной сеткой (рис. 4.5). По определению точка белого цвета E располагается в центре равностороннего треугольника. Видно, что нормированные координаты равны $r_E = g_E = b_E = 1/3$.



Координаты некоторой точки D равны $r_D = 0,2, g_D = 0,5, b_D = 0,3$.

Колориметрическая система RGB удобна для проведения практических измерений, так как ее основные цвета являются реальными, физически существующими цветами. Однако наличие в кривых смешения RGB (см. рис. 4.1) положительных и отрицательных ветвей значительно затрудняет реализацию цветоизмерительных приборов — колориметров.

Вторым недостатком системы RGB является необходимость расчета всех трех компонентов цвета при определении его яр-

Рисунок 4.5 — Цветовой треугольник RGB

кости L (кд/м^2)

$$L = 683(L_R r + L_G g + L_B b),$$

где r, g, b — координаты цвета; L_R, L_G, L_B — яркостные коэффициенты основных цветов системы RGB .

определяемой уравнением $X + Y + Z = 1$ и отсекающей на осях координат отрезки, равные $X = 1$, $Y = 1$, $Z = 1$.

Линии пересечения координатных плоскостей с единичной плоскостью образуют на последней равносторонний треугольник. Точка M пересечения вектора D с единичной плоскостью характеризует направление этого вектора, а, следовательно, и цветность описываемого цвета.

Координаты x, y, z точки M определяются выражениями

$$x = \frac{x'}{m}; \quad y = \frac{y'}{m}; \quad z = \frac{z'}{m},$$

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

Геометрическое место координат цветности чистых спектральных цветов представляет собой кривую, расположенную на единичной плоскости и именуемую **спектральным локусом**

(см. рис. 4.6). Прямолинейный участок, замыкающий эту кривую в точках B и R , представляет цветности пурпурных цветов. Изображение цветностей на единичной плоскости или ее проекции называются **диаграммами цветности** (цветовыми графиками).

Таким образом, в единичной плоскости можно получить диаграмму цветности и представить на ней любой цвет его координатами цветности.

Замкнутая коническая поверхность (см. рис. 4.6), образуемая векторами чистых спектральных и пурпурных цветов, включает в себе ту часть цветового пространства, где располагаются векторы всех реальных цветов, визуально воспринимаемых глазом. Все остальные векторы, расположенные за пределами этой конической поверхности, представляют формальные цвета, которые не могут быть визуально восприняты.

Такими являются и сами первичные цвета XYZ МКО. Благодаря такому выбору первичных цветов цветовые компоненты всех реальных цветов в системе XYZ выражаются только положительными величинами. Соответственно на диаграмме цветности все точки, заключенные внутри спектрального локуса, представляют реальные цветности. Все точки вне спектрального локуса соответствуют формальным цветностям.

Одна из координат цветности является зависимой от двух других, так как должно выполняться соотношение $x + y + z = 1$, поэтому для определения цветности достаточно двух координат, например x и y . Тогда, проектируя диаграмму цветности единичной плоскости на плоскость xy в направлении оси z (см. рис. 4.6), получаем диаграмму цветности (цветовой график) МКО (рис. 4.8).

На основе анализа цветового графика МКО необходимо отметить следующее:

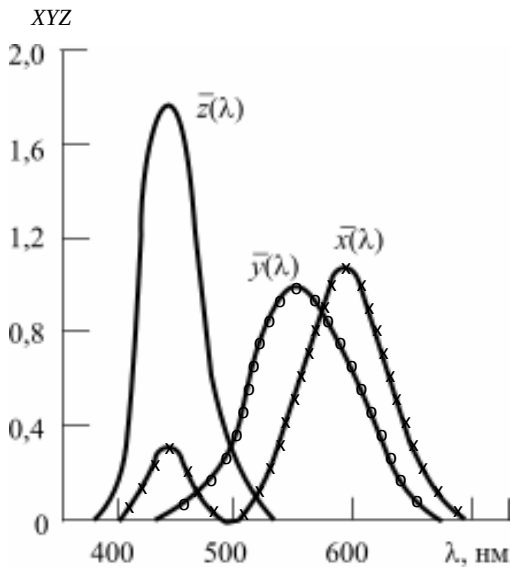


Рисунок 4.7 — Удельные координаты цвета в системе XYZ

— координаты цветности всех реальных цветов находятся внутри спектрального локуса и определяются положительными значениями x и y ;

— равноэнергетический белый цвет E находится в центре тяжести треугольника $хоу$, его координаты определяются как $x = 1/3$ и $y = 1/3$;

— дополнительные цвета расположены на отрезке прямой, проходящей через точку E с кривой спектральных цветов;

— цветность смеси двух цветов отображается точкой на прямой, соединяющей смешиваемые цвета;

— цветность смеси трех цветов отображается точкой внутри треугольника, вершины которого образованы смешиваемыми цветами.

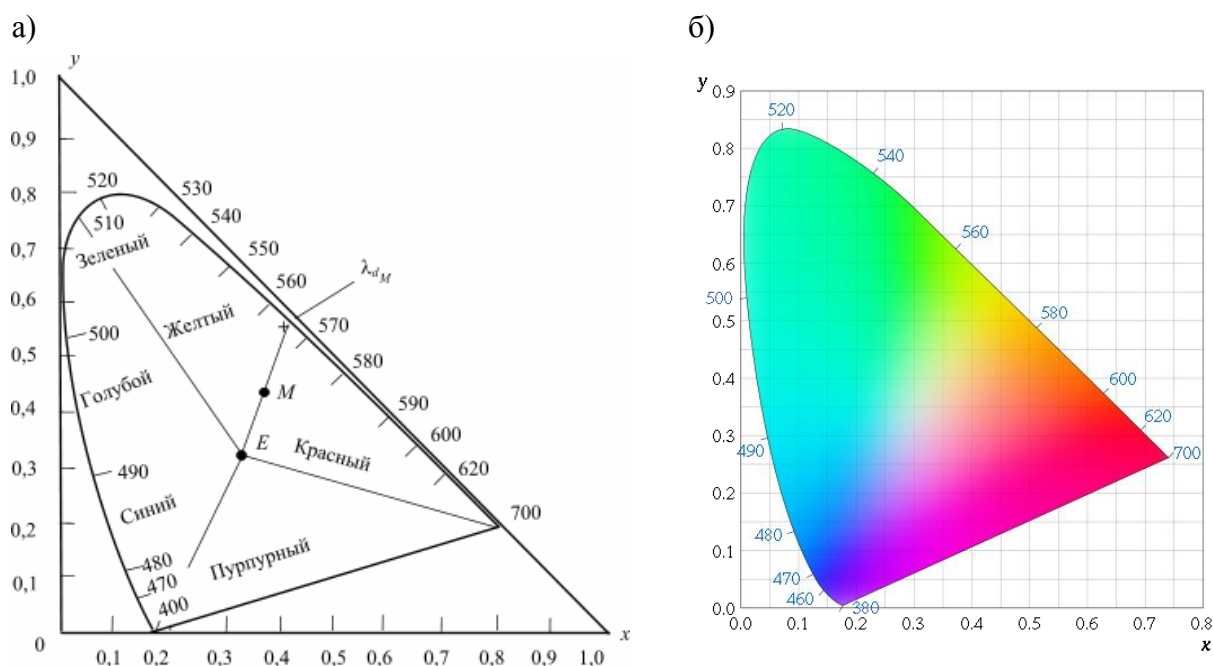


Рисунок 4.8 — Диаграмма цветности МКО (цветовой локус) в графическом (а) и цветовом (б) видах

Как было отмечено выше, цветность сложного излучения, помимо координат цветности, может быть охарактеризована цветовым тоном и насыщенностью. Цветовой тон любого цвета на диаграмме цветности МКО определяется длиной волны монохроматического излучения (доминирующей длиной волны λ_d) путем пересечения кривой спектральных цветов локуса с прямой, проходящей через точку E , и точку, отображающую цветность искомого цвета, например точку M (см. рис. 4.8).

Цветовой график наглядно иллюстрирует результаты, полученные при сложении цветов. Например, смешением двух цветов можно получить любой цвет из расположенных на прямой между ними. Смешение трех цветов, находящихся на одной прямой, позволяет воспроизвести любой цвет, находящийся в пределах цветового треугольника с вершинами в точках смешиваемых цветов.

Цветное ТВ изображение воспроизводится на ТВ экране (например, кинескопа) при воз-

буждении трех люминофоров, создающих красный R , зеленый G и синий B цвета свечения, которым соответствуют точки со следующими координатами: $X_R = 0,67$, $Y_R = 0,33$ для красного цвета; $X_G = 0,21$, $Y_G = 0,71$ для зеленого цвета; $X_B = 0,14$, $Y_B = 0,08$ для синего цвета.

Цвет смеси изменяется в зависимости от интенсивности возбуждения люминофоров. Например, в случае, когда возбуждается лишь один из них, цвет свечения совпадает с одним из основных цветов кинескопа (красным, зеленым, синим), и точка, характеризующая его на цветовом графике, перемещается в одну из вершин цветового треугольника RGB .

Если лишь один из трех люминофоров не возбуждается, то цвет свечения экрана кинескопа становится дополнительным к отсутствующему основному цвету (голубым, пурпурным или желтым, соответственно), и характеризующая его точка располагается на стороне цветового треугольника RGB , противолежащей отсутствующему цвету. При равенстве уровней сигналов цвет свечения экрана становится белым.

Положение точки цвета F на цветовом графике определяется соотношением яркостей L смешиваемых цветов

$$L_R : L_G : L_B = 0,30E_R : 0,59E_G : 0,11E_B$$

которое, в свою очередь, зависит от уровней сигналов E_R , E_G , E_B , подводимых к электродам кинескопа.

С другой стороны, основные цвета колориметрической системы XYZ выбраны таким образом, что яркость любого цвета пропорциональна произведению его координаты Y на цветовом графике и цветового модуля m , характеризующего количество данного цвета:

$$L_R : L_G : L_B = m_R Y_R : m_G Y_G : m_B Y_B.$$

В итоге, при известных значениях координат основных цветов, получаем соотношение между цветовыми модулями и размахами сигналов основных цветов

$$m_R = \frac{0,30}{0,33} E_R; \quad m_G = \frac{0,59}{0,77} E_G; \quad m_B = \frac{0,11}{0,08} E_B.$$

Координаты цвета, получаемого при смешении двух цветов, определяются по правилу нахождения центра тяжести двух тел с массами, пропорциональными цветовым модулям, и закрепленными на концах невесомого стержня.

Поскольку яркость смеси равна сумме яркостей составляющих цветов, то и модуль вектора суммарного цвета равен сумме модулей его слагаемых.

При расчетах цветовых координат X_F и Y_F цвета F , воспроизводимого на экране кинескопа при смешении трех основных цветов, можно пользоваться правилом нахождения центра тяжести невесомого треугольника, в вершинах которого закреплены массы, численно равные цветовым модулям.

В этом случае координаты X_F и Y_F определяются следующим образом:

$$X_F = \frac{m_R X_R + m_G X_G + m_B X_B}{m_R + m_G + m_B};$$

$$Y_F = \frac{m_R Y_R + m_G Y_G + m_B Y_B}{m_R + m_G + m_B}.$$

Воспроизводимый на экране цвет определяется по цветовому графику, показанному на рис. 4.8.

4.2.4. Равноконтрастная цветовая диаграмма

Для определения точности воспроизведения цвета на телевизионном экране необходимо выбрать правильную меру оценки разности сравниваемых цветов. Различие между цветами целесообразно оценивать в порогах цветоразличения, которые наблюдатель в состоянии заметить.

Экспериментальные данные о чувствительности зрения к изменению цветности для разных точек цветового графика представлены на рис. 4.9 в виде эллипсов различной величины и ориентации, внутри которых глаз не ощущает разницы в цвете (для наглядности эллипсы изображены с 10-кратным увеличением). Полуоси эллипсов пропорциональны порогам цветоразличения.

Пороги в разных участках цветовой диаграммы XY резко различны, что затрудняет использование ее при оценке разницы цветов. Для устранения этого недостатка была разработана и рекомендована МКО равноконтрастная диаграмма цветности (рис. 4.10), полученная из диаграммы цветности XY путем проекции ее на новую плоскость UV .

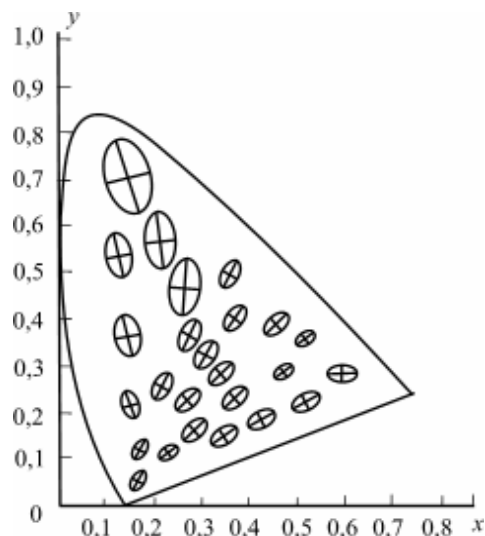


Рисунок 4.9 — Пороги различимости на графике МКО

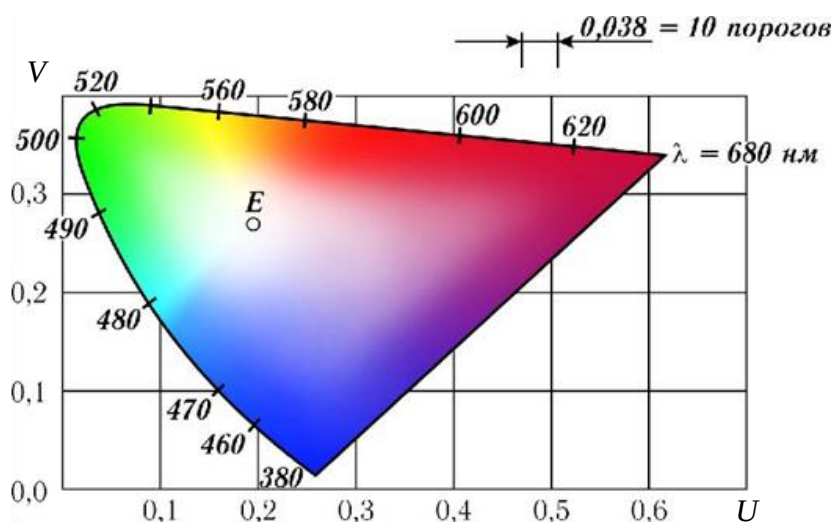


Рисунок 4.10 — Равноконтрастная диаграмма цветности UV

Координаты цветности в новой системе цветов определяются из соотношений:

$$U = \frac{2x}{6y - x + 1,5}; \quad V = \frac{2y}{6y - x + 1,5}.$$

В результате такого преобразования на равноконтрастном графике пороги цветоразличения представляют собой равные окружности, а величина порога составляет 0,0038 единиц UV .

В телевидении для оценки цветовых различий, обусловленных искажениями не только цветности, но и яркости, используют рекомендованное МКО в 1964 г. равноконтрастное цветовое пространство.

Координатами пространства являются индексы яркости W^* и цветности U^* и V^* , определяемые из следующих соотношений:

$$U^* = 13W^*(U - U_0); V^* = 13W^*(V - V_0); W^* = 25(Y')^{1/3} - 17,$$

где Y' — относительная яркость исследуемого цвета к яркости белого, %; U_0, V_0 и U, V — координаты цветности опорного белого и оцениваемых цветов соответственно в системе U^*, V^*, W^* .

Разность между цветами определяется в равноконтрастном цветовом пространстве МКО как расстояние ΔE между двумя точками

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta U^*)^2 + (\Delta V^*)^2 + (\Delta W^*)^2}, \quad (4.3)$$

где $\Delta U^*, \Delta V^*, \Delta W^*$ — разности соответствующих координат сравниваемых цветов в системе U^*, V^*, W^* .

Для количественной оценки качества цветопередачи вводится **индекс цветопередачи**

$$R = 100 - 4,6\Delta E.$$

Для оценки качества цветопередачи по совокупности испытательных цветов используют суммарный индекс цветопередачи (ИЦП) R_a

$$R_a = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (100 - 4,6\Delta E_i),$$

где i — номер испытательного цвета из набора m цветов; ΔE_i — цветовые разности, определяемые из (4.3).

Экспериментально установлено, что расчетным значениям R_a соответствуют следующие экспертные оценки качества цветопередачи (см. табл. 4.2).

Таблица 4.2 — Оценка качества цветопередачи по значению ИЦП

R_a	Оценка
80...100	«Отлично»
65...80	«Очень хорошо»
50...65	«Хорошо»
30...50	«Удовлетворительно»

4.2.5. Формирование сигналов цветного телевидения

Полная информация о цвете в телевидении передается сигналами, соответствующими

трем цветам. Ими могут быть, в частности, сигналы E_R , E_G , E_B , пропорциональные яркости красного, зеленого и синего основных цветов кинескопа телевизионного приемника, соответственно. Однако по ряду причин, из которых главной является обеспечение совместимости цветной телевизионной системы с монохромной (черно-белой), используются яркостный сигнал E_Y и два цветоразностных сигнала E_{R-Y} и E_{B-Y} .

В линейной системе при условии равнотенсивного воспроизведения на экране кинескопа белого цвета, полученного при равенстве амплитуд подводимых к нему сигналов ($E_R = E_G = E_B$), яркостный сигнал определяется следующим образом [12]

$$E_Y = 0,30E_R + 0,59E_G + 0,11E_B .$$

Кроме яркостного сигнала передаются еще два цветоразностных сигнала. Один из них равен разности амплитуд сигналов красного и яркостного каналов

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

а второй равен разности амплитуд сигналов синего и яркостного каналов

$$E_{B-Y} = E_B - E_Y = -0,30E_R - 0,59E_G + 0,89E_B .$$

Оба этих сигнала формируются в матричных схемах на передающей стороне.

Третий цветоразностный сигнал по каналу связи не передается. Он восстанавливается в матричной схеме приемника путем сложения сигналов E_{R-Y} и E_{B-Y} в следующем соотношении

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

Благодаря применению цветоразностных сигналов система ЦТВ приобретает ряд достоинств. Цветоразностные сигналы несут информацию только об изменении цветности, поэтому уровни этих сигналов не влияют на общую яркость свечения экрана: увеличивая яркость свечения одних люминофоров, они одновременно и соответственно уменьшают яркость свечения других. Их размах пропорционален насыщенности цвета и обращается в нуль при передаче белого цвета и всех градаций серого, когда $E_R = E_G = E_B$. Поскольку в большинстве изображений преобладают слабонасыщенные цвета, то средний размах цветоразностных сигналов меньше максимального и много меньше размаха сигналов основных.

Цветоразностные сигналы, как и сигналы основных цветов, можно передавать в более узкой полосе частот, чем яркостный сигнал, поскольку зрение человека не различает цветов мелких деталей изображения. Например, в стандарте SECAM при полосе частот яркостного сигнала 6,0 МГц цветоразностные сигналы передаются в полосе 1,5 МГц.

В линейной системе помехи по каналу цветности не меняют яркости воспроизводимых изображений и менее заметны.

Сигналы, управляющие яркостью свечения трех люминофоров цветного кинескопа восстанавливаются в приемнике путем сложения яркостного сигнала E_Y с цветоразностными сигналами:

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

Обычно эти преобразования осуществляются в видеопроцессоре телевизионного приемника или на электродах цветного кинескопа путем одновременной подачи яркостного сигнала в отрицательной полярности на катоды всех трех электронных прожекторов и отдельной подачи

цветоразностных сигналов в положительной полярности на модуляторы соответствующих прожекторов (в кинескопах с дельтовидным расположением прожекторов).

Отсутствие какого-либо из принимаемых или восстанавливаемых сигналов сопровождается искажениями цветопередачи.

4.2.6. Сигналы генератора цветных полос и цветовой график

Для настройки и контроля аппаратуры цветного телевидения используются три последовательности сигналов прямоугольной формы с равным, принимаемым за единицу, размахом.

Последовательности отличаются друг от друга числом периодов изменения яркости в пределах активной части строки, как показано на рис. 4.11.

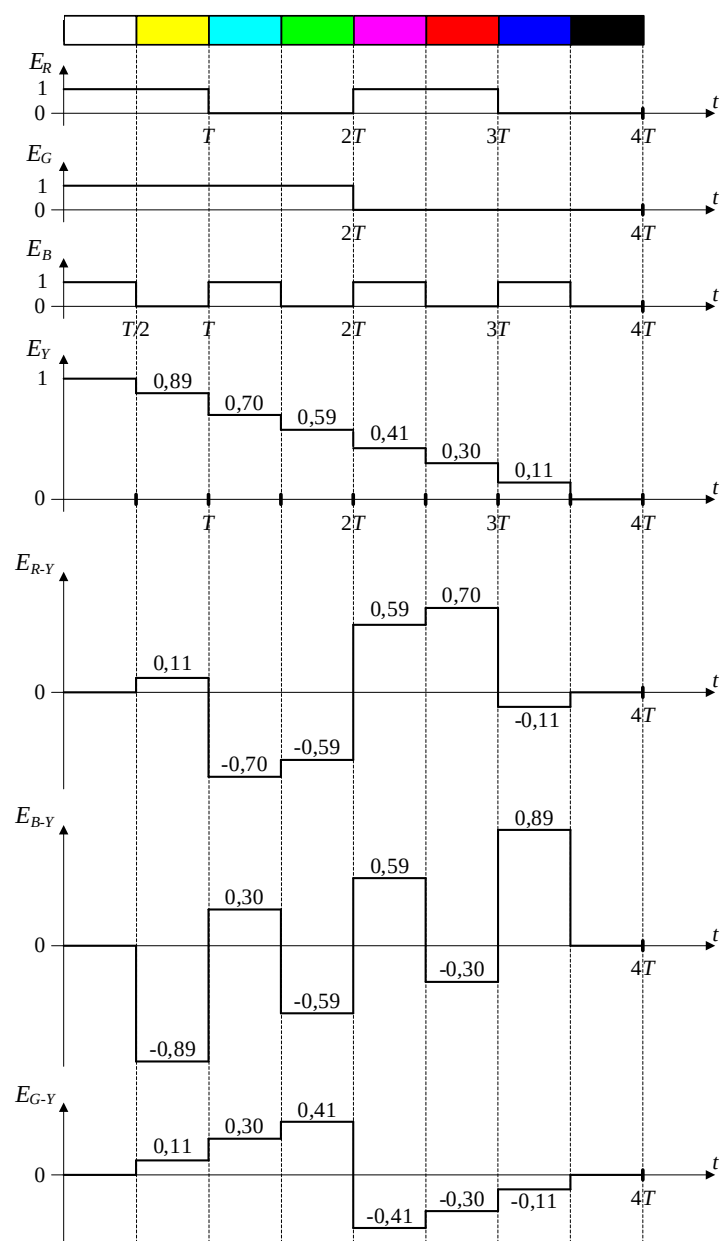


Рисунок 4.11 — Параметры сигналов генератора цветных полос

Сигнал E_G имеет один период изменения яркости, сигнал E_R — два периода, сигнал E_B — четыре периода. Сигналы создают на экране воспроизводящего устройства, например, цветного кинескопа, восемь вертикальных цветных полос, три из которых окрашены в основные цвета

кинескопа (красный, зеленый и синий), три – в дополнительные к ним цвета (голубой, пурпурный и желтый), соответственно, одна — в белый и одна — в черный цвет.

На рис. 4.11 показано, что полосы следуют слева направо по убывающей яркости со следующей очередностью смены цветов: белый, желтый, голубой, зеленый, пурпурный, красный, синий, черный.

Уровни яркостного и цветоразностных сигналов на каждой из полос задаются путем взвешенного суммирования сигналов цветных полос, то есть с умножением на соответствующие яркостные коэффициенты.

Цветность полос устанавливается по цветовому графику (цветовому локусу), изображенному на рис. 4.8.

4.3. Описание программы «Исследование параметров цветности телевизионных изображений»

Экспериментальные исследования в лабораторной работе проводятся на персональном компьютере с использованием программы «Исследование параметров цветности телевизионных изображений».

Интерфейс программы состоит из трех вкладок, показанных на рис. 4.12 — 4.14.

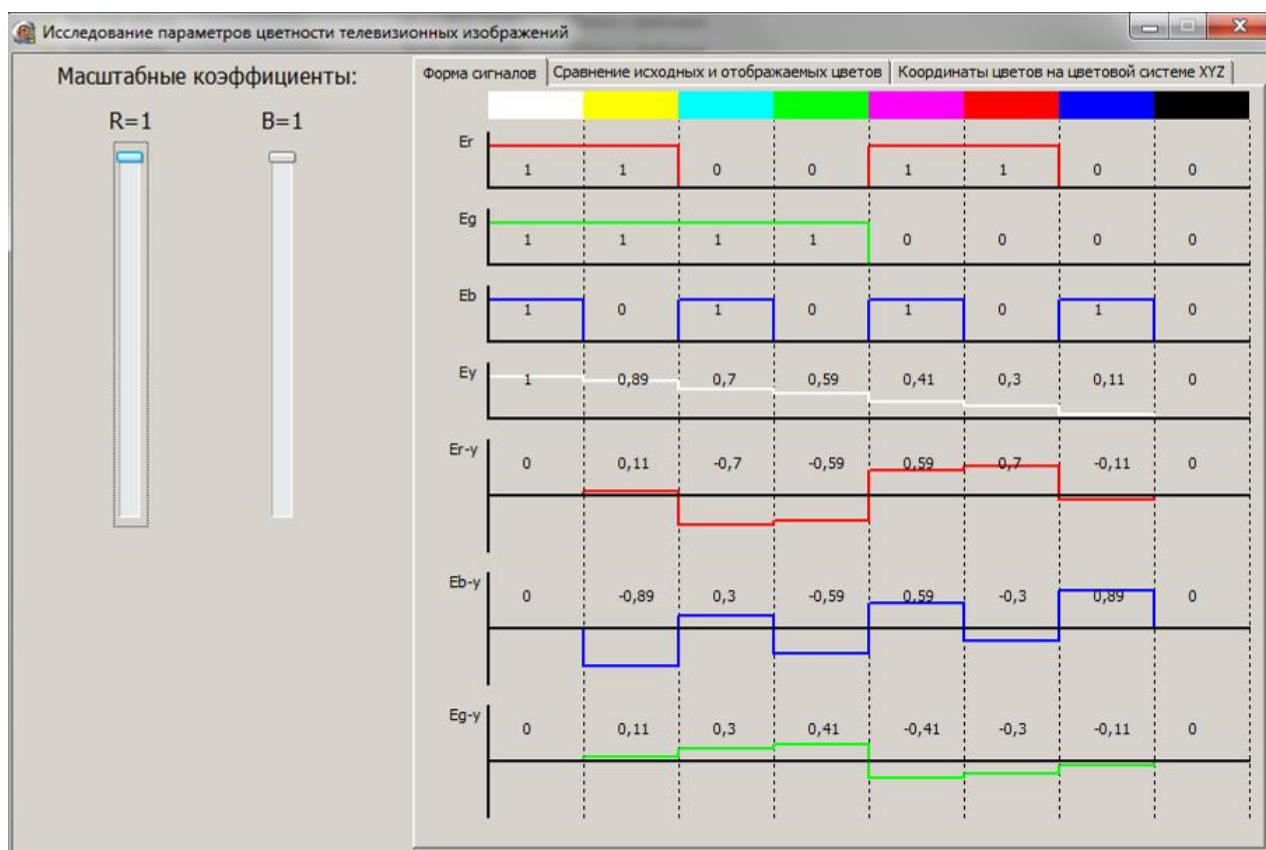


Рисунок 4.12 — Внешний вид окна программы с открытой вкладкой «Форма сигналов»

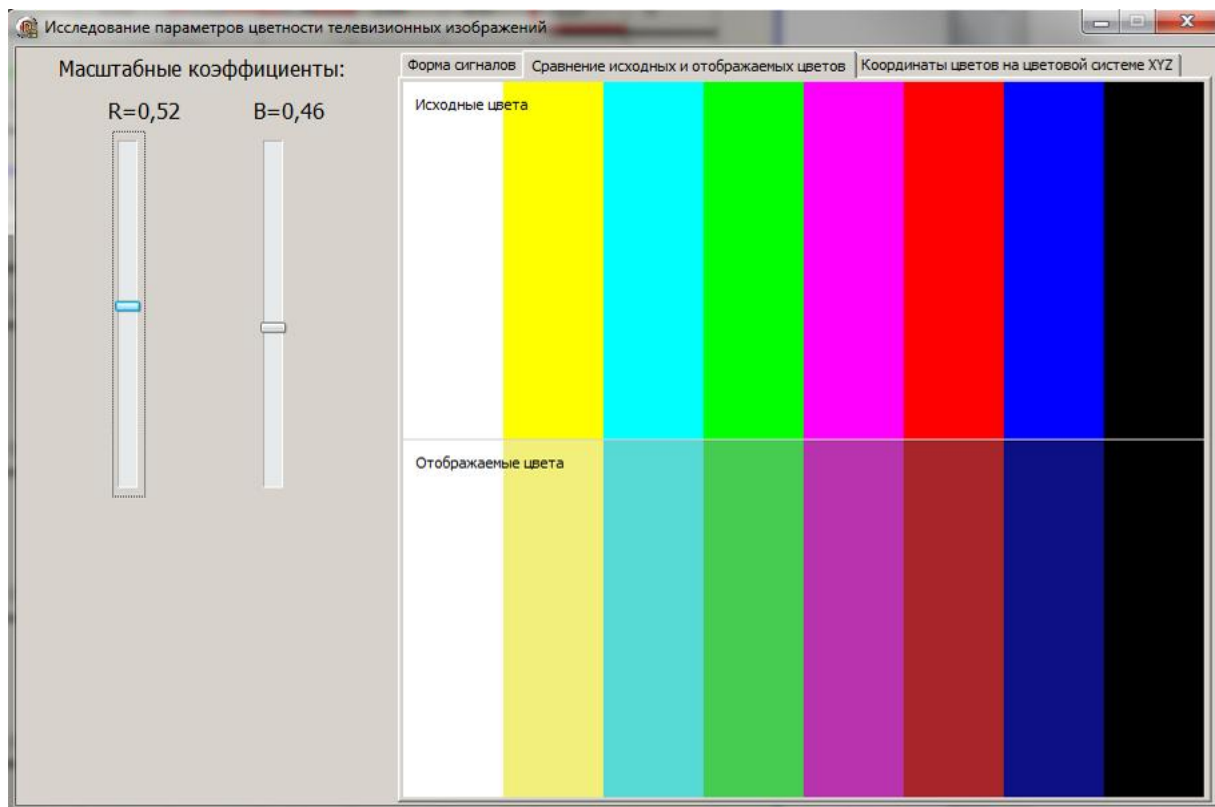


Рисунок 4.13 — Внешний вид окна программы с открытой вкладкой
«Сравнение исходных и отображаемых цветов»

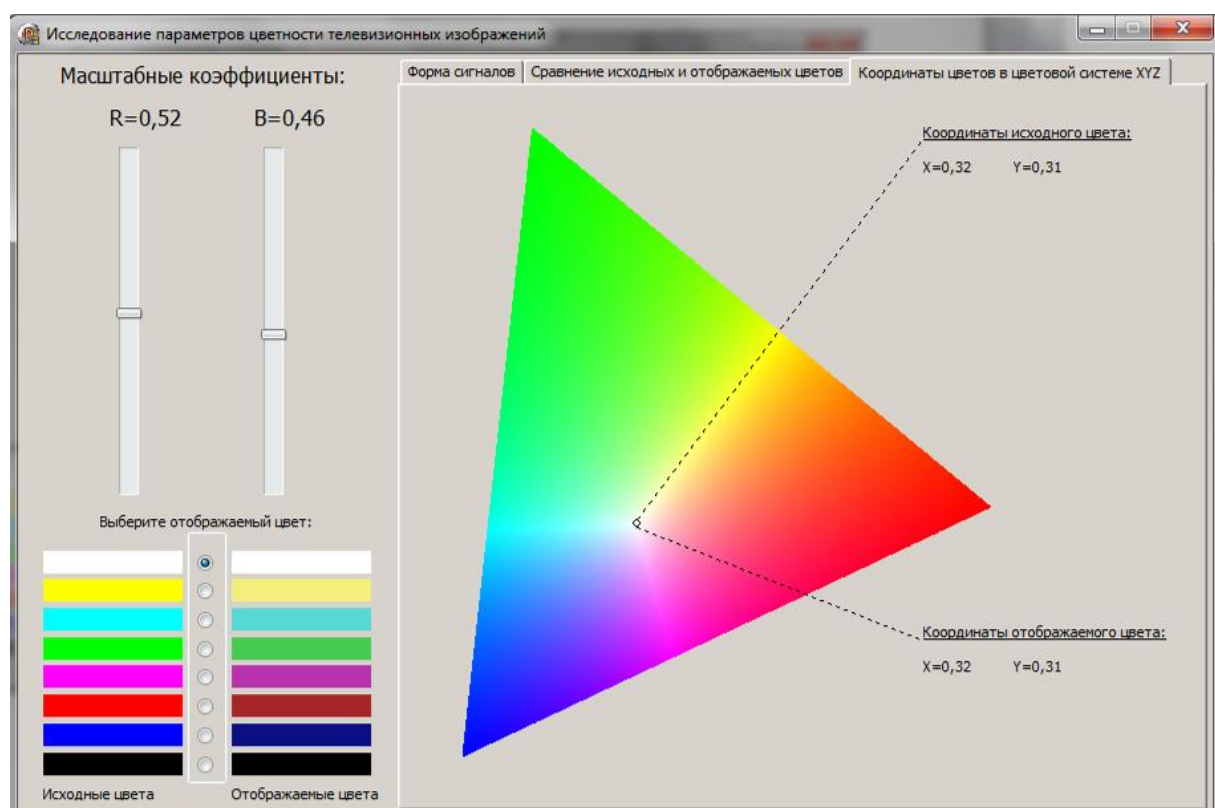


Рисунок 4.14 — Внешний вид окна программы с открытой вкладкой
«Координаты цветов в цветовой системе XYZ»

Первая вкладка «Форма сигналов» (см. рис. 4.12) содержит уровни сигналов E_R , E_G , E_B и E_Y , соответствующие каждому из исследуемых цветов, а также уровни цветоразностных сигналов E_{R-Y} , E_{B-Y} , E_{R-Y} . В верхней части вкладки расположены восемь прямоугольников, окрашенных в цвета, соответствующие сигналам E_R , E_G , E_B и E_Y . Величину масштабных коэффициентов « R » и « B », соответствующих изменениям при передаче сигналов, можно задать с помощью соответствующих движков. Уровни всех сигналов (кроме E_Y), а также отображаемые цвета, изменяются при изменении любого из масштабных коэффициентов « R » и « B ».

Вторая вкладка «Сравнение исходных и отображаемых цветов» (см. рис. 4.13) появляется сравнить между собой исходные и отображаемые цвета, которые формируются при изменении масштабных коэффициентов « R » и « B ».

Третья вкладка «Координаты цветов в цветовой системе XYZ» (см. рис. 4.14) позволяет увидеть координаты каждого из восьми исследуемых цветов (исходного и отображаемого) в цветовой системе XYZ.

Отображаемые цвета и соответствующие им уровни сигналов соответствуют выставленным значениям коэффициентам « R » и « B », причем изменение каждого из этих коэффициентов в первой вкладке приводит к синхронному изменению искаженных цветов и соответствующих им уровней сигналов и координат во второй и третьей вкладках.

4.4. Порядок выполнения теоретических исследований

В ходе теоретических исследований необходимо выполнить следующие действия:

- рассчитать параметры и построить вид цветоразностных сигналов $R-Y$ и $B-Y$, используя для этого масштабные коэффициенты « R » и « B », выбранные из таблицы 4.3 по предпоследней M и последней N цифрам номера зачетной книжки;
- рассчитать и построить вид сигналов основных цветов R , G и B , используя для этого результаты расчета параметров цветоразностных сигналов;
- рассчитать координаты цветов всех восьми цветных полос;
- определить цвета полос, воспроизводимые на экране кинескопа, используя для этого цветовой locus (см. рис. 4.8, б).

Таблица 4.3 — Исходные данные для выполнения теоретических расчетов и экспериментальных исследований

M	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
« R »	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
« B »	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1

4.5. Порядок выполнения экспериментальных исследований

4.5.1. Запустить программу «Исследование параметров цветности телевизионных изображений» на компьютере с дисплеем на основе ЭЛТ (кинескопа).

4.5.2. Установить требуемые по заданию значения коэффициентов « R » и « B ».

4.5.3. Для каждого из цветов сравнить уровни сигналов E_R , E_G , E_B , E_Y , E_{R-Y} , E_{B-Y} , E_{R-Y} , полученных в п. 4.4, с соответствующими значениями, полученными во вкладке «Форма сигналов».

4.5.4. Открыть вторую вкладку «Сравнение исходных и отображаемых цветов». Сравнить цвета, полученные в расчетном разделе с помощью цветового локуса, с цветами, показанными в разделе «Искаженные цвета».

4.5.5. Открыть третью вкладку «Координаты цветов в цветовой системе XYZ ». Сравнить координаты каждого из цветов в цветовой системе XYZ , полученные в расчетном разделе, с координатами, показанными во вкладке.

4.5.6. Запустить программу «Исследование параметров цветности телевизионных изображений» на компьютере, подключенном к ЖК воспроизводящему устройству.

4.5.7. Выполнить пп. 4.5.2. и 4.5.4.

4.5.8. Запустить программу «Исследование параметров цветности телевизионных изображений» на компьютере, подключенном к плазменному воспроизводящему устройству.

4.5.9. Выполнить пп. 4.5.2. и 4.5.4.

4.5.10. Сделать выводы о цветопередаче искаженных цветов каждого из используемых воспроизводящих устройств.

4.6. Контрольные вопросы

4.6.1. Вопросы для допуска к работе

4.6.1.1. Поясните, что представляет собой цветовая система RGB .

4.6.1.2. Поясните, что обозначают понятия светлота, цветовой тон, насыщенность цвета.

4.6.1.3. Поясните, в чем суть геометрического представления цвета.

4.6.1.4. Поясните, что представляет собой цветовая система XYZ .

4.6.1.5. Что такое цветовой локус?

4.6.1.6. Что представляет собой равноконтрастная цветовая диаграмма?

4.6.1.7. Какие сигналы используются для передачи информации о цвете в системах цветного телевидения?

4.6.1.8. Почему в системах цветного телевидения используют цветоразностные сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y} ?

4.6.1.9. Запишите выражение для яркостного сигнала.

4.6.1.10. Каким образом восстанавливается в цветных телевизионных приемниках третий цветоразностный сигнал?

4.6.1.11. В чем заключаются преимущества использования цветоразностных сигналов в системах цветного телевидения?

4.6.1.12. Исходя из каких условий выбирают значения цветовых поднесущих?

4.6.1.13. Каким образом формируются сигналы основных цветов в телевизионном приемнике?

4.6.1.14. Каким образом формируются сигналы генератора цветных полос?

4.6.1.15. Каким образом по цветовому графику может быть определен цвет, дополнительный к заданному?

4.6.1.16. Что понимается под цветовым модулем?

4.6.1.17. Как рассчитать цветовые координаты смеси двух цветов?

4.6.2. Вопросы для подготовки к защите

4.6.2.1. Какого вида искажения наблюдаются при неверном выборе значения частоты цветовой поднесущей?

4.6.2.2. Каким образом на цветовые искажения влияет тип воспроизводящего устройства?

4.6.2.3. Каким образом осуществляется переход от цветовой системы *RGB* к системе *XYZ*?

4.6.2.4. Каким образом осуществляется переход от цветовой системы *XYZ* к равноконтрастной системе *UV*?

4.6.2.5. Составить матрицу для формирования цветоразностного сигнала зеленого цвета.

4.6.2.6. На что влияет уровень подавления цветовой поднесущей?

4.6.2.7. Каковы искажения цветного изображения при временной несовместимости яркостного и цветоразностных сигналов?

4.6.2.8. Рассчитайте цветовые координаты смеси двух цветов.

4.6.2.9. Как влияет величина ослабления красного цвета на качественные показатели цветного изображения?

4.6.2.10. Приведите структурную схему декодера *SECAM*.

4.6.2.11. Приведите структурную схему декодера *PAL*.

4.6.2.12. Приведите структурную схему декодера *NTSC*.

5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

«ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕРФЕЙСОВ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМ»

5.1. Цель работы

Целью лабораторной работы является ознакомление студентов с принципами реализации и параметрами аналоговых и цифровых телевизионных интерфейсов, а также освоение методики оценки параметров аналоговых и цифровых телевизионных интерфейсов.

5.2. Аналоговые телевизионные интерфейсы

5.2.1. Базовый аналоговый интерфейс VGA

В телевизионной технике и в компьютерах широко используется 15-контактный аналоговый интерфейс *D-Sub HD15 (Mini-D-Sub)*, который по традиции называют VGA-интерфейсом (рис. 5.1). Интерфейс VGA передает сигналы красного, зеленого и синего цветов (*RGB*), а также информацию о горизонтальной развертке (*H-Sync*) и вертикальной синхронизации (*V-Sync*).

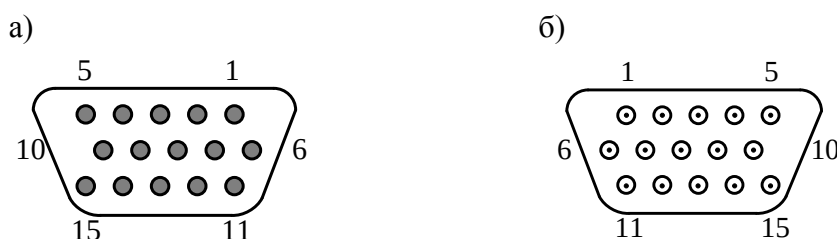


Рисунок 5.1 — Размещение контактов на 15-контактных разъемах VGA для видеокарты (а) и монитора (б) ПК

Аналоговый интерфейс VGA был разработан в 1987 году. Интерфейс предназначен для мониторов на электронно-лучевых трубках (ЭЛТ). Однако сегодня таким интерфейсом оснащаются практически все проигрыватели *DVD*, плазменные и ЖК телевизионные приемники, ТВ тюнеры. Интерфейс VGA передаёт сигнал построчно, при этом изменение напряжения означает изменение яркости (напряжение сигнала составляет $(0,7 \dots 1)$ В). Для ЭЛТ это соответствует изменению интенсивности луча электронных пушек кинескопа (и, соответственно, яркости светового пятна на экране).

В табл. 5.1 приведено назначение контактов разъема VGA.

Таблица 5.1. — Назначения контактов 15-тиконтактного аналогового разъема VGA

Pin	Назначение	Pin	Назначение	Pin	Назначение
1	Красный видео	6	Красный общий	11	Идентификатор монитора бит 0
2	Зеленый видео	7	Зеленый общий	12	Идентификатор монитора бит 1
3	Голубой видео	8	Голубой общий	13	Горизонтальная синхронизация
4	Идентификатор монитора бит 2	9	Ключ (ножка отсутствует)	14	Вертикальная синхронизация
5	Общий	10	Синхронизация общий	15	Идентификатор монитора бит 3

В настоящее время интерфейс *VGA* считается устаревшим и активно вытесняется цифровыми интерфейсами. Крупнейшие производители электроники — компании *Intel* и *AMD* — объявили о полном отказе от поддержки *VGA* к 2015 году.

5.2.2. Композитный интерфейс *RCA*

Композитный интерфейс давно и широко используется для подключения бытовой аудио- и видеоаппаратуры. Разъем для этого сигнала обычно обозначается как *RCA* (*Radio Corporation of America*). Используются также названия «тюльпан» или *VHS*-разъем. Подобными штекерами в видеоаппаратуре может передаваться не только композитное видео или аудио, но и другие сигналы типа компонентного видео либо телевидения высокой четкости (*HDTV* — *High Definition Television*).



Рисунок 5.2 — Внешний вид разъемов интерфейса *RCA*

Интерфейс *RCA* выполняется в виде трех разноцветных разъемов: жёлтый — для видеосигнала, белый — для моно аудиосигнала или левого канала стереофонического аудиосигнала, красный — для правого канала стереофонического аудиосигнала (рис. 5.2). Основным недостатком данного типа соединений является то, что при подключении сначала соединяется контактная пара сигнала, а затем — корпусов. Это может вызвать повреждения аппаратуры в момент соединения при наличии разности потенциалов между корпусами.

5.2.3. Комбинированный аналоговый интерфейс *SCART*

Интерфейс *SCART* является комбинированным аналоговым интерфейсом и широко распространен в Европе и Азии. Название происходит от французской аббревиатуры, предложенной в 1983 г. Объединением разработчиков радио- и телеаппаратуры Франции (*Syndicat des Constructeurs d'Appareils, Radiorecepteurs et Televiseurs* — *SCART*). Интерфейс сочетает аналого-

вые сигналы композитного видео, *S-Video* и *RGB*, стереозвук и управления. Каждый произведенный для Европы ТВ приемник или тюнер оснащается, как минимум, одним разъемом *SCART*.



Рисунок 5.3 — Внешний вид разъема *SCART*

Интерфейс удобен не только тем, что все сигналы подключается с помощью только одного кабеля, но и тем, что позволяет подключить к ТВ приемнику источник высококачественного *RGB*-видео без промежуточного кодирования в композитные или *S-Video*-сигналы и получить наилучшее качество изображения на экране (качество изображения и звука при подаче через *SCART* заметно

превосходит качество других аналоговых подключений).

Внешний вид разъема *SCART* показан на рис. 5.3.

Нумерация контактов и функциональное назначение контактов разъема *SCART* приведены

на рис. 5.4 и в табл. 5.2.

Разработчики заложили в интерфейс *SCART* дополнительные возможности, зарезервировав несколько контактов. Например, при помощи некоторых сигналов на контакте 8 можно управлять через *SCART* режимами ТВ приемника (переводить его в режим «монитор» и обратно), переключать ТВ приемник в режим работы с *RGB*-сигналами (контакт 16) и т.д. Контакты 10 и 12 предназначены для передачи через *SCART* цифровых данных, что делает количество команд практически неограниченным. Существуют несколько известных систем обмена информацией посредством *SCART*: *Megalogic* (используется компанией *Grundig*); *Easy Link* (компания *Philips*); *SmartLink* (компания *Sony*).

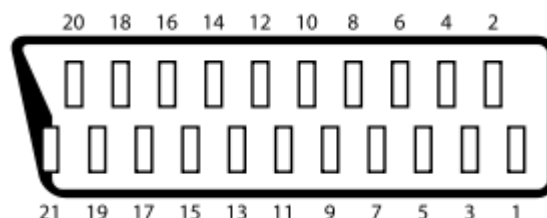


Рисунок 5.4 — Нумерация контактов разъема *SCART*

Таблица 5.2 — Функциональное назначение контактов разъема *SCART*

<i>Pin</i>	Назначение	<i>Pin</i>	Назначение	<i>Pin</i>	Назначение
1	Выход правого звукового канала	8	Переключатель AV-TV	15	Вход для красного сигнала <i>R/C</i> -канал <i>S-Video</i>
2	Вход правого звукового канала	9	Земля для зелёного сигнала	16	Переключатель <i>TV - RGB</i>
3	Выход левого звукового канала (или моно)	10	Синхросигнал (<i>Data 2</i>)	17	<i>Video</i> , общий/Общий <i>Y</i> -канала <i>S-Video</i>
4	Земля для звуковых каналов	11	Вход для зелёного сигнала <i>G</i>	18	Переключатель, общий
5	Земля для синего сигнала	12	<i>Data 2</i>	19	Выход видеосигнала/Выход <i>Y</i> -канала <i>S-Video</i>
6	Вход для левого звукового канала	13	Земля для красного сигнала/Общий <i>C</i> -канала <i>S-Video</i>	20	Вход видеосигнала/Вход <i>Y</i> -канала <i>S-Video</i>
7	Вход для синего сигнала <i>B</i>	14	<i>Data/Clock</i> , общий	21	Заземление корпуса

Предусмотрено четыре типа кабелей *SCART*: тип *U* — универсальный, обеспечивающий все соединения; тип *V* — без сигналов звука; тип *C* — без сигналов *RGB*; тип *A* — без видеосигналов и *RGB*. Компонентные режимы (*Y*, *Cb/Pb*, *Cr/Pr*) в стандарте *SCART* не поддерживаются. Однако некоторые производители *DVD*-плееров и ТВ приемников большого формата предусматривают возможность передачи через *SCART* и компонентного видеосигнала, который передается через контакты, используемые в стандарте для *RGB*-сигнала (от подключения по *RGB* такая возможность практически не отличается).

Для подключения к *SCART* композитных или *S-Video*-источников используются различные переходники, многие из которых являются универсальными (двунаправленными), с переключателем вход-выход.

В ПК не используется разъем *SCART*, однако, зная его спецификацию, всегда можно реализовать соответствующий переходник для использования аналогового компьютерного монитора в качестве приемника видеосигнала от источника или для подачи видеосигнала с компьютера на ТВ приемник, оборудованный разъемом *SCART*. Для подключения компьютера к ТВ приемнику по *RGB* необходимо, чтобы компьютер выдавал *RGB*-сигнал стандартного вида. Иногда *RGB*-сигнал подается через специальный 7-, 8- или 9-тиштырьковый комбинированный видеовыход. В этом случае в настройках видеокарты должна быть возможность переключения видеовыхода в *RGB*-режим. Если видеовыход на видеокарте имеет семь контактов (такой штекер называется *mini-DIN 7-pin*), то в нормальном режиме *S-Video*-сигнал подается на те же контакты, что и в обычном четырехконтактном *S-Video*-разъеме. В *RGB*-режиме сигналы по контактам могут распределяться разными способами (по усмотрению производителя).

5.3. Цифровые телевизионные интерфейсы

5.3.1. Интерфейс *DVI*

Цифровой видеоинтерфейс *Digital Visual Interface DVI* — это стандарт на интерфейс и соответствующий разъем (рис. 5.5), предназначенный для передачи видеоизображения на цифровые устройства отображения, такие как жидкокристаллические мониторы и проекторы. Разработан консорциумом *Digital Display Working Group*.

Формат данных, используемый в *DVI*, основан на формате последовательной передачи данных *PanelLink*, разработанном компанией *Silicon Image*.

Данный интерфейс использует технологию высокоскоростной передачи цифровых потоков *TMDS* (*Transition Minimized Differential Signaling* — дифференциальная передача сигналов с минимизацией перепадов уровней): три канала, передающие потоки видео и дополнительных данных, с пропускной способностью каждого канала до 3,4 Гбит/с.



Рисунок 5.5 — Внешний вид *DVI* разъема

Максимальная длина кабеля не указана в спецификации *DVI*. Реально кабель длиной до 4,5 м можно использовать для передачи изображения с разрешением до 1920×1200 точек. По кабелю длиной до 15 м можно передать в нормальном качестве изображение с разрешением 1280×1024 точек. Для передачи по кабелю большей длины (до 60 м) применяются усилители.

Различают три разновидности *DVI* интерфейсов: *DVI-A* (*Analog* — только аналоговая передача); *DVI-I* (*Integrated* — аналоговая и цифровая передача); *DVI-D* (*Digital* — только цифро-

вая передача).

Все современные видеокарты компьютеров имеют такой интерфейс или же обеспечивают его при помощи переходника из универсального интерфейса *DVI-I*. К разъему *DVI-I* можно подключать как цифровые, так и аналоговые мониторы. Переходник с интерфейса *DVI-I* на *VGA* обычно входит в комплект поставки ко многим графическим картам и позволяет подключать старые мониторы с 15-тиконтактной вилкой *D-Sub (VGA)*.

У некоторых видеокарт имеется цифровой интерфейс *DVI-D*, к которому можно подключать только цифровые мониторы. Визуально разъем этого интерфейса отличается от *DVI-I* отсутствием четырех контактов. Часто графические карты оснащаются двумя выходами *DVI*, и в этом случае они, как правило, относятся к универсальному интерфейсу. Такая видеокарта может одновременно работать с любыми мониторами, как с аналоговыми, так и с цифровыми.

Разъемы интерфейса *DVI* (*DVI-I* и *DVI-D*) имеют две разновидности: *Single Link* и *Dual Link*, которые отличаются количеством используемых контактов (в *Dual Link* задействованы все 24 цифровых контакта, а в *Single Link* — только 18). Вариант *Single Link* может применяться в устройствах с разрешением вплоть до 1920×1080 точек (полное разрешение *HDTV*). Интерфейс *Dual Link* обеспечивает в два раза большее разрешение.

5.3.2. Интерфейс *HDMI*

Цифровой мультимедийный интерфейс *HDMI (High Definition Multimedia Interface)* разработан совместно целым рядом крупных компаний: *Hitachi*, *Panasonic*, *Philips*, *Sony* и др.

Интерфейс *HDMI* на основе 19-контактный разъема широко используется для передачи сигналов телевидения высокой четкости (*HDTV*) с разрешением до 1920×1080 (1080i). Для передачи видеосигнала более высокого разрешения требуются уже 29-тиконтактные разъемы типа «В». Интерфейс *HDMI* может обеспечить до восьми каналов звука с разрядностью 24 бита и частотой дискретизации до 192 кГц. В интерфейсе предусмотрена возможность защиты авторских прав *Digital Rights Management (DRM)*.

Интерфейс *HDMI* использует технологию передачи сигналов *TDMS*, как и *DVI-D*, поэтому существуют переходники для этих интерфейсов. Пока интерфейс *HDMI* еще не заменил полностью *DVI*, такие переходники могут использоваться для подключения видеоаппаратуры по *DVI*-интерфейсу.

Кроме относительно большой стоимости *HDMI*-кабеля, у данного интерфейса есть еще один существенный недостаток: ограничение на длину кабеля. Рекомендованная длина кабеля для сигналов *HDMI* составляет до 5 м, максимальная — до 15 м. Удлинение кабеля до 35 м может быть достигнуто только путем использования усилителей-повторителей.

Пропускная способность *HDMI* находится в пределах от 4,9 до 10,2 Гбит/с.

Внешний вид и схематическое изображение *HDMI*-разъема показаны на рис. 5.6, функциональное назначение контактов — в табл. 5.3.

Конструктивно *HDMI*-кабель состоит из следующих частей:

- внешняя оболочка;
- экранирующая оплётка из проводников с дополнительной медной неизолированной

жилой для пайки;

- экран из алюминиевой фольги;
- полипропиленовая оболочка;
- экранированные витые пары с волновым сопротивлением 100 Ом для сигнала синхронизации и сигналов трех основных цветов; экран каждой витой пары имеет внешнюю изоляцию и проволоку для пайки;
- неэкранированная витая пара для сигналов *SDA SCL*;
- отдельно идущие проводники для питания и управляющих сигналов.

а)



б)

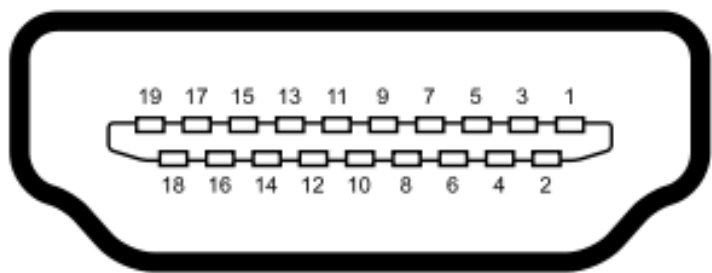


Рисунок 5.6 — Внешний вид (а) и схематическое изображение *HDMI*-разъема (б)

Таблица 5.3 — Функциональное назначение контактов (*pin*) *HDMI*-разъема

<i>Pin</i>	Назначение	<i>Pin</i>	Назначение	<i>Pin</i>	Назначение
1	<i>TMDS Data2+</i>	8	<i>TMDS Data0 Shield</i>	15	<i>SCL</i> (<i>I²C</i> Serial Clock for <i>DDC</i>)
2	<i>TMDS Data2 Shield</i>	9	<i>TMDS Data0-</i>	16	<i>SDA</i> (<i>I²C</i> Serial Data Line for <i>DDC</i>)
3	<i>TMDS Data2-</i>	10	<i>TMDS Clock+</i>	17	<i>DDC/CEC/HEC</i> Ground
4	<i>TMDS Data1+</i>	11	<i>TMDS Clock Shield</i>	18	+5V Power (max 50 mA)
5	<i>TMDS Data1 Shield</i>	12	<i>TMDS Clock+</i>	19	Hot Plug Detect (All versions) and <i>HEC Data+</i> (Optional, <i>HDMI</i> 1.4+ with Ethernet)
6	<i>TMDS Data1-</i>	13	<i>CEC</i>		
7	<i>TMDS Data0+</i>	14	Reserved (<i>HDMI</i> 1.0 — 1.3c), <i>HEC Data-</i> (Optional, <i>HDMI</i> 1.4+ with Ethernet)		

В табл. 5.3 использованы следующие сокращения: *CEC* (*Consumer Electronics Control*), *DDC* (*Display Data Channel*), *HEC* (*HDMI Ethernet Channel*).

В сентябре 2013 года была анонсирована спецификация *HDMI 2.0*. Увеличение скорости до 18 Гбит/с позволит *HDMI 2.0* поддерживать разрешение *Full HD 3D* с частотой 120 кадров в секунду и разрешение 4K (3840×2160 точек) с частотой 60 кадров в секунду. Также спецификация *HDMI 2.0* предполагает поддержку частоты 25 кадров в секунду для 3D форматов, увеличение числа аудиоканалов до 32 и поддержку дисплеев с соотношением сторон 21:9.

5.3.3. Интерфейс *UDI*

В начале 2009 года компания *Intel* анонсировала новый цифровой интерфейс *UDI* (*Unified Display Interface*) для подключения цифровых мониторов к компьютеру. Компания *Intel* планирует полностью отказаться от аналогового интерфейса *VGA* и осуществлять подключение компьютеров к устройствам отображения информации через новый цифровой интерфейс *UDI*.

Внешний вид разъема интерфейса *UDI* изображен на рис. 5.7.



Рисунок 5.7 — Внешний вид разъема *UDI*

Создание интерфейса обусловлено тем, что и *VGA*-интерфейс, и цифровой *DVI* интерфейсы не поддерживают новейшие системы защиты видео и аудио данных, которыми оснащаются цифровые носители нового поколения, такие как *HD-DVD* и *Blu-ray*.

Таким образом, *UDI* является практически аналогом интерфейса *HDMI*, используемого для подключения ПК к *HD TV* приемникам. Интерфейс *UDI* имеет пропускную способность не более 16 Гбит/с. Основным отличием *UDI* от *HDMI* является отсутствие звукового канала, то есть *UDI* способен передавать только видеоизображение и целиком рассчитан на работу с компьютерными мониторами, а не с *HD TV* приемниками. Интерфейс полностью совместим с *HDMI*, а также способен поддерживать все известные в настоящее время системы защиты видео и аудио данных.

5.3.4. Интерфейс *DisplayPort*

Видеоинтерфейс *DisplayPort* разработан рядом крупных компаний, в том числе *ATI Technologies*, *Dell*, *Hewlett-Packard*, *NVIDIA*, *Royal Philips Electronics* и *Samsung Electronics*.

DisplayPort является универсальным цифровым интерфейсом, позволяющим подключать дисплеи различных типов (плазменные, жидкокристаллические, ЭЛТ-мониторы и др.) к бытовым устройствам и к компьютерному оборудованию (рис. 5.8, 5.9). Спецификация *DisplayPort 1.0* предусматривает возможность одновременной передачи и видеосигнала, и аудиопотока (аналогично *HDMI*).



Рисунок 5.8 — Внешний вид разъема интерфейса *DisplayPort*

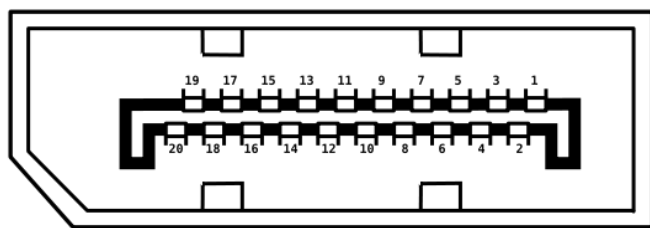


Рисунок 5.9 — Схематическое изображение контактов разъема *DisplayPort*

Максимальная пропускная способность по стандарту *DisplayPort* составляет 10,8 Гбит/с, причем для передачи используется относительно тонкий соединительный кабель с четырьмя проводниками.

Другая особенность *DisplayPort* заключается в поддержке функций за-

щиты видео и аудио данных (аналогично *HDMI* и *UDI*). Встроенные средства безопасности позволяют отображать содержимое документа или видеофайла только на ограниченном количестве «санкционированных» устройств, что теоретически уменьшает вероятность незаконного копирования материалов, защищенных авторскими правами.

Версия спецификации *DisplayPort* 1.2 была принята в январе 2010 года. *DisplayPort* поддерживает *HDCP* (*High-bandwidth Digital Content Protection*) версии 1.3 и имеет пропускную способность вдвое большую, чем *Dual-Link DVI*.

Основное отличие *DisplayPort* от *HDMI* — небольшое повышение пропускной способности (10,8 Гбит/с вместо 10,2 Гбит/с). Максимальная длина кабеля *DisplayPort* совпадает с *HDMI* и составляет 15 м.

Через интерфейс *DisplayPort* 1.2 можно подключить до двух мониторов, воспроизводящих изображение с разрешением 2560×1600 точек с частотой 60 Гц, либо до четырёх мониторов с разрешением 1920×1200 точек. При использовании одиночного монитора поддерживаемое разрешение возрастает до 3840×2400 точек.

5.3.5. Интерфейс *Thunderbolt*

Интерфейс *Thunderbolt* (ранее известный как *Light Peak*) (англ. *thunderbolt* — удар молнии) разработан корпорацией *Intel* на базе технологии *DisplayPort* для подключения периферийных устройств к ПК; представлен рынком компанией *Apple*. Позиционируется как замена существующих проводных интерфейсов, таких как *USB*, *SCSI*, *eSATA*, *FireWire* и *DVI*.

Основными характеристиками порта *Thunderbolt* являются:

- скорость передачи до 10 Гбит/с;
- возможность одновременного соединения с множеством устройств;
- поддержка протоколов *DisplayPort* и *PCI Express*;
- двунаправленная передача;
- поддержка пакетного транспортного уровня с поддержкой гарантированного качества обслуживания *QoS* (*Quality of Service*);
- поддержка технологии «*Plug-and-play*».

Длина электрических кабелей может составлять до трех метров; оптические кабели могут иметь протяженность до нескольких десятков метров.

Скорость передачи данных в *Thunderbolt* существенно превосходит скорости, достижимые в таких интерфейсах, как *USB 2.0*, *FireWire 400*, *Gigabit Ethernet*, *eSATA/SATA 300*, *USB 3.0*, и сравнима со скоростями в интерфейсах *Fibre Channel* и *HDMI* (рис. 5.10). Такой пропускной

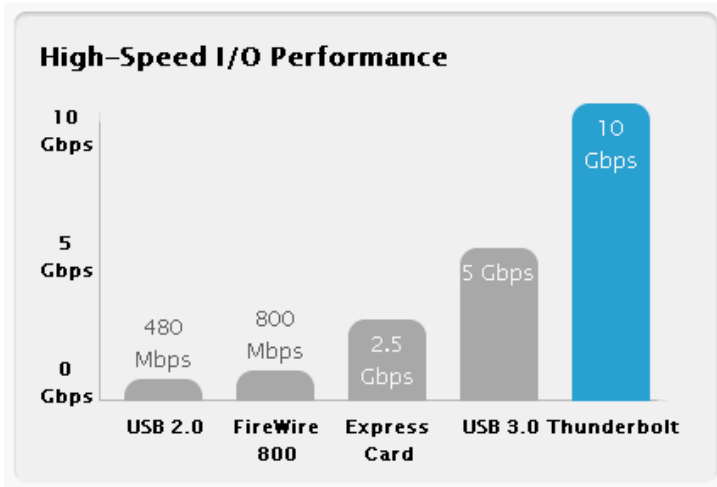


Рисунок 5.10 — Сравнительная диаграмма скорости передачи данных через некоторые интерфейсы

способности достаточно, чтобы соединять цепочкой до шести высокоскоростных устройств без использования концентратора или коммутатора.

Разъемы *Thunderbolt* практически идентичны коннекторам *DisplayPort-mini*. Режим совместимости поддерживает все уже существующие устройства с интерфейсом *DisplayPort-mini*. Также поддерживается работа устройств с интерфейсами *DVI*, *HDMI*, и дисплеи *VGA* с помощью существующих переходников. Универсальный разъем используется и для электрического, и для

оптического вариантов исполнения интерфейса *Thunderbolt*. В ближайшее время *Intel* планирует увеличить скорость передачи данных по *Thunderbolt* до 100 Гбит/с на расстояния до 100 м при использовании оптического кабеля.

5.4. Описание лабораторной установки

5.4.1. Структурная схема лабораторной установки

Лабораторная установка для исследования ТВ интерфейсов включает в себя ПК, два ТВ приемника и набор интерфейсных кабелей (рис. 5. 11).

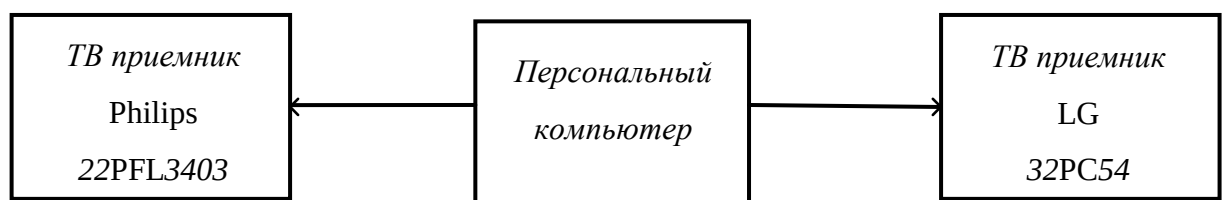


Рисунок 5. 11 — Структурная схема лабораторной установки для исследования ТВ интерфейсов

ТВ приемник с ЖК воспроизводящим устройством (модель *Philips 22PFL3403*) [14] и/или ТВ приемник с плазменным воспроизводящим устройством (модель *LG32PC54*) [13] подключаются к выходам видеокарты ПК при помощи интерфейсных кабелей.

ТВ приемники используются в качестве мониторов ПК. Настройка выходов видеокарты ПК выполняется с использованием программы *Catalyst (TM) Control Center*. При помощи ПК формируется изображение испытательной таблицы, по которому выполняется оценка показате-

лей качества ТВ изображений при использовании различных интерфейсов.

5.4.2. Общая характеристика интерфейсов ТВ приемников лабораторной установки

Внешний вид панели интерфейсных подключений ТВ приемника *LG 32PC543* [13] показан на рис. 5.12.

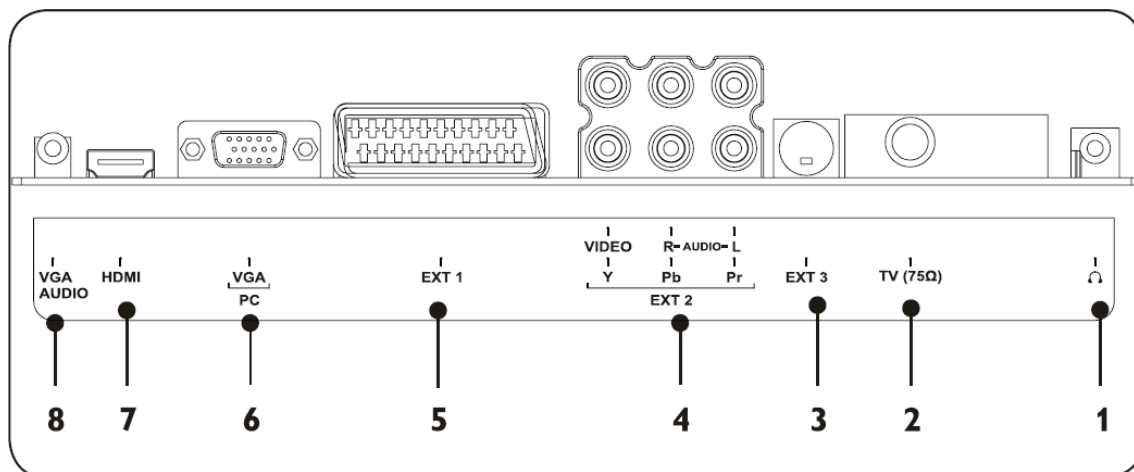


Рисунок 5.12 — Внешний вид панели интерфейсных подключений
ТВ приемника *LG 32PC543*

Внешний вид панели интерфейсных подключений ТВ приемника *Philips 22PFL3403* [14] показан на рис. 5.13.

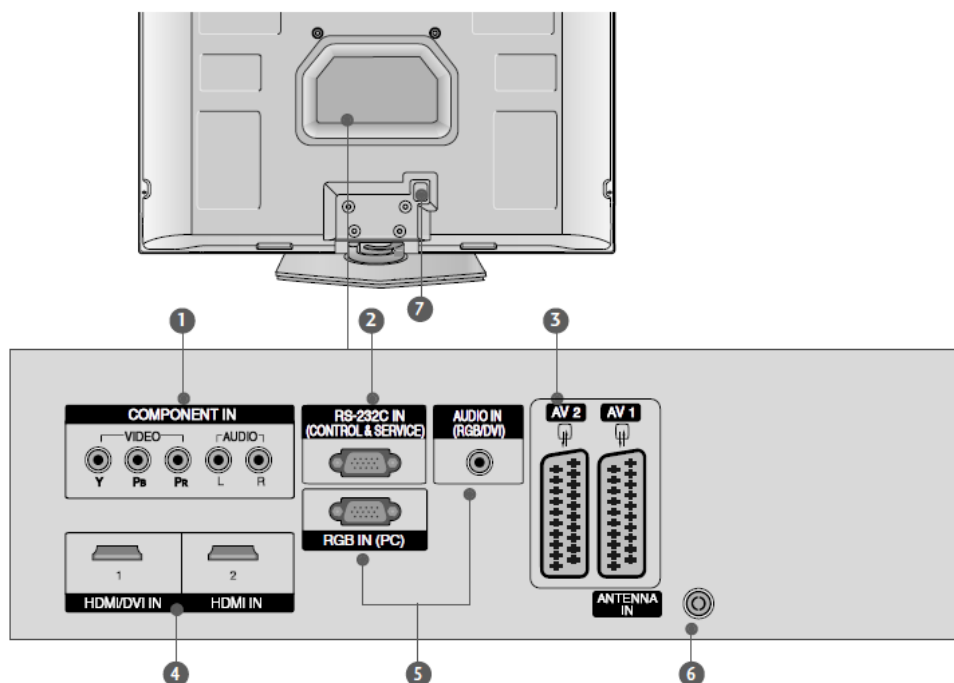


Рисунок 5.13 — Внешний вид панели интерфейсных подключений
ТВ приемника *Philips 22PFL3403*

5.5. Порядок выполнения исследований

5.5.1. Выбрать марку ТВ приемника и типы исследуемых интерфейсов в соответствии с

исходными данными, приведенными в табл. 5.4 (N — последняя цифра номера зачетной книжки). Выполнить подключение выбранного ТВ приемника к выходам видеокарты ПК, используя соответствующие типам интерфейсов кабели.

Таблица 5.4 — Исходные данные для выполнения лабораторной работы №5

N	Марка ТВ приемника	Типы интерфейсов
0, 1, 2, 3, 4	<i>Philips 22PFL3403</i>	<i>HDMI, VGA</i>
5, 6, 7, 8, 9	<i>LG 32PC543</i>	<i>DVI, VGA</i>

5.5.2. Изучить интерфейсные возможности ТВ приемника *Philips 22PFL3403* или *LG 32PC543*, используя соответствующую инструкцию пользователя [13, 14].

5.5.3. Произвести настройку выходов видеокарты ПК с использованием программы *Catalyst (TM) Control Center*:

- перевести курсор на свободное поле рабочего стола и нажать правую кнопку мыши;
- в открывшемся контекстном меню выбрать строку *Catalyst (TM) Control Center*;
- в окне программы нажать кнопку «Базовые...»;
- в открывшемся окне выбрать пункт «Базовые [мастер настройки и «Быстрая настройка»]» и нажать кнопку «Далее»;
- в новом окне нажать кнопку «Перейти»;
- проверить, что в качестве «Главного дисплея» выбран «Аналоговый монитор», а в качестве «Второго дисплея» выбран ТВ приемник, марка которого определена по исходным данным табл. 5.4;
- нажать кнопку «Далее»;
- выбрать режим «Клон» и нажать кнопку «Далее»;
- установить в меню «Область рабочего стола» величину «1280×720» и нажать кнопку «Готово»;
- нажать кнопку «Выход»;
- перевести курсор на свободное поле рабочего стола и нажать правую кнопку мыши;
- в открывшемся контекстном меню выбрать строку *Catalyst (TM) Control Center*;
- выбрать пункт меню «Дополнительно» и нажать кнопку «Далее»;
- в разделе «Настройки графики» выбрать пункт «DTV (HDMI)», затем выбрать пункт «Цвет»;
- в разделе «Подстройки» установить значения «Яркость» на величину «23» и «Контрастность» на величину «34» (для ТВ приемника *Philips 22PFL3403*) и соответственно «42» и «41» (для ТВ приемника *LG 32PC543*);
- в разделе «Настройки графики» выбрать пункт «Параметры монитора 0», затем выбрать пункт «Цвет»;
- в разделе «Подстройки» установить значения «Яркость» на величину 0 и «Контрастность» на величину 100;
- Нажать кнопку «ОК».

5.5.4. Открыть испытательную таблицу, показанную на рис 3.12, б, запустив с рабочего стола файл «tabl.pdf».

5.5.5. С помощью ПДУ ТВ приемника выбрать вход «*PC IN*».

5.5.6. По испытательной таблице определить разрешающую способность по вертикали, по горизонтали, по диагонали; определить четкость границы между участками изображения черного и белого цветов; оценить общее качество изображения, передающегося с помощью аналогового интерфейса.

5.5.7. С помощью ПДУ ТВ приемника выбрать вход «*HDMI*» (для ТВ приемника *Philips 22PFL3403*) или вход «*HDMI1/DVI*» (для ТВ приемника *LG 32PC543*).

5.5.8. Повторить п. 5.5.6, оценив при этом качество передачи изображения, передающегося с помощью цифрового интерфейса.

5.5.9. Сделать сравнительные выводы о качестве передачи изображения с использованием двух заданных интерфейсов.

5.6. Контрольные вопросы

5.6.1. Вопросы для допуска к работе

5.6.1.1. Перечислите основные характеристики интерфейса *VGA*.

5.6.1.2. Перечислите основные характеристики интерфейса *RCA*.

5.6.1.3. Перечислите основные характеристики интерфейса *SCART*.

5.6.1.4. Перечислите основные характеристики интерфейса *DVI*.

5.6.1.5. Перечислите основные характеристики интерфейса *HDMI*.

5.6.1.5. Перечислите основные характеристики интерфейса *UDI*.

5.6.1.6. Перечислите основные характеристики интерфейса *DisplayPort*.

5.6.1.7. Перечислите основные характеристики интерфейса *Tunderbolt*.

5.6.2. Вопросы для подготовки к защите

5.6.2.1. Выполните сравнительную характеристику возможных интерфейсных подключений ТВ приемников лабораторной установки, приведите краткую характеристику каждого из перечисленных интерфейсов.

5.6.2.2. Выполните краткую сравнительную характеристики цифровых и аналоговых телевизионных интерфейсов, приведите примеры их использования.

5.6.2.3. Перечислите и сравните между собой аналоговые телевизионные интерфейсы, приведите их основные достоинства и недостатки.

5.6.2.4. Перечислите и сравните между собой цифровые телевизионные интерфейсы, приведите их основные достоинства и недостатки.

5.6.2.5. Сравните результаты оценки качества изображения, переданного с помощью аналогового (*VGA*) и цифрового интерфейсов (*HDMI* или *DVI*).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мухин, И. А. Современные плоскпанельные отображающие устройства / И. А. Мухин // BROADCASTING. Телевидение и радиовещание. — 2004.— №1(37). — С. 43—47.
2. Параметры современных жидкокристаллических мониторов [Электронный ресурс] / Ф-центр. — Режим доступа: <http://www.fcenter.ru/online.shtml?articles/hardware/monitors/10071>. (дата обращения 14.03.2016).
3. Мухин, И. А. Развитие жидкокристаллических мониторов / И. А. Мухин // BROADCASTING. Телевидение и радиовещание.— 2005.—1 часть.— № 2(46).— С. 55—56.
4. Украинский, О. В. Способы улучшения качества телевизионного изображения, воспроизводимого жидкокристаллическими панелями / О. В. Украинский, И. А. Мухин // Современное телевидение: матер. НТК, Москва, 12 марта 2006 г.— М., 2006. — Т.1. — С. 211—213.
5. The plasma behind the plasma TV screen [Электронный ресурс] / PlasmaTVScience. — Режим доступа: <http://www.plasmatvscience.org/theinnerworkings.html>. (дата обращения 15.03.2016).
6. Мухин, И. А. Принципы развертки изображения и модуляция яркости свечения ячейки плазменной панели / И.А. Мухин // Труды уч. завед. связи. — 2002. — № 168. — С.134—140.
7. Органический светодиод [Электронный ресурс] / Creative Commons Attribution. — Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Органический_светодиод. (дата обращения 18.03.2016).
8. OLED-Display TV [Электронный ресурс] / OLED TV Display Lighting Infos-News and resources. — Режим доступа: <http://www.oled-display.net/>. (дата обращения 25.03.2016).
9. I liked color [Электронный ресурс] / FREEWARE.—Режим доступа: http://www.freeware.ru/program_prog_id_14250.html. (дата обращения 20.04.2016).
10. LCD Monitor Test Images [Электронный ресурс] / LAGOM. — Режим доступа: <http://www.lagom.nl/lcd-test>. (дата обращения 20.04.2016).
11. PixPerAn [Электронный ресурс] / PRAD inside technologies. — Режим доступа: <http://www.prad.de/en/monitore/testsoftware/pixperan.html>. (дата обращения 25.04.2016).
12. Телевидение/ В. Е. Джакония [и др.]; под ред. Джаконии В. Е. — М.: Горячая линия-Телеком, 2007. — 616 с.
13. ТВ приемник LG 32PC54. Руководство пользователя [Электронный ресурс] / MANUALBASE.RU. — Режим доступа: <http://manualbase.ru/index.php?do=files&op=showfile&lid=45196>. (дата обращения 20.04.2016).
14. ТВ приемник Philips 22PFL3403. Руководство пользователя [Электронный ресурс] / MANUALBASE.RU. — Режим доступа: <http://manualbase.ru/index.php?do=files&op=showfile&lid=24686>. (дата обращения 20.04.2016).
15. Цифровая обработка изображений в информационных системах / И. С. Грузман [и др.]; под ред. Грузмана И. С. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. — 352 с.
16. Быков, Р. Е. Основы телевидения и видеотехники/ Р. Е. Быков. — М.: Горячая линия-Телеком, 2006. — 400 с.

17. Мамаев, Н. С. Системы цифрового телевидения и радиовещания / Ю. Н. Мамаев, Б. Г. Теряев; ред. Н. С. Мамаев. — М.: Горячая линия-Телеком, 2006. — 254 с.
18. Лукьянчук, А. Г. Спутниковые системы связи, вещания и навигации / А. Г. Лукьянчук, Ю. П. Михайлюк, А. А. Савочкин; ред. А. Г. Лукьянчук. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2002. — 336 с.
19. Дамьяновски, В. CCTV. Библия видеонаблюдения. Цифровые и сетевые технологии / В. Дамьяновский. — М.: Изд-во ООО «Ай-Эс-Эс Пресс», 2006. — 480 с.
20. Учебное пособие по дисциплине «Основы телевидения» для студентов направления 11.03.01 «Радиотехника» и специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» очной и заочной форм обучения / СевГУ; сост. Ю. П. Михайлюк. — Севастополь: Изд-во СевГУ, 2015. — 152 с.
21. Травин, Г. А. Основы схемотехники устройств радиосвязи, радиовещания и телевидения / Г. А. Травин. — М.: Горячая линия-Телеком, 2009. — 592 с.
22. Першин, В. Т. Основы современной радиоэлектроники / В. Т. Першин. — Ростов н/Д.: Феникс, 2009. — 544 с.
23. Шелухин, О. И. Радиоэлектронные средства бытового назначения / О. И. Шелухин, К. Е. Румянцев; ред. К. Е. Румянцев. — М.: Академия, 2008. — 480 с.
24. Мамаев, Н. С. Цифровое телевидение / Н. С. Мамаев, Ю. Н. Мамаев, Б. Г. Теряев. — М.: Горячая линия-Телеком, 2001. — 180 с.
25. Кривошеев, М. И. Цветовые измерения / М. И. Кривошеев, А. К. Кустарев. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 240 с.
26. Кривошеев, М. И. Основы телевизионных измерений / М. И. Кривошеев. — М.: Радио и связь, 1989. — 608 с.
27. Грязин, Г. Н. Системы прикладного телевидения / Г. Н. Грязин. — СПб.: Политехника, 2000. — 280 с.

В авторской редакции