

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 30.01.2022 15:14:40

Уникальный программный код:

0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования

«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и средств связи

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

  
О.Г. Локтионова

« 15 » 01 2022 г.



## ПЕРИФЕРИЙНЫЕ УСТРОЙСТВА И МЕХАНИЗМЫ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине

Курск – 2021

УДК 621.382

Составители: О.Г. Бондарь, Е.О. Брежнева

Рецензент

Доктор технических наук, профессор Чернецкая И. Е.

**Периферийные устройства и механизмы электронных средств:**

Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине /  
Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: О.Г. Бондарь, Е.О. Брежнева – Курск, 2021. –  
73 с.: ил. 33.

Содержатся описание и методические рекомендации по изучению периферийных устройств персонального компьютера.

Указывается порядок выполнения лабораторной работы.

Методические указания соответствуют требованиям программы, утвержденной учебно-методическим объединением по специальностям автоматике и электроники (УМО АЭ).

Предназначены для студентов направления подготовки бакалавров 11.03.03. Могут быть полезны студентам других направлений подготовки, изучающим периферию персональных компьютеров.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 15.09.21. Формат 60×84 1/16.

Усл. печ. л. 4,1. Уч.-изд. л. 3,8. Тираж 100 экз. Заказ 1415. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

## Содержание

1	Исследование звуковой карты персонального компьютера .....	5
	Цель работы .....	5
	Основные сведения о звуковой подсистеме ПК .....	5
	Характеристики и параметры звукового тракта .....	8
	Методика исследования звуковых карт .....	12
	Подготовка к лабораторной работе .....	19
	Вопросы для самоконтроля .....	19
	Программа работы .....	20
	Контрольные вопросы .....	21
	Содержание отчёта .....	22
	Литература .....	22
2	Исследование видеосистемы персонального компьютера .....	23
	Цель работы .....	23
	Основные сведения о видео системе персонального компьютера .....	23
	Видеокарта .....	23
	Параметры видеокарты .....	24
	Монитор.....	26
	Параметры мониторов .....	28
	Определение и анализ параметров видеокарты .....	32
	Тестирование монитора .....	36
	Визуальное тестирование монитора .....	36
	Объективное тестирование монитора.....	38
	Подготовка к лабораторной работе .....	40
	Вопросы для самоконтроля .....	40
	Программа работы .....	40
	Контрольные вопросы .....	42
	Содержание отчёта.....	43
3	Организация взаимодействия компьютеров с внешними системами.....	44
	Цель работы .....	44
	Компьютер как основа современных сложных систем.....	44

Система тестирования АЦП на основе ПК.....	47
Основные характеристики АЦП.....	48
Подготовка к лабораторной работе.....	55
Вопросы для самоконтроля.....	55
Программа работы.....	56
Контрольные вопросы.....	58
Содержание отчёта.....	58
Текст программы микроконтроллера.....	59
4 Цифровой осциллограф на ПК.....	61
Цель работы.....	61
Принцип действия цифрового осциллографа.....	61
Лабораторный стенд.....	63
Подготовка к работе.....	70
Вопросы для самоконтроля.....	70
Программа работы.....	71
Содержание отчёта.....	72
Контрольные вопросы.....	73

## **1 Исследование звуковой карты персонального компьютера**

### **Цель работы**

Изучение устройства и исследование звуковой подсистемы персонального компьютера (ПК).

### **Основные сведения о звуковой подсистеме ПК**

Звук является аналоговым сигналом. Внутри ПК звук представляется в цифровом виде. Преобразование звука из аналогового сигнала в дискретный и наоборот выполняется основным компонентом звуковой системы – звуковой картой. Источником сигнала для преобразования его в цифровую форму может служить микрофон, линейный выход радиоприёмника (тюнера), плеера и т.п., а преобразование осуществляется встроенным аналого-цифровым преобразователем (АЦП). После преобразования в цифровую форму сигнал может быть сохранён в виде звукового файла.

Преобразование цифрового сигнала в аналоговую форму осуществляется цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП). Сохранение и передача информации в цифровой форме практически исключает его деградацию и искажения.

Оба преобразователя (АЦП и ЦАП) входят в состав одной микросхемы, которую иногда называю аудиокодеком. Аудиокодек ранее размещался на отдельной плате со всеми элементами необходимыми для организации интерфейса с ПК, системой питания, синтезатора звуков, предварительного (входного) и оконечного усилителя. Такая плата носит название – аудиокарта или звуковая карта. Развитие индустрии звуковых карт начиналось с простейших карт, в которых звук кодировался с 8-и битным разрешением. Но уже первые карты были способны к записи двухканального звучания (стереозвучания), что требовало размещения на подложке интегральной схемы кодека двух АЦП и двух ЦАП.

В 1997 году подразделение фирмы Интел создало стандарт для аудиокодеков AC97. Это позволило внедрить звуковую систему непосредственно на материнскую плату ПК. Такая система поддерживает многоканальную запись и

воспроизведение с разрешением 20 бит и частотой дискретизации до 96 кГц. В 2004 году появился новый стандарт звука высокой чёткости HD AUDIO (high definition audio)/ Аудиокодеки при этом стали поддерживать до 8 – каналов при разрешении 24 бит и частоте дискретизации до 192 (384 кГц) в стереорежиме и 96 кГц в многоканальном. Аудиокодеки с такими возможностями встроены в настоящее время в любую материнскую плату. Для аудиофилов до сих пор выпускаются аудиокарты, устанавливаемые в слот расширения ПК, или подключаемые к нему через интерфейс USB.

Процесс преобразования аналогового сигнала в цифровой и обратно можно представить последовательностью на рисунке 1.1.

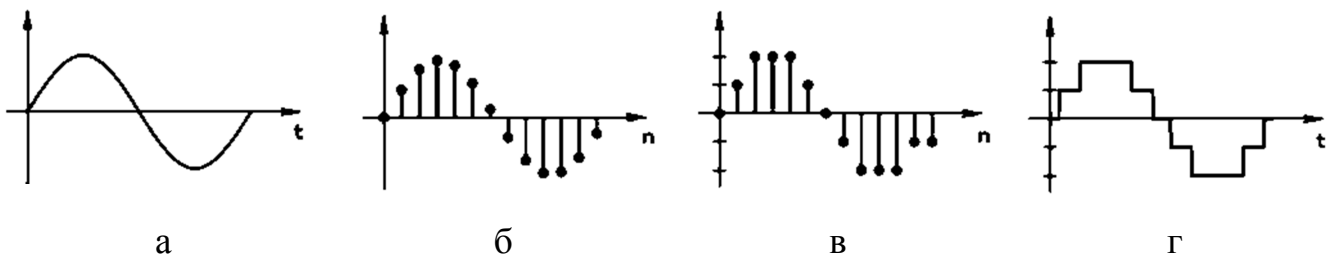


Рисунок 1.1 – последовательность преобразования аналогового сигнала в цифровой и обратно в аналоговый:

а – исходный аналоговый сигнал, б – дискретный сигнал, в – цифровой сигнал, полученный из дискретного квантованием, г – восстановленный из цифрового аналоговый сигнал (без фильтрации)

Исходный сигнал, представленный синусоидой на рисунке 1,а подвергается предварительной дискретизации, т.е. в фиксированные моменты времени значение сигнала сохраняется в виде уровня напряжения на конденсаторе. Временной интервал через который повторяется выборка нового значения входного напряжения называется интервалом дискретизации, а обратная ему величина – частотой дискретизации. Следует отметить, что дискретизация может быть равномерной и неравномерной. Неравномерная дискретизация позволяет уменьшить объём хранимой информации, за счёт выбрасывания лишних отсчётов мало различающихся между собой. В звуковых картах используется равномерная дискретизация. Каждое дискретное значение затем квантуется, а полученный сигнал становится цифровым (рисунок 1,в), т.е. по сути превращается в

округлённое цифровое значение исходного сигнала в заданный момент времени. Набор цифровых значений сигнала и сохраняется в виде файла в ПК. Способы сохранения цифровых сигналов могут быть различными. Одним из распространённых форматов для хранения файлов является WAV-формат. Чаще этот формат хранит несжатую информацию представляющую собой указанную последовательность сигналов с частотой дискретизации 44100 Гц и 16 бит на одну выборку для каждого из двух каналов стереозвучания. Такой формат обеспечивает максимальное качество звучания. В задачу данной работы не входит изучение других способов кодирования информации, целью которых является уменьшение объёма хранимой информации. Отметим только, что существуют системы сжатия без потерь и с потерями информации. Последние обеспечивают наиболее плотную упаковку информации и удобны для хранения и передачи данных. Самым распространённым из них является формат MP3.

Следует отметить, что указанная последовательность преобразования аналоговых сигналов используется не для всех типов кодеков. Более того, современные аудиокодеки базируются на сигма дельта технологии, где процесс преобразования выглядит существенно сложнее. Альтернативные варианты кодирования также не являются предметом рассмотрения.

Сама концепция преобразования базируется на теореме Котельникова (Найквиста). В соответствии с ней любой сигнал, содержащий в своём спектре частоты не превышающие некоторой максимальной частоты  $f_m$ , может быть полностью восстановлен по своим отсчётам, полученным с частотой дискретизации  $f_d$  более чем в два раза превышающей максимальную частоту  $f_m$ . Поскольку человеческое ухо способно слышать частоты в диапазоне 20 Гц ... 20 кГц, то частота дискретизации выбрана более 40 кГц, а точнее 44,1 кГц. Выбор столь странного значения объясняется в <https://qastack.ru/signals/17685/why-do-we-choose-44-1-khz-as-recording-sampling-rate>, и имеет исторические корни.

Поскольку акустические сигналы могут содержать в спектре и более высокие частоты, то перед АЦП устанавливается так называемый антиалиасинговый фильтр, обеспечивающий плавное снижение содержания

высших гармонических составляющих в т.н. переходной полосе (т.е. в диапазоне 20-22,05 кГц). Повышение частоты дискретизации снижает требования к антиалиасинговому фильтру и повышает качество сигнала при его восстановлении.

### Характеристики и параметры звукового тракта

В этом разделе рассматриваются исключительно электрические характеристики тракта, т.е. без учёта влияния характеристик источников сигнала и электроакустических преобразователей (динамики, наушники). Они определяются в основном параметрами применённого аудиокодека. В работе исследуется аудиотракт на основе HD AUDIO кодека ALC892 установленного на материнской плате ASUS P8H67-M Evo i5-2500 LGA1155. Его структурная схема представлена на рисунке 1.2.

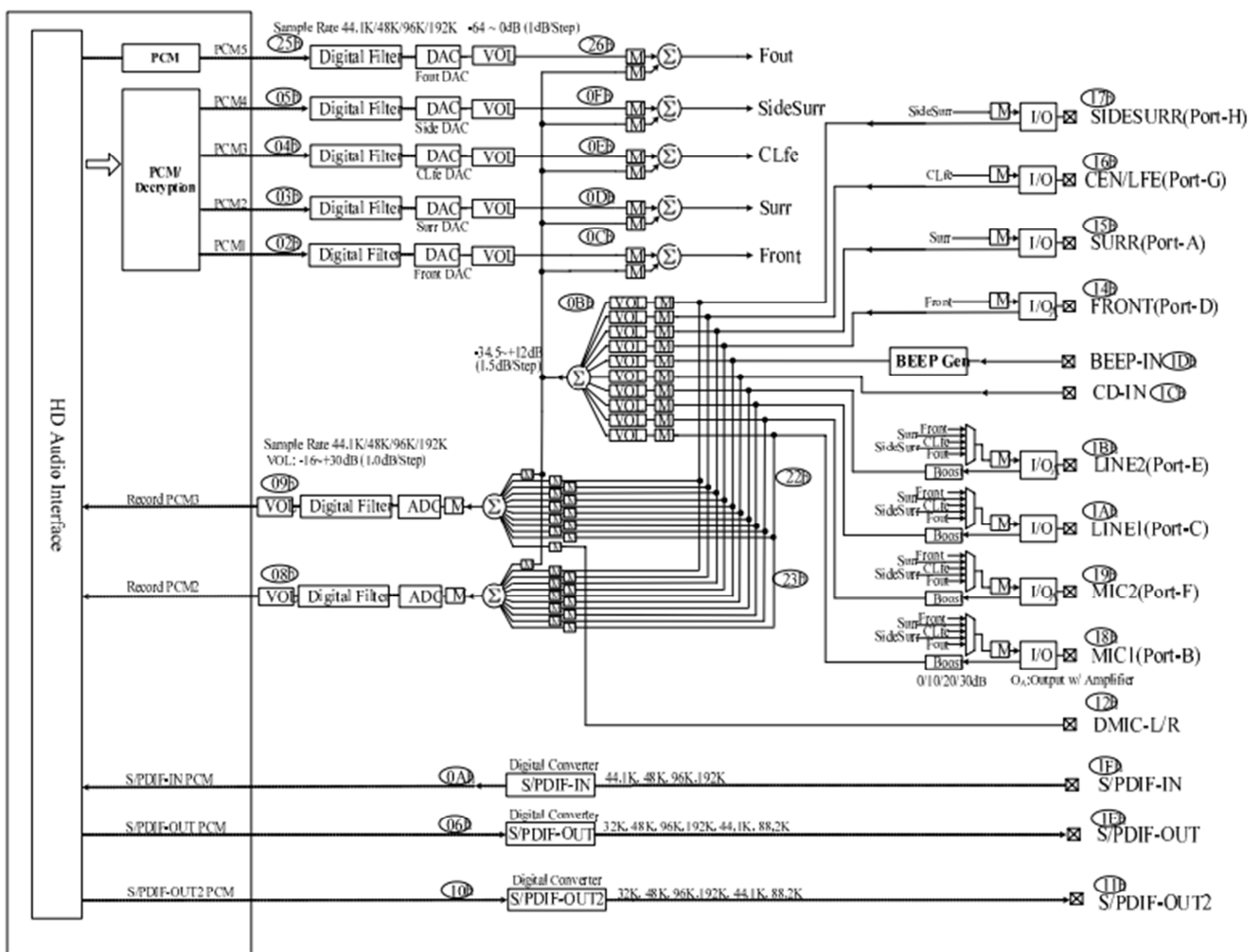


Рисунок 1.2 – Структурная схема аудиокодека ALC892



Основу аудиокодека составляют 10 ЦАП (на рисунке 2 показано только 5) и 2 АЦП. Восемь из десяти ЦАП поддерживают технологию пространственного звучания 7.1, а два – стереоканалы для передней панели компьютера. Идея пространственного звучания, представленная на рисунке 1.3, показывает размещение акустических систем, позволяющее локализовать направление на источник звука.

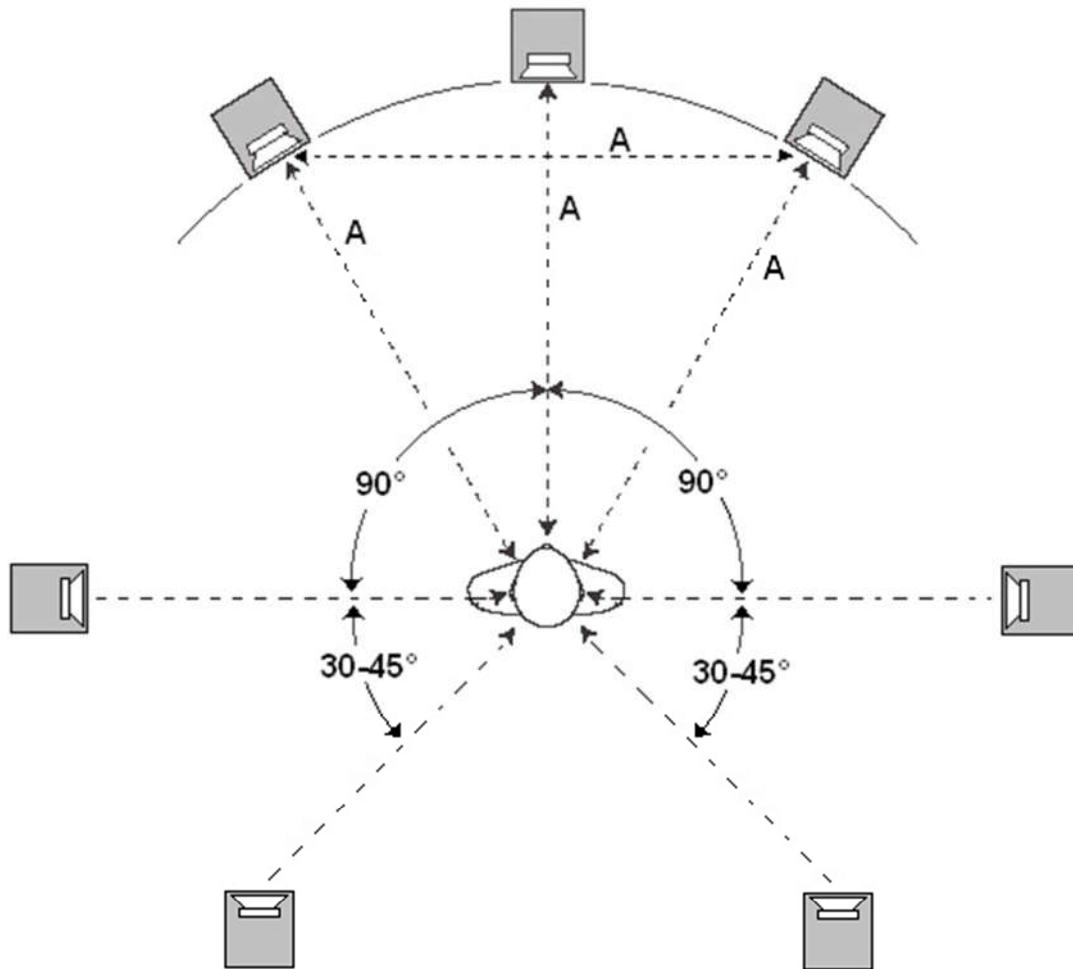


Рисунок 1.3 – Схема размещения акустических систем по технологии 7.1

Два АЦП позволяют организовать линейные и микрофонные входы для стереофонической записи. Помимо этого, в состав кодека входят коммутаторы сигналов М, фильтры, регуляторы чувствительности, сумматоры, и интерфейсные схемы, поддерживающие обмен информацией между памятью ПК и кодеком, а также внешний цифровой интерфейс SPDIF.

Звуковые системы должны обеспечивать звучание минимально отличающееся от естественного. Для этого характеристики звукового поля в точке расположения слушателя должны быть такими же, как и при звучании естественных источников. Реально же всегда есть отличия воспроизведенного звука и естественного. Свой вклад в искажения вносят все составляющие тракта. При этом минимальный вклад должна вносить звуковая карта, поскольку микрофоны и акустические системы выполнить высокоточными очень сложно.

Идеальный электрический тракт должен обеспечивать точное соответствие входных и выходных сигналов. Отличие должно состоять лишь в разной мощности входных и выходных сигналов. Возникающие искажения электрических сигналов связаны с рядом факторов. Они связаны с шумами вносимыми электронными приборами и внешними электромагнитными полями, с нелинейностью передаточной характеристики системы (зависимость коэффициента передачи от уровня сигнала), с изменением коэффициента передачи при изменении скорости изменения сигнала.

Любой сложный сигнал можно аппроксимировать с помощью совокупности гармонических сигналов (преобразование Фурье). В таком представлении воздействие электрического тракта, по которому распространяется сигнал, можно свести к воздействию на каждую из составляющих сигнала и внесению в него новых составляющих, отсутствующих во входном сигнале.

Для обеспечения высокой верности воспроизведения сигнала требуется чтобы для всех составляющих сигнала коэффициент передачи оставался одним и тем же, т.е. амплитудно-частотная характеристика (**АЧХ**) тракта была плоской, а каждая составляющая опаздывала при прохождении тракта на один тот же интервал времени (что означает линейную зависимость угла сдвига фаз от частоты синусоидального сигнала). Выполнение требуемых условий и контролируется с помощью измерения основных характеристик звуковой карты.

Ниже представлены основные характеристики электрического тракта звуковых карт.

Амплитудно-частотная характеристика трактов записи и воспроизведения, представленная в виде отношения коэффициента передачи на данной частоте  $K_f$  к номинальному значению  $K_{НОМ}$ . Обычно выражается в дБ.

$$K = 20 \times \log \frac{K_f}{K_{НОМ}}$$

Коэффициент нелинейных искажений (*Total Harmonic Distortion, THD*) может определяться как корень квадратный из отношения суммы мощностей всех гармонических составляющих, кроме первой, к мощности основной гармоники, или к мощности всего сигнала. При искажениях менее 5% оба способа дают примерно одинаковый результат.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U_1} \cdot 100\% \approx \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} U_n^2}} \cdot 100\%.$$

Отношение сигнал/шум (*Signal to Noise Ratio, SNR*) показывает во сколько раз значение входного сигнала превышает среднеквадратичное значение напряжения шумов. Также выражается в дБ.

Нередко для определения степени искажения сигнала измеряют полный коэффициент искажений с учётом шумов (*(THD+N)*). Так как восприятие шума и искажений зависит от частоты, то часто применяют взвешенное значение искажений и шума (А-взвешивание) учитывающие психофизиологические характеристики человека. Для этих целей исходная характеристика умножается на коэффициент, значение которого зависит от частоты.

Поскольку при работе с реальными сигналами нелинейность характеристики преобразования приводит к взаимной модуляции составляющих сигнала, и в спектре появляются разностные и суммарные частоты основных сигналов и их гармоник, то возникает необходимость оценки коэффициента взаимной модуляции (*InterModulation Distortion, IMD*). Существуют различные методики измерения IMD. Простейшие из них – двухчастотные, но результаты приближённые к реальным дают мультичастотные методы. Следует учитывать,

что получаемые в этом случае результаты не так просто интерпретировать на субъективное восприятие звучания. Однако можно твёрдо сказать, что чем меньше уровень комбинационных частот, тем ближе звучание к оригиналу.

### **Методика исследования звуковых карт**

Ещё раз оговариваемся, что качество звучания определяется как источником сигнала (или качеством исходной записи), так и параметрами звуковой карты, усилителей и акустических систем. В данной работе исследуются лишь характеристики звуковой карты.

Для полноценного исследования канала записи нужен качественный источник сигнала, с характеристиками существенно лучшими, чем исследуемая карта, а для исследования канала воспроизведения нужны тестовые записи соответствующего высокого качества. Помимо этого, необходимо программное обеспечение позволяющее произвести обработку сигнала для вычисления требуемых параметров и характеристик.

Исследование можно упростить, если произвести, так называемое, сквозное исследование каналов карты. При этом выходы карты соединяются с её входами, а для исследования используется предварительно сформированная цифровая тестовая последовательность, подаваемая в канал воспроизведения. Выходной аналоговый сигнал канала воспроизведения снова преобразуется в цифровой сигнал каналом записи. Сопоставление его с оригиналом и позволяет определить характеристики сквозного тракта. Недостаток метода состоит в невозможности разделить погрешности между каналом воспроизведения и каналом записи, однако можно оценить звуковую карту в целом.

Объединение стереоканалов воспроизведения со стереоканалами записи осуществляется непосредственно на разъёмах аудиоканалов материнской платы. Для исследуемой платы соединение схематично показано на рисунке 1.4,а. Соединение осуществляется с помощью соединительного кабеля с разъёмами типа «джек» типоразмера 3.5 мм на концах.

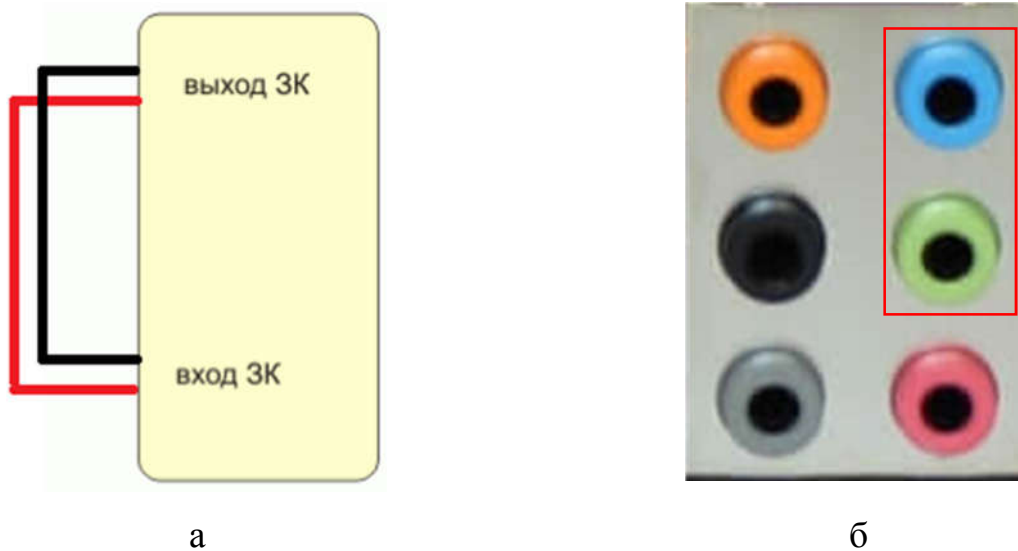


Рисунок 1.4 – Соединение разъемов звуковой карты:

а – схематично, б – выделенные соединяемые разъемы (голубой – линейные входы, зелёный – линейные выходы)

Для исследования используется специализированная программа RightMark Audio Analyzer (RMAA). Её интерфейс представлен на рисунке 1.5.

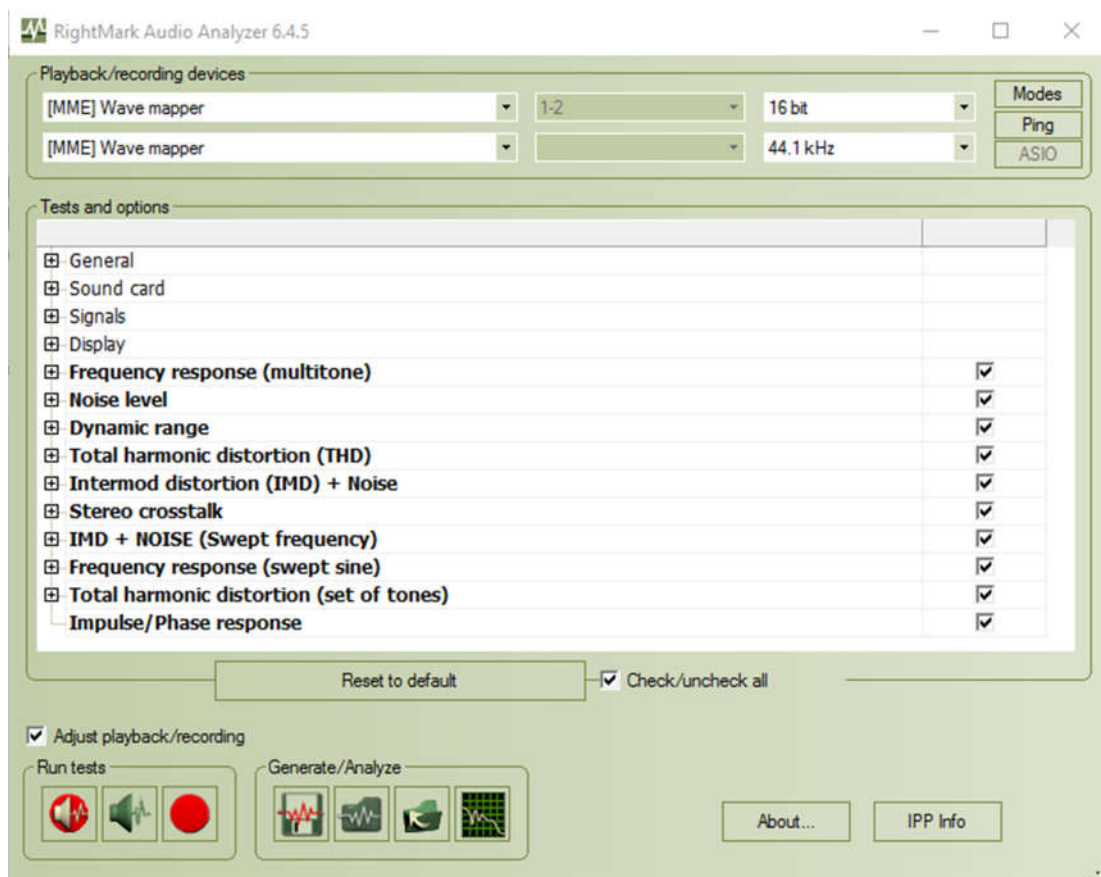


Рисунок 1.5 – Интерфейс программы RMAA

Для перехода к русскому языку интерфейса следует в пункте меню «Display/Language» выбрать «Russian». Вид русифицированного меню представлен на рисунке 1.6.

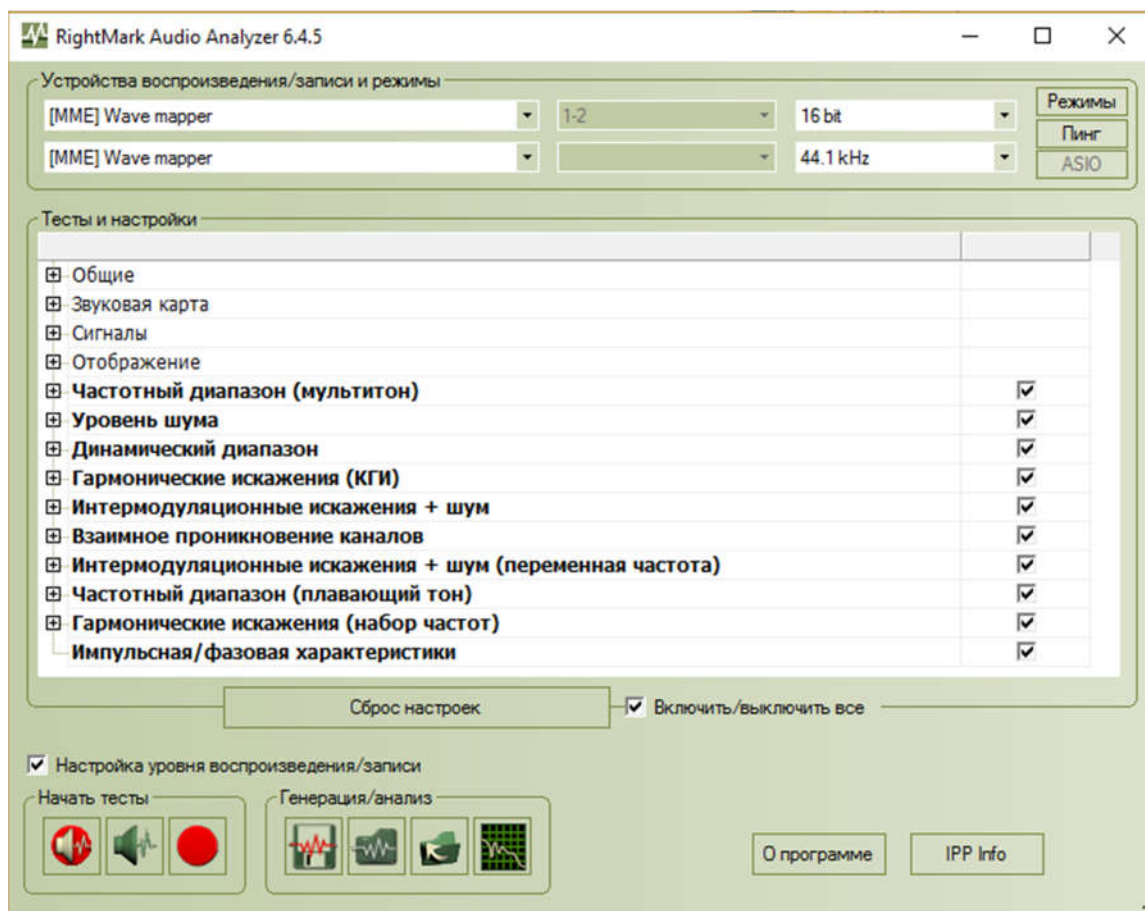


Рисунок 1.6 – Русифицированное меню

Устройства воспроизведения/записи должны быть выбраны в соответствии с представленными в меню. Wave Mapper – это служба операционной системы, занимающаяся переназначением устройств и форматов. Исследование карты можно проводить с установками, указанными в меню по умолчанию. Однако можно выбрать и другие режимы. Рекомендуется выбрать разрядность 24 бита, и частоту дискретизации 96 кГц/192 кГц. Измеряемые характеристики можно выбирать индивидуально, или отметить включить все (рекомендуется). После выбора разрешения и частоты дискретизации следует убедиться, что выбранные параметры поддерживаются картой, для чего следует нажать в правом верхнем углу иконку «Ping». Если режимы поддерживаются, то в всплывающем окне напротив каждого из возможных режимов измерения будет указано ОК.

Режим тестирования запускается одной из трёх иконок в левом нижнем углу (рисунок 6). Левая иконка с изображением красного динамика запустит режим воспроизведения/записи (исследование сквозного канала). Вторая – запустит режим воспроизведения тестового сигнала проверяемой картой, а выходной аналоговый сигнал преобразуется в цифровой код для его последующего анализа эталонной картой. Третья иконка запускает режим преобразования цифрового тестового сигнала, поданного на вход эталонной карты, в аналоговый тестовый сигнал, с помощью которого тестируется канал записи проверяемой карты.

Для измерения параметров в лабораторной работе используется первый режим.

При нажатии на иконку старта теста программа запускает режим калибровки. В этом режиме необходимо выбрать уровень сигнала, поступающего на линейный вход звуковой карты таким, что звуковой тракт не перегружался (рисунок 7). При правильно выбранном уровне сигнала на линейном входе звуковой карты в окне «Настройка уровня» установится сообщение «Уровень в порядке». При этом уровни сигналов в левом и правом каналах должны отличаться от максимального примерно на 1 дБ. При максимальном же уровне сигнала шкала АЦП используется полностью и возможны перегрузки. При правильной установке уровня сигнала уровни шумов и помех на амплитудно-частотной характеристике сквозного канала оказываются существенно ниже максимального значения сигнала. Это достигается регулировкой уровня выходного сигнала и уровня входного сигнала с помощью микшера громкости (справа вверху). Следует обратить внимание на то, что устройство записи должно быть отдано в монопольное владение прикладной программе, а другие источники сигналов нужно выключить (обратите внимание на микшер громкости). Регулировку нужно начинать с выходного сигнала. На рисунке 1.7 в качестве источника сигнала используется разъём наушников на передней панели системного блока, но в лабораторной работе это будет разъём материнской платы. Выходной сигнал следует установить на 3-10 дБ ниже максимального, что позволит исключить перегрузку выходного тракта. Затем регулировкой уровня

входного сигнала (движок RightMark Audio Analyzer) добиваются требуемого уровня сигнала.

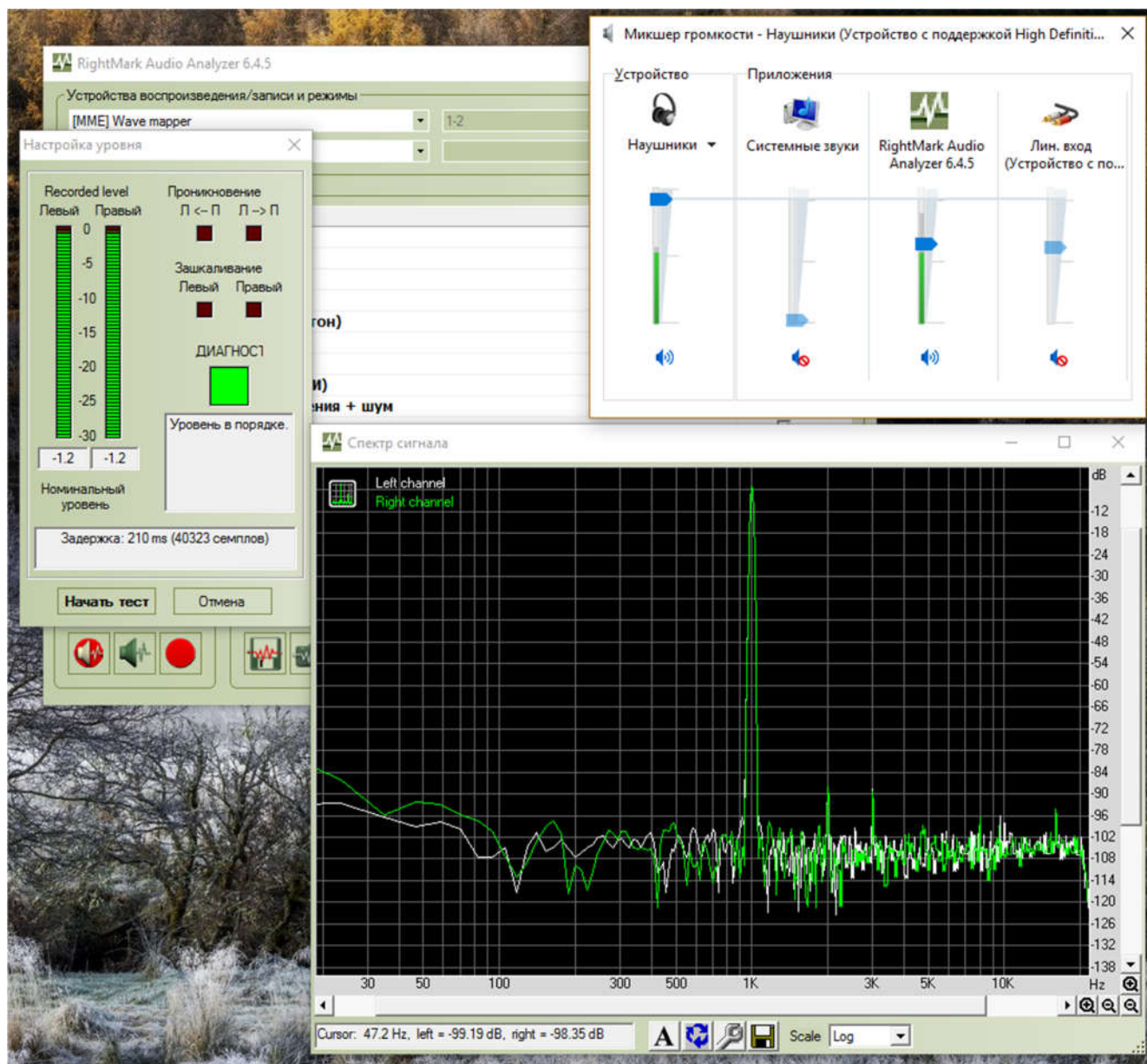


Рисунок 1.7 – Режим калибровки сквозного канала звуковой карты

Следует обратить внимание, что перегрузка сопровождается не только сообщением «Проблема. Уровень сигнала слишком высок. Понизьте уровни в микшере» в окне «Настройка уровня». На АЧХ при этом появляются пики, соответствующие высшим гармоническим составляющим основного сигнала с частотой 1 кГц (на частотах 2, 3, 4, 5... кГц). Их появление связано с перегрузкой АЦП каналов записи, при которой эквивалентный цифровому коду сигнал



представляет собой синусоиду со срезанными вершинами. А такой сигнал и содержит выраженные высшие гармоники (рисунок 1.8).

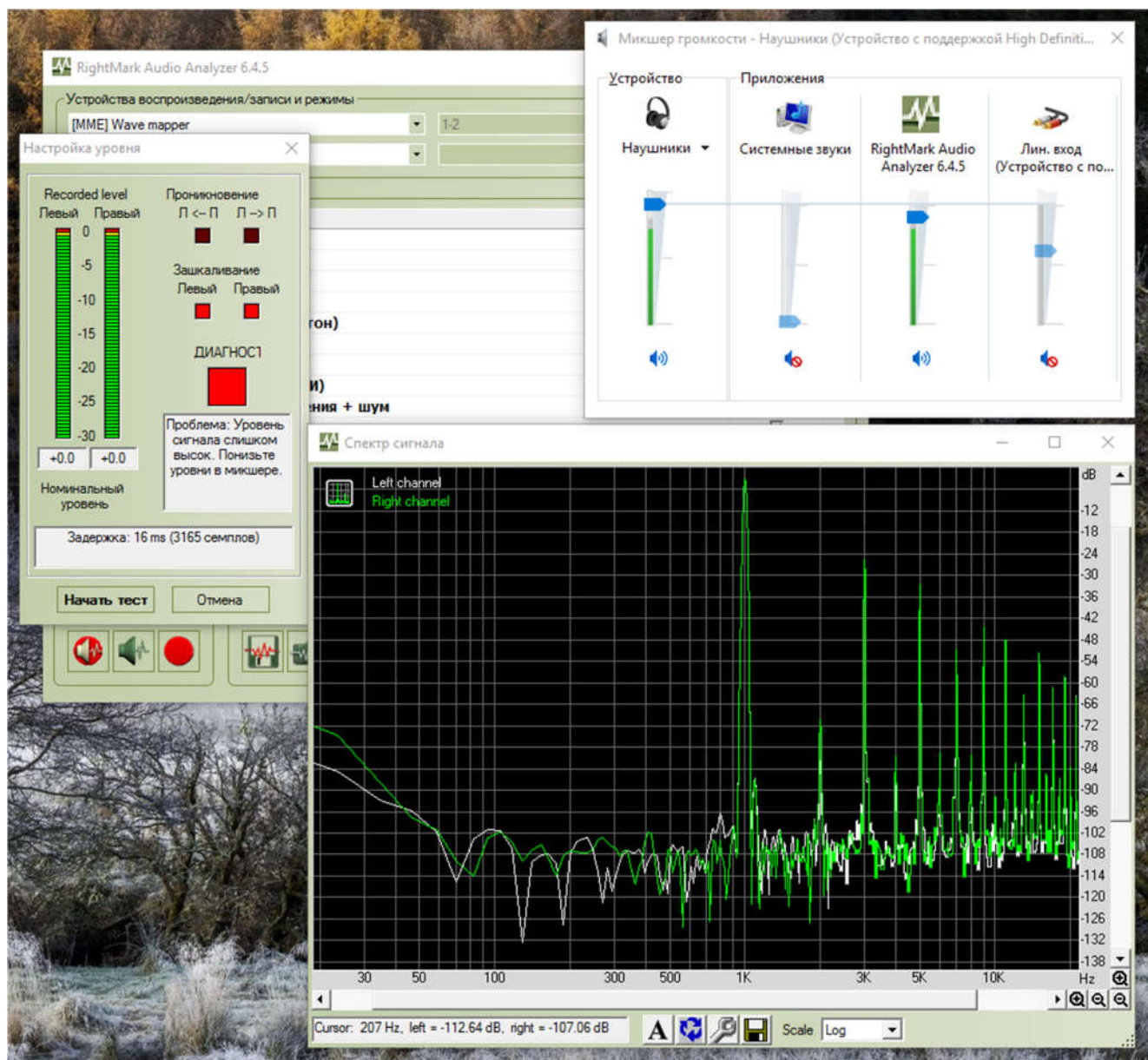


Рисунок 1.8 – Неверные установки уровня сигнала в сквозном канале

После выполнения калибровки запускается тест «Настройка уровня/начать тест». При этом выполняются все отмеченные в основном меню тесты звуковой карты. Продолжительность полного тестирования около 1 минуты. После завершения тестирования появятся два всплывающих окна «Результаты теста» и

«Выбор слота». Выберите любой слот задайте ему имя и нажмите ОК (рисунок 1.9).

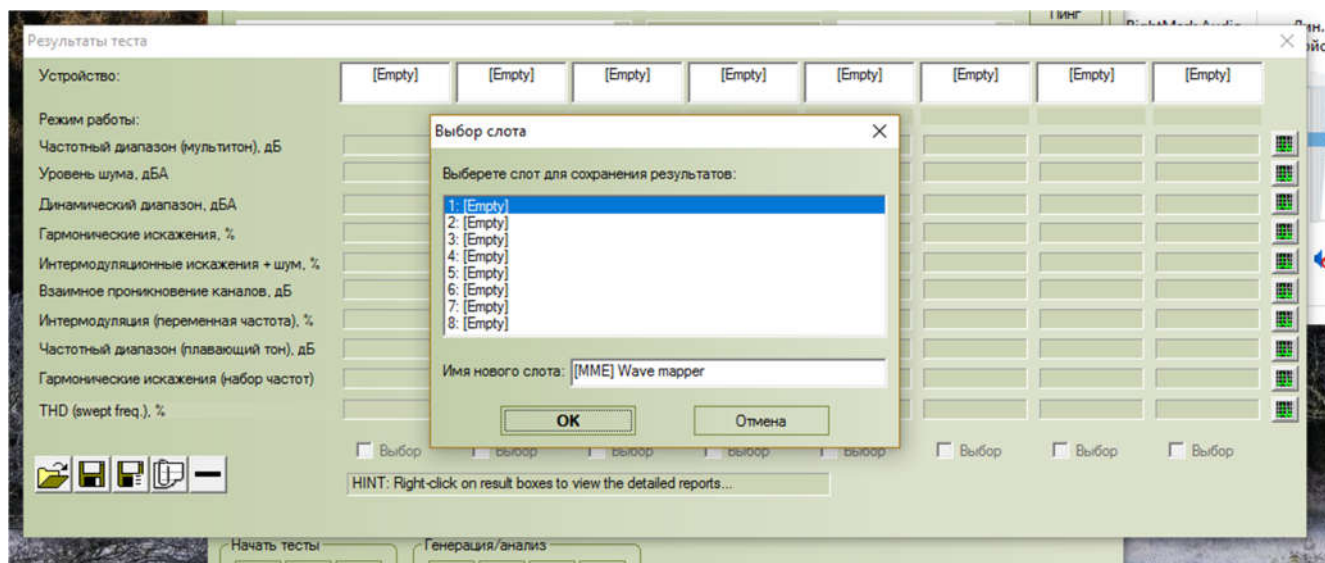


Рисунок 1.9 – Выбор слота для сохранения результатов теста

Значения параметров сохранятся в выбранном слоте, а все диаграммы можно посмотреть в оперативном режиме щелчком по кнопке мыши при курсоре, показывающем на нужную диаграмму справа в окне «Результаты теста» (рисунок 1.10).

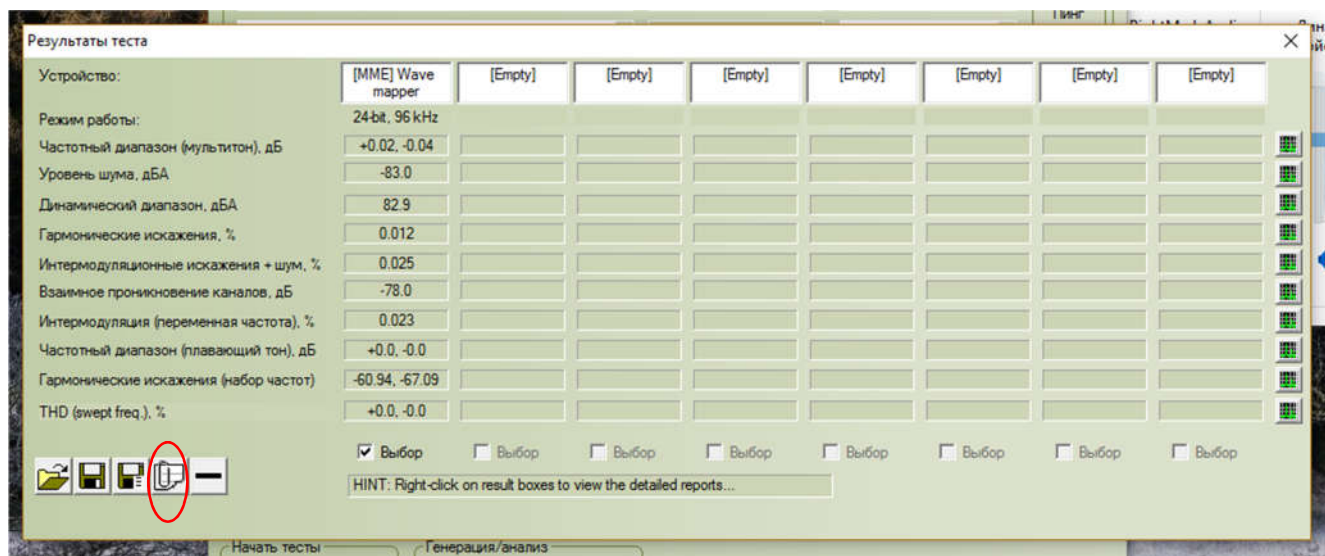


Рисунок 1.10 – Измеренные параметры звуковой карты

Результаты измерения удобнее всего сохранить в файл в гипертекстовом формате. Для этого следует выполнить щелчок мышью на выделенной иконке в

левом нижнем углу окна (рисунок 1.10). Результаты исследования можно сохранить в специальном формате с расширением \*.sav для последующего чтения и сравнения параметров разных карт или одной и той же карты при разных режимах работы. Это осуществляется при нажатии на иконку дискеты. Для чтения результатов следует нажать иконку папки и выбрать нужный для сравнения файл, назначив ему другой слот для записи параметров.

Оперативное сравнение характеристик в графическом виде можно осуществить щелчком вспомогательной кнопки мыши на указанном параметре. Отложенное сравнение можно сделать, сохранив результаты нескольких исследований в гипертекстовой форме (следует выбрать английский язык, т.к. при использовании русского языка сравнительные графики отображаться не будут).

### **Подготовка к лабораторной работе**

При домашней подготовке следует изучить раздел лекций посвящённый звуковой подсистеме ПК, сведения об организации исследуемой звуковой подсистемы, основные параметры звуковых карт, интерфейс программы RightMark Audio Analyzer, методику исследования и порядок выполнения работы. Для самопроверки ответить на вопросы для самоконтроля.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Каково назначение звуковой карты ПК?
2. Чем отличаются звуковые карты, поддерживающие стандарт AC97 и HD AUDIO?
3. Что входит в состав звуковой карты ПК?
4. Каковы основные электрические параметры звуковой карты?
5. Что такое амплитудно-частотная характеристика канала чтения или записи звуковой карты?
6. Что такое коэффициент нелинейных искажений канала звуковой карты?
7. В каких единицах выражается коэффициент нелинейных искажений?
8. Как включить русский язык меню программы исследования?

9. Какие тесты следует выбрать при снятии характеристик звуковой карты?
10. В каком режиме будет исследоваться звуковая карта и чем это обусловлено?
11. В чём смысл калибровки звуковой карты?
12. Как узнать, что калибровка звуковой карты завершена?
13. Как запустить выбранные тесты на исполнение?
14. Как сохранить результаты тестирования и в каких форматах?
15. Для каких целей целесообразно использовать разные форматы при сохранении данных?
16. Как оперативно сравнить результаты тестирования карты при разных режимах её работы?
17. Как загрузить в окно результатов тестирования сохранённые данные для другого режима?

### **Программа работы**

Исследование звуковой карты проводится в режиме записи/чтения, для чего линейные выходы каналов воспроизведения соединены с линейными входами каналов записи на тыльной стороне системного блока.

1. Включить ПК.
2. Щелчком вспомогательной кнопки мыши на изображении динамика в нижнем правом углу панели задач открыть всплывающее окно, и в нём выбрать записывающие устройства.
3. В открывшемся окне «ЗВУК» выбрать устройство «Линейный вход» и щелчком по вспомогательной кнопке мыши включить и сделать устройством по умолчанию (если оно ещё не выбрано).
4. В окне свойств линейного входа в закладке «Дополнительно» выбрать монопольный режим и студийную запись 2 канала, 24 бита, 44100 Гц. Нажать ОК и закрыть окна.
5. Щелчком вспомогательной кнопки мыши на изображении динамика в нижнем правом углу панели задач открыть всплывающее окно, а в нём – микшер громкости.

6. Запустить программу RightMark Audio Analyzer.
7. Если язык меню английский перейти на русский.
8. Проверить в главном меню тип устройств записи и воспроизведения. Они должны быть [ММЕ] Wave mapper.
9. Установить разрешение 16 бит (целочисленное) и частоту дискретизации 44,1 кГц.
10. Если язык меню английский перейти на русский.
11. Убедиться в корректной работе режим нажав иконку Пинг (Ping).
12. Включить все тесты, установив галочку рядом со сбросом настроек.
13. Начать тестирование в режиме Воспроизведение/Запись.
14. Выполнить калибровку.
15. Запустить тестирование.
16. Сохранить результаты тестирования в гипертекстовой форме и с расширением \*.sav.
17. Повторить пункты 9-16 для разрешения 24 бита и частоты 96 кГц.
18. Повторить пункты 9-16 для разрешения 24 бита и частоты 192 кГц.
19. В подпункте меню «Генерация/Анализ» выбрать иконку папки и поочерёдно прочитать, и сохранить результаты анализа в слотах 1-3.
20. Сохранить результаты сравнения в гипертекстовом формате.
21. Провести сравнительный анализ результатов и сделать на его основании выводы об изменении характеристик карты в зависимости от режимов работы.

### **Контрольные вопросы**

1. Какова типичная последовательность преобразования электрического сигнала в цифровую последовательность?
2. Что представляет собой процесс дискретизации?
3. Что такое антиалиасинговый фильтр?
4. Что такое квантование сигнала?
5. С какой целью устанавливается фильтр на выходе звуковой карты?
6. Перечислите возможные частоты дискретизации исследуемого аудиокодека.

7. Определите и сравните объёмы памяти, необходимые для хранения одной минуты записи при 8-битовом кодировании и частоте дискретизации 44,1 кГц и при 24 битовом кодировании и частоте дискретизации 192 кГц.
8. Объясните своё понимание заявления – уровень шума не превышает минус 100 дБ. Во сколько раз отличается величина максимального неискажённого сигнала от максимального значения шумового сигнала.

### **Содержание отчёта**

Отчёт должен содержать:

1. Краткое описание звуковой системы ПК и перечень выполняемых ею функций.
2. Наименование материнской платы и применённого в ней аудиокодека, а также номер рабочего места.
3. Перечень основных параметров звуковой подсистемы, в т.ч стандарт, которому соответствует аудиокодек, используемые разрешения и частоты дискретизации.
4. Краткое изложение методики исследования.
5. Результаты анализа в виде копии \*.html отчётов для каждого из режимов звуковой подсистемы (3 отчёта).
6. Результаты сравнительного анализа, скопированные из сравнительного отчёта.
7. Детальные выводы по результатам сравнительного анализа, позволяющие рекомендовать пользователю тот или иной режим при создании фонотеки.
8. Письменные ответы на контрольные вопросы.

### **Литература**

1. RightMark® Audio Analyzer 6.0. pdf [Электронный ресурс] // URL: <http://audio.rightmark.org> (Дата обращения: 05.07.2021).
2. Газаров, А. Ю. Устранение неисправностей и ремонт ПК своими руками на 100% / А. Ю. Газаров — «Питер», 2011

## **2 Исследование видеосистемы персонального компьютера**

### **Цель работы**

Изучение основных параметров и характеристик мониторов.

### **Основные сведения о видео системе персонального компьютера**

Видеосистема ПК – одна из его важнейших частей, обеспечивающих интерактивность взаимодействия с пользователем. В её состав входит монитор – как средство отображения, видеоадаптер (видеокарта) и программное обеспечение в виде драйверов.

### **Видеокарта**

Видеокарта представляет собой специализированный компьютер, заточенный на решение задачи обработки и формирования графических данных и вывода их на монитор. В её состав входит графический процессор, видеоконтроллер, видеопамять и цифроаналоговый преобразователь.

Графический процессор отвечает за вычислительные функции, связанные с обработкой трёхмерной графики.

Видеоконтроллер формирует изображение в видеопамяти, даёт команды цифроаналоговому преобразователю (RAMDAC) на формирование сигналов развёртки для мониторов и осуществляет обработку запросов центрального процессора.

Видеопамять служит кадровым буфером, в который помещается изображение, генерируемой графическим процессором перед последующим выводом на экран монитора, а также используется для хранения промежуточных данных при вычислении.

Цифроаналоговый преобразователь необходим для преобразования изображения, формируемого видеоконтроллером, в уровни интенсивности цвета, подаваемые на аналоговый монитор. Большинство цифро-аналоговых

преобразователей имеют разрядность 8 бит на канал, что даёт 256 уровней яркости на каждый основной цвет — 16,7 млн. цветов.

Помимо этого, видеокарта снабжается системой охлаждения.

Современные центральные процессоры нередко содержат элементы видеосистемы в своём составе. Как правило, встроенные системы обладают существенно меньшей производительностью.

### **Параметры видеокарты**

1. Частота графического процессора (МГц) — тактовая частота ядра, во многом определяет производительность видеосистемы.
2. Тип видеопамати (GDDR, GDDR2, GDDR3, GDDR4, GDDR5) — определяет частоту, разрядность шины памяти видеокарты.
3. Объём видеопамати (Мб) — чем больше объём, тем большее число кадров способен сформировать графический процессор за короткий промежуток времени.
4. Частота видеопамати (МГц) — чем выше частота работы видеопамати, тем выше общая производительность видеокарты.
5. Ширина шины видеопамати — указывает на количество бит (64, 128, 256) информации, передаваемой за такт.
6. Производительность видеопамати часто является слабым местом графических плат. Это определяется не только её объёмом, но и пропускной способностью, определяющей скорость доступа к данным, которые в ней хранятся. Последняя зависит от двух показателей — частоты тактирования и ширины (разрядности) шины памяти - количества данных, передаваемых за один такт.
7. Интерфейс — разъем, для установки видеокарты, на материнской плате (PCI-Express).
8. Количество поддерживаемых мониторов — одновременное подключение нескольких устройств.



9. Максимальное разрешение — количество точек, по горизонтали и по вертикали, при построении изображения графическим процессором видеокарты.
10. Число универсальных процессоров — шейдерные конвейеры, отвечающие за расчет цветов и геометрических структур.
11. Число текстурных блоков — выполняют выборку и фильтрацию текстур, а также наложение текстур на поверхности геометрических объектов.
12. Число блоков растеризации — отвечает за финальный этап обработки изображения (сглаживание, фильтрация), а также за запись обработанного изображения в буфер видеокарты.
13. Версия шейдеров — чем выше версия шейдеров, тем больше у видеокарты возможностей по созданию специальных эффектов.
14. DirectX — движок (проприетарный) упрощающий и ускоряющий доступ к видеокарте. Чем старше версия, тем больше набор функций и шире возможности специальных эффектов;
15. OpenGL — тоже движок, но открытый.
16. Помимо этого, существуют технологии поддерживающие вычисления CUDA, PhysX (NVIDIA), OpenCL – открытая технология расчётов.

Разъемы видеокарты:

1. D-Sub — 15-контактный, аналоговый, разъем VGA;
2. DVI-I — цифровой разъем с поддержкой аналоговых сигналов, позволяющий подключить монитор через переходник на разъем D-Sub;
3. DVI-D — цифровой разъем в «чистом» виде — не поддерживает аналоговые сигналы;
4. HDMI — разъем для передачи цифрового сигнала высокой четкости (HD);
5. Display Port — используется для передачи видео и аудио в цифровом виде (рисунок 2.1).



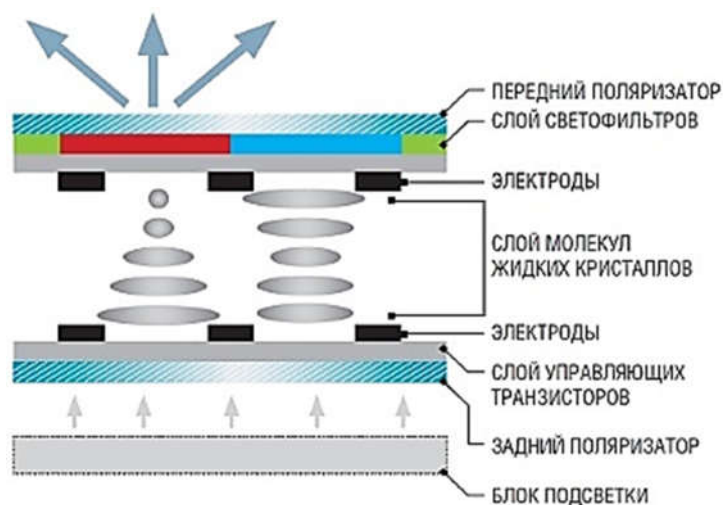
Рисунок 2.1 – Разъёмы видеокарты

Специальное программное обеспечение, поставляемое производителем видеокарты и загружаемое в процессе запуска операционной системы называется видеодрайвером. Видеодрайвер выполняет функции интерфейса между системой с запущенными в ней приложениями и видеоадаптером.

## Монитор

Монитор предназначен для отображения информации. На сегодня компьютерные мониторы строятся в основном на основе жидкокристаллических экранов (другое название LCD – Liquid Crystal Display). Принцип работы жидкокристаллических мониторов основывается на поляризационных свойствах молекул кристаллов цианофенилов, находящихся в жидком состоянии.

Ячейка дисплея ограничена с двух сторон плоскими поляризаторами, ориентированными под углом  $90^\circ$  и стеклянными пластинами (рисунок 2.2).



## Рисунок 2.2 – Принцип действия ячейки на основе твист-эффекта

Свет от источника (подсветка снизу) проходит через поляризатор. При этом все составляющие с векторами поляризации несовпадающими с плоскостью поляризации поляроида, отсекаются. В отсутствие электрического поля кристаллы выстраиваются спиралевидно вектор поляризации поворачивается молекулами на угол около  $90^\circ$  и свет проходит через второй поляризатор. При наличии электрического поля кристаллы ориентируются вдоль него и угол поворота вектора поляризации уменьшается, а интенсивность светового потока на выходе уменьшается. Это явление называется **ТВИСТ-ЭФФЕКТОМ**, а матрица на этой технологии называется **TN – Twisted Nematic**. Таким образом ячейка на основе твиста эффекта является модулятором светового потока. Однако перекрыть световой поток полностью ячейка не может, что не позволяет получить высокую контрастность изображения. Кроме того, точное позиционирование оказывается невозможным из-за различия пикселей, потому невозможна точная цветопередача.

Управление напряжённостью электрического поля осуществляется тонкоплёночными транзисторами, заряжающими конденсатор. Для создания цветного изображения ячейки группируются в триады с красным, зелёным и синим (RGB) светофильтрами. Подобная матрица носит название **TFT - Thin Film Transistor** (собственно все матрицы являются таковыми). Из описания понятно, что матрица должна подсвечиваться. Источник света должен обеспечивать высокую интенсивность и равномерность светового потока. Для обеспечения высокой контрастности при воспроизведении динамичных изображений должна иметься возможность быстрого изменения интенсивности подсветки.

TN – технология не единственная, используемая при создании матричных экранов. Одна из лучших матриц **IPS - In-Plane Switching** отличается тем, что в электрическом поле кристаллы поворачиваются вместе, а не создают спираль, что позволяет получить угол обзора до  $178^\circ$  (рисунок 2.3).

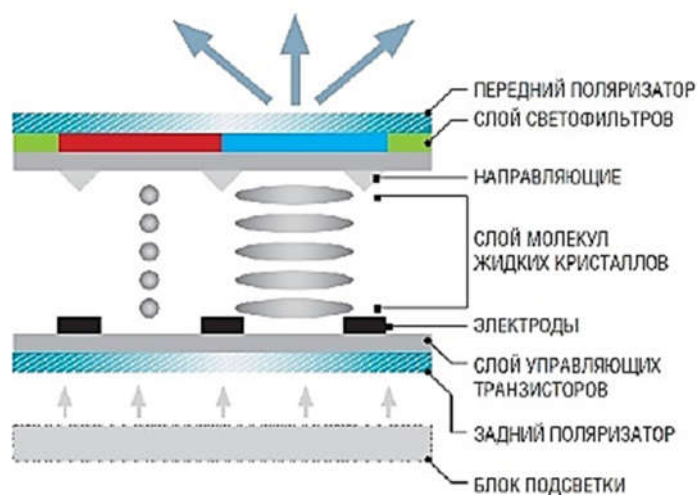


Рисунок 2.3 – устройство ячейки IPS – матрицы

Указанные два типа матриц наиболее распространены.

### Параметры мониторов

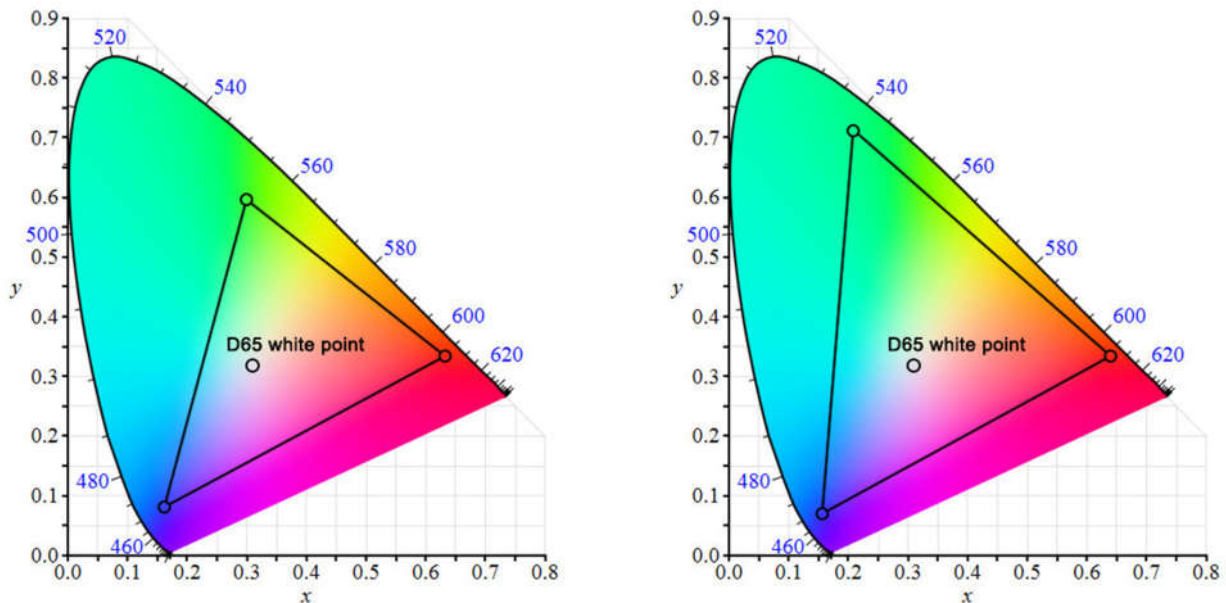
Кратко рассмотрим основные параметры мониторов

1. *Размеры экрана монитора* – определяются его диагональю.
2. *Формат экрана* – это соотношение его сторон. Ранее наиболее распространённым было соотношение сторон 4:3. В настоящее время это 16:9, 16:10.
3. *Разрешение экрана* – показывает сколько точек размещается на экране по горизонтали и вертикали. Например одно из самых распространённых разрешений 1920 x 1024. Следует учитывать, что качество изображения определяется не разрешением экрана, а плотностью пикселей. Хороший монитор должен иметь плотность не ниже 100 точек на дюйм (dpi). Следует иметь в виду, что высокое разрешение увеличивает нагрузку на видеокарту.
4. *Контрастность* – показывает максимальное отношение яркостей между самой светлой и самой темной точками. Её указывают в виде отношения, например 170:1.
5. *Яркость* измеряют в канделах на квадратный метр. Высокая яркость важна при сильной фоновой засветке. Но обычно следует устанавливать яркость

около  $100 \text{ кд/м}^2$ , т.к. стандарт цветового охвата sRGB регламентирует её в пределах  $80 \dots 120 \text{ кд/м}^2$ .

6. *Гамма-кривые* представляет степенную зависимость между сигналом видеокарты и яркостью пикселя на мониторе. Нормируется для каждого из компонент цвета (R, G, B) и по стандарту sRGB равен 2,2. Для электронно-лучевых трубок – ЭЛТ яркость является степенной функцией напряжения между катодом и модулятором  $B=kU^\gamma$ . Значение коэффициента  $\gamma$  мониторов близко к величине 2,2. Поэтому внесенное предыскажение компенсируется. Чувствительность человеческого глаза (впрочем, как и других органов) носит логарифмический характер, т.е. имеет место большая чувствительность к тёмным тонам. При низкой разрядности при кодировании сигнала диапазон яркостей используется неэффективно (имеет место не плавное, а ступенчатое изменение яркости в области малых яркостей). По этой причине и вносятся искажения в исходный сигнал – степенная зависимость с показателем  $1/\gamma$ . Зависимость яркости пикселей ЖК-монитора близка к S-образной, а программными средствами она подгоняется к типовой с показателем степени 2,2. Эта зависимость должна выдерживаться для всех трёх цветовых компонент. Для реальных мониторов эта зависимость отклоняется от идеализированной
7. *Цветовой охват* показывает, какую часть доступных для восприятия человеческим зрением цветов способно воспроизводить устройство отображения. Для наглядного описания диапазона воспроизводимых цветов используется диаграмма, на которой "подковообразная" фигура изображает весь диапазон цветов, доступных для человеческого зрения. По краям этой фигуры расположены чистые цвета, а при приближении к центру они смешиваются, образуя в итоге точку белого цвета. В мониторах чаще всего реализуется sRGB стандарт, а в полиграфической промышленности Adobe RGB. Чем шире цветовой охват, тем точнее цветопередача. Но следует иметь в виду, что при воспроизведении монитором с расширенным

цветовым охватом (со светодиодной, например, подсветкой) стандартного изображения sRGB цветопередача нарушается.



Цветовой охват sRGB

Цветовой охват Adobe RGB

Рисунок 2.4 – Примеры диаграмм цветовых охватов

8. *Время отклика* – указывается как минимальное время изменения яркости от 0,1 до 0,9 максимального значения (включение) и от 0,9 до 0,1 (выключение). Характеризует возможность монитора сохранять цветопередачу при быстрой смене изображений.
9. *Угол обзора* – это угол, при котором контраст изображения падает до заданного значения.
10. *Дефектные пиксели* – неуправляемые пиксели, которые могут не светиться или не гаситься.

По стандарту ISO13406-2 (в России — ГОСТ Р 52324-2005) для каждого класса мониторов допускается определенное количество дефектов: 4 класс качества — до 50 «горящих» пикселей, до 150 «мертвых» и до 500 других; 3 класс — до 5 «горящих», до 15 «мертвых» и до 50 пикселей с другими неполадками; 2 класс — до 2 «горящих», до 2 «мертвых» и до 5 «застывших» пикселей; 1 класс — битые пиксели отсутствуют.



## Определение и анализ параметров видеокарты

Самый быстрый способ определить параметры видеокарты – это использовать программу GPU-Z. Её интерфейс представлена на рисунке 2.5

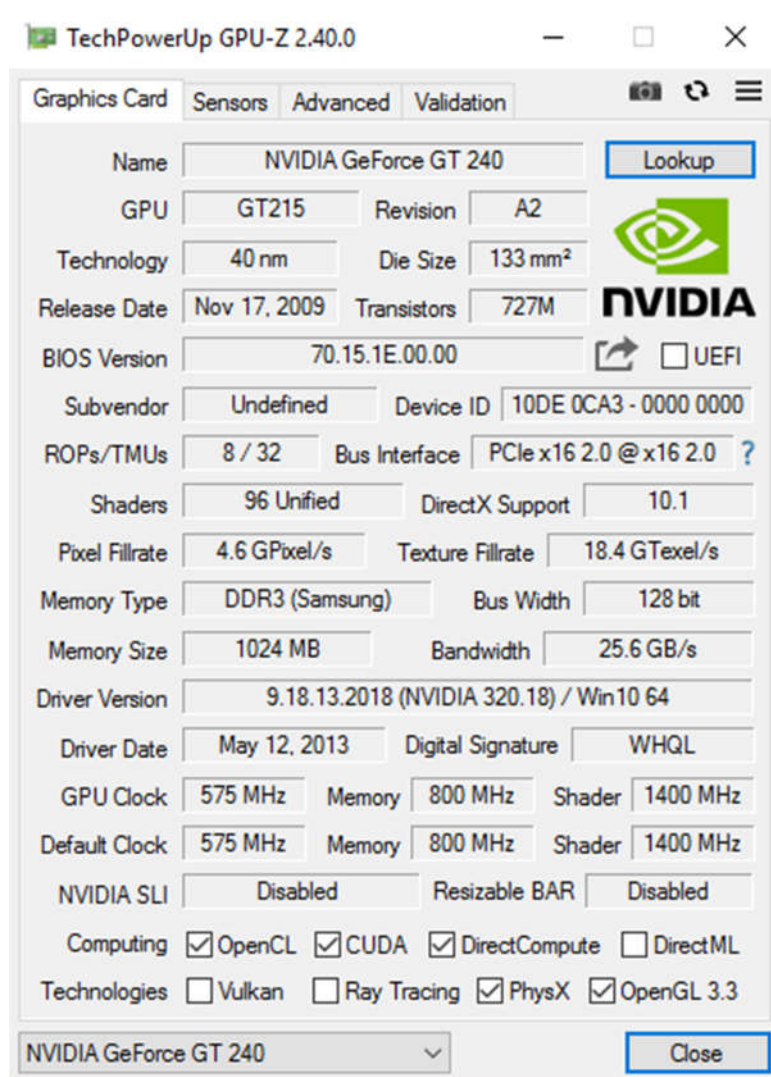


Рисунок 2.5 – Интерфейс программы GPU-Z

Производительность видеокарты определяется тактовой частотой видеочипа - *GPU Clock*, - типом видеопамяти – *Memory Type*, её тактовой частотой – *Memory Clock*.

Влияние таких параметров как *Bus Width* – ширины внутренней шины видеокарты и *Memory Size* – объема памяти на производительность не столь очевидно. Если ширина шины видеокарты больше ширины интерфейсной шины, то увеличение объёма памяти существенно влияет на производительность,



поскольку больше данных можно сохранить во внутренней памяти карты и получить быстрый доступ к ней. При нехватке памяти данные необходимо хранить во внешней памяти, доступ к которой существенно медленнее. Бюджетные карты могут иметь шину шириной 64 бит, карты среднебюджетные – 128 бит, а высокопроизводительные карты – 256 и более бит.

Для приведенного примера карты тактовая частота памяти  $F=800$  МГц, ширина шины карты памяти  $B=128$  бит/8 бит = 16 Байт, а тип памяти DDR3 выдаёт на шину данные дважды за период тактовой частоты (Double Data Rate). Определим пропускную способность – *BandWidth* при указанных характеристиках:

$$C=B \times F \times 2=16 \times 800 \times 2 = 25600 \text{ Гигабайт/с.}$$

Именно этот параметр и указан в характеристиках карты.

Пропускная способность шины PCIe 2.0  $\times 16$  в одном направлении составляет 8 Гигабайт/с (табл. 1). Это говорит о том, что падение скорости при недостаточном объёме памяти карты и размещении данных в основной памяти достигает 3-х раз.

Таблица 1. Пропускная способность версий шины PCIe

Год выпуска	Версия PCI Express	Кодирование	Скорость передачи одной линии	Пропускная способность на x линий				
				x1	x2	x4	x8	x16
2002	1.0	8b/10b	2,5 ГТ/с	250 МБайт/с	0,50 ГБайт/с	1,0 ГБайт/с	2,0 ГБайт/с	4,0 ГБайт/с
2007	2.0	8b/10b	5 ГТ/с	500 МБайт/с	1,0 ГБайт/с	2,0 ГБайт/с	4,0 ГБайт/с	8,0 ГБайт/с
2010	3.0	128b/130b	8 ГТ/с	984,6 МБайт/с	1,97 ГБайт/с	3,94 ГБайт/с	7,88 ГБайт/с	15,8 ГБайт/с
2017	4.0	128b/130b	16 ГТ/с	1,969 ГБайт/с	3,94 ГБайт/с	7,88 ГБайт/с	15,75 ГБайт/с	31,5 ГБайт/с
2019 <sup>[6][7]</sup>	5.0	128b/130b	32 ГТ/с	3,938 ГБайт/с	7,88 ГБайт/с	15,75 ГБайт/с	31,51 ГБайт/с	63,02 ГБайт/с
2021 <sup>[8]</sup>	6.0	128b/130b, PAM-4	64 ГТ/с	7,877 ГБайт/с	15,75 ГБайт/с	31,51 ГБайт/с	63,02 ГБайт/с	126,03 ГБайт/с

Рассмотрим, как влияет на производительность карты такой параметр как количество пикселей, которые может визуализировать (отрендерить) видеокарта за 1 секунду – *Pixel Fillrate*. Этот параметр важен для построения изображений

по хранящейся модели изображения. Особое значение он приобретает для динамических изображений. Предположим, что разрешение экрана монитора равно  $1920 \times 1080$  (FHD), а количество пикселей  $2\,073\,600$ , т.е. примерно 2 Мегапикселя. При производительности 4,6 Гигапиксель/с можно  $2\,073\,600$  обеспечить скорость смены 2300 кадров/с. При этом для получения плавных движений на экране человеку достаточно 24 кадра/с. Для исключения видимых искажений на экране из-за несвоевременной смены кадра необходимо поддерживать кратность частоты обновления кадров монитора и смены кадров картой. Поэтому скорость должна быть 30 или 60 кадров. Для исключения некратности частоту смены кадров синхронизируют с монитором за счёт сдвига начала очередного кадра. При этом возникает аperiodичность смены кадров. Этот эффект может восприниматься как дёрганье изображения.

Однако генерация реалистичных изображений для получения проекции трёхмерной картинке на экране с учётом неравномерности освещения, бликов, теней требует более сложной обработки. Изображения сложной формы обычно строятся на основе аппроксимации их поверхностей совокупностью треугольников и наложением на них специальных изображений – текстур, их обработки для учёта всех перечисленных эффектов, а также сглаживания на стыках треугольников. Этот процесс называется тесселяцией. При большом количестве объектов каждый из них требуется текстурировать, при этом следует учитывать, что объект может отображаться на переднем или заднем плане, что означает изменение его размеров. Поэтому размер текстуры должен соответствовать максимальному размеру объекта. Рендерингом и расчётом координат вершин треугольников занимаются унифицированные, т.н. шейдерные процессоры.

При размере текстуры, соответствующей максимальному разрешению экрана и допущении, что имеется 100 объектов для каждого из которых нужна только одна текстура, один кадр в секунду потребует скорости текстурирования  $200\text{ MTexel/s}$ . Данная видеокарта способна обеспечить в данном случае производительность  $18,4/0,2=96$  кадров в секунду. Реально количество объектов

на экране может достигать нескольких тысяч. Таким образом, карта с данными параметрами способна при 24 кадрах/с разрешением FHD поддерживать несложные игры с количеством объектов не превышающих 400, или игры с большим количеством объектов с пониженным разрешением.

За отправку просчитанных кадров в буфер видеокарты и их постобработку/выборку данных из памяти отвечает количество блоков растеризации – *ROPs* и текстурирования – *TMUs*. Отсюда следует, что наиболее критичным является показатель – *Texture FillRate* и следовательно количество *TMU*. По этой причине у данной карты этот показатель равен 8/32.

## Тестирование монитора

Тестирование мониторов можно разделить на качественное (визуальное) и объективное на основе проводимых измерений. Приведенный выше список объективных характеристики является далеко не полным и требует специального оборудования – колориметра и фотодатчика.

### Визуальное тестирование монитора

При визуальном тестировании определяют степень выраженности дефектов монитора или его настройки с использованием специальных тестовых изображений. При этом удобно использовать специальные программы. В работе предлагается использовать для этой цели тест DPT. Интерфейс программы представлен на рисунке 2.6. Выбор отображаемых экранов может осуществляться вращением колеса мыши, курсорными клавишами вверх/вниз, или влево/вправо.

*Определение засветов.* Засветы приводят к искажениям тёмных изображений в углах монитора. Оценка степени засветки осуществляется при заливке экрана чёрным фоном

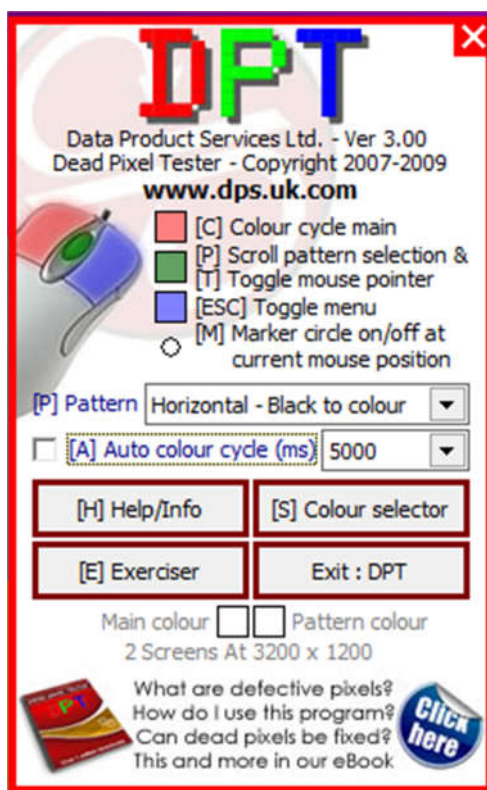


Рисунок 2.6 – Интерфейс программы

Качественно оценку рекомендуется сформулировать в виде: слабо выражена, хорошо заметна, сильно выражена. Пример экрана с сильно выраженной засветкой приведен на рисунке 2.7.

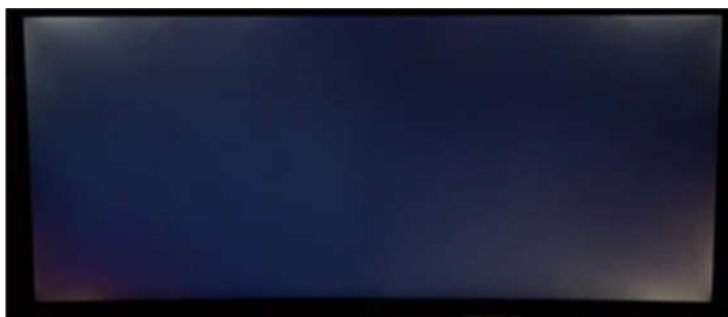


Рисунок 2.7 – Фотография экрана с сильно выраженной засветкой

*Неравномерность подсветки* свойственна большинству современных TFT-матриц. Её проверяют на светлой заливке. Целесообразно проверять засветку не только на белом фоне, но и на основных цветах. Результат проверки может быть выражен аналогично результатам засветки.

*Tint* – перепад цветовой температуры в разных частях экрана. Проявляется в виде окрашенных пятен на белом фоне.

Цветовая температура характеризует спектральный состав излучения абсолютно чёрного тела. В первом приближении она определяет оттенок белого. Рекомендуемая цветовая температура мониторов 6500 К, что примерно соответствует солнечному излучению в середине дня.

*Корректность цветопередачи* показывает, насколько правильно монитор передаёт основные цвета и оттенки. Это можно проконтролировать по диаграммам насыщенности (pattern saturation) и интенсивности (pattern intensity). Следует обращать внимание на обязательное различие смежных полос, и монотонность изменений насыщенности и интенсивности. На градиентных заливках следует проверить отсутствие ступенек и резких перепадов на переходах между цветами.

*Дефектные пиксели* следует искать на чёрном, белом и экранах, окрашенных основными цветами. Поиск их довольно затруднителен. При поиске целесообразно использовать лупу.

## Объективное тестирование монитора

Для объективного тестирования некоторых основных параметров монитора используется фотодатчик. Поскольку он не калиброван, то все измерения являются относительными. Их приемлемая точность гарантируется линейностью характеристики применённого фотодиода, схемой его включения и компенсацией темнового тока.

В данной работе для демонстрации метода объективного измерения параметров монитора осуществляется измерение контрастности при отклонении угла обзора от перпендикуляра к экрану. Пример графика подобной зависимости в абсолютных координатах приведен на рисунке 2.8.

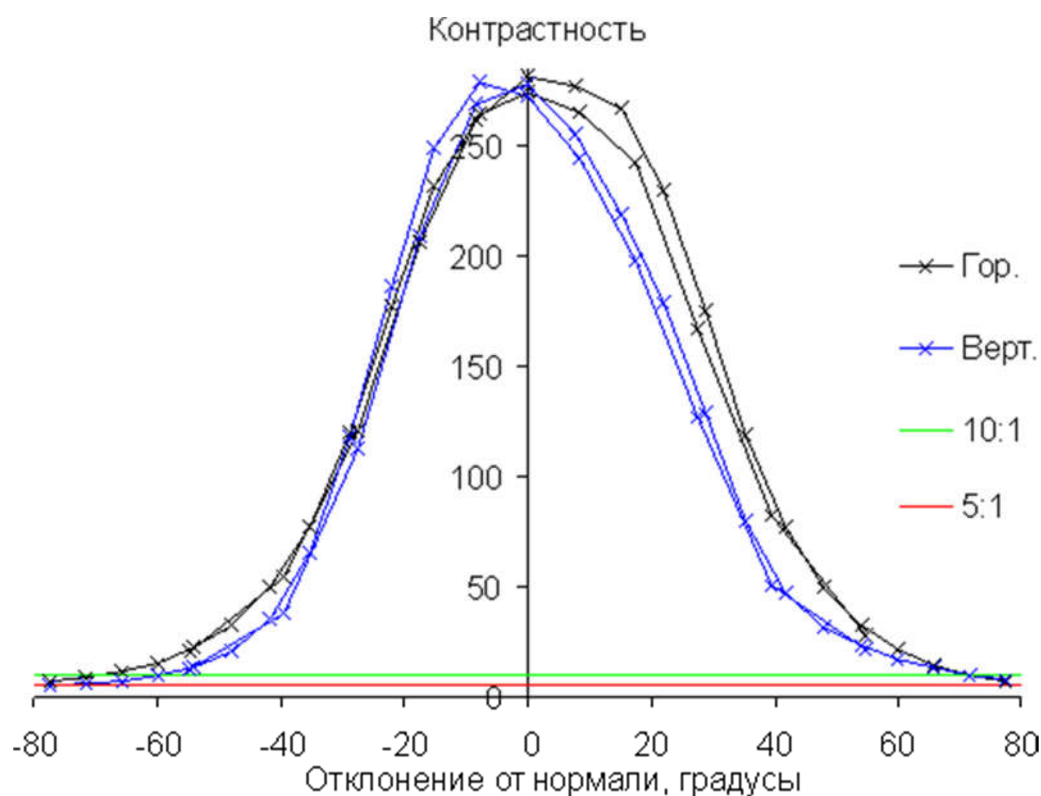


Рисунок 2.8 – Изменение контрастности при отклонении угла обзора от перпендикуляра к экрану

Зависимость контрастности в центре экрана от отклонения оси датчика (минус - влево или вниз, плюс – вправо или вверх) от нормали к экрану в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Зелёная линия – отношение 10:1, красная 5:1.

В работе максимальная яркость принимается за 100% и график строится в относительных единицах по оси контрастности. Датчик представляет собой фотодиод с трансимпедансным усилителем, подключенный к встроенному АЦП микроконтроллера. Микроконтроллер (МК) с 4-х разрядным семисегментным светодиодным индикатором питается от USB интерфейса персонального компьютера. На экране дисплея отображается усреднённое значение относительной интенсивности светового излучения, измеренное в конкретной месте (середина экрана) и нормированное по отношению интенсивности калибровки.

### **Порядок построения диаграммы**

Калибровка. Фотометр подключается USB порту компьютера, а затем включается сам компьютер. Загружается программ DSP и устанавливается белое поле. Фотодатчик нацеливается в центр экрана перпендикулярно ему и нажимается кнопка калибровки или сброса. Программа перезапустится и сохранит в памяти среднее значение интенсивности излучения. Поскольку датчик удерживается в неизменном положении, то его показание будет 100%.

Для построения диаграммы изменения контрастности в горизонтальной плоскости следует приложить шаблон с разметкой положений фотодатчика горизонтально и перпендикулярно экрану монитора и изменяя угол наклона в горизонтальной плоскости с шагом  $10^\circ$  в диапазоне  $-40^\circ \dots +40^\circ$  записать показания фотометра.

Аналогично снимается диаграмм изменения контрастности в вертикальной плоскости.

С помощью фотометра можно проконтролировать гамма-кривую по шкале серого и даже цветным шкалам калибруя фотометр по самой яркой полосе и перемещая его вдоль экрана сохраняя перпендикулярность фотодатчика экрану. Следует учитывать, что в погрешность измерения в этом случае войдёт неравномерность подсветки, а также засветка экрана.

## **Подготовка к лабораторной работе**

При домашней подготовке к лабораторной работе следует ознакомиться с устройством и функциями видеокарты, устройством LCD мониторов, основными характеристиками видеокарт и мониторов. Следует также ознакомиться интерфейсами рекомендованных вспомогательных программ и методикой объективного и субъективного контроля их параметров. Для контроля степени готовности к проведению лабораторной работы письменно ответьте на вопросы для самоконтроля.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Назовите основные составляющие видеокарты.
2. Что такое шейдеры?
3. Что означает термин универсальный шейдер?
4. Что такое пиксельная скорость заполнения?
5. Что такое текстура?
6. Какие технологии поддерживает видеокарта, представленная в описании к работе?
7. Что такое разрешение монитора?
8. Какие параметры характеризуют размер и геометрию монитора?
9. Какое поле следует использовать для качественной оценки засветки?
10. Какое поле следует использовать для выявления неравномерности подсветки?
11. Каким образом контролируется цветопередача монитора?
12. Какие дефекты цветопередачи можно обнаружить визуальным тестированием?
13. Что такое «битые пиксели»?
14. Какие дефекты пикселей могут присутствовать на панелях ЖК-мониторов?

### **Программа работы**

#### **Определение параметров видеокарты**

1. Включите компьютер и запустите программу GPU-Z.



2. Изучите основные характеристики видеокарты, характеризующие её производительность.
3. Оцените на основании ширины внутренней шины видеокарты, типа памяти и тактовой частоты памяти пропускную способность. Сравните её с заявленной.
4. Оцените скорость работы с использованием памяти ПК. Сравните результаты и объясните их.
5. На основе *Pixel Fillrate* оцените потенциальное количество кадров в секунду, которое может быть воспроизведено картой. Оно характеризует запас производительности по этому параметру.
6. В условиях допущений о сложности изображения приведенных в разделе «Определение и анализ параметров видеокарты» определите потенциальную максимальную скорость смены кадров.
7. Выпишите технологии, которые поддерживает данная видеоподсистема.
8. Закройте программу GPU-Z.

### **Визуальный контроль монитора**

9. Загрузить программу DPT.
10. Установить чёрное поле и качественно оценить засветку в терминах, приведенных в разделе «Визуальное тестирование монитора».
11. Установить белое поле и оценить неравномерность подсветки, а также степень неравномерности цветовой температуры.
12. По признакам указанном в разделе «Визуальное тестирование монитора» оценить корректность цветопередачи.
13. Предпринять попытку обнаружения битых пикселей (при поочерёдном исследовании экрана на чёрном, белом и цветных полях).

### **Объективный контроль монитора**

14. Подключить фотометр к USB-порту ПК.
15. Установить белое поле.
16. Прижать фотодатчик к центру экрана и перпендикулярно ему.
17. Нажать кнопку сброс/калибровка и дождаться показания близкого к 100%.
18. Приложить шаблон к центру монитора и расположить его горизонтально.

19. Устанавливать фотодатчик под углом к монитору в пределах  $-40 \dots +40$  градусов с шагом 10 градусов и регистрировать показания фотометра.
20. Построить кривую зависимости контрастности от угла обзора монитора в горизонтальной плоскости.
21. Повторить п. п. 19-20 при вертикальном расположении шаблона.
22. Определить вертикальные и горизонтальные углы обзора при контрастности 10:1.
23. Найти в интернет параметры монитора и сравнить паспортные углы обзора с измеренными. Сделать выводы.

### **Контрольные вопросы**

Объяснить какие функции выполняют блоки растеризации и текстурирования.

Что представляют собой и какую работу выполняют шейдеры?

Как влияет объём памяти видеокарты на скорость её работы?

Какие факторы определяют пропускную способность внутренней шины карты?

Что такое DirectX и OpenGL?

Для чего используются технологии CUDA, PhysX и OpenCL?

В чём смысл использования перечисленных выше технологий?

Какими преимуществами обладают ЖК-мониторы в сравнении с мониторами на электронно-лучевых трубках?

Каким образом управляют яркостью одиночной ЖК-ячейки?

Какие технологии применяемые в панелях ЖК-мониторов вам известны?

Чем отличается технология TN и IPS?

Как достигается цветное изображение в ЖК-мониторах?

Что такое гамма-кривые?

Зачем нужна гамма-коррекция?

## Содержание отчёта

Отчёт должен содержать:

1. Краткое описание видеосистемы ПК и перечень выполняемых ею функций.
2. Наименование материнской платы и установленного видеомонитора и также номер рабочего места.
3. Скриншот результатов анализа видеокарты ПК.
4. Результаты анализа характеристик видеокарты и общие выводы о сбалансированности характеристик видеокарты и её производительности.
5. Краткое описание методики визуального анализа монитора и перечень его параметров, указанных производителем, тип ЖК панели (источник сеть Интернет).
6. Результаты визуального анализа по каждой из анализируемых характеристик.
7. Изложение методики объективного определения характеристик монитора.
8. Результаты объективного определения характеристик монитора.
9. Письменные ответы на контрольные вопросы.

### **3 Организация взаимодействия компьютеров с внешними системами**

#### **Цель работы**

Цель работы ознакомление с возможностями организации на основе ПК измерительных приборов.

#### **Компьютер как основа современных сложных систем**

Несмотря на то, что компьютер означает вычислитель, роль его в современном мире уже давно вышла за пределы этой простейшей функции. На сегодня возможность реализации телекоммуникаций, создание сложных управляющих систем разного рода объектами, организация хранения и доступа к огромным архивам данных, построение сложных измерительных систем без компьютеров практически невозможно. При этом вычислительные системы предстают в самых разнообразных формах, от суперэвм, мощных рабочих станций, персональных компьютеров, до миниатюрных систем на основе микропроцессоров или микроконтроллеров управляющих микроволновками, стиральными машинами, телевизорами, детскими игрушками. Это приводит к бурному развитию микропроцессорной техники. Для иллюстрации достаточно того факта, что современный мобильный телефон по вычислительной мощности соответствует мощности персонального компьютера десятилетней давности.

Рассмотрим вопрос компьютерных измерений более подробно, поскольку большинство использований компьютера в системах управления базируется на информации о состоянии системы, получаемой на основе измерений её параметров.

Любой компьютер, в том числе и персональный компьютер, может превратиться в мощный измерительный комплекс, если его снабдить одним или несколькими аналоговыми входами. Единственно, чего не может сделать компьютер — непосредственно измерить и обработать аналоговый сигнал. Для решения этой проблемы существуют аналого-цифровые преобразователи (АЦП). Устройства, с помощью которых аналоговые и/или цифровые данные вводятся в компьютер или выводятся из него называются устройствами ввода/вывода (УВВ)

или платами сбора данных (ПСБ). Подобные платы могут подключаться к интерфейсу расширения материнской платы персонального компьютера (сейчас это PCIe) или к интерфейсам периферийных устройств (Ethernet, USB, RS232).

При использовании первого варианта можно получить отличные характеристики, но только за счет сложности и высокой цены. Второй вариант гарантирует максимальную простоту и дешевизну.

Самым простым интерфейсом является интерфейс RS232. В современных ПК он встречается редко, как устаревший. Но это не относится к специализированным компьютерам производственного назначения. В них он является практически обязательным, так как на его основе строятся современные интерфейсы RS422, RS485 широко используемые в промышленности. Широкая популярность интерфейса RS232 привела к появлению преобразователей интерфейса RS232-USB. На программном уровне подобный интерфейс выступает как виртуальный com-Port.

Серийно выпускаемое измерительное оборудование, как правило, имеет средства связи с ПК через интерфейсы, USB или Ethernet.

Какие же возможности предоставляет ПК? Компьютер как центральный орган любой виртуальной измерительной системы выполняет прежде всего функции интерфейса «человек - объект измерения».

**Экран** любого монитора дает гораздо больше возможностей для индикации, чем экран осциллографа (будь тот даже запоминающим), и, разумеется, экран монитора значительно больше, чем дисплей мультиметра.

**Клавиатура** и **мышь** удобнее в работе, чем кнопки, а **принтер** - даже простейший - предоставляет неоценимые возможности для вывода результатов на бумагу. Кроме того, компьютер обладает большой вычислительной мощностью, которую можно использовать для того, чтобы применить различные виды обработки результатов измерений: нормирование (приведение шкалы), линеаризацию, временную привязку, вычисление статистических показателей и т.д.

Наконец, **дисковый накопитель** будет очень удобен для накопления больших объемов данных с целью их последующей обработки, архивирования или передачи по линиям связи с помощью модема.

Измерительные приборы на основе ПК называют виртуальными приборами. Виртуальных приборов в одном компьютере может быть несколько. Причем, все необходимые приборы находятся на одном компьютере и могут быть использованы инициализацией программного обеспечения на компьютере, как это обычно делается в Windows.

Таким образом, устройства на основе компьютера предлагают не просто повторение стандартных измерительных функций обычных приборов, но обладают гибкостью для расширения их функций, наиболее полно и оптимально удовлетворяющих требованиям конкретной решаемой задачи.

Приборы, и традиционные, и виртуальные, выполняют одинаковые функции, они обеспечивают ввод/вывод, анализ данных и визуализацию результатов. Главное различие между виртуальными и традиционными приборами в гибкости подхода к построению измерительных систем. Портативные компьютеры расширяют возможности и сферу применения мобильных измерительных устройств. Если сравнивать возможности компьютерных и стационарных приборов, можно выделить несколько основных преимуществ первых:

- *настраиваемый пользовательский интерфейс, удобный оператору, а не фирме-изготовителю;*
- *богатейшие возможности по представлению информации;*
- *возможность адаптации к условиям измерения;*
- *учет статистики предыдущих измерений;*
- *работу в реальном времени для быстропротекающих процессов;*
- *размеры записи сигналов в реальном времени практически не ограничены;*
- *расширяемый специализированный анализ;*
- *язык интерфейса можно быстро изменить на нужный;*
- *быстрый отклик на изменения условий в процессе управления или измерения.*

Метрологические параметры и функциональные возможности таких приборов определяются как параметрами и функциональными возможностями плат сбора данных, используемых с компьютером, так и программным обеспечением.

В области виртуализации измерений наиболее известны достижения компании «National Instruments». Эта компания предложила программные средства, эмулирующие на экране ПК панель управления измерительного прибора и позволяющие управлять процессом измерений с клавиатуры ПК. При этом сбор информации этим же ПК и возможность построения программной связи между процессами управления измерениями, сбора данных и их обработки позволили создать из них единый «технологический» цикл. Такая ситуация создала предпосылки для представления о виртуальном приборе/инструменте как о программе, объединяющей в единое целое измерительный прибор, компьютер и процесс сбора и обработки данных. Достоинством программного обеспечения является графический интерфейс программирования, позволяющий из отдельных блоков собирать сложные программы управления обработки и визуализации данных как из кубиков. Одной из подобных систем является программный комплекс LabView.

Для управления и ввода измерительной информации с внешних АЦП или плат сбора данных в ПК нужны аппаратно-программные средства. Поэтому, как правило, подобные внешние средства базируются на встроенных микропроцессорах или микроконтроллерах.

### **Система тестирования АЦП на основе ПК**

Основы построения виртуальных приборов, использующих интерфейсы периферийных устройств в данной работе изучаются на примере построения системы тестирования аналого-цифрового преобразователя.

## Основные характеристики АЦП

АЦП преобразует аналоговый входной сигнал в цифровое выходное значение, которое соответствует уровню входного сигнала относительно опорного источника. Для лучшего понимания характеристик АЦП представим его в виде трех разновидностей: идеального, совершенного и реального АЦП. Идеальный АЦП может быть описан только теоретически, физически реализовать его невозможно. Он обладает бесконечной разрешающей способностью, при которой каждому произвольному входному значению соответствует уникальное выходное значение в пределах диапазона преобразования. Математически идеальный АЦП описывается в виде прямолинейной передаточной функции (см. рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 - Передаточная функция идеального АЦП

Определение совершенного АЦП опирается на понятие квантования. Его выходной диапазон может быть представлен в виде множества интервалов, каждому из которых соответствует собственное цифровое значение. Это означает, что одно выходное значение соответствует не конкретному уровню входного напряжения, а некоторому диапазону входных значений. Передаточная функция такого преобразования имеет лестничную форму. Например, АЦП с 8 интервалами имеет разрешающую способность 8 уровней или, иными словами, 3 разряда. На рисунке 3.2 представлен пример передаточной функции 3-х разрядного совершенного АЦП вместе с передаточной функцией идеального АЦП.



Совершенный АЦП эквивалентен идеальному точно в середине каждого интервала квантования, т.е. что совершенный АЦП округляет входные значения до ближайшего выходного значения.



Рисунок 3.2 - Передаточная функция 3-разрядного совершенного АЦП

Максимальная погрешность совершенного АЦП составляет  $\pm 1/2$  интервала дискретизации. Иными словами, максимальная погрешность квантования всегда  $\pm 1/2$  единицы младшего разряда (EMР), где EMР - приращение входного напряжения, при котором изменяется значение младшего разряда выходного кода. Реальный АЦП характеризуется другими источниками погрешностей, которые будут рассмотрены далее. В качестве исследуемого АЦП выбран встроенный в 8-битовый микроконтроллер AVR фирмы ATMEL (ныне Microchip). Поскольку система носит демонстрационный характер, а как отмечалось, в состав внешних плат сбора данных практически всегда входит микроконтроллер, то такое решение снижает стоимость системы. Рассматриваемый АЦП имеет несимметричный диапазон преобразования, простирающийся от 0 В до напряжения опорного источника, в качестве которого будет использоваться напряжение питания МК. При этом дискретные выходные значения могут изменяться от 0 до 1023 (разрешающая способность АЦП -10 бит).

К основным погрешностям АЦП относятся: смещение – передаточная характеристика не проходит через 0, погрешность коэффициента передачи –

наклон характеристики не соответствует характеристике совершенного АЦП, нелинейность передаточной характеристики.

Абсолютная погрешность - максимальное отклонение между идеальной и реальной передаточными функциями, включающая все вышеперечисленные составляющие. Минимальная же величина абсолютной погрешности равна погрешности квантования -  $1/2 \text{ EMP}$ .

Абсолютная погрешность может быть измерена с помощью пилообразного входного напряжения. В этом случае все выходные значения сравниваются с входным напряжением, а по максимальному отклонению определяется абсолютная погрешность.

Абсолютная погрешность не может быть скомпенсирована непосредственно, без использования таблиц преобразования или полиномиальной аппроксимации. Однако, наиболее весомые составляющие общей погрешности - передаточная погрешность и погрешность смещения - могут быть компенсированы. Необходимо помнить, что абсолютная погрешность сокращает диапазон АЦП и, необходимо ограничивать диапазон минимальных и максимальных напряжений при измерениях.

Для измерения характеристик АЦП используют специальные тестовые установки, основой которых является прецизионный цифро-аналоговый преобразователь ЦАП (рисунок 3.3).

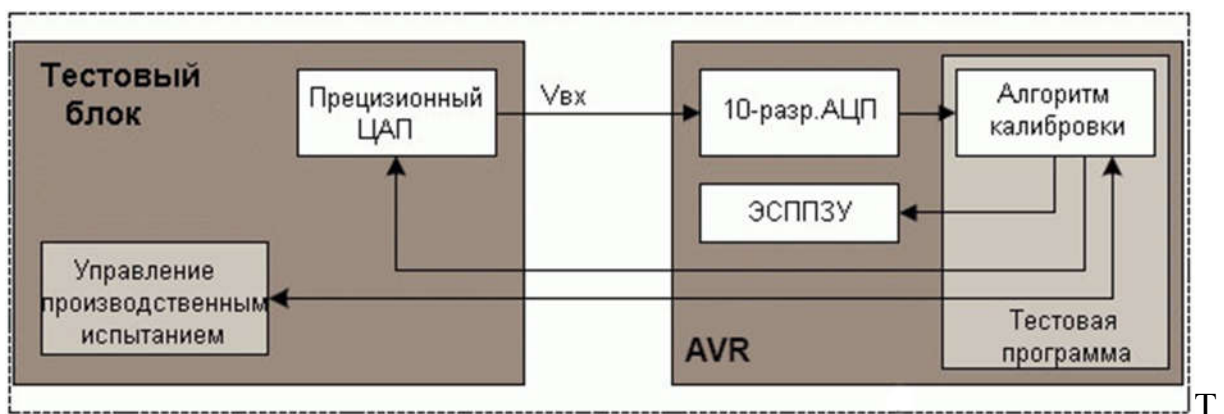


Рисунок 3.3 – Установка для измерения характеристик и калибровки встроенных АЦП в производственных условиях

Этот ЦАП должен иметь разрядность большую разрядности поверяемого АЦП (например, 16 бит).

В лабораторной работе используется упрощённый подход к оценке параметров АЦП, базирующийся на возможностях и особенностях построения как самого АЦП, так и встроенных средств аналогового вывода микроконтроллера AVR (рисунок 3.4).

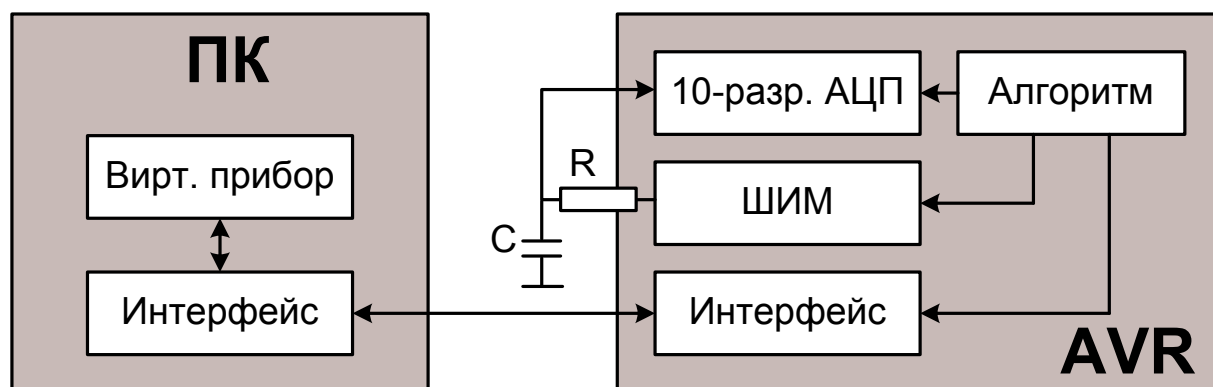


Рисунок 3.4 – Лабораторная установка для исследования встроенного АЦП

В установке вместо прецизионного ЦАП используется широтно-импульсная модуляция. Цифровые выходные каскады микроконтроллера построены по двухтактной схеме на комплементарных транзисторах с изолированным затвором и малым сопротивлением открытого канала. При выбранном сопротивлении фильтра RC ( $R = 100 \text{ Ком}$ ,  $C = 1 \text{ мкФ}$ ) падением напряжения на транзисторах выходного каскада можно пренебречь.

Линейно-изменяющееся напряжение формируется каналом ШИМ. Особенностью такого способа формирования является высокая линейность нарастающего напряжения и монотонная характеристика. Мгновенное значение напряжения определяется скважностью выходных импульсов и напряжением питания.

Для проведения исследований необходимо обеспечить амплитуду пульсаций меньшей  $0,5 \text{ ЕМР}$  ( $2,5 \text{ мВ}$ ), что гарантируется качеством стабилизации и фильтрации напряжения питания (для стандартных плат это условие трудновыполнимо). Долговременные изменения напряжения питания не

сказываются на результатах измерений, т.к. в качестве опорного напряжения АЦП используется тот же источник питания, что и для формирования линейно-изменяющегося напряжения. Следует отметить, что измерения в очередной точке характеристики преобразования можно проводить лишь в режиме установившегося напряжения. Поэтому интервал измерений при изменении скважности ШИМ должен быть не менее 1 секунды (может быть уточнён сравнением результатов при разных величинах интервала между измерениями).

Из-за большого времени измерения линейный режим используется лишь для контроля характеристики в нескольких точках (25 в лабораторной работе). Текст программы приведен в конце работы.

Программное обеспечение микроконтроллера запускает процесс генерации испытательного сигнала и реализует циклические измерения его значений тестируемым АЦП через фиксированные интервалы времени. Результаты измерений накапливаются в буферном ОЗУ микроконтроллера, а затем по виртуальному каналу RS232 поверх USB передаются в персональный компьютер.

Стенд реализован на платформе ARDUINO, что сильно упрощает разработку стенда и программного обеспечения.

Программа начинается с комментария, помещённого в скобки `/* ..... */`. Скобки позволяют компилятору игнорировать всё, что находится внутри них.

Далее идёт блок определения констант и переменных.

**void setup() { }** – это блок начальных установок

**void loop() { }** – собственно программа.

Каждый оператор программы завершается точкой с запятой, после которой следует комментарий. Двойной слеш (`//`) означает что далее идёт **ОДНОСТРОЧНЫЙ** комментарий. Недопустимо переносить комментарий на следующую строку. Если он не помещается в одной строке, то следующая часть комментария может начинаться на следующей строке с двойного слеша.

Следует обратить внимание на строку программы:

`delay(1000); // временной интервал для установления напряжения`

В ней задаётся время в миллисекундах, в течении которого напряжение на выходе фильтра после очередного изменения коэффициента заполнения прямоугольных импульсов установится с точностью достаточной для проведения следующего измерения. В процессе работы рекомендуется провести три серии измерений при 500 мс, 1000 мс и 2000 мс. Следует сравнить результаты тестирования для всех трёх случаев и указать оптимальный вариант, позволяющий оценить погрешность АЦП за минимальное время. Это важно при тестировании изделий в производственных условиях. Тестовое напряжение может и отличаться от линейного. Один из вариантов – это использование экспоненциального напряжения, которое легко формируется при подключении постоянного напряжения к RC – цепочке.

Для проведения испытаний на персональном компьютере следует запустить прикладную программа – «система сбора и визуализации данных». Она реализована как виртуальный измерительный прибор в среде графического программирования LabView National Instrument. В состав системы сбора входят средства поддержки виртуального последовательного асинхронного порта, парсер для сортировки принимаемых данных, встроенный цикл формирования двух блоков данных с средством синхронизации и блок визуализации данных (рисунок 3.5). При запуске программы на экране появляется приборная панель (рисунок 3.6).

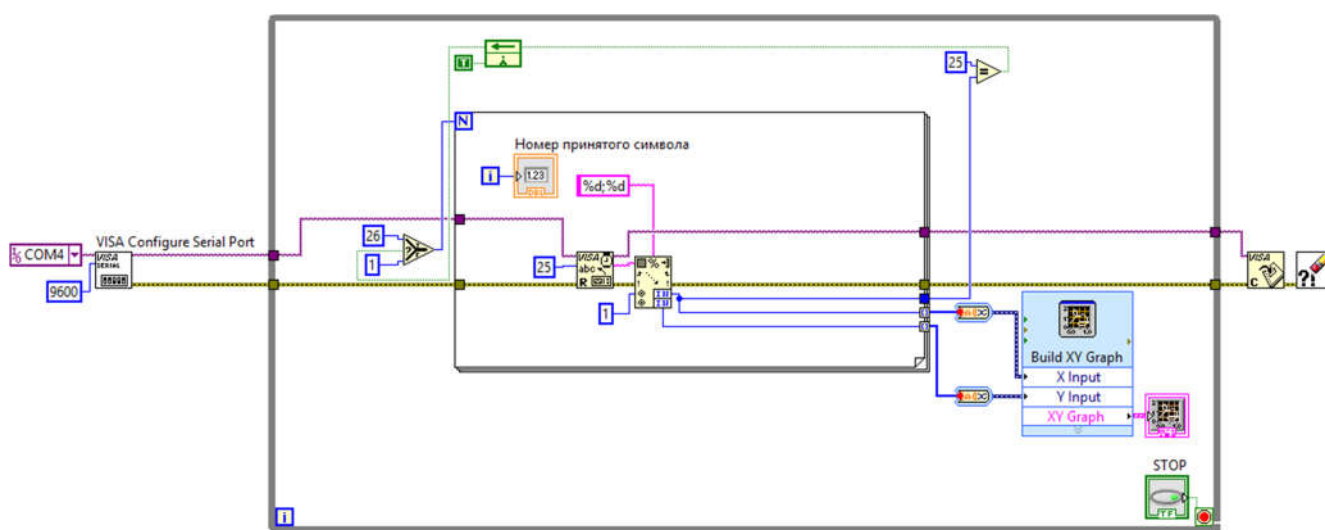


Рисунок 3.5 - Виртуальная система сбора и визуализации данных

Функция преобразования, полученная системой сбора, и её абсолютное отклонение от функции совершенного АЦП представлены на рисунке 3.6.

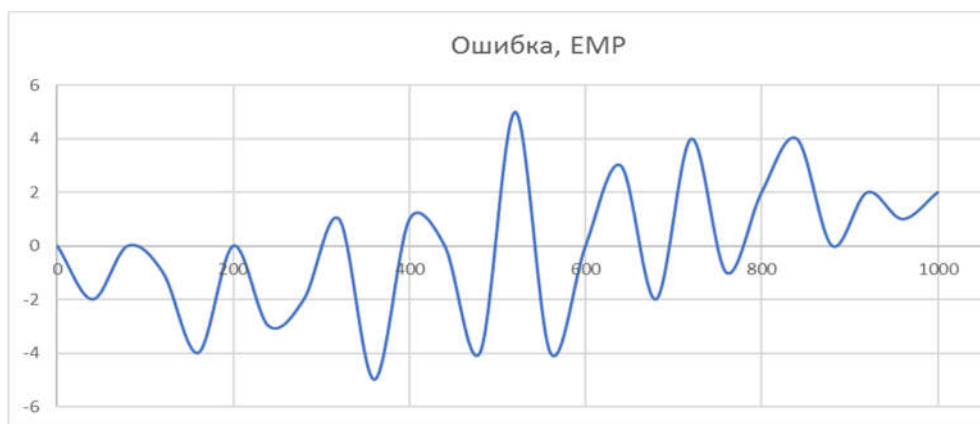
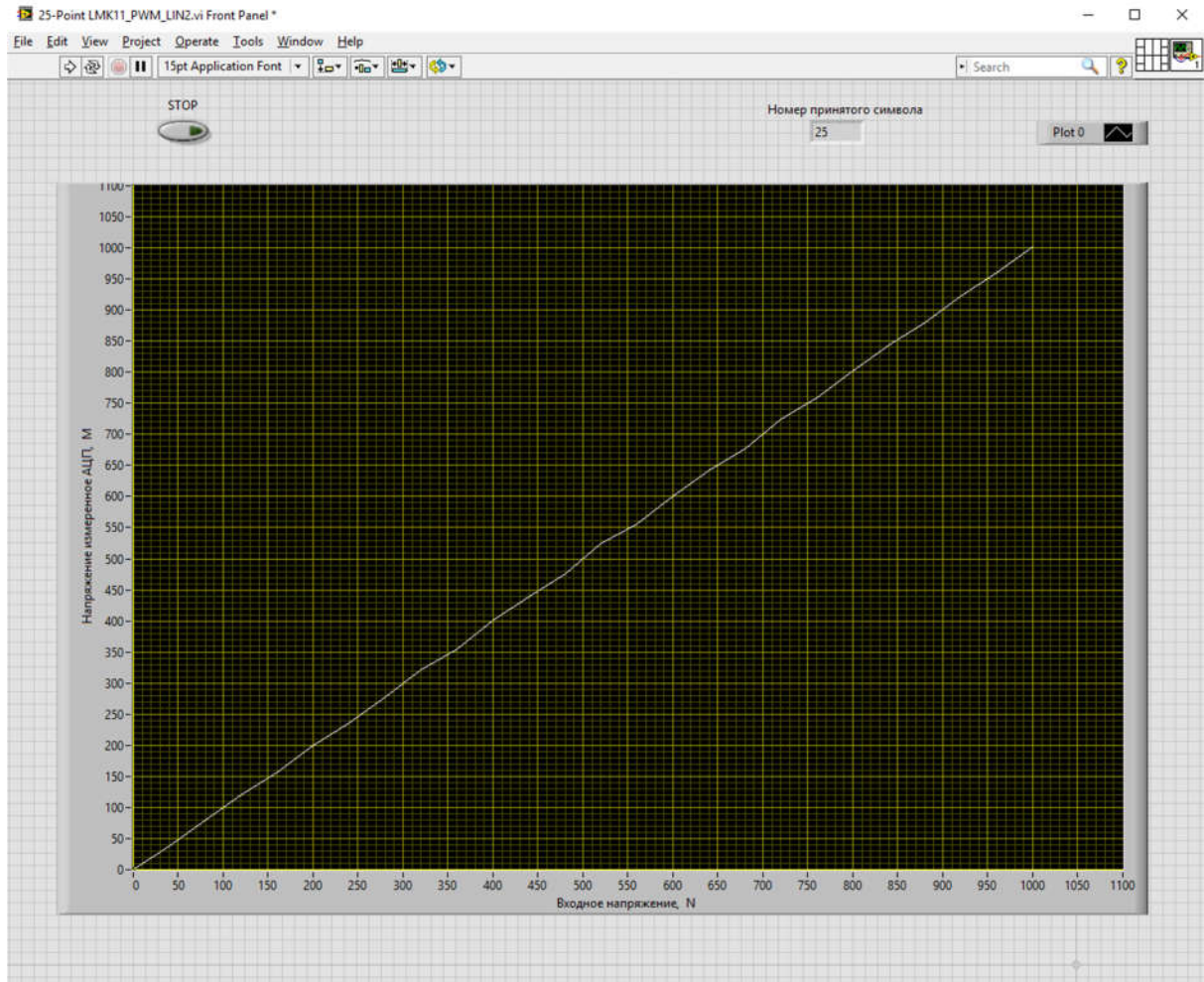


Рисунок 3.6 – Функция преобразования АЦП и её отклонение от функции преобразования совершенного АЦП

Система сбора и визуализации данных допускает экспорт данных щелчком вспомогательной кнопкой мыши на экране виртуального монитора и выбором пункта «Export». При анализе с помощью электронных таблиц можно выбрать пункт экспорта непосредственно в Excel.

### **Подготовка к лабораторной работе**

При домашней подготовке к работе следует:

1. Изучить характеристики АЦП и методы их определения.
2. Ознакомиться с устройством и назначением контактов платформы ARDUINO на примере платы ARDUINO MINI PRO.
3. Изучить детали организации лабораторной установки в контексте исследования характеристик встроенных АЦП.
4. Изучить программу исследования характеристик АЦП с помощью линейно-изменяющегося напряжения **PDCComputer\_L3.ino**.
5. Ознакомиться с меню фронтальной панели и блок схемой виртуально системы сбора и визуализации.

Для самоконтроля ответить на нижеследующие вопросы.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Как обеспечивается многоканальность встроенного АЦП МК ATMEGA?
2. Какой канал измерения задействован в системе сбора?
3. Каким образом АЦП преобразует быстро изменяющееся напряжение?
4. Какое напряжение используется в качестве опорного при тестировании АЦП?
5. Каким образом формируется тестовое напряжение при испытаниях АЦП?
6. По какой причине нельзя запускать измерение непосредственно после изменения коэффициента заполнения ШИМ?
7. За счёт чего обеспечивается возможность тестирования встроенного АЦП МК ATMEGA при неточном опорном напряжении?

## Программа работы

1. Включить ПК.
2. Подключить платформу прототипирования с установленной макетной платой для исследования к USB порту компьютера.
3. Запустить ARDUINO IDE загрузив программу **PDCComputer\_L3.ino** из папки лабораторной работы двойным щелчком главной кнопки мыши. Установить тип платы, процессора и номер порта обмена через панель меню Инструменты (рисунок 3.7).

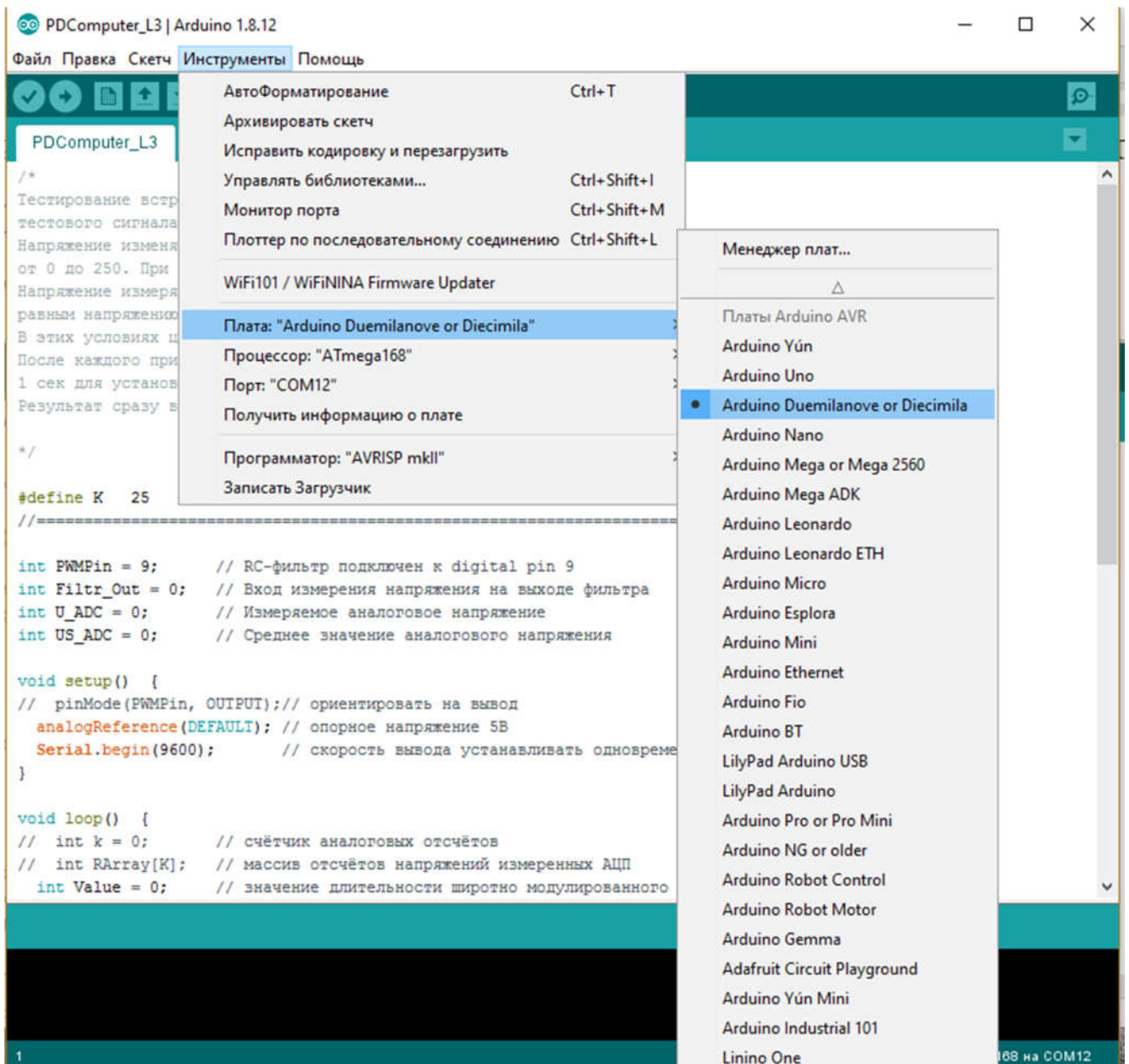


Рисунок 3.7 – Установка параметров платы прототипирования



4. Проверить длительность паузы для установления тестового напряжения. Должно быть - `delay(1000)`. Изменить, при другой задержке. Запустить загрузку скетча (так называется программа платформы ARDUINO). После загрузки программы ARDUINO IDE можно закрыть.
5. Загрузить программу **PDCComputer\_L3\_25-Point\_PWM.vi**. Сочетанием клавиш клавиатуры **Ctrl+E** или через пункт меню **Window/ Show Block Diagram** открыть блок схему программы и, щелчком по значку последовательного порта **I/O COMX**, выбрать номер предоставляемого системой виртуального порта. Убедиться, что скорость порта соответствует скорости обмена в программе (9600).
6. Запустить систему сбора с её панели (стрелка вправо). Дождаться автоматической остановки (зажжётся красная иконка). Скопировать диаграмму щелчком по окну изображения правой кнопкой мыши через пункт **Export** (удобно сделать после остановки измерений) в буфер. Альтернативно можно выделить всю панель и скопировать её в буфер. Сохранить изображение в отчёте для последующего анализа.
7. Экспортировать данные в **Excel** (а можно в буфер обмена, а затем в текстовый файл). При анализе данных следует построить в **Excel** график зависимости отсчётов АЦП от кода тестового напряжения, формируемого программой в плате МК, и линию тренда (линейная регрессия). Отрезок, отсекаемый линией регрессии на оси отсчётов АЦП – смещение АЦП. Это значение следует сохранить в качестве параметра АЦП. Сохранить в отчёте таблицу и построенные графики.
8. Установить аддитивную поправку противоположную смещению. И мультипликативную поправку, обратную множителю линии регрессии. Скорректировать коды сформированные АЦП. сначала компенсируется смещение, а затем результат масштабируется.
9. Определить абсолютную погрешность в каждой тестируемой точке для нескорректированного АЦП, а затем после коррекции. Привести графики абсолютной ошибки для исходного и скорректированного АЦП.

10. Прodelать пункты 4-9 для при времени установления тестового напряжения 500 мс и 2000 мс.

### **Контрольные вопросы**

1. В чём состоит смысл применения компьютеров при управлении объектами?
2. Что представляет собой виртуальный прибор?
3. Каким образом можно подключить плату сбора данных к персональному компьютеру?
4. В чём состоит преимущество плат сбора данных, устанавливаемых в разъёмы материнской платы в сравнении с платами, подключаемыми с помощью интерфейсов периферийных устройств?
5. Чем отличается идеальный АЦП от совершенного?
6. Что такое ошибка квантования?
7. Какому АЦП не свойственны ошибки квантования?
8. Назовите основные ошибки АЦП, отличающие реальный АЦП от совершенного.
9. Что такое ошибка смещения АЦП?

### **Содержание отчёта**

Отчёт должен содержать:

1. Титульный лист
2. Оглавление
3. Цель работы
4. Перечень основных статических параметров АЦП и описание методов их оценки
5. Схему экспериментальной установки
6. Тексты программ и блок схему виртуального прибора, используемого в лабораторной работе
7. Результаты экспериментов и их анализа
8. Список использованных источников

## 9. Ответы на вопросы

**Текст программы микроконтроллера**

```

/*
Тестирование осуществляется с помощью генерируемого
8-битовым ШИМ сигнал частотой около 500 Гц.
Напряжение изменяется 25-ступенями с шагом 10,
от 0 до 250. При этом 0->0 В, 250 -> (250/256 x Епитания).
Напряжение измеряется 10-битовым АЦП с опорным напряжением
равным напряжению питания.
В этих условиях цена одного шага ШИМ соответствует 4 квантам АЦП.
После каждого приращения ШИМ осуществляется задержка
1 сек для установления напряжения и далее следующее измерение.
Результат сразу выдаётся во внешний интерфейс RS232.

В LIN1 - результат предварительно сохраняется в буфере,
а потом считывается целиком.
*/

#define K 25 // Количество измерений в цикле
//=====

int PWMPin = 6; // RC-фильтр подключен к digital pin 6
int Filtr_Out = 1; // Вход измерения напряжения на выходе фильтра
int U_ADC = 0; // Измеряемое аналоговое напряжение
int US_ADC = 0; // Среднее значение аналогового напряжения

void setup() {
  analogReference(DEFAULT); // опорное напряжение 5В
  Serial.begin(9600); // скорость вывода в виртуальный COM порт
}

void loop() {
  int Value = 0; // значение длительности широтно-модулированного импульса

  // =====
  // контроль функции преобразования по 25 точкам

  for(int k = 0 ; k <= K; k++) {

    analogWrite(PWMPin, Value); // установка нового значения аналогового напряжения
    Value +=10; // наращивание длительности импульса с шагом 10
    delay(1000); // установление напряжения

  }

  // =====
  // Усреднение по 16 измерениям, для подавления пульсаций источника питания.

  US_ADC = 0; // очистить результат усреднения
  for(int m = 0 ; m <= 15; m++) {

```

```
U_ADC = analogRead(Filtr_Out); // измерение очередного значения на выходе аналогового
фильтра
US_ADC = US_ADC+U_ADC; // накопление результатов для усреднения
U_ADC = (US_ADC>>4); // сдвиг на 4 разряда вправо, что эквивалентно делению на
16.
}
// =====

Serial.print(k); // вывод номера измерения
Serial.print(";"); // вывод разделителя (;)
Serial.println(U_ADC); // вывод отсчётов АЦП
}

// Напряжение ШИМ сбросить в 0
Value = 0;
analogWrite(PWMPin, Value); // установить нулевое значение выходного напряжения
фильтра
delay(2000);
}
```

## 4 Цифровой осциллограф на ПК

### Цель работы

Цель - ознакомление с принципом построения виртуальных осциллографов.

### Принцип действия цифрового осциллографа

Осциллограф – один из важнейших приборов, позволяющий наблюдать форму электрических сигналов. Современные осциллографы в основном являются цифровыми. Принцип действия этих осциллографов базируется на преобразовании аналогового электрического сигнала с помощью АЦП в поток цифровых кодов, сохраняемых в быстрой оперативной памяти, последующей цифровой обработке и представлении в том или ином виде в графической форме [Дьяконов, В.П. Современная осциллография и осциллографы. Серия «Библиотека инженера». – М.: Солон-Пресс, 2009. – 320 с.]. Поэтому цифровые осциллографы вынуждены использовать микропроцессоры, а для выполнения критичных по времени операций – программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС). Возможность отображать сигналы высоких частот определяется частотой дискретизации аналоговых сигналов, т.е. аналого-цифровым преобразователем. Для наблюдения малых по величине сигналов их необходимо предварительно усилить. Усилитель также ограничивает диапазон частот наблюдаемых сигналов, но всё же основное ограничение связано с частотой дискретизации АЦП. В случае строго периодических сигналов можно расширить частотный диапазон осциллографа за счёт применения т.н. стробоскопического метода [Афонский А. А., Дьяконов В. П. Измерительные приборы и массовые электронные измерения. М.: СОЛОН-Пресс, 2007].

Форма использования микропроцессоров может отличаться. Если осциллограф выступает как законченное изделие, то он содержит встроенную микропроцессорную систему.

Альтернативным вариантом является цифровой осциллограф на базе персонального компьютера. В этом случае он представляет собой плату, устанавливаемую в разъем материнской платы (рисунок 4.1), или блок,

подключаемый к компьютеру через разъем периферийных устройств (обычно USB) (рисунок 4.2).



Рисунок 4.1 – Плата цифрового осциллографа с частотой дискретизации 100 МГц в режиме реального времени и 20 ГГц в стробоскопическом режиме, устанавливаемая в разъем PCI персонального компьютера



Рисунок 4.2 – Цифровой осциллограф с интерфейсами Ethernet и USB 3.0, с частотой дискретизации в режиме реального времени 1 ГГц и 20 ГГц в стробоскопическом режиме

Подобные осциллографы часто называют виртуальными. На экране монитора отображается панель управления, похожая на панель управления классического осциллографа, а управление им осуществляется с помощью клавиатуры или компьютерной мыши.

Использование вычислительных мощностей встроенного микропроцессора или персонального компьютера позволяет выполнять сложную обработку сигналов и определять множество их параметров. Стандартными функциями подобных осциллографов являются отображение минимального, максимального значений и частоты сигнала. При отображении сигналов они могут подвергаться цифровой фильтрации. Имеется возможность отображать спектр исследуемых сигналов.

Диапазон исследуемых частот у уникальных цифровых осциллографов достигает 100 ГГц.

### **Лабораторный стенд**

В лабораторной работе предстоит ознакомиться с простейшим виртуальным осциллографом, построенным на основе микроконтроллера AVR фирмы Microchip.

Микроконтроллер содержит встроенный АЦП последовательных приближений, а в качестве буферной памяти, в которой сохраняются цифровые отсчёты используется внутренняя оперативная память.

Входной аналоговый сигнал поступает на вход АЦП (в работе это А0) и после преобразования очередного отсчёта он сохраняется в буфере. Размер сохраняемого массива  $K$  фиксирован и равен 300 измерениям. При этом полное время развёртки  $T$  определяется как:

$$T = K / F_{\text{д}}$$

где  $F_{\text{д}}$  – частота дискретизации. Частота дискретизации определяется тактовой частоты  $F_{\text{т}}$  микроконтроллера (16 МГц), установленным коэффициентом деления, который может изменяться от 2 до 128 и количеством тактов  $K_{\text{д}}$  (в данном режиме  $K_{\text{д}}=13$ ), необходимых для полного цикла преобразования. При

этом время, затрачиваемое на одно преобразование, является величиной обратной частоте дискретизации и равно:

$$T_d = 1/F_d = 13 \times K_d/F_T.$$

Коэффициент деления тактовой частоты процессора  $K$  задаётся комбинацией битов в управляющем регистре АЦП – **ADCSRA** (Табл. 1).

Таблица 1.

Коэффициенты деления, определяющие частоту тактирования АЦП

ADPS2	ADPS1	ADPS0	Division Factor
0	0	0	2
0	0	1	2
0	1	0	4
0	1	1	8
1	0	0	16
1	0	1	32
1	1	0	64
1	1	1	128

После заполнения буфера он считывается и передаётся через преобразователь RS232-USB в ПК. При этом сначала следует номер отсчёта, далее разделитель «;», а затем численное значение отсчёта.

Максимальное входное напряжение 5 В, что соответствует величине опорного напряжения. Входное напряжение осциллографа не должно превышать напряжения питания (+5 В), иначе возможно повреждение МК. Для калибровки осциллографа на его вход подаётся напряжение прямоугольной формы частотой 500 Гц и амплитудой 5В.

Для упрощения реализации использована платформа прототипирования ARDUINO на основе платы FREEDUINO. Внешний вид платы представлен на рисунке 4.3



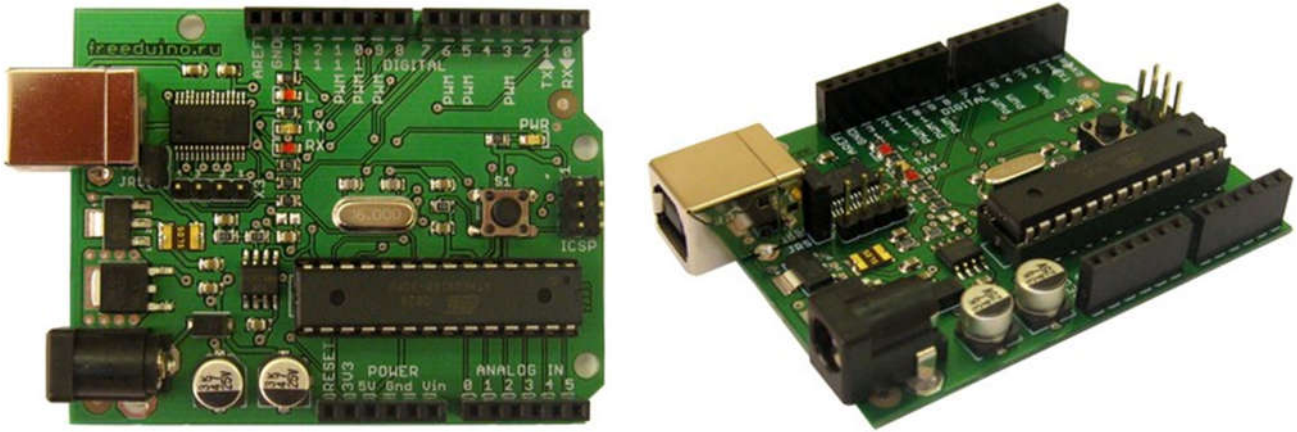


Рисунок 4.3 – Вид платы FREEDUINO

Микроконтроллер в корпусе DIP установлен в разъём и может быть ATmega8, ATmega168, ATmega328. Все необходимые для обеспечения работоспособности микроконтроллера элементы (кварцевый резонатор, блокировочные конденсаторы, кнопка сброса, стабилизаторы напряжения питания, предохранитель) установлены на плате. Помимо этого, на ней присутствует микросхема FT232, преобразователь интерфейса USB-RS232, размещённая непосредственно у разъёма USB. Краевые разъёмы предназначены для подключения плат расширения. При подключении к ПК питание обеспечивается интерфейсом USB персонального компьютера. Если плата совместно с подключёнными к ней устройствами потребляет ток более 0,5 А, или требуется повышенная стабильность напряжения питания, то можно подключить внешний источник питания с напряжением от 9 до 15 В к разъёму питания. При этом произойдёт автоматическое отключение питания от разъёма USB. Назначение выводов платы приведено на рисунке 4.4.

### Blink example

```

/*
 * Blink
 * http://arduino.cc/en/Tutorial/Blink
 */

int ledPin = 13; // LED on digital pin 13

// setup() runs once, when sketch starts
void setup() {
  // initialize the digital pin as an output:
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
}

// loop() runs over and over again
void loop()
{
  digitalWrite(ledPin, HIGH); // set the LED on
  delay(1000);                // wait for a second
  digitalWrite(ledPin, LOW);  // set the LED off
  delay(1000);                // wait for a second
}

```

### Serial

```

Serial.begin( 9600 );
count = Serial.available();
char = Serial.read();
Serial.write(value);
Serial.flush();
Serial.print(b, BYTE); //DEC,HEX,OCT,BIN
Serial.println(value);
Serial.end();

```

### Functions I/O

Digital

```

pinMode(pin, mode); // OUTPUT, INPUT
digitalWrite(pin, value);
int digitalRead(pin);

```

Analog

```

int analogRead(pin);
analogWrite(pin, value); // PWM

```

shiftOut(dataPin, clockPin, bitOrder, value);
unsigned long pulseIn(pin, value);

### Atmega168 Pin Mapping

reset	(PCINT14/RESET) PC6	1	28	PC5 (ADC5/SCL/PCINT13)	analog input 5
digital pin 0 (RX)	(PCINT16/RXD) PD0	2	27	PC4 (ADC4/SDA/PCINT12)	analog input 4
digital pin 1 (TX)	(PCINT17/TXD) PD1	3	26	PC3 (ADC3/PCINT11)	analog input 3
digital pin 2	(PCINT18/INT0) PD2	4	25	PC2 (ADC2/PCINT10)	analog input 2
digital pin 3 (PWM)	(PCINT19/OC2B/INT1) PD3	5	24	PC1 (ADC1/PCINT9)	analog input 1
digital pin 4	(PCINT20/XCK/XT0) PD4	6	23	PC0 (ADC0/PCINT8)	analog input 0
VCC	VCC	7	22	GND	GND
GND	GND	8	21	AREF	analog reference
crystal	(PCINT6/XTAL1/TOSC1) PB6	9	20	AVCC	VCC
crystal	(PCINT7/XTAL2/TOSC2) PB7	10	19	PB5 (SCK/PCINT5)	digital pin 13
digital pin 5 (PWM)	(PCINT21/OC0B/T1) PD5	11	18	PB4 (MISO/PCINT4)	digital pin 12
digital pin 6 (PWM)	(PCINT22/OC0A/AIN0) PD6	12	17	PB3 (MOSI/OC2A/PCINT3)	digital pin 11(PWM)
digital pin 7	(PCINT23/AIN1) PD7	13	16	PB2 (SS/OC1B/PCINT2)	digital pin 10 (PWM)
digital pin 8	(PCINT0/CLKO/ICP1) PB0	14	15	PB1 (OC1A/PCINT1)	digital pin 9 (PWM)

### Constants

```

#define HIGH 0x1 // 3-5V
#define LOW 0x0 // 0-2V

#define INPUT 0x0
#define OUTPUT 0x1

```

### Time

```

unsigned long millis();
unsigned long micros();
delay(ms);
delayMicroseconds(us);

```

### Interrupts

```

attachInterrupt(interrupt, function, mode);
detachInterrupt(interrupt);

interrupts();
noInterrupts();

```

### Math

```

min(x, y);
max(x, y);
abs(x);
constrain(x, a, b);
map(value, fromLow, fromHigh, toLow, toHigh);
pow(base, exponent);
sq(x);
sqrt(x);
sin(rad);
cos(rad);
tan(rad);

Random
randomSeed(seed);
long random(max);
long random(min, max);

```

Рисунок 4.4 – Назначение выводов платы

На контакт 5 в данной работе выводится тестовый сигнал в виде прямоугольных импульсов частотой 500 Гц, амплитудой 5 В. Фильтр с малой постоянной времени увеличивает длительность фронта и спада сигнала (рисунок 4.5)

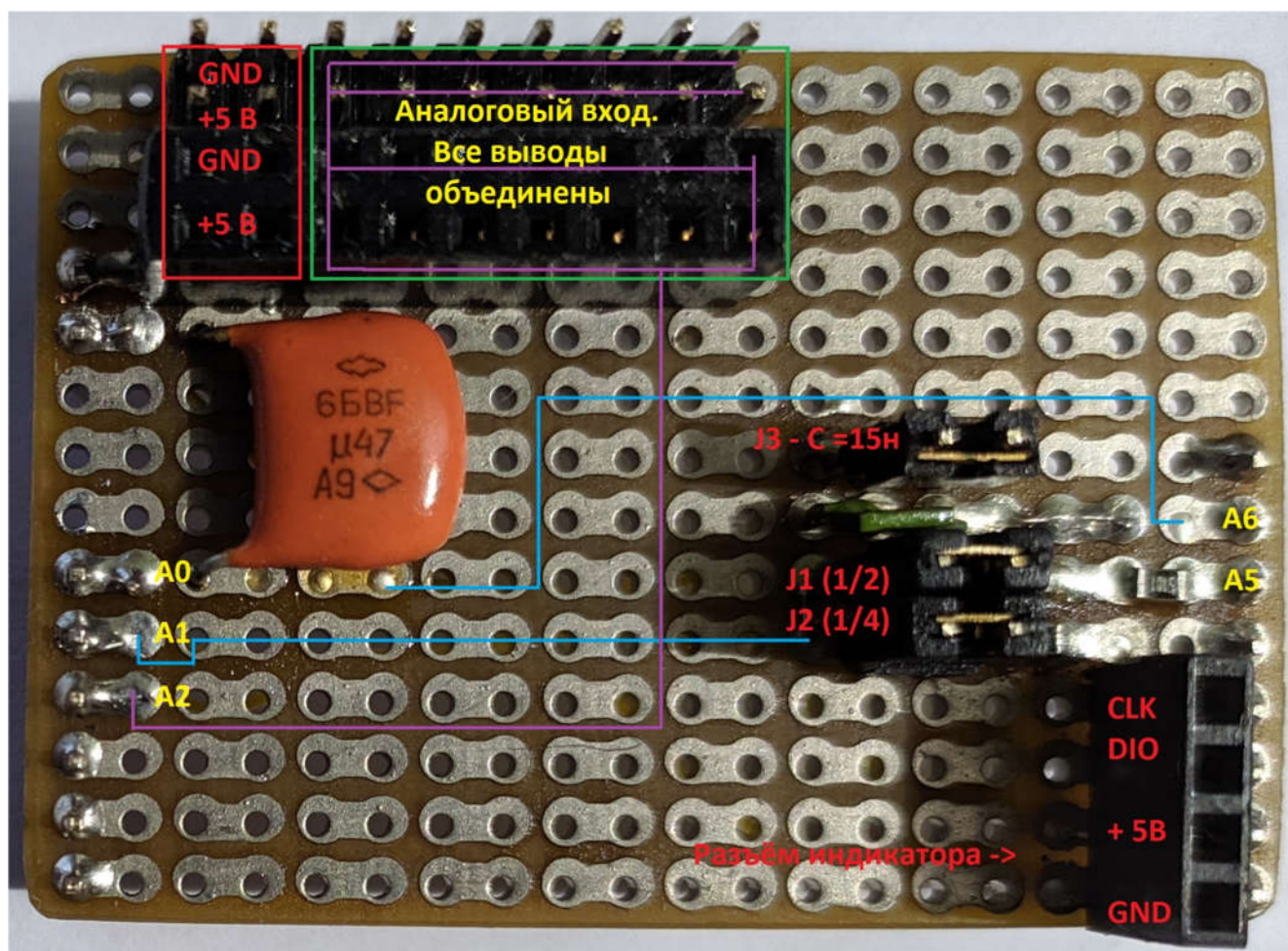


Рисунок 4.5 – Коммутационная плата системы сбора данных

Ниже приведена программа «PDCComputer\_L4\_OSC2.ino», реализующая функцию осциллографа и генератора тестовых сигналов.

```

/*
Осциллограф, считывающий результаты измерения в буфер при выполнении условия запуска:
преодолевается заданный порог VTriger и следующий отсчёт больше предыдущего (по фронту)
После заполнения буфера данные передаются в ПК.
Время измерения определяется как  $T=13 \times K \text{дел} / F_t$ , где  $K \text{дел} = 2^m$ , а  $m$  - коэффициент записываемый
в младшие биты регистра ADCSRA

ВНИМАНИЕ!!! Загрузка скетча должна происходить при выгруженной LabView.
Выбирать при программировании Duemilano MCU 328, программатор AVRISP mkII
*/

#define K 300 // Количество измерений в цикле
//=====
=====

int PWM_Pin = 5; // Выход генератора
int U_Puls = 1; // Вход осциллографа
int U_ADC = 0; // Измеряемое аналоговое напряжение
int VTriger = 50; // Порог программного триггера запуска развёртки
int Value = 128; // Меандр на ШИМ выводе (выход генератора)

void setup() {
  pinMode(PWM_Pin, OUTPUT); // вывод генератора ориентировать на вывод
  analogReference(DEFAULT); // опорное напряжение 5В
  Serial.begin(57600); // скорость интерфейса (в МК и виртуальном COM порте)
  analogWrite(PWM_Pin, Value); // установка длительности импульса генератора
  ADCSRA = ADCSRA & 0b11111000 | 0x02; // установка делителя тактовой частоты АЦП равным 4
}

void loop() {
  int RArray[K]; // задать буфер для отсчётов АЦП размером K

  // Условие синхронизации по фронту (с выполнения этого условия начнётся запись в буфер)
  U_ADC = analogRead(U_Puls); // считывание текущего значения напряжения.
  while(U_ADC >= VTriger){U_ADC = analogRead(U_Puls);} //ожидание спада сигнала
  U_ADC = analogRead(U_Puls); // считывание текущего значения напряжения.
  while(U_ADC <= VTriger){U_ADC = analogRead(U_Puls);} //ожидание нарастания сигнала

  for (int k = 0 ; k <= K; k++) {
    RArray[k] = analogRead(U_Puls); // измерение и сохранение в буфер
    delayMicroseconds(4); // увеличение времени дискретизации до 20мкс
  }
  Serial.println(1024); // синхрокод для виртуального строителя изображения
  for (int k = 0 ; k < K; k++) {
    U_ADC = RArray[k]; // считывание из буфера
    Serial.println(U_ADC); // передача отсчёта АЦП в ПК
  }
}

```

Программа детально задокументирована, потому понимание её не должно вызвать проблем.

Виртуальный осциллограф реализован в виде программы PDCComputer\_L4\_OSC2\_LView.vi, функционирующей на персональном

компьютере в среде LabView корпорации National Instruments. Он представлен приборной панелью (рисунок 4.6) и блок схемой (рисунок 4.7).

При нажатой кнопке STOP (она подсвечена) на панели осциллографа запуск приводит к однократному срабатыванию. Режим однократного пуска часто используется в осциллографах для наблюдения однократных процессов.

Следует обратить внимание на схожесть блок схем виртуальных приборов в лабораторных работах 3 и 4. Отличие состоит в том, что передаётся только отсчёт АЦП без его номера, и в интерпретации кодов, откладываемых по горизонтальной оси. В работе №3 это отсчёты тестового сигнала, а в данной работе – это время.

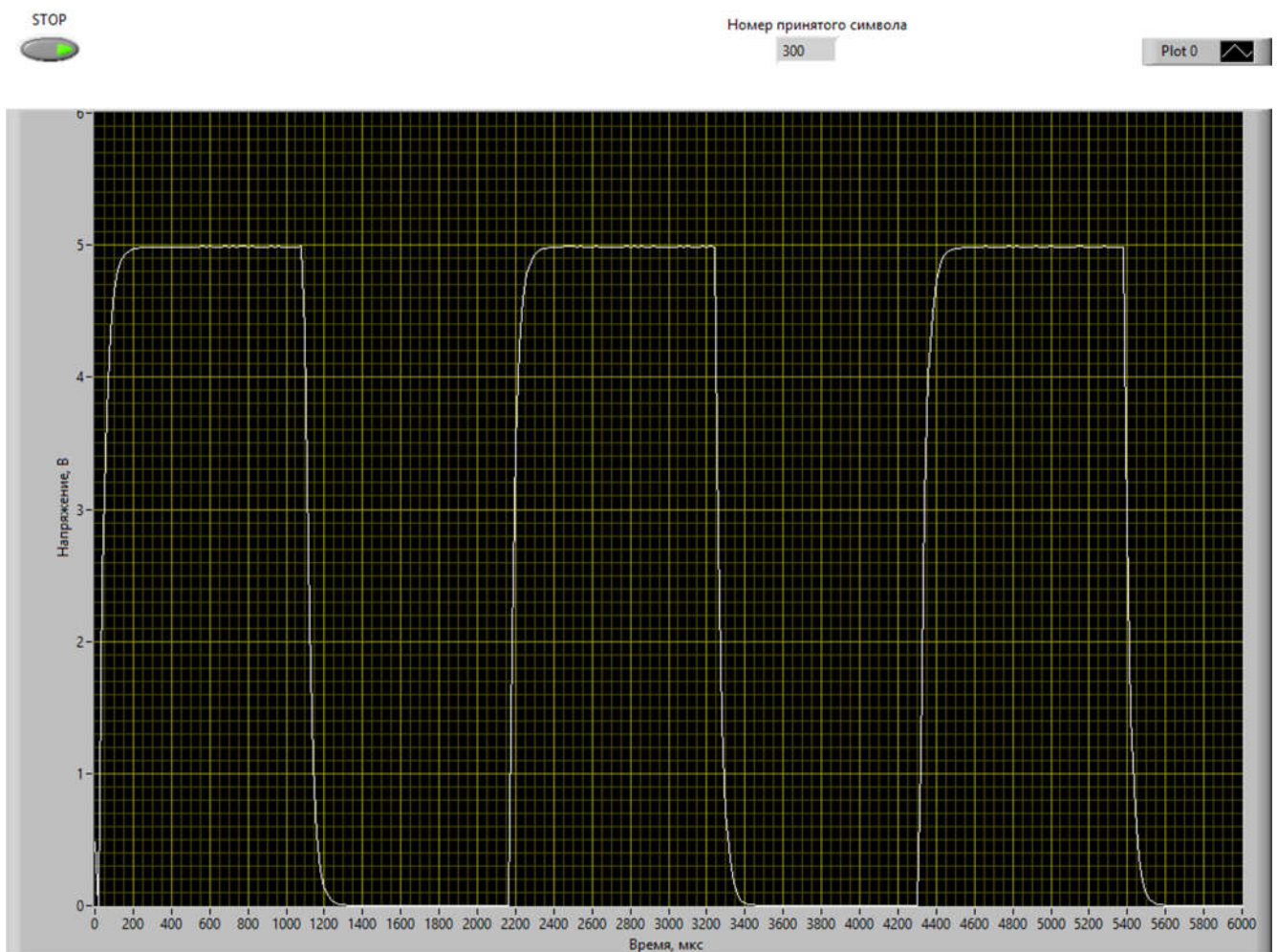


Рисунок 4.6 – Панель осциллографа

Следует обратить внимание на схожесть блок схем виртуальных приборов в лабораторных работах 3 и 4. Отличие состоит в том, что передаётся только отсчёт

АЦП без его номера, и в интерпретации кодов, откладываемых по горизонтальной оси. В работе №3 это отсчёты тестового сигнала, а в данной работе – это время.

Связь между платой осциллографа и ПК осуществляется на скорости 57600 бод. При этом

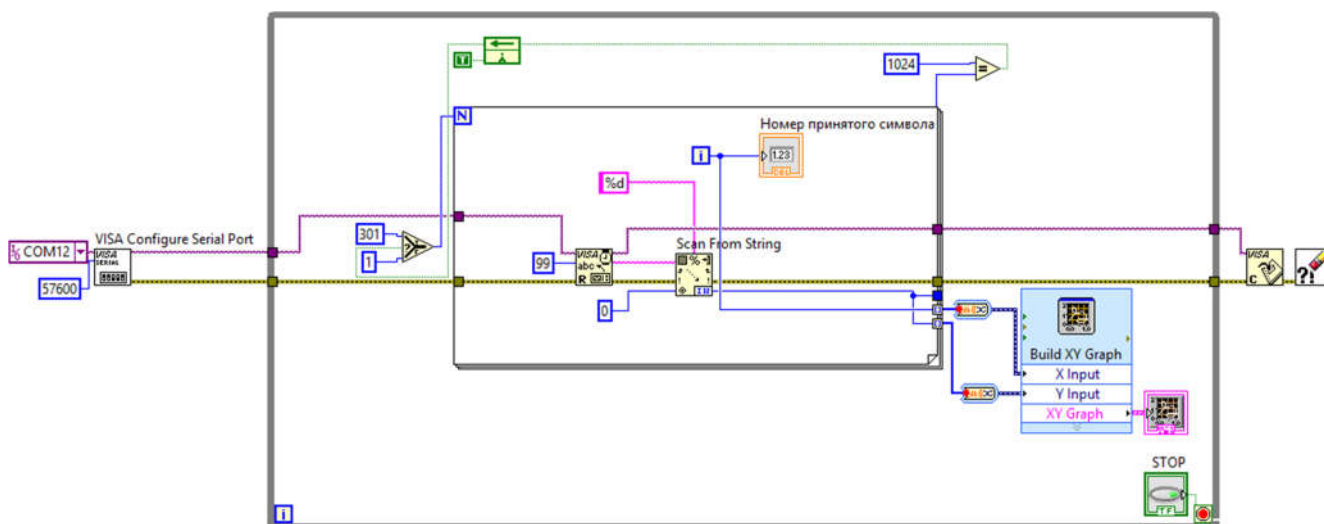


Рисунок 4.7 – Блок схема виртуального осциллографа

### Подготовка к работе

При домашней работе следует изучить принцип действия цифровых осциллографов. При этом полезно повторить теоретический раздел лабораторной работы №1 и закрепить понимание процессов дискретизации, квантования, назначение антиалиасингового фильтра. Также следует ознакомиться с платформой Ардуино и реализацией программной части осциллографа на её основе, изучить панель и блок-схему виртуального прибора PDComputer\_L4\_OSC2\_LView.vi. Для самопроверки письменно ответить на вопросы для самоконтроля.

### Вопросы для самоконтроля

1. Опишите принцип действия цифрового осциллографа.
2. Чем отличается цифровой осциллограф в приборном исполнении от виртуального осциллографа?
3. Какие разновидности виртуальных осциллографов вам известны?

4. Чем отличается стробоскопический осциллограф от осциллографа реального времени?
5. Какой из двух выше названных осциллографов позволяет наблюдать однократные сигналы?
6. Чем определяется рабочий диапазон частот осциллографа?
7. Как определить частоту дискретизации встроенного АЦП микроконтроллера?

### **Программа работы**

1. Включить компьютер.
2. Присоединить подключить макет к USB-разъёму ПК
3. Загрузить скетч из папки лабораторной работы. При этом откроется ARDUINO IDE.
4. Выбрать в пункте меню «ИНСТРУМЕНТЫ» плату Duemilanove, процессор ATmega168 и зарегистрированный при подключении порт.
5. В скетче установить коэффициент деления, определяющий скорость работы АЦП равным 16 (код 0x04).
6. Загрузить программу в микроконтроллер (стрелка вправо в панели меню).
7. Запустить программу виртуального осциллографа PDComputer\_L4\_OSC2\_LView.
8. Вызвать в пункте меню Window Block Diagram.
9. Установить номер COM-порта в соответствии с зарегистрированным номером порта платы ARDUINO и закрыть Block Diagram.
10. Запустить виртуальный осциллограф с панели виртуального прибора (стрелка вправо в меню).
11. Установить переключку делителя напряжения калибровки в одно из трёх положений. При этом на вход осциллографа будет подано одно из трёх напряжений – 1, 2 или 5 В.
12. Сохранить осциллограмму для отчёта.
13. Внимательно наблюдая осциллограмму оценить величину нестабильности синхронизации. Результат записать и сравнить с периодом дискретизации.

14. Повторить п. п. 11-12 для всех напряжений калибровки.
15. По осциллограммам сравнить амплитуду сигналов с значениями напряжения калибровки и оценить относительную погрешность в %.
16. Определить по диаграммам период калибровочного сигнала. Оценить погрешность временной шкалы с учётом того, что период генерируемого сигнала равен 490 Гц.
17. Остановить осциллограф, нажав красную кнопку на панели прибора.
18. Нажать на кнопку STOP. Она будет подсвечена зелёным цветом.
19. Запустить осциллограф. Наблюдать и описать изменения в работе осциллографа.
20. Закрыть программу виртуального осциллографа и LabView.
21. В скетче осциллографа изменить коэффициент деления на 4 (код 0x02).
22. Загрузить программу осциллографа в МК.
23. Установить переключку делителя в положение 5 В (максимальное напряжение калибровки).
24. Запустить программу виртуального осциллографа.
25. Включить осциллограф.
26. Сохранить диаграмму. Сравнить с предыдущими и сделать выводы о временном масштабе.

### **Содержание отчёта**

Отчёт должен содержать:

1. Титульный лист
2. Оглавление
3. Цель работы
4. Описание виртуального осциллографа
5. Тексты программ и блок схему виртуального осциллографа
6. Результаты экспериментов и их анализа
7. Список использованных источников
8. Ответы на вопросы



### Контрольные вопросы

1. Опираясь на текст скетча, объясните принцип синхронизации по фронту.
2. С учётом того обстоятельства, что процесс передачи содержимого буфера МК не согласован во времени с началом работы приёмного порта виртуального осциллографа, какие меры следует предпринять, для того чтобы диаграмма отображалась всегда с одной и той же позиции.
3. Объясните строку скетча `Serial.println(1024)`. Почему в ней указано такое странное значение.
4. На блок схеме виртуального осциллографа найдите значение 1024. На что по вашему мнению влияет эта величина, если судить по графическим блокам осциллографа?
5. Почему на блок-схеме виртуального осциллографа присутствует COM-порт, если обмен осуществляется через интерфейс USB?