



## Аннотация

Объем 43 с., 21 рис., 4 табл., 32 источников

Вольтметр, мультиметр, двухканальный вольтметр.

Объектом исследования является двухканальный вольтметр с цифровой индикацией.

Цель работы: разработка двухканального вольтметра с цифровой индикацией.

Задачи работы:

- Обзор состояния вопроса
- Анализ исходных данных и существующих решений
- Разработка электрической принципиальной схемы
- Выбор компонентов
- Написание программы для микроконтроллера
- Экспериментальное тестирование работы программы

Степень внедрения: теоретически рассчитаны параметры системы, разработана схема и выбраны элементы, написана программа для микроконтроллера. Экспериментально апробирована работа программы для микроконтроллера и вывод информации на персональный компьютер.

В данной работе происходит разработка двухканального вольтметра с цифровой индикацией. Выполнен обзор существующих решений. Разработана электрическая принципиальная схема, написана программа для микроконтроллера. Проведены экспериментальные исследования.

Данная работа может быть использована в учебном процессе на кафедре Промышленная электроника Тольяттинского государственного университета при проведении лабораторных работ.

## **Abstract**

The title of the graduation work is «Two-channel voltmeter with digital display».

The senior paper consists of an introduction, 3 parts, a conclusion, 21 picture, 4 tables, list of references including 6 foreign sources and the graphic part on 6 A1 sheets.

The object of research is two-channel voltmeter with digital display.

The aim of the graduation work is to develop of a two-channel voltmeter with digital display.

We start with the statement of the problem and then logically pass over to its possible solutions. We then analyze the literature concerning our problem.

We give a review of possible solutions and choose the most suitable ones, develop an electrical circuit diagram, carry out theoretical calculations and select elements.

In conclusion we'd like to stress that theoretically calculated system parameters, developed a scheme, selected elements and a program for the microcontroller was written. The operation of the program for the microcontroller and the output of information to a personal computer has been experimentally tested.

The key issue of the graduation work is the possibility of fast and convenient measurement of stresses during laboratory work

This work is of interest to students and teachers of the Department of Industrial Electronics.

## Содержание

Введение.....	5
1 Состояние вопроса .....	6
1.1 Формулирование актуальности, цели и задач проекта.....	6
1.2 Обзор существующих решений .....	6
2 Разработка электрической принципиальной схемы.....	15
2.1 Исходные данные для расчетов .....	15
2.2. Разработка функциональной схемы .....	15
2.3. Разработка электрической принципиальной схемы .....	16
2.4. Выбор компонентов.....	18
3. Программно - экспериментальная часть .....	23
3.1. Выбор величины опорного напряжения .....	23
3.2. Разработка программы и экспериментальные исследования .....	29
Заключение .....	39
Список используемой литературы .....	40

## Введение

Вольтметр – это измерительный прибор, позволяющий измерять напряжение (в вольтах). Существуют вольтметры, способные мерить постоянное и переменное напряжение. Очень часто режим вольтметра является одним из режимов работы мультиметра. Мультиметр является самым часто используемым измерительным прибором в области электроники. Стандартный мультиметр позволяет измерять постоянные и переменные напряжения и токи, сопротивление, а некоторые модели еще и емкость, частоту, температуру и другие параметры. Таким образом, мультиметр заменяет собой вольтметр, амперметр и еще раз приборов. Обычно вольтметр или мультиметр позволяют в один момент времени производить замер только одного напряжения и при необходимости одновременного замера двух и более напряжений используют необходимое количество вольтметров или мультиметров.

В лабораторных работах, выполняемых на кафедре Промышленная электроника Тольяттинского государственного университета, при исследовании усилителей существует необходимость одновременного замера их входного и выходного переменных напряжений. В дальнейшем выходное напряжение делится на входное и вычисляется коэффициент усиления усилителя. На данный момент для этой цели используются два мультиметра, включаемых в режиме вольтметров, показания с которых записываются и делятся одно на другое.

В данной ВКР предполагается разработать двухканальный вольтметр с цифровой индикацией, выполненный на основе микроконтроллера Arduino, который позволит одновременно замерять входное и выходное напряжение и вычислять коэффициент усиления усилителя.

Работа оформлена в соответствии с [1, 4, 5, 6,14, 17, 18, 25].

# **1 Состояние вопроса**

## **1.1 Формулирование актуальности, цели и задач проекта**

Разрабатываемый двухканальный вольтметр с цифровой индикацией, выполненный на основе микроконтроллера Arduino, позволит одновременно измерять входное и выходное напряжение и вычислять коэффициент усиления усилителя. Это позволит ускорить проведение лабораторных работ по исследованию усилителей и одновременно продемонстрирует студентам возможности применения микроконтроллерной техники. Дополнительной возможностью разрабатываемой системы является возможность вывода информации на компьютер.

Цель работы: разработка двухканального вольтметра с цифровой индикацией.

Задачи работы:

- Обзор состояния вопроса
- Анализ исходных данных и существующих решений
- Разработка электрической принципиальной схемы
- Выбор компонентов
- Написание программы для микроконтроллера
- Экспериментальное тестирование работы программы

## **1.2 Обзор существующих решений**

На данный момент для замера напряжений при проведении лабораторных работ используются либо два одноканальных мультиметра либо один двухканальный осциллограф.

### 1.2.1. Одноканальные мультиметры.

Примером такого мультиметра является Мультиметр MASTECH MS8238 [13-2026] (рисунок 1) [15].



Рисунок 1 – Мультиметр MASTECH MS8238

Компактный мультиметр эффективно обеспечивает тестирование диодов, батареек и прозвонку целостности цепи [27]. Усиленный переключатель позволяет избежать случайного нажатия. Прибор, выполнен из высококачественных материалов с прорезиненным корпусом, что делает его надежным и безопасным в использовании.

Высококачественный прорезиненный пластик корпуса мультиметра MASTECH MS8238 делает его прочным и надежным. Прибор имеет качественные щупы для проведения измерений. На корпусе имеется подставка для более удобного использования. Данная модель оснащена батареей типа «крона», что обеспечивает длительную работу прибора на одном элементе питания.

## Описание

Компактный мультиметр эффективно обеспечивает тестирование диодов, батареек и прозвонку целостности цепи. Усиленный переключатель позволяет избежать случайного нажатия. Прибор, выполнен из высококачественных материалов с прорезиненным корпусом, что делает его надежным и безопасным в использовании.

Кол-во элементов питания 1

Тип элементов питания 6F22 "крона"

Размеры (ШхВхГ) 75 x 148 x 50 мм

Вес 232 грамм

Габариты упаковки (ед) ДхШхВ 0.19x0.12x0.06 м

Вес упаковки (ед) 0.3 кг

Страна производитель Китай

### 1.2.2. Одноканальные вольтметры.

Более дешевым вариантом по сравнению с мультиметрами является использование вольтметров. Например, изображенного на рисунке 2. Средняя цена такого вольтметра в районе 300-500 руб [3].

Недостатком этого вольтметра с точки зрения применения в данной ВКР является то, что он предназначен для замера только постоянных напряжений.



Рисунок 2 – Вольтметр постоянного напряжения 0..30 В.

Вольтметры цифровые миниатюрные постоянного тока серий VDC предназначены для измерений напряжения в сети постоянного тока в пределах 0-33В. Рекомендуемая частота калибровки приборов 1-2 раза в год с точностью калибратора выше 0,1. Цифровой светодиодный вольтметр постоянного тока VDC 3,5-30,0V имеет степень защиты IP68 и может использоваться в условиях с повышенным уровнем загрязнения или с погружением в воду на длительное время глубиной более 1м. Подключают цифровые мини вольтметры непосредственно, напрямую. Встраиваемая конфигурация дает возможность установки без дополнительных настроек. Миниатюрные вольтметры чаще всего используются для точного определения напряжения бортовой сети транспортных средств (в автомобилях, мотоциклах), напряжения литиевых батарей мобильных телефонов и другого электрооборудования.

- Применение измерение напряжения в цепях постоянного тока

- Способ включения: Непосредственный

- Диапазон измерений напряжения: 0 - 33,00 В

- Цена деления: 0,01 В

- Класс точности: 2,0

- Частота замеров: 3,0 раз/с

- Рабочая температура: -10°C – +65°C

- Габариты L×B×H: 48×29×26 мм

- Установочные размеры L×B: 45×26 мм

- Дисплей: 0.36" LED

- Масса: 20 г

### **1.2.3. Двухканальные осциллографы**

Существует возможность использования двухканальных цифровых или аналоговых осциллографов. Такое решение позволит не только оценить амплитуду сигнала, но и увидеть его форму. Пример цифрового

осциллографа Atten (Gratten) GA1202CAL+ (2 канала x 200 МГц) изображен на рисунке 3 и в таблице 1. Цена 41 229 руб [24].

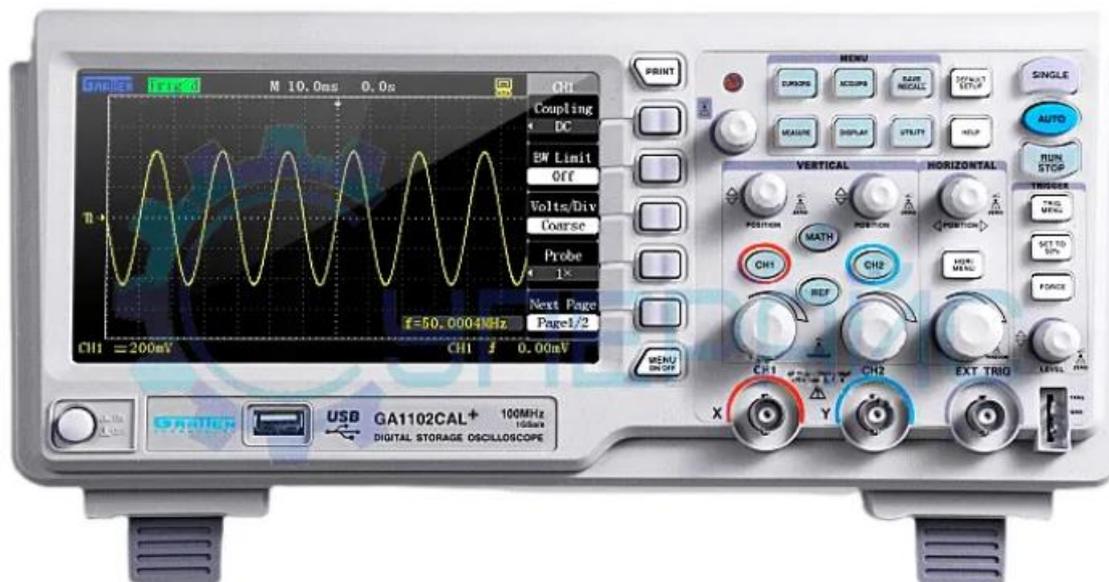


Рисунок 3 - Цифровой осциллограф Atten (Gratten) GA1202CAL+ (2 канала x 200 МГц).

Большинство цифровых осциллографов имеют возможность автоматического расчета амплитуды (и иных параметров сигнала). То есть имеется возможность получать значения амплитуды сигнала в цифровом виде. Однако в большинстве случаев имеется возможность таким образом в один момент времени оценивать амплитуду только одного сигнала, а для оценки амплитуды второго необходимо менять режим работы осциллографа. Таким образом, даже при использовании двухканального осциллографа необходимо производить некоторые манипуляции для снятия показаний в цифровом виде.

Таблица 1. - Параметры осциллографа GA1202CAL.

<b>Характеристики осциллографа</b>	
Количество каналов	2 канала + внешний запуск
<b>Вертикальная система</b>	
Разрешение по вертикали	8 бит
Чувствительность	2 мВ/дел - 5 В/дел
Время нарастания сигнала	≤ 1,7 нс
<b>Система синхронизации</b>	
Тип триггера	по фронту, длительности импульса, видео сигналу, наклону, альтернативный
Источник сигнала	CH1, CH2, EXT, EXT/5, AC Line
Режим триггера	автоматический, нормальный, одиночный
Диапазон удержания триггера	100 нс - 10 с
<b>Запуск по фронту</b>	
Режим запуска	запуск по нарастающему фронту, по ниспадающему фронту
<b>Запуск по длительности импульса</b>	
Тип	положительный импульс: >, <, = отрицательный импульс: >, <, =
Ширина импульса	20 нс ~ 10 с
Разрешение импульса	5 нс
<b>Запуск по наклону</b>	
Тип	положительный наклон: >, <, = отрицательный наклон: >, <, =
<b>Система измерения</b>	
Хранение произведенных измерений	16 наборов осциллограмм, 20 групп настроек, память для опорных сигналов
<b>Встроенный частотомер</b>	
Разрешение	6 бит
Диапазон	связь по переменному току, от 10 Гц до максимальной полосы пропускания
Источник сигнала	все источники, способные запускаться по типу запуска: импульсу или по фронту
<b>Общие характеристики</b>	
Дисплей	7", цветной (TFT), 800 x 480
Многоязыковой пользовательский интерфейс, русский язык	
Интерфейс	USB Device, USB Host, RS-232, P/F Out (изолированный)
Напряжение - питание	100 - 240 В, 50/60 Гц
Способ охлаждения	принудительная вентиляция
Габариты	339 мм x 110,5 мм x 148,5 мм
Вес нетто	2300 г

#### 1.2.4. Двухканальные мультиметры

Существуют двухканальные мультиметры. Например, АКТАКОМ АМ-1109. Розничная цена непомерно высока: 76 632,00 руб (Рисунок 4) [7].



Рисунок 4 – Двухканальный мультиметр АКТАКОМ АМ-1109.

Мультиметр АМ-1109 отличается наличием двух входов (двух каналов), что позволяет независимо производить измерения одновременно двух величин. Эта функция полезна при ремонте таких устройств, как сотовые телефоны – например можно отследить разницу между зарядом и разрядом аккумулятора. Мультиметр АМ-1109 также можно использовать при тестировании материнских плат компьютера. Везде, где раньше требовалось проводить измерения поочередно каждой величины, либо где нужно было использовать два прибора – мультиметр АКТАКОМ АМ-1109 поможет решить задачу. В цифровом мультиметре АМ-1109 имеется

быстродействующая графическая шкала, что даёт возможность наблюдать динамику изменения измеряемых величин.

#### **1.2.4. Выводы по обзору готовых устройств**

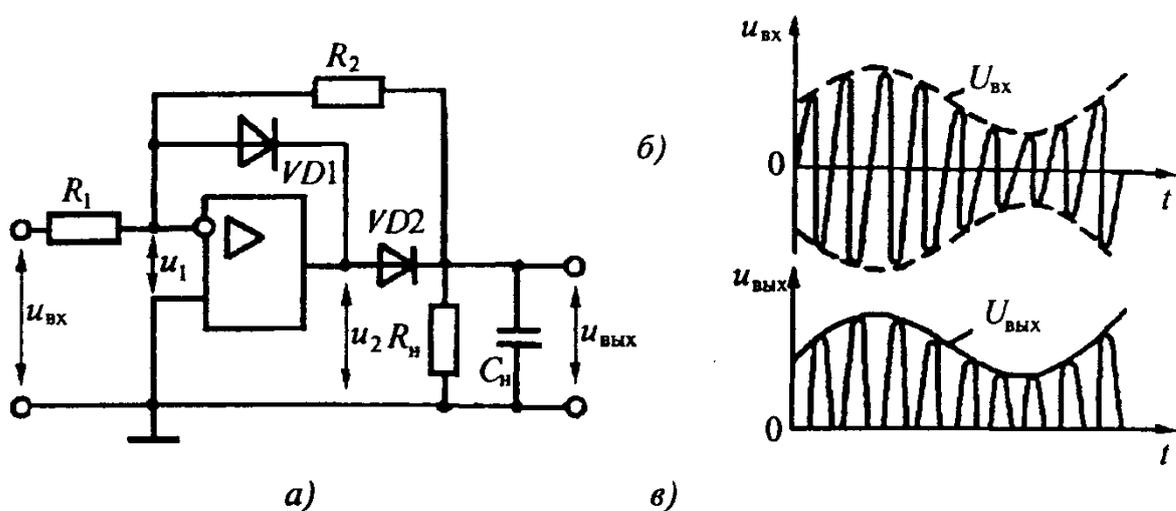
Таким образом, существуют и продаются недорогие одноканальные вольтметры и мультиметры, позволяющие осуществлять замер напряжений при использовании двух приборов. Существуют двухканальные мультиметры, однако их цена настолько высока, что дешевле приобрести два одноканальных мультиметра или вольтметра. Так же существуют двухканальные осциллографы, позволяющие наблюдать форму и амплитуду сразу обоих сигналов. Однако для получения амплитуды в цифровом виде необходимо определять ее по графической форме или выполнять манипуляции с кнопками осциллографа.

И при этом все рассмотренные приборы лишены функции автоматических вычислений – в нашем случае необходимо делить выходные значения на выходные.

#### **1.2.5. Пиковый детектор на операционном усилителе.**

В данном проекте предполагается использовать микроконтроллерную платформу Arduino, уже имеющую в своем составе аналого-цифровой преобразователь (АЦП), который позволит оцифровать поступающие на него напряжения. Однако АЦП работает только с положительными напряжениями и для замера амплитуды переменных напряжений необходимо выделить эту амплитуду. Малое значение входного напряжения (0.1В) не дает возможности использования простейшего пикового детектора (на диоде и конденсаторе). Поэтому необходимо использовать пиковый детектор на операционном усилителе.

Существует схема пикового детектора (рисунок 5) [8, 19, 22].



а) Схема, б) диаграммы напряжения на входе,  
в) диаграммы напряжения на выходе.

Рисунок 5 – Пиковый детектор на операционном усилителе.

На вход подается переменное напряжение  $U_{вх}$ , а на выходе получается однополярное выходное напряжение  $U_{вых}$ , равное амплитуде входного напряжения.

#### Выводы

В данном разделе формулируется цель, задачи, актуальность работы. Проведен обзор ситуации, рассмотрены возможные решения поставленных задач.

## 2 Разработка электрической принципиальной схемы

### 2.1 Исходные данные для расчетов

В данной ВКР разрабатывается двухканальный вольтметр с цифровой индикацией. Он должен определять амплитуды переменных напряжений.

1й канал: переменное напряжение  $0 \dots 0.1\text{В}$

2й канал: переменное напряжение  $0 \dots 10\text{В}$

Диапазон частот: от  $f_n = 10\text{ Гц}$  до  $f_v = 100\text{ кГц}$

### 2.2. Разработка функциональной схемы

Была разработана функциональная блок-схема вольтметра (рисунок 6).

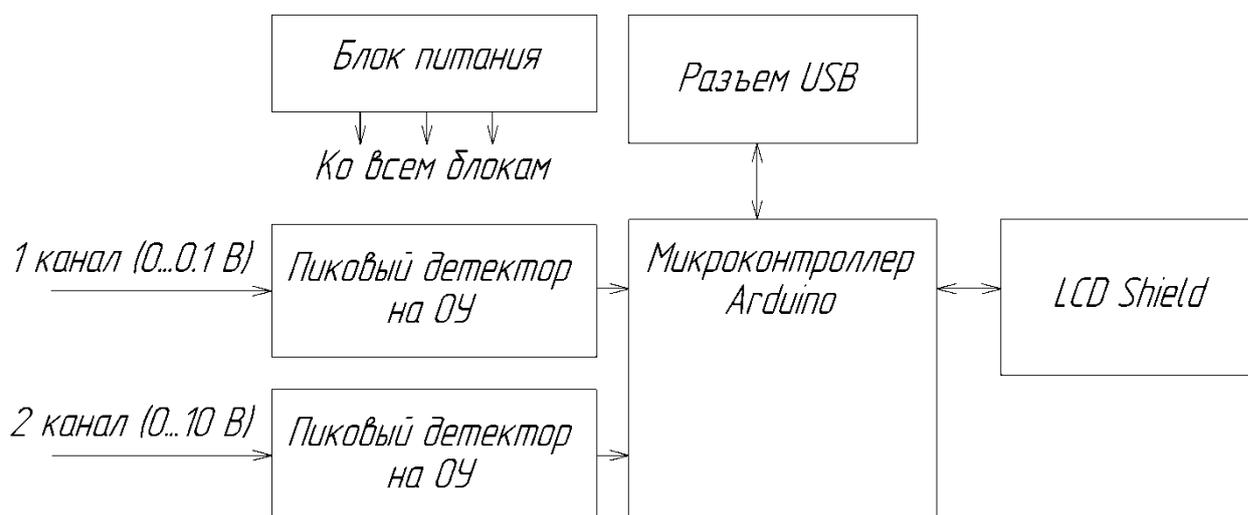


Рисунок 6 – Двухканальный вольтметр с цифровой индикацией. Схема функциональная.

В данном проекте предполагается использовать микроконтроллерную платформу Arduino, уже имеющую в своем составе аналого-цифровой преобразователь (АЦП), который позволит оцифровать поступающие на него напряжения. Однако АЦП работает только с положительными напряжениями и для замера амплитуды переменных напряжений необходимо выделить эту амплитуду [32]. Малое значение входного напряжения ( $0.1\text{В}$ ) не дает

возможности использования простейшего пикового детектора (на диоде и конденсаторе). Поэтому необходимо использовать пиковый детектор на операционном усилителе.

Измеряемые напряжения 1 и 2 каналов поступают на пиковые детекторы, выполненные на операционных усилителях (ОУ).

Помимо функции детектирования амплитуды на пиковые детекторы можно возложить функцию усиления или ослабления сигнала. Входной сигнал 1го канала имеет напряжения до 0.1 В, поэтому усилим его в 10 раз до уровня 1В. А сигнал 2 канала имеет амплитуду 10 В, поэтому ослабим его в 10 раз до уровня в 1В. Таким образом получим оба сигнала одного уровня в 1В и будем производить их оцифровку с опорным напряжением 1.1 В.

Выводить значения напряжений и их отношение будем на LCD дисплей размера 16x2. Для упрощения соединений воспользуемся модулем дисплея с кнопками LCD Shield, подключенным непосредственно к Ардуино.

Для питания системы необходимы напряжения: +12 и -12В для питания операционных усилителей и +5В для питания Ардуино. Возложим эту функцию на блок питания [30].

### **2.3. Разработка электрической принципиальной схемы**

На основе блок-схемы была разработана электрическая принципиальная схема (рисунок 7) [9,10].

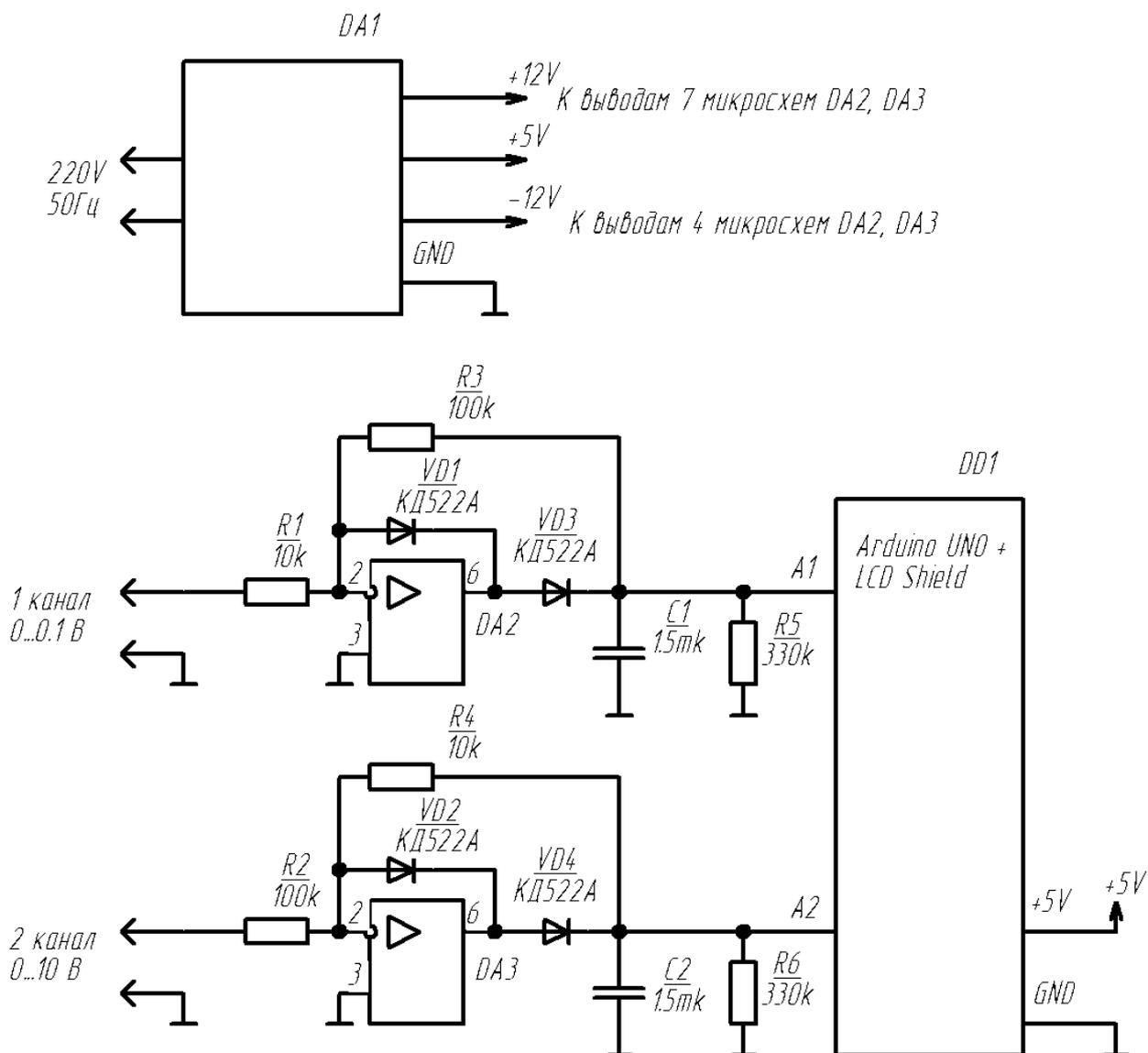


Рисунок 7 – Электрическая принципиальная схема.

Схема работает следующим образом. Измеряемые сигналы поступают на пиковые детекторы. Первый пиковый детектор реализован на операционном усилителе DA2. Сопротивления R1 и R3 задают коэффициент усиления  $K1 = R3 / R2$ . Было решено, что необходимый коэффициент усиления составляет  $K1=10$ .

Задались значением  $R2 = 10 \text{ кОм}$  и выбрали

$$R3 = K1 \cdot R2 = 10 \text{ кОм} \cdot 10 = 100 \text{ кОм} \quad (2.1)$$

Аналогично для второго пикового детектора задались значением коэффициента усиления  $K2=0.1$ ,  $R4=10 \text{ кОм}$  и выбрали

$$R2 = R4 / K2 = 10\text{кОм} / 0.1 = 100 \text{ кОм} \quad (2.2)$$

Выходная цепочка C1, R5 определяет постоянную времени пикового детектора  $\tau=C1 \cdot R5$ . Эта постоянная времени должна быть в несколько раз больше периода при самой низкой частоте работы вольтметра.

$$T_H = 1 / f_H = 1 / 10 \text{ Гц} = 0.1 \text{ с}, \quad (2.3)$$

где  $T_H$  – период при самой низкой частоте

$f_H = 10 \text{ Гц}$  – самая низкая частота работы вольтметра.

Задались постоянной времени, в несколько раз превышающей  $T_H$   
 $\tau=0.5\text{с}$ .

Из соображений, что величина R5 должна быть меньше входного сопротивления АЦП Ардуино задались значением сопротивления R5 = 330кОм. Далее нашли емкость C1

$$C1 = \tau / R5 = 0.5\text{с} / 100\text{кОм} = 1.5 \text{ мкФ} \quad (2.4)$$

Выбрали C1 типа K10-17Б 1.5 мкФ.

Выходную цепочку для второго канала выбрали такой же, как и для первого.

## 2.4. Выбор компонентов

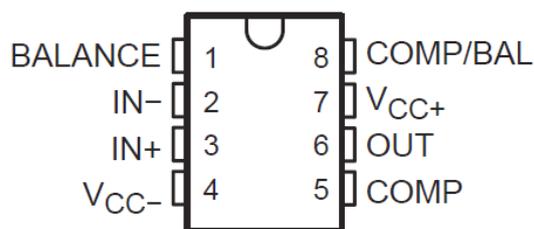
Выбор операционного усилителя.

Одним из популярных операционных усилителей является LM358. Это удвоенный операционный усилитель (2 усилителя в одном корпусе). Выпускается в разных корпусах, в том числе в корпусе DIP-8. Однако он не является высокочастотным и имеет частоту единичного усиления всего в 1 МГц. Поэтому нам не подходит. Выбрали высокочастотный операционный усилитель типа NE5534AP [16, 11, 12, 13, 29].

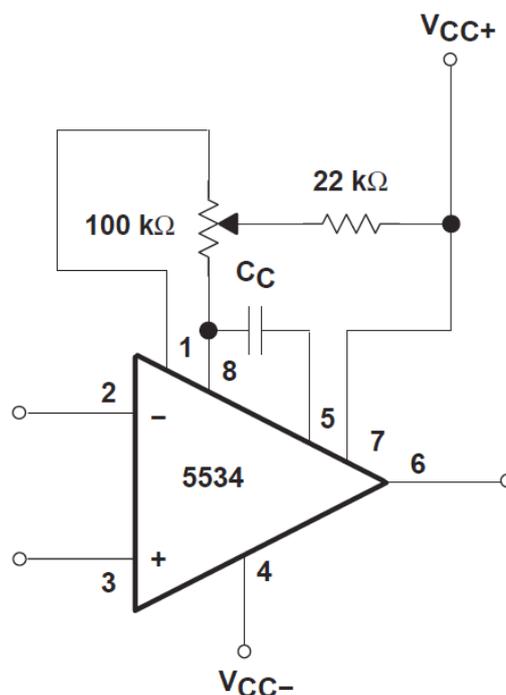
Технические параметры

Тип усилителя    общего применения

Кол-во каналов	1
Скорость нарастания выходного сигнала, В/мкс	13
Частота единичного усиления, МГц	10
Токовое смещение на входе, нА	500
Напряжение смещения на входе, мкВ	500
Ток собственного потребления, мА	4
Выходной ток на канал, мА	38
Напряжение питания однополярное(+)/двуполярное ( $\pm$ ), В	$\pm 5 \dots 15$
Рабочая температура, $^{\circ}\text{C}$	$0 \dots +70$
Корпус	DIP-8 (0.300 inch) (рисунок 8)



а) функциональное назначение выводов



б) стандартная схема включения

Рисунок 8 - Операционный усилитель типа NE5534AP.

Выбранный ОУ допускает возможность установки подстрочных цепей для подстройки нулевой точки. Однако в нашей схеме для упрощения мы будем его использовать без этих цепей.

Двухполярный блок питания

Выбрали блок питания Mean Well RQ-50D [2] (рисунок 9).

Количество каналов: 4 (не изолированные)

Напряжение постоянного тока: 5 В (1-й канал), 12 В (2-й канал), 24 В (3-й канал), минус 12 В (4-й канал)

Номинальный ток: 3 А (1-й канал), 0.9 А (2-й канал), 0.9 А (3-й канал), 0.5 А (4-й канал)

Номинальная мощность: 53.4 Вт



Рисунок 9 – Блок питания Mean Well RQ-50D

Таблица 2 - технические характеристики блока питания Mean Well RQ-50D

<i>Характеристики блока питания</i>	
Корпус	для монтажа на шасси
Количество каналов	4 (не изолированные)
Входное напряжение	АС 100 - 240 В
Выходное напряжение	DC 5 В (1-й канал), 12 В (2-й канал), 24 В (3-й канал), минус 12 В (4-й канал)
КПД	79%
Уровень пульсаций (размах)	80 мВ (1-й канал), 120 мВ (2-й канал), 180 мВ (3-й канал), 80 мВ (4-й канал)
Диапазон частоты на входе	47 - 63 Гц
Номинальный ток	3 А (1-й канал), 0.9 А (2-й канал), 0.9 А (3-й канал), 0.5 А (4-й канал)
Номинальная мощность	53.4 Вт
Комплекс защит	от короткого замыкания, перегрузки, перенапряжения
Защита от перегрузки	110-150% номинальной мощности
Рабочая температура	от -25 до +70 °С
Допустимое отклонение напряжения	2% (1-й канал), 8% (2-й канал), 8% (3-й канал), 5% (4-й канал)
Вес	410 г
Габариты	99 мм x 97 мм x 36 мм

Выбранный блок питания имеет значительную стоимость 3509 руб, поэтому при практической реализации проекта рекомендуется использовать

компьютерный блок питания формата АТХ, так же имеющий выводы +12, +5 и -12В (рисунок 10).

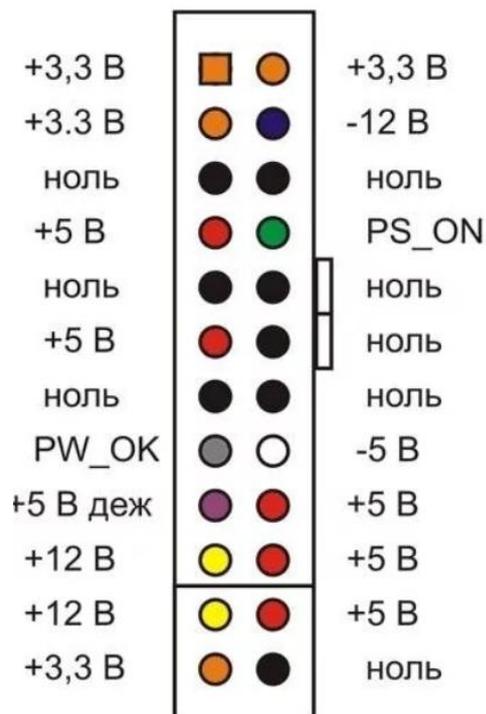


Рисунок 10 - Разъем компьютерного блока питания формата АТХ.

В связи с малыми протекающими токами все резисторы выбрали типа МЛТ-0.125 [20, 28,31].

#### Выводы

В данном разделе произведена разработка функциональной и электрической принципиальной схем. Выбраны компоненты.

### 3. Программно - экспериментальная часть

#### 3.1. Выбор величины опорного напряжения

С помощью пиковых детекторов, используемых в электрической принципиальной схеме, предполагается приводить уровни обоих каналов к значению в 1 В. Ардуино [21,23,26] имеет возможность оцифровывать входные напряжения со следующими значениями опорных напряжений:

- режим DEFAULT с опорным напряжением, равным питанию (5В),
- режим INTERNAL с внутренним опорным напряжением в 1.1В,
- режим EXTERNAL с внешним опорным напряжением.

Опорное напряжение – это напряжение, с которым сравнивается оцифровываемое. При оцифровке напряжения равного опорному будет получено максимальное значение, которое может выдать 10-и разрядный АЦП Ардуино, то есть значение 1023.

Шаг оцифровки составляет:

режим DEFAULT:  $5 / 1023 = 5\text{мВ}$ ,

режим INTERNAL:  $1.1 / 1023 = 1.1\text{ мВ}$

Наиболее подходящим является вариант б - INTERNAL - использования внутреннего опорного напряжения в 1.1В. В нем достигается наибольшая точность показаний.

Перед разработкой полной программы необходимо провести небольшое экспериментальное исследования что бы проверить, как работает Ардуино с внутренним опорным напряжением в 1.1В. Цель эксперимента – сравнить результаты оцифровки напряжений в режимах DEFAULT и INTERNAL между собой и с эталонными замерами, сделанными мультиметром. Для этого была разработана пробная тестовая программа:

```
const int U_PIN = A4;
```

```

const int GND_PIN = A3;
const int VCC_PIN = A5;
const int U100k_PIN = A1;

const float AREF_DEFAULT = 5.0;
const float AREF_INTERNAL = 1.1;
float U_def, U_int;

//Шаг оцифровки  $5/1023 = 5\text{мВ}$ ,  $1.1/1023 = 1.1\text{ мВ}$ 

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  pinMode(GND_PIN, OUTPUT); digitalWrite (GND_PIN, 0);
  pinMode(VCC_PIN, OUTPUT); digitalWrite (VCC_PIN, 1);

  analogReference(DEFAULT);
  delay(1000);
  U_def = float(analogRead(U_PIN)) * AREF_DEFAULT / 1024;
  Serial.print("U_DEFAULT=");
  Serial.print(U_def, 3);

  analogReference(INTERNAL);
  delay(2000);
  for (int i = 0; i < 10; ++i)
    analogRead(U_PIN);

  delay(2000);
  U_int = float(analogRead(U_PIN)) * AREF_INTERNAL / 1024;

```

```

U_int = float(analogRead(U_PIN)) * AREF_INTERNAL / 1024;
U_int = float(analogRead(U_PIN)) * AREF_INTERNAL / 1024;
Serial.print(" U_INTERNAL=");
Serial.println(U_int, 3);
// delay(500);
}

void loop() {
  /*
  analogReference(DEFAULT);
  delay(1000);
  U_def = float(analogRead(U_PIN)) * AREF_DEFAULT / 1024;
  Serial.print("U_DEFAULT=");
  Serial.print(U_def);
  analogReference(INTERNAL);
  delay(1000);
  */
  U_int = float(analogRead(U_PIN)) * AREF_INTERNAL / 1024;
  Serial.print("U_INTERNAL=");
  Serial.print(U_int, 3);
  U_int = float(analogRead(U100k_PIN)) * AREF_INTERNAL / 1024;
  Serial.print(" U100K_INTERNAL=");
  Serial.println(U_int, 3);
  delay(300);
}

```

К выводу А4 подключили средний вывод переменного резистора, подключенного к земле и напряжению +5В (правый нижний угол рисунка

11). Таким образом, смогли менять напряжение, подаваемое на вывод А4 от нуля до 5В.

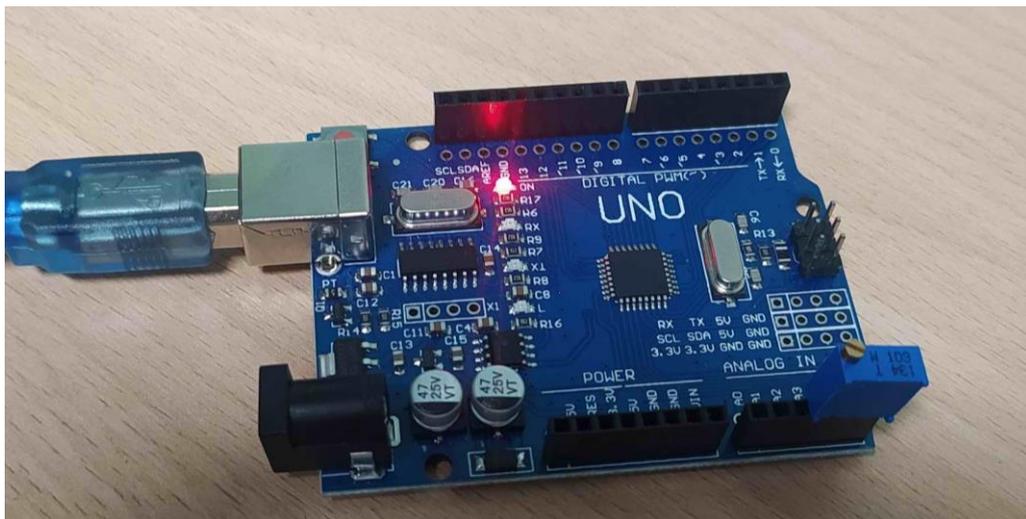


Рисунок 11 – Схема для апробации выбора опорного напряжения.

Выставили напряжение, близкое к 1 В, с помощью АЦП получили значения напряжений, изображенный на рисунке 12.

A screenshot of the Arduino IDE interface. The main window shows the code for the sketch 'A\_REF'. The code defines pins A4, A3, and A5, and sets up an analog reference. It then reads the voltage on pin A4 and prints it to the serial monitor. The serial monitor shows the output: 'U\_DEFAULT=0.99 U\_INTERNAL=1.04' followed by a list of 10 values: 1.03, 1.03, 1.03, 1.03, 1.04, 1.04, 1.04, 1.04, 1.03, 1.04, 1.04, 1.03, 1.03, 1.03. The status bar at the bottom indicates that the sketch uses 4204 bytes of memory and 234 bytes of dynamic memory.

```
A_REF
const int U_PIN = A4;
const int GND_PIN = A3;
const int VCC_PIN = A5;

const float AREF_DEFAULT = 5.0;
const float AREF_INTERNAL = 1.1;
float U_def, U_int;

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  pinMode(GND_PIN, OUTPUT); digitalWrite (GND_PIN, 0);
  pinMode(VCC_PIN, OUTPUT); digitalWrite (VCC_PIN, 1);

  analogReference(DEFAULT);
  delay(1000);
  U_def = float(analogRead(U_PIN)) * AREF_DEFAULT / 1024;
  Serial.print("U_DEFAULT=");
  Serial.print(U_def);

  analogReference(INTERNAL);
  delay(2000);
  for (int i = 0; i < 10; ++i)
    analogRead(U_PIN);
}
```

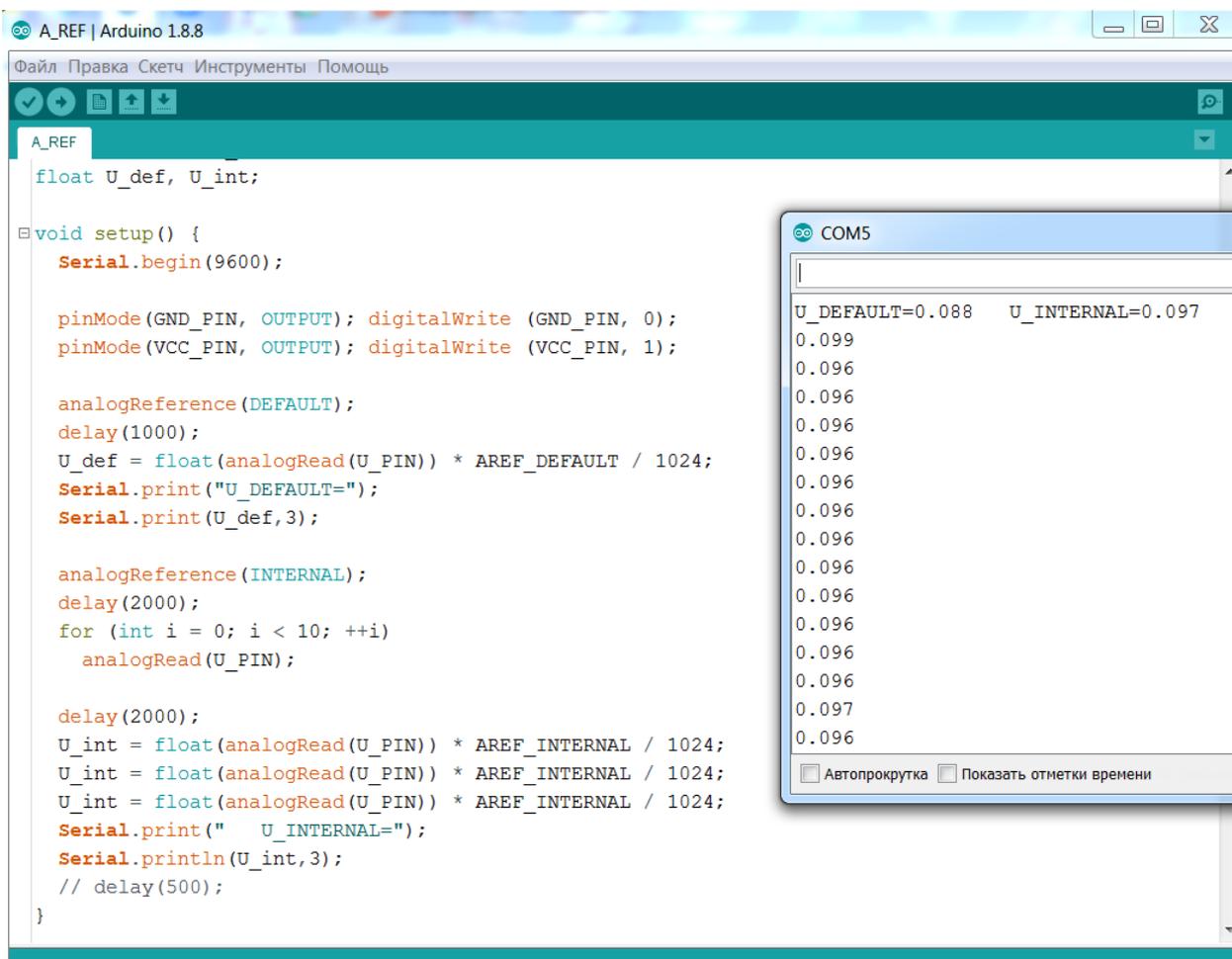
COM5

U\_DEFAULT=0.99 U\_INTERNAL=1.04  
1.03  
1.03  
1.03  
1.03  
1.04  
1.04  
1.04  
1.04  
1.03  
1.04  
1.04  
1.03  
1.03  
1.03

Загрузка завершена.  
Скетч использует 4204 байт (13%) памяти устройства. Всего доступно 32256 байт.  
Глобальные переменные используют 234 байт (11%) динамической памяти, оставляя 1814 байт для локальных

Рисунок 12 - Эксперимент при напряжении близком к 1В.

Далее выставили напряжение, близкое к 0.1В и повторили эксперимент (рисунок 13).



```
float U_def, U_int;

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  pinMode(GND_PIN, OUTPUT); digitalWrite (GND_PIN, 0);
  pinMode (VCC_PIN, OUTPUT); digitalWrite (VCC_PIN, 1);

  analogReference (DEFAULT);
  delay(1000);
  U_def = float(analogRead(U_PIN)) * AREF_DEFAULT / 1024;
  Serial.print("U_DEFAULT=");
  Serial.print(U_def, 3);

  analogReference (INTERNAL);
  delay(2000);
  for (int i = 0; i < 10; ++i)
    analogRead(U_PIN);

  delay(2000);
  U_int = float(analogRead(U_PIN)) * AREF_INTERNAL / 1024;
  U_int = float(analogRead(U_PIN)) * AREF_INTERNAL / 1024;
  U_int = float(analogRead(U_PIN)) * AREF_INTERNAL / 1024;
  Serial.print("    U_INTERNAL=");
  Serial.println(U_int, 3);
  // delay(500);
}
```

COM5

```
U_DEFAULT=0.088    U_INTERNAL=0.097
0.099
0.096
0.096
0.096
0.096
0.096
0.096
0.096
0.096
0.096
0.096
0.096
0.096
0.096
0.096
0.096
0.096
0.097
0.096
```

Автопрокрутка  Показать отметки времени

Рисунок 13 - Эксперимент при напряжении, близком к 0.1В.

Аналогично провели серию экспериментов для других значений напряжений, результаты свели в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты экспериментов по оцифровке напряжений.

Показания эталонного мультиметра, мВ	Значения, полученные при режиме DEFAULT (Опорное 5В), мВ	Значения, полученные при режиме INTERNAL (Опорное 1.1В), мВ
1000	990	1035
192	176	191
100	88	97
70	54	66
50	39	44
25	10	19

Из таблицы видно, что оба режима позволяют оцифровывать напряжения. Однако оцифровка в режиме INTERNAL (Опорное 1.1В) при малых напряжениях дает значения, более близкие к показаниям мультиметра.

При оцифровываемых значениях до 100мВ погрешность оцифровки находится в пределах 6 мВ.

При оцифровывании значения в 1 В (1000 мВ) погрешность составила 40 мВ, что составляет 3.5% от оцифровываемого значения.

Для наших целей организации лабораторных работ такой точности вполне достаточно.

Для ориентировочного определения значения входного сопротивления АЦП подали напряжение с переменного резистора напрямую на вход А4 и через резистор 100 кОм ко входу А1. И сравнили оцифровываемые на этих входах значения (рисунок 14)

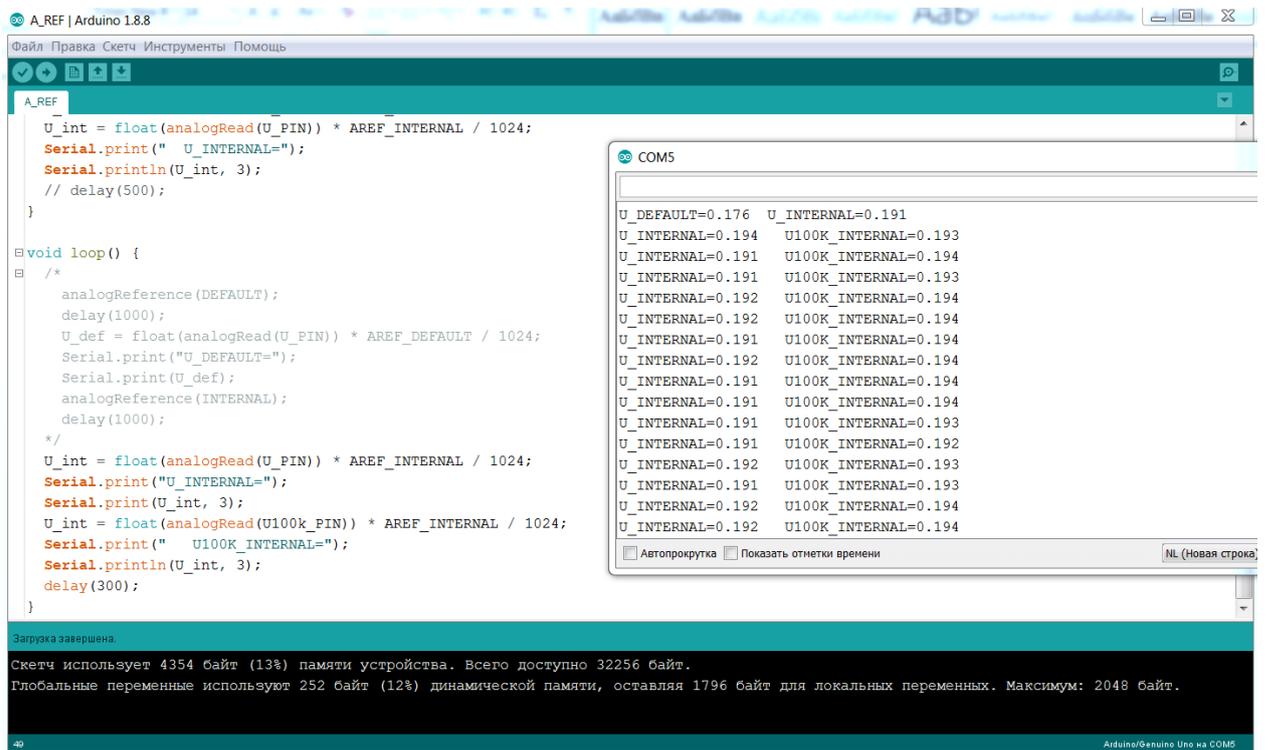


Рисунок 14 - Эксперимент по анализу входного сопротивления.

По результатам эксперимента видно, что показания, получаемые при прямом подключении и при подключении через резистор 100кОм практически совпадают. То есть входной ток АЦП настолько мал, что на резисторе 100кОм практически не падает напряжение. Это свидетельствует о большом входном сопротивлении АЦП, значительно превышающем 100кОм.

### 3.2. Разработка программы и экспериментальные исследования

После проведения предварительных экспериментов приступили к разработке основной программы. Разработанная блок-схема алгоритма программы изображена на рисунке 15.

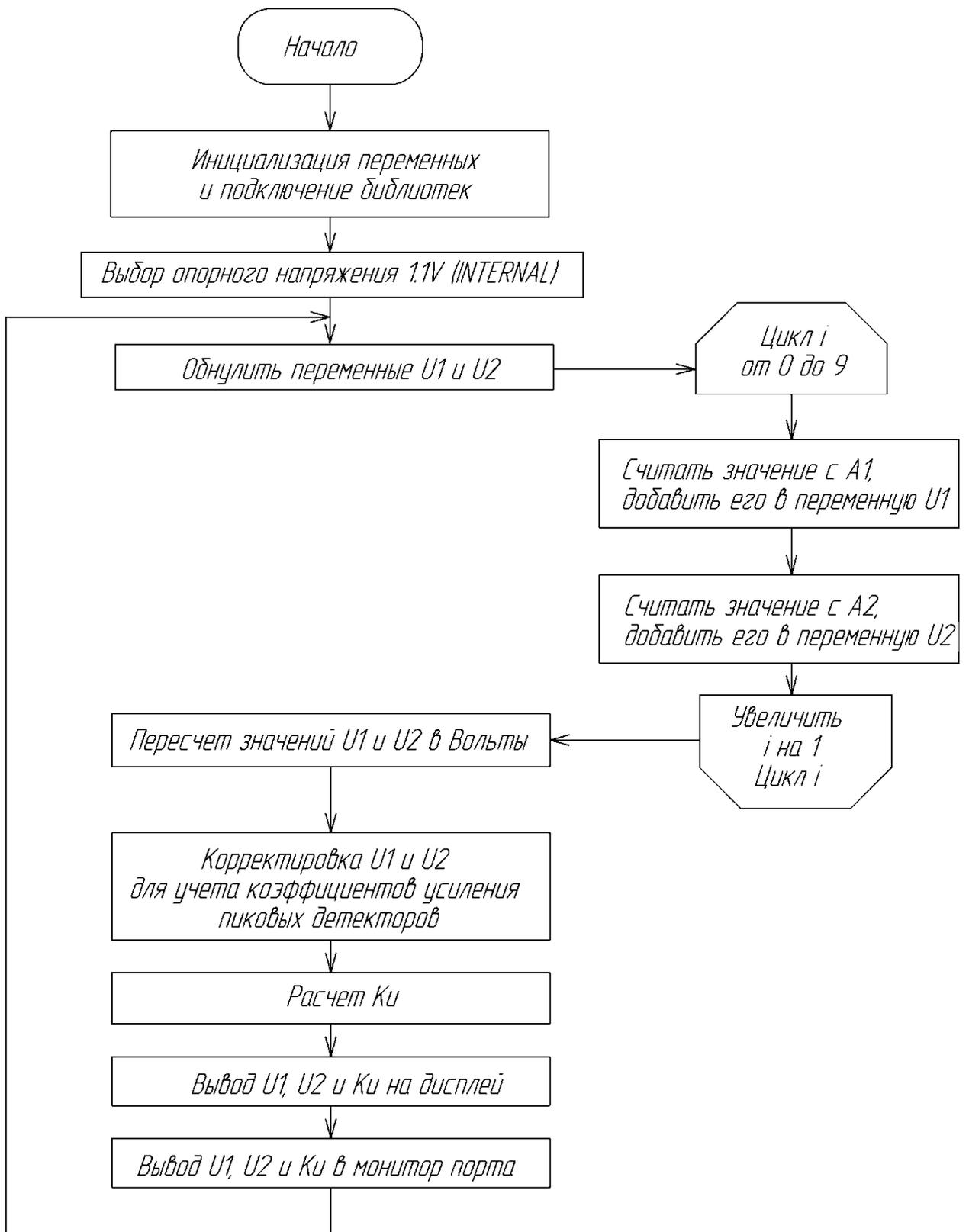


Рисунок 15 – БСА программы управления.

Согласно разработанной блок-схеме была написана программа для Ардуино. Демонстрация работы программы и получаемых результатов приведена на рисунке 16.

The screenshot displays the Arduino IDE interface. The main window shows the source code for a program named '2\_multimetr'. The code includes comments in Russian, header files, and function definitions for setup and loop. The loop function reads two channels of an analog multimeter, corrects the readings, and calculates the gain coefficient. The serial monitor on the right shows the output of the program, which consists of three columns of data: voltage readings for channel 1, channel 2, and the gain coefficient. The output shows a sequence of values from 0.01 to 0.93, with the gain coefficient consistently being 0.47.

```

//Программа двухканального мультиметра.
//ВКР - Гречкин Н.С., ЭЛБ-1802а, Тольятти, ТГУ 2022
//Напряжения от 0 до 1 В подаются на входа А1 и А2.
//Показания выводятся на LCD_Shield и в монитор порта в пр

#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7); // Задаем адре

const int U1_PIN = A1;
const int U2_PIN = A2;

const float AREF_DEFAULT = 5.0;
const float AREF_INTERNAL = 1.1;
float U1, U2, Ku;
//Шаг оцифровки 5/1023 = 5мВ, 1.1/1023 = 1.1 мВ

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16, 2); lcd.clear();
  analogReference(INTERNAL);
  delay(100);
}

void loop() {
  U1 = float(analogRead(U1_PIN)) * AREF_INTERNAL / 1024;
  // U1 = U1 / 10; //Коррекция считанных показаний
  U2 = float(analogRead(U2_PIN)) * AREF_INTERNAL / 1024;
  // U2 = U2 * 10; //Коррекция считанных показаний
  Ku = U2 / U1; //Расчет коэффициента усиления

  //Вывод показаний через монитор порта в программу Serial

```

Serial Monitor Output (COM5):

```

$0.01 0.01 1.00;
$0.03 0.03 1.04;
$0.05 0.05 0.98;
$0.10 0.10 0.95;
$0.14 0.14 0.98;
$0.18 0.17 0.99;
$0.20 0.20 0.98;
$0.23 0.23 0.97;
$0.26 0.25 0.97;
$0.28 0.27 0.95;
$0.31 0.29 0.94;
$0.35 0.31 0.90;
$0.37 0.33 0.88;
$0.39 0.34 0.85;
$0.41 0.35 0.83;
$0.44 0.34 0.78;
$0.47 0.37 0.77;
$0.49 0.37 0.75;
$0.54 0.38 0.71;
$0.57 0.39 0.69;
$0.61 0.40 0.65;
$0.65 0.41 0.62;
$0.69 0.41 0.60;
$0.73 0.42 0.57;
$0.76 0.42 0.55;
$0.79 0.43 0.54;
$0.83 0.43 0.52;
$0.86 0.44 0.50;
$0.92 0.44 0.48;
$0.93 0.44 0.47;
$0.93 0.44 0.47;
$0.93 0.44 0.47;
$0.93 0.44 0.47;
$0.93 0.44 0.47;
$0.93 0.44 0.47;
$0.93 0.44 0.47;
$0.93 0.44 0.47;
$0.93 0.44 0.47;

```

Memory usage: Скетч использует 5156 байт (15%) памяти устройства. Всего до Глобальные переменные используют 266 байт (12%) динамической

Рисунок 16 – Демонстрация работы программы.

Для визуализации значений, выдаваемых программой, в графическом виде воспользовались компьютерной программой Serial Port Plotter. Программа имеет темный интерфейс, поэтому для удобства распечатывания пояснительной записки рисунки будут приводиться с инвертированием цветовой палитры (черное будет отображено белым и наоборот). Интерфейс программы приведен на рисунке 17.

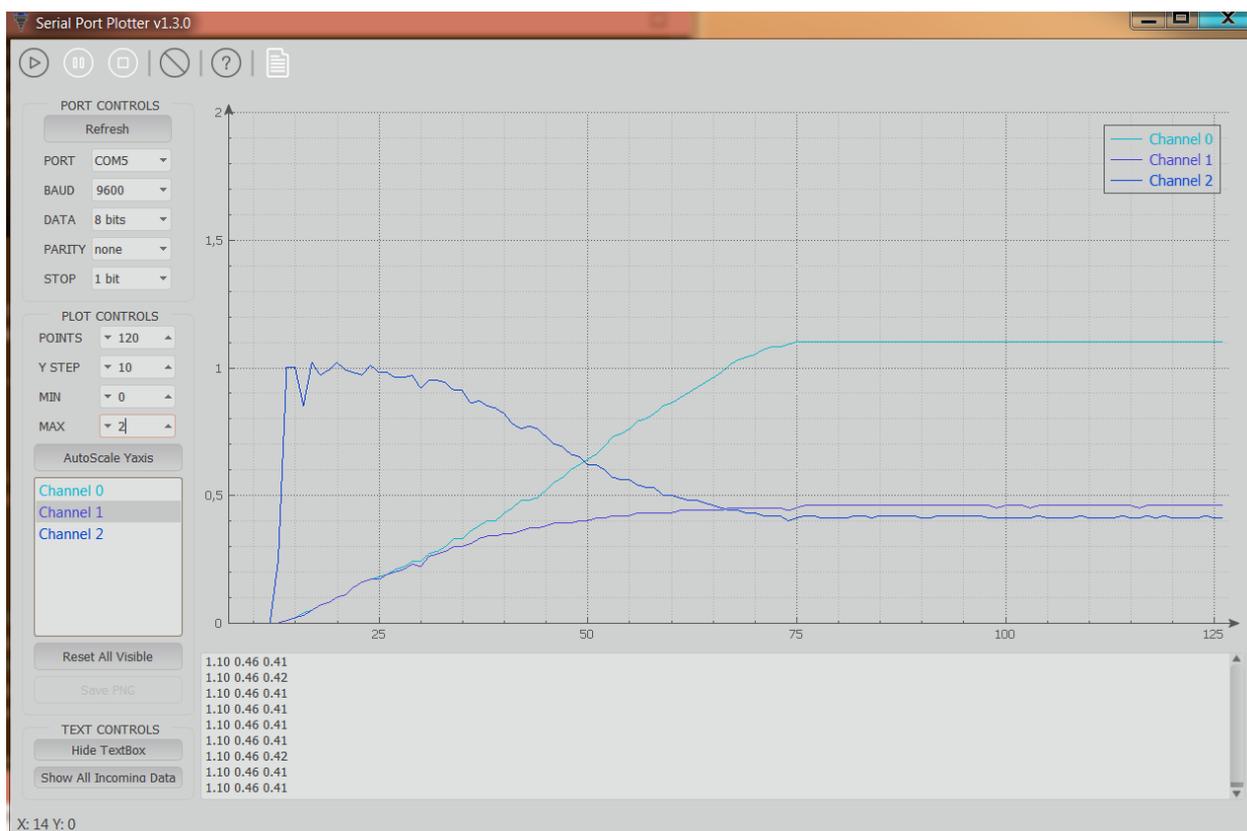


Рисунок 17 – Интерфейс программы Serial Port Plotter (цвета инвертированы).

После написания программы для проверки ее работоспособности программы собрали тестовую схему (рисунок 18). Пиковые детекторы, усиливающий и ослабляющий напряжения в 10 раз не моделировались. Поэтому на время тестирования программы отключили (закомментировали) строки корректировки напряжений в 10 раз. Физическая реализация схемы приведена на рисунке 19.

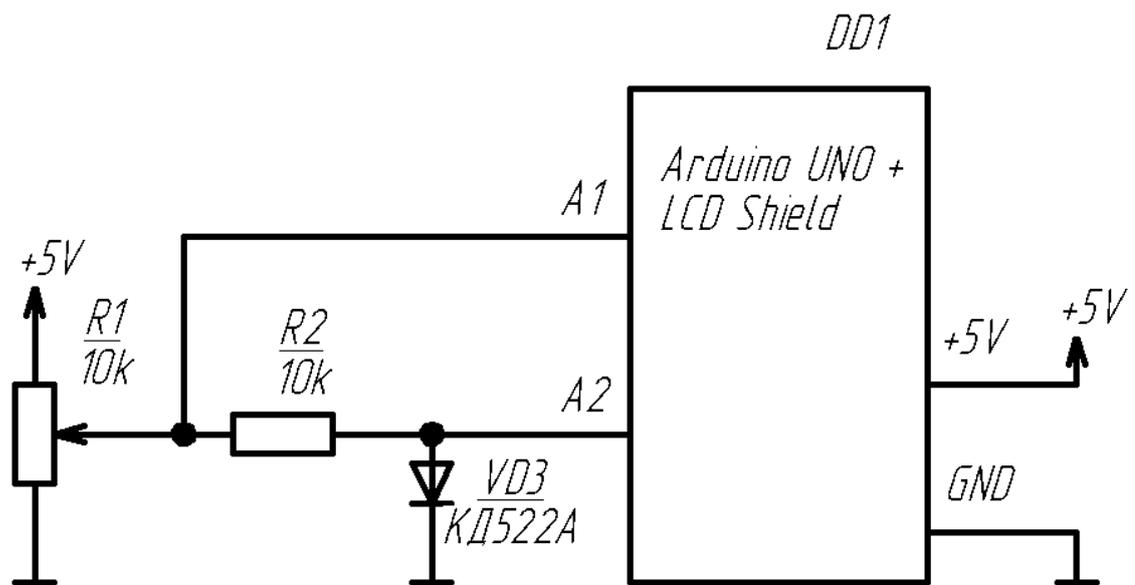


Рисунок 18 – Схема для проверки работоспособности программы.



Рисунок 19 – Физическая реализация схемы для проверки работоспособности программы.

Вращая переменный резистор R1 изменяли напряжение, подаваемое на вход A1. Напряжение, подаваемое на вход A2 ограничивалось прямым падением на диоде VD1.

Результаты работы программы, передаваемые в компьютерную программу Serial Port Plotter изображены на рисунке 20.

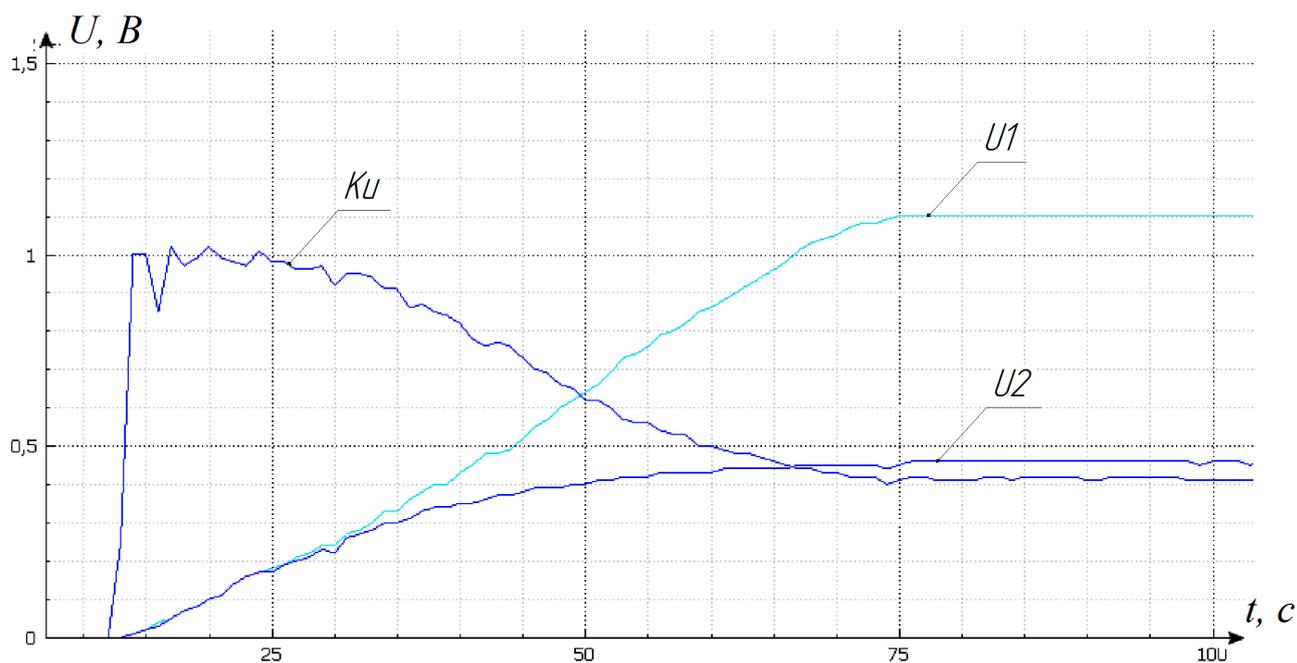


Рисунок 20 – Результаты работы программы при однократных замерах напряжений.

В первой версии программы напряжения замерялись однократно, что приводило к наличию провалов в значениях, вызванных шуршанием переменного резистора при его вращении. Было решено замерять значения напряжений 10 раз и усреднять полученные значения. Такое решение позволило достичь большей точности (рисунок 21)

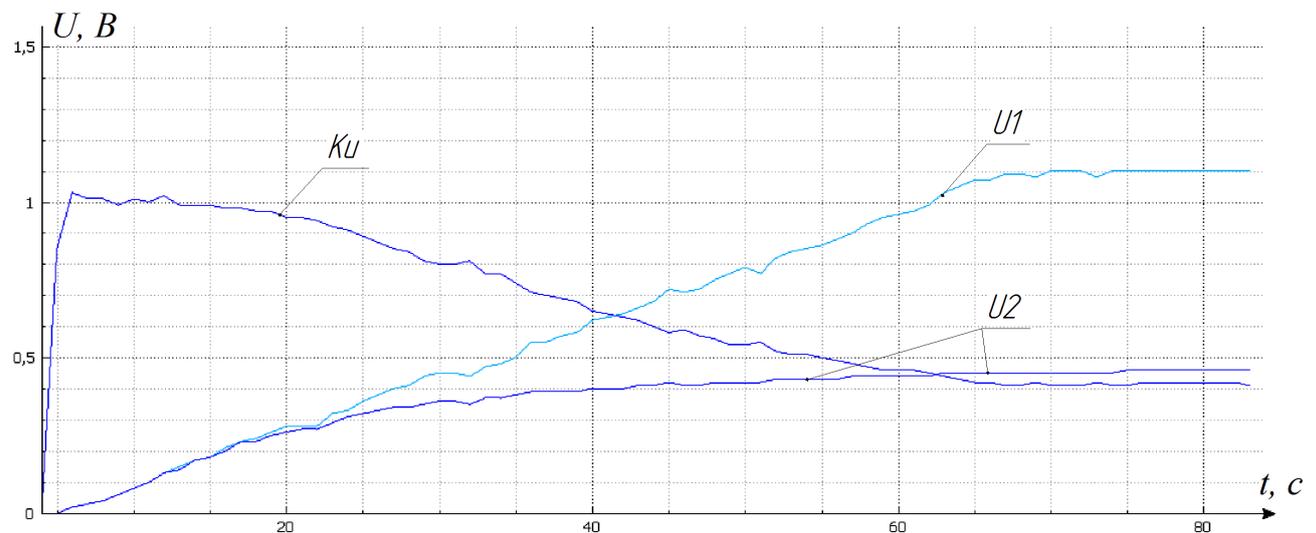


Рисунок 21 – Результаты работы программы при десятикратных замерах напряжений.

Окончательная версия программы выглядит следующим образом:

```
//Программа двухканального мультиметра.
//ВКР - Гречкин Н.С., ЭЛб-1802а, Тольятти, ТГУ 2022
//Напряжения от 0 до 1 В подаются на входа А1 и А2.
//Показания выводятся на LCD_Shield и в монитор порта в программу
SerialPortPlotter
```

```
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7);    // Задаем адрес и размер дисплея

const int U1_PIN = A1;
const int U2_PIN = A2;

const float AREF_DEFAULT = 5.0;
const float AREF_INTERNAL = 1.1;
float U1, U2, Ku;
```

//Шаг оцифровки  $5/1023 = 5\text{мВ}$ ,  $1.1/1023 = 1.1\text{ мВ}$

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16, 2); lcd.clear();
  analogReference(INTERNAL);
  delay(100);
}

void loop() {
  U1 = 0;
  U2 = 0;
  for (int i = 0; i < 10; i++) { //Считываем 10 раз
    U1 = U1 + analogRead(U1_PIN);
    U2 = U2 + analogRead(U2_PIN);
  }
  U1 = U1 / 10 * AREF_INTERNAL / 1024;
  U2 = U2 / 10 * AREF_INTERNAL / 1024;
  //U1 = float(analogRead(U1_PIN)) * AREF_INTERNAL / 1024;
  //Считывание без усреднения
  //U2 = float(analogRead(U2_PIN)) * AREF_INTERNAL / 1024;
  U1 = U1 / 10; //Коррекция считанных показаний
  U2 = U2 * 10; //Коррекция считанных показаний
  Ku = U2 / U1; //Расчет коэффициента усиления

  //Вывод показаний через монитор порта в программу SerialPortPlotter
  Serial.print("$"); //начальный символ
  Serial.print(U1); //Вывод показаний
  Serial.print(" "); //Пробел - разделитель
```

```

Serial.print(U2); //Вывод показаний
Serial.print(" "); //Пробел - разделитель
Serial.print(Ku); //Вывод показаний
Serial.println(";"); //завершающий символ

//Вывод показаний на дисплей
lcd.setCursor(0, 0); // Устанавливаем курсор на 1 строку
lcd.print("U1="); // Выводим текст
lcd.print(U1, 2); // Выводим показания
lcd.print(" "); //Пробел для затирания лишнего символа

lcd.setCursor(8, 0); // Устанавливаем курсор на 1 строку
lcd.print("U2="); // Выводим текст
lcd.print(U2, 2); // Выводим показания
lcd.print(" "); //Пробел для затирания лишнего символа

lcd.setCursor(0, 1); // Устанавливаем курсор на 2 строку
lcd.print("Ku=");
lcd.print(Ku);
lcd.print(" ");

delay(500);
}

```

Пример результатов, получаемых в результате работы программы в текстовом виде приведен в таблице 4.

Таблица 4 – Тестирование программы (значения напряжений)

U1, В	U2, В	Ku
0.02	0.02	1.03
0.04	0.04	1.01
0.08	0.08	1.01
0.17	0.17	0.99
0.21	0.20	0.98
0.24	0.23	0.97
0.28	0.26	0.95
0.28	0.27	0.94
0.33	0.31	0.91
0.36	0.32	0.89
0.41	0.34	0.84
0.45	0.36	0.80
0.45	0.36	0.80
0.47	0.37	0.77
0.50	0.38	0.74
0.55	0.39	0.70
0.58	0.39	0.68
0.63	0.40	0.64
0.72	0.42	0.58
0.72	0.41	0.57
0.77	0.42	0.54
0.82	0.43	0.52
0.88	0.43	0.49
0.93	0.44	0.47
0.99	0.44	0.45
1.05	0.45	0.43
1.07	0.45	0.42
1.09	0.45	0.41
1.10	0.45	0.41
0.02	0.02	1.03
0.04	0.04	1.01
0.08	0.08	1.01

#### Выводы

В ходе работы программы результаты оцифровки напряжений можно получать в текстовом виде (копируя через буфер обмена из программы Serial Port Plotter), что может пригодится для дальнейших расчетов и оформления отчетов.

## Заключение

В данной ВКР была произведена разработка двухканального вольтметра с цифровой индикацией.

Для достижения цели работы были решены следующие задачи:

- Обзор состояния вопроса
- Анализ исходных данных и существующих решений
- Разработка электрической принципиальной схемы
- Выбор компонентов
- Написание программы для микроконтроллера
- Экспериментальное тестирование работы программы

Двухканальный вольтметр предназначен для получения в численном виде амплитуд двух переменных напряжений – входного (до 0.1 В) и выходного (до 10 В). Дополнительно предусмотрен автоматический расчет коэффициента усиления и вывод всех значений в графическом и текстовом виде на персональный компьютер.

Оцифровываемые напряжения поступают на пиковые детекторы, выделяющие из них амплитудные значения и приводящие эти значения к уровню 1 В. Для этого входное напряжение увеличивается в 10 раз, а выходное – уменьшается в 10 раз, что учтено в программе.

Полученные значения амплитуд поступают на микроконтроллерную платформу Ардуино, оцифровывающую эти значения. Для повышения точности оцифровка производится десятикратно с усреднением результатов. Полученные значения корректируются (для учета коэффициентов усиления пиковых детекторов) и выводятся на LCD дисплей.

Разработанный двухканальный вольтметр может быть использован при проведении лабораторных работ на кафедре «Промышленная электроника».

## Список используемой литературы

1. Александров А.А. Электротехнические чертежи и схемы / Александров К.К., Кузьмина Е.Г.- М.:Энергоатомиздат, 1990. - 288с.
2. Блок питания Mean Well RQ-50D [Электронный ресурс] [https://supereyes.ru/catalog/Power\\_supply\\_AC\\_DC\\_converters/meanwell\\_rq50d/](https://supereyes.ru/catalog/Power_supply_AC_DC_converters/meanwell_rq50d/) (дата обращения 28.01.2022).
3. Вольтметр постоянного напряжения 0..30 В [Электронный ресурс][https://www.impulsi.ru/catalog/voltmetry\\_i\\_vattmetry/voltmetr\\_tsifrovoy\\_0\\_33\\_00vdc\\_krasnyu.html](https://www.impulsi.ru/catalog/voltmetry_i_vattmetry/voltmetr_tsifrovoy_0_33_00vdc_krasnyu.html) (дата обращения 28.01.2022)
4. ГОСТ 2.105-95. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам [Текст]. - Введ. 1996-07-01. - М.: Госстандарт РФ: Изд-во стандартов, 1994.- 19с.: ил.
5. ГОСТ 2.702-2011. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения схем.- Введ. 2012-01-01. - М.: Стандартиформ: Изд-во стандартов, 2011.- 22с.: ил.
6. ГОСТ 7.32-2001. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления [Текст]. - Введ. 2002-07-01. - М.: Госстандарт РФ: Изд-во стандартов, 2001.- 23с.
7. Двухканальный мультиметр АКТАКОМ АМ-1109 [Электронный ресурс][https://www.irit.ru/products/index.php?SECTION\\_ID=804&ELEMENT\\_ID=564437](https://www.irit.ru/products/index.php?SECTION_ID=804&ELEMENT_ID=564437) (дата обращения 28.01.2022)
8. Детекторы сигналов с амплитудной модуляцией (АМ) [Электронный ресурс] URL: <https://www.club155.ru/detectors-am> (дата обращения 28.01.2022).
9. Забродин Ю.С. Промышленная электроника: Учебник для вузов. –М: Высш. школа, 1982. -496 с.: ил.
10. Зиновьев, Г.С. Основы силовой электроники: учеб.пособ./ Зиновьев, Г.С. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. - 664с.

11. Интернет магазин электронных компонентов «Импульс» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.impulsi.ru> (дата обращения 04.06.2022).
12. Каталог электронных компонентов [Электронный ресурс]. URL: <http://www.platan.ru> (дата обращения: 17.05.2022)
13. Каталог электронных компонентов [Электронный ресурс]. URL: <http://www.chip-dip.ru> (дата обращения: 17.05.2022)
14. Методические указания по оформлению выпускных квалификационных работ по программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры : [Электронный ресурс]. URL: [https://yadi.sk/d/Fs-9ts\\_VInrE3Q/BKP\\_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_(Diplom)) / Оформление ВКР (Дата обращения: 18.02.2021)
15. Мультиметр MASTECH MS8238. [Электронный ресурс] <https://www.citilink.ru/product/multimetr-mastech-ms8238-13-2026-1159234> (дата обращения 28.01.2022).
16. Операционный усилитель типа NE5534AP. [Электронный ресурс] <https://www.chipdip.ru/product/ne5534ap> (дата обращения 28.01.2022)
17. Положение о выпускной квалификационной работе: утв. решен. учен. совет. от 21.11.2019 решение №254 : [Электронный ресурс]. URL: [https://yadi.sk/d/Fs-9ts\\_VInrE3Q/BKP\\_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_(Diplom)) / Положение о ВКР (Дата обращения: 18.02.2021)
18. Порядок обеспечения самостоятельности выполнения письменных работ в ТГУ : [Электронный ресурс]. URL: [https://yadi.sk/d/Fs-9ts\\_VInrE3Q/BKP\\_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_(Diplom)) / Положение о Антиплагиате (Дата обращения: 18.02.2021)
19. Семёнов Б.Ю. Силовая электроника: от простого к сложному. – 2 изд., испр - М.: СОЛОН-Пресс, 2015. – 416с.: ил.

20. Справочник разработчика и конструктора РЭА. Элементная база/ Масленников М.Ю., Соболев Е.А., Соколов Г.В. и др.; Под ред. Масленникова М.Ю. М.: Радио и связь,1996.
21. Справочник языка программирования Arduino [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL:<http://arduino.ru/Reference> (дата обращения: 7.03.2022)
22. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. – М.: Мир,1982. – 512 с.,ил.
23. Уроки Arduino. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://alexgyver.ru/lessons/> (дата обращения: 7.03.2022)
24. Цифровой осциллограф Atten (Gratten) GA1202CAL [Электронный ресурс] [https://supereyes.ru/catalog/oscilloscopes\\_digital/tsifrovoy\\_ostsillograf\\_atten\\_gratten\\_ga1202cal\\_2\\_kanala\\_kh\\_200\\_mgts/](https://supereyes.ru/catalog/oscilloscopes_digital/tsifrovoy_ostsillograf_atten_gratten_ga1202cal_2_kanala_kh_200_mgts/) (дата обращения 28.01.2022)
25. Электроника и наноэлектроника, управление в технических системах, электроэнергетика и электротехника. Выполнение бакалаврской работы / сост. Позднов М.В., Прядилов А.В. - Тольятти: ТГУ, 2019. - 41 с.
26. Arduino Uno R3. [Электронный ресурс]. URL: [http://radiotalki.narod.ru/pribory/Arduino\\_Uno\\_R3.pdf](http://radiotalki.narod.ru/pribory/Arduino_Uno_R3.pdf) (дата обращения: 21.04.2022).
27. Diodes Incorporated [Электронный ресурс]. URL: <https://www.diodes.com> (дата обращения: 27.05.2022)
28. Electrical resistance and conductance [Электронный ресурс]. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical\\_resistance\\_and\\_conductance](https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_resistance_and_conductance) (дата обращения: 17.05.2021)
29. Electronic Components Datasheets [Электронный ресурс] URL: <http://www.datasheets.ru> (дата обращения: 17.02.2022)

30. M.IJahmeerbacus, M.KOolun, M.K.SOyjaudah. A Dual-Stage PWM DC to AC Inverter with Reduced Harmonic Distortion and Switching Losses. Science and Technology-Research Journal, Vol 5, pp 79-91, 2000.

31. Resistor [Электронный ресурс]. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Resistor> (дата обращения: 17.05.2022)

32. S. A. Prasad, B. S. Kariyappa, R. Nagary, S. K. Thakur, Microcontroller Based AC Power Controller, Wireless Sensor Network, Vol. 1, Issue 2, Jul 2009, pp. 76-81.