

СТИ

НИЯУ МИФИ

Выпускная квалификационная работа

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Специальность 14.05.04 «Электроника и автоматизация физических установок»

Выполнил: студент гр. Д-277 Черногородова Екатерина Олеговна

Руководитель: канд. техн. наук Иванов Максим Леонидович

02.02.2023

Электролиз широко используется в промышленности. Благодаря ему можно получить многие вещества из расплавов и растворов в чистом виде. Для проведения данного процесса требуются электролизёры, которые разделяют компоненты соединений с помощью электрического тока. Но каждый химический процесс необходимо контролировать во избежании неблагоприятных факторов. Контроль сопровождается поддержанием определенных переменных. Для этого необходимо цифровое устройство, которое поможет контролировать показания этих переменных и вывести информацию о них на компьютер.

Цели и задачи

Цели проведения ВКР:

Разработка цифрового устройства для измерения технологических переменных лабораторного электролизёра и вывод полученных измерений на ПК.

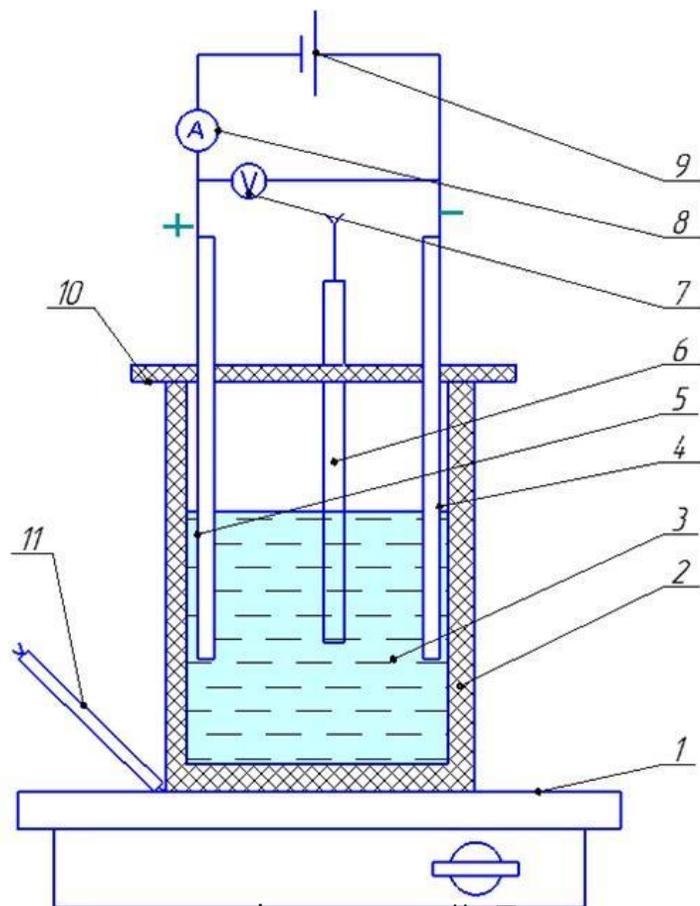
Решаемые в ходе проведения ВКР задачи:

- 1) Проведение аналитического обзора литературных источников.
- 2) Определить исходный перечень технологических переменных.
- 3) Составить структурную схему.
- 3) Подобрать измерительное оборудование.
- 4) Определить перечень сигналов входов-выходов цифрового устройства (ЦУ);
- 5) Разработать цифровое устройство:
 - разработать электрическую принципиальную схему;
 - создать макет печатной платы (РСВ);
 - разработать программную часть;
 - проверить работоспособность ЦУ на макетной плате.

Объект исследования



СТИ
НИЯУ МИФИ



1 – плитка; 2 – стакан тефлоновый; 3 – расплавленный электролит трифторид калия; 4 – катод железный; 5 – анод коксовый; 6 – термометр в электролите; 7 – вольтметр; 8 – амперметр; 9 – источник постоянного тока; 10 – крышка тефлоновая; 11 – термопара на плитке

Рисунок 1 – Схема электролизной лабораторной установки



Рисунок 2 –
Электролизная
лабораторная установка

Перечень технологических переменных

| № | Наименование переменной | Диапазон измерения | Отображение информации | | | Регулирование | Шкала приборов | | |
|---|-----------------------------|--------------------|------------------------|-------------|--------------|---------------|----------------|----------------------|-----------------------|
| | | | показание | регистрация | суммирование | | Ед. измерения | Минимальное значение | Максимальное значение |
| 1 | Ток | 0-1 А | + | + | - | + | А | -3,2 | +3,2 |
| 2 | Напряжение на электродах | 0-15 В | + | + | + | + | В | 0 | 15 |
| 3 | Температура расплава KF-2HF | 85-140 °С | + | + | - | - | °С | 0 | +600 |

Структурная схема

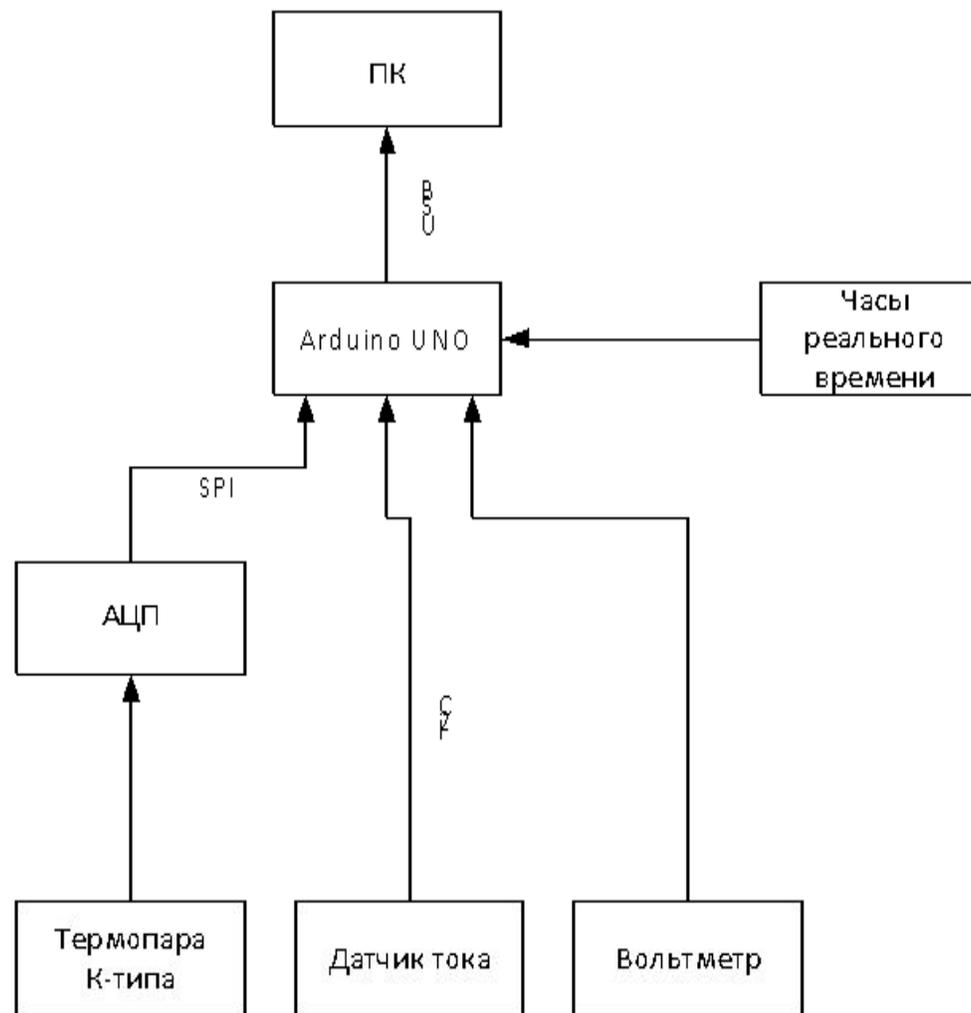


Рисунок 3 – Схема структурная ЦУ для измерения технологических переменных электролизной лабораторной установки

Список выбранного оборудования для разработки цифрового устройства:

- контроллер Arduino Uno;
- датчик тока INA219;
- термопара К-типа;
- АЦП MAX6675;
- делитель напряжения (вольтметр);
- часы реального времени DS1302.

Подбор оборудования

| Характеристики датчиков | INA219 | ACS712 |
|---------------------------------|-----------------------|-------------|
| Диапазон рабочих температур, °C | -40...+125 | -40...+85 |
| Напряжение питания, В | 3,3; 5 | 5 |
| Диапазон измерения, А | 0...5; 0...20; 0...30 | -3,2...+3,2 |
| Дискретность, мА | 0,8 | 11 |
| Точность, % | ±1% | ±1,5% |
| Цена, руб. | 350 | 200 |

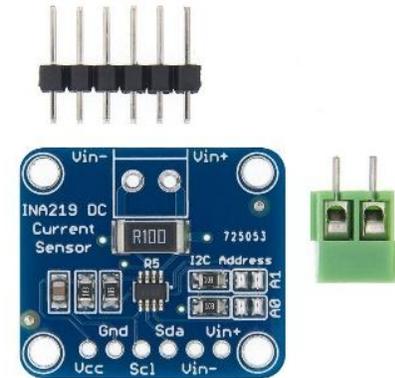


Рисунок 4 – датчик тока INA219



Рисунок 5 – датчик тока ACS712

Подбор оборудования

| Характеристики датчиков | Термопара К-типа | NTC |
|--------------------------|------------------|------------|
| Диапазон измерения, °С | 0...+600 | -50...+110 |
| Точность, % | ±2,5 | ±1 |
| Длина провода/кабеля, см | 96 | 30 |
| Цена, руб. | 206 | 172 |

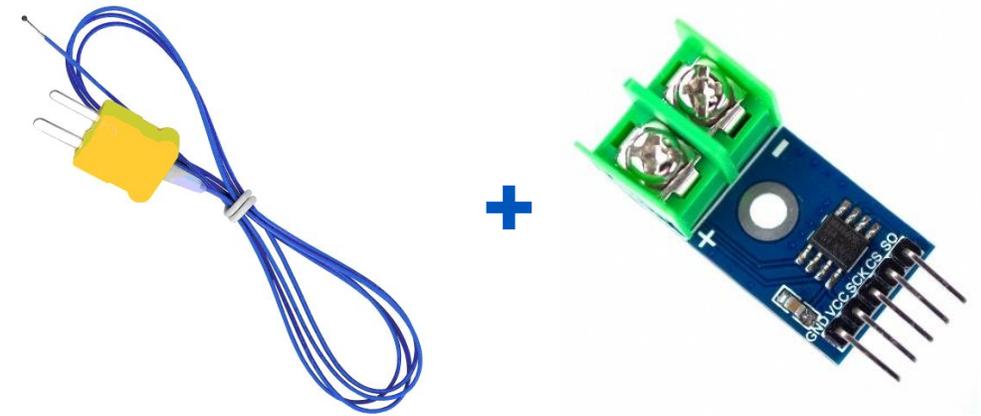


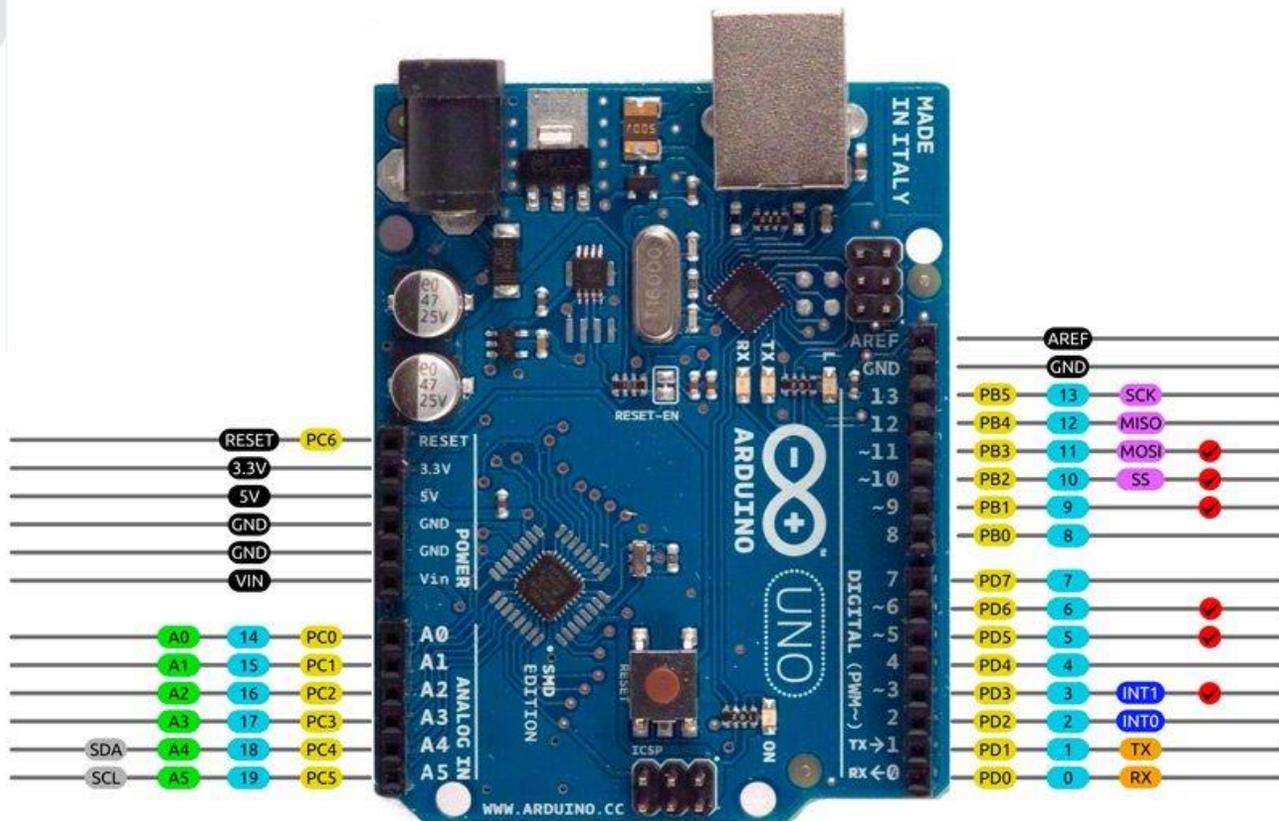
Рисунок 6 – термопара К-типа и АЦП MAX6675



Рисунок 7 – термистор NTC

Оборудование

Arduino Uno и его распиновка



Часы реального времени DS1302



AVR DIGITAL ANALOG POWER SERIAL SPI I2C PWM INTERRUPT

Делитель напряжения

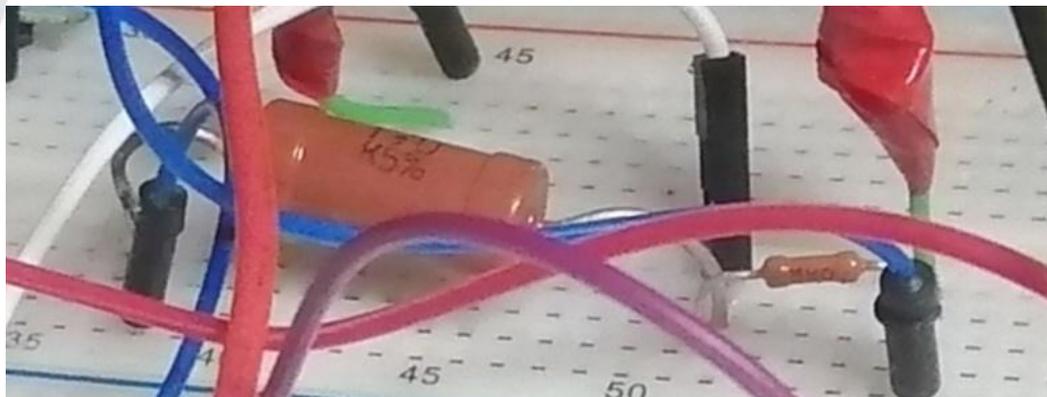
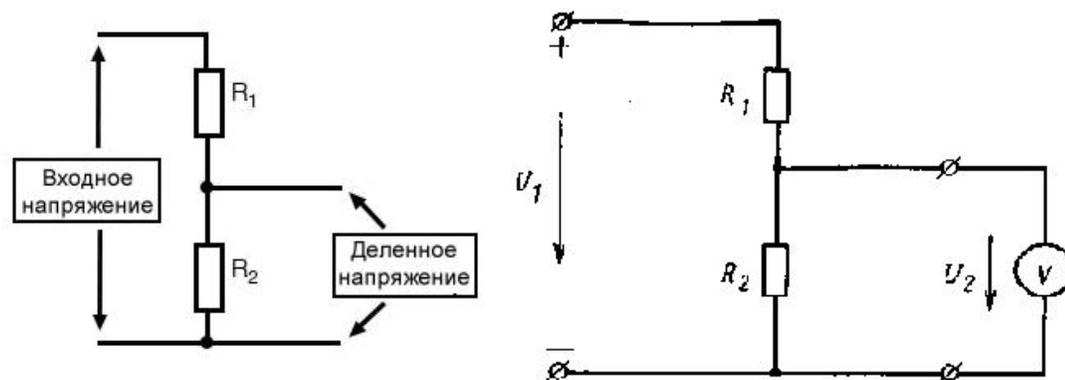


Схема делителя напряжения



Формула делителя напряжения

$$U_2 = \frac{U_1 R_2}{(R_1 + R_2)}$$

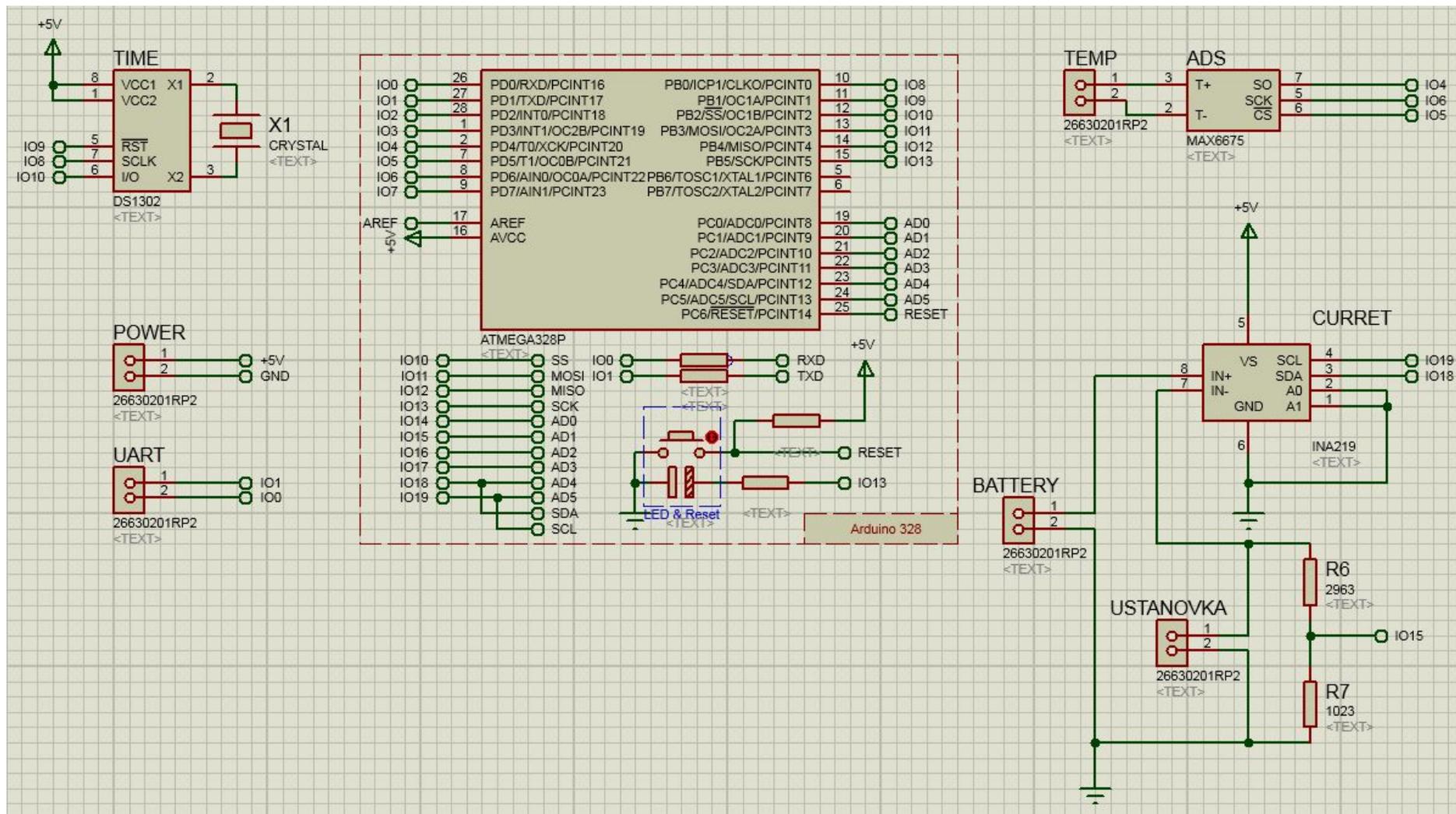
Перечень сигналов входо-выходов цифрового устройства

| Переменная | Диапазон измерения | Единица измерения | Сигнал |
|-----------------------------|--------------------|-------------------|----------|
| Ток | 0-1 | А | DI, 5В |
| Напряжение на электродах | 0-15 | В | AI, 0-5В |
| Температура расплава KF-2HF | 85-140 | °С | DI, 5 В |

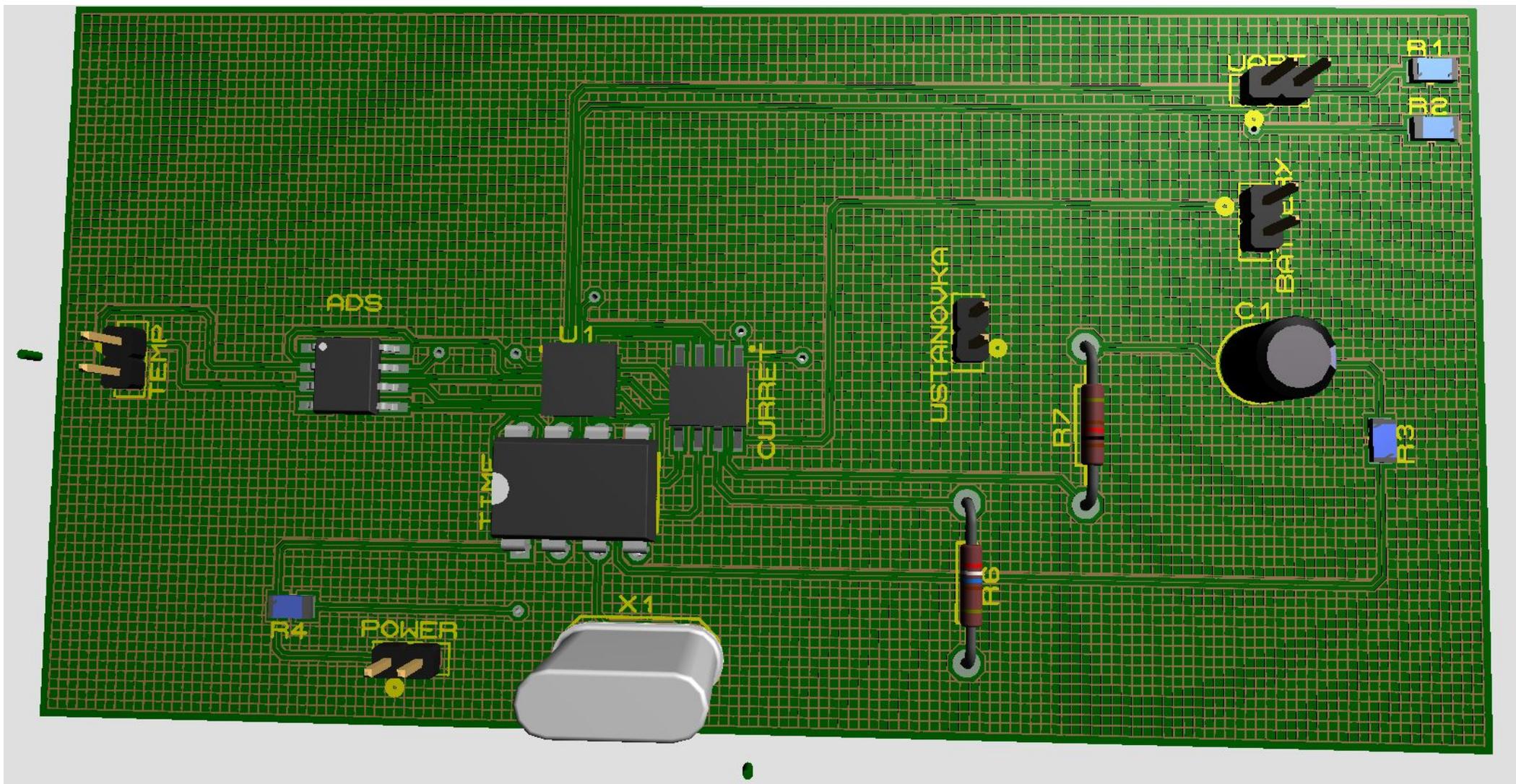
Этапы разработки цифрового устройства (ЦУ):

- разработка электрической принципиальной схемы (ЭПС);
- создание макета печатной платы (РСВ) И 3D-модели;
- написание программного кода;
- сборка и проверка электрической принципиальной схемы цифрового устройства на работоспособность на макетной плате.

Этап 1. Разработка электрической принципиальной схемы

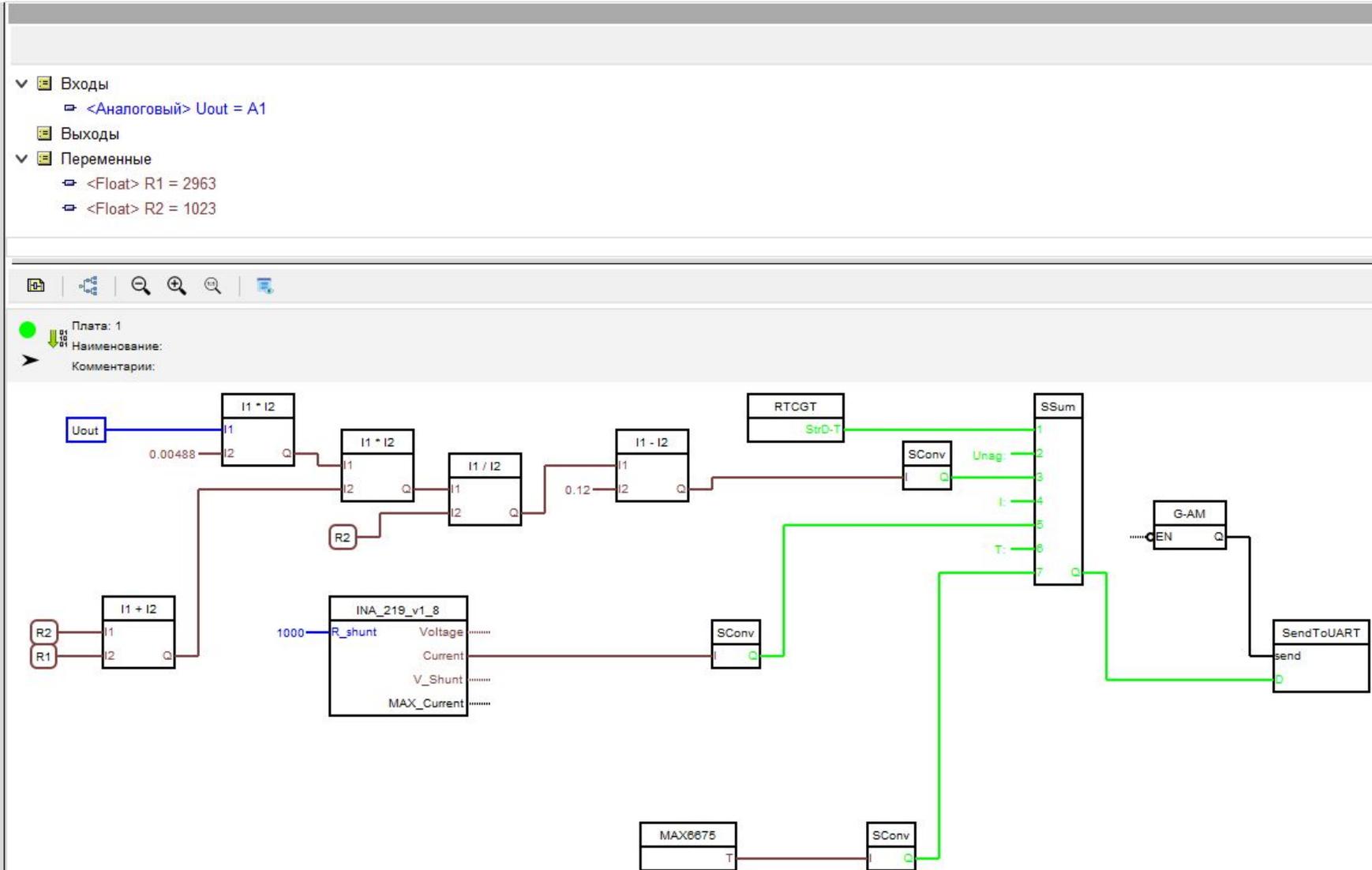


Этап 2. 3D-модель

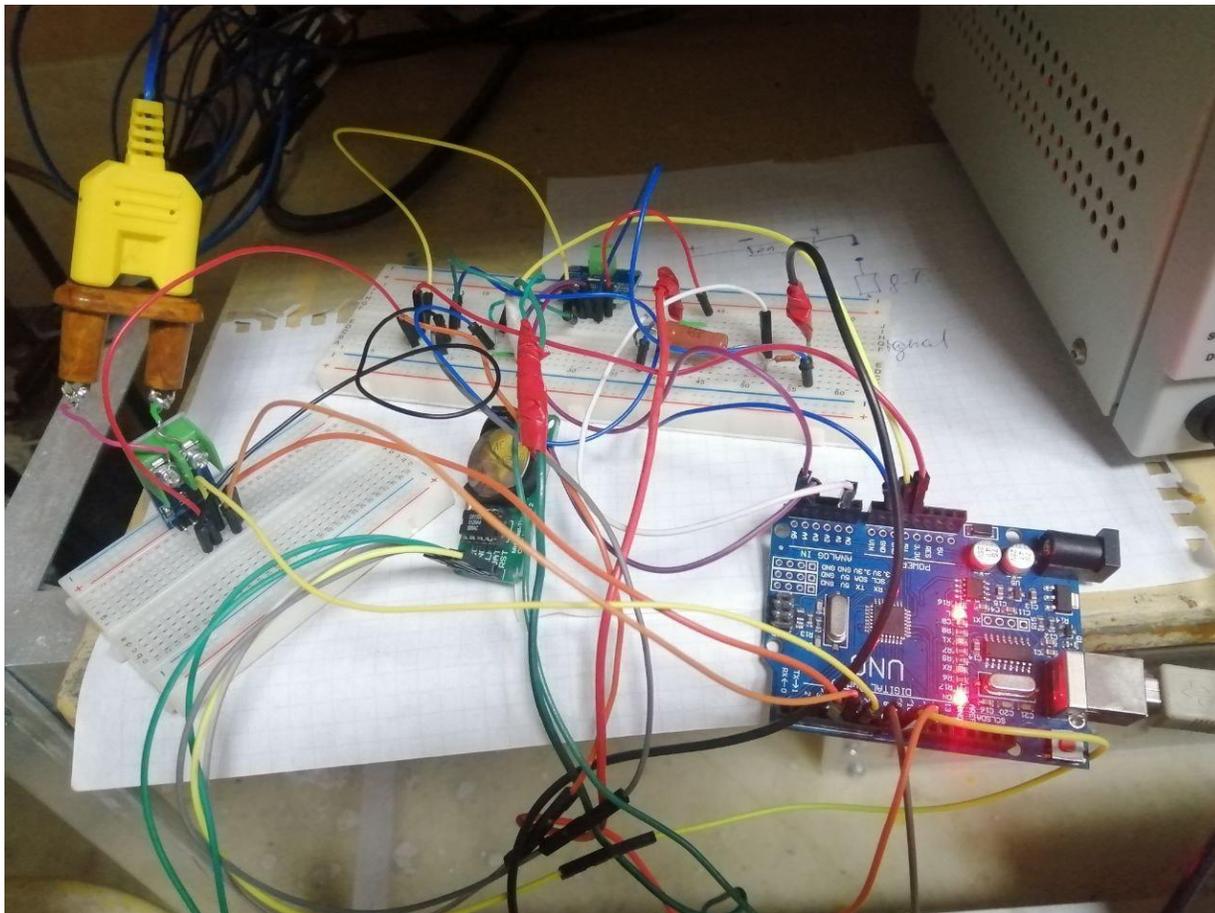


Этап 3. Разработка программного кода

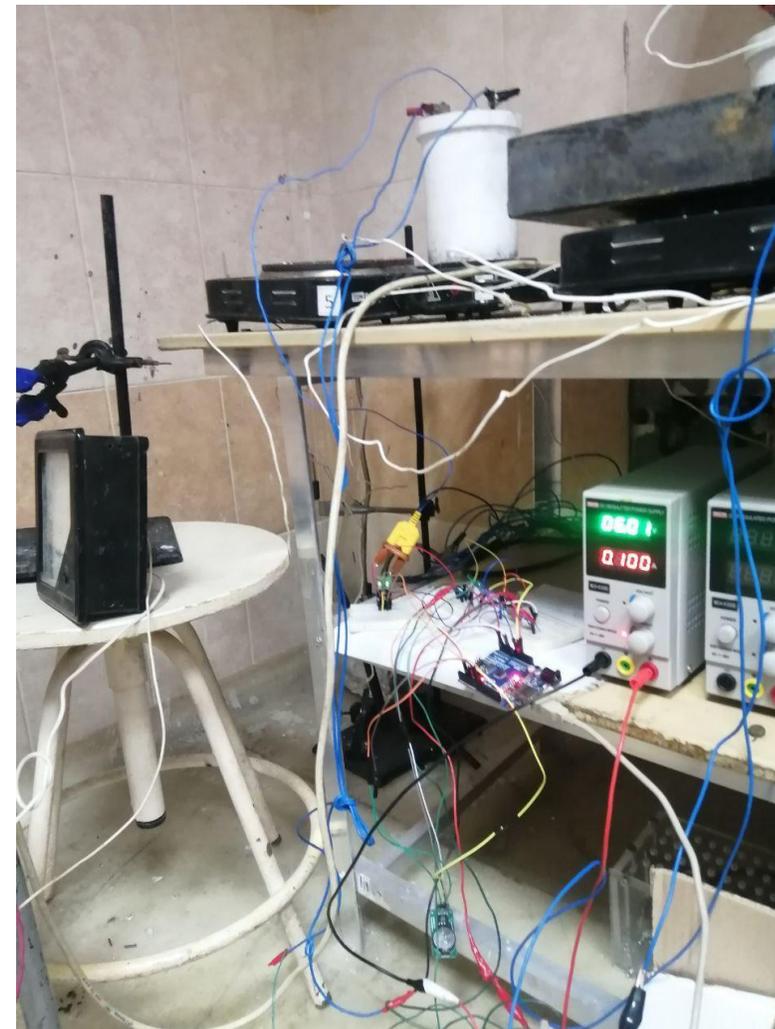
Дерево проекта
> Контроллер 1 (Arduino Uno)



Этап 4. Проверка ЭПС ЦУ на работоспособность



Прототип ЦУ на макетной плате



Подключение ЦУ к

Этап 4. Проверка ЭПС ЦУ на работоспособность



Показания I и $U_{\text{общ.}}$ на блоке питания



Показание $U_{\text{общ.}}$ на мультиметре



Показание I на мультиметре

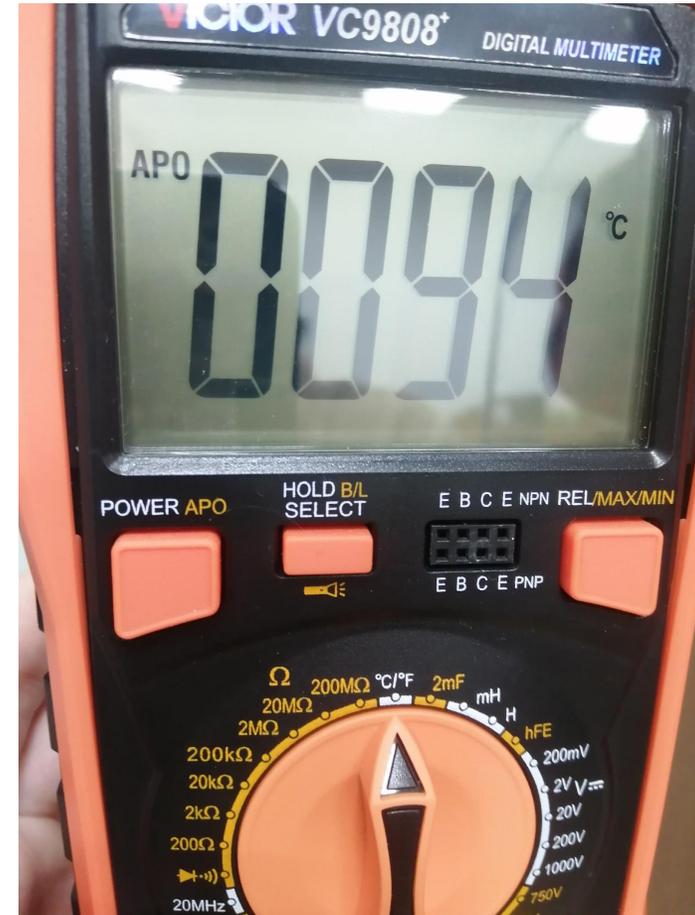


Показание $U_{\text{эл.}}$ на электродах на мультиметре

Этап 4. Проверка ЭПС ЦУ на работоспособность



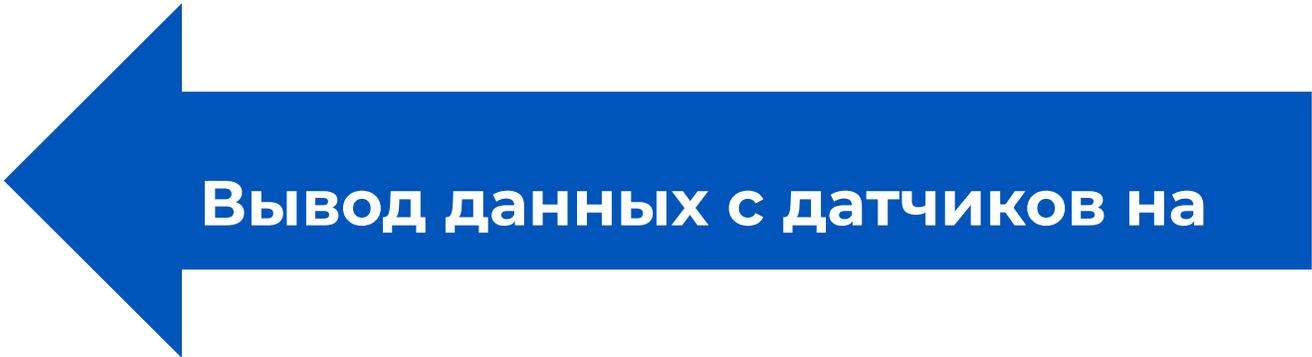
Показание температуры расплава КF-2HF с лабораторной термопары на терморегуляторе



Показание температуры с термопары К-типа на мультиметре

Этап 4. Проверка ЭПС ЦУ на работоспособность

| COM4 | | | |
|-------------|----------|------------|------------------|
| 15.12.2022, | 16:47:31 | Unag: 5.74 | I: 0.00 T: 0.00 |
| 15.12.2022, | 16:47:43 | Unag: 5.76 | I: 0.10 T: 94.00 |
| 15.12.2022, | 16:47:54 | Unag: 5.74 | I: 0.10 T: 94.00 |
| 15.12.2022, | 16:48:05 | Unag: 5.83 | I: 0.10 T: 93.25 |
| 15.12.2022, | 16:48:16 | Unag: 5.74 | I: 0.10 T: 93.50 |
| 15.12.2022, | 16:48:27 | Unag: 5.68 | I: 0.10 T: 94.00 |
| 15.12.2022, | 16:47:55 | Unag: 5.74 | I: 0.10 T: 93.50 |
| 15.12.2022, | 16:48:06 | Unag: 5.74 | I: 0.10 T: 93.75 |
| 15.12.2022, | 16:48:17 | Unag: 5.77 | I: 0.10 T: 93.25 |
| 15.12.2022, | 16:48:28 | Unag: 5.76 | I: 0.10 T: 93.50 |
| 15.12.2022, | 16:48:39 | Unag: 5.77 | I: 0.10 T: 93.50 |
| 15.12.2022, | 16:47:50 | Unag: 5.76 | I: 0.10 T: 93.25 |
| 15.12.2022, | 16:48:01 | Unag: 5.76 | I: 0.10 T: 93.25 |
| 15.12.2022, | 16:48:12 | Unag: 5.74 | I: 0.10 T: 93.25 |
| 15.12.2022, | 16:48:23 | Unag: 5.76 | I: 0.10 T: 93.25 |
| 15.12.2022, | 16:48:45 | Unag: 5.76 | I: 0.10 T: 93.25 |
| 15.12.2022, | 16:47:56 | Unag: 5.77 | I: 0.10 T: 93.50 |
| 15.12.2022, | 16:48:07 | Unag: 5.77 | I: 0.10 T: 93.00 |
| 15.12.2022, | 16:48:18 | Unag: 5.76 | I: 0.10 T: 93.00 |
| 15.12.2022, | 16:48:29 | Unag: 5.77 | I: 0.10 T: 93.50 |
| 15.12.2022, | 16:48:40 | Unag: 5.77 | I: 0.10 T: 93.25 |
| 15.12.2022, | 16:47:51 | Unag: 5.76 | I: 0.10 T: 93.25 |
| 15.12.2022, | 16:48:02 | Unag: 5.76 | I: 0.10 T: 93.25 |
| 15.12.2022, | 16:48:13 | Unag: 5.77 | I: 0.10 T: 93.25 |
| 15.12.2022, | 16:48:24 | Unag: 5.77 | I: 0.10 T: 93.50 |
| 15.12.2022, | 16:48:35 | Unag: 5.77 | I: 0.10 T: 93.25 |
| 15.12.2022, | 16:48:46 | Unag: 5.74 | I: 0.10 T: 93.50 |
| 15.12.2022, | 16:47:57 | Unag: 5.77 | I: 0.10 T: 93.75 |
| 15.12.2022, | 16:48:08 | Unag: 5.76 | I: 0.10 T: 93.75 |
| 15.12.2022, | 16:48:19 | Unag: 5.76 | I: 0.10 T: 94.00 |
| 15.12.2022, | 16:48:30 | Unag: 5.77 | I: 0.10 T: 93.75 |
| 15.12.2022, | 16:48:41 | Unag: 5.77 | I: 0.10 T: 93.25 |
| 15.12.2022, | 16:47:52 | Unag: 5.76 | I: 0.10 T: 93.50 |
| 15.12.2022, | 16:48:03 | Unag: 5.76 | I: 0.10 T: 93.75 |



Вывод данных с датчиков на

Экономическая часть ВКР

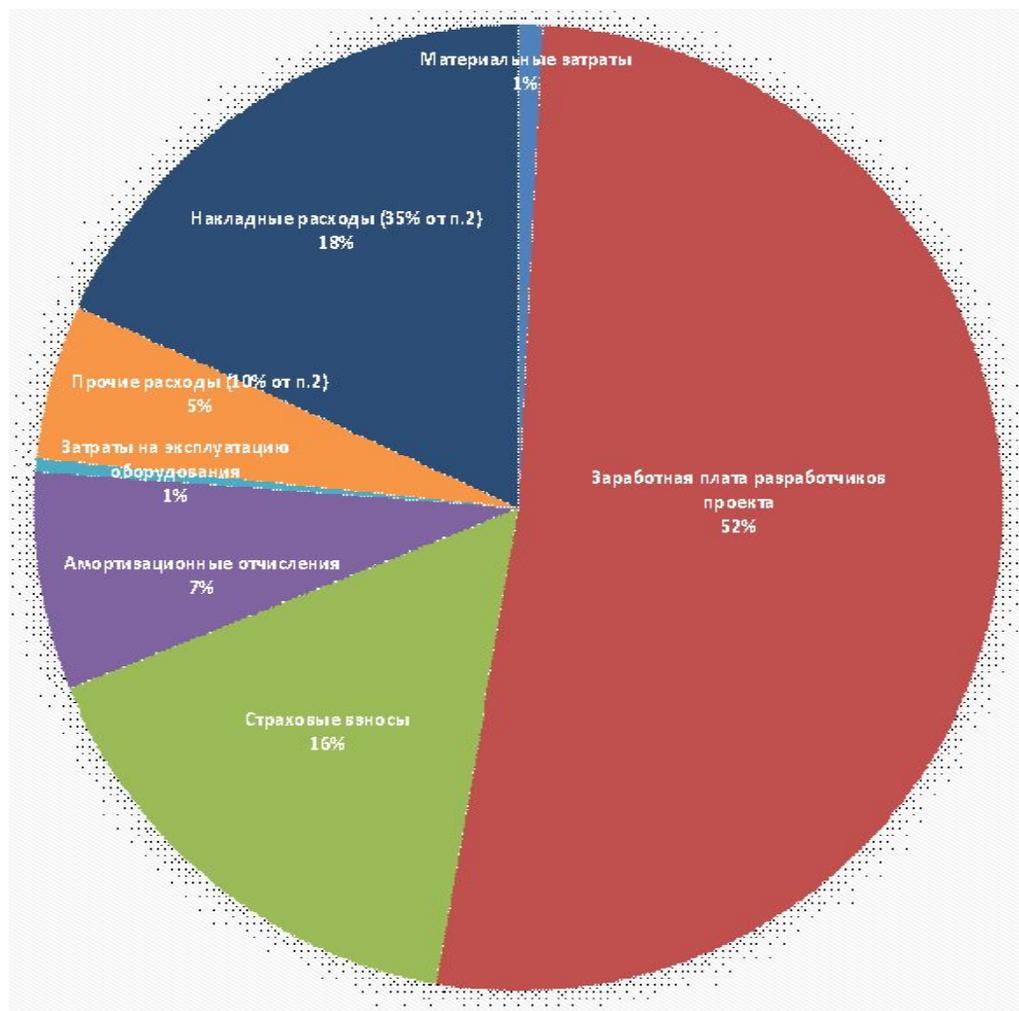


Диаграмма структуры затрат на разработку проекта

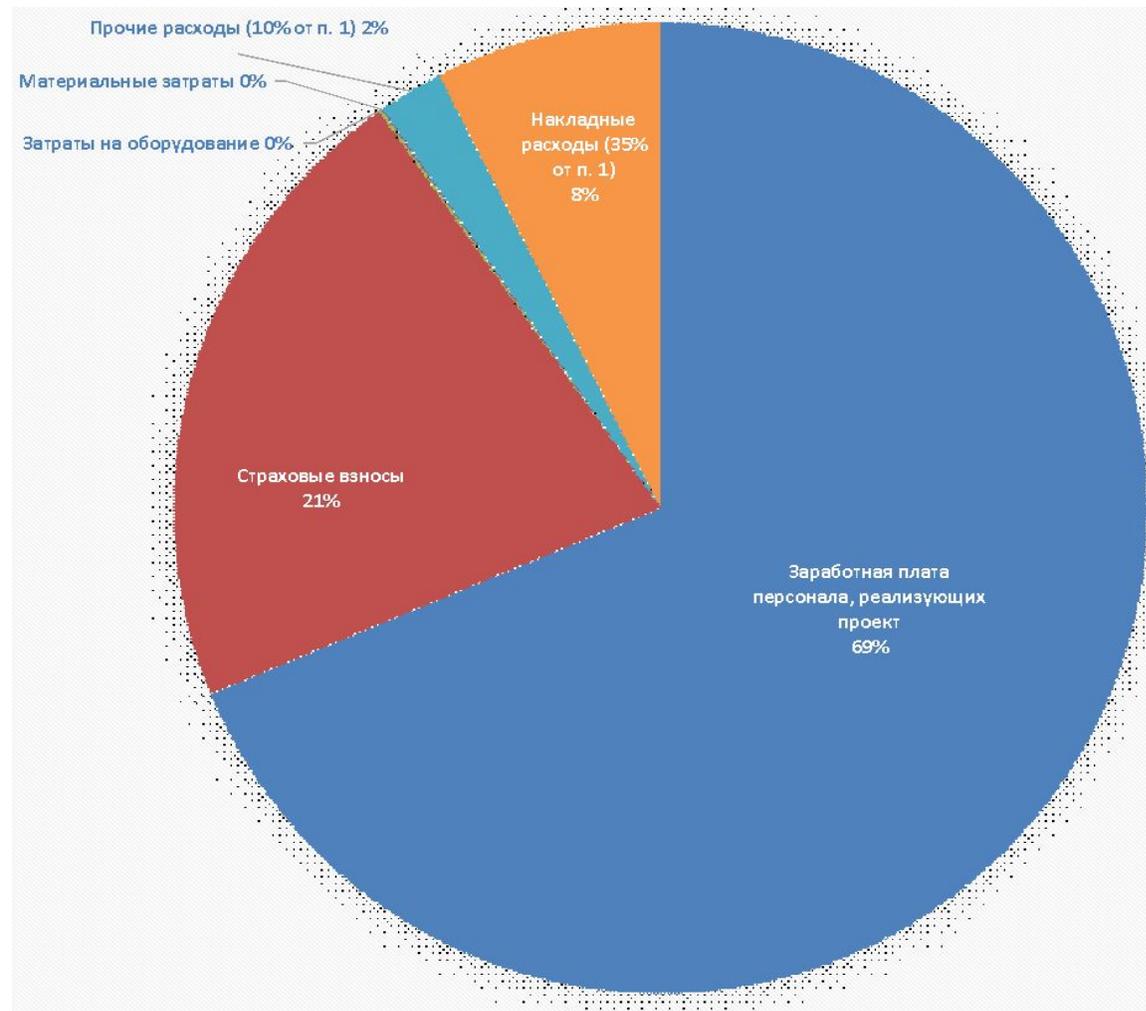


Диаграмма структуры затрат на реализацию проекта

Заключение

В ходе выполнения дипломного проекта разработано цифровое устройство для измерения технологических переменных лабораторного электролизёра с выходом данных о полученных измерениях на ПК. Выполнены следующие задачи:

- создана структурная схема;
- подобрано оборудование для разработки ЦУ;
- определен перечень сигналов ввода-вывода ЦУ;
- разработана электрическая принципиальная схема в программе Proteus;
- создан макет печатной платы (PCB);
- получена визуальная 3D-модель;
- написан программный код в FLProg на языке FBD;
- реализована принципиальная схема на макетной плате и проверена на работоспособность.

Спасибо за внимание!