

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет энергетический


Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники

Направление подготовки 15.03.04 – Автоматизация технологических процессов
и производств

Направленность (профиль) образовательной программы Автоматизация техноло-
гических процессов и производств в энергетике

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

И.о. зав. кафедрой

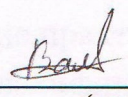
 О.В. Скрипко
« 27 » июня 2019 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Автоматизированная система регулирования температуры
лабораторного термостоллика

Исполнитель

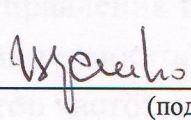
студент группы 541 об

 20.06.2019
(подпись, дата)

Р.А. Валуй

Руководитель

доцент, канд. техн. наук

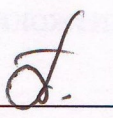
 26.06.19
(подпись, дата)

В.И. Усенко

Консультант:

по безопасности и
экологичности

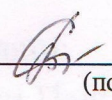
доцент, канд. техн. наук

 26.06.2019
(подпись, дата)

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль

профессор, д-р техн. наук

 26.06.2019
(подпись, дата)

О.В. Скрипко

Благовещенск 2019

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования


АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет энергетический

Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники

УТВЕРЖДАЮ

И.о. зав. кафедрой



подпись

О.В. Скрипко

И.О. Фамилия

« 27 » июня 2019г

ЗАДАНИЕ

К выпускной квалификационной работе студента Валуи Романа Андреевича

1. Тема выпускной квалификационной работы: Автоматизированная система регулирования температуры лабораторного термостоллика

(утверждена приказом от 15.04.19 № 847-уч)

2. Срок сдачи студентом законченной работы 25.06.2019

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе:

- рабочая и конструкторская документация термостоллика
- приказ об утверждении темы бакалаврской работы
- материалы, собранные в ходе практики

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов):

- автоматизация систем управления технологическими процессами ТЭМ;
- программное управления термостоллика;
- автоматический регулятор частоты и мощности;
- безопасность и экологичность.

5. Перечень материалов приложения:

- схема установки ТЭМ;
- структурная схема;
- монтажная схема;
- схема охладителя;
- монтажная схема для эмуляции;
- схема подключения элемента Пельтье;
- схема импульсного регулятора;
- схема на плате контроллера элемента Пельтье.

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе:

Безопасность и экологичность – Булгаков А.Б., доцент, канд. техн. наук

7. Дата выдачи задания 15.04.19

Руководитель выпускной квалификационной работы Усенко Валентин Иванович, доцент кафедры АППиЭ, канд. техн. наук.

Задание принял к исполнению (дата): Вал 15.04.19
(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Выпускная работа содержит: 72 с., 60 рисунков, 10 таблиц, 16 источников, 5 приложений.

ЕМКОСТЬ, КЛАВИАТУРА, РАДИАТОР, ОТЛАДКА, СИСТЕМА, УСТРОЙСТВО, ПЛАТА, ИНДИКАТОР, ВЕНТИЛЯТОР, ТРУБКИ, НАСОС, РАДИАТОР, ДРОССЕЛЬ.

Разработана аппаратная часть, в которую входит подбор электрических элементов. Разработана схема охладителя.

Научная проблема: управление термонагревом с помощью элементов Пельтье.

Новизна поставленной задачи: является использование в качестве нагревающего устройства термоэлемент. Этот элемент, используется в ситуациях, когда необходимо охлаждение с небольшой разницей температур.

Область применения: медицинская техника.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----------|
| РЕФЕРАТ | 1 |
| 1 ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ | 5 |
| 1.1 История создания (ТЭМ) | 5 |
| 1.2 Принцип действия термоэлектрического элемента | 6 |
| 1.3 Технические характеристики элемента Пельтье | 9 |
| 1.4 Эксплуатационные требования к элементам Пельтье | 10 |
| 1.5 Достоинства и недостатки | 12 |
| 1.6 Особенности процесса нагрева и охлаждения | 14 |
| 1.7 Области применения ТЭМ | 15 |
| 2 ДЕТАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ПО АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ | 21 |
| 1.8 Выбор основных элементов | 21 |
| 1.9 Описание основных элементов | 22 |
| 2 РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА | 31 |
| 3.1 Исследование термоэлектрических характеристик элемента Пельтье | 31 |
| 3.1.1 Исследование с воздушным охлаждением | 31 |
| 3.1.2 Исследование с водяным охлаждением | 33 |
| 3.1.2 Разработка микроконтроллерного управления элемента Пельтье | 34 |
| 3.1.3 Разработка охладителя | 40 |
| 3.2 Изготовление платы для балансировки напряжения | 43 |
| 4 РАЗРАБОТКА АРДУИНО-КОНТРОЛЛЕРА ЭЛЕМЕНТА ПЕЛЬТЬЕ | 50 |
| 4.1 Разработка общей структуры устройства | 50 |
| 4.2 Импульсные стабилизаторы | 51 |

| | |
|--|-----------|
| 4.3 Практическая реализация ключевого регулятора | 54 |
| 4.4 Расчет дросселя ключевого стабилизатора | 57 |
| 4.5 Ток насыщения дросселя | 59 |
| 5 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ | 62 |
| 5.1 Техника безопасности при эксплуатации установки | 62 |
| 5.1.1 Расчет автоматического выключателя для установки | 63 |
| 5.1.2 Заземление | 65 |
| 5.2 Экологичность | 65 |
| 5.3 Чрезвычайные ситуации | 66 |
| 5.3.2 Поломка элемента Пельтье | 67 |
| 5.3.3 При обнаружении других неисправностей | 67 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 68 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК | 69 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А | 71 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Б | 74 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ В | 76 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Г | 77 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Д | 78 |

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе нужно научиться управлять нагревом с помощью элементов Пельтье. Элемент Пельтье – это термоэлектрический преобразователь, принцип действия которого базируется на эффекте Пельтье – возникновении разности температур при протекании электрического тока.

Для использования термоэлемента Пельтье необходимо подключить его полярность питания в соответствии с поставленной задачей (нагрев или охлаждение). Если поменять полярность питания, поменяется направление тепла (холода), т.е. можно простым переключением превратить его из холодильника в нагреватель. Чем эффективнее будет отвод тепла с горячей стороны, тем эффективнее будет охлаждение.

Главной целью является регулирование температуры холодной стороны по программе, а регулирование температуры горячей стороны стабилизацией температуры.

1 ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

1.1 История создания (ТЭМ)

Эффект Зеебека. Физик Томас Иоганн Зеебек (1770 – 1831), родившийся в семье балтийских немцев, в 1821 году обнаружил, что стрелка компаса отклоняется в замкнутой цепи проводников из двух разнородных металлов, если контакты между ними имеют различную температуру. В то же время датский физик Ханс Кристиан Эрстед, изучавший явления электромагнетизма, правильно интерпретировал «термомагнитный» эффект Зеебека, введя термин «термоэлектрический эффект», и связал протекание тока с разностью температур, которое в свою очередь и является причиной возникновения замеченного Зеебеком магнитного поля.

Эффект Пельтье. Лишь спустя тринадцать лет после открытия термоэлектрического эффекта французский физик Жан Шарль Атаназ Пельтье (1785 – 1845) обнаружил обратный эффект, а именно возникновение разности температур при протекании электрического тока в месте контакта двух разнородных проводников. Пельтье в то время не смог правильно обосновать данное явление, что позже исправил английский физик Уильям Томсон (именуемый также бароном Кельвином, в честь которого и назвали единицу измерения температуры в СИ), сформулировав в 1860 году теорию термодинамики [1]. Пример эффекта показан на рисунке 1.

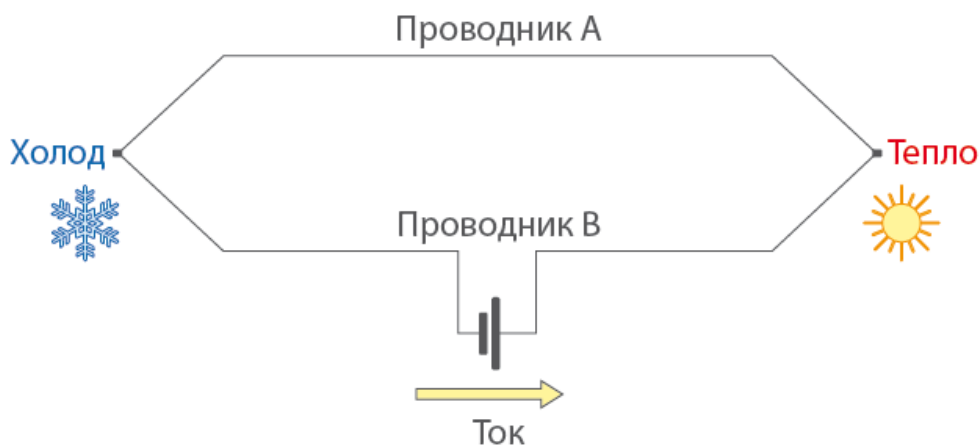


Рисунок 1 – Наглядный пример эффекта

1.2 Принцип действия термоэлектрического элемента

Принцип действия элемента Пельтье заключается в том, что в нем лежит контакт двух полупроводниковых материалов с разными уровнями энергии электронов в зоне проводимости. При протекании тока через контакт электрон должен приобрести энергию, чтобы перейти в более высокоэнергетическую зону проводимости другого полупроводника. При поглощении этой энергии происходит охлаждение места контакта полупроводников. При протекании тока в обратном направлении происходит нагревание места контакта полупроводников.

Если охлаждать нагревающуюся сторону элемента Пельтье, при помощи воздушного охлаждения (радиатора и вентилятора) или жидкостного (водяного радиатора и помпы), то температура холодной стороны становится ниже. В зависимости от типа элемента и величины тока, разность температур может достигать приблизительно 70 °С. Ниже на рисунке 2 показано расположение полупроводников р- и n-типа.

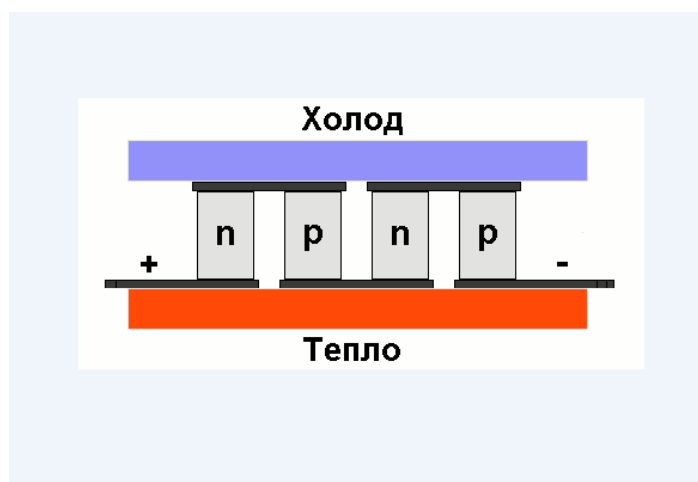


Рисунок 2 – Использование полупроводников р- и n-типа в термоэлектрических холодильниках.

Элемент Пельтье состоит из одной или более пар небольших полупроводниковых параллелепипедов — одного n-типа и одного р-типа в паре, которые попарно соединены при помощи металлических перемычек. Металлические перемычки одновременно служат термическими контактами

и изолированы непроводящей плёнкой или керамической пластинкой. Пары параллелепипедов соединяются таким образом, что образуется последовательное соединение многих пар полупроводников с разным типом проводимости, так чтобы сверху были одни последовательности соединений (n->p), а снизу - противоположные (p->n). Подробная структура модуля показана на рисунке 3.

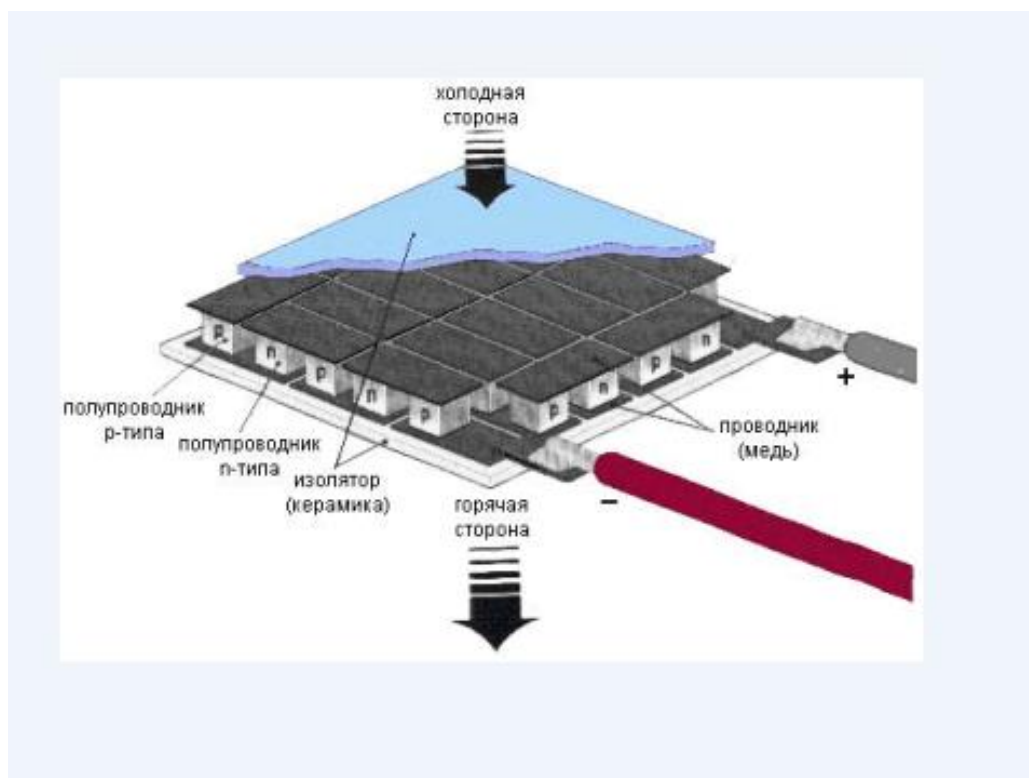


Рисунок 3 – Структура модуля Пельтье

В зависимости от направления тока верхние контакты охлаждаются, а нижние нагреваются или наоборот. Таким образом, электрический ток переносит тепло с одной стороны ТЭМ на противоположную и создаёт разность температур.

В результате прохождения электрического тока определенной полярности образуется перепад температур между радиаторами модуля Пельтье: один радиатор работает как холодильник, другой радиатор нагревается и служит для отвода тепла. На рисунке 4 представлен внешний вид типового модуля Пельтье.



Рисунок 4 – Внешний вид модуля Пельтье

Типичный модуль обеспечивает значительный температурный перепад, который составляет несколько десятков градусов. При соответствующем принудительном охлаждении нагревающегося радиатора второй радиатор - холодильник, позволяет достичь отрицательных значений температур. Для увеличения разности температур возможно каскадное включение термоэлектрических модулей Пельтье при обеспечении адекватного их охлаждения. Это позволяет сравнительно простыми средствами получить значительный перепад температур и обеспечить эффективное охлаждение защищаемых элементов. На рисунке 5 представлен пример каскадного включения типовых модулей Пельтье [1].

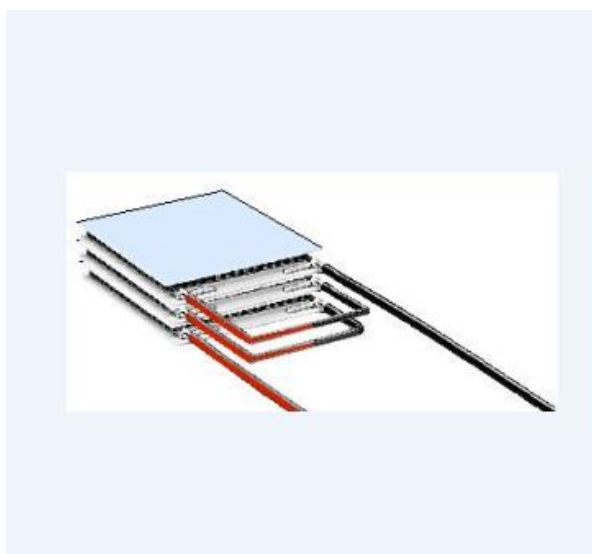


Рисунок 5 – Пример каскадного включения модулей Пельтье

1.3 Технические характеристики элемента Пельтье

В таблице 1 подробно расписана техническая характеристика элемента Пельтье.

Таблица 1 – Технические параметры TEC1-12706 [2].

| Обозначение | Параметр | Значение, при температуре горячей стороны | |
|------------------|--------------------------|---|--------|
| | | 25 °C | 50 °C |
| Qmax | Холодопроизводительность | 50 Вт | 57 Вт |
| Delta Tmax | Разность температур | 66 °C | 75 °C |
| I _{max} | Максимальный ток | 6,4 А | 6,4 А |
| U _{max} | Максимальное напряжение | 14,4 В | 16,4 В |
| Resistance | Сопротивление | 1,98 Ом | 2,3 Ом |

На рисунке 6 изображена графическая характеристика ТЭМ (TEC1-12706).

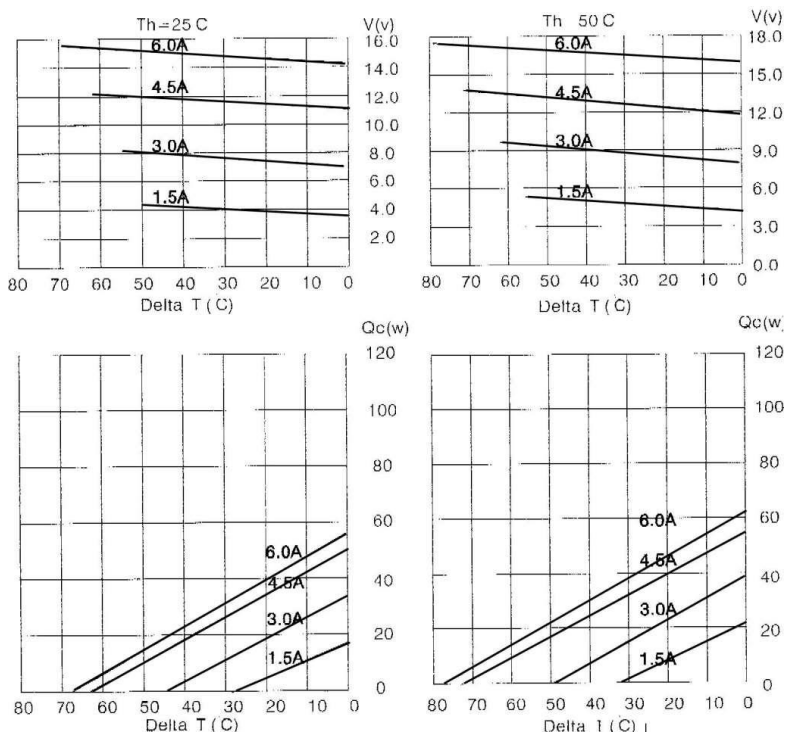


Рисунок 6 – Графические характеристики

Габаритный чертеж модуля TEC1-12706 представлен на рисунке 7.

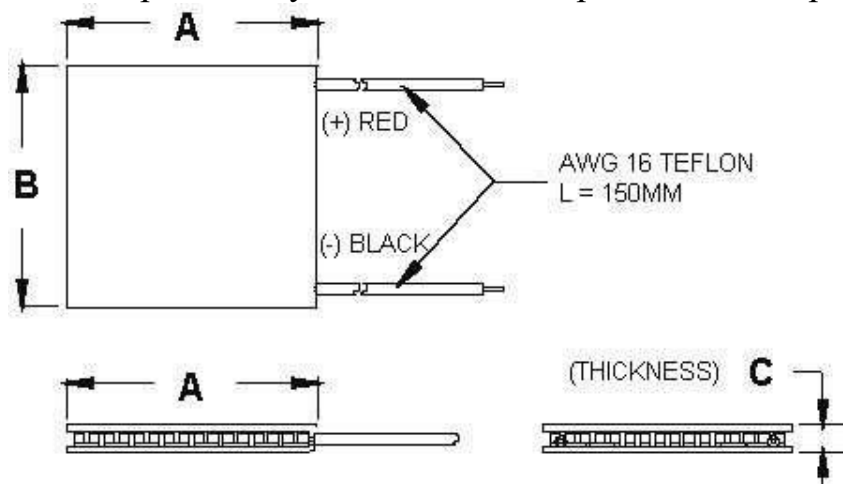


Рисунок 7 – Чертеж ТЭМ

Таблица 2 – Габаритные размеры

| Обозначение | Размер |
|-------------|--------|
| A | 40 мм |
| B | 40 мм |
| C | 3,8 мм |

Максимально допустимая температура 138 °С. Недопустимо превышение значения параметров I_{max} и U_{max} . Срок службы 200 000 часов [2].

1.4 Эксплуатационные требования к элементам Пельтье

Применение модулей Пельтье сопряжено с рядом требований, невыполнение которых приводит:

- 1) К деградации модуля;
- 2) Выходу из строя;
- 3) Снижению эффективности системы.

– Модули выделяют значительное количество тепла. Для отвода тепла должен быть установлен соответствующий радиатор. Иначе:

а) Невозможно достичь нужной температуры холодной стороны, т.к. элемент Пельтье снижает температуру относительно горячей поверхности.

б) Допустимый нагрев горячей стороны как правило + 80 °С (в высокотемпературных до 150 °С). Т.е. модуль может просто выйти из строя.

в) При высоких температурах кристаллы модуля деградируют, т.е. снижается эффективность и срок службы модуля.

– Важен надежный тепловой контакт модуля с радиатором охлаждения.

– Источник питания для модуля должен обеспечивать ток с пульсациями не более 5%. При более высоком уровне пульсаций эффективность модуля снизится, по некоторым данным на 30-40%.

– Не допустимо, для управления элементом Пельтье, использовать релейные регуляторы. Это приведет к быстрой деградации модуля. Каждое включение – выключение вызывает деградацию полупроводниковых термопар. Из-за резких изменений температуры между пластинами модуля возникают механические напряжения в местах спайки с полупроводниками. Производители элементов Пельтье нормируют количество циклов старт-стопов модуля. Для бытовых модулей это порядка 5000 циклов. Релейный регулятор выведет из строя модуль Пельтье за 1-2 месяца.

– К тому же элемент Пельтье обладает высокой теплопроводностью между поверхностями. При выключении, тепло радиатора горячей стороны, через модуль будет передаваться на холодную сторону.

– Недопустимо, для регулирования мощности на элементе Пельтье, использовать ШИМ модуляцию.

– Чем надо питать элемент Пельтье источником тока или напряжения? Обычно используют источник напряжения. Он проще в реализации. Но вольт-амперная характеристика модуля Пельтье нелинейная и крутая. Т.е. при небольшом изменении напряжения ток меняется значительно. И вдобавок, характеристика меняется при изменении температуры поверхностей модуля. Надо стабилизировать мощность, т.е. произведение

тока через модуль на напряжение на нем. Охлаждающая способность элемента Пельтье напрямую связана с электрической мощностью. Конечно, для этого необходим достаточно сложный регулятор.

– Напряжение модуля зависит от количества термопар в нем. Чаще всего это 127 термопар, что соответствует напряжению 16 В. Разработчики элементов рекомендуют подавать до 12 В, или 75% U_{max} . При таком напряжении обеспечивается оптимальная эффективность модулей.

– Модули имеют герметичное исполнение, их можно использовать даже в воде.

– Полярность модуля отмечена цветами проводов – черный и красный. Как правило, красный (положительный) провод расположен справа, относительно холодной стороны [3].

1.5 Достоинства и недостатки

Достоинством элемента Пельтье являются небольшие размеры, отсутствие каких-либо движущихся частей, также достоинством является отсутствие шума при работе.

За счет отсутствия подвижных и быстроизнашивающихся деталей все элементы Пельтье очень надежны, долговечны и не нуждаются в техобслуживании. Еще одно преимущество заключается в недорогом производстве. Кроме того, они не создают никаких вибраций и шумов. Поэтому элементы компактны и без труда позволяют объединять даже несколько модулей в один блок. В системах Пельтье нет хладагентов, которые легко воспламеняются, разрушают озоновый слой и вызывают парниковый эффект.

Отпадает надобность в целом контуре охлаждения с компрессором, дросселем и конструктивными элементами испарителя и конденсатора, которые занимают много места. Элементы не нуждаются в техобслуживании, а в случае выхода из строя без труда заменяются.

Современные технологии регулирования позволяют более точно дозировать охлаждающий эффект, чем в стандартном компрессоре. Кроме

того, в результате переключения полюсов функция может изменяться на противоположную, то есть охлаждающий элемент может становиться эффективным нагревательным элементом [1].

Недостатком элемента Пельтье является более низкий коэффициент полезного действия, чем у компрессорных холодильных установок на фреоне, что ведёт к большой потребляемой мощности для достижения заметной разности температур. Несмотря на это, ведутся разработки по повышению теплового КПД, а элементы Пельтье нашли широкое применение в технике, так как без каких-либо дополнительных устройств можно реализовать температуры ниже 0 °С.

Основной проблемой в построении элементов Пельтье с высоким КПД является то, что свободные электроны в веществе являются одновременно переносчиками и электрического тока, и тепла. Материал для элемента Пельтье же должен одновременно обладать двумя взаимоисключающими свойствами – хорошо проводить электрический ток, но плохо проводить тепло.

В батареях элементов Пельтье возможно достижение большей разницы температур, но мощность охлаждения будет ниже. Для стабилизации температуры лучше использовать импульсный источник питания, так как это позволит повысить эффективность системы. При этом желательно сглаживать пульсации тока – это увеличит эффективность работы Пельтье и, возможно, продлит срок его службы. Также, работа элемента Пельтье будет неэффективной, если пытаться стабилизировать температуру с использованием широтно-импульсной модуляции тока [3].

При создании модулей Пельтье технически неизбежно очень тесное расположение теплой и холодной сторон. На практике толщина современных модулей Пельтье составляет всего 3-5 мм, что требует очень эффективного подвода и отвода тепла. Эта техническая дилемма решается установкой больших радиаторов с вентиляторами. Производительность модуля Пельтье зависит в первую очередь от необходимой разности температур. Чем больше

разность температур, тем меньше мощность перекачки, а при разности около 70К мощность падает до нуля (на сегодняшний день развития технологии Пельтье). Более высокие значения разности удастся реализовать лишь за счет затратной установки многоступенчатых элементов [1].

1.6 Особенности процесса нагрева и охлаждения

Применение Модулей Пельтье сопряжено с рядом требований, невыполнение которых приводит: к снижению эффективности системы, деградации модуля или выхода его из строя. Модули выделяют значительное количество тепла. Для отвода тепла необходимо устанавливать радиатор.

Иначе невозможно достичь нужной температуры холодной стороны, т.к. элемент Пельтье снижает температуру относительно горячей поверхности. При высоких температурах кристаллы модуля деградируют, т.е. снижается эффективность и срок службы модуля. Допустимый нагрев горячей стороны + 80 °С (в высокотемпературных до 150 °С). Т.е. модуль может просто выйти из строя.

Важен надежный тепловой контакт модуля с радиатором охлаждения.

Источник питания для модуля должен обеспечивать ток с пульсациями не более 5%. При более высоком уровне пульсаций эффективность модуля снизится на 30-40%.

Не допустимо, для управления элементом Пельтье, использовать релейные регуляторы. Это приведет к быстрой деградации модуля. Каждое включение – выключение вызывает деградацию полупроводниковых термопар. Из-за резких изменений температуры между пластинами модуля возникают механические напряжения в местах спайки с полупроводниками.

К тому же элемент Пельтье обладает высокой теплопроводностью между поверхностями. При выключении, тепло радиатора горячей стороны, через модуль будет передаваться на холодную сторону.

Недопустимо, для регулирования мощности на элементе Пельтье, использовать ШИМ модуляцию.

Для питания элемента Пельтье обычно используют источник

напряжения. Он проще в реализации. Но вольт-амперная характеристика модуля Пельтье нелинейная и крутая. Т.е. при небольшом изменении напряжения ток меняется значительно. И вдобавок, характеристика меняется при изменении температуры поверхностей модуля. Надо стабилизировать мощность, т.е. произведение тока через модуль на напряжение на нем. Охлаждающая способность элемента Пельтье напрямую связана с электрической мощностью. Конечно, для этого необходим достаточно сложный регулятор.

Напряжение модуля зависит от количества термопар в нем. Чаще всего это 127 термопар, что соответствует напряжению 16 В. Разработчики элементов рекомендуют подавать до 12 В, или 75% U_{max} . При таком напряжении обеспечивается оптимальная эффективность модулей.

Модули имеют герметичное исполнение, их можно использовать даже в воде.

Полярность модуля отмечена цветами проводов – черный и красный. Как правило, красный (положительный) провод расположен справа, относительно холодной стороны.

1.7 Области применения ТЭМ

Основные направления практического использования эффекта Пельтье в полупроводниках: получение холода для создания термоэлектрических охлаждающих устройств, подогрев для целей отопления, термостатирование, управление процессом кристаллизации в условиях постоянной температуры. Термоэлектрические модули (ТЭМ) применяются в устройствах охлаждения радиоэлектронных компонентов и различных устройствах термостатирования ввиду легкости прецизионного электронного регулирования температуры, как для нагрева, так и для охлаждения.

Максимальная холодопроизводительность ТЭМ получается при определенном значении тока, который при заданном значении напряжения питания показывается как I_{max} . Нестационарный режим питания импульсами тока, в несколько раз превышающими I_{max} , на некоторое время

позволит получить холодопроизводительность, намного превышающую паспортную. Это объясняется тем, что сам эффект Пельтье безынерционен, в отличие от распространения теплоты Джоуля и явления теплопроводности, и, в течение нескольких секунд, этим можно воспользоваться. Впрочем, нестационарные режимы широкого применения не получили.

Ввиду обратимости термоэлектрических эффектов, ТЭМ может использоваться и в качестве термоэлектрических генераторов (ТЭГ). Вдали от удобств цивилизации это может быть один из немногих доступных источников электрической энергии, например, для подзарядки аккумуляторов или прямого питания радиоэлектронной аппаратуры или других устройств. Достаточно широко используются устройства, в которых разница температур создается между наружной металлической оболочкой, нагреваемой открытым огнем (костром), и внутренней оболочкой, охлаждаемой водой. «Холодная» сторона будет ограничена температурой кипения воды, поэтому такой ТЭМ должен быть рассчитан на рабочую температуру 500 – 600°C. Следует иметь в виду, что тепловой баланс для ТЭГ качественно отличается от ТЭМ на основе эффекта Пельтье, и этот эффект (вместе с теплотой Джоуля) вносит всего несколько процентов в общий вклад, что требует совершенно других акцентов при конструировании ТЭГ. ТЭГ широко применяются в космической технике, где температура «горячей» стороны поддерживается радиоизотопным источником. Вживляемые в тело человека кардиостимуляторы также снабжены ТЭГ с радиоизотопным источником для создания разности температур.

Также элементы Пельтье часто применяются для охлаждения и термостатирования диодных лазеров, с тем, чтобы стабилизировать длину волны излучения. В приборах, при низкой мощности охлаждения, элементы Пельтье часто используются как вторая или третья ступень охлаждения. Это позволяет достичь температур на 30 – 40°C ниже, чем с помощью обычных компрессионных охладителей.

Основным отличием ТЭМ для промышленного применения является их

высокая надёжность, максимальная эффективность и стабильность параметров. Эксплуатация в условиях высоких температур, необходимости быстрой смены режима охлаждения на термоэлектрический нагрев (в этом случае эффективность нагрева >1), работа в условиях повышенной влажности, всё это определяет требования, предъявляемые к ТЭМ для промышленного применения. Ниже приведены некоторые области применения охлаждения и температурной стабилизации с помощью термоэлектричества.

Основные области применения:

1) В общепромышленных блоках и узлах

- шкафы и стойки с оборудованием;
- процессоры и быстродействующие устройства;
- сложные оптические приборы;
- лазеры.

2) Технологическое оборудование:

- жидкостное охлаждение и прецизионная термостабилизация рабочих зон технологических линий по производству микросхем, дисплеев и др.
- прецизионное поддержание рабочих температур в технологических ваннах (гальванических, травления, промывки и др.);
- термокамеры для испытания электронных компонентов и узлов на воздействие климатических, в том числе циклических воздействий;
- устройства закрепления деталей для прецизионной механической обработки с помощью локального замораживания.

Холодильные боксы с элементами Пельтье, предназначенные для интенсивного охлаждения продуктов питания и напитков, идеально подходят для автомобилей и дач на колесах, ведь они мобильны в своем использовании и могут питаться от 12-вольтовой бортовой сети.

Главный недостаток модулей Пельтье применяется в осушителе воздуха. Осушаемый воздух пропускается через холодную сторону модуля Пельтье, а образующийся конденсат стекает в специальный поддон [1].

3) Медицинская техника:

- охлаждение и кондиционирование медицинской техники;
- портативные холодильники для перевозки биологических препаратов;
- приборы для проведения ДНК анализов;
- теплообмен для хирургии;
- терапевтические приборы;
- холодные поверхности и изотермальные ванны для биологии и фармакопей.

Одной из причин широкого применения термоэлектрического охлаждения в медицинских приборах является безопасность напряжения питания ТЭМ. Ярким примером термостатирования по технологии Пельтье является амплификатор – лабораторный прибор для амплификации последовательностей ДНК. При так называемой реакции ПЦР (полимеразной цепной реакции) требуется три различных быстро сменяющихся температуры реакции. Ввиду своего устройства компрессорные системы бывают лишь определенных размеров. А модули Пельтье могут быть крошечными, обладая при этом удивительно высокой мощностью охлаждения. Миниатюрные элементы Пельтье используются, например, в сцинтилляторах, где требуется подавление шумов фотодиодов путем охлаждения.

Функционирование большинства компрессорных систем зависит от положения. В наклоненном или перевернутом состоянии они перестают работать, равно как и в невесомости. А модули Пельтье можно встраивать в мобильные устройства, которые питаются от широко распространенного 12-вольтового аккумулятора. Пример использования: денсиметры, вискозиметры, реометры или рефрактометры.

4) Измерительная техника:

- осушение проб газа в газоанализаторах;
- температурная стабилизация эталонов «чёрного тела»;

- датчики точки росы;
- измерители тепловых потоков.

5) Транспортные средства:

- локальное кондиционирование в кабинах транспортных средств;
- нагрев/охлаждение сидений автомобилей и др. видов транспорта;
- холодильники и охладители напитков.

6) Пищевая промышленность:

- устройства охлаждения и поддержания температуры пищи во время её приготовления, упаковки, транспортировки и хранения;
- охладители напитков для баров, ресторанов и кафе.

7) Промышленное применение может быть разделено на следующие конструктивные группы:

- высокоэффективные однокаскадные термоэлектрические модули;
- стандартные однокаскадные термоэлектрические модули;
- круглые термоэлектрические модули;
- прямоугольные термоэлектрические модули с отверстием;
- двухсекционные однокаскадные термоэлектрические модули [4].

Таблица 3 – Используемые сокращения

| Сокращения | Расшифровка |
|------------------|--|
| 1 | 2 |
| ТЭМ | термоэлектрический модуль (охлаждающий) |
| ТГМ | термоэлектрический генераторный модуль |
| ΔT_{max} | максимально достижимая разница температур между сторонами термоэлектрического модуля |
| I_{max} | максимальный электрический ток через термоэлектрический модуль, соответствующий режиму максимальной разницы температур |

| 1 | 2 |
|------------------|---|
| U _{max} | максимальное электрическое напряжение на контактах термоэлектрического модуля, соответствующее режиму максимальной разницы температур |
| Q _{max} | максимальная холодопроизводительность (холодильная мощность) термоэлектрического модуля. Определяется при максимальном токе через термоэлектрический модуль и нулевой разности температур между его сторонами |
| R _{ac} | электрическое сопротивление термоэлектрического модуля, измеренное на переменном токе с частотой 1 кГц |

2 ДЕТАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ПО АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ

1.8 Выбор основных элементов

В нашей работе будет необходим микроконтроллер, где будет не менее 24 входов/выходов. Нам подходит микроконтроллер серии ATmega328.

Его плюсы заключаются в том, что он высокопроизводительный, маломощный микроконтроллер на базе AVR RISC, балансирует потребление энергии и скорость обработки [5]. Все необходимое для установки покупалось на сайте AliExpress. Чтобы не заказывать все отдельно был приобретен набор Arduino. В комплекте, которого входило все необходимое.

Подобраны кнопки KLS7-TS6601 для выполнения функций старт и сброс, увеличение и уменьшение напряжения, рабочий ток до 0,05 А [6]. В нашей установке кнопки не несут большой важности, поэтому взяли недорогие и более простые по конструкции.

Так же был выбран семисегментный дисплей общим катодом, элемент работает при значении прямого тока равного 20 мА [7]. Он был самым дешевым, поэтому выбор пал именно на него.

Цифровой датчик температуры Dallas 18B20 [8].

Элементов Пельтье TES1-12706 было приобретено несколько штук. Поскольку некоторые могли прийти неисправными, а другие вышли бы из строя во время опытов (китайское качество), поэтому приобрели с запасом [2].

Помпа СВО (водяной насос) SC600 для систем жидкостного охлаждения компьютера. Высокая производительность при минимальном уровне шума [9].

Для опыта с программной реализацией в качестве микроконтроллера был выбран ATmega16 поскольку он полностью удовлетворяет количеством входов и выходов.

Все данные о количестве входов/выходов МК для периферии в приложении Б.

Переключатель движковый SS12F72 (B3037). Количество контактов 3. Тип исполнения прямой. Рабочее напряжение 50 В, рабочий ток 0,3 А [10].

Транзисторы будем использовать BC547. Напряжение коллектор-эмитер не более 45В, напряжение эмиттер-база не более 6V, напряжение коллектор-база не более 50В. Ток коллектора не более 0,1 А [11].

1.9 Описание основных элементов

Четырех цифровой семисегментный индикатор, характеристики приведены в таблице 4, а чертеж и внешний вид предоставлены на рисунках 8 и 9[7].

Таблица 4 – Технические характеристики сегментного индикатора

| | |
|----------------------|-------------|
| Цвет свечения | зеленый |
| Длина волны,нм | 470 |
| При токе Iпр.,мА | 20 |
| Количество сегментов | 7 шт |
| Схема включения | общий катод |
| Высота знака,мм | 15 |

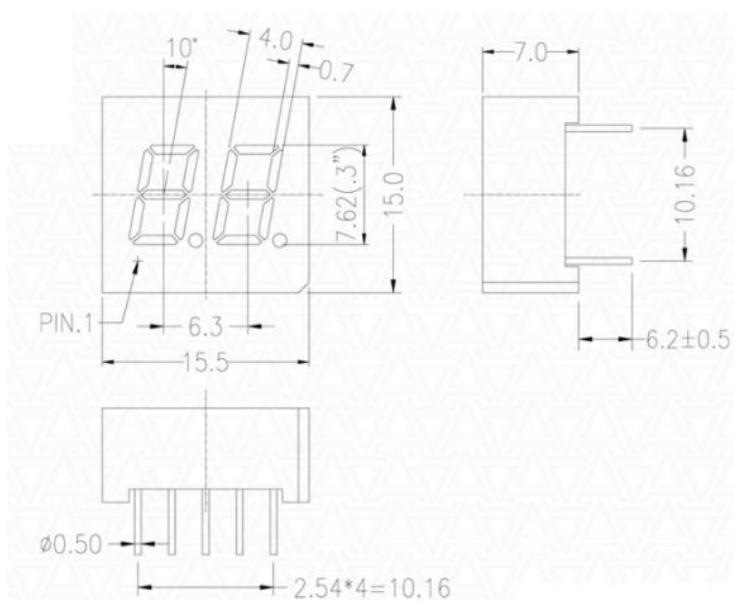


Рисунок 8 – Чертеж сегментного индикатора



Рисунок 9 – Сегментный индикатор

Тактовая кнопка KLS7-TS6601 имеет прямой тип, четыре ножки для лучшей фиксации. Рабочий ток до 0,05 А. внешний вид показан на рисунке 8 [6].



Рисунок 10 – Тактовая кнопка

Цифровой датчик температуры Dallas 18B20 (именуемый также DS18B20) является компактным, точным и недорогим цифровым датчиком температуры. Датчик использует интерфейс 1-Wire, разработанный производителем – компанией Dallas. Данный интерфейс широко распространен и довольно прост в освоении. Дополнительным его плюсом является возможность параллельного подключения нескольких датчиков на одну шину данных.

Микросхема 18B20 просто подключается к микроконтроллерным устройствам на базе Arduino, AVR, PIC, ARM и другие. Для работы с Arduino существует готовая библиотека, созданная производителем.



Рисунок 11 – Датчик температуры

Вентилятор используем обычный, размером 40 x 40 мм, толщина 10 мм. Рабочее напряжение 12 В. Четыре крепежных отверстия под болты М3 или саморезы. Без датчика оборотов.



Рисунок 12 – Вентилятор

Приобретен элемент Пельтье. TEC1-12706



Рисунок 13 – ТЭМ

Термодатчик выносной. Питание от батареек. Вся техническая информация в таблице 5.

Таблица 5 – Технические характеристики термодатчика

| Наименование | Значение |
|------------------------------------|---|
| Область применения | измерение температуры жидкостей и газов |
| Длина кабеля | 1 м |
| Температура, диапазон измерения | -50 +110 °С |
| Размер дисплея | 48x28 мм |
| Диаметр нержавеющей гильзы | 4 мм |
| Длина гильзы | 20 мм |
| Тип крепления выводов к индикатору | разъемное |
| Точность измерения | ±0,5°С |
| Масса | 0,025 кг |



Рисунок 14 – Термодатчик

Arduino Nano — это микроконтроллер, предназначенный для выполнения функций Arduino Uno в проектах, где габариты имеют значение. Эта миниатюрная плата отличается от старшего брата лишь отсутствием гнезда внешнего питания и применением Mini-B USB. Платформу удобно

использовать для разработки, ведь она имеет удобные штырьковые контакты, позволяющие устанавливать ее на макетную плату. Технические характеристики подробно описаны в таблице 6.

Таблица 6 – Технические характеристики микроконтроллера

| | |
|--------------------------------------|--------------------------|
| Микроконтроллер | АТmega328 |
| Напряжение питания | 5 – 12 В |
| Цифровые входы/выходы | 14 (RX, TX, D2 ~ D13) |
| Аналоговые входы | 8 (A0 ~ A7) |
| ШИМ порты | D3, D5, D6, D9, D10, D11 |
| Выходное напряжение | 5 В |
| Максимальный ток стандартного выхода | 40 мА |
| Тактовая частота | 16 Гц |
| Габариты | 18×45 мм |
| Масса | 5 г |

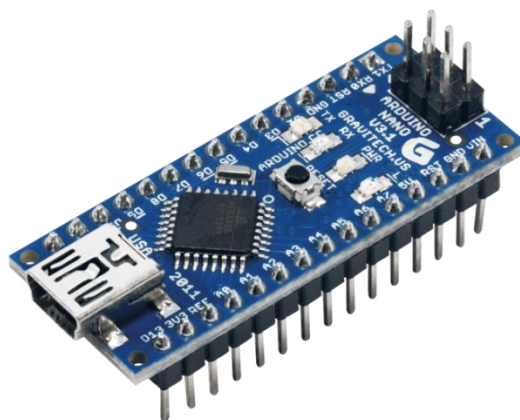


Рисунок 15 – Микроконтроллер

Для охлаждения ТЭМ используется алюминиевый блок водяного охлаждения. На котором имеется в ход и выход для протока жидкости.



Рисунок 16 – Радиатор водяной

Помпа СВО (водяной насос) SC600 для систем жидкостного охлаждения компьютера. Высокая производительность при минимальном уровне шума.

Характеристики помпы SC600:

- напряжение питания - 12 Вольт,
- ток потребления - 0,8 Ампер,
- производительность - 500 литров в час,
- скорость вращения - 5600 об/мин,
- пусковое напряжение - 6 Вольт,
- габаритные размеры - 71x56x46 мм,
- резьба G1/4,
- керамический вал,
- керамическая втулка.



Рисунок 17 – Помпа

Для опытов с программной частью понадобится:

Красный и зеленый светодиоды, были взяты из купленного набора ардуино. Вся информация приведена в таблице 7, внешний вид предоставлен на рисунке 18.

Таблица 7 – Технические характеристики светодиода

| Характеристики светодиода | Значение |
|---------------------------|----------|
| Размер линзы | 5 мм |
| Обратное напряжение | 5 В |
| Максимальный прямой ток | 20 мА |



Рисунок 18 – Светодиоды красный и зеленый

Микроконтроллер ATmega16 был выбран поскольку количество ножек

удовлетворяло нашим запросам, вся нужная информация приведена в таблице 8, габаритные размеры предоставлены на рисунке 19 [12].

Таблица 8 – Технические характеристики микроконтроллера ATmega16

| | |
|---------------------------|--------------------|
| Серия | <u>avr atmega</u> |
| Ядро | <u>avr</u> |
| Ширина шины данных | <u>8-бит</u> |
| Тактовая частота | 16 мгц |
| Количество входов/выходов | 32 |
| Память данных | 512 Б |
| Память ОЗУ | 1024 Б |
| Тип памяти программ | <u>flash</u> |
| Рабочая температура | <u>-40...+85c</u> |
| Напряжение питания | <u>4.5...5.5 В</u> |

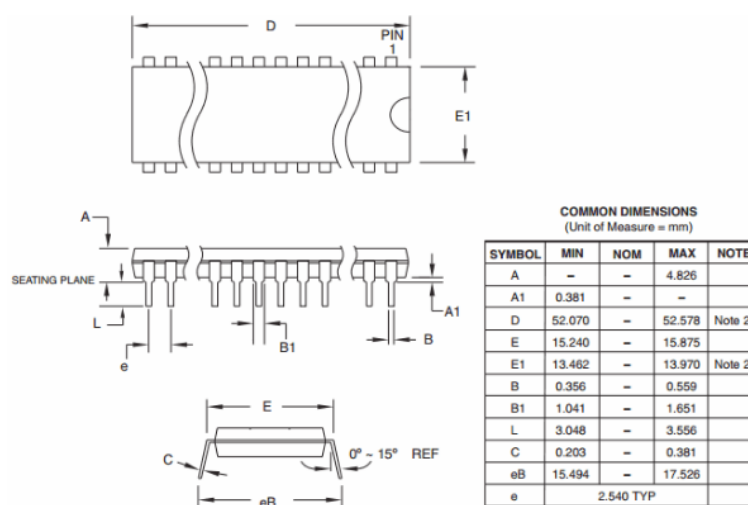


Рисунок 19 – Габариты ATМega16

Тактовая кнопка KLS7-TS6601 имеет прямой тип, четыре ножки для более лучшей фиксации. Рабочий ток до 0,05 А. внешний вид показан на рисунке 20 [6].



Рисунок 20 – Тактовая кнопка

Переключатель движковый SS12F72 (B3037). Количество контактов 3. На рисунке 21 показан внешний вид переключателя. Тип исполнения прямой. Рабочее напряжение 50В, рабочий ток 0,3А [10].



Рисунок 21 – Переключатель движковый

Транзисторы будем использовать BC547 рисунок 22, внешний вид которых показан на рисунке 13. Напряжение коллектор-эмитер не более 45В, напряжение эмитер-база не более 6V, напряжение коллектор-база не более 50В. Ток коллектора не более 0,1А [11].



Рисунок 22 – Транзистор BC547

2 РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА

3.1 Исследование термоэлектрических характеристик элемента Пельтье

В данном проекте было спроектировано, собрано и испытано два способа охлаждения элемента Пельтье. Исходя из экспериментов был спроектирован охладитель. Так же проводился опыт и с программной частью.

3.1.1 Исследование с воздушным охлаждением

Проведен опыт с использованием воздушного охлаждения при помощи кулера. Для этого опыта собирался мини стенд. К радиатору с одной стороны крепился вентилятор для отвода тепла, а с другой ТЭМ. Радиатор поставлен на небольшие проставки, сделанные из дерева (в них просверливались отверстия для лучшей вентиляции), и вся конструкция крепилась на монтажную ленту к полотну. Так же на элемент Пельтье с двух сторон прикреплены термодатчики для снятия показаний температуры, которая отображается на жидкокристаллических дисплеях, они также закрепляются на полотне. Все контакты выведены на клемную коробку, к которой подключен блок питания, наглядный вид установки изображен на рисунке 23.

После сборки стенда проводились опыты под разным напряжением, для проверки работоспособности элемента. Таблица с результатами в приложении А.

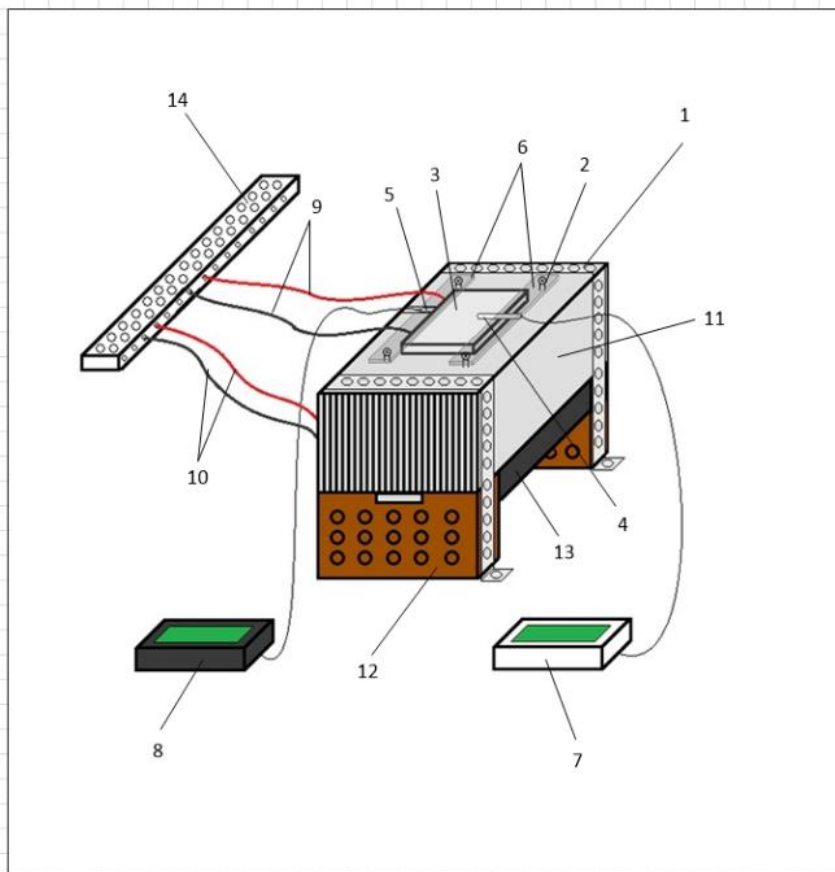


Рисунок 23 – Общий вид установки

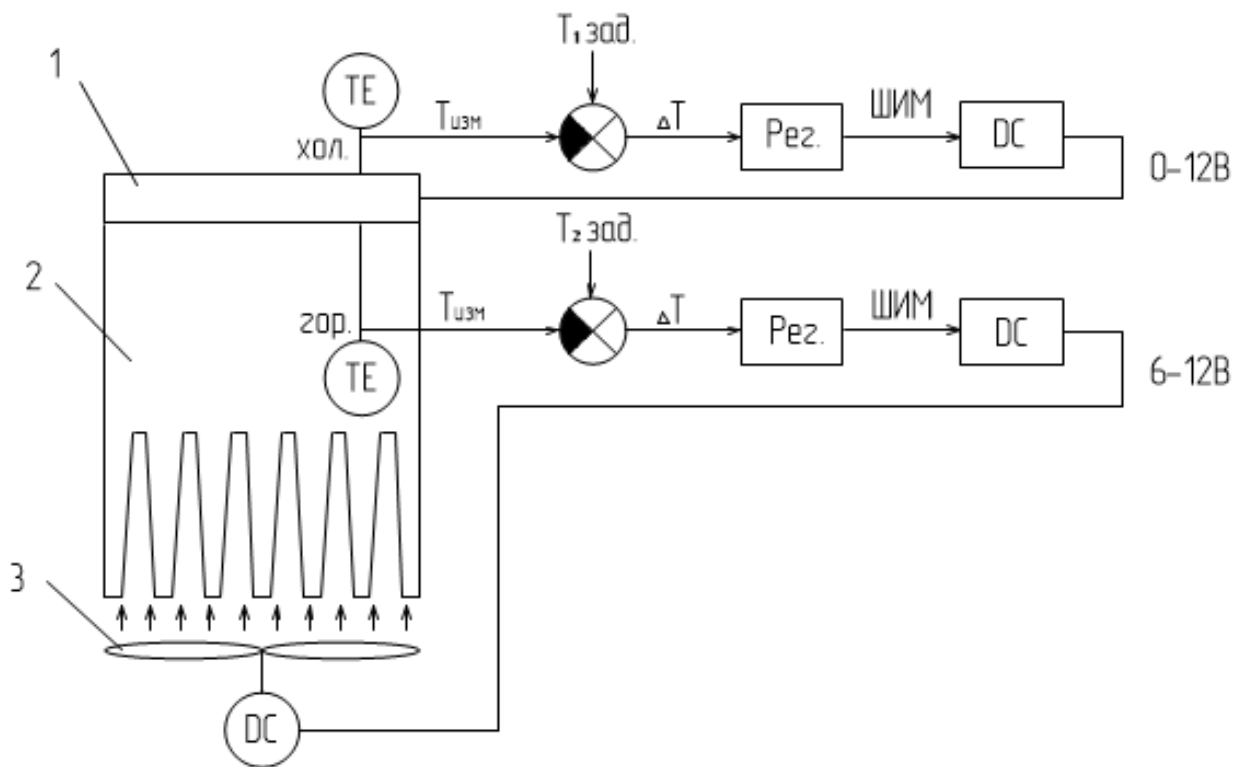


Рисунок 24 – Схема установки

Суть схемы показанной на рисунке 24 заключается в следующем: сигнал по температуре, сформированный измерительным преобразователем, сравнивается с установкой. Разность сигналов (ошибка регулирования) подается на регулятор. Генератор генерирует ШИМ сигнал, который поступает в двигатель.

Обозначение:

1-элемент Пельтье

2-радиатор

3-кулер

TE-Измеритель температуры

T1 зад-сумматор(сравнивающий элемент)

Рег-регулятор

ШИМ-широтная импульсная модуляция

DC-преобразователь

3.1.2 Исследование с водяным охлаждением

Второй опыт при помощи охлаждения жидкостью изображен на рисунке 25. В место полотна взята ванночка. В одном углу устанавливалась колба, при помощи которой регулировалась температура воды, путем подливания в нее кипятка. В другом углу радиатор с ТЭМ и термодатчиками. Контакты выведены на клемную коробку. Суть опыта заключалась в том, что ванночка устанавливалась под небольшим углом для протока воды. Вода подавалась в ванночку протекая через радиатор охлаждала его. Все показания вынесены в таблицу приложение Б.

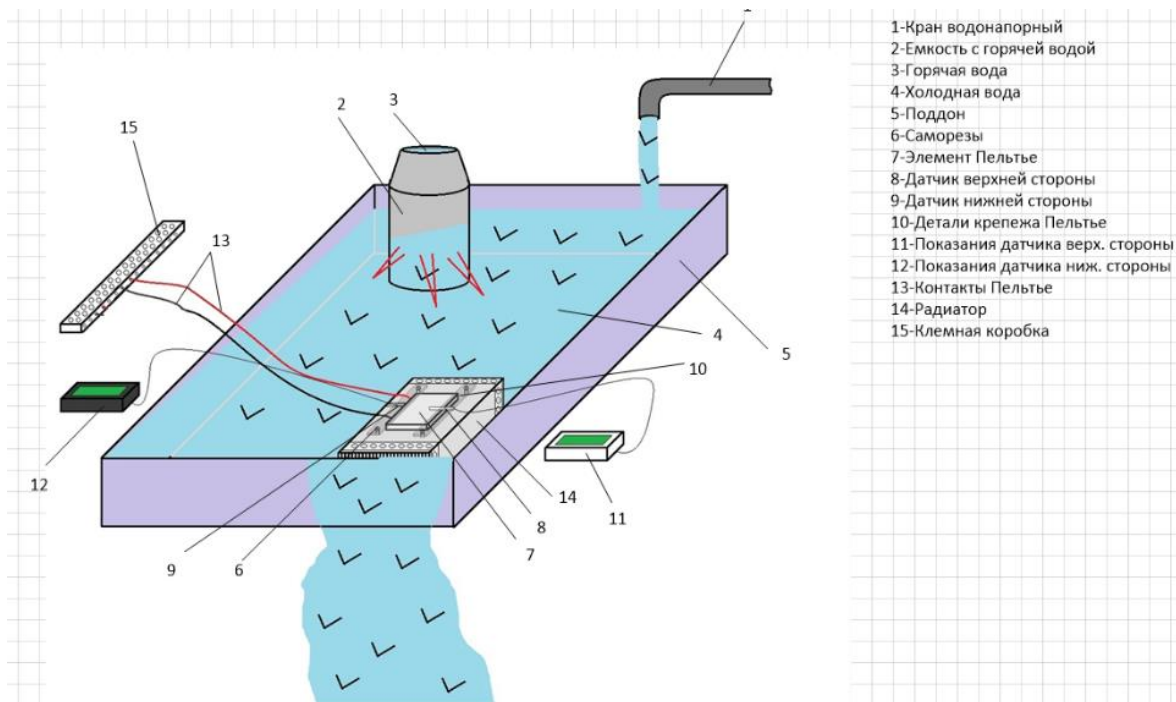


Рисунок 25 – Общий вид

Элемент Пельтье, используется в ситуациях, когда необходимо охлаждение с небольшой разницей температур.

Для использования термоэлемента Пельтье необходимо подключить его полярность питания в соответствии с поставленной задачей (нагрев или охлаждение). Если поменять полярность питания, поменяется направление «перекачки» тепла (холода), т.е. можно простым переключателем превратить его из холодильника в нагреватель. Чем эффективнее будет отвод тепла с горячей стороны, тем эффективнее будет охлаждение.

3.1.2 Разработка микроконтроллерного управления элемента Пельтье

На структурной схеме рисунок 26 представлены элементы устройства такие как: микроконтроллер, органы управления, устройство отображения: семисигментные дисплеи, светодиоды.

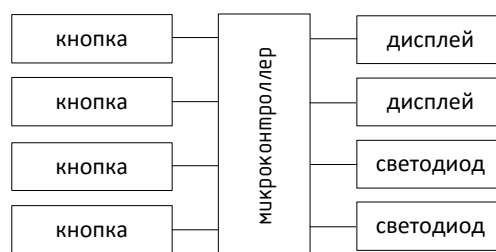


Рисунок 26 – Структурная схема устройства

Органы управления представлены в виде кнопок увеличение или уменьшение напряжения, кнопка старс и сброс. Также имеются два светодиода красный и зеленый. Для отображения информации используются семисигментные дисплеи.

Далее приведем конкретизированную схему устройства, рисунок 27.

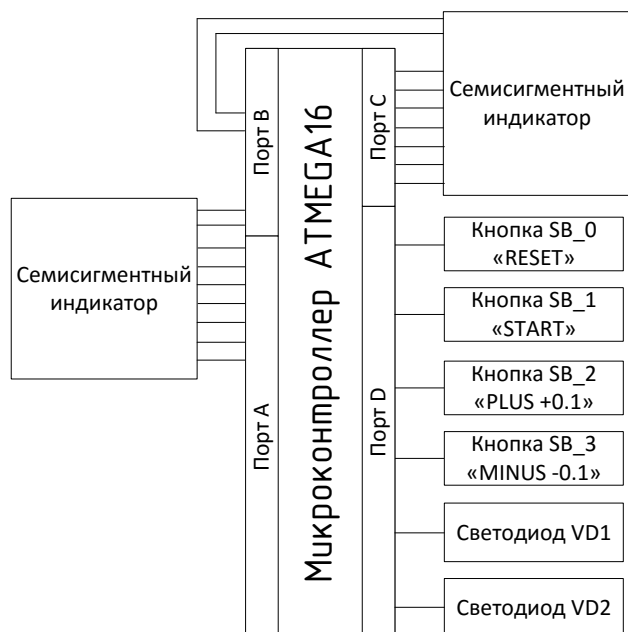


Рисунок 27 – Конкретизированная структурная схема устройства

В начале программы происходит инициализация регистров, констант, портов и массива маски цифр для дисплея. Затем настройка таймера и внешнего прерывания по фронту кнопок плюс и минус. После этого динамическая индикация дисплеев (опрос кнопок и выводов цифр на дисплей).

Если задание больше контролируемой величины, то необходимо «открыть» исполнительный механизм (контур охлаждения/нагрева), и закрыть в обратном случае. А в случае если разность лежит в заданном диапазоне нечувствительности, то никаких действий происходить не будет.

Регулирование исполнительным механизмом ШИМ – пропорционально разности, изменяется время включения/выключения, имитация будет происходить за счет светодиодов. Пример работы приведен в приложении Д.

Далее рассмотрим подключение каждого элемента системы. Для

питания микропроцессора используем источник постоянного тока с напряжением 5 В. Плюс подключается к ножкам VCC и AVCC микроконтроллера, минус к GND.

У микроконтроллера ATmega16 есть ограничение на суммарный ток на всех линиях ввода/вывода, не более 200 мА. Потребление самого микроконтроллера 7 мА [13].

Для светодиодов рабочий ток 20 мА, загораются они при 5 мА. Учитывая ограничение микроконтроллера, возьмем рабочий ток светодиода 5 мА. Для дисплеев рабочий ток 20 мА.

Подсчитаем общий ток при подключении двух светодиодов и двух дисплеев:

$$I_{sum} = 2 \cdot 20 + 2 \cdot 20 + 7 = 87 \text{ мА}; \quad (1)$$

Можно сделать вывод, что общий ток в пределах допустимого.

Чтобы ограничить ток на светодиоде рассчитаем сопротивление резистора R_{VD} по закону Ома:

$$R = \frac{U}{I}; \quad (2)$$

$$R_{VD} = \frac{U_{nap} - U_{VD}}{I_{VD}} = \frac{5 - 3,3}{0,005} = 340 \text{ Ом}; \quad (3)$$

где U_{nap} – напряжение источника питания;

U_{VD} – прямое напряжение светодиода;

I_{VD} – потребляемый ток светодиода.

Ближайшее значение сопротивления по ряду E24 это 330 Ом. Схема показана на рисунке 28.

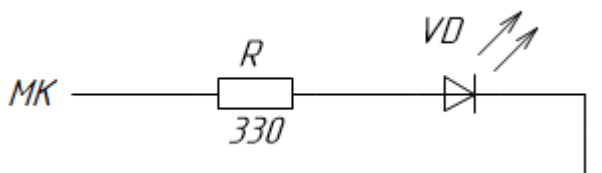


Рисунок 28 – Схема подключения светодиода

Ограничим ток сегментов дисплея: максимальный ток потребления $I_{СЕГ}$ 20 мА. Рабочее напряжение питания сегментов, согласно datasheet, составляет 2,3 В.

$$R_{СЕГ} = \frac{U_{ВЫХ} - U_{ПИТ_СЕГ}}{I_{СЕГ}} = \frac{5 - 2,3}{0,01} = 270 \text{ Ом}; \quad (4)$$

где $U_{ВЫХ}$ – напряжение на выходах МК;

$U_{ПИТ_СЕГ}$ – напряжение питания сегментов;

$I_{СЕГ}$ – максимальный ток сегментов дисплея.

Согласно ряду E24 возьмём 240 Ом.

Кнопки будут подавать на входы микроконтроллера напряжение 5 В. Эти кнопки работают по прерыванию. При таком соединении используем стягивающие резисторы номиналом 10 кОм. Подключение показано на рисунке 29.



Рисунок 29 – Схема подключения кнопки

Для вывода на дисплей многоразрядных чисел, будем использовать динамическую индикацию. Принцип динамической индикации заключается в последовательном выводе цифр на разные разряды индикатора, используя быстрое переключение между разрядами с помощью транзисторов рисунок 30 [14].

Для ограничения тока требуется рассчитать сопротивление $R_{БАЗЫ}$:

$$R_{БАЗЫ} = \frac{U_{ВЫХ} - U_{БЭ}}{I_B} = \frac{5 - 0,7}{0,03} = 143,3 \text{ Ом}; \quad (5)$$

где $U_{ВЫХ}$ – напряжение на выходах МК;

$U_{БЭ}$ – напряжение база-эмиттер транзисторов;

I_B – ток базы транзисторов.

Согласно ряду E24, ближайшее значение сопротивления 150 Ом, но так как возможны колебания токов, во избежание выхода транзисторов из строя, возьмем с запасом транзисторы номиналом 240 Ом.

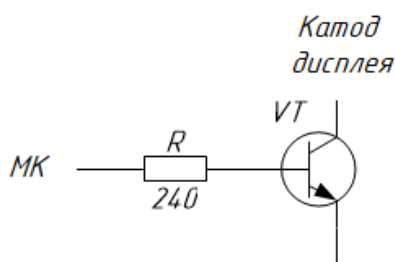


Рисунок 30 – Схема подключения транзистора

Цепи показанные на рисунках 31 и 32 обеспечивают нормальную работу микроконтроллера. Кварцевый резонатор Q1 обеспечивает работу встроенного тактового генератора. Конденсаторы C2 и C3 – это цепи согласования кварцевого резонатора.

Элементы C1 и R1 – это стандартная цепь начального сброса. Такая цепь обеспечивает сброс микроконтроллера в момент включения питания. Эти цепи можно исключить, но в нашем случае нужна большая точность и стабильность частоты задающего генератора [14].

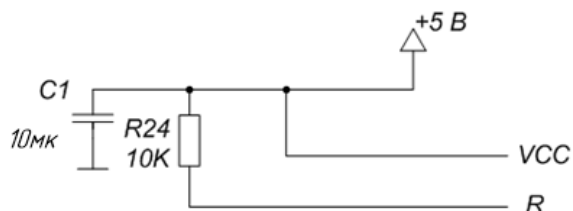


Рисунок 31 – цепь начального сброса

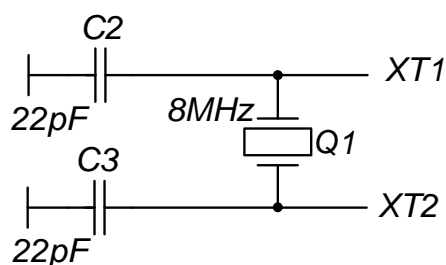


Рисунок 32 – внешний кварц

Электрическая схема приведена в приложении Г.

Схема устройства была разработана для эмуляции работы схемы и микроконтроллера в программе Proteus. Для работы динамической индикации в Proteus к коллекторам транзисторов были параллельно подключены резисторы номиналом 1 кОм, которые выведены на 5 В. Без них динамическая индикация не работает [14].

Компиляция и отладка кода проводилась в программе Atmel Studio 7.0, после компиляции создается файл с расширением .HEX, который мы загружаем в контроллер в программе Proteus 8. С помощью этого файла схема собранного устройства становится работоспособной. В меню DEVICE выбираем нужный микроконтроллер, для которого будет писаться программа, в меню TOOLS выбирается способ отладки SIMULATOR. Есть два типа отладки пошаговый и автоматический. Монтажная схема была разработана в среде программы «Proteus 8» с помощью встроенного аппарата PCB Layout. Для большего удобства в ручную проводится настройка связей. Располагаем элементы, визуальную индикацию устанавливаем слева в верхнем углу, под индикацией располагаем кнопки управления, а справа всю электрическую часть. Ниже приведена 3D модель монтажной платы на рисунке 33.

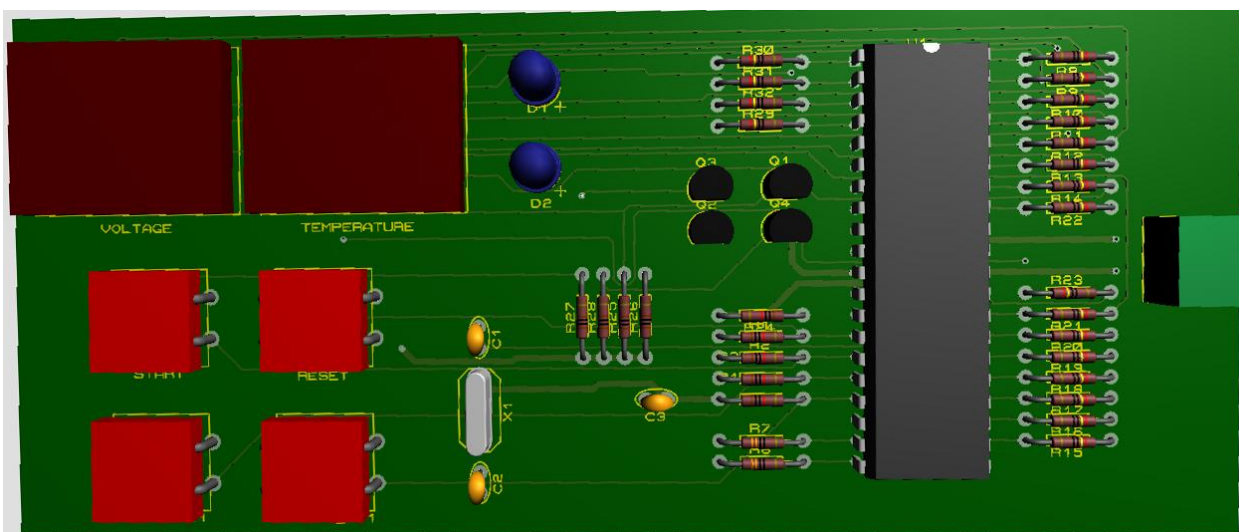


Рисунок 33 – Монтажная схема

3.1.3 Разработка охладителя

Исходя из опытов, были сделаны выводы и разработана схема охладителя.

Все детали приобретались с AliExpress это (Пельтье, помпа аквариумная, радиатор, датчик температуры). Помпа и кулер запитаны от одного блока питания, а Пельтье от другого. При испытании заливали в колбу воду для первичного эксперимента, в дальнейшем будет использоваться тосол. Сразу же был выявлен первый недочет, в районе помпы где имеется запасное отверстие (эти отверстия на помпе и колбе нужны для более удобного расположения шлангов, а не используемые отверстия закрываются заглушкой) была не плотно закручена заглушка, из за чего вода начала просачиваться. Проблема была сразу же устранена. После заливки, колба была возвращена на место. Сначала был запущен блок питания с помпой и вентилятором, для первичной прогонки воды в систему. Вторым был запущен Пельтье. Эксперимент шел нормально, до определенного момента, пока датчик, на котором показывалась температура холодной стороны, не начал показывать не уменьшение температуры, а её повышение, вследствие чего была выявлена неполадка. Кулер вышел из строя, впоследствии чего был заменен.

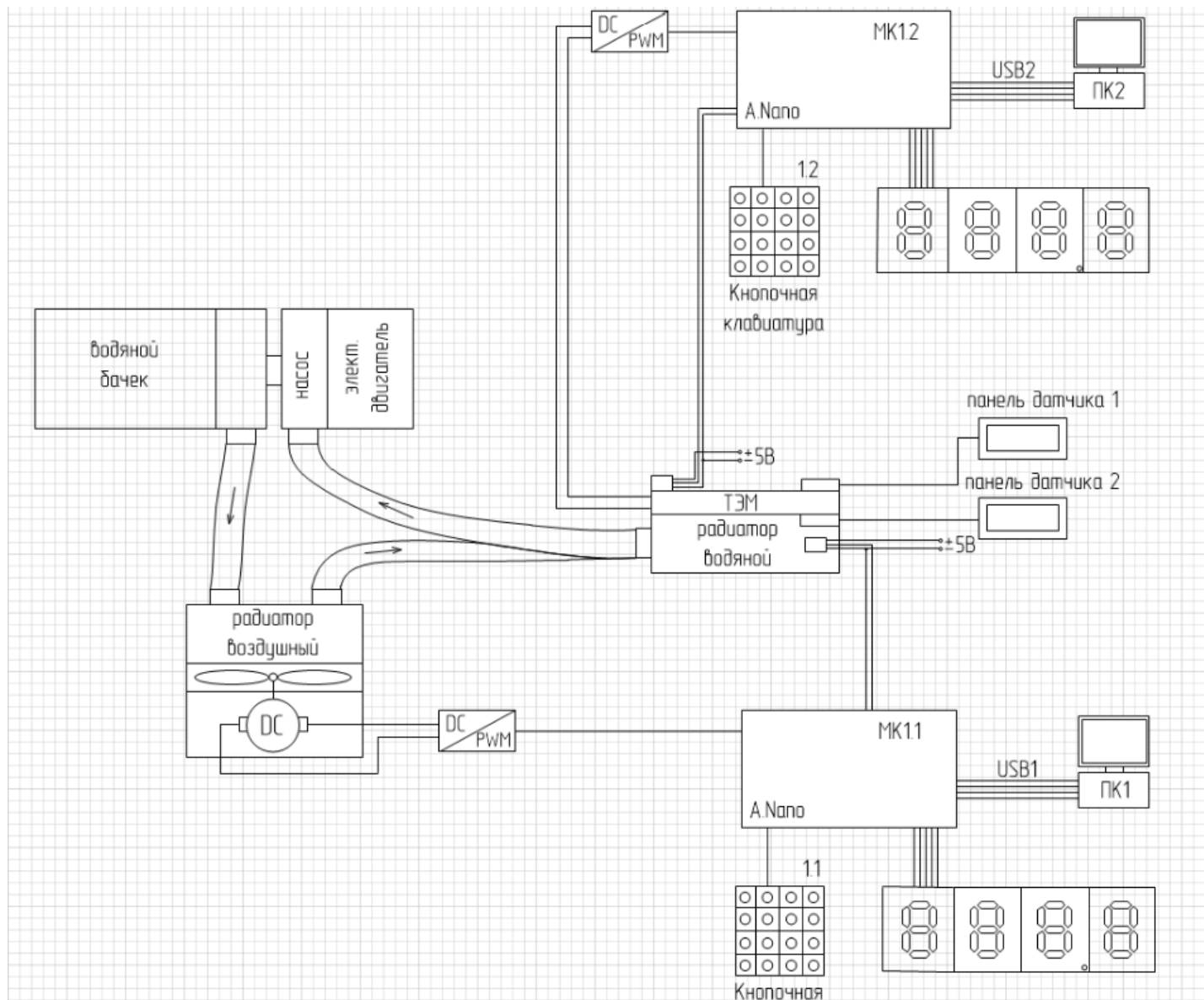


Рисунок 34 – Схема охладителя

Схема охладителя была собрана в виде стенда, показанная на рисунках 35 и 36.

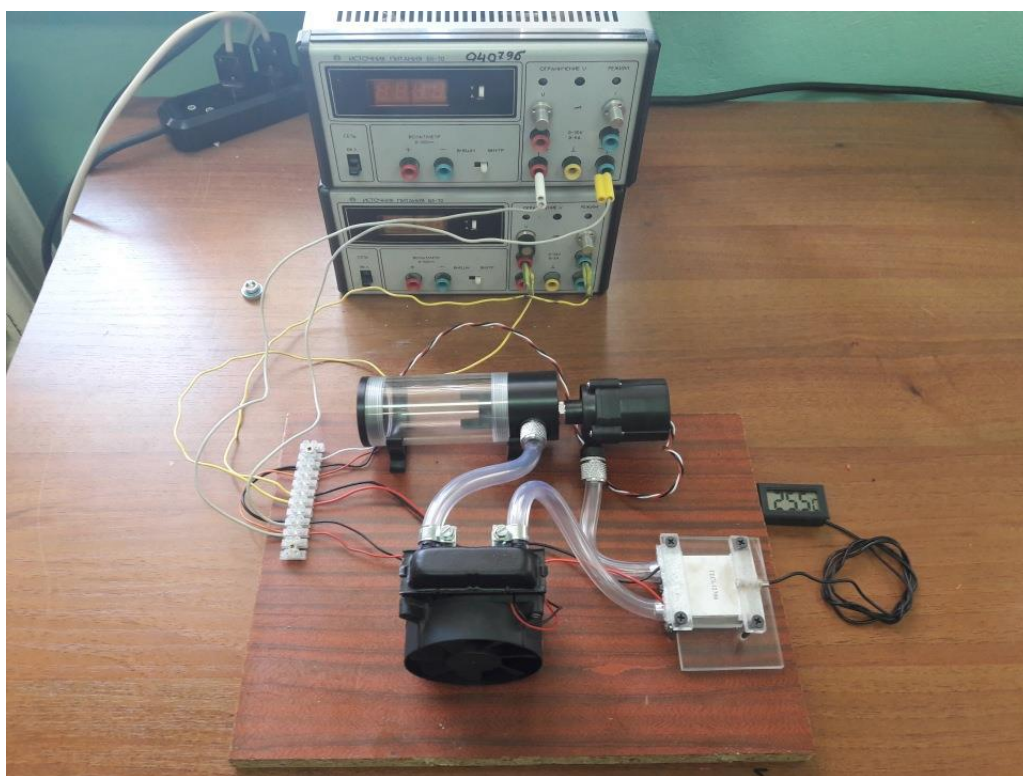


Рисунок 35 – Установка общий вид

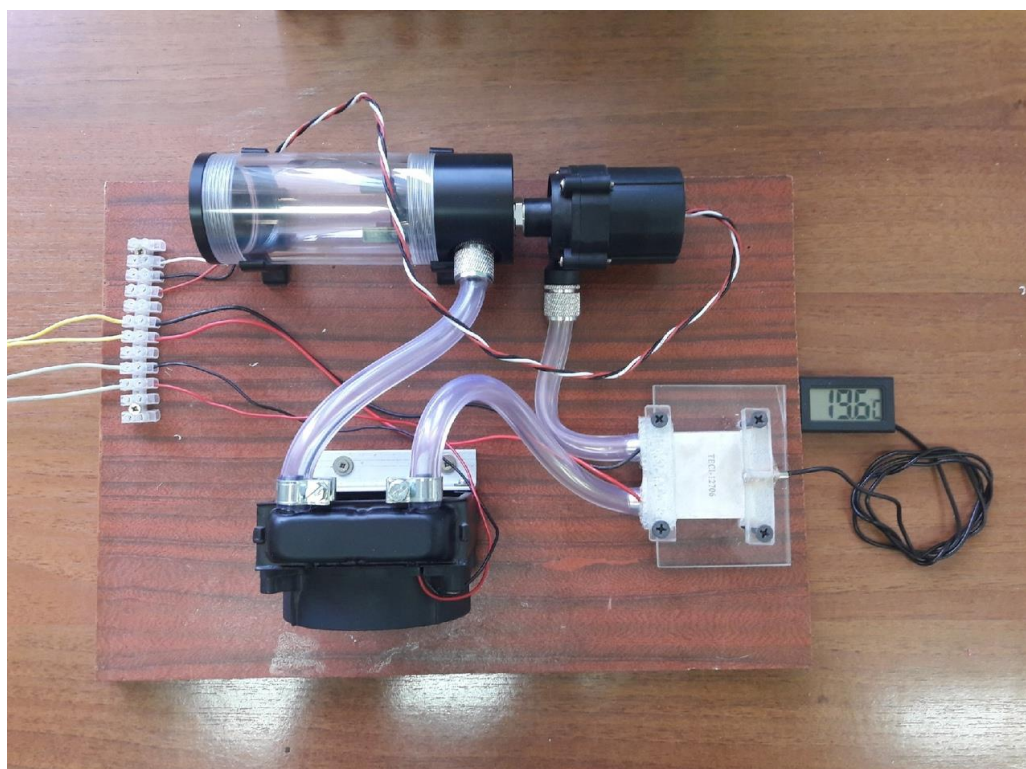


Рисунок 36 – Установка вид сверху

3.2 Изготовление платы для балансировки напряжения

Для регулировки напряжения модулем, была разработана плата в программе «Proteus» показанная на рисунке 37 и 38.

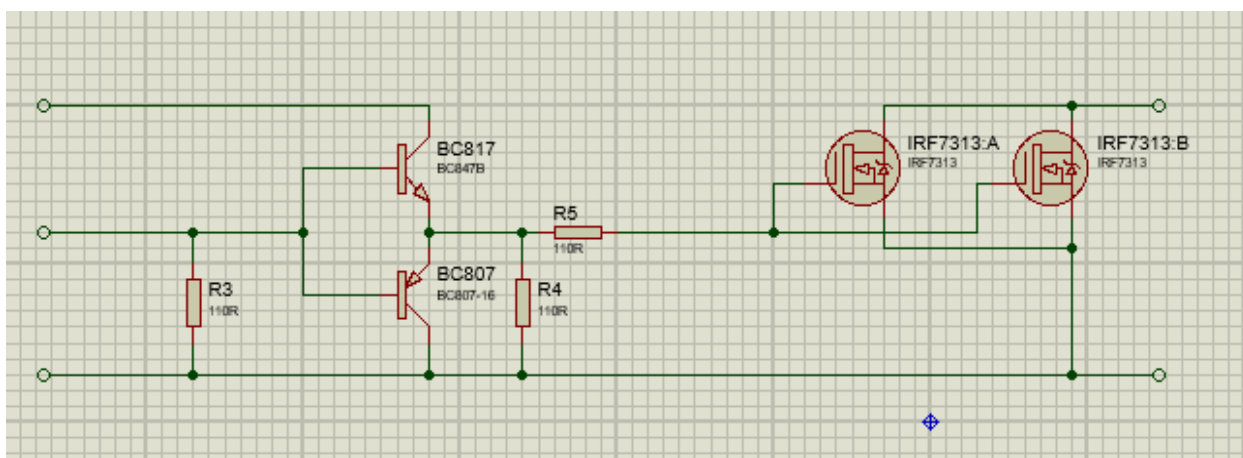


Рисунок 37 – Схема регулирования напряжением в программе «Proteus»

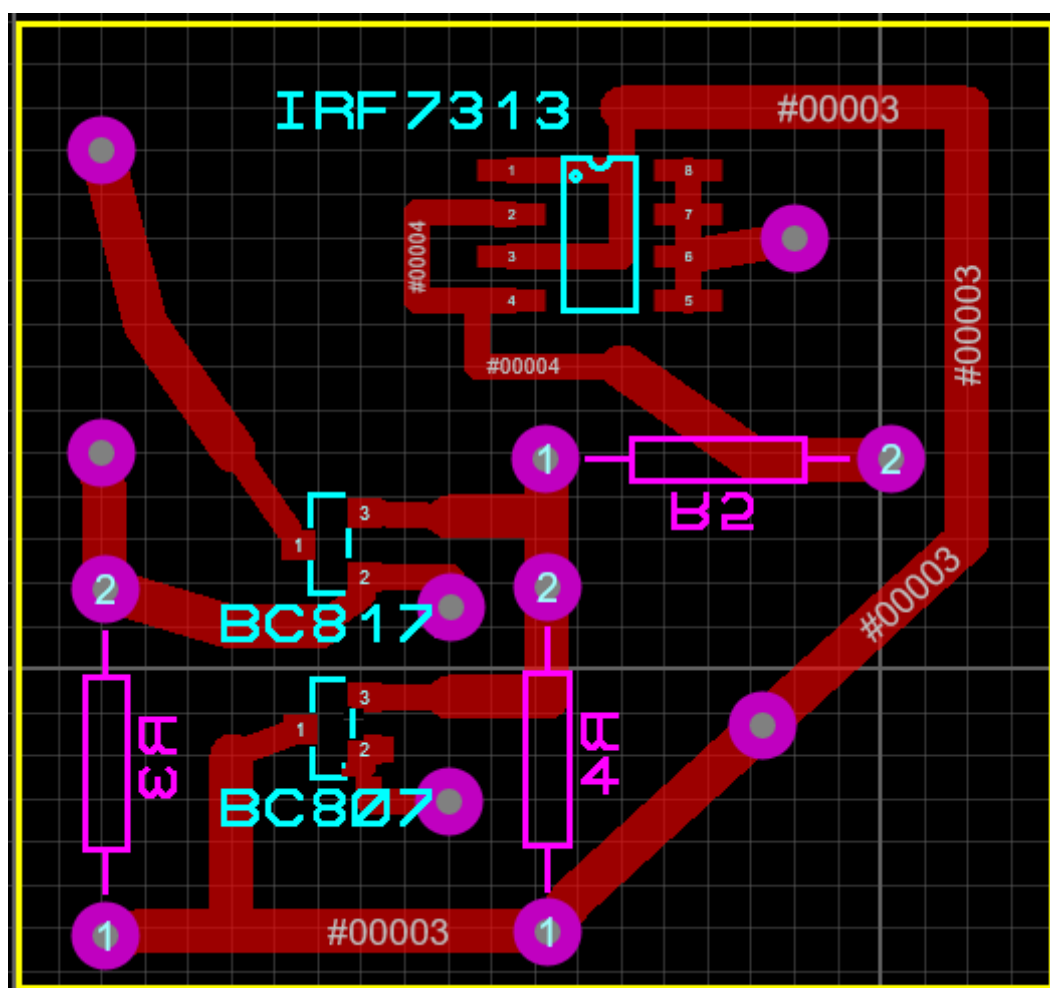


Рисунок 38 – Вид печатной платы в подпрограмме Layout

Разработанную плату надо будет напечатать на станке (ЧПУ), необходимо воспользоваться программой CopperCAM.

Чтобы импортировать «эскиз» платы в CopperCAM необходимо в программе Proteus сгенерировать файлы Gerber. Для этого во вкладке «Output» нужно нажать на кнопку «Generate Gerber/Excellon files». Далее появится окно, в котором будет предложено провести предварительную проверку проекта на наличие ошибок, здесь стоит нажать на кнопку «Yes», после данной проверки, если нет ошибок, нажимаем кнопку «OK», появится окно настроек для создания файлов Gerber

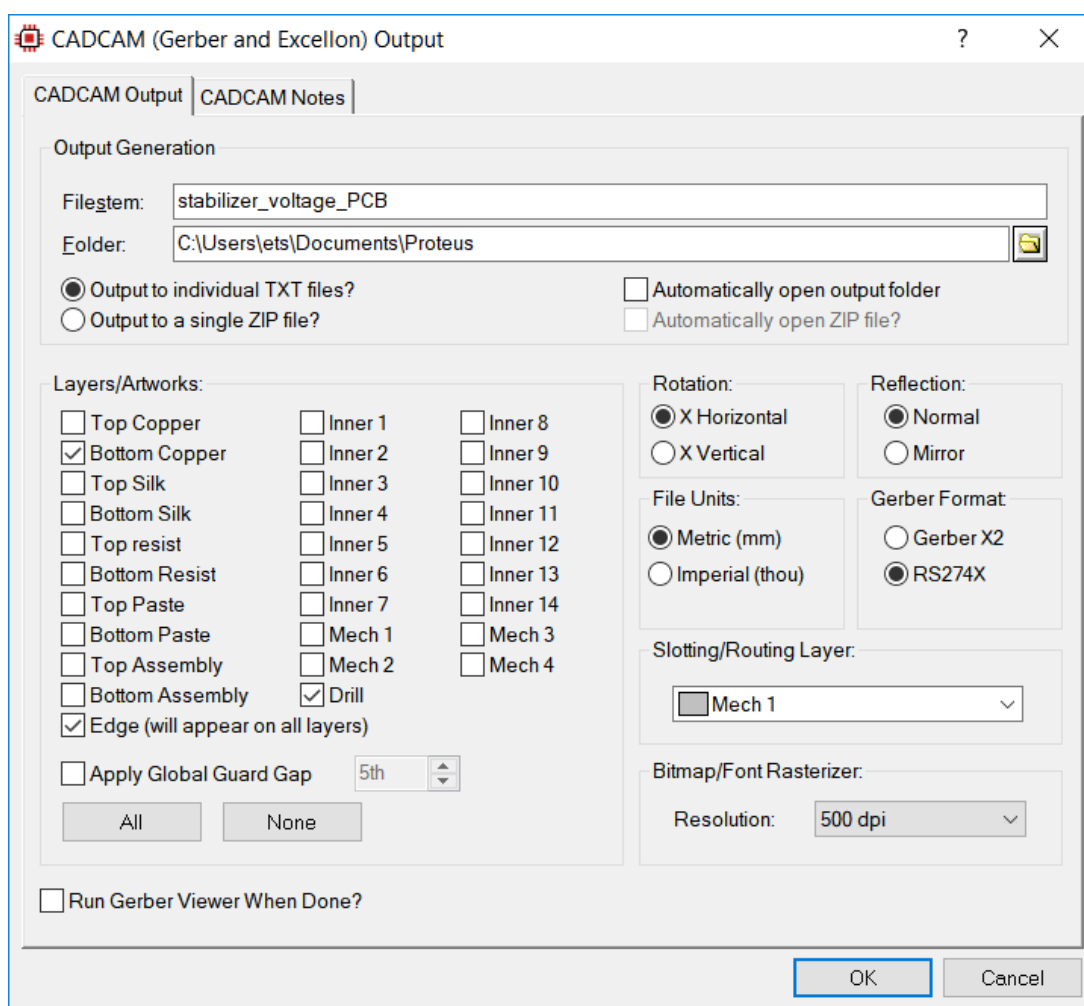


Рисунок 39 – Окно настроек для создания файлов Gerber

После нажатия на кнопку «OK», сгенерируется файл. Далее нужно запустить программу CopperCAM, и при первом запуске она предложит открыть файл с «эскизом» платы. После этого, окно программы будет

выглядеть так, как показано на рисунке 40.

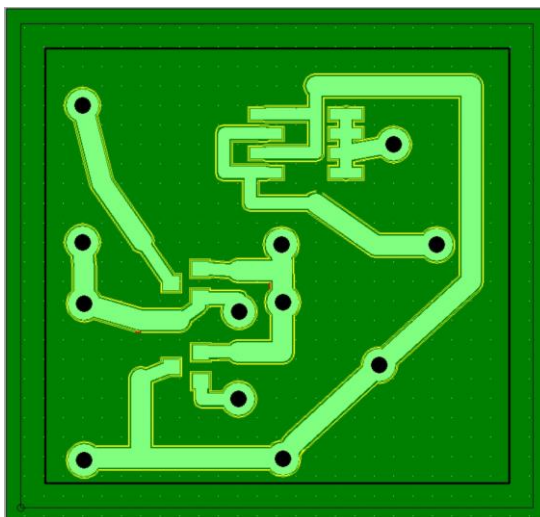


Рисунок 40 – Главное окно программы

Далее, перед созданием файла с G-CODE, необходимо произвести некоторые настройки. Во вкладке «Parameters» выбираем пункт «Tool library». Здесь следует выбрать инструменты, которыми будет обрабатываться плата:

1) Number – порядковый номер инструмента. Выбирая его, мы сохраняем измененные настройки под данным номером.

2) Name – название инструмента. В данном случае имеются три инструмента: hatches (для снятия большого объема меди), engraving tool (для гравирования или вырезания), drilling tool (для сверления отверстий).

3) Diameter – диаметр хвостовика инструмента.

4) Profile – профиль режущей части инструмента (конический, цилиндрический).

5) Angel – угол режущей части инструмента для конического профиля.

6) Minimum diameter at bottom of cone – диаметр «полочки» для конического инструмента.

7) Rotation – количество оборотов шпинделя в минуту.

8) Plunge speed – подача.

9) Maximum depth per pass – глубина, на которую опустится инструмент за один заход.

Далее на рисунках 41, 42, 43 представлены настройки для трех необходимых инструментов, которыми будет обработана печатная плата для стабилизатора напряжения.

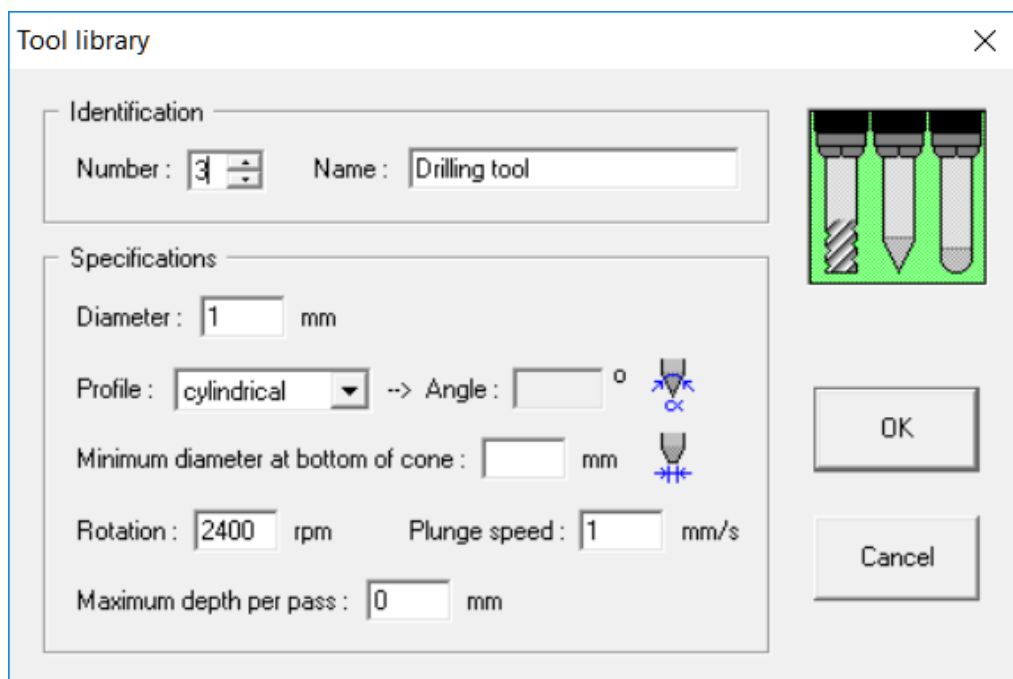


Рисунок 41 – Настройка инструмента Drilling tool

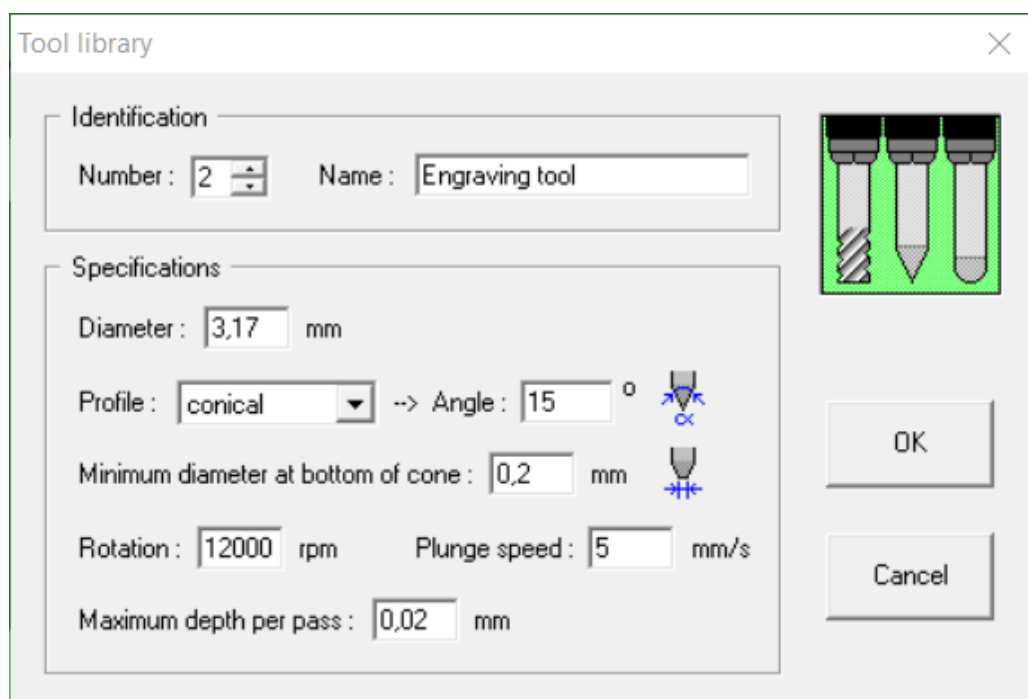


Рисунок 42 – Настройка инструмента Engraving tool

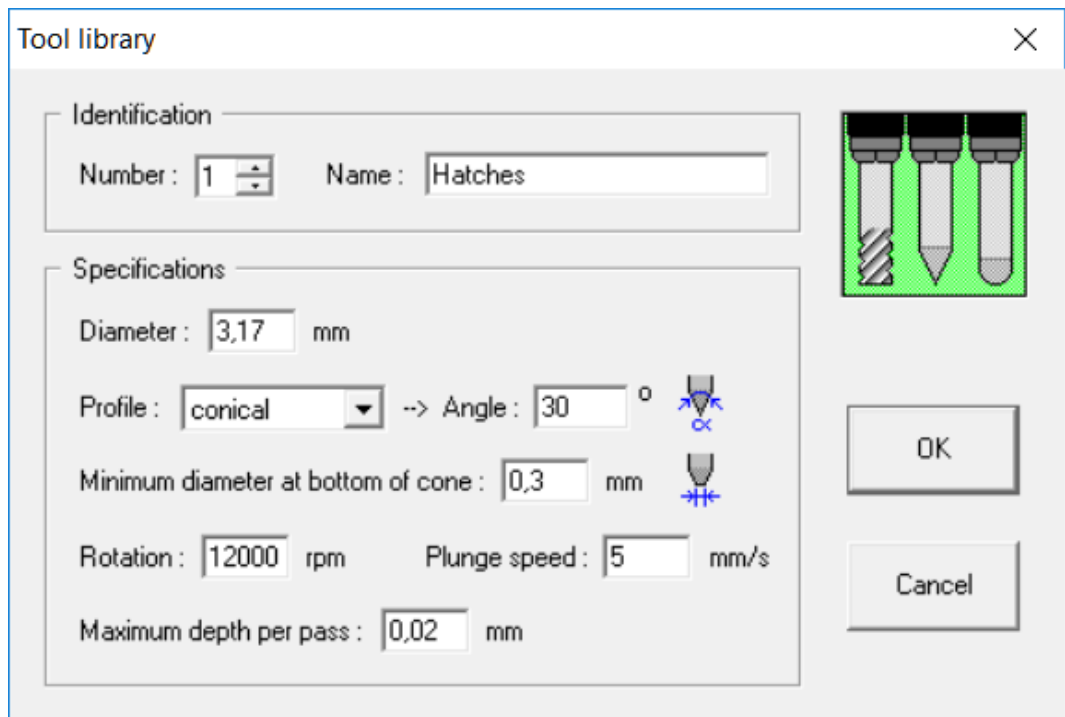


Рисунок 43 – Настройка инструмента Hatches

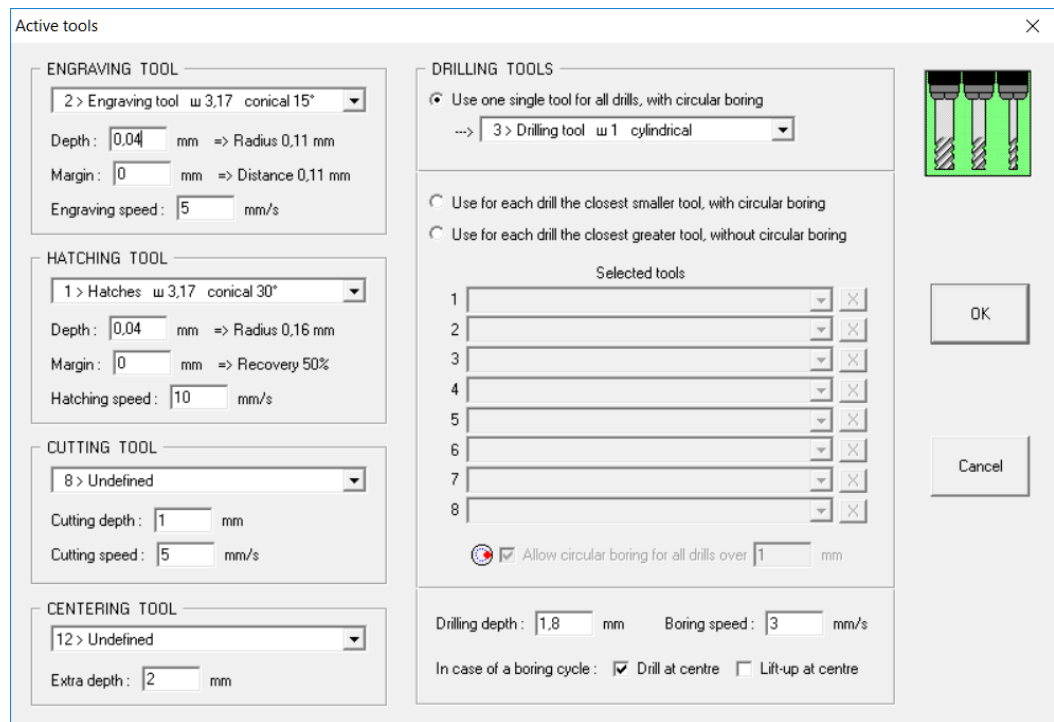


Рисунок 44 – Выбор инструментов и настройка параметров обработки

После обработки на станке ЧПУ получилась следующая заготовка показанная на рисунке 45.

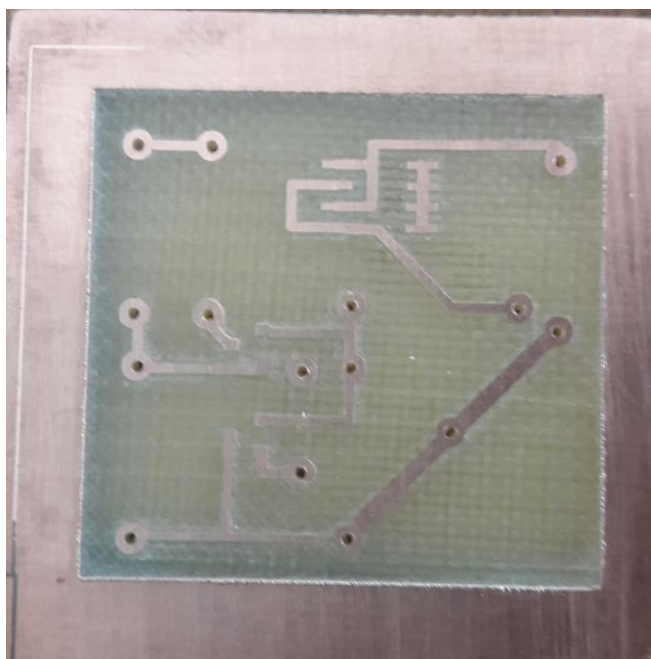


Рисунок 45 – Печатная плата обработанная на станке

Получившуюся печатную плату нужно залудить путем нанесения олова на дорожки, это обеспечит создание более качественной электрической цепи между впаянными в будущем элементами, а также упростит их монтаж в плату рисунок 46.

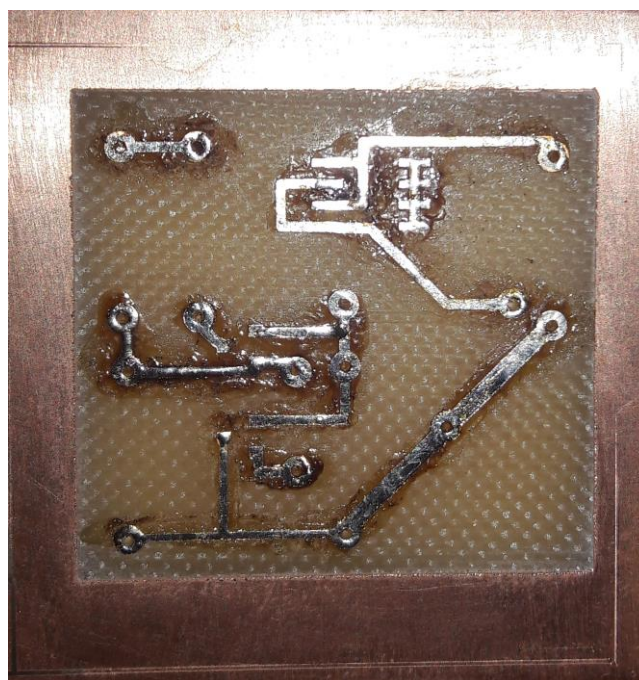


Рисунок 46 – Луженая плата

После подготовки платы, получается мини схема для исследования

стабилизатора напряжения рисунок 47 и 48.

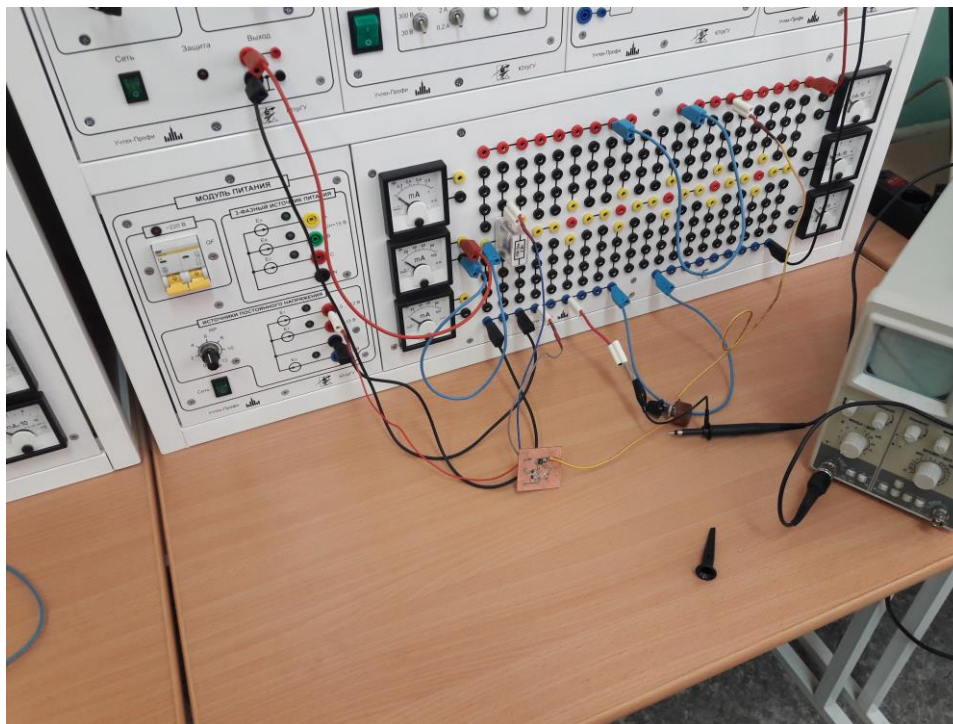


Рисунок 47 – Проверка платы на работоспособность

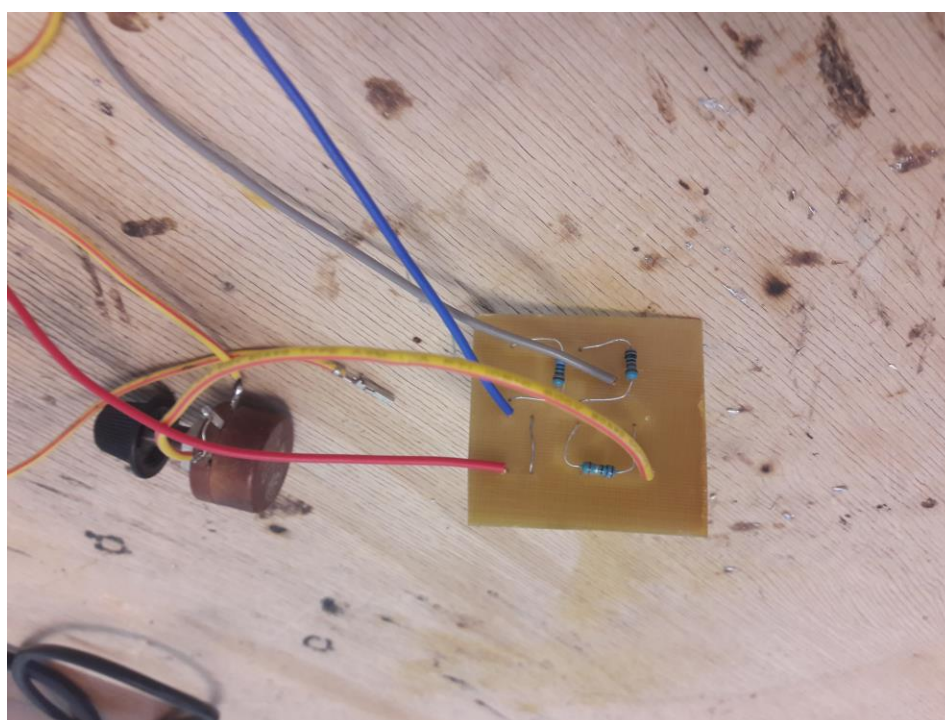


Рисунок 48 – Обратная сторона платы

С помощью платы было проведено несколько экспериментов по стабилизации напряжения на выходе с подключенной нагрузкой и без.

4 РАЗРАБОТКА АРДУИНО-КОНТРОЛЛЕРА ЭЛЕМЕНТА ПЕЛЬТЬЕ

4.1 Разработка общей структуры устройства

На этом этапе надо в общем виде разобрать: из каких элементов состоит система, на каком контроллере ее выполнить, достаточно ли выводов и функциональных возможностей контроллера.

Ниже на рисунке 49 представлена плата и подключение к ней всего что необходимо. Для этих целей нам подходит плата Arduino UNO R3.

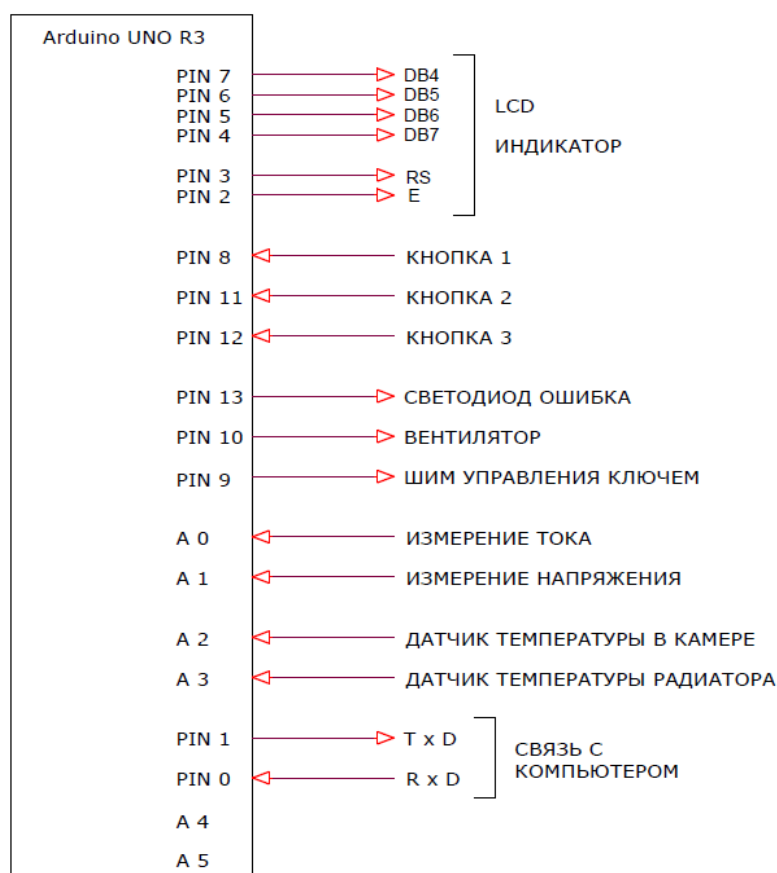


Рисунок 49 – Подключение контроллера

К плате необходимо подключить:

- LCD индикатор (для отображения результатов и режимов);
- 3 кнопки (для управления);
- светодиод индикации ошибки;

- ключ управления вентилятором (для включения вентилятора радиатора горячей стороны);
- ключ импульсного стабилизатора (для регулировки мощности элемента Пельтье);
- аналоговый вход измерения тока нагрузки;
- аналоговый вход измерения напряжения нагрузки;
- датчик температуры (точный 1-wire датчик DS18B20);
- сигналы связи с компьютером.

Всего получилось 17 сигналов. У платы Arduino UNO R3 или Arduino NANO 20 выводов. Нам требуется 2 или 3 аналоговых входа, у платы – 6. Назначаем номера выводов. Подключение происходит через разъемы, всегда можно изменить [15].

4.2 Импульсные стабилизаторы

Для точной стабилизации температуры и работы элемента Пельтье в оптимальном режиме необходимо регулировать мощность на нем. Регуляторы бывают аналоговые (линейные) и импульсные (ключевые).

Аналоговые регуляторы представляют собой последовательно подключенные к источнику питания регулирующий элемент и нагрузку. За счет изменения сопротивления регулирующего элемента происходит регулировка напряжения или тока на нагрузке. В качестве регулирующего элемента, как правило, используется биполярный транзистор, показанный на рисунке 50.



Рисунок 50 – Биполярный транзистор

Регулирующий элемент работает в линейном режиме. На нем выделяется «лишняя» мощность. При больших токах стабилизаторы такого типа сильно греются, имеют небольшой КПД. Будем делать импульсный (ключевой) стабилизатор.

Импульсные стабилизаторы бывают разные. Нам нужен понижающий импульсный регулятор. Напряжение на нагрузке в таких устройствах всегда ниже напряжения питания. Схема понижающего импульсного регулятора выглядит так, как на рисунке 51.

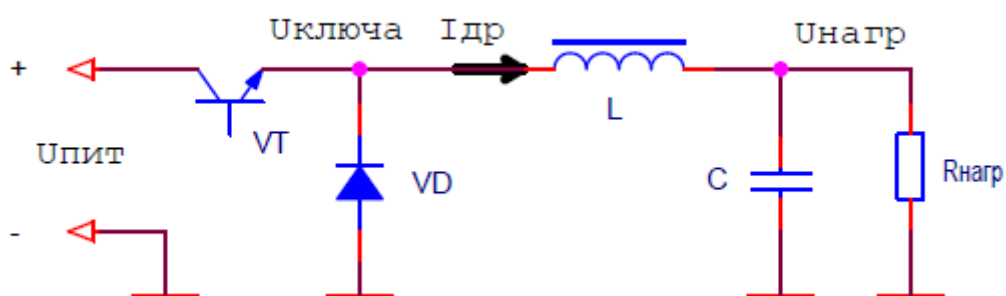


Рисунок 51 – Импульсный регулятор

А ниже представлена диаграмма работы регулятора на рисунке 52.

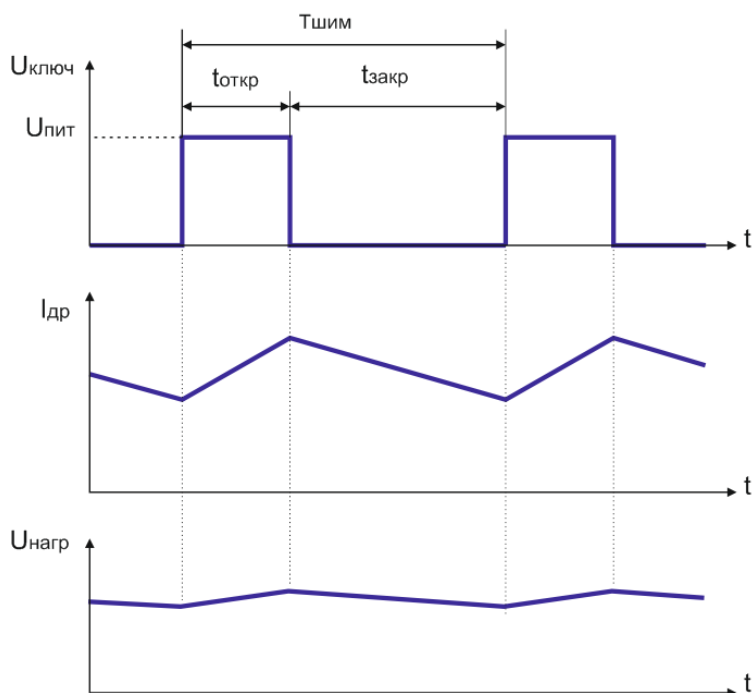


Рисунок 52 – Диаграмма работы регулятора

Транзистор VT работает в ключевом режиме, у него может быть только два состояния, открыт или закрыт. Устройство управления, в нашем случае микроконтроллер, коммутирует транзистор с определенной частотой и скважностью.

- Когда транзистор открыт, ток течет по цепи: источник питания, транзисторный ключ VT, дроссель L, нагрузка.

- При разомкнутом ключе энергия, накопленная в дросселе, поступает в нагрузку. Ток течет по цепи: дроссель, диод VD, нагрузка.

Таким образом, постоянное напряжение на выходе регулятора зависит от соотношения времени открытого (totкр) и закрытого ключа (tзакр), то есть от скважности импульсов управления. Меняя скважность, микроконтроллер может менять напряжение на нагрузке. Конденсатор C сглаживает пульсации выходного напряжения.

Главное достоинство такого способа регулирования – высокий КПД. Транзистор всегда находится в открытом или закрытом состоянии. Поэтому на нем рассеивается небольшая мощность – всегда или напряжение на транзисторе близко к нулю, или ток равен нулю.

Это классическая схема импульсного понижающего регулятора. В ней ключевой транзистор оторван от общего провода. Транзистором тяжело управлять, требуются специальные цепи смещения к шине напряжения питания.

В схеме нагрузка оторвана от общего провода, к общему проводу привязан ключ. Такое решение позволяет управлять транзисторным ключом от сигнала микроконтроллера, используя простой драйвер-усилитель тока. Ниже на рисунке 53 показана схема подключения.

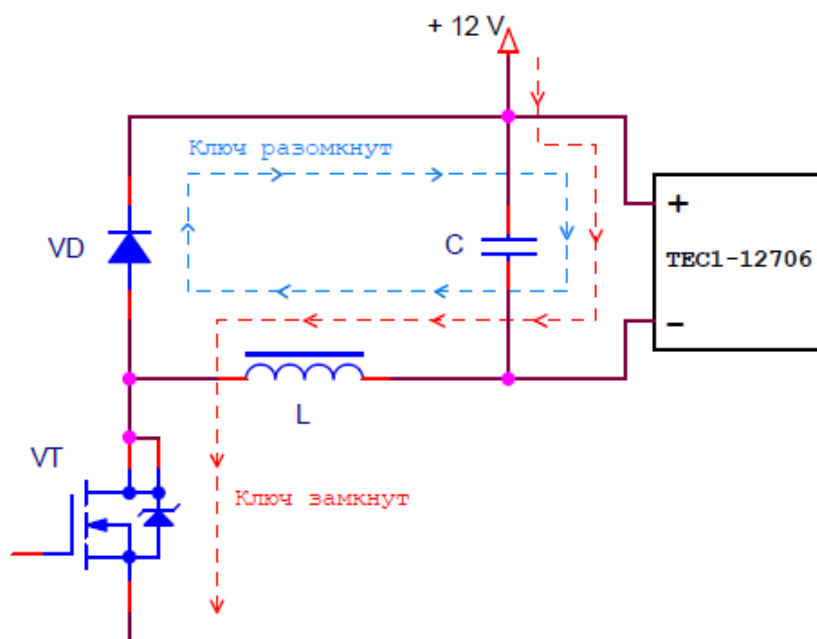


Рисунок 53 – Схема подключения

- При замкнутом ключе ток поступает в нагрузку по цепи: источник питания, дроссель L, ключ VT (путь тока показан красным цветом).
- При разомкнутом ключе энергия, накопленная в дросселе возвращается в нагрузку через рекуперативный диод VD (путь тока показан синим цветом) [15].

4.3 Практическая реализация ключевого регулятора

Нам необходимо реализовать узел импульсного регулятора со следующими функциями:

- собственно ключевой регулятор (ключ, дроссель, рекуперативный диод, сглаживающий конденсатор);
- цепь измерения напряжения на нагрузке;
- цепь измерения тока регулятора;
- аппаратная защита от превышения тока.

Схема импульсного регулятора для работы с платой Ардуино представлена на рисунке 54.

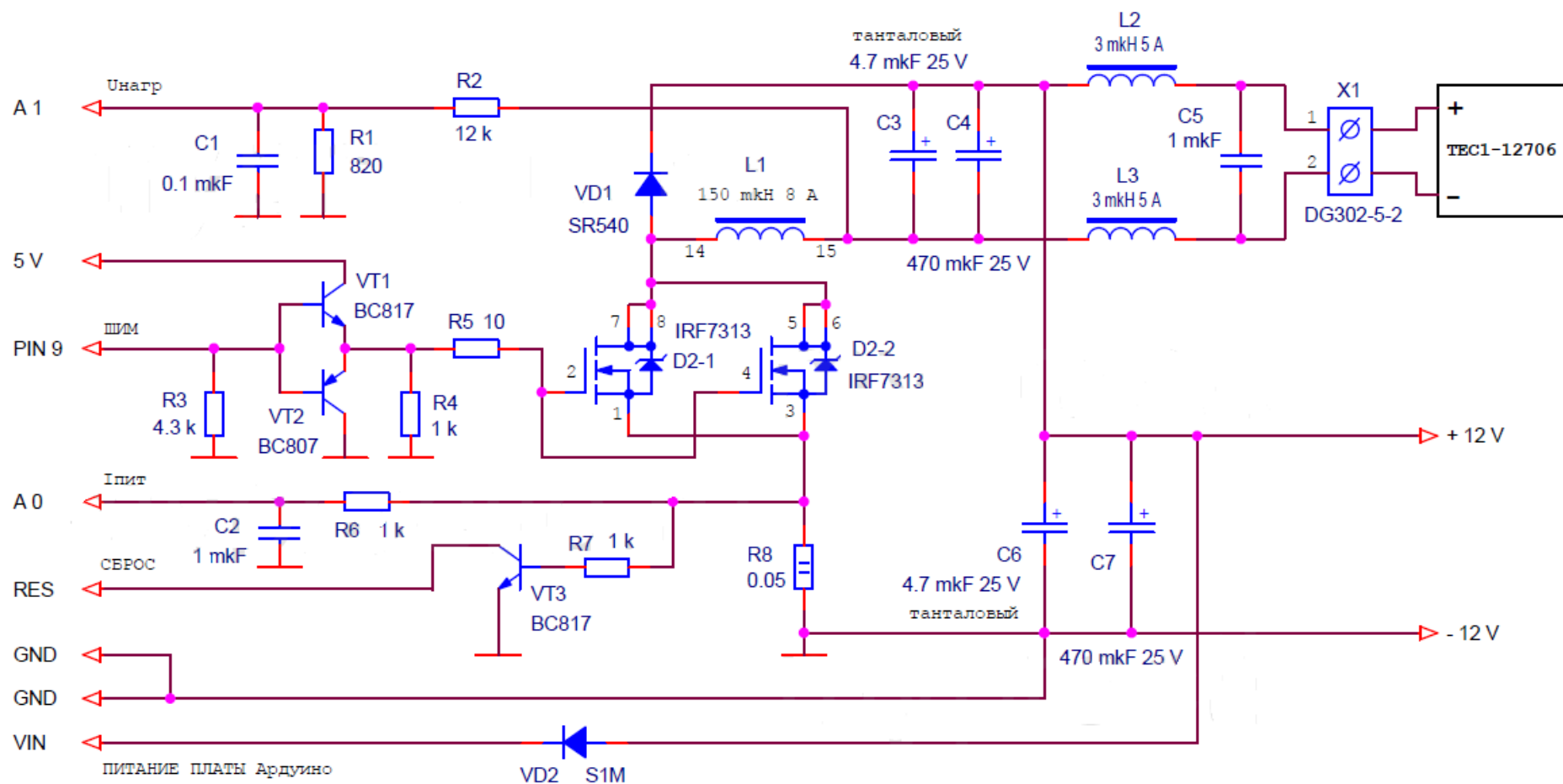


Рисунок 54 – Схема импульсного регулятора

В качестве силового ключа используем MOSFET транзисторы IRF7313. На транзисторах VT1 и VT2 собран драйвер ключевого MOSFET транзистора. Это просто усилитель по току, по напряжению он ослабляет сигнал примерно до 4,3 В. Поэтому ключевой транзистор обязательно должен быть низкороговым. Есть разные варианты реализации драйверов MOSFET транзисторов. В том числе и с использованием интегральных драйверов. Этот вариант самый простой и дешевый.

Для измерения напряжения на нагрузке используется делитель R1, R2. При таких значениях сопротивлений резисторов и источнике опорного напряжения 1,1 В, диапазон измерения составляет 0 ... 17,2 В. Цепь позволяет измерить напряжение на втором выводе нагрузки относительно общего провода. Напряжение на нагрузке вычислим, зная напряжение источника питания:

$$U_{НАГ} = U_{НАГ} - U_{ИЗМ}. \quad (6)$$

где $U_{НАГ}$ – напряжение на нагрузке;

$U_{ПИТ}$ – источник питания;

$U_{ИЗМ}$ – измеренное.

Понятно, что точность измерения будет зависеть от стабильности поддержания напряжения источника питания. Но нам не нужна высокая точность измерения напряжения, тока, мощности нагрузки. Нам нужно точно измерять и поддерживать только температуру. Ее мы и будем измерять с высокой точностью. А если система покажет, что на элементе Пельтье установлена мощность 10 Вт, а на самом деле будет 10,5 Вт, это ни как не отразится на работе устройства. Это касается всех остальных энергетических параметров.

Ток измеряется с помощью резистора-датчика тока R8. Компоненты R6 и C2 образуют простой фильтр низких частот.

На элементах R7 и VT3 собрана простейшая аппаратная защита. Если ток в цепи превысит 12 А, то на резисторе R8 напряжение достигнет порога открывания транзистора 0,6 В. Транзистор откроется и замкнет вывод RES (сброс) микроконтроллера на землю. Все должно отключиться. К сожалению, порог срабатывания такой защиты определяется напряжением база-эмиттер биполярного транзистора (0,6 В). Из-за этого защита срабатывает только при значительных токах. Можно применить аналоговый компаратор, но это усложнит схему.

Ток будет измеряться точнее при увеличении сопротивления датчика тока R8. Но это приведет к выделению на нем значительной мощности. Даже при сопротивлении 0,05 Ом и токе 5 А на резисторе R8 рассеивается

$$5 \cdot 5 \cdot 0,05 = 1,25 \text{ Вт.} \quad (7)$$

Резистор R8 имеет мощность 2 Вт. Далее измеряем ток потребления импульсного стабилизатора от источника питания. Схема измерения этого параметра гораздо проще, чем схема измерения тока нагрузки. Нагрузка у нас “отвязана” от общего провода. Для работы системы необходимо измерять электрическую мощность на элементе Пельтье. Мы вычислим мощность потребляемую регулятором, умножив напряжение источника питания на потребляемый ток. Посчитаем, что наш регулятор имеет КПД 100% и решим, что это и есть мощность на элементе Пельтье. На самом деле КПД регулятора будет 90-95%, но эта погрешность никак не скажется на работе системы.

Компоненты L2, L3, C5 – простой фильтр радиопомех. Возможно, в нем нет необходимости [15].

4.4 Расчет дросселя ключевого стабилизатора

Дроссель имеет два параметра, важных для нас это индуктивность и ток насыщения. Необходимая индуктивность дросселя определяется частотой ШИМ и допустимыми пульсациями тока дросселя.

При подаче на дроссель напряжение и ток через него, начал увеличиваться ток. Увеличиваться, а не появился, потому, что какой-то ток уже протекал через дроссель в момент включения $I_{вкл}$.

Транзистор открылся. К дросселю подключили напряжение:

$$U_{дросселя} = U_{питания} - U_{нагрузки}. \quad (8)$$

Ток через дроссель начал нарастать:

$$I_{дросселя} = U_{дросселя} \cdot \text{totкр} / L. \quad (9)$$

где totкр – длительность импульса открытого ключа;

L – индуктивность.

То есть значение пульсации тока дросселя или насколько увеличился ток, за время открытого ключа определяется выражением:

$$I_{выкл} - I_{вкл} = U_{дросселя} \cdot \text{totкр} / L. \quad (10)$$

Напряжение на нагрузке может меняться. А оно определяет напряжение на дросселе. Но в нашем случае принимаем такие значения:

- напряжение питания 12 В;
- минимальное напряжение на элементе Пельтье 5 В;
- значит максимальное напряжение на дросселе $12 - 5 = 7$ В.

Длительность импульса открытого ключа totкр определяется частотой периода ШИМ. Чем она выше, тем меньшей индуктивности необходим дроссель. Максимальная частота ШИМ платы Ардуино 62,5 кГц. Ее и будем использовать. Возьмем худший вариант – ШИМ переключается ровно в середине периода.

- Длительность периода $1 / 62500$ Гц = 0,000016 сек = 16 мкс;
- Длительность открытого ключа = 8 мкс.

Пульсации тока в таких схемах обычно задают до 20% от среднего тока. Не надо путать с пульсациями выходного напряжения. Их сглаживают конденсаторы на выходе схемы [15].

Если мы допускаем ток 5 А, то возьмем пульсации тока 10 % или 0,5 А.

Теперь можно посчитать индуктивность дросселя:

$$L = U_{дросселя} \cdot \text{totкр} / I_{пульсаций} = 7 \cdot 8 / 0,5 = 112 \text{ мкГн}. \quad (11)$$

4.5 Ток насыщения дросселя

Все на свете имеет предел. И дроссель тоже. При каком-то токе он перестает быть индуктивностью. Это и есть ток насыщения дросселя.

В нашем случае максимальный ток дросселя определяется как средний ток плюс пульсации, то есть 5,5 А. Но лучше ток насыщения выбирать с запасом. Если мы хотим, чтобы работала аппаратная защита в этом варианте схемы, то он должен быть не менее 12 А.

Ток насыщения определяется воздушным зазором в магнитопроводе дросселя. Ниже на рисунке показан внешний вид дросселя.

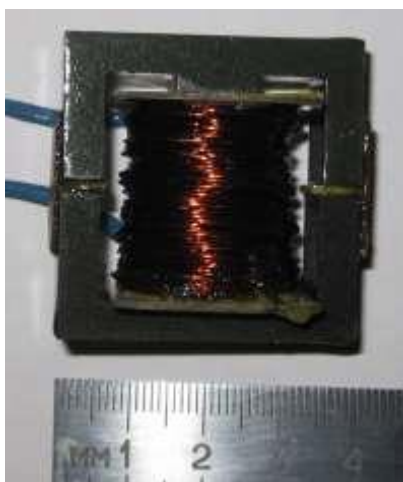


Рисунок 55 – Дроссель

Провод обмотки дросселя должен быть достаточного сечения. Расчет простой – определение тепловых потерь за счет активного сопротивления обмотки [15].

Активное сопротивление обмотки:

$$R_a = \rho \cdot l / S; \quad (12)$$

где R_a – активное сопротивление обмотки;

ρ – удельное сопротивление материала, для меди 0,0175 Ом мм² / м;

l – длина обмотки;

S – сечение провода обмотки.

4.6 Общие рекомендации монтажа

Ключевой регулятор потребляет от источника питания приличный ток и нельзя допускать, чтобы этот ток проходил через плату Ардуино. На схеме показано, что провода от блока питания подключены непосредственно к блокировочным конденсаторам С6 и С7.

Основные импульсные токи схемы проходят по контуру С6, нагрузка, L1, D2, R8. Эта цепь должна замыкаться связями с минимальной длиной.

Общий провод и шина питания платы Ардуино подключаются к блокировочному конденсатору С6.

Провода сигналов между платой Ардуино и модулем ключевого стабилизатора должны быть минимальной длины. Конденсаторы С1 и С2 лучше расположить на разъемах подключения к плате.

Была собрана схема на плате контроллера элемента Пельтье. Выглядит собранная схема следующим образом.



Рисунок 56 – Схема на плате контроллера элемента Пельтье

Зададим ШИМ 50% и проверил работу схемы.

- При питании от компьютера плата формировала заданный ШИМ.
- При автономном питании от внешнего блока питания все замечательно работало. На дросселе формировались импульсы с хорошими фронтами, на выходе было постоянное напряжение.

- Когда было включено одновременно питание и от компьютера, и от внешнего блока, питания сгорела плата Ардуино.

Подключая внешний блок питания надо быть аккуратным, прозвонить все связи. На схеме не было диода VD2. Он был добавлен после этой неприятности. Так же плату можно питать от внешнего источника через вывод Vin. Очевидно стабилизатор U1 сгорел от обратного напряжения, после включения блока питания. Стабилизатор U1 задымился [15].

5 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

5.1 Техника безопасности при эксплуатации установки

При эксплуатации установки необходимо перед ее включением проверить:

- Фиксацию всех элементов установки, чтобы они жестко прилегали к поверхности;
- Обратит внимание на трубки, нет ли сколов или трещин, как они зафиксированы на местах соединений;
- На колбе проверяются ее целостность бочка, все входные и выходные отверстия, а также место соединения колбы с помпой;
- Проверить вентилятор, нет ли в нем инородных тел
- Прилегание тормодатчиков к поверхности ТЭМ, это нужно для более точного снятия показаний;
- Подключение всех проводов к элементам установки и к клемной коробке;
- Проверить блок питания, переведены ли все переключатели и тумблеры в нужное положение;
- Осмотреть вилку и провод питающий блок питания, на наличие пробоев и других неисправностей;
- На всех линиях электропроводки, соединяющей узлы системы, должны быть расположены автоматические выключатели, срабатывающие в случае короткого замыкания.

После предварительной проверки подключается блок питания к сети. Поскольку на установку требуется два блока питания, подключаем оба, последовательность подключения не важна.

Затем включается тот блок питания, который питает водяной насос. Этим самым проверяем наличие потока жидкости в системе. Это необходимо для того чтобы элемент не перегрелся после его включения.

Подключается второй блок питания который питает сам ТЭМ и вентилятор. Визуально осматриваем установку, если поток воды движется по трубкам, а вентилятор в рабочем состоянии, то можно подавать напряжение на элемент Пельтье.

После использования установки необходимо:

- Отключить подаваемое напряжение с блока питания на ТЭМ;
- Отключить второй блок питания который питает элемент Пельтье;
- Отключить первый блок питания который питает насос и вентилятор;
- Визуально осмотреть установку на наличие подтеков жидкости.

5.1.1 Расчет автоматического выключателя для установки

Для предотвращения последствий короткого замыкания, необходимо выбрать автоматический выключатель (АВ). Величину тока, при которой должен срабатывать автоматический выключатель, можно определить по формуле 13.

$$I = \frac{P}{U}; \quad (13)$$

где P – суммарная мощность всех электроприборов, Вт;

U – напряжение сети, В.

В данном случае автоматический выключатель будет установлен на линии сети 220 вольт. На рисунке 57 автоматический выключатель обозначен как АВ.



Рисунок 57 – Подключение автоматического выключателя

Нагрузка, на которую рассчитана система, составляет $20 \text{ Вт} \pm 5 \text{ Вт}$.

Можно произвести расчеты, подставив значения в формулу 14:

$$I = \frac{25}{220} = 0,113 \text{ А}; \quad (14)$$

Получаем максимальную величину тока, проходящего по проводам при максимальной нагрузке. Полученное значение $0,113 \text{ А}$ нужно округлить до $0,2 \text{ А}$, так это ближайшее к рассчитанному значение, по которому будет выбран автоматический выключатель.

Таким образом, был выбран 1-полюсный автоматический выключатель бренда АВВ, серии S200P, номиналом $0,2 \text{ А}$. Класс срабатывания – К, данный класс предполагает выключение АВ при превышении номинального тока нагрузки в 12 раз. Так как проводка выдерживает токи до 16 А , такой класс срабатывания вполне допустим. Внешний вид выключателя изображен на рисунке 58.



Рисунок 58 – Автоматический выключатель АВВ

При коротком замыкании электропроводки необходимо выключить первый и второй блоки питания с кнопки. После чего вытащить питающие провода блоков питания из розетки. И устранять неисправность в установке.

Если вышел из строя один из блоков питания необходимо отключить питание помещения с тумблера. После отключения в резиновой перчатке отключить провод блока питания из розетки. Далее устраняется неисправность либо блок заменяется на другой.

При неисправности розетки так же выключается питание помещения с тумблера.

5.1.2 Заземление

Защитное заземление – это преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

Все элементы установки, будут располагаться на небольшой поверхности, которая имеет размеры:

- высота: 0,15 м ;
- ширина: 0,5 м;
- длина: 0,5 м.

К заземлению будет подключен элемент, а именно блок питания. Подключение показано на рисунке 59.

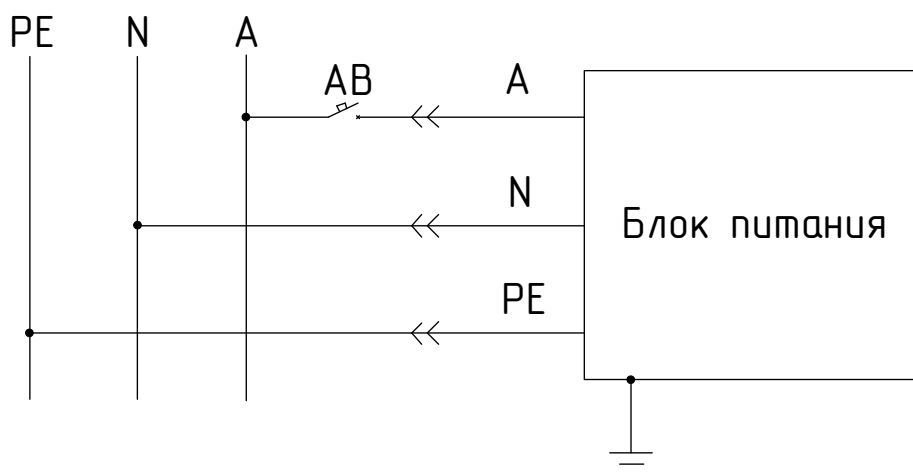


Рисунок 59 – Схема подключения оборудования к заземлению

5.2 Экологичность

Достоинствами элемента Пельтье являются небольшие размеры, отсутствие шума, каких-либо движущихся частей, а также газов и жидкостей. При смене направления тока возможно, как охлаждение, так и нагревание — это даёт возможность термостатирования при температуре окружающей среды как выше, так и ниже установленного порога.

В системах Пельтье нет хладагентов, которые легко воспламеняются, разрушают озоновый слой и вызывают парниковый эффект. Поэтому ТЭМ полностью экологичен.

5.3 Чрезвычайные ситуации

5.3.1 При пожаре

Согласно нормам пожарной безопасности, в лаборатории, где установлен стенд с оборудованием, в доступном месте располагаются рабочие углекислотные огнетушители для борьбы со случаями возгорания электрооборудования. Первый огнетушитель ОУ-3-ВСЕ № 0033795 и второй ОУ-3 №208042. Оба эти огнетушители показаны на рисунке 60.



Рисунок 60 – углекислотные огнетушители

Также, в лаборатории имеются датчики дыма и пожарная сигнализация. Отсутствуют легко воспламеняемые предметы, или расположены в отдельном небольшом помещении, где исключено их возгорание. Имеется щит с общим рубильником, отключающий все электрооборудование в лаборатории.

В случае пожарной эвакуации двери лаборатории не блокируются, к выходу имеется свободный доступ, в открытом состоянии дверной проем имеет ширину около 1,5 м, что достаточно для полного покидания рабочего персонала. В помещении находится план эвакуации в случае пожара. Рядом с лабораторией находится кнопка пожарной сигнализации.

Ответственность за противопожарную безопасность несет зав. Кафедрой АППиЭ Скрипко О.В., она обязана:

- обеспечить соблюдение установленного противопожарного режима и следить за содержанием путей эвакуации;
- следить за исправностью приборов отопления, вентиляции, электроустановок, технологического оборудования и принимать немедленные меры к устранению обнаруженных неисправностей;
- следить за тем, чтобы после окончания работы и занятий проводилась уборка рабочих мест и помещений, отключалась электросеть, за исключением дежурного освещения и электроустановок, которые по условиям технологического процесса производства должны работать круглосуточно;
- обеспечить исправное содержание и постоянную готовность к действию имеющихся средств и установок пожаротушения, связи и сигнализации [16].

В случае пожара на данной установке требуется:

- 1) Отключить питание нагрузки, путем выключения автоматического выключателя;
- 2) Использовать углекислотный огнетушитель, который расположен в помещении рядом с установкой ТЭМ.

5.3.2 Поломка элемента Пельтье

Вычислить поломку или выхода из строя элемента Пельтье очень просто. Это можно увидеть на термодатчиках. Если температура холодной стороны начинает расти в плюсовую сторону, первым делом проверяем систему охлаждения. Если система в порядке и полностью работоспособна (поток воды движется и вентилятор работает), то высока вероятность того, что элемент вышел из строя.

5.3.3 При обнаружении других неисправностей

При обнаружении других неисправностей, отключается питание на элементы установки. После чего устраняются обнаруженные неисправности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был выполнен подбор комплектующих для реализации спроектированного устройства. Проведены опыты в нескольких вариантах охлаждения ТЭМ: в жидкостном и воздушном.

Так же разработана программная часть

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. binder-world.ru: Информационная статья, технология Пельтье [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.binder-world.com/ru.html>. – 27.02.19.
2. alldatasheet.com: техническая документация TES1-12706 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword.html>. – 17.02.19.
3. amaxchip.com: техническая документация ATmega328 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.amaxchip.com/search/atmega328.html>. – 12.01.19.
4. kryothermtec.com: интернет магазин термоэлектрических модулей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kryothermtec.com/ru/thermoelectric-coolers-for-industrial-applications.html>. – 22.02.19.
5. alldatasheet.com: техническая документация ATmega328 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.chipdip.ru/product/cls7-ts6601-7.0-180-tc-0104.html>. – 25.01.19.
6. chipdip.ru: техническая документация KLS7-TS6601 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.chipdip.ru/product/cls7-ts6601-7.0-180-tc-0104.html>. – 21.01.19.
7. Asenergi: техническая документация КЕМ-3203 АГ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://asenergi.com/catalog/cifrovye-indikatory/indikator-7-segment.html>. – 19.01.19.
8. alldatasheet.com: техническая документация Dallas 18B20 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword.html>. – 01.02.19.
9. aliexpress.com: техническая документация SC600 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.aliexpress.com/w/wholesale-sc600-water-pump.html?switch_new_app=y.html. – 20.02.19.

10. chipdip.ru: техническая документация SS12F72 (B3037)
[Электронный ресурс]. – Режим доступа:
11. onsemi.com: техническая документация BC547 [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
https://www.onsemi.com/PowerSolutions/product.do?id=BC547&utm_medium=pr&utm_source=google&utm_campaign.html. – 11.03.19.
12. amaxchip.com: техническая документация ATmega16 [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<https://www.amaxchip.com/search/atmega16.html?gclid=Cj0KCQjw6cHoBRDdARIsADiTTzY.html>. – 01.03.19.
13. alldatasheet.com: техническая документация [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://www.alldatasheet.com/?gclid.html>. – 11.03.19.
14. Белов А.В. Микроконтроллеры AVR. От азов программирования до создания практических устройств (2016).
<https://www.chipdip.ru/product/b3037.html>. – 10.03.19.
15. mypractic.ru: уроки программирования arduino [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mypractic.ru/uroki-programmirovaniya-arduino-navigaciya-po-urokam.html>. – 15.01.19.
16. ППБ-С-1983 Правила пожарной безопасности при эксплуатации зданий и сооружений учебных заведений, предприятий, учреждений и организаций системы Минвуза СССР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200096620>. – 07.06.19.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Показания снятые при проведении опытов

Таблица А.1 - Показания опыта

| $T_{г}, ^\circ\text{C} = 35$ | | | | | |
|------------------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Напряжение на Пельтье | Ток Пельтье | Напряжение на вентиляторе | Ток вентилятора | Температура холодной стороны | Температура горячей стороны |
| $U_{п}, \text{В}$ | $I_{п}, \text{А}$ | $U_{в}, \text{В}$ | $I_{в}, \text{А}$ | $T_{х}, ^\circ\text{C}$ | $T_{г}, ^\circ\text{C}$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 0,19 | 0 | 0 | 26,1 | 35 |
| 1,5 | 0,3 | 0 | 0 | 23 | 35 |
| 2 | 0,41 | 0 | 0 | 20,2 | 35 |
| 2,5 | 0,53 | 0 | 0 | 17,1 | 35 |
| 3 | 0,64 | 0 | 0 | 13,8 | 35 |
| 3,5 | 0,77 | 0 | 0 | 10,8 | 35 |
| 4 | 0,88 | 0 | 0 | 8,1 | 35 |
| 4,5 | 1,01 | 0 | 0 | 5,6 | 35 |
| 5 | 1,14 | 0 | 0 | 4,2 | 35 |
| 5,5 | 1,26 | 0 | 0 | 1,6 | 35 |
| 6 | 1,4 | 3,1 | 0,02 | -0,8 | 35 |
| 6,5 | 1,52 | 3,3 | 0,02 | -1,9 | 35 |
| 7 | 1,67 | 3,7 | 0,03 | -3,3 | 35 |
| 7,5 | 1,77 | 3,8 | 0,03 | -4,7 | 35 |
| 8 | 1,9 | 4,8 | 0,03 | -6 | 35 |
| 8,5 | 2,02 | 4,9 | 0,03 | -7,2 | 35 |

Продолжение таблицы А.1

| | | | | | |
|------|------|-----|------|------|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 9 | 2,15 | 5,4 | 0,04 | -8,2 | 35 |
| 9,5 | 2,26 | 6,7 | 0,04 | -9 | 35 |
| 10 | 2,38 | 7,3 | 0,05 | -9,1 | 35 |
| 10,5 | 2,51 | 8,4 | 0,06 | -9,6 | 35 |
| 11 | 2,62 | 9,8 | 0,07 | -10 | 35 |

Таблица А.2 – Показания опыта

$T_{г}, ^\circ\text{C} = 50$

| Напряжение на Пельтье | Ток Пельтье | Напряжение на вентиляторе | Ток вентилятора | Температура холодной стороны | Температура горячей стороны |
|-----------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|------------------------------|-----------------------------|
| $U_{п}, \text{В}$ | $I_{п}, \text{А}$ | $U_{в}, \text{В}$ | $I_{в}, \text{А}$ | $T_{х}, ^\circ\text{C}$ | $T_{г}, ^\circ\text{C}$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 0,17 | | | 40 | 50 |
| 1,5 | 0,27 | | | 36,2 | 50 |
| 2 | 0,37 | | | 33,6 | 50 |
| 2,5 | 0,47 | | | 31 | 50 |
| 3 | 0,57 | | | 28,2 | 50 |
| 3,5 | 0,69 | | | 25,6 | 50 |
| 4 | 0,8 | | | 22,9 | 50 |
| 4,5 | 0,91 | | | 20,1 | 50 |
| 5 | 1,03 | | | 17,7 | 50 |
| 5,5 | 1,14 | | | 15,6 | 50 |

Продолжение таблицы А.2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------|------|---|---|------|----|
| 6 | 1,28 | | | 13 | 50 |
| 6,5 | 1,38 | | | 11,1 | 50 |
| 7 | 1,5 | | | 9,8 | 50 |
| 7,5 | 1,61 | | | 7,9 | 50 |
| 8 | 1,73 | | | 6,8 | 50 |
| 8,5 | 1,85 | | | 5 | 50 |
| 9 | 1,97 | | | 4 | 50 |
| 9,5 | 2,08 | | | 2,8 | 50 |
| 10 | 2,2 | | | 2,1 | 50 |
| 10,5 | 2,3 | | | 1,5 | 50 |
| 11 | 2,42 | | | 0,6 | 50 |

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Подробное описание подключения периферии

Таблица Б.1 – Подключение периферии

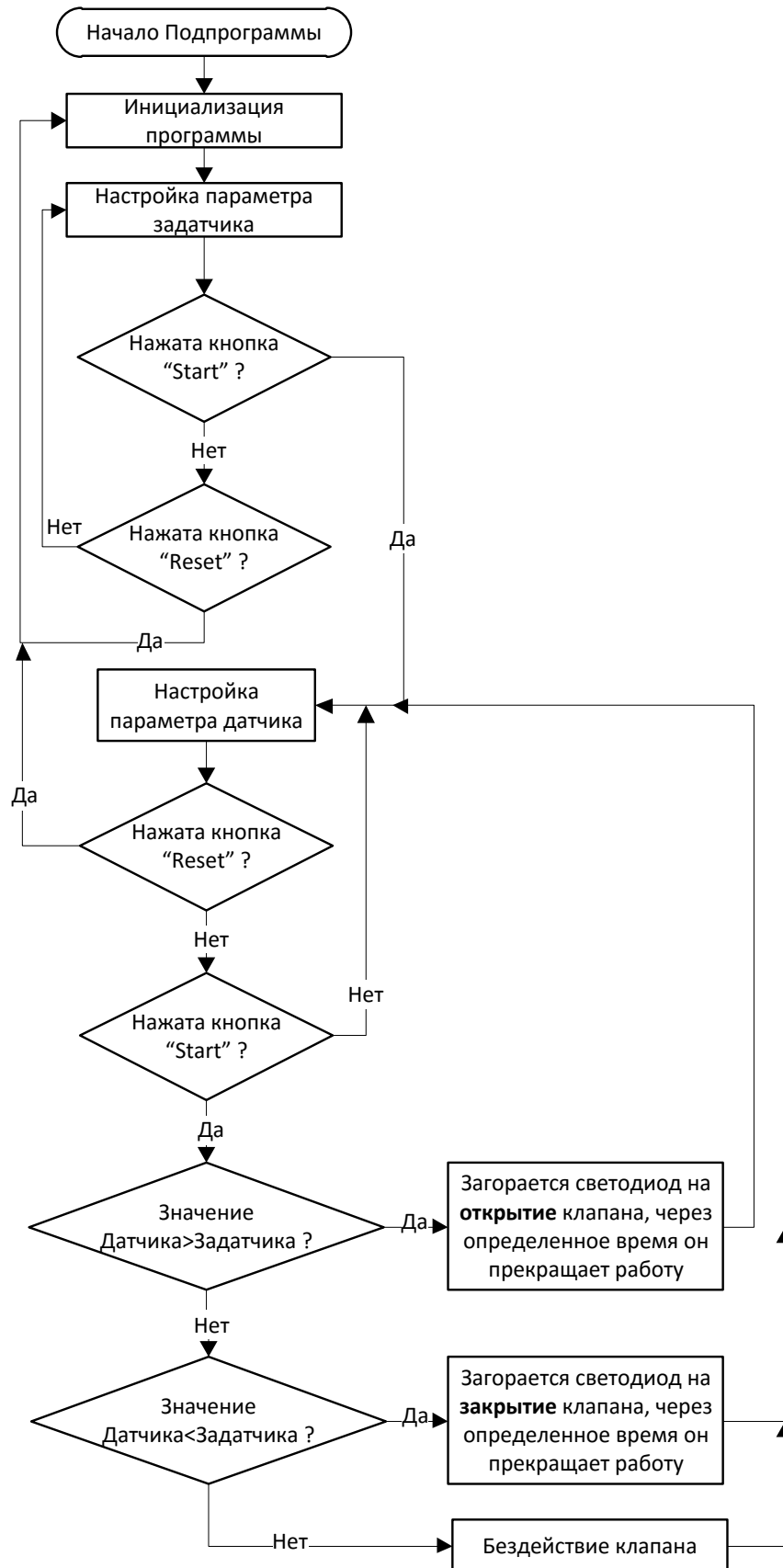
| Номер вывода | Порт | Периферия |
|--------------|------|--|
| 1 | 2 | 3 |
| 40 | РА0 | Выход для подключения семисегментного индикатора а |
| 39 | РА1 | Выход для подключения семисегментного индикатора b |
| 38 | РА2 | Выход для подключения семисегментного индикатора с |
| 37 | РА3 | Выход для подключения семисегментного индикатора d |
| 36 | РА4 | Выход для подключения семисегментного индикатора е |
| 35 | РА5 | Выход для подключения семисегментного индикатора f |
| 34 | РА6 | Выход для подключения семисегментного индикатора g |
| 33 | РА7 | Выход для подключения семисегментного индикатора dp |
| 22 | РС0 | Выход для подключения семисегментного индикатора а |
| 23 | РС1 | Выход для подключения семисегментного индикатора b |
| 24 | РС2 | Выход для подключения семисегментного индикатора с |
| 25 | РС3 | Выход для подключения семисегментного индикатора d |
| 26 | РС4 | Выход для подключения семисегментного индикатора е |
| 27 | РС5 | Выход для подключения семисегментного индикатора f |
| 28 | РС6 | Выход для подключения семисегментного индикатора g |
| 29 | РС7 | Выход для подключения семисегментного индикатора dp |
| 14 | PD0 | Вход для считывания сигнала кнопки SB0 «RESET» |
| 15 | PD1 | Вход для считывания сигнала кнопки SB1 «START» |
| 16 | PD2 | Вход для считывания сигнала кнопки SB2 «PLUS +0.1» |

Продолжение таблицы Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|----|-----|---|
| 17 | PD3 | Вход для считывания сигнала кнопки SB3 «MINUS -0.1» |
| 19 | PD5 | Выход для подключения светодиода VD1 |
| 20 | PD6 | Выход для подключения светодиода VD2 |
| 1 | PB0 | Выход для подключения семисегментного индикатора 1 |
| 2 | PB1 | Выход для подключения семисегментного индикатора 2 |
| 3 | PB2 | Выход для подключения семисегментного индикатора 1 |
| 4 | PB3 | Выход для подключения семисегментного индикатора 2 |

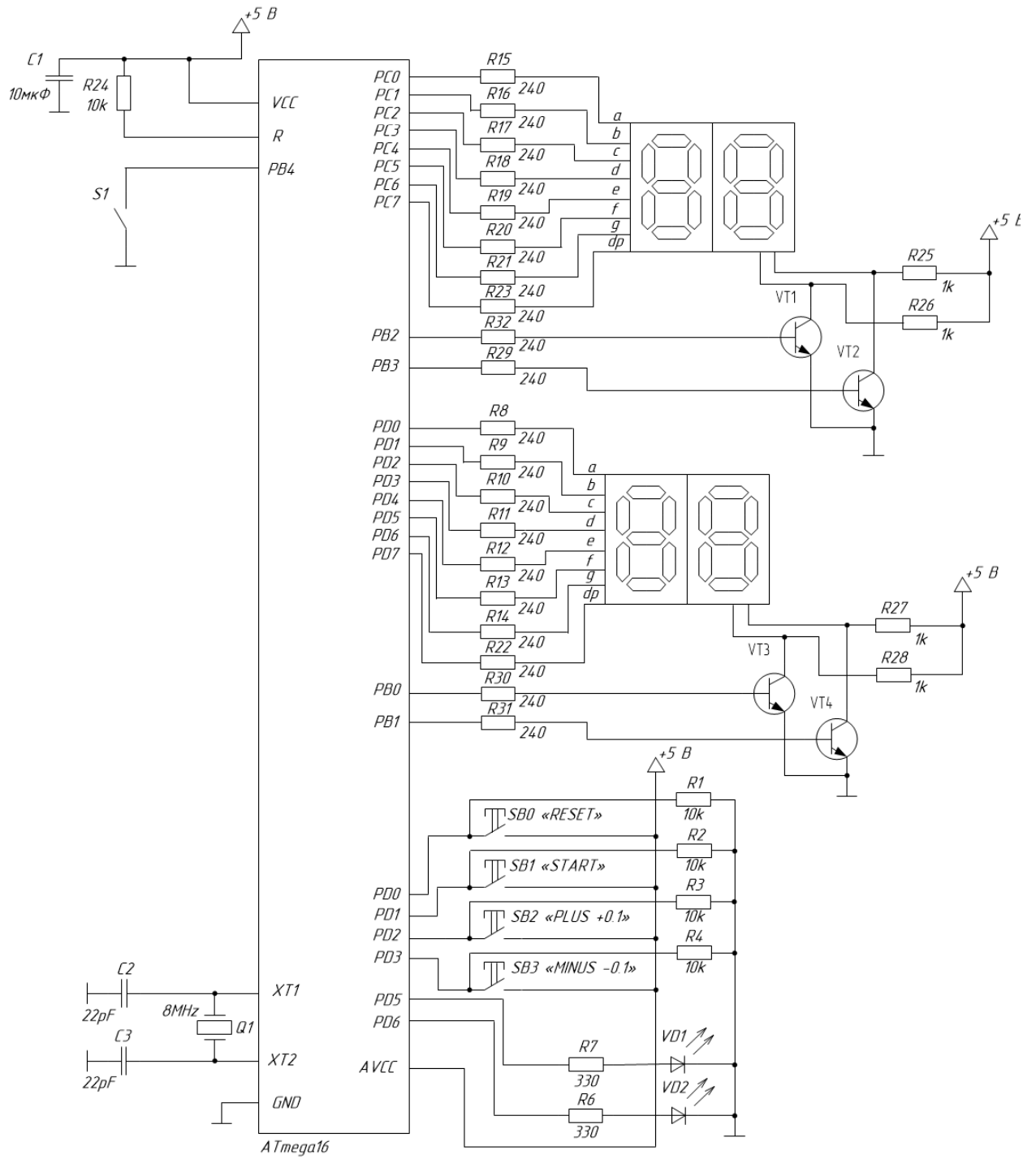
ПРИЛОЖЕНИЕ В

Описание работы разработанной программной части



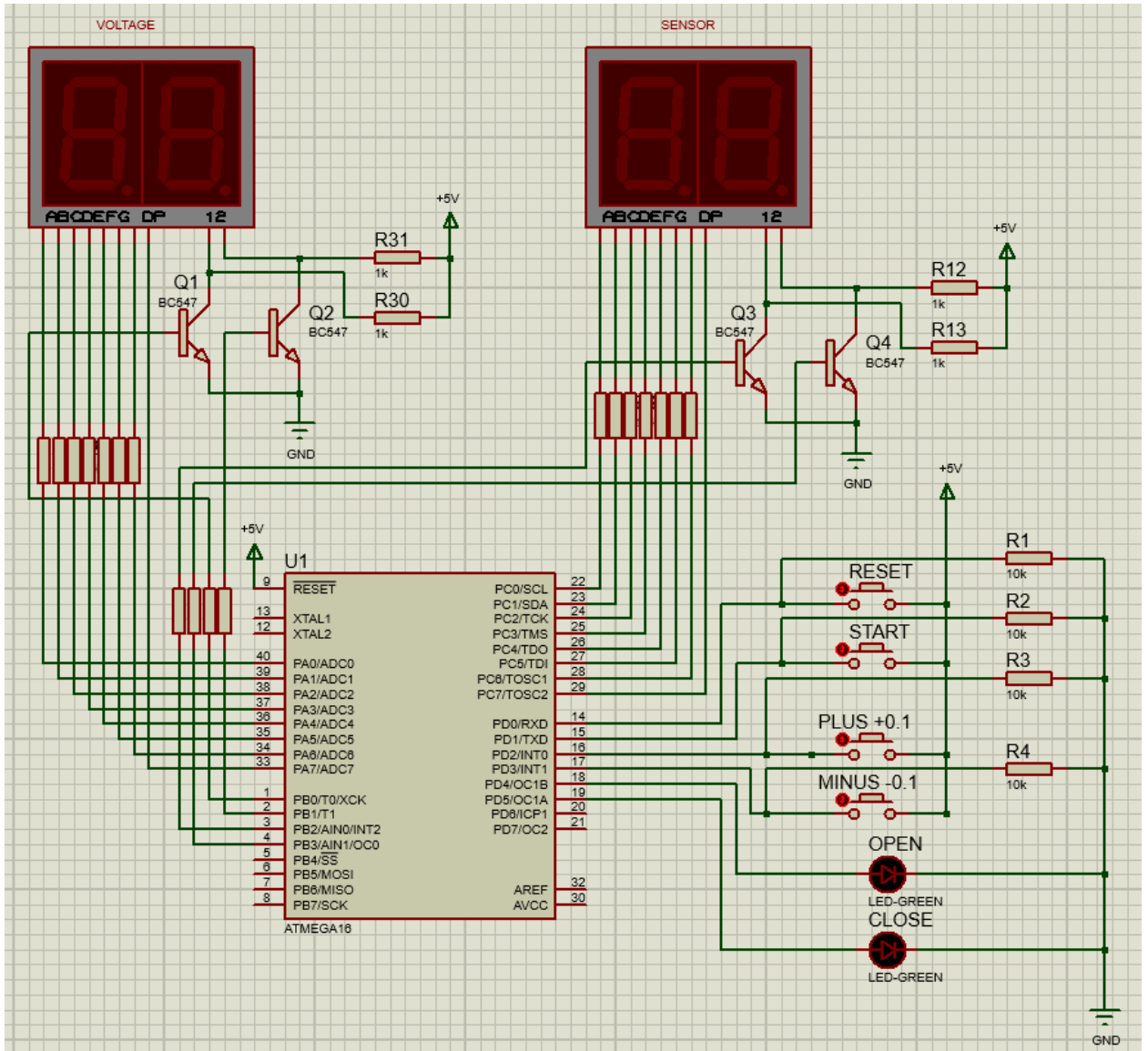
ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Электрическая схема подключения

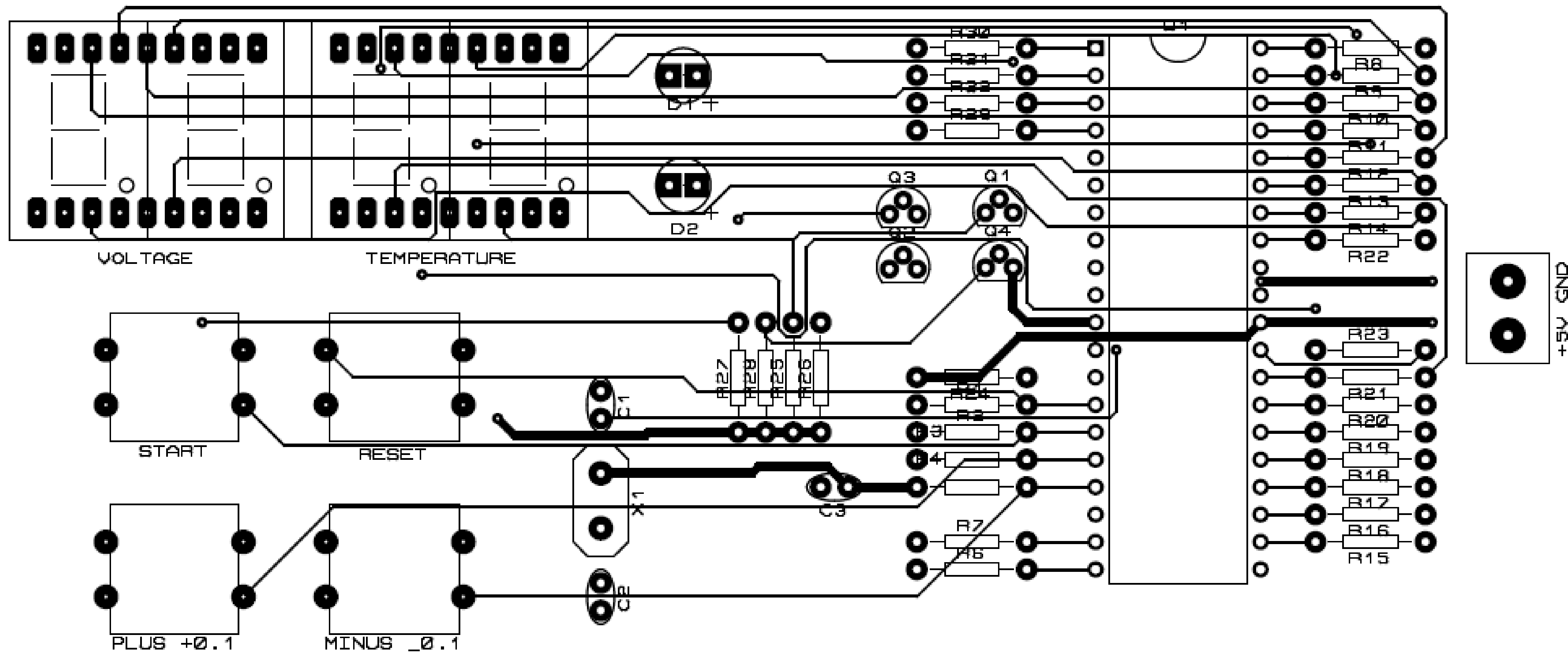


ПРИЛОЖЕНИЕ Д

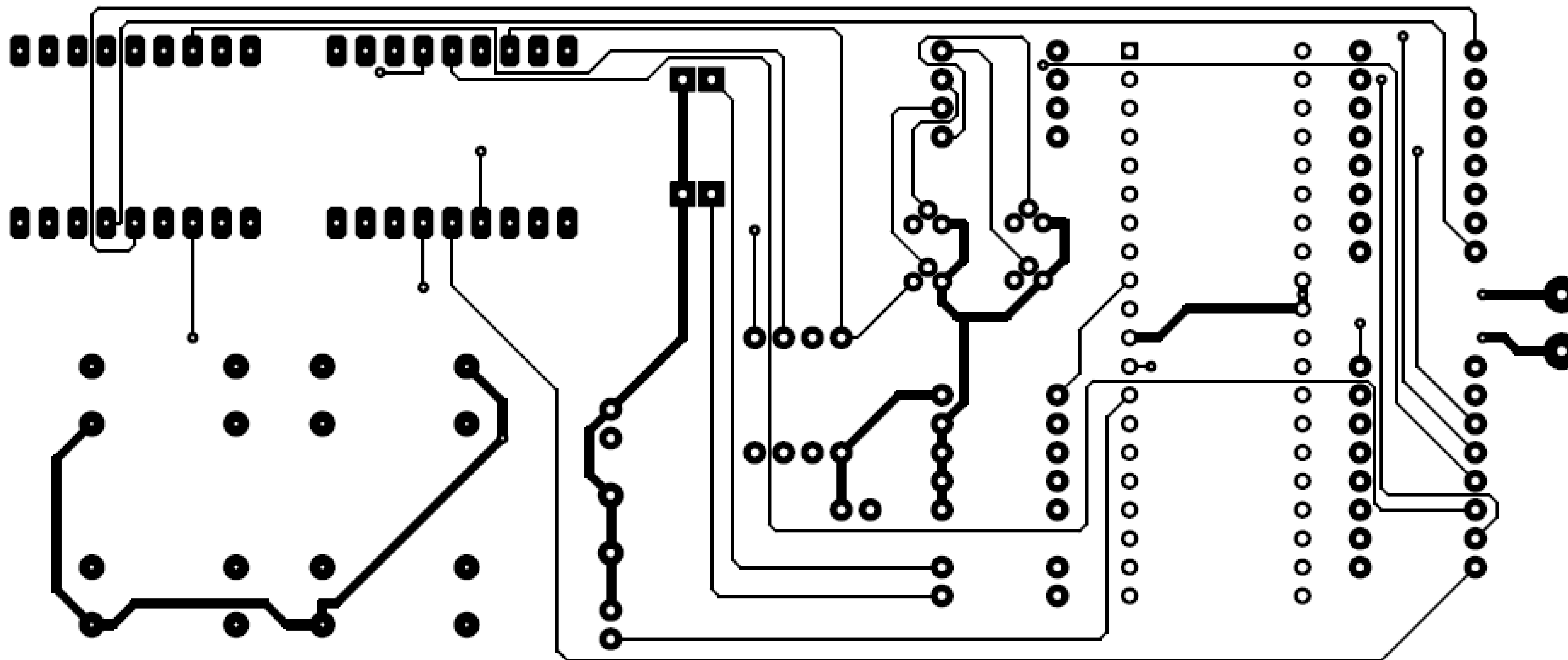
Принцип работы разработанной программной части



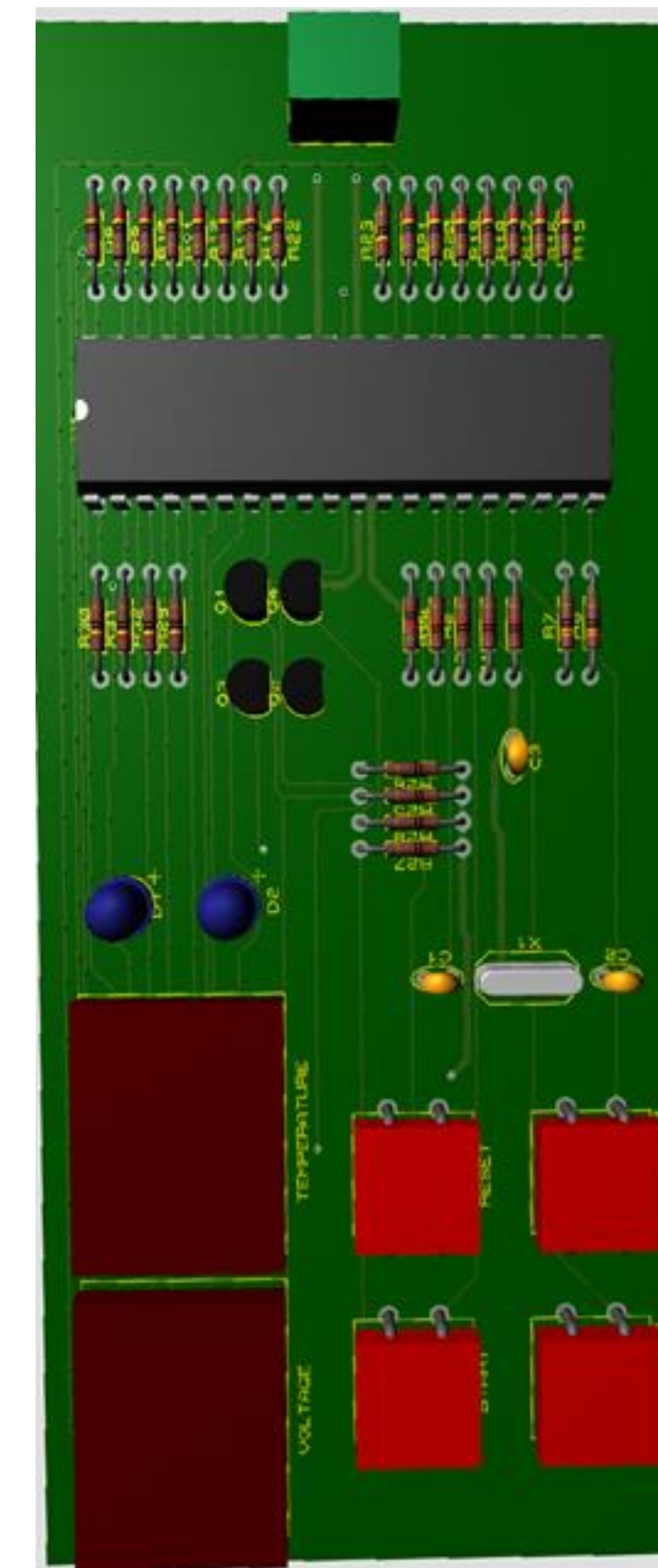
Вид верхнего слоя



Вид нижнего слоя



Общий вид



| Зона | Обозначение | Наименование | Кол. | Примеч. |
|------|------------------------------------|-------------------------------------|------|---------|
| | | Документация | | |
| | | Пояснительная записка | 1 | |
| | | Элементы | | |
| | SB0, SB1, SB2, SB3 | KL57-TS6601 Тактовая кнопка | 4 | |
| | VD1 | 6603R1C-LHA-B Светодиод красный | 1 | |
| | VD2 | 6603G3C-LHB-B Светодиод зеленый | 1 | |
| | HL1, HL2 | КЕМ-3203AG Семисегментный индикатор | 2 | |
| | MC | АТmega16 Микроконтроллер | 1 | |
| | C1, C2, C3 | HC-49S Конденсаторы | 3 | |
| | Q1 | HC-49U Кварцевый резонатор | 1 | |
| | R8-R14, R15-R21, R22, R23, R29-R32 | C2-33 Резистор 240 Ом | 20 | |
| | R6, R7 | C2-33 Резистор 330 Ом | 2 | |
| | R1-R4, R24 | C2-33 Резистор 10 кОм | 5 | |
| | R25-R28 | C2-33 Резистор 1 кОм | 4 | |
| | Q1-Q4 | BC547 Транзисторы | 4 | |
| | S1 | SS12F72 Переключатель движковый | 1 | |

КП.154.003.15.03.04.МЧ

| Изм. | Лист | № док. | Подп. | Дата | Литера | Масса | Масштаб |
|----------|--------------|--------|-------|------|--------|-------|---------|
| | 1 | | | | у | | |
| Разраб. | Усенько В.И. | | | | | | |
| Проверил | Усенько В.И. | | | | | | |
| Т.Контр. | Усенько В.И. | | | | | | |
| Н.Контр. | Скрипко О.В. | | | | | | |
| Итв.ерж. | Скрипко О.В. | | | | | | |

Монтажная схема устройства

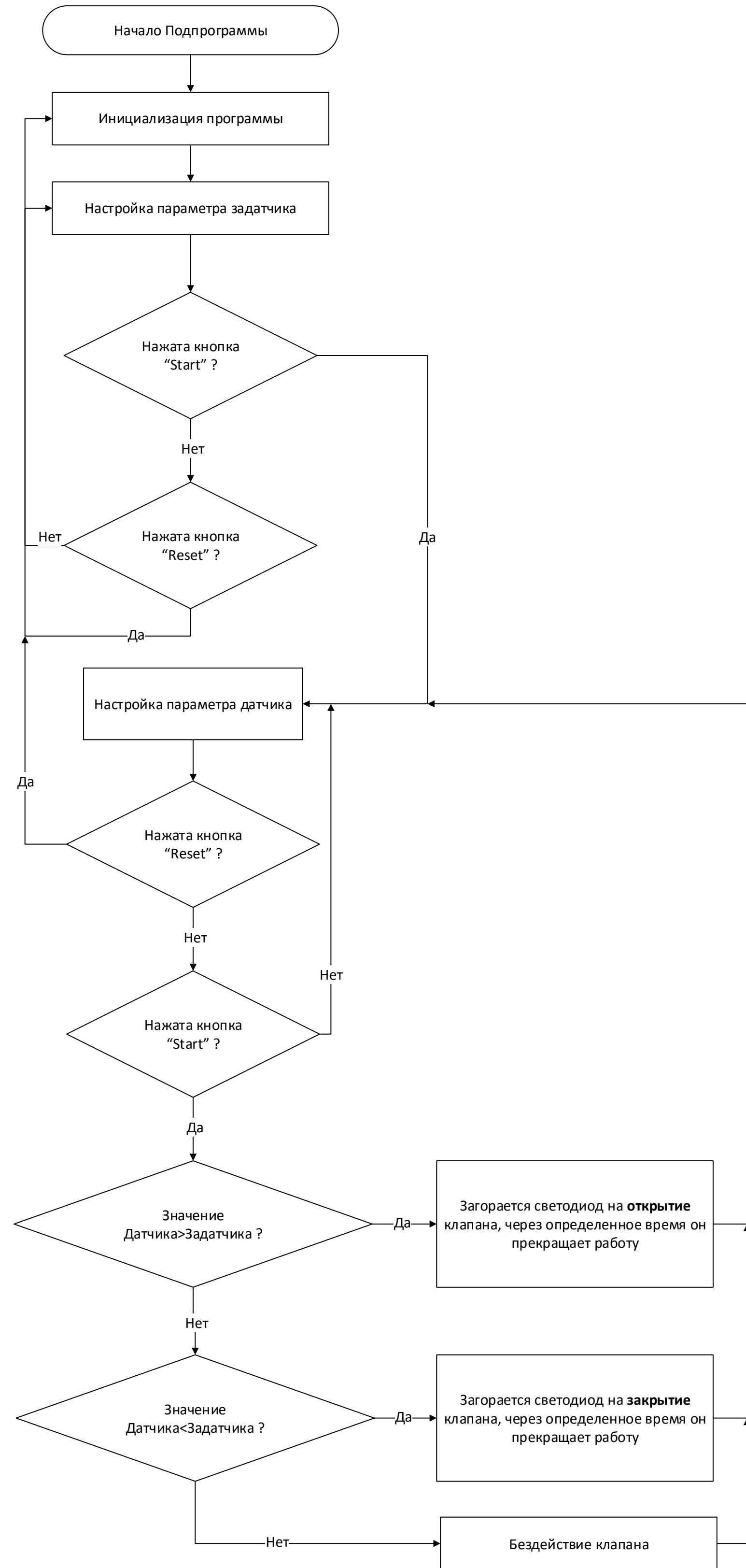
Автоматизированная система регулирования температуры лабораторного термостатика

Лист 1 из 6
АМГУ гр. 541-од

Общий алгоритм



Основная программа

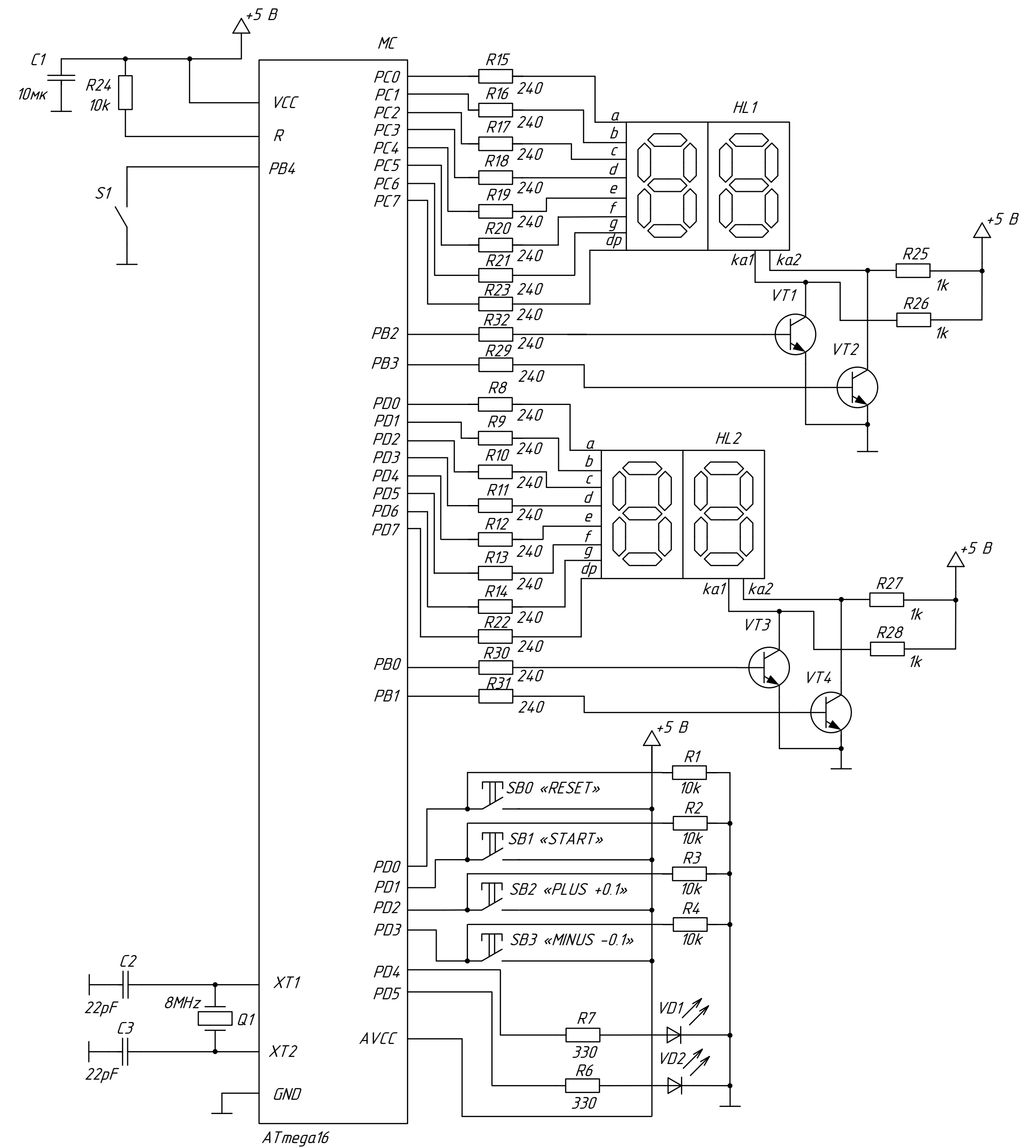


Первый этап

Второй этап

Третий этап

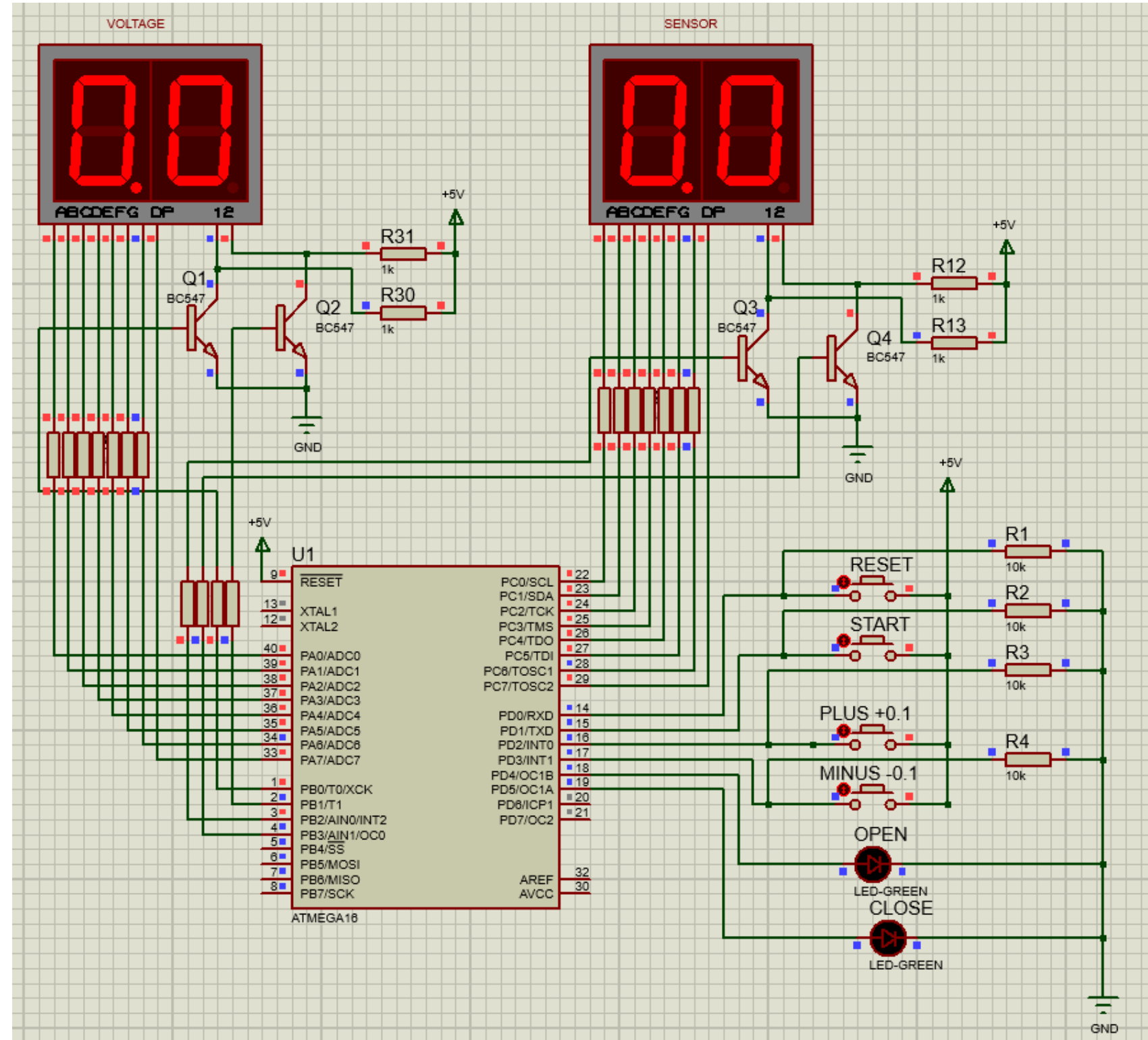
| | | | | |
|----------------------------------|------|-----------|-----------------|----------|
| КП.154.003.15.03.04.СХ | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | Разработ | Валуй Р.А. | |
| | | Проверил | Теличенко Д.А. | |
| | | Н. Контр. | Теличенко Д.А. | |
| | | Утвержд | | |
| Алгоритмическая схема устройства | | | Литера | Масштаб |
| | | | у | 1:1 |
| | | | Лист 1 | Листов 4 |
| | | | АМГУ гр. 541-0д | |



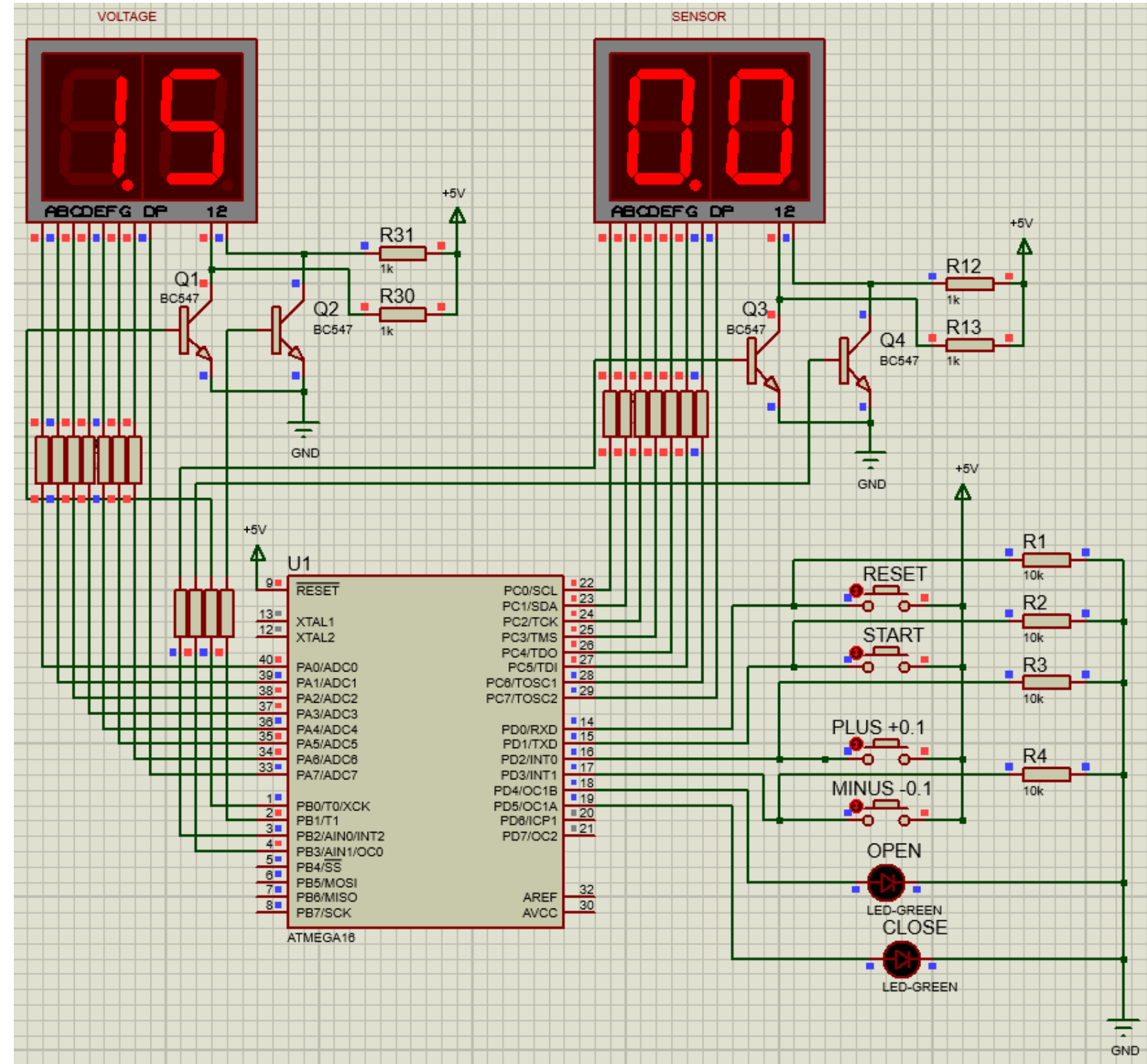
| Зона | Обозначение | Наименование | Кол. | Примеч. |
|------|------------------------------------|-------------------------------------|------|---------|
| | | Документация | | |
| | | Пояснительная записка | 1 | |
| | | Элементы | | |
| | SB0, SB1, SB2, SB3 | КЛS7-TS6601 Тактовая кнопка | 4 | |
| | VD1 | 6603R1C-LHA-B Светодиод красный | 1 | |
| | VD2 | 6603G3C-LHB-B Светодиод зеленый | 1 | |
| | HL1, HL2 | КЕМ-3203AB Семисегментный индикатор | 2 | |
| | MC | АТmega16 Микроконтроллер | 1 | |
| | C1, C2, C3 | HC-49S Конденсаторы | 3 | |
| | Q1 | HC-49U Кварцевый резонатор | 1 | |
| | R8-R14, R15-R21, R22, R23, R29-R32 | C2-33 Резистор 240 Ом | 20 | |
| | R6, R7 | C2-33 Резистор 330 Ом | 2 | |
| | R1-R4, R24 | C2-33 Резистор 10 кОм | 5 | |
| | R25-R28 | C2-33 Резистор 1 кОм | 4 | |
| | VT1-VT4 | BC547 Транзисторы | 4 | |
| | S1 | SS12F72 Переключатель движковый | 1 | |

| | | | | |
|---|------|-----------|-----------------|----------|
| КП.154.003.15.03.04.СХ | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | Разработ | Валуй Р.А. | |
| | | Проверил | Усенко В.И. | |
| | | Т. Контр. | Усенко В.И. | |
| | | Н. Контр. | Скрипко О.В. | |
| | | Утвержд | Скрипко О.В. | |
| Электрическая схема устройства | | | Литера | Масштаб |
| | | | у | 1:1 |
| | | | Лист 2 | Листов 6 |
| Автоматизированная система регулирования температуры лабораторного термостатика | | | АМГУ гр. 541-0д | |

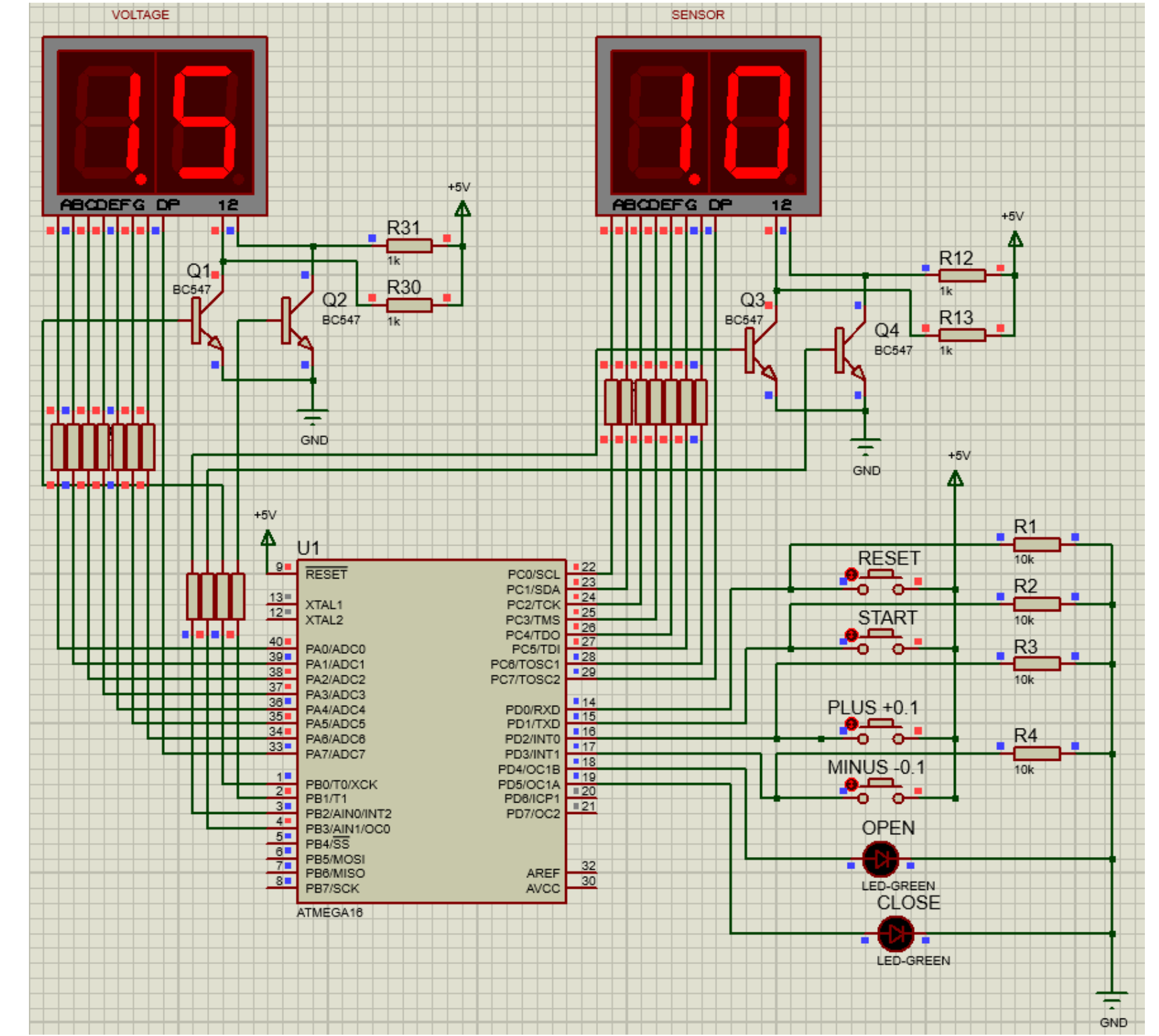
Запуск программы



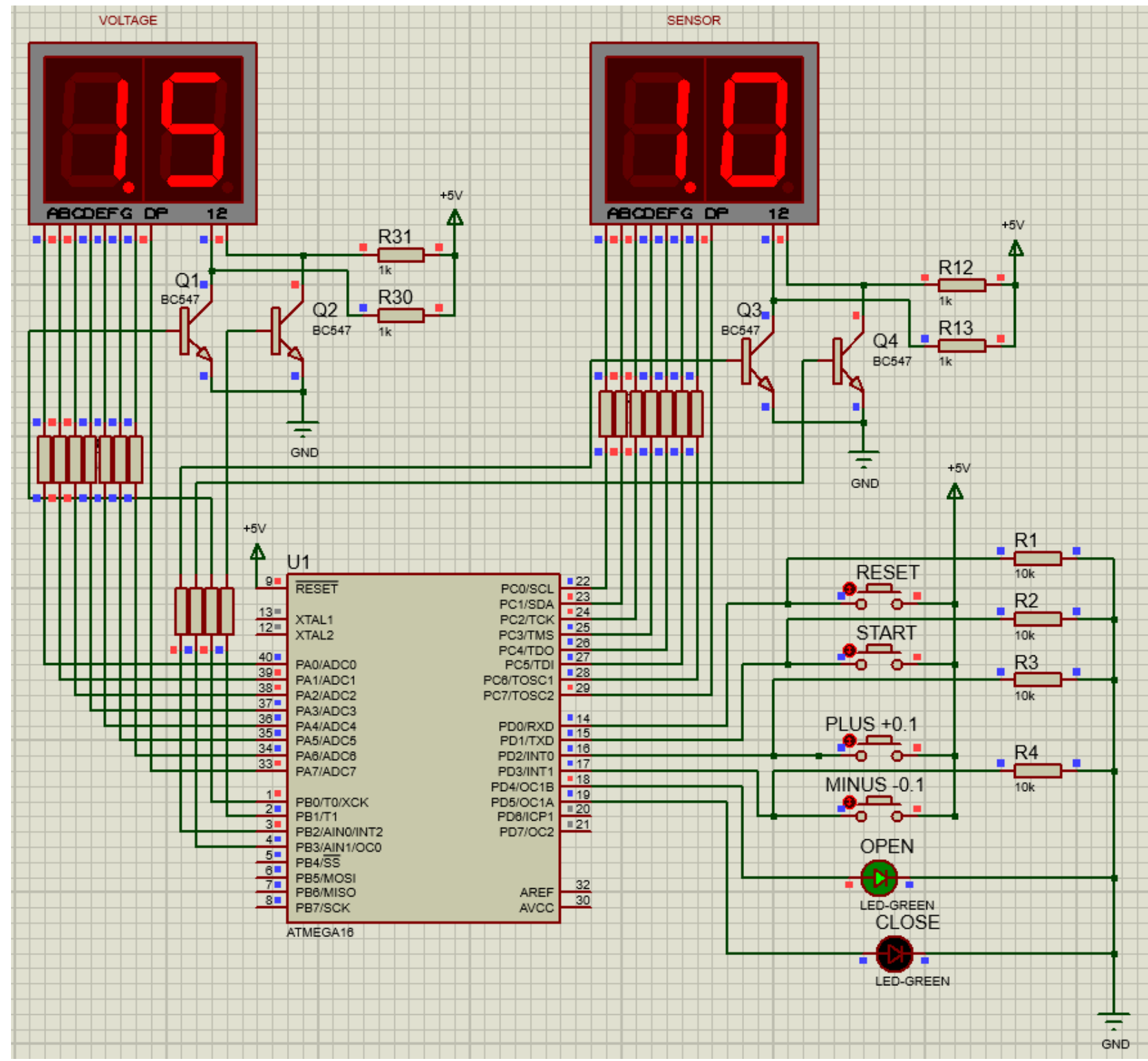
Задаем значение датчика



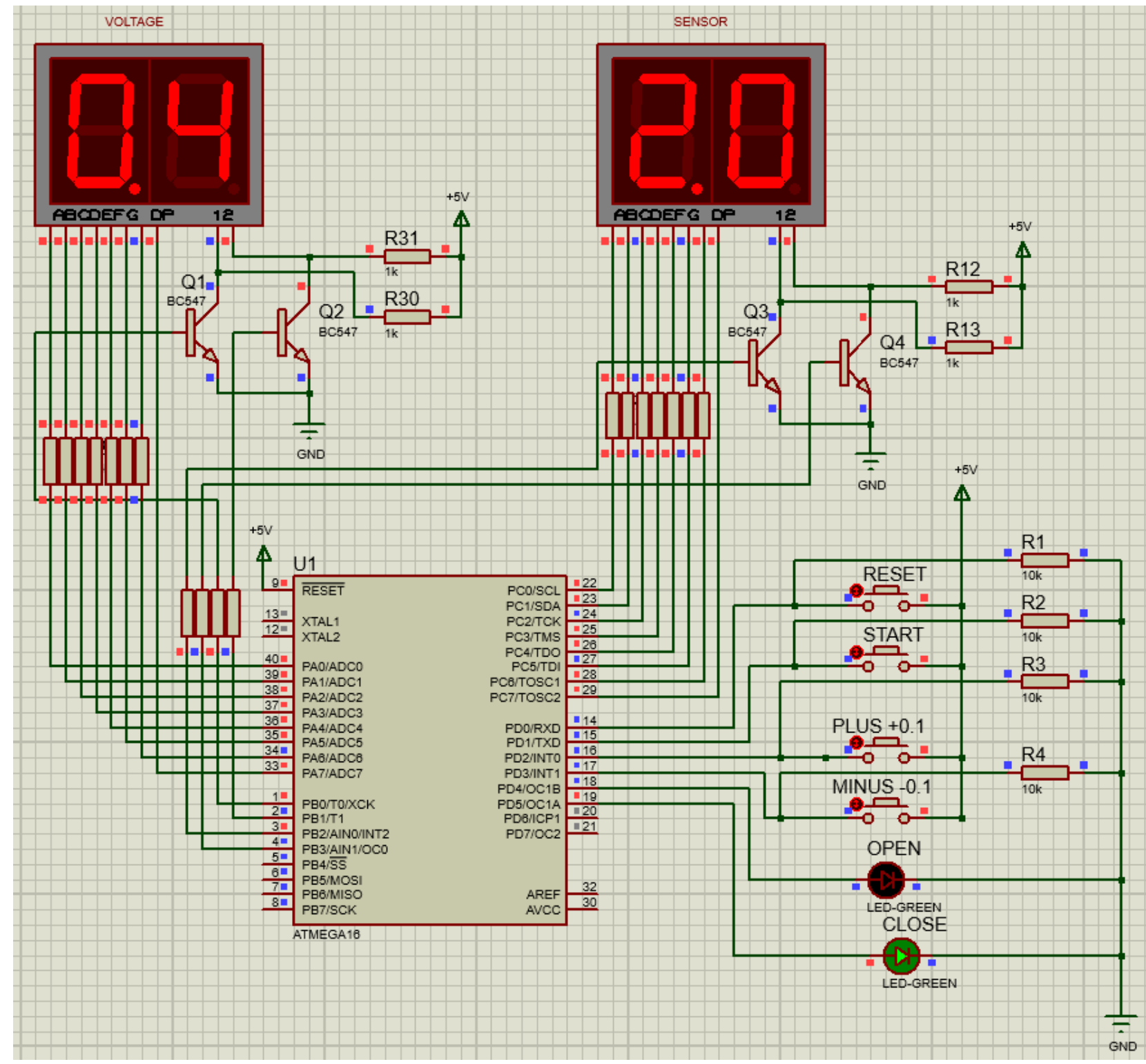
Задаем значение задатчика



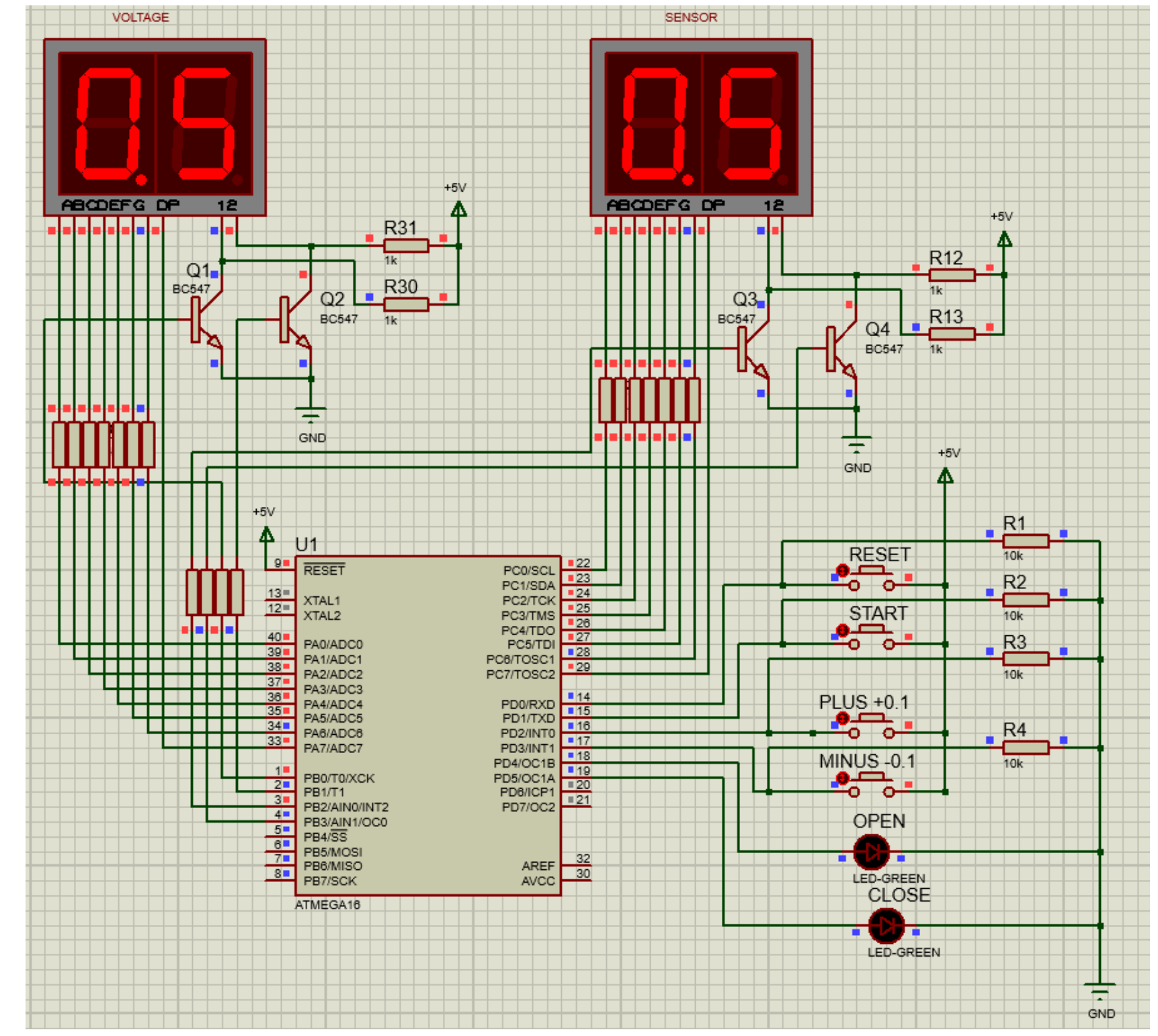
Производим сравнение, задание больше контролируемой величины, исполнительный механизм открыт



Производим сравнение, задание меньше контролируемой величины, исполнительный механизм закрыт

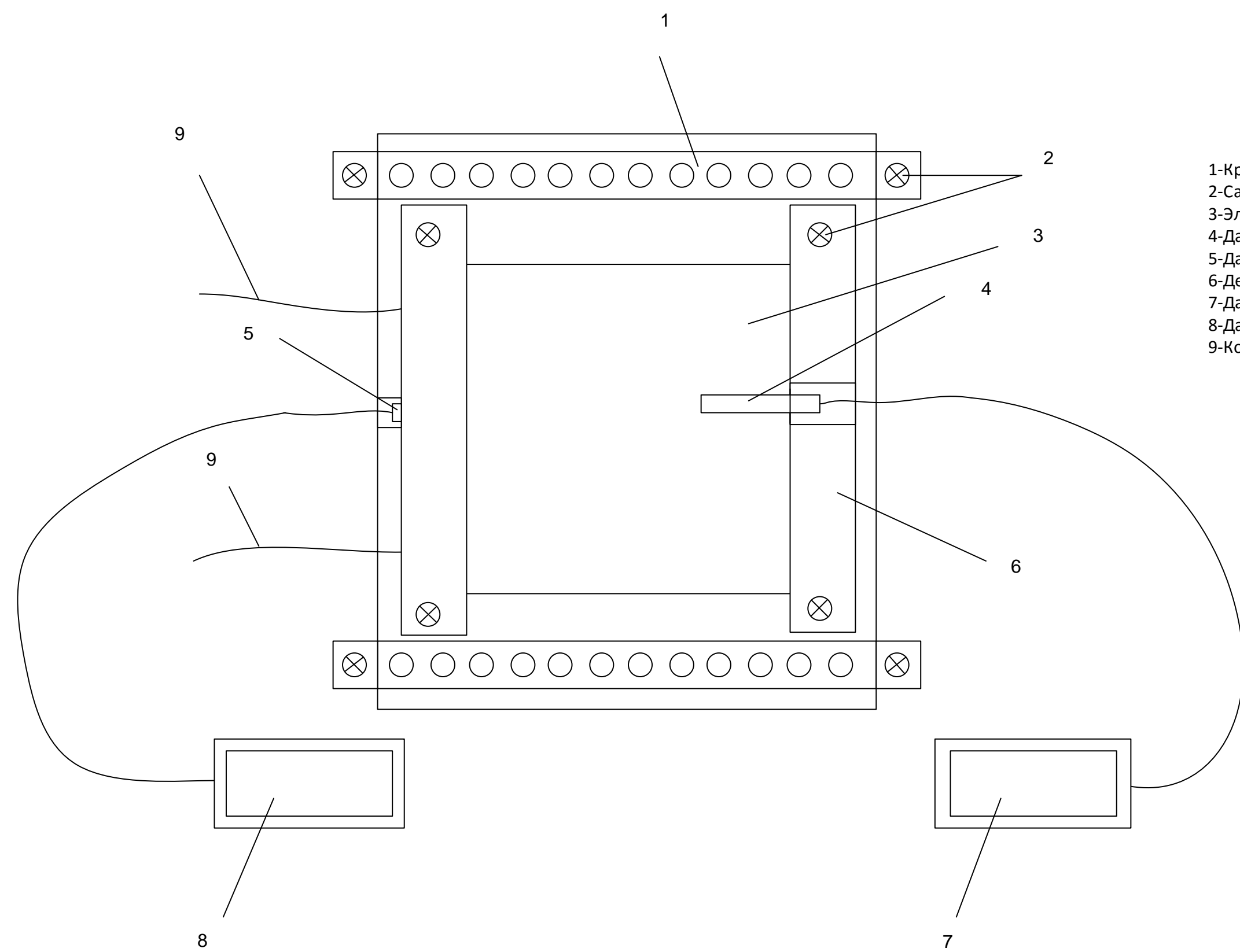


Производим сравнение, задание равно контролируемой величине, исполнительный механизм бездействует



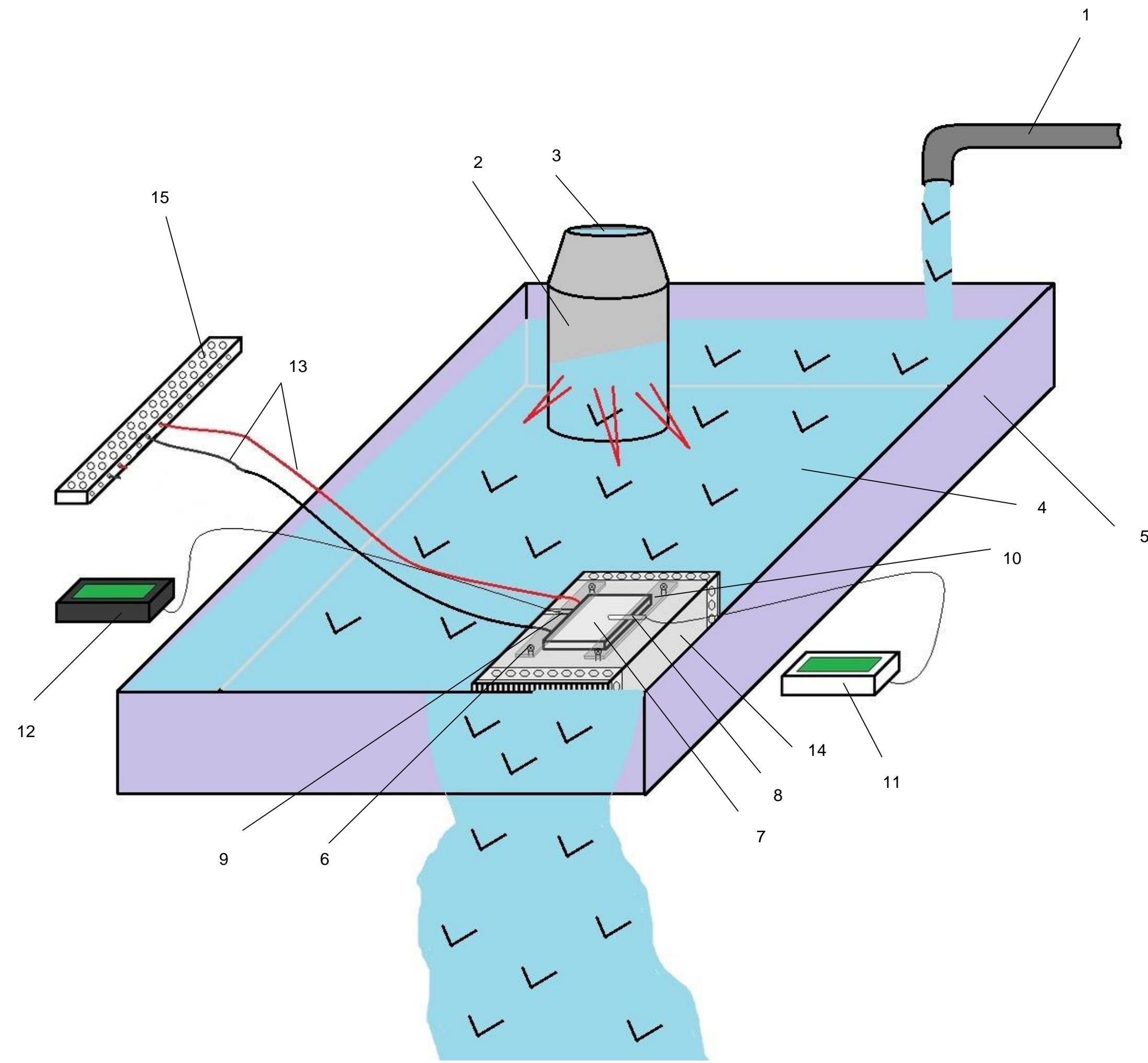
| | | | | КП.154.003.15.03.04.LX | | | |
|----------|--------------|---------|------|------------------------|---|----------|---------|
| Изм | Лист | № докум | Подп | Дата | Литера | Масса | Масштаб |
| Разраб | Валуй Р.А. | | | | У | | |
| Проверил | Усенко В.И. | | | | Лист 3 | Листов 6 | |
| Т.Контр | Усенко В.И. | | | | | | |
| Н.Контр | Скрипко О.В. | | | | | | |
| Утвержда | Скрипко О.В. | | | | | | |
| | | | | | Схема модели устройства и результаты моделирования в Proteus | | |
| | | | | | Автоматизированная система регулирования температуры лабораторного термостатика | | |
| | | | | | АмГУ гр. 541-од | | |

Первый опыт с воздушным охлаждением вид сверху



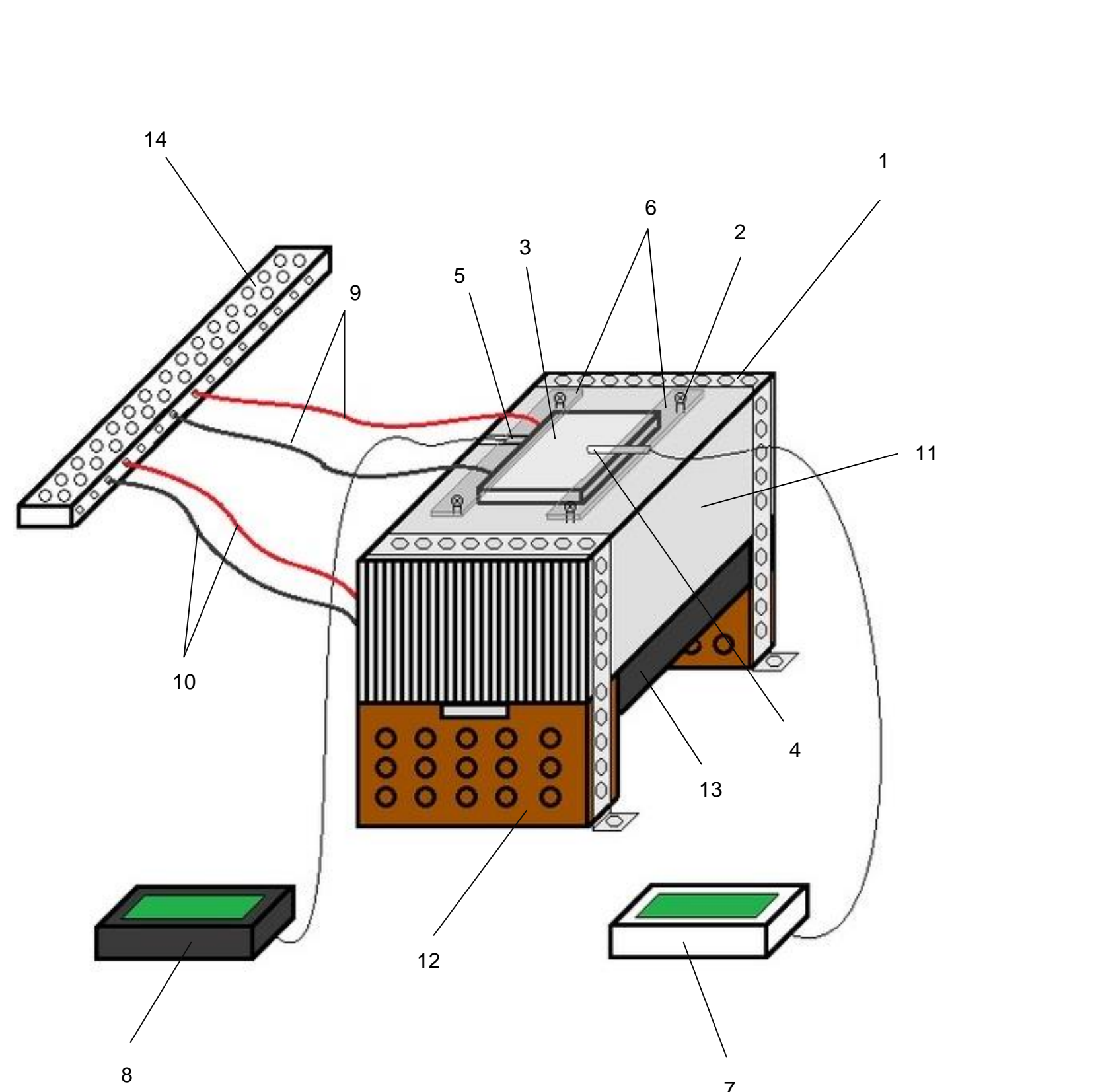
- 1-Крепежная лента для фиксации блока
- 2-Саморезы
- 3-Элемент Пельтье
- 4-Датчик верхней стороны
- 5-Датчик нижней стороны
- 6-Детали крепежа Пельтье
- 7-Датчик верхней стороны
- 8-Датчик нижней стороны
- 9-Контакты Пельтье

Второй опыт с водяным охлаждением



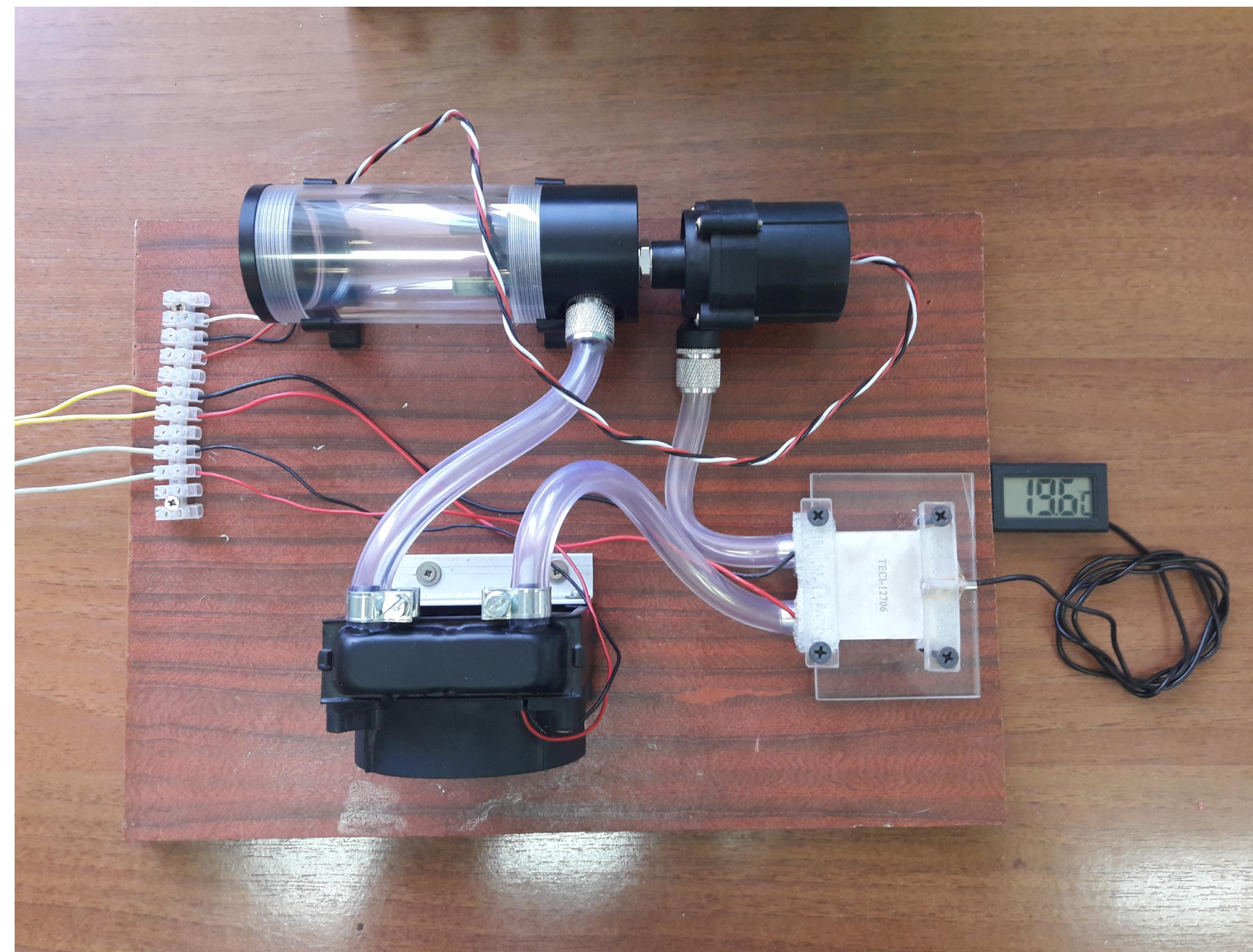
- 1-Кран водонапорный
- 2-Емкость с горячей водой
- 3-Горячая вода
- 4-Холодная вода
- 5-Поддон
- 6-Саморезы
- 7-Элемент Пельтье
- 8-Датчик верхней стороны
- 9-Датчик нижней стороны
- 10-Детали крепежа Пельтье
- 11-Показания датчика верх. стороны
- 12-Показания датчика ниж. стороны
- 13-Контакты Пельтье
- 14-Радиатор
- 15-Клемная коробка

Первый опыт с воздушным охлаждением



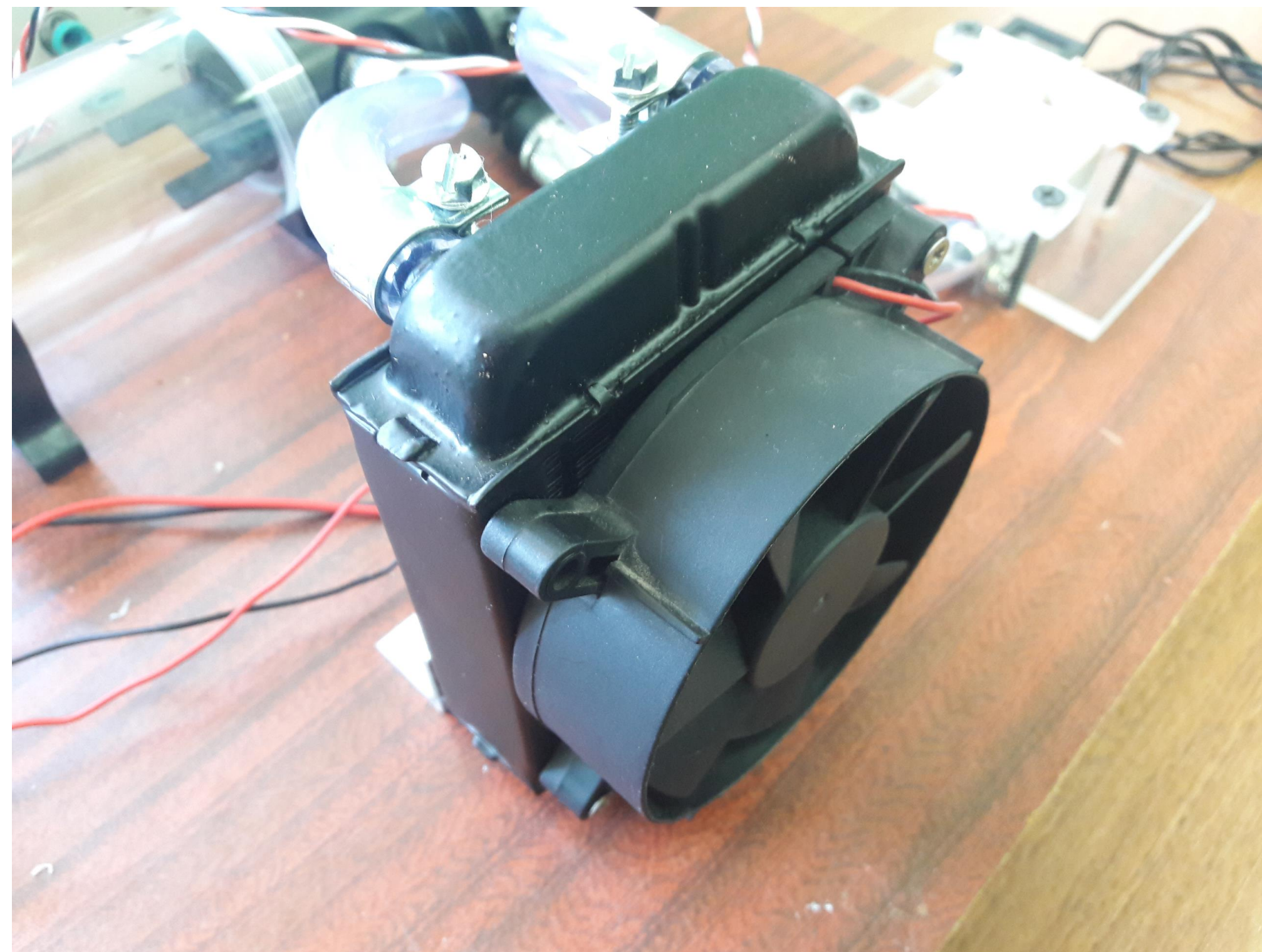
- 1-Крепежная лента для фиксации блока
- 2-Саморезы
- 3-Элемент Пельтье
- 4-Датчик верхней стороны
- 5-Датчик нижней стороны
- 6-Детали крепежа Пельтье
- 7-Показания датчика верх. стороны
- 8-Показания датчика ниж. стороны
- 9-Контакты Пельтье
- 10-Контакты вентилятора
- 11-Радиатор
- 12-Ножки радиатора
- 13-Вентилятор
- 14-Клемная коробка

Опыт третий с жидкостным охлаждением вид сверху



| | | | | | | | |
|----------|---------------|-------------|---------|------------------------|---|----------|--------|
| | | | | КП 154.003.15.03.04.П1 | | | |
| Изм. | Лист | № документа | Подпись | Дата | Литера | Масса | Масшт. |
| Разраб. | Усенко В. И. | | | | У | | |
| Провер. | Усенко В. И. | | | | | | |
| Т.Контр. | Усенко В. И. | | | | Лист 4 | Листов 6 | |
| Н.Контр. | Скрипко О. В. | | | | АМГУ | | |
| Утв. | Скрипко О. В. | | | | гр. 541-од | | |
| | | | | | Проводимые опыты | | |
| | | | | | Автоматизированная система регулирования температуры лабораторного термостатика | | |

Вентилятор (кулер) И радиатор воздушный



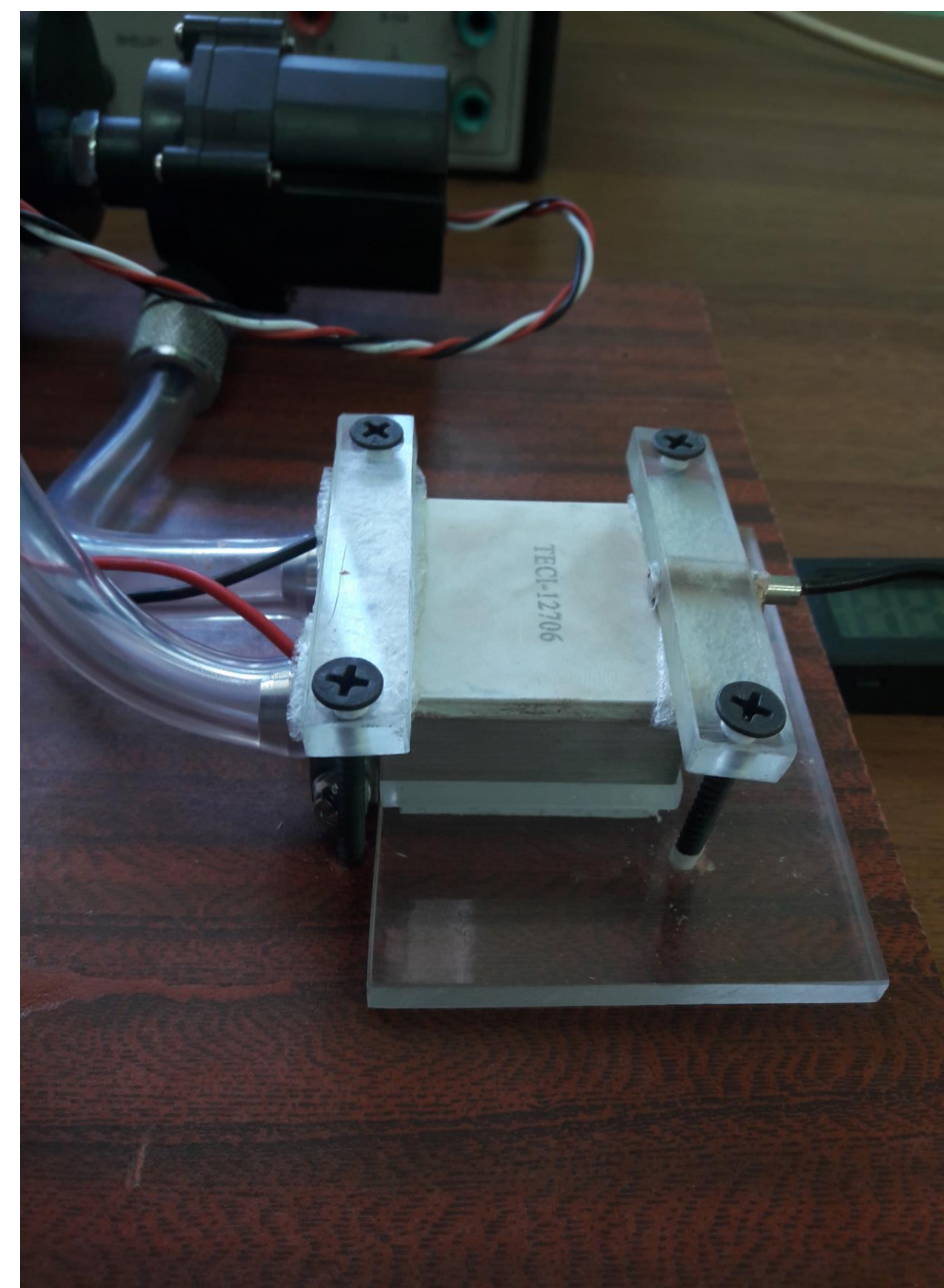
Насос с ёмкостью SC600



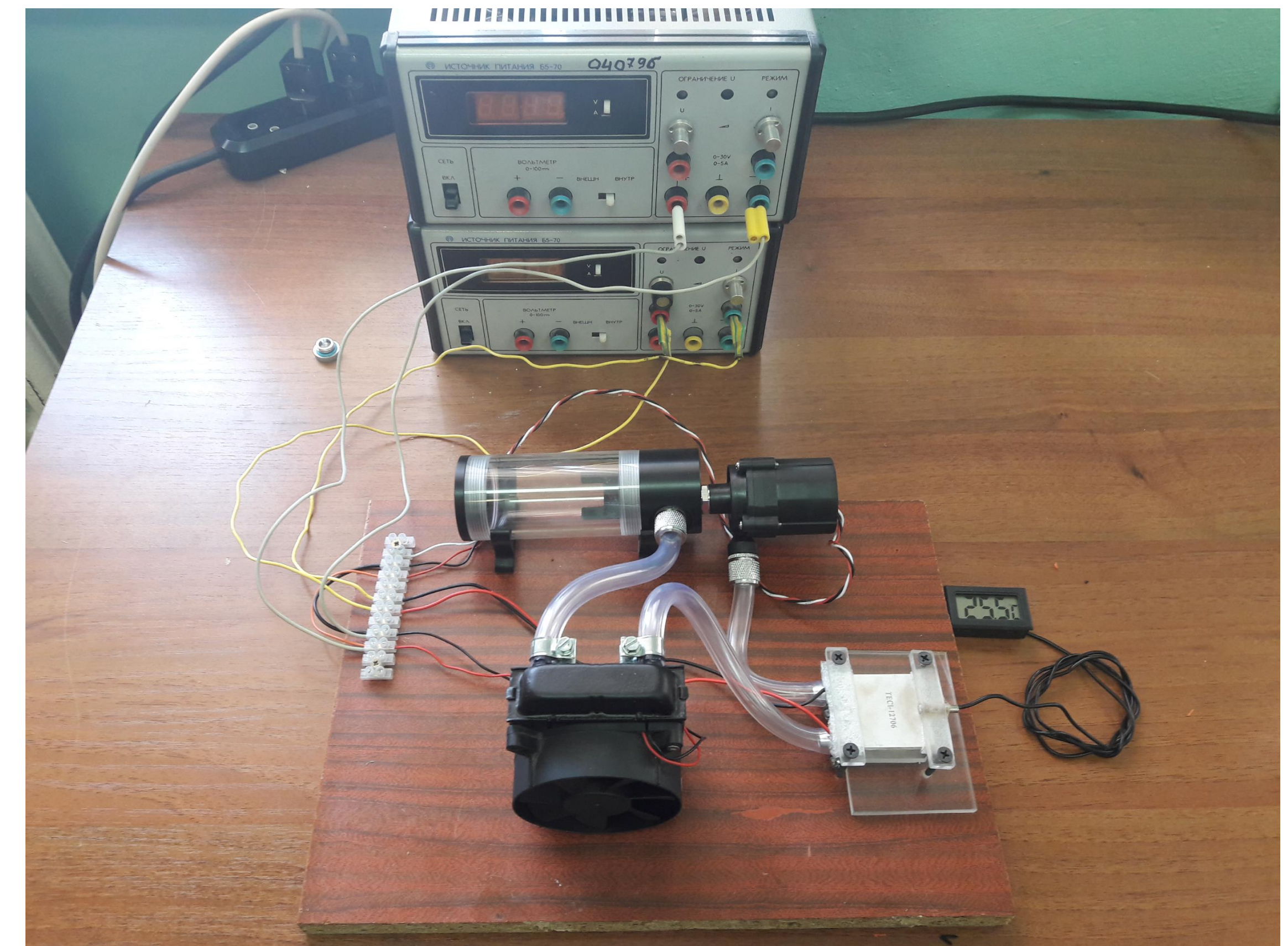
Термодатчик



ТЭМ TEC1_12706 и радиатор водяной



Общий вид установки



| | | | | | | | | |
|---------|------|--------------|---------|------|--|--------|----------|--------------------|
| | | | | | КП.154.003.15.03.04.ПЛ | | | |
| Изм | Лист | № документа | Подпись | Дата | Комплектующие установки | Литера | Масса | Масшт. |
| Разраб | | Вашич Р.А. | | | | У | | |
| Провер | | Усенко В.И. | | | | | | |
| Т.Контр | | Усенко В.И. | | | | Лист 5 | Листов 6 | |
| Н.Контр | | Скрижко О.В. | | | Автоматизированная система регулирования температуры лабораторного термостолца | | | АМГУ гр. 541-од |
| Утв | | Скрижко О.В. | | | | | | |

| Формат | Зона | Поз. | Обозначение | Наименование | Кол. | Примечание |
|--------|------|------|-------------|--|------|------------|
| | | | | <u>Документация</u> | | |
| | | | | Пояснительная записка | 1 | |
| | | | | | | |
| | | | | <u>Оборудование</u> | | |
| | | 1 | | Кнопочная клавиатура | 1 | |
| | | 2 | | Радиатор воздушный | 1 | |
| | | 3 | | Радиатор водяной | 1 | |
| | | 4 | | Элемент Пельтье | 1 | |
| | | 5 | | Помпа | 1 | |
| | | 6 | | Термодатчик | 2 | |
| | | 7 | | Сегментный индикатор | 2 | |
| | | 8 | | Цифровой датчик температуры DS18B20 | 2 | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

КП.154.003.150304.СХ

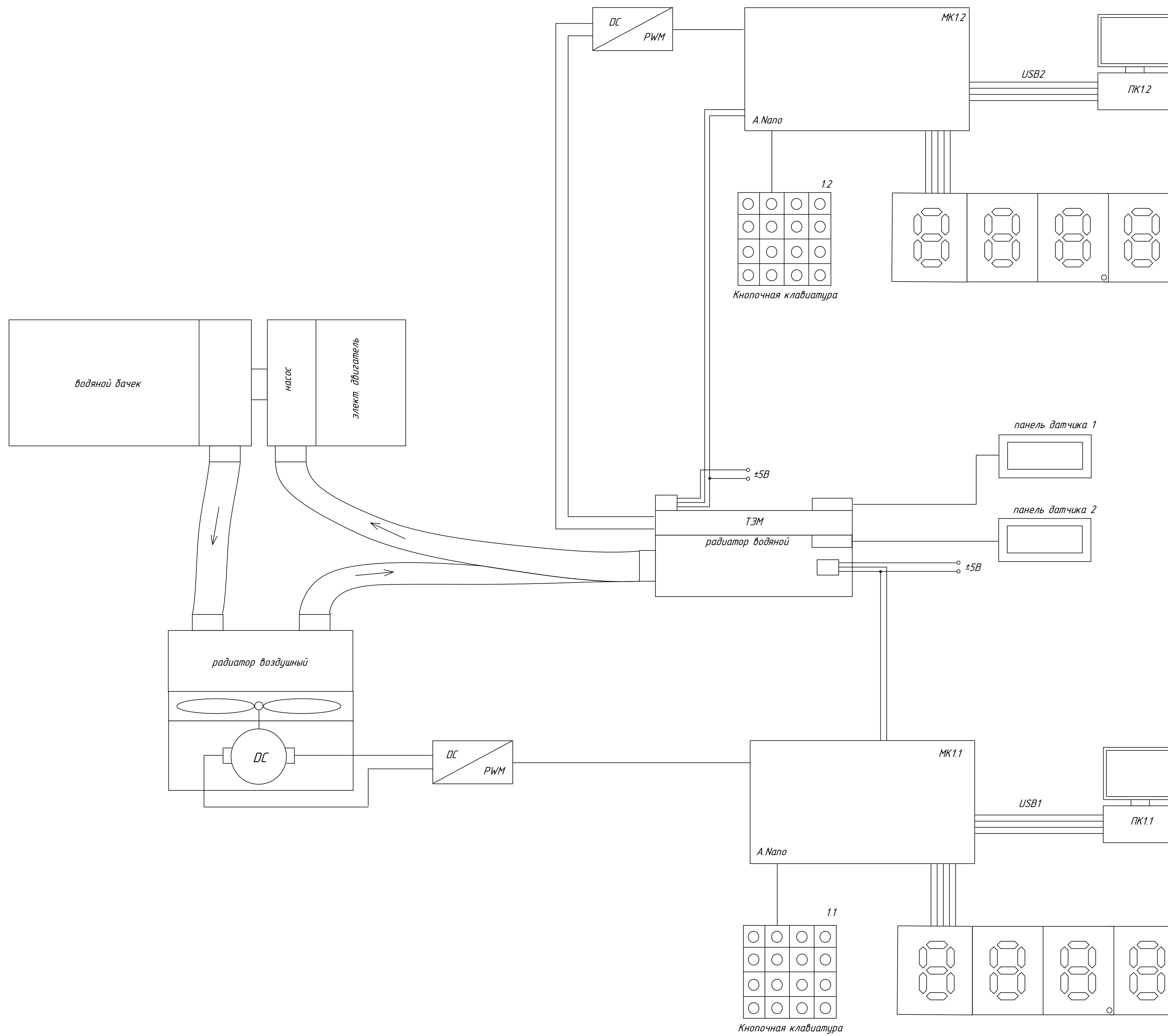
| Изм. | Кол. | Лист | № док | Подпись | Дата |
|-------------|------|--------------|-------|---------|------|
| Разработал | | Валуй Р.А. | | | |
| Проверил | | Усенко В.И. | | | |
| Т. Контроль | | Усенко В.И. | | | |
| Н. Контроль | | Скрипка О.В. | | | |
| Утв. | | Скрипка О.В. | | | |

Автоматизированная система
регулирования температуры
лабораторного термостолка

| Лит | Лист | Листов |
|-----|------|--------|
| У | 1 | 1 |

АмГУ группа 541

Общая структурная схема АСУ ТП



| | | | | | | | | |
|----------|--------------|-------------|---------|------------------------|--|--------|----------|--------|
| | | | | КП 154.003.15.03.04.СХ | | | | |
| Изм. | Лист | № документа | Подпись | Дата | СХЕМА ОХЛАДИТЕЛЯ | Литера | Масса | Масшт. |
| Разраб. | Валуй Р.А. | | | | | У | | |
| Провер. | Усенко В.И. | | | | | Лист 6 | Листов 6 | |
| Т.Контр. | Усенко В.И. | | | | | | | |
| Н.Контр. | Скрипка О.В. | | | | Автоматизированная система регулирования температуры лабораторного термостолца | | | |
| Утв. | Скрипка О.В. | | | | | | | |