

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

Беккожин Алихан Жанибекович

«Разработка измерителя скорости испарения воды»

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

6B07104 – Electronic and Electrical Engineering

Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»



ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой ЭТиКТ,
канд. техн. наук

Таштай Е.Т.

« 30 » 05 2024 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Разработка измерителя скорости испарения воды»

6B07104 – Electronic and Electrical Engineering

Выполнил

Беккожин А.Ж.

Рецензент

докт. техн. наук, профессор

Ауэс им. Г. Даукеева

Алмуратова Н.К.

2024 г.

Научный руководитель

канд. техн. наук

Жигалов В.А.

« 30 » 05 2024 г.



Алматы 2024

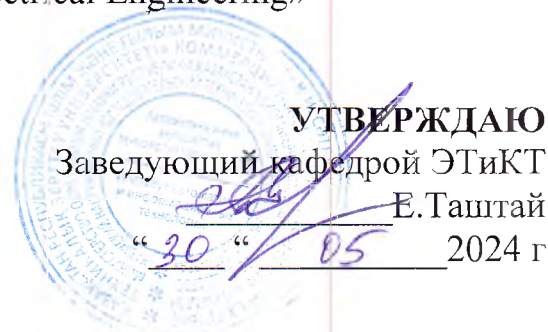
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

ОП «6B07104 Electronic and Electrical Engineering»



ЗАДАНИЕ на выполнение дипломной работы

Обучающемуся: Беккожин Алихан Жанибекович

Тема: Разработка измерителя скорости испарения воды

Утверждена приказом ректора университета № 548 от «04.12.2023»

Срок сдачи законченной работы «30» мая 2024 г.

Исходные данные к дипломной работе:

Для экспериментов по измерениям свойств водных растворов необходимо разработать измеритель скорости испарения воды из измерительной кюветы с контролем параметров окружающей среды (температура, влажность). Принцип работы измерителя: вода, испаряясь, меняет свой объём. Заключённая между обкладками измерительного конденсатора, вода в ходе естественного испарения будет менять эффективную диэлектрическую проницаемость. Схема измерителя должна выдавать в качестве основного измеряемого параметра частоту генератора с включённым в LC контур измерительным конденсатором. Вывод измеряемых параметров через UART на компьютер с периодом 1 с. Температурная стабильность частоты генератора: не хуже 500 ppm/С.

Краткое содержание дипломной работы:

- 1 Выбор схемных и конструктивных решений для измерителя.
- 2 Разработка схемы генератора.
- 3 Разработка печатной платы генератора.
- 4 Разработка программы микроконтроллера цифровой части.
- 5 Создание действующей макетной реализации измерителя

6 Подбор ТКЕ для достижения требуемой температурной стабильности генератора.

7 Выполнение тестовых испытаний измерителя.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1 Блок-схема измерителя.

2 Принципиальная электрическая схема генератора.

3 Схема печатной платы измерителя.

4 Чертёж измерительного конденсатора.

5 Фото макетной реализации измерителя.

6 Примеры графиков измеренных параметров.

Рекомендуемая основная литература:

1 Григорьев В.В., Быстров С.В., Бойков В.И., Болтунов Г.И., Мансурова О.К. Цифровые системы управления: Учебное пособие. - Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2019. - 133 с. (<https://books.ifmo.ru/book/2306/>, PDF скан книги).

2 Семейство микроконтроллеров MSP430x2xx. Архитектура. Программирование. Разработка приложений. – М.: ДМК-Пресс, 2015 г. - 544 с. (<https://www.elec.ru/library/info/mikrokontrollery-msp430x2xx/>, PDF скан книги).

3 Хоровиц, Хилл: Искусство схемотехники. Бином. 2022 г. 704 с. (<https://habr.com/ru/articles/806537/>)


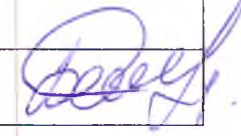
4 Ю.Ревич. Занимательная электроника. БХВ-Петербург ВHV, 2017 г. – 640 с. (<https://www.elec.ru/library/nauchnaya-i-tehnicheskaya-literatura/zanimatelnaya-elektronika-revich/>, PDF скан книг).

ГРАФИК
подготовки дипломной работы (проекта)

Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Выбор схемных и конструктивных решений для измерителя	01.02.2024	Выполнено
Разработка схемы генератора. Разработка печатной платы генератора	15.02.2024	Выполнено
Создание первой макетной реализации измерителя	01.03.2024	Выполнено
Создание второй макетной реализации измерителя	01.04.2024	Выполнено
Выполнение тестовых испытаний измерителя	15.04.2024	Выполнено

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Основная часть	Ассоциированный профессор, кандидат технических наук Жигалов В.А.	30.05.2024	
Нормоконтролер	Ақылжан П.Б. м.т.н., ассистент каф. ЭТиКТ	30.05.2024	

Научный руководитель  Жигалов В.А.

Задание принял к исполнению обучающийся  Беккожин А.Ж.

Дата

« 30 » 05 2024 г.

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа на тему "Разработка измерителя скорости испарения воды" содержит текст, который изложен на 30 страницах, на которых 21 рисунок и 9 формул. При написании работы использовалось 7 источников.

Во введении описывается направление, актуальность, цель и задачи работы. В 1 главе описывается обзор существующих методов и приборов. Во 2 главе рассмотрены теоретические основы и моделирование процесса испарения воды, и выбор компонентов. В 3 главе рассмотрено разработка печатной платы, сборка макета и проведение экспериментов. В заключительной части подводится итог по всей проведенной работе.

АҢДАТПА

"Судың булану жылдамдығын өлшегішті әзірлеу" тақырыбындағы дипломдық жұмыс 30 бетте көрсетілген мәтін, онда 21 сурет және 9 формула бар. Жұмысты жазу кезінде 7 дереккөз пайдаланылды.

Кіріспеде жұмыстың бағыты, өзектілігі, мақсаты мен міндеттері сипатталған. 1 тарауда қолданыстағы әдістер мен құрылғыларға шолу сипатталған. 2 тарауда судың булану процесінің теориялық негіздері мен модельдеуі және компоненттерді таңдау қарастырылған. 3 тарауда ПХД әзірлеу, макет құрастыру және эксперименттер жүргізу қарастырылған. Қорытынды бөлімде жүргізілген барлық жұмыстар бойынша қорытынды шығарылады.

ANNOTATION

Thesis on the topic "Development of a water evaporation rate meter" text, which is presented in 30 pages, on which 21 drawings and 9 formulas. Seven sources were used for writing the work.

The introduction describes the direction, relevance, purpose and objectives of the work. Chapter 1 describes an overview of existing methods and instruments. The second chapter describes the theoretical basis and modelling of the water evaporation process, and the choice of components. Chapter 3 deals with PCB development, layout assembly and experiments. The final part summarizes the work done.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	8
1 Обзор существующих методов и приборов	10
2 Теоретические основы и моделирование процесса испарения воды	15
2.1 Выбор компонентов	19
3 Практическая часть	25
3.1 Разработка печатной платы	25
3.2 Сборка макета	28
3.3 Проведение экспериментов	33
Заключение	37
Список используемой литературы	38

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важных физических процессов, происходящих постоянно на Земле, является испарение воды или превращение жидкости в пар.

Во многих человеческих начинаниях, таких как сельское хозяйство, климатология, промышленность и медицина, испарение воды имеет важное значение. Например, важным компонентом глобального водного цикла является циркуляция атмосферных вод, вызываемая испарением с поверхности озер, океанов и суши. Это влияет на то, как формируются облака и осадки и как регулируется температура Земли.

Точная оценка скорости испарения воды имеет решающее значение для понимания и регулирования этой процедуры в дополнение к разработке эффективных стратегий водопользования и рационализации производственных процедур. Существует множество факторов, влияющих на скорость испарения жидкости:

Свойства жидкостей: скорость испарения жидкости определяется различными факторами, включая ее молекулярную массу и межмолекулярные взаимодействия. В качестве примера можно рассказать, что из-за слабых межмолекулярных связей и меньшей молекулярной массы спирт испаряется быстрее, чем вода при одинаковой температуре.

Температура жидкости: при повышении температуры жидкости также повышается и ее скорость испарения. Это является результатом более высокой кинетической энергии нагреваемых молекул.

Площадь поверхности: существует больше возможностей для жидких молекул, чтобы покинуть поверхность и войти в газообразную фазу, чем больше площадь поверхности, через которую жидкость может испариться.

Поток воздуха: скорость испарения ускоряется наличием воздушного потока, который способствует обмену молекул между поверхностью жидкости и ее окружением.

Давление насыщенного пара: поскольку существует меньше молекул жидкости с достаточной энергией для входа в газообразную фазу, высокое давление насыщенных паров уменьшает скорость испарения.

В данной дипломной работе мы разрабатываем измеритель скорости испарения воды из измерительной кюветы с контролем параметров окружающей среды (температура, влажность). Принцип работы измерителя: вода, испаряясь, меняет свой объём. Заключённая между обкладками измерительного конденсатора, вода в ходе естественного испарения будет менять эффективную диэлектрическую проницаемость.

Для исследований по измерению свойств водных растворов, описание рабочего принципа воды в измерительном измерителе скорости испарения рва с экологическим контролем является захватывающим и очень уместным. Объясним, почему создание такого счетчика является реальной и важной задачей:

Контроль параметров окружающей среды: при проведении экспериментов крайне важно контролировать температуру и влажность окружающей среды, поскольку эти факторы оказывают большое влияние на скорость испарения воды и следовательно, характеристики, которые изучаются. Создание измерителя, который может автоматически регулировать и изменять эти настройки, гарантирует более надежные и точные результаты эксперимента.

Принцип работы: эффективный способ измерения скорости испарения заключается в изменении эффективной диэлектрической проницаемости воды в измерительном конденсаторе при ее испарении. Без непосредственного контакта с измеряемым материалом этот метод позволяет получить информацию о скорости испарения воды. Эта информация может быть очень полезной при работе с биологическими пробами или химическими реагентами.

Параметр, измеряемый главным образом: практичным и точным методом оценки скорости испарения воды является измерение частоты генератора с использованием измерительного конденсатора, который является частью контура LC в качестве основного измеряемого параметра. Такой подход обеспечивает высокую чувствительность и стабильность измерений.

Вывод данных: вы можете легко и быстро контролировать процесс испарения и оценить собранные данные, имея возможность передавать измеряемые параметры через UART к компьютеру менее чем за одну секунду. Это особенно важно при проведении долгосрочных исследований или отслеживании изменений в экологических условиях.

Стабильность температуры: несмотря на изменения температуры окружающего воздуха, критерий стабильности температуры частоты генератора 500 ppm/°C гарантирует точность измерения и надежность. Это позволяет собирать данные о согласованности и учитывать, как изменения температуры влияют на результаты эксперимента.

1 Обзор существующих методов и приборов

Измерители скорости испарения воды имеют широкий спектр применения в различных областях научных и технических исследований. Они играют ключевую роль в сельском хозяйстве, климатологии, промышленности и медицине. Например, в сельском хозяйстве они применяются для контроля влажности почвы, оптимизации полива и управления водным балансом, что способствует повышению урожайности и эффективности сельскохозяйственного производства. В климатологии измерители испарения используются для изучения гидрологических циклов и изменений климата, что позволяет более точно прогнозировать погоду и анализировать климатические тренды.

Применение измерителей скорости испарения воды также находит свое место в промышленности, где они используются для контроля и оптимизации процессов испарения в различных отраслях производства. Например, они могут использоваться в химической промышленности для контроля испарения растворов или в пищевой промышленности для мониторинга испарения при производстве различных продуктов. В медицине измерители испарения воды играют важную роль в диагностике и контроле состояния организма, позволяя оценить гидратацию кожи и общий уровень гидратации организма.

Существует разнообразие методов и приборов для измерения скорости испарения воды.

Гравиметрические измерители: гравиметрические измерители скорости испарения воды основаны на принципе изменения массы испаряющейся жидкости с течением времени. Этот метод измерения является одним из наиболее точных и широко используется в научных исследованиях, а также в промышленности и климатологии.

Принцип работы гравиметрического измерителя прост: сначала контейнер с жидкостью взвешивается на точных весах или гравиметрах до начала эксперимента. Затем через определенные временные интервалы контейнер снова взвешивается. Разница в массе между начальным и конечным измерениями позволяет вычислить количество испаренной жидкости.

Этот метод обладает высокой точностью и позволяет проводить измерения в широком диапазоне условий. Однако он требует использования точных весов или гравиметров, что может сделать его несколько затратным в использовании. Гравиметрические измерители часто используются в исследованиях в области климатологии, гидрологии, агрономии и других областях, где точные данные о скорости испарения воды имеют важное значение для понимания различных процессов и явлений.



Рисунок 1.1 – Гравиметрический измеритель микропотока

Эвапориметры представляют собой приборы, разработанные для измерения скорости испарения воды с поверхности жидкости. Они широко применяются в научных исследованиях, климатологии, сельском хозяйстве и других областях, где необходимо оценивать процессы испарения и транспирации воды.

Основной элемент эвапориметра — это эвапорирующая чашка, которая заполнена водой и подвергается испарению. Измерение скорости испарения происходит путем отслеживания изменения уровня воды в чашке за определенный период времени. В зависимости от конструкции и типа эвапориметра, процесс измерения может быть автоматизированным или требовать ручного вмешательства оператора.

Существует несколько типов эвапориметров. Классические эвапориметры, такие как тип "А", представляют собой простые приборы, в которых эвапорация происходит в условиях открытой атмосферы. Они обеспечивают базовые данные о скорости испарения и могут использоваться для оценки общего уровня испарения в данном регионе.

Современные электронные эвапориметры представляют собой более продвинутые приборы, оснащенные датчиками и системами автоматической регистрации данных. Они обеспечивают более точные и непрерывные измерения скорости испарения и могут быть интегрированы в автоматизированные системы мониторинга.

Эвапориметры играют важную роль в климатологических исследованиях, где они используются для оценки водного баланса, изучения гидрологических циклов и анализа климатических изменений. Они также применяются в сельском хозяйстве для контроля влажности почвы, оптимизации полива и оценки водных ресурсов.



Рисунок 1.2 – Эвапорометр

Инфракрасные датчики: инфракрасные датчики влажности — это устройства, которые используют инфракрасное излучение для измерения влажности воздуха вокруг испаряющейся поверхности. Они представляют собой важный класс сенсоров, широко применяемых в различных областях, таких как метеорология, климатология, сельское хозяйство, а также в промышленности и научных исследованиях.

Принцип работы инфракрасных датчиков влажности основан на изменении интенсивности инфракрасного излучения, проходящего через воздух, в зависимости от его влажности. Эти датчики обычно состоят из инфракрасного источника, оптической системы для фокусировки излучения и датчика для регистрации изменений интенсивности.

Когда воздух вокруг испаряющейся поверхности насыщается влагой, интенсивность инфракрасного излучения, проходящего через воздух, увеличивается. Это происходит из-за изменений в индексе преломления водяного пара в воздухе. Путем измерения изменений в интенсивности инфракрасного излучения с помощью датчика, можно определить уровень влажности воздуха в данном месте.

Инфракрасные датчики влажности обладают несколькими преимуществами, включая высокую чувствительность, быстрое действие и отсутствие необходимости в контакте с измеряемым объектом. Они могут работать в широком диапазоне температур и влажностей, что делает их универсальным средством измерения влажности в различных условиях.

Эти датчики часто применяются в более автоматизированных системах мониторинга, где они предоставляют непрерывные данные о скорости испарения

воды. Они могут быть интегрированы в метеостанции, климатические датчики, системы автоматического полива и другие устройства для мониторинга и контроля влажности воздуха и почвы.



Рисунок 1.3 – Инфракрасный датчик влажности для почвы PR55-2B

Каждый из этих методов и приборов обладает своими преимуществами и областью применения, что делает их важными инструментами для научных исследований, инженерных разработок и промышленных приложений.

Но также современные измерители скорости испарения воды имеют ряд недостатков, которые ограничивают их эффективность и точность. Один из основных недостатков заключается в высокой стоимости оборудования, что делает их недоступными для широкого использования, особенно в развивающихся странах или небольших исследовательских учреждениях. Текущие технологии также часто требуют сложного обслуживания и калибровки, что требует специализированного технического знания и навыков.

Другим значительным недостатком является недостаточная точность измерений при изменении внешних условий, таких как температура, влажность и давление. Многие устройства чувствительны к этим изменениям, что может привести к неточным результатам. В то же время, многие современные измерители не обладают достаточной долговечностью и устойчивостью к агрессивным средам, что ограничивает их применение в суровых климатических условиях или в промышленности.

Кроме того, многие из существующих устройств для измерения скорости испарения воды имеют ограниченные возможности для передачи данных и интеграции с современными системами сбора и анализа данных. Это затрудняет автоматизацию процессов и требует дополнительных усилий для обработки и интерпретации данных. Отсутствие стандартизации в измерительных методах и

оборудовании также приводит к проблемам совместимости и сравнительности результатов между различными устройствами и исследованиями.

Наконец, большинство современных измерителей являются стационарными и громоздкими, что делает их неудобными для использования в полевых условиях. Переносные устройства, как правило, имеют еще меньшую точность и надежность, что ограничивает их применение для точных научных исследований и промышленных нужд. Все эти недостатки подчеркивают необходимость в разработке новых, более доступных, точных, долговечных и универсальных измерителей скорости испарения воды.

2 Теоретические основы и моделирование процесса испарения воды

Теоретические основы и моделирование процесса испарения воды охватывают широкий спектр научных подходов и методов, которые используются для понимания и предсказания поведения воды в различных условиях. Испарение — это процесс перехода воды из жидкого состояния в газообразное, происходящий на поверхности воды. Основные факторы, влияющие на испарение, включают температуру, влажность, скорость ветра и давление.

С физической точки зрения, процесс испарения можно описать с помощью уравнений баланса энергии и массы. Одним из ключевых уравнений является уравнение Клаузиуса-Клапейрона, которое описывает зависимость давления насыщенного пара от температуры. Это уравнение помогает понять, как изменение температуры влияет на скорость испарения. Чем выше температура, тем больше молекул воды имеют достаточную энергию для преодоления поверхностного натяжения и перехода в газообразное состояние.

Важным аспектом теоретического понимания испарения является роль кинетической энергии молекул воды. Молекулы воды в жидкости находятся в постоянном движении, и некоторые из них могут обладать достаточной энергией для выхода из жидкой фазы. Скорость испарения определяется числом таких молекул, покидающих поверхность воды. Это число зависит от температуры воды и окружающей среды: более высокие температуры приводят к увеличению кинетической энергии молекул и, следовательно, к более высокой скорости испарения.

Для моделирования процесса испарения воды используются различные математические модели. Одной из простейших моделей является модель массы-передачи, которая учитывает градиенты концентраций водяного пара над поверхностью воды и перенос массы за счет диффузии. Более сложные модели включают в себя уравнения Навье-Стокса для описания движения воздуха и водяного пара в атмосфере. Эти модели учитывают не только диффузию, но и конвекцию, а также взаимодействие испарения с другими процессами, такими как конденсация и осадки.

Основное уравнение Навье-Стокса для несжимаемой жидкости записывается в векторной форме как:

$$\rho \left(\frac{du}{dt} + (u * \nabla)u \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 u + f \quad (2.1)$$

где u – вектор скорости жидкости;

t – время;

p – давление;

μ – динамическая вязкость;

ρ – плотность жидкости;

∇ – оператор набла;

∇^2 – оператор Лапласа;

f – внешняя сила на единицу объема.

Первый член уравнения представляет собой изменение импульса жидкости с течением времени. Второй член описывает конвективное перенесение импульса в потоке. Члены с градиентом давления и вязкостью учитывают силы давления и вязкие силы соответственно. Наконец, f включает внешние силы, такие как гравитация.

Рассмотрим теперь применение уравнений Навье-Стокса к процессу испарения воды. При моделировании испарения важно учитывать, что на границе раздела фаз жидкость-газ происходит изменение плотности и температуры. В этом случае уравнение Навье-Стокса помогают описать движение жидкости вблизи поверхности испарения, где создаются градиенты скорости и давления.

Для более точного моделирования испарения необходимо учитывать дополнительное уравнение энергии, которое описывает тепловые процессы:

$$\rho c_p \left(\frac{dT}{dt} + (u * \nabla)T \right) = k \nabla^2 T + \Phi \quad (2.2)$$

где T – температура;

k – теплопроводность;

Φ – источник тепла.

Система уравнений Навье-Стокса вместе с уравнением энергии позволяет описать сложные процессы взаимодействия между гидродинамическими и тепловыми полями, что особенно важно для моделирования испарения.

Моделирование этих процессов часто требует численных методов, таких как метод конечных элементов или метод конечных разностей. Эти методы позволяют решить сложные дифференциальные уравнения на сетке вычислительных точек, что дает возможность исследовать динамику испарения воды в различных условиях.

Таким образом, уравнения Навье-Стокса являются фундаментальными для понимания и моделирования процессов гидродинамики, включая испарение воды. Они описывают движение жидкости под воздействием внутренних и внешних сил и могут быть расширены для учета тепловых эффектов, что делает их незаметными в инженерных и научных исследованиях.

Одним из популярных методов моделирования испарения является использование энергетического баланса. В этой методике учитываются все источники и потоки энергии, влияющие на процесс испарения: солнечная радиация, инфракрасное излучение, тепло, передаваемое через атмосферу, и тепло, выделяемое при конденсации водяного пара. Уравнение энергетического баланса позволяет рассчитать количество энергии, необходимое для испарения определённого объёма воды, и, соответственно, скорость испарения.

В контексте испарения воды, уравнение энергетического баланса можно записать как:

$$R_n - G - H - LE = 0 \quad (2.3)$$

где R_n – чистая радиация (нетто-радиация);

G – тепловой поток в грунт;

H – поток чувствительного тепла;

LE – поток скрытого тепла.

Чистая радиация R_n представляет собой разницу между входящей и исходящей радиацией на поверхности. Входящая радиация включает солнечную радиацию, тогда как исходящая радиация включает длинноволновое излучение, испускаемое поверхностью и отражённое излучение.

Тепловой поток в грунт учитывает количество тепла, которое проникает в почву и не используется в процессе испарения. Этот компонент важен для оценки теплового баланса на поверхности, особенно в дневное и ночное время.

Поток чувствительного тепла (H) – это тепло, передаваемое от поверхности к воздуху через конвекцию и кондукцию. Это тепло изменяет температуру воздуха и зависит от разности температур между поверхностью и воздухом, а также от скорости ветра, который увеличивает перенос тепла.

Поток скрытого тепла (LE) – это количество энергии, используемое для испарения воды. Оно пропорционально скорости испарения и рассчитывается по формуле:

$$LE = \lambda E \quad (2.4)$$

где λ – скрытая теплота испарения воды (~ 2.45 МДж/кг);

E – количество испаренной воды (кг/м²/с).

Для вычисления всех этих потоков используются различные методы и инструменты. Например, чистая радиация может быть измерена с помощью радиометров или рассчитана на основе метеорологических данных. Поток чувствительности тепла часто рассчитывается с использованием формулы:

$$H = \rho c_p \left(\frac{T_s - T_a}{r_a} \right) \quad (2.5)$$

где ρ – плотность воздуха;

T_s – температура поверхности;

T_a – температура воздуха;

r_a – аэродинамическое сопротивление.

Компьютерное моделирование играет важную роль в современных исследованиях испарения. С помощью компьютерных моделей можно симулировать сложные взаимодействия между различными факторами, влияющими на испарение, и получать точные прогнозы для различных климатических и географических условий. Эти модели помогают учёным и инженерам разрабатывать эффективные методы управления водными

ресурсами, прогнозировать погодные условия и оценивать влияние климатических изменений на водный баланс.

Для валидации теоретических моделей и компьютерных симуляций часто используются экспериментальные данные. Лабораторные эксперименты и полевые измерения предоставляют необходимые данные для проверки и калибровки моделей, что позволяет улучшать их точность и надёжность.

Для более точного описания и предсказания процесса испарения применяются различные модели. Одним из наиболее популярных и надежных методов расчета испарения и эвапотранспирации, особенно в гидрологии, сельском хозяйстве и климатологии, является модель Пенмана - Монтеффа. Эта модель учитывает как эмпирические данные, так и физические концепции, чтобы объяснить, как различные элементы, такие как температура воздуха, влажность, скорость ветра и радиационный баланс, влияют на процесс испарения.

Основное уравнение модели Пенмана-Монтеффа можно выразить следующим образом:

$$E = \Delta(Rn - G) + \frac{\gamma \frac{900}{T+273} u^2 (es - ea)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u^2)} \quad (2.6)$$

где E – эвапотранспирация (мм/день);

Δ – наклон кривой давления насыщенного пара (кПа/°C);

Rn – чистая радиация на поверхность (МДж/м²/день);

G – плотность теплового потока в грунт (МДж/м²/день);

γ – психометрическая постоянная (кПа/°C);

T – средняя суточная температура воздуха (°C);

u^2 – скорость ветра на высоте 2 м. (м/с);

es – давление насыщенного пара (кПа);

ea – фактическое давление пара (кПа).

Компоненты уравнения описывают различные аспекты процесса испарения. Чистая радиация Rn учитывает солнечную радиацию, которая достигает поверхности воды или растительности, минус длинноволновое излучение, которое излучается обратно в атмосферу. Тепловой поток в грунт G учитывает количество тепла, которое проникает в почву и не используется в процессе испарения.

Параметр Δ представляет собой наклон кривой давления насыщенного пара, который показывает, как давление пара изменяется с температурой. Этот параметр можно рассчитать по формуле:

$$\Delta = \frac{4098 \left(0,6108 e^{\left(\frac{17,27T}{T+237,3} \right)} \right)}{(T+237,3)^2} \quad (2.7)$$

Психометрическая постоянная учитывает влияние влажности воздуха на испарение и определяется как:

$$\gamma = \frac{c_p \Gamma}{\lambda} \quad (2.8)$$

где: P – атмосферное давление (кПа);

λ – скрытая теплота испарения (~2.45 МДж/кг.);

c_p – удельная теплоёмкость воздуха при постоянном давлении (~1.013 кДж/кг/°С).

Скорость ветра u_2 играет значительную роль в испарении, так как перемещение воздушных масс увеличивает перенос водяного пара от поверхности. Это способствует более быстрому испарению.

Модель Пенмана–Монтеффа обеспечивает точные оценки эвапотранспирации, комбинируя все вышеперечисленные факторы в одно уравнение. Это позволяет учитывать разнообразные климатические условия и получать надежные данные для различных практических применений, таких как управление водными ресурсами, агрономия и прогнозирование климатических изменений. В итоге, модель Пенмана-Монтеффа является важным инструментом для инженеров и ученых, работающих в сфере изучения и управления процессами испарения воды.

Кроме того, для более детального моделирования процесса испарения применяются численные методы, такие как компьютерная гидродинамика. Эти методы позволяют учитывать сложные физические процессы, такие как конвекция и турбулентность, и применяются в различных областях, включая инженерное дело, климатические исследования и гидрологию.

Таким образом, теоретические основы и моделирование процесса испарения воды представляют собой комплексный подход, включающий физические принципы, математические модели и компьютерные симуляции. Эти методы позволяют глубже понять процессы, происходящие на микро- и макроуровне, и разрабатывать эффективные стратегии для управления водными ресурсами и прогнозирования климатических изменений.

2.1 Выбор компонентов

Перед началом работы стоит определить, что будет входить в измеритель скорости испарения воды. Макет устройства будет включать в себя: генератор, микроконтроллер MSP430, ЖК-дисплей, водный конденсатор, ноутбук и датчик температуры и влажности.

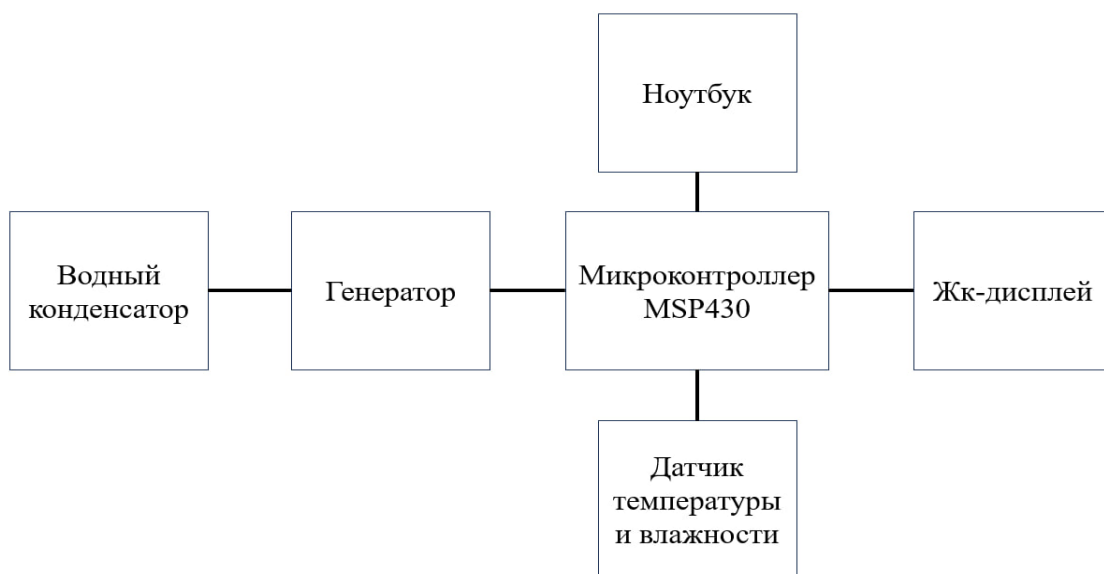


Рисунок 2.1 – Блок-схема устройства

Сначала рассмотрим микроконтроллер MSP430. В рамках устройства, использующего процесс испарения воды, был применен микроконтроллер MSP430 для управления процессом и сбора данных. Микроконтроллер MSP430 — это семейство встраиваемых микроконтроллеров, разработанных компанией Texas Instruments. Он представляет собой один из самых энергоэффективных микроконтроллеров на рынке, обладающий низким энергопотреблением и широкими возможностями встроенной периферии.

Вот несколько причин, почему MSP430 стоит использовать в измерителе скорости испарения воды:

Низкое энергопотребление: одним из главных преимуществ MSP430 является его низкое энергопотребление. Это делает его идеальным выбором для устройств, работающих от батарейного питания или солнечных батарей. Испарительные измерители часто используются на удаленных местах, где доступ к электропитанию ограничен, поэтому низкое энергопотребление MSP430 делает его подходящим выбором для таких приложений.

Малый размер и интеграция: он имеет компактный размер и высокую интеграцию что делает его удобным для интеграции в устройства с ограниченным объемом или пространством. Эта особенность важна для измерителей, где компактные размеры и низкое энергопотребление являются ключевыми требованиями.

Широкий набор периферии: MSP430 обладает обширным набором периферийных устройств, таких как аналогово-цифровые преобразователи, таймеры, счетчики, порты ввода-вывода и другие. Это позволяет легко реализовывать различные функции и обеспечивать точные измерения скорости испарения воды с использованием датчиков и других устройств.

Надежность и стабильность: MSP430 характеризуется высокой надежностью и стабильностью работы, что важно для приложений, требующих

длительной и непрерывной работы. В измерителях скорости испарения воды, где точность и стабильность измерений критически важны, использование надежного микроконтроллера играет важную роль.

Программируемость: MSP430 программирование производится на языке “С” (или же Си) с использованием интегрированной среды разработки. Это делает его доступным для широкого круга разработчиков и обеспечивает гибкость в настройке и оптимизации программного обеспечения для конкретных требований измерителя.

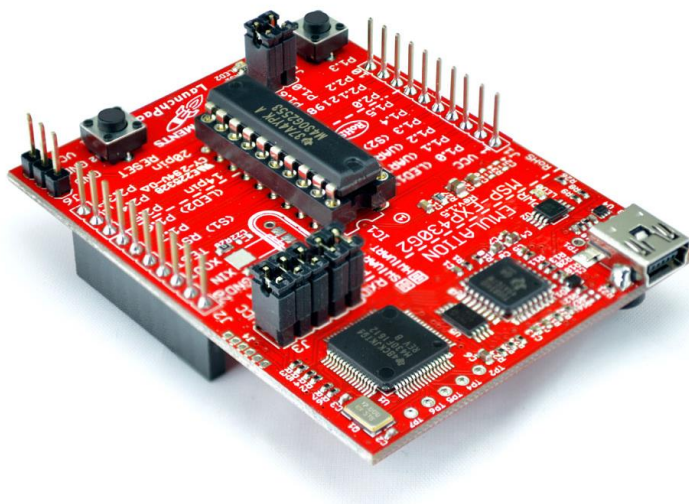


Рисунок 2.2 – Микроконтроллер MSP430

В печатной плате используются транзисторы VF245C, BC547 и BC557B, стабилитрон 78L06 в корпусе TO-92, выводные конденсаторы, smd резисторы и конденсаторы.

Транзистор VF245C представляет собой полевой транзистор типа JFET с обеднением канала. Этот тип транзисторов обладает рядом характеристик, делающих его привлекательным для использования в различных электронных устройствах.

VF245C отличается высоким напряжением стока, низким стоковым током и высоким входным сопротивлением. Эти характеристики делают его подходящим для использования в усилительных схемах, где важна высокая точность передачи сигнала и минимальные искажения.

Он широко применяется в радиоприемниках, аудио усилителях, генераторах сигналов и других аналоговых устройствах, где требуется усиление или обработка сигналов. Его также можно встретить в источниках тока, стабилизаторах напряжения и других схемах.

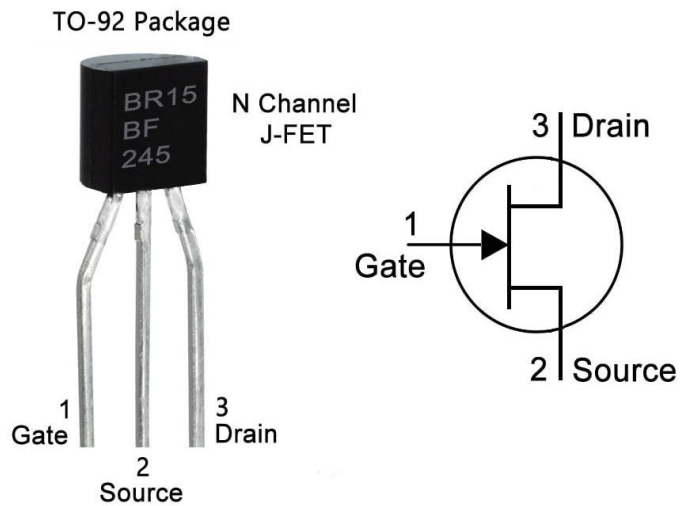


Рисунок 2.3 – Распиновка транзистора BF245C

Транзистор BC547 — это типичный биполярный низкочастотный универсальный транзистор, который широко используется в электронике для усиления слабых сигналов, коммутации малых нагрузок и других подобных целей. Он относится к классу транзисторов NPN, что означает, что ток протекает от эмиттера к коллектору, когда на базу подается достаточное напряжение.

BC547 имеет отличные характеристики для работы в низкочастотных усилителях и обычно используется в аудио усилителях, радиоприемниках, генераторах сигналов и других подобных устройствах. Он также может быть использован в цифровых схемах для коммутации малых нагрузок, таких как светодиоды или реле.

Основные характеристики транзистора BC547 включают его низкий коэффициент усиления тока, низкий уровень шума, низкий уровень обратного тока и способность работать при относительно низких напряжениях и токах. Эти характеристики делают его подходящим для использования в широком диапазоне электронных схем.

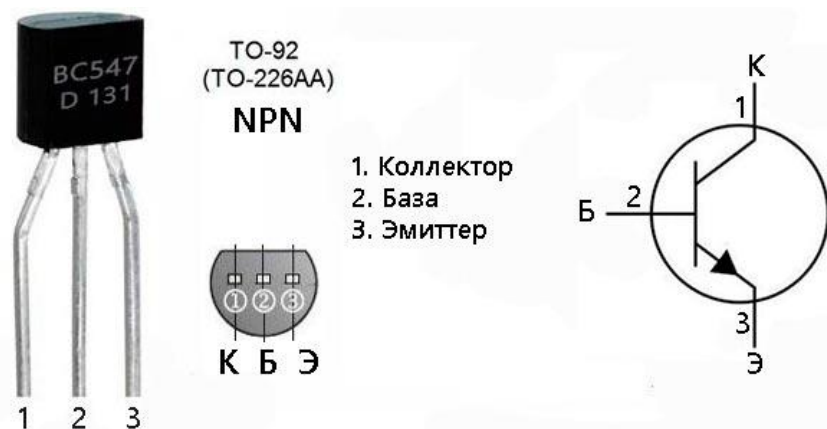


Рисунок 2.4 – Распиновка транзистора BC547

Транзистор BC557B – это биполярный транзистор типа PNP, который широко используется в различных электронных схемах и устройствах. Он предназначен для применения в качестве усилителя и переключателя и благодаря своим характеристикам находит применение в качестве усилителя и переключателя, стабилизаторах напряжения, и других низковольтных устройствах. Транзистор BC557B имеет три основных вывода: коллектор, база и эмиттер. Включение PNP транзистора происходит, когда базовый ток течет к эмиттеру что позволяет основному току течь от коллектора к эмиттеру.

Обычно для этого транзистора используются низко шумные и низковольтные цепи. Его качества делают его идеальным для использования в каскадах усиления, где требуется низкий уровень шума и хорошее усиление сигнала. При использовании в приложении транзистор работает в активном режиме, посылая сигнал от базы к выходу коллектора, усиливая его. В цифровых схемах часто используется коммутатор BC557B. В этом случае транзистор функционирует как режим отсечения, когда он полностью выключен, и как режим насыщения, когда он полностью включен. Транзистор может проводить максимальное количество тока в режиме насыщения из-за низкого напряжения между излучателем и коллектором, что приводит к низкому сопротивлению пути для сигнала. В режиме отсечки транзистор не пропускает ток, эффективно разрывая цепь.

Популярным стабилизатором низкого потребления напряжения для поддержания постоянного напряжения питания в электронном оборудовании является стабилизатор 78L06. Несмотря на колебания входного напряжения и температуры, он поддерживает стабильное выходное напряжение около 6 вольт с минимальным шумом и сильной стабильностью.

Многочисленные электрооборудование, такие как электропитание, микроконтроллеры, аудио усилители, радиоприемники и другие, используют 78L06. Он является неотъемлемой частью многих конструкций, так как он предоставляет устойчивую, надежную энергию для включения электронных компонентов.

Ключевыми характеристиками стабилизатора 78L06 являются превосходная стабильность времени и температуры, высокая точность выходного напряжения, защита от короткого замыкания и перегрузки, а также низкое энергопотребление.

Поскольку он поставляется в небольшом корпусе TO-92, 78L06 легко установить и включить в различные электронные схемы. Это также хорошо любимый вариант для разработчиков и энтузиастов электроники из-за его доступности и широкого спектра приложений.

Водный конденсатор играет важную роль в измерителях скорости испарения воды, обеспечивая точное определение изменений объема воды. Конструкция водного конденсатора основана на использовании воды в качестве диэлектрика, расположенного между двумя электродами, которые могут быть сделаны из материалов, таких как медь или алюминий, и расположены параллельно друг другу. Основной принцип работы водного конденсатора

заключается в изменении его ёмкости в зависимости от уровня воды между электродами. Когда вода испаряется, диэлектрическая проницаемость между электродами изменяется, что приводит к изменению ёмкости конденсатора.

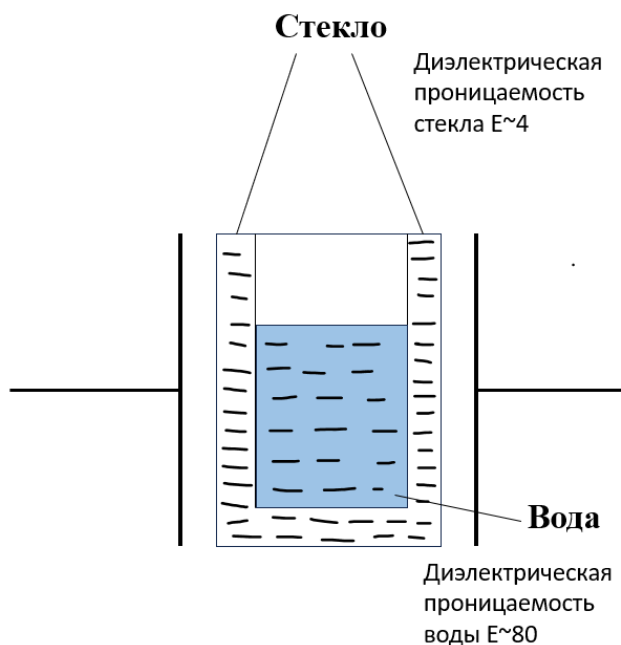


Рисунок 2.5 – Принцип работы водного конденсатора

Измерение ёмкости водного конденсатора позволяет точно определить количество испарившейся воды ведь для этого используется генератор, который подает переменное напряжение на конденсатор, создавая переменное электрическое поле. Микроконтроллер MSP430 частоту, и выдает её наряду с температурой и влажностью раз в секунду в компьютер. Изменение ёмкости пропорционально изменению уровня воды, что позволяет после калибровки с высокой точностью отслеживать процесс испарения.

Важно учитывать, что водный конденсатор чувствителен к внешним условиям, таким как температура и влажность воздуха. Для получения точных данных необходимо учитывать эти факторы и проводить калибровку устройства.

3 Практическая часть

В данной главе рассказывается о разработке печатной платы и сборка измерителя скорости испарения воды, а также проведение экспериментов и их итоги.

3.1 Разработка печатной платы

Проектируемый макет состоит из несколько частей. Одним из них является плата с компонентами, которую сначала я собирал в онлайн среде разработки EasyEDA. EasyEDA – это онлайн среда автоматизации, включающую в себя разработки схем, а так же редактор топологии печатных плат. После разработки печатной платы ее можно сразу заказать в EasyEDA. Одним из удобств данной среды является то, что созданным проектом можно поделиться с научным руководителем. С помощью данной функции научный руководитель может удаленно проверить схему в любое удобное для него время, а так заменять или исправлять компоненты в схеме. Так же преимуществом EasyEDA является то, что оно бесплатное.

Кроме того, EasyEDA предоставляет возможность создания симуляций электронных схем, что позволяет студентам проверять и анализировать работу своих проектов до физической реализации. Это сокращает время и затраты на разработку, а также позволяет выявить и исправить ошибки на ранних этапах проектирования.

Наконец, EasyEDA поддерживает экспорт готовых проектов в стандартные форматы для производства печатных плат, что делает его полезным инструментом не только для обучения, но и для создания рабочих прототипов измерителей скорости испарения воды для практических применений.

Для начала составим схему для нашей платы. Сперва надо создать проект в EasyEDA. Далее даем доступ научному руководителю для проверки схем и платы в дальнейшем. Первоначально мы добавляем компоненты. Для этого слева на панели есть стандартная библиотека компонентов. Есть стандартные `smc` компоненты, а также для поиска других компонентов есть расширенная библиотека. Для добавления компонента нажимаем на него и переносим в редактор. Первоначально я добавил `smc` компоненты конденсаторов и резисторов. После добавил выводные конденсаторы. Так же были добавлены три транзистора, один стабилитрон. Так же можно изменить корпус компонента. Сделать это можно, нажав на компонент правой кнопкой мыши и выбрав посадочное место. После открытия окна с посадочным местом компонента справа выбираем корпус для компонента. В моей работе был изменен корпус для стабилитрона на TO-92. Так же через данное окошко можно посмотреть размер компонента и расстояние между ножками. После добавления всех компонентов мы соединяем их. Наведя на компонент курсором и нажав левой кнопкой мыши, мы проводим до следующего компонента. После соединения каждого

компонента нужно изменить величину значений каждого компонента. Сделать это можно, нажав на компонент и в верхней строчке изменив значение. Изменив значения для каждого компонента, добавляем землю и указываем вход и выход схемы, а также где будет подан ток.

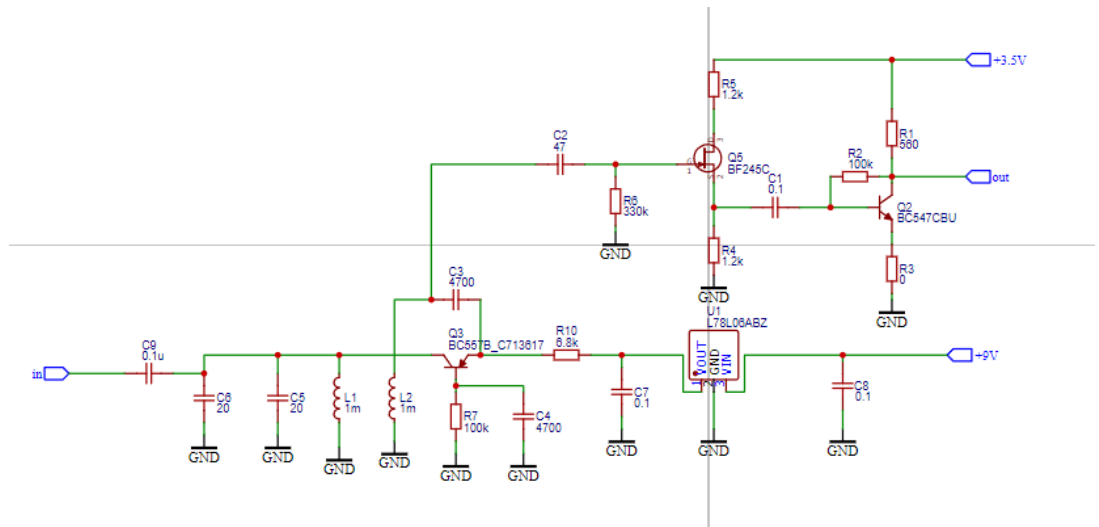


Рисунок 3.1 – Готовая схема генератора

После построения схемы преобразовываем ее в печатную плату. После преобразования в печатную плату перед нами выходит окошко, где мы можем настроить размер платы в случае размеры платы были неподходящие можно настроить отдельно. Теперь нужно вставить компоненты в плату так, чтобы они мешали друг другу. Для удобства выводные и smd компоненты отличаются визуально. Также компоненты подписаны, как и на схеме. Располагаем компоненты так как они расположены на схеме.

После начинаем трассировку компонентов это можно сделать двумя способами. Первым способом это сделать вручную трассировку, а вторым способом это можно сделать, нажав на “Трассировка” находящееся в верхнем редакторе и нажать на “Автотрассировка” после выходит окошко, где можно изменить ширину дорожки. Можно придерживаться того способа которое будет удобен. После трассировки начинаем покрывать печатную плату медной областью.

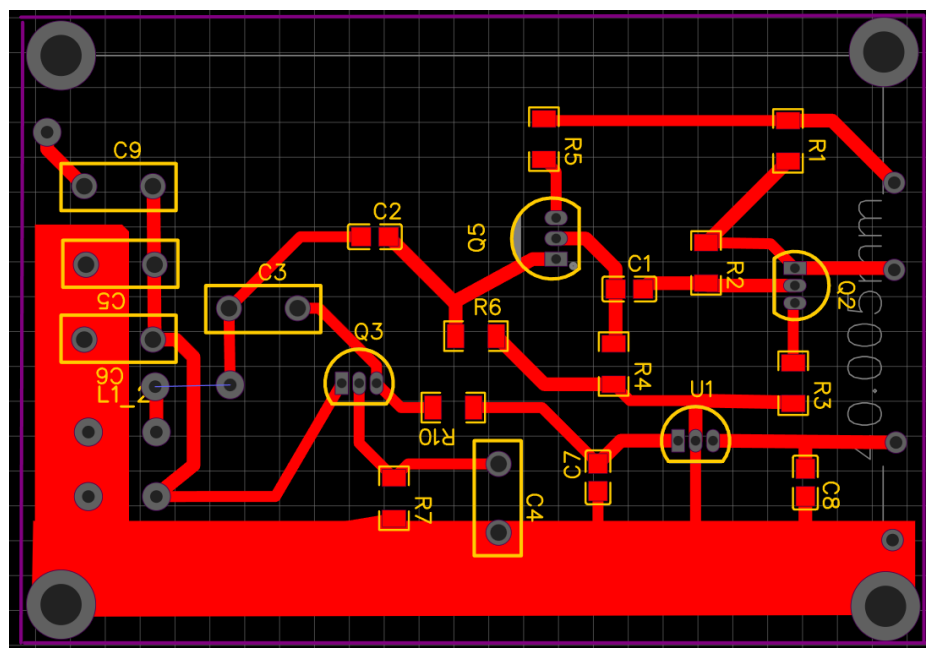


Рисунок 3.2 – Преобразованная схема печатной платы

Теперь можно посмотреть 3D модель печатной платы. Сделать это можно через панель инструментов и выбрав “3D”. На 3D модели можно посмотреть как расположены компоненты и как они выглядят. Также можно прокрутить плату и посмотреть конечный результат. Далее можно приступить к заказу печатной платы с завода. Но первоначально мы решили проверить правильность разработки платы.

Далее представлена 3D модель печатной платы.

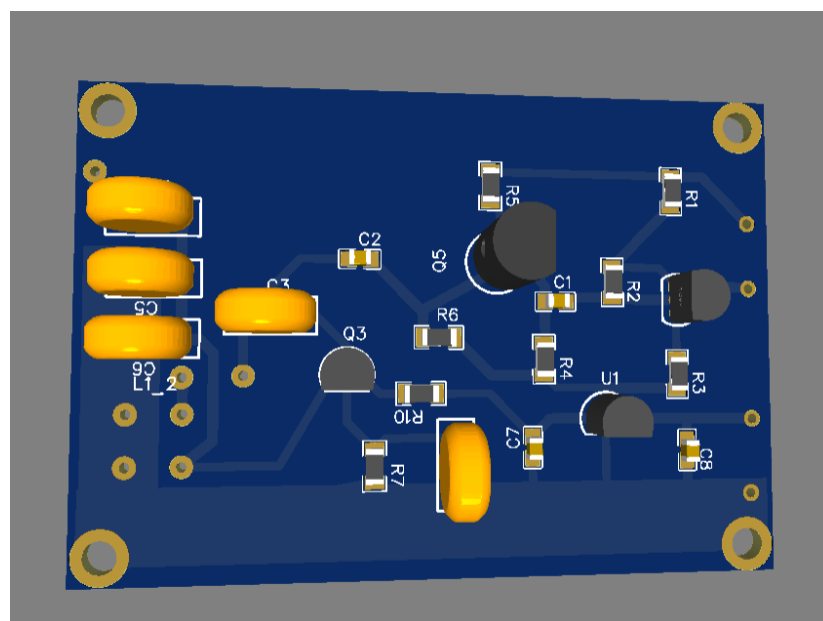


Рисунок 3.3 – 3D модель печатной платы

3.2 Сборка макета

После разработки печатной платы приступаем к сборке макета. Первоначально мы решили протестировать плату, изготовив утюжным методом. Сперва мы экспортировали печатную плату в pdf формат файла. После мы распечатали файл на глянцевую бумагу. Затем берем текстолит, отрезаем под размеры печатной платы. Далее приложив глянцевую бумагу на текстолит, мы полностью обмотали листами несколькими слоями. Теперь нагреваем утюг и начинаем прогревать плату. Весь процесс глажки занял около 3-5 минут. После чего убираем всю бумагу и ждем пока текстолит немного остынет. После идем промывать плату и убираем глянцевую бумагу с текстолита. Затем прочищаем дорожки ватным диском убирая остатки бумаги с них и ждем пока плата высохнет.

Пока плата высыхает можно подготовить емкость с хлорным железом для травления платы. Для этого используем определенную емкость заливаем водой и добавляем хлорное железо. Первоначально стоит разогреть воду для более быстрого процесса травления. Полное растворение хлорного железа занимает некоторое время. Зависит это от объема. После добавляем туда плату и оставляем ее там периодически проверяя.

Хлорное железо является агрессивным химическим веществом, способным растворять медь. При контакте с поверхностью меди оно начинает реакцию, при которой медь окисляется и растворяется в растворе. Таким образом, в травящихся областях формируются требуемые цепи и контуры. Его широко используют для травления печатных плат в электронике из-за нескольких преимуществ, которые оно предоставляет процессу производства.

Во-первых, хлорное железо обладает высокой эффективностью при удалении меди с поверхности печатных плат. Это позволяет быстро и равномерно формировать требуемые маршруты проводников и контуры на плате, что важно для создания функциональных электронных устройств.

Во-вторых, хлорное железо обладает высокой степенью контроля процесса травления. Это позволяет инженерам и технологам точно настраивать параметры процесса, такие как время травления и концентрация раствора, для достижения оптимальных результатов. Это особенно важно при производстве устройств с высокой плотностью компонентов, где требуется высокая точность и качество.

Кроме того, хлорное железо отлично справляется с удалением меди даже из труднодоступных мест на печатной плате. Это позволяет создавать сложные и многослойные печатные платы с высокой степенью детализации и точности.

Хлорное железо имеет химическую формулу FeCl_3 . В этой формуле железо находится в степени окисления +3, что означает, что каждый атом железа теряет три электрона. Хлорное железо представляет собой желто-коричневое кристаллическое вещество, хорошо растворимое в воде. Раствор хлорного железа в воде является сильным окислителем и широко используется в процессах травления металлов, таких как медь на печатных платах. Хлорное железо обладает высокой химической активностью, что делает его эффективным

реагентом для удаления меди с поверхности плат, создавая тем самым необходимые схемы и маршруты.

При травлении нужно положить плату так чтобы дорожки были вверху так чтобы можно было отследить процесс. Также стоит периодически перемешивать раствор. Время травления зависит от размера платы и от температуры раствора и его концентрации. В нашем случае примерное время травления платы было 20-30 минут.



Рисунок 3.4 – Травление платы в хлорном железе

Процесс травления контролируется внимательно, так как хлорное железо может быть опасным и вредным для здоровья, а также может повредить окружающую среду. Он также должен быть проведен в хорошо вентилируемом помещении или под вытяжным шкафом, чтобы минимизировать риск вдыхания паров или испарений. Также в это время мы носили лабораторные халаты чтобы не испортить одежду.

После того как плата полностью вытравилась промываем повторно в воде. Также протираем и высушиваем плату.

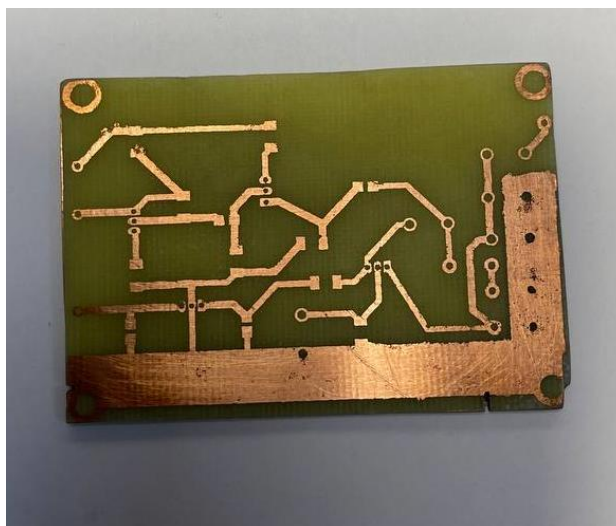


Рисунок 3.5 – Плата после травления

Далее начинаем покрывать плату припоем. После этого сверлим дыры в плате. Теперь приступаем к паянию компонентов к плате. Первоначально припаиваем smd компоненты. Находим smd компоненты с нужной величиной. Начинаем припаивать компоненты, сперва я припаял резисторы, после припаял конденсаторы. Теперь начинаем работу над выводными компонентами. Сперва начинаем с катушки. Наматываем катушку на 40 витков с ответвлением с 10 витков. После припаиваем к плате. Далее находим выводные конденсаторы нужной нам величины. В этой схеме стоят два выводных конденсатора величиной 4700 пФ и один конденсатор на 50 пФ. И припаиваем их также к плате. Далее переходим к транзисторам. Находим транзисторы VF245C, BC547 и BC557 в единичном количестве каждой модели. Теперь нужно припаять, правильно соединив ножки. Чтобы понять какая ножка, где должна быть припаяна нужно посмотреть datasheet транзистора. В конце припаиваем стабилитрон. Находим и припаиваем стабилитрон 78L06 в корпусе ТО-92. Далее припаиваем красный провод для 9В питания и черный провод припаиваем к земле. Первоначально мы решили проверить подачу тока с помощью батарейки.

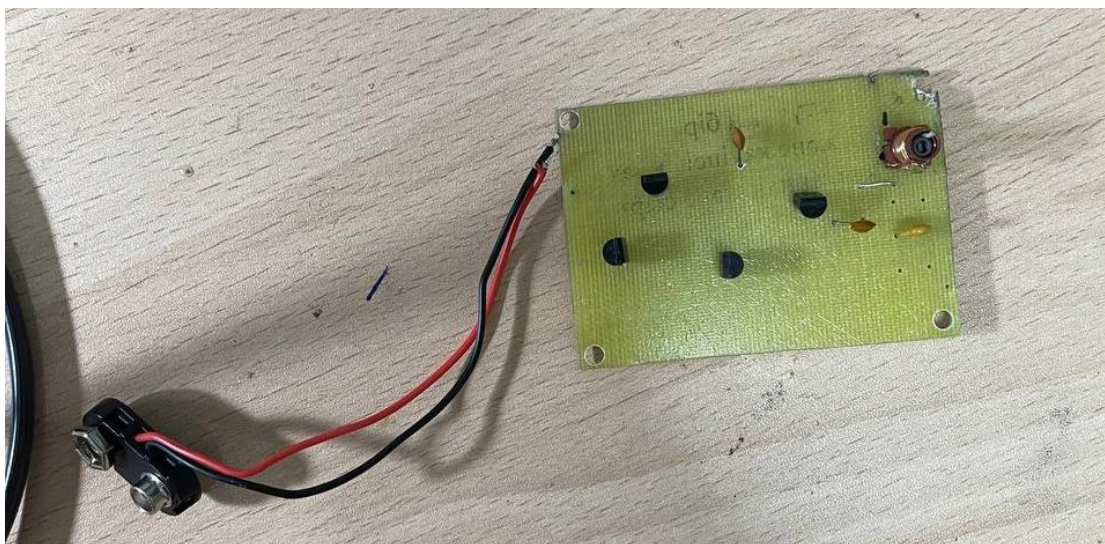


Рисунок 3.6 – Плата подключенная к питанию от батарейки

Для этого мы использовали осциллограф для проверки амплитуды и поданного количества тока на компоненты. Далее припаиваем провода для 3.5В питания и OUT к плате и присоединяем к микроконтроллеру MSP430. Для этого мы подключаем провод с 3.5В питанием к VCC, а провод OUT подключаем к P1.0 микроконтроллера. Теперь загружаем код программы для микроконтроллера.

Теперь программа загружена в микроконтроллер. Далее подключаем к микроконтроллеру монитор для отображения температуры, влажности и частоты. Теперь снова возвращаемся к среде разработки для запуска программы. После запуска можно наблюдать как на ЖК-дисплее появляются значения данных. После проверки подачи тока и работы платы приступаем к припаиванию конденсатора и провода для подачи тока от сети. Так же стоит сделать платформу для макета. Первоначально приступаем к припаиванию 9В питания от сети. Для этого припаиваем гнездо для разъема питания. Теперь приступаем к площадке для макета. Для этого используем уже готовую разрезанную доску из пластика. На этой доске сверлим дырки для конденсатора и крепежа для платы. После первоначально крепим конденсатор к доске.

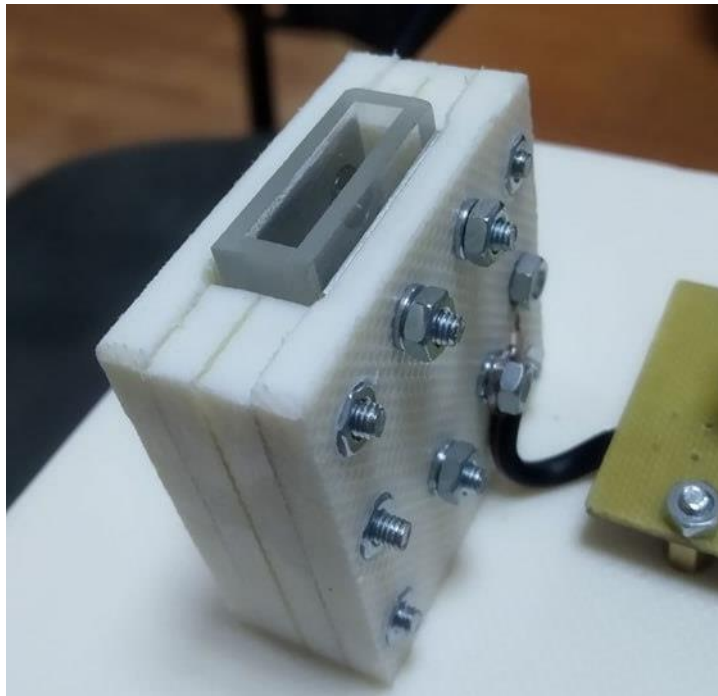


Рисунок 3.7 – Первая модель водного конденсатора

Дальше ставим крепление для платы сперва ставим нижние крепления с двух сторон. Дальше ставим на них плату и сверху прикручиваем еще одним креплением с двух сторон. Теперь припаиваем плату к конденсатору. Теперь размещаем на доске микроконтроллер и ЖК-дисплей. Теперь подключаем плату к питанию от сети с помощью блока питания который присоединяется к гнезду на плате. И теперь макет измерителя скорости испарения воды готов.

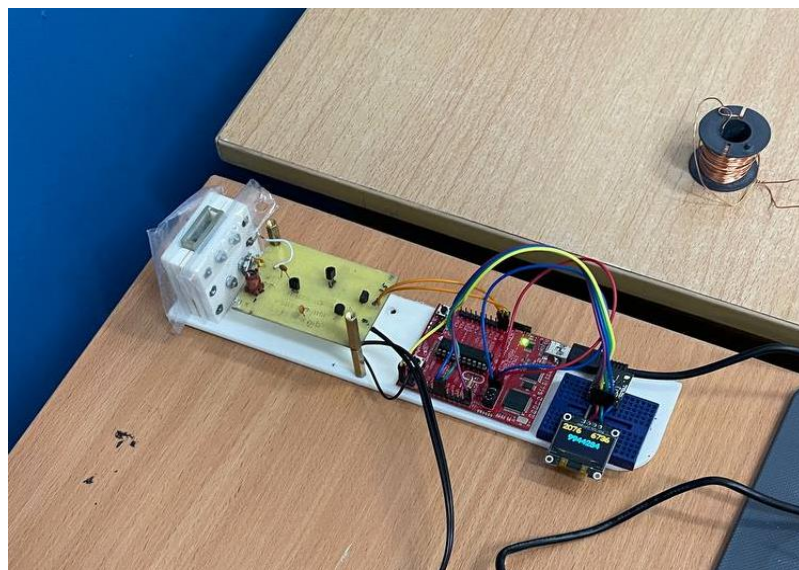
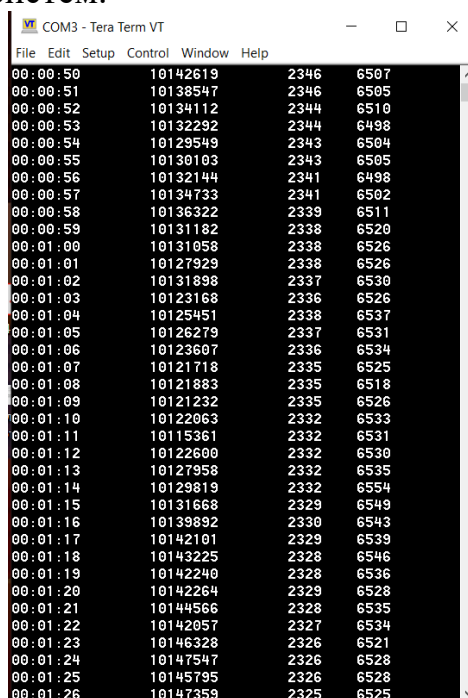


Рисунок 3.8 – Первая модель макета

3.3 Проведение экспериментов

Целью первого эксперимента было выявление ТКЕ. Для этого устройство было перенесено в лабораторию университета. Также в данном эксперименте была использована пустая кювета. После чего через микроконтроллер подключили к компьютеру. Через программу Tera Term отслеживаем изменения значения.

Tera Term - это популярная программа для эмуляции терминала, которая используется инженерами для общения с различными устройствами через последовательные порты. Она поддерживает несколько протоколов связи, включая Telnet, SSH и серийные соединения, что делает её универсальным инструментом для настройки и управления сетевым оборудованием, микроконтроллерами и другими встраиваемыми системами. Tera Term обладает интуитивно понятным интерфейсом и богатым набором функций, таких как логирование данных, настройка макросов для автоматизации задач и поддержка различных кодировок. Благодаря этим возможностям Tera Term является незаменимым инструментом в арсенале инженера, работающего с различными типами оборудования и систем.



```
COM3 - Tera Term VT
File Edit Setup Control Window Help
00:00:50 10142619 2346 6507
00:00:51 10138547 2346 6505
00:00:52 10134112 2344 6510
00:00:53 10132292 2344 6498
00:00:54 10129549 2343 6504
00:00:55 10130103 2343 6505
00:00:56 10132144 2341 6498
00:00:57 10134733 2341 6502
00:00:58 10136322 2339 6511
00:00:59 10131182 2338 6520
00:01:00 10131058 2338 6526
00:01:01 10127929 2338 6526
00:01:02 10131898 2337 6530
00:01:03 10123168 2336 6526
00:01:04 10125451 2338 6537
00:01:05 10126279 2337 6531
00:01:06 10123607 2336 6534
00:01:07 10121718 2335 6525
00:01:08 10121883 2335 6518
00:01:09 10121232 2335 6526
00:01:10 10122063 2332 6533
00:01:11 10115361 2332 6531
00:01:12 10122600 2332 6530
00:01:13 10127958 2332 6535
00:01:14 10129819 2332 6554
00:01:15 10131668 2329 6549
00:01:16 10139892 2330 6543
00:01:17 10142101 2329 6539
00:01:18 10143225 2328 6546
00:01:19 10142240 2328 6536
00:01:20 10142264 2329 6528
00:01:21 10144566 2328 6535
00:01:22 10142057 2327 6534
00:01:23 10146328 2326 6521
00:01:24 10147547 2326 6528
00:01:25 10145795 2326 6528
00:01:26 10147359 2325 6525
```

Рисунок 3.9 – Просмотр значений в Tera Term

Далее подключаем программу Anydesk для удаленного просмотра изменений данных. С помощью Anydesk можно отслеживать данные находясь вне лаборатории. Она обеспечивает быструю и безопасную передачу данных, благодаря использованию высококачественного видеокodeка и современных методов шифрования. AnyDesk поддерживает кроссплатформенность, что позволяет использовать её на различных операционных системах. AnyDesk также обладает функциями, которые облегчают совместную работу. Например,

можно делиться экраном, передавать файлы и выполнять совместные сессии, что особенно полезно для групп инженеров, работающих над общими проектами. Возможность настройки доступа и управления правами пользователя позволяет гибко настраивать уровень взаимодействия, необходимый для выполнения конкретных задач.

Данный эксперимент длился 4 дня с 6-9 апреля. Все значения были перенесены в файл компьютера. После чего значения были перенесены в Microsoft Excel для построения графика. Для графика брались значения частоты, температуры, а также дата изменений значений.

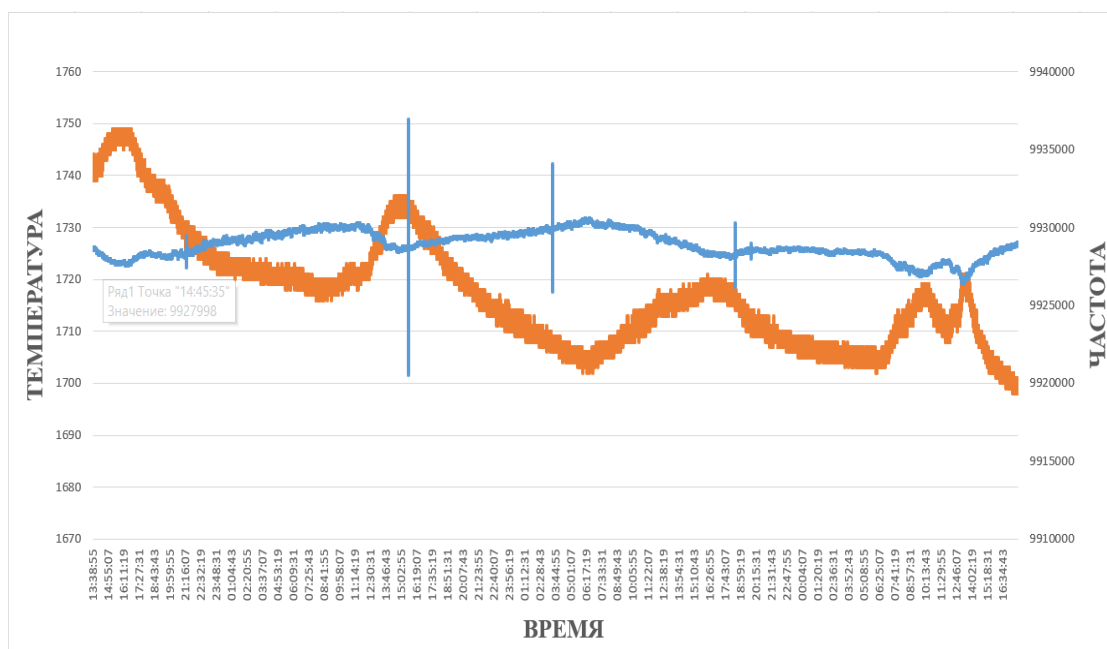


Рисунок 3.10 – График изменений значения в ходе первого эксперимента

На графике (рис. 3.10) синим цветом показана частота, оранжевым цветом указана температура. Для измерения ТКЕ был взят последний промежуток.

Формула для ТКЕ:

$$-2 * \frac{df}{f*dT} = -2016 \text{ ppm} \quad (3.1)$$

В ходе данного эксперимента было выявлено что ТКЕ равняется -2016 ppm что является весьма удовлетворительным значением для устройства.

Во время второго эксперимента в кювету была налита вода. После чего кювету с водой установили внутрь конденсатора. Целью данного эксперимента было узнать за какое время испарится вода. После установки кюветы с водой частота начала понижаться. Но во время эксперимента кювета разгерметизировалась вследствие чего произошло вытекание воды. Со времен частота начала понемногу повышаться. Частота повысилась и достигла своего изначального значения, которое было до начала проведения эксперимента за

сутки. На графике (рис. 3.11) частота показана синим цветом, а температура оранжевым.

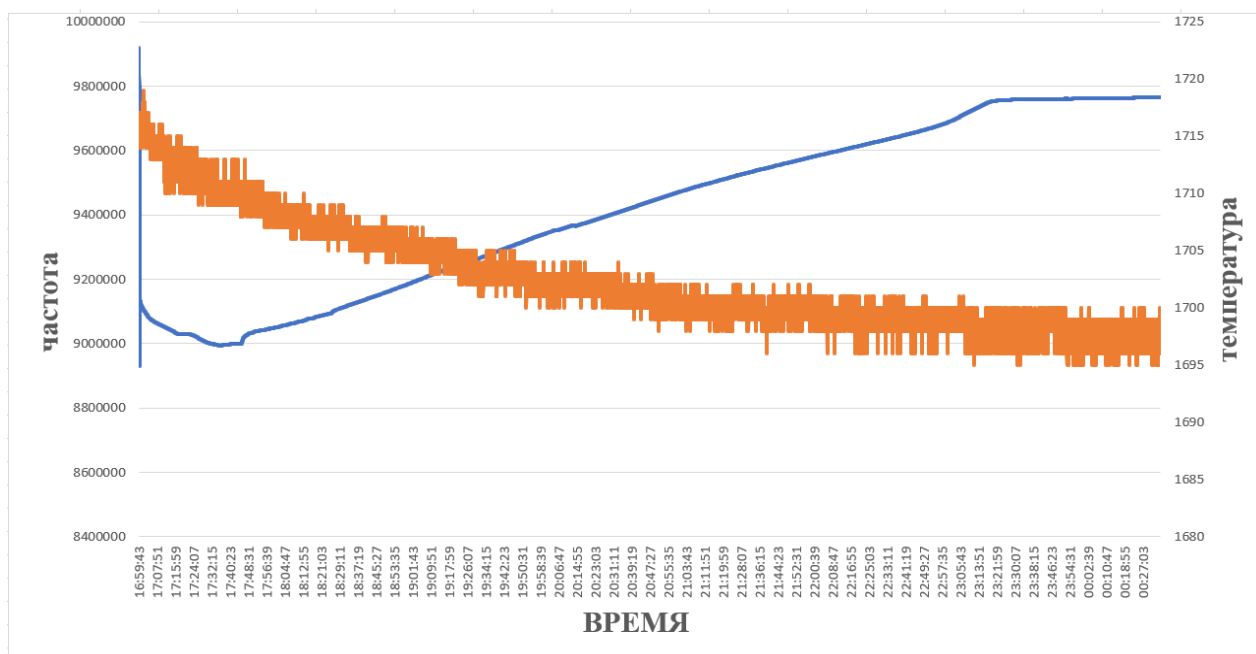


Рисунок 3.11 – График проведения второго эксперимента

Для проведения следующего эксперимента стоит разработать новый конденсатор. Для этого подобрали стеклянный мерный стакан объемом 50 миллилитров, высотой 6.1 сантиметров и диаметром 46 миллиметров. Внутри же стакана устанавливается железная труба внешним диаметром 12 миллиметров и внутренним диаметром 8 мм. Также понадобится фольга, два провода, термоусадка и эпоксидная смола для установки трубы внутри стакана.

Первоначально отрезаем трубу чтобы высота была на 4 сантиметра выше высоты стакана. Далее трубу помещаем в термоусадку и нагреваем для того, чтобы термоусадка плотно обжала трубу. Далее с помощью эпоксидной смолы приклеиваем трубу в середину стакана и ожидаем пока смола засохнет. После засыхания смолы нужно отрезать 2 сантиметра термоусадки сверху трубы и просверлить дыру.

Далее покрываем стакан фольгой в два слоя с помощью эпоксидной смолы. Теперь берем первый провод и счищаем от изоляции после чего нужно залудить концы. Далее нужно обвязать провод вокруг стакана и обвязать концы так чтобы провод плотно обжал стакан. Концы провода запаиваем вместе после чего отрезаем так чтобы получился короткий конец и припаиваем к печатной плате. Второй провод нужно счистить только концы и залудить только один конец. Счищенный конец провода обвязываем внутри дыры в трубе. Залуженный конец провода также припаиваем к плате.

После припаивания водного конденсатора к печатной плате, переносим измеритель в лабораторию и подключаем к компьютеру. Далее заливаем в водный конденсатор воду.

В ходе третьего эксперимента удалось выявить проблемы с проводом, подключенным к водному конденсатору. Из-за того, что провод был обвязан не столь прижато, значения частоты менялось довольно резко. После данного эксперимента было принято решение немного изменить водный конденсатор.

Первоначально в дыру сверху трубя был прикручен латунная стойка. После чего конец провода был залужен и закручен вокруг винта и прикручен в стойку. Далее берем вторую латунную стойку и припаиваем к проводу, закрученному вокруг стакана. И берем второй винт и закручиваем второй провод с платы и прикручиваем во вторую стойку.

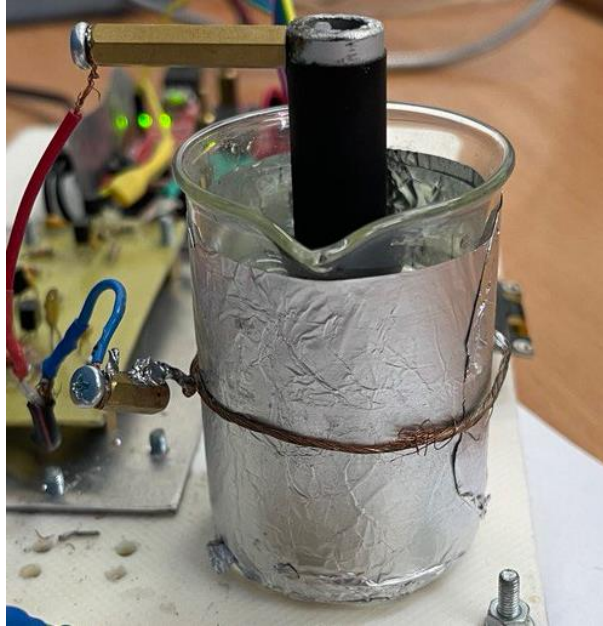


Рисунок 3.12 – Вторая модель водного конденсатора

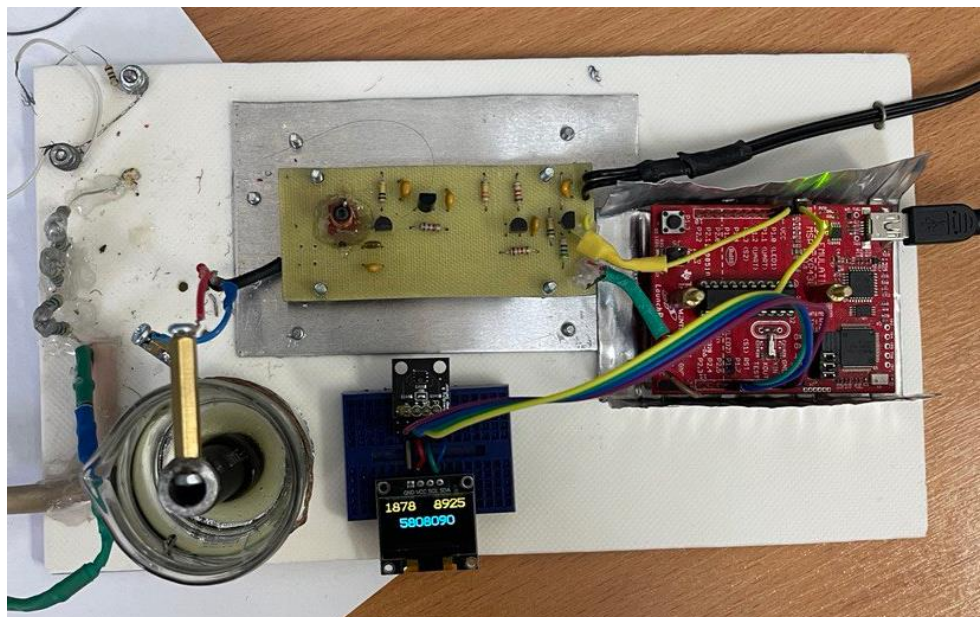


Рисунок 3.13 – Готовая модель макета

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе подготовки к дипломной работе были изучены теоретические основы и моделирование процесса испарения воды, а также существующие измерители скорости испарения воды.

В рамках дипломной работы был спроектирован макет измерителя скорости испарения воды. В макет устройства входит генератор, водный конденсатор, ЖК-дисплей и микроконтроллер MSP430 подключенный к ноутбуку. Были произведены тестовые эксперименты измерителя скорости испарения воды.

Были проведены несколько экспериментов. Во время первого эксперимента было выявлено ТКЕ. Во время второго эксперимента произошла разгерметизация кюветы и эксперимент был прерван. Для третьего эксперимента был разработан новый водный конденсатор.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Григорьев В.В., Быстров С.В., Бойков В.И., Болтунов Г.И., Мансурова О.К. Цифровые системы управления: Учебное пособие. - Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2019. - 133 с. (<https://books.ifmo.ru/book/2306/> , файл PDF).
- 2 Семейство микроконтроллеров MSP430x2xx. Архитектура. Программирование. Разработка приложений. – М.: ДМК-Пресс, 2015 г. - 544 с. (<https://www.elec.ru/library/info/mikrokontrollery-msp430x2xx/>, PDF скан книги).
- 3 Хоровиц, Хилл: Искусство схемотехники. Бином. 2022 г. 704 с. (<https://habr.com/ru/articles/806537/>, PDF скан книги)
- 4 Ю.Ревич. Занимательная электроника. БХВ-Петербург ВHV, 2017 г. – 640 с. (<https://www.elec.ru/library/nauchnaya-i-tehnicheskaya-literatura/zanimatelnaya-elektronika-revich/>, PDF скан книги).
- 5 Смирнов, И. А., Сергеев, В. И., & Тихонов, А. В. (1983). Способ измерения скорости испарения воды из почвы. Патент SU, 1077750. (<https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/53/089/53089611.pdf>)
- 6 Иванов, В. И., & Стрекаловский, В. С. (2005). Метод измерения скорости испарения воды из влагоемких ландшафтов. Гидрометеорология и экология, 103-108. (<https://www.researchgate.net/publication/342600707/> ,PDF скан).
- 7 Ермолаева А.И., Новиков С.Н. Исследование кинетики процесса испарения водных растворов, используемых в технологиях КНИ и микросистемотехники // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия "Электронное машиностроение". – 2021. – №3. – С. 45-56. (<https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-kinetiki-protsesta-ispareniya-vodnyh-rastvorov-ispolzuyemyh-v-tehnologiyah-kni-i-mikrosistemotekhniki-1/> ,PDF файл).

РЕЦЕНЗИЯ

На дипломную работу

Беккожин Алихан Жанибекович

Специальность: 6B07104 – Electronic and Electrical Engineering

На тему: «Разработка измерителя скорости испарения воды»

ЗАМЕЧАНИЕ К РАБОТЕ

В работе студента Беккожина Алихана Жанибековича, описывается процесс анализа, разработки и сборки измерителя скорости испарения воды.

В первой главе описывается обзор, применение, преимущества и недостатки измерителей скорости испарения воды.

Во второй главе приведены теоретические основы и моделирование процесса испарения воды, а также выбор компонентов для измерителя скорости испарения воды.

В третьей главе подробно описывается полный процесс сборки измерителя скорости испарения воды, а также подведение итогов реализации проекта.

Оценка работы

Студент отлично ориентируется в теоретическом материале, работа выполнена согласно техническому заданию к дипломной работе, соблюдены все стандарты университета по написанию дипломных работ.

Считаю, что дипломная работа выполнена на хорошо, B+ (88%) а дипломант, Беккожин Алихан Жанибекович, заслуживает присвоения академической степени бакалавра специальности 6B07104 – Electronic and Electrical Engineering.

Рецензент
PhD, ассоц.проф.,
Алматинского университета
энергетики и связи им. Г.Даукеева



Алмуратова Н.К.

«27» 05 2024 г.

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на дипломную работу

Беккожин Алихан Жанибекович

6B07104 – Electronic and Electrical Engineering

Тема: «Разработка измерителя скорости испарения воды»

Дипломная работа структурирована следующим образом: введение, обзор существующих решений методов и приборов, теоретические основы и моделирование процесса испарения воды, выбор компонентов, практическая часть, проведение экспериментов, выводы, список использованных источников.

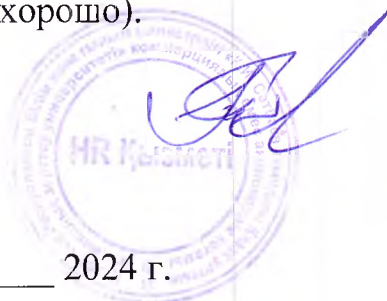
Измеритель скорости испарения воды состоит из генератора, водного конденсатора, ЖК-дисплея и микроконтроллера, подключенного к ноутбуку. Проект включает теоретические расчеты и практическую реализацию устройства, подтверждающие глубину исследования и разработки.

В рамках проекта выполнен тщательный анализ текущих технологий в области измерения физических параметров, применены современные методы и технологии. Экспериментальный прототип измерителя демонстрирует высокую функциональность и точность.

В заключении подведены основные итоги работы и предложены направления для дальнейших исследований измерителей скорости испарения воды.

Дипломная работа Беккожина Алихана выполнена на высоком уровне и соответствует всем современным требованиям к измерителям скорости испарения воды. Работа рекомендуется к защите с присвоением степени бакалавра по специальности 6B07104 – Electronic and Electrical Engineering, и оценивается на оценку 87 (хорошо).

Научный руководитель:
ассоц-профессор, к.т.н



Жигалов В.А.

«31» 05 2024 г.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Беккожин Алихан Жанибекович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Разработка измерителя скорости испарения воды

Научный руководитель: Сунгат Марксұлы

Коэффициент Подобия 1: 4

Коэффициент Подобия 2: 0.8

Микропробелы: 0

Знаки из здругих алфавитов: 5

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.


Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

30.12.2021

Дата

 Марксұлы С
проверяющий эксперт

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Беккожин Алихан Жанибекович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Разработка измерителя скорости испарения воды

Научный руководитель: Сунғат Марксұлы

Коэффициент Подобия 1: 4

Коэффициент Подобия 2: 0.8

Микропробелы: 0

Знаки из здругих алфавитов: 5

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

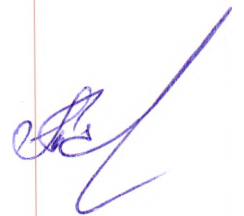
Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

30.11.2024

Дата

Заведующий кафедрой



**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Беккожин Алихан Жанибекович

Тақырыбы: Разработка измерителя скорости испарения воды

Жетекшісі: Сұңғат Марксұлы

1-ұқсастық коэффициенті (30): 4

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0.8

Дәйексөз (35): 1

Әріптерді ауыстыру: 5

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 0

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасакана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

30.12.2021
Күні

Кафедра меңгерушісі

