

Портативная установка для измерения оптической плотности исследуемого материала на основании свойств угла Брюстера

Содержание

| | |
|--|--------------|
| СОДЕРЖАНИЕ..... | 1 |
| ВВЕДЕНИЕ..... | 2 |
| ПРИНЦИП РАБОТЫ..... | 3-4 |
| КОМПОНЕТЫ..... | 4-12 |
| МИКРОКОНТРОЛЛЕР..... | 13-19 |
| ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА..... | 20 |
| НАГЛЯДНАЯ СХЕМА..... | 21 |
| ПОЛУЧАЕМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ..... | 21-27 |
| ПЕЧАТНАЯ ПЛАТА..... | 28-29 |
| КОРПУС..... | 30-31 |
| ПРОГРАММА..... | 31-33 |

Введение

Проблемы

1. Сложности в оптимизации оптических систем или процессов, использующих определенный материал. Например, при разработке линз или оптических покрытий необходимо знать оптические свойства материала для достижения желаемых результатов. В случае неизвестной оптической плотности это может привести к непредсказуемым или нежелательным эффектам, таким как искажение изображения или потеря световой энергии.
2. Отсутствие информации об оптической плотности (показателе преломления вещества) также может затруднить сравнение или замену материалов в оптических системах. При выборе материала для конкретного приложения исследователи и инженеры часто ориентируются на оптические характеристики, включая плотность. Если эта информация недоступна, то выбор может быть затруднен и привести к неэффективному использованию ресурсов.

Цель

Создать портативное устройство из низкой ценовой категории для измерения оптической плотности вещества на основе закона угла Брюстера.

Гипотеза

Свойства угла Брюстера можно использовать для измерения оптической плотности вещества

Задачи

- Исследовать зависимость интенсивности от угла поворота источника света, свет которого поляризован перпендикулярно S поляризации
- Создать портативную установку
- Минимизировать шумы исследования
- Сделать корпус для устройства
- Получить готовый продукт

Объект проекта

Портативная установка для измерения оптической плотности исследуемого материала на основании свойств угла Брюстера

Принцип работы

Когда падающий на границу раздела двух сред свет падает под углом Брюстера, он полностью поляризуется в плоскости, перпендикулярной плоскости падения. При этом отраженный свет становится полностью поляризованным параллельно границе раздела сред.

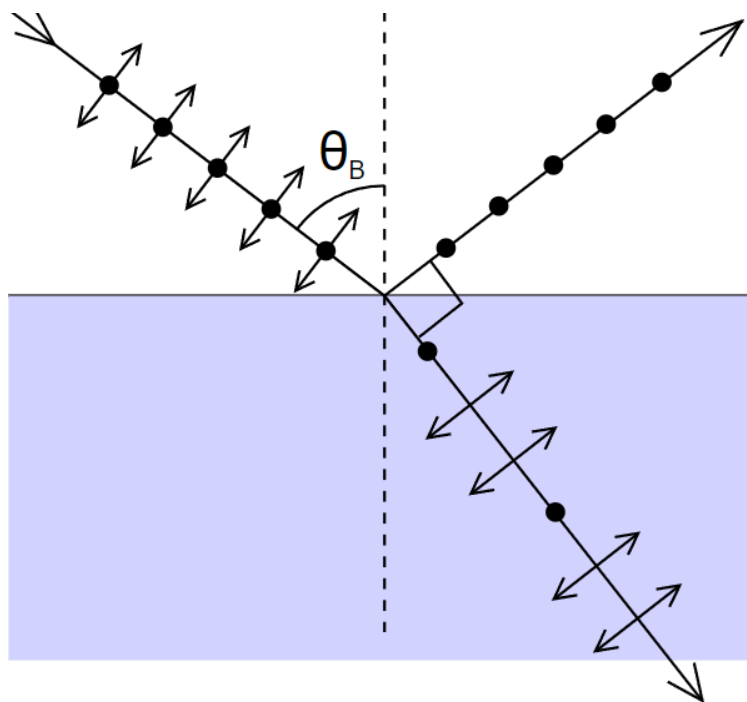


Рис 1. Принцип действия угла Брюстера

Угол Брюстера можно рассмотреть в двух приближениях: электрическом и магнитном.

В электрическом приближении рассматривается падение света на границу раздела диэлектрика и вакуума (или другого диэлектрика). В этом приближении рассматривается взаимодействие световой волны с электрическими дипольными моментами среды.

Дипольный момент представляет собой меру полярности вещества или среды. Он характеризует разность электрических зарядов в системе и расстояние между ними. В молекулах, атомах и других частицах могут существовать электронные облака с отличным от нуля суммарным зарядом. В таких случаях возникают дипольные моменты.

В магнитном приближении рассматривается падение света на границу раздела проводника и диэлектрика. В этом приближении рассматривается

взаимодействие световой волны с магнитными дипольными моментами проводника.

Общая Формула для угла Брюстера в электрическом и магнитном приближениях:

$$\varphi_B = \arctg \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \right) \frac{\varepsilon_2 \mu_1 - \varepsilon_1 \mu_2}{\varepsilon_2 \mu_2 - \varepsilon_1 \mu_1}}$$

Формула 1. Общее выражение для угла Брюстера

Разрабатываемая установка определения показателя преломления ориентирована на материалы с диэлектрическими свойствами, поэтому упрощенная Формула выглядит так:

$$\varphi_B = \arctg(n_2/n_1)$$

Формула 2. Выражение для угла Брюстера в немагнитном приближении

Где:

φ_B – угол Брюстера

n_2 – оптическая плотность среды преломленного луча

n_1 – оптическая плотность среды исходящего луча

Можно вывести абсолютную оптическую плотность среды преломленного луча. Эта среда и является исследуемым материалом.

$$n_2 = n_1 \operatorname{tg} \varphi_B$$

Формула 3. Выраженная оптическая плотность исследуемого материала

Таким образом можно прийти к тому, что для нахождения абсолютной оптической плотности исследуемого вещества нужно всего лишь знать угол Брюстера, для данного вещества, а так же абсолютную оптическую плотность среды.

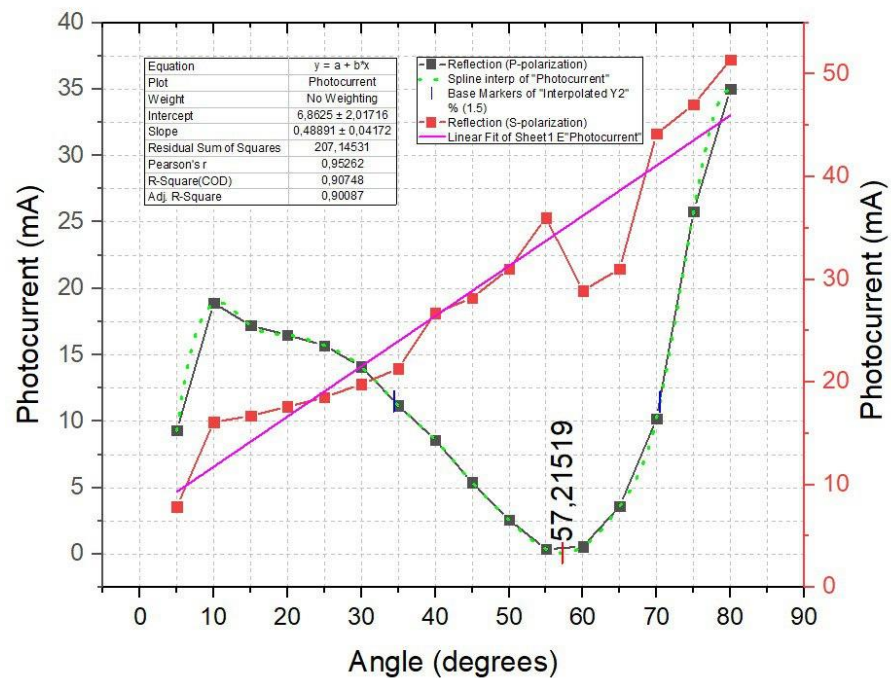


Рис 2. На зеленом графике показан провал фототока, проходящего через фоторезистор (что пропорционально интенсивности света) в зависимости от угла падающего луча

Для определения угла Брюстера, я использую сервопривод, к которому прикреплен светодиод. На светодиоде установлен поляризатор, расположенный таким образом, чтобы гасить S-поляризацию. Свет, прошедший через поляризатор, будет отражаться от поверхности, которую мы изучаем, и попадать на светочувствительный элемент. Таким образом, при достижении угла Брюстера мы наблюдаем провал в интенсивности света.

Учитывая, что устройство будет использовано только в воздухе, то мы можем абсолютную оптическую плотность среды принять за единицу. И тогда Формула принимает следующий вид:

$$n_2 = \operatorname{tg} \varphi_B$$

Формула 4. Упрощенная Формула для оптической плотности исследуемого материала

Компоненты

Сервопривод

Для определения угла Брюстера, как уже упоминалось выше, будет использован сервопривод.

Сервопривод SG90 - маленький и компактный механизм, который позволяет точно управлять углом его поворота. Он обладает миниатюрным электромотором. Сервопривод SG90 принимает управляющий сигнал путем импульсной модуляции. Этот сигнал представляет собой импульс, имеющее ширину в определенном диапазоне. Ширина импульса определяет положение сервопривода.



Рис 3. сервопривод SG90

Точность поворота сервопривода SG90 составляет около 1 градуса. Это означает, что при управлении сервоприводом, можно изменять его положение на 1 градус в одну сторону или другую относительно нейтральной позиции.

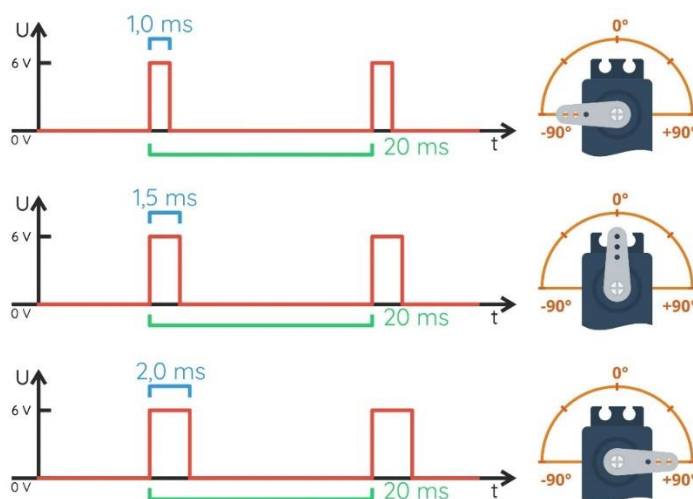


Рис 4. Поворот сервопривода в зависимости от скважности сигнала

Плюсы:

1. Точное управление углом поворота: сервопривод обеспечивает высокую точность и надежность при изменении угла поворота
2. Устойчивый и стабильный результат: благодаря возможности точной настройки угла поворота светодиода с поляризатором с помощью сервопривода, возможно получить стабильный и повторяемый результат измерений

3. Герметичность: Используемый мной сервопривод имеет отличную защиту от пыли, что предотвращает заклинивание механизма и обеспечивает его бесперебойную работу в любых условиях.

Светодиод

Белый светодиод - это электронное устройство, способное генерировать свет с помощью полупроводникового материала. Он состоит из четырех основных компонентов - полупроводникового чипа, проводящих и непроводящих слоев, а также электрода.

Внутри белого светодиода находятся два слоя полупроводникового материала - положительный (широкозонный полупроводник такой, как галлиевый нитрид) и отрицательный (узкозонный полупроводник, такой, как арсенид галлия).



Рис 4. Белый светодиод 3 мм

Когда к светодиоду подается напряжение, электроны из положительного слоя перемещаются в отрицательный слой через зону запрещенной проводимости полупроводников. В этот момент энергия электронов преобразуется в световую энергию.

Излучение белого светодиода не имеет поляризации, то есть является неполяризованным светом. Это означает, что вектор электрического поля изменяет направление по всем осям перпендикулярно направлению распространения света. Это позволяет использовать его в моем приборе в паре с поляризатором.

Плюсы:

1. Долговечность белых светодиодов высока по сравнению с традиционными лампами, что позволяет продлить срок службы прибора без необходимости замены источников света.
2. Белые светодиоды выделяют относительно мало тепла, поэтому они

энергоэффективны и не нагревают прибор, в отличие от других типов источников света. Это делает прибор более портативным

3. Белый светодиод имеет маленький размер, что делает его компактным и удобным для использования в моем портативном приборе.

Поляризатор

Поляризатор - это оптическое устройство, которое позволяет пропускать свет только в одной плоскости колебаний, называемой плоскостью поляризации, а ослабляет или блокирует свет, колебания которого происходят в других плоскостях.

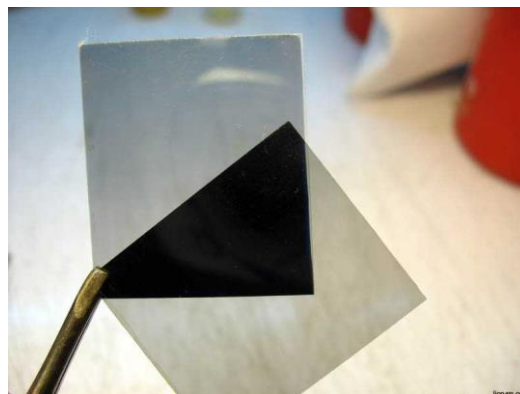


Рис 5. Поляризационная пленка

Существуют различные виды поляризаторов, но одним из наиболее распространенных и популярных является поляризационная пленка. Поляризационная пленка состоит из множества микроскопических молекул, ориентированных в одном направлении. Как правило, эти молекулы имеют удлиненную форму и располагаются параллельно друг другу. Благодаря ее компактности и легкости в деформации и был выбран именно этот тип поляризатора

Плюсы:

1. Тонкость и гибкость: Поляризационные пленки очень тонкие и гибкие, что делает их удобными для использования в различных приложениях. Они могут быть легко применены на поверхности различных устройств, таких как экраны, окна и объективы.
2. Эффективность: Поляризационные пленки обладают высокой эффективностью в блокировании нежелательных отражений и паразитных световых лучей. Они помогают улучшить контрастность и яркость изображения, уменьшая блики и отражения.

3. Экономическая эффективность: Поляризационные пленки являются более экономически выгодным вариантом по сравнению с другими типами поляризаторов. Они обладают длительным сроком службы.

Фотоэлектрический элемент (элемент солнечной батареи)

Фотоэлектрическая ячейка является устройством, способным преобразовывать солнечную энергию в электрическую энергию. Она состоит из полупроводникового материала, обычно кремния, который имеет способность генерировать электрический ток при воздействии света.



Рис 6. Фотоэлектрическая ячейка

Устройство солнечной ячейки состоит из нескольких слоев. Верхний слой, называемый антибликовым покрытием, помогает уменьшить отражение света и увеличить поглощение солнечной энергии. Под ним находится слой полупроводникового материала, который содержит примеси, создающие электрический заряд при воздействии света. Нижний слой является контактным слоем, который позволяет собрать сгенерированный электрический ток.

Когда свет попадает на солнечную ячейку, фотоны света взаимодействуют с полупроводниковым материалом, передавая свою энергию электронам внутри материала. Это создает электрическое напряжение между слоями, что приводит к генерации электрического тока.

Плюсы:

1. Равномерность: равномерная реакция на световой сигнал во всем диапазоне измерений. Это обеспечивает точность измерений и минимизирует ошибки, связанные с неравномерностью реакции на разные интенсивности света.
2. Фотоэлектрическая ячейка имеет активную область, попадание света на которую, гораздо больше, чем у не менее доступного аналога - фоторезистора. Это обеспечивает более высокую площадь попадания

света и, следовательно, более эффективное преобразование световой энергии в электрическую. Что увеличивает точность.

3. Долговечность эксплуатации: Долговечность фотоэлектрических ячеек является одним из их главных преимуществ. Фактически,

фотоэлектрические ячейки способны работать вплоть до нескольких десятков лет без необходимости замены.

Примечание: Первый плюс, а именно *Равномерность*, справедлив только для одной конкретной ячейки. Чаще встречаются сборки из 4-х и более фотоэлектрических ячеек, соединенных последовательно. В таких случаях было выявлено экспериментальным путем, что каждая ячейка обладает своим выдаваемым напряжением от интенсивности света. Для того, чтобы избежать неточности в измерениях стоит выделять только самый мощный из 4-х элементов при одинаковой интенсивности. Остальные элементы нужно затемнять.

Li-Po аккумуляторы:

Литий-полимерные аккумуляторы (Li-Po) – это тип аккумуляторов, использующих литий-полимерные электролиты, отличающиеся от традиционных литий-ионных аккумуляторов использованием полимерных материалов в качестве электролитического слоя. Этот тип аккумуляторов становится все более популярным из-за своих характеристик, включая высокую емкость, низкий саморазряд, легкость и тонкость в конструкции.



Рис 7. Li-Po аккумулятор

Ресурс литий-полимерных аккумуляторов напрямую зависит от условий их эксплуатации, правильного заряда и разряда. Однако общий ресурс таких аккумуляторов может достигать от 300 до 500 циклов заряда/разряда. Правильное использование и зарядка помогут продлить срок службы аккумуляторов.

Химическое устройство литий-полимерных аккумуляторов основано на переносе литиевых ионов между анодом и катодом через электролитический

слой. Анодом обычно выступает графит, а катодом – специальные смеси литиевых солей и полимерных материалов. В результате этого процесса создается электрический потенциал, который используется для питания устройств.

Плюсы:

1. Высокая энергоемкость: Литий-полимерные аккумуляторы обладают очень высокой энергоемкостью по сравнению с другими типами аккумуляторов. Это позволяет им обеспечивать продолжительное время работы устройств, особенно мобильных устройств.
2. Низкий саморазряд: Li-Po аккумуляторы имеют очень низкий уровень саморазряда, что означает, что они могут держать свою зарядку в течение длительного времени, когда не используются.
3. Легкость и тонкость: Литий-полимерные аккумуляторы обладают очень низкой массой и тонкими размерами, что делает их идеальными для использования в портативных устройствах.

TP4056

Описывая сложный алгоритм зарядки литий-полимерных аккумуляторов, необходимо упомянуть важность правильного понимания и контроля напряжения и тока зарядки, чтобы избежать перегрева и повреждения аккумулятора. Плата TP4056 обеспечивает стабильную зарядку и защиту аккумулятора.

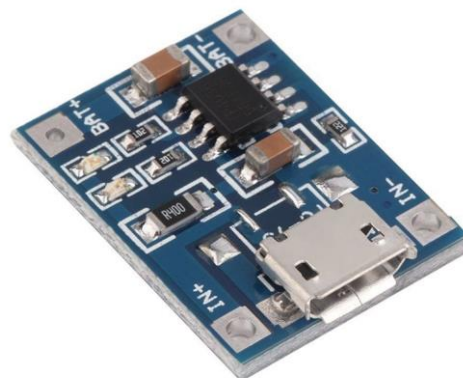


Рис 8. TP4056

TP4056 - это одноканальный литий-ионный, литий-полимерный зарядный контроллер, который широко используется в различных портативных устройствах. Он предоставляет надежную и эффективную зарядку для литий-ионных аккумуляторов.

Алгоритм зарядки TP4056:

1. Подключение аккумулятора: TP4056 заряжает аккумулятор, подключая его к VCC и GND контактам. Напряжение аккумулятора должно быть в пределах 4,2 В или ниже для начала зарядки.

2. Отслеживание тока зарядки: TP4056 определяет начальный ток зарядки аккумулятора и проверяет его соответствие определенным параметрам. Затем алгоритм зарядки автоматически регулирует ток зарядки в соответствии с требованиями аккумулятора.
3. Зарядка постоянным током: TP4056 переходит в режим постоянного тока, где ток зарядки постоянен и поддерживается на определенном уровне (обычно 1А, но может быть настроен). Этот режим помогает аккумулятору зарядиться на максимальный уровень за краткое время.
4. Зарядка постоянным напряжением: Как только аккумулятор достигает напряжения заряда 4,2 В, TP4056 переключается в режим постоянного напряжения. В этом режиме ток зарядки постепенно снижается до нуля, а напряжение поддерживается на уровне 4,2 В. Это помогает аккумулятору загрузиться полностью и предотвращает его перезарядку или повреждение.
5. Защита от перезаряда и перегрузки: TP4056 имеет встроенные механизмы защиты от перезаряда и перегрузки, которые обеспечивают безопасную зарядку аккумулятора. Если напряжение превышает 4,2 В или ток превышает определенный уровень, контроллер автоматически прекращает зарядку для предотвращения повреждения аккумулятора.

Плюсы:

1. Надежность: TP4056 предоставляет стабильное и надежное зарядное устройство для литий-ионных аккумуляторов, что позволяет им загружаться в безопасных и оптимальных условиях.
2. Эффективность: Алгоритм зарядки TP4056 оптимизирован для обеспечения быстрой и эффективной зарядки аккумулятора. Он может эффективно контролировать ток и напряжение, чтобы достичь максимальной производительности зарядки.
3. Защита аккумулятора: TP4056 имеет встроенные механизмы защиты, которые предотвращают перезарядку и перегрузку аккумулятора. Это защищает аккумулятор от повреждений и продлевает его срок службы.

Микроконтроллер

Микроконтроллер является одним из самых важных компонентов в электронных устройствах. Он играет решающую роль в управлении и контроле процессов в таких устройствах.

Одним из главных преимуществ микроконтроллера является его способность выполнять задачи быстрее и более точно, чем традиционные методы. Микроконтроллеры обладают высокой производительностью и эффективностью, что позволяет им обрабатывать большое количество информации за короткое время.

Кроме того, микроконтроллеры обладают малым размером и низким энергопотреблением, что делает их идеальным выбором для мобильных и портативных устройств. Например, при создании измерительных инструментов, микроконтроллеры помогают сделать эти устройства компактными и экономичными.

Для создаваемого устройства важны такие параметры микроконтроллера как:

1. Разрядность АЦП
2. Энергопотребление в рабочем и нерабочем состоянии
3. Цена
4. Наличие протокола I²C
5. Наличие 1 ШИМ порта

Рассмотрим несколько видов микроконтроллеров от разных компаний:

ESP-32

ESP32 - это микроконтроллер с открытым исходным кодом, разработанный компанией Espressif Systems. Он является мощным и многофункциональным микроконтроллером, применяемым в различных областях.

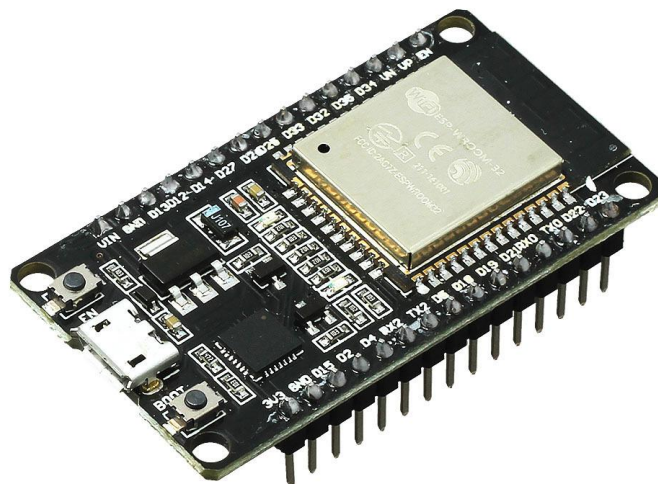


Рис 9. ESP32

Производительность ESP32 впечатляет. Он оснащен 32-битным процессором Xtensa LX6 с тактовой частотой до 240 МГц, имеет 520 КБ ОЗУ и 4 МБ флэш-памяти. Это дает возможность запускать сложные программы и операционные системы.

Основное применение ESP32 включает в себя интернет вещей (IoT - Internet of Things), создание Wi-Fi-устройств, управление периферийными устройствами и домашней автоматикой. Благодаря встроенным Wi-Fi и Bluetooth модулям, ESP32 позволяет создавать беспроводные устройства, взаимодействовать с другими устройствами по беспроводной сети.

Разрядность АЦП (аналогово-цифровой преобразователь) ESP32 равна 12 битам, что обеспечивает точное измерение аналоговых величин. Диапазон измеряемого напряжения составляет от 0 до 3,3 В, что позволяет работать с различными сенсорами и устройствами.

Энергопотребление ESP32 в активном состоянии зависит от используемых модулей, таких как Wi-Fi и Bluetooth. В среднем энергопотребление составляет около 80 мА. В режиме холостого состояния (Deep Sleep Mode), потребление снижается до 10-20 мкА, что делает ESP32 идеальным для батарейных устройств и проектов, требующих минимального энергопотребления.

ESP32 поддерживает протокол ИС (Inter-Integrated Circuit), который позволяет устанавливать связь с другими устройствами, поддерживающими этот протокол. ИС обеспечивает быструю передачу данных между ESP32 и подключенными устройствами, делая его удобным для множества приложений.

Шим (Широтно-Импульсная Модуляция) порты ESP32 позволяют генерировать сигналы с различной длительностью импульсов и частотой. Это особенно полезно при управлении моторами, светодиодами и другими устройствами, где необходимо регулировать скорость, яркость или уровень сигнала.

Средняя цена ESP32 варьируется в зависимости от места покупки и модели микроконтроллера. Однако, можно найти ESP32 по средней цене около 637р в интернет-магазинах или у официальных дистрибьюторов. Цена может варьироваться в зависимости от наличия дополнительных модулей или датчиков, встроенных в плату ESP32.

Плюсы

1. Большая разрядность АЦП
2. Низкое Энергопотребление

3. Наличие протокола I²C
4. Наличие ШИМ

Минусы

1. Высокая цена

ESP-12E

ESP12E - микроконтроллер, основанный на чипе ESP8266, который предоставляет множество возможностей для разработки IoT-проектов. Он отличается высокой производительностью и может использоваться в различных областях применения.



Рис 10. ESP12-E

Производительность ESP12E обеспечивается процессором Tensilica Xtensa LX106 с тактовой частотой 80 МГц. Он обладает 32-битной архитектурой и поддерживает инструкции DSP, что значительно улучшает производительность при работе с обработкой сигналов.

Основное применение ESP12E, как и ESP32, связано с интернетом вещей (IoT), благодаря своей возможности подключения к Wi-Fi. Он может использоваться для создания умных домов, систем автоматизации и мониторинга, умных счетчиков, мониторинга окружающей среды и других подобных проектов.

ESP12E обладает 10-битным аналого-цифровым преобразователем (АЦП), который позволяет измерять напряжение в диапазоне от 0 до 1 В.

Энергопотребление ESP12E в активном состоянии составляет около 170 мА, а в холостом состоянии - около 20 мА.

ESP12E имеет поддержку протокола IIC, который позволяет устройствам обмениваться данными между собой по последовательному интерфейсу. В результате, микроконтроллер может управлять различными сенсорами и периферийными устройствами, такими как датчики температуры, давления, влажности и т.д.

ШИМ-порты ESP12E позволяют генерировать сигналы переменной ширины импульса.

Средняя цена ESP12E составляет около 200-300 рублей, в зависимости от поставщика и региона.

Плюсы:

1. Чуть более низкая цена
2. Наличие ШИМ
3. Наличие I²C

Минусы:

1. Малый диапазон измеряемых напряжений АЦП
2. Высокое энергопотребление в холостом режиме

STM32F103C8T6

Микроконтроллер STM32F103C8T6 является популярным и мощным устройством, которое предлагает высокую производительность и широкий спектр применения. Он оснащен ядром ARM Cortex-M3 с тактовой частотой до 72 МГц.

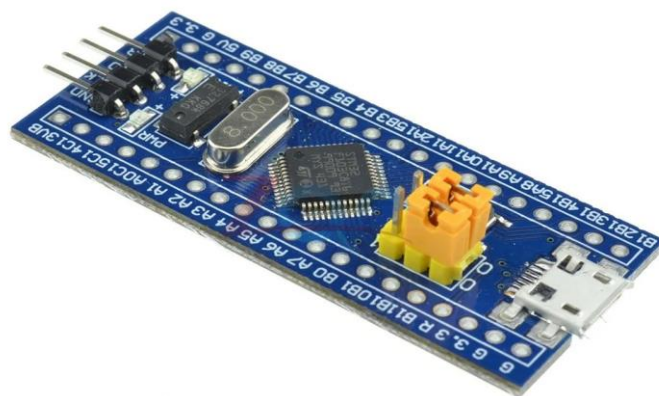


Рис 11. STM32F103C8T6

Производительность STM32F103C8T6 обеспечивает множество возможностей для различных проектов, включая системы автоматизации, умные устройства, робототехнику и многое другое. Богатый функционал и поддержка различных интерфейсов делают его хорошим выбором для разработчиков.

АЦП микроконтроллера имеет разрядность **12 бит**, что обеспечивает высокую точность измерений. Диапазон измеряемого напряжения составляет от 0 до 3.3V. STM32F103C8T6 имеет низкое потребление энергии в активном и холостом состояниях. Максимальный ток до 16 мА. STM32F103C8T6 имеет протокол ИС (Inter-Integrated Circuit), который предоставляет возможность подключения к различным периферийным устройствам и обмена данными с ними.

STM32F103C8T6 обеспечивает несколько шим-каналов для управления ШИМ-сигналами.

В среднем, STM32F103C8T6 находится в стоимостном сегменте от 100р до 450р, в зависимости от поставщика и объема заказа. Цена может варьироваться в разных регионах и у разных продавцов.

Плюсы:

1. Приемлемая цена
2. Большая разрядность АЦП
3. Малое энергопотребление
4. Есть ШИМ
5. Наличие I²C

Минусы:

1. Сложность в разработке программы

ATmega128A

ATmega128A - микроконтроллер, выпускаемый фирмой Microchip. Он является высокопроизводительным, низкопотребляющим и универсальным контроллером, который нашел широкое применение в различных областях.

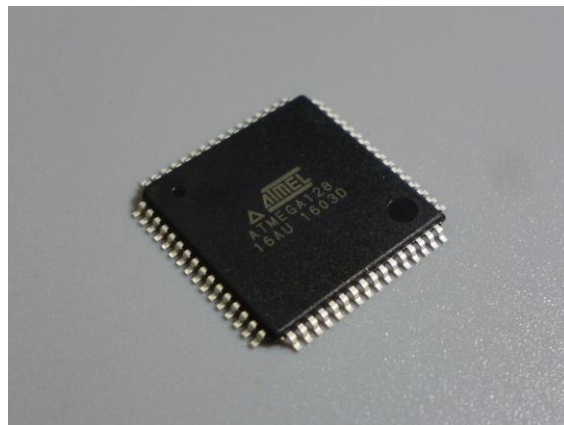


Рис 12. ATmega128A

Производительность ATmega128A достигается за счет его высокочастотного ядра, которое работает на частоте до 16 МГц. Это позволяет обрабатывать данные с высокой скоростью. Кроме того, он имеет большой объем встроенной памяти (128 Кб Flash-памяти), что позволяет хранить большие объемы программного кода и данных.

Главным применением ATmega128A является контроль и управление различными устройствами и системами. Он широко используется в промышленной автоматизации, робототехнике, системах безопасности, автономных устройствах и других приложениях, где требуется надежный и гибкий контроллер.

Важным компонентом ATmega128A является его разрядность АЦП (аналого-цифрового преобразователя). Микроконтроллер оборудован 10-битным АЦП,

что позволяет измерять напряжения в диапазоне от 0 до 5 В. Такой диапазон измерений позволяет эффективно работать с аналоговыми сигналами.

Относительно энергопотребления, ATmega128A имеет низкое энергопотребление как в активном, так и в холостом состоянии. В активном состоянии потребление составляет порядка 10–15 мА при номинальном напряжении питания 5 В. В холостом состоянии потребление снижается до 40 мкА.

Одной из полезных возможностей ATmega128A является поддержка протокола ИС (Inter-Integrated Circuit). ИС - это простой и гибкий интерфейс связи, который позволяет микроконтроллеру обмениваться данными с другими периферийными устройствами. Это делает ATmega128A удобным для подключения и взаимодействия с различными датчиками, дисплеями и другими модулями.

ATmega128A также обладает шим-портами, которые предоставляют возможность генерировать ШИМ-сигналы. Микроконтроллер имеет несколько независимых шим-портов, что позволяет генерировать несколько ШИМ-сигналов одновременно.

Средняя цена микроконтроллера ATmega128A составляет около 540-720 рублей. Однако, это может варьироваться в зависимости от места покупки.

Плюсы:

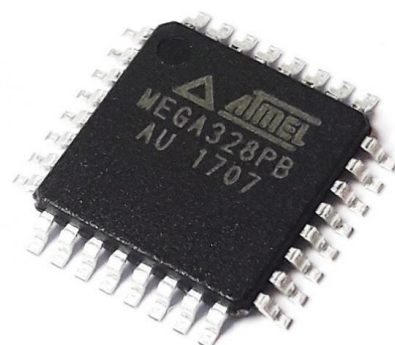
1. Адекватная разрядность АЦП
2. Низкое Энергопотребление
3. Наличие I²C
4. Наличие портов ШИМ

Минусы:

1. Большие габариты чипа
2. Высокая цена

ATmega328P

ATmega328P - один из самых популярных 8-битных микроконтроллеров от компании Microchip. Он предлагает высокую производительность и разнообразные функции, делая



его идеальным выбором для множества приложений.

Рис 13. ATmega328P

Производительность ATmega328P обеспечивается его 8-битным ядром AVR, работающим на тактовой частоте до 20 МГц. Это позволяет достичь высокой скорости выполнения команд, что особенно важно для решения сложных задач.

Основное применение ATmega328P включает в себя контроль различных устройств и систем. Он часто используется в различных типах Arduino-платформ, контролирующих микроконтроллерах в бытовой технике, робототехнике, автоматизации и других аналогичных областях.

Разрядность АЦП (аналого-цифрового преобразователя) ATmega328P составляет 10 бит. Он способен измерять напряжение в диапазоне от 0 до V_{ref} , где V_{ref} - напряжение опоры, и может быть установлено от 1.1 В до питания микроконтроллера.

Энергопотребление ATmega328P в активном состоянии зависит от тактовой частоты и работы различных модулей. При частоте 16 МГц активное энергопотребление составляет примерно 3 мА, а в холостом состоянии - около 0.1 мА. Это делает его эффективным для батарейных и низкопотребляющих устройств.

ATmega328P имеет встроенную поддержку протокола ИС, который является стандартным способом взаимодействия с другими устройствами.

ATmega328P имеет несколько ШИМ-портов, что позволяет ему генерировать сигналы с изменяемой шириной импульсов.

Средняя цена ATmega328P колеблется в зависимости от продавца и количества заказываемых единиц, обычно она составляет около 150-200 Рублей.

Плюсы:

1. Низкая цена
2. Настраиваемое опорное напряжение АЦП
3. Адекватная разрядность АЦП
4. Есть ШИМ
5. Наличие I²C
6. Низкое Энергопотребление
7. Легкость в разработке программ

Минусы:

Не обнаружено

Принципиальная и наглядная схемы

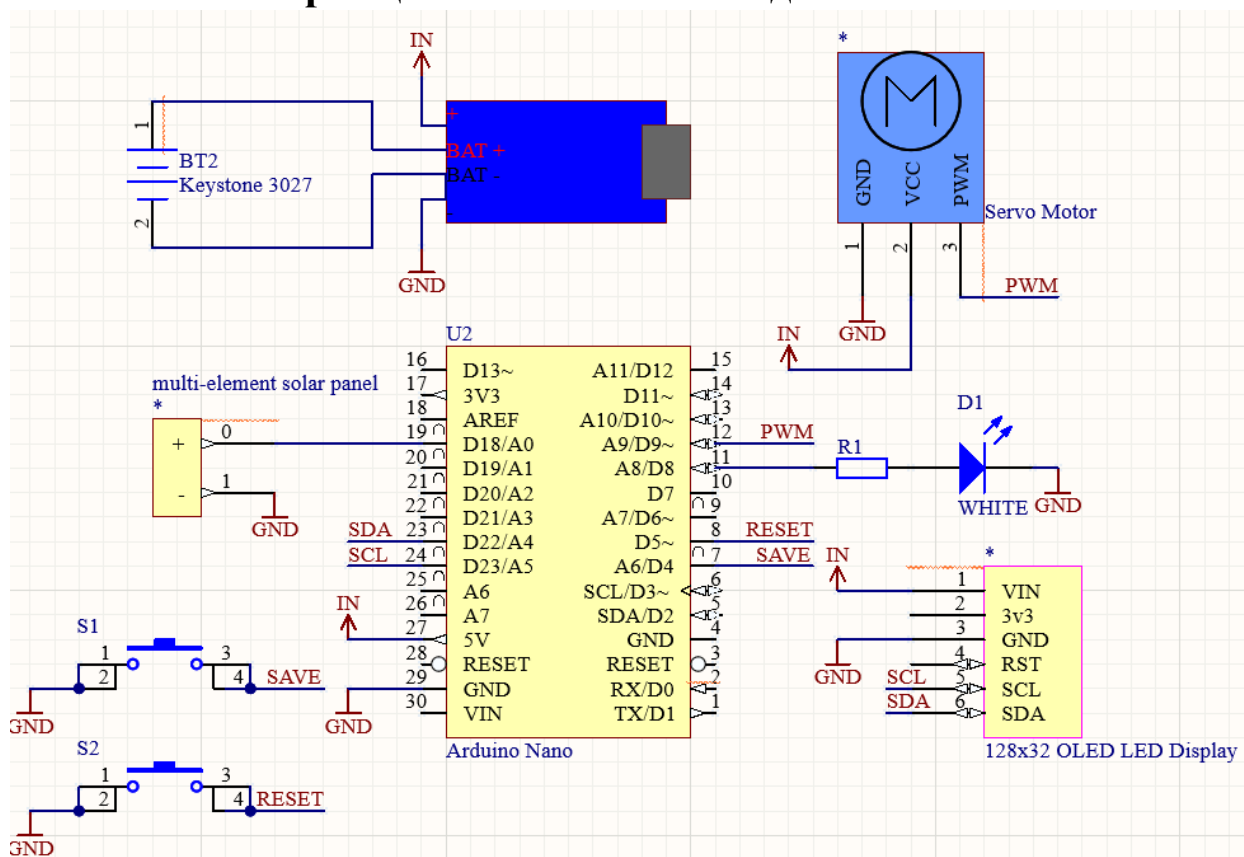


Рис 12. Принципиальная схема

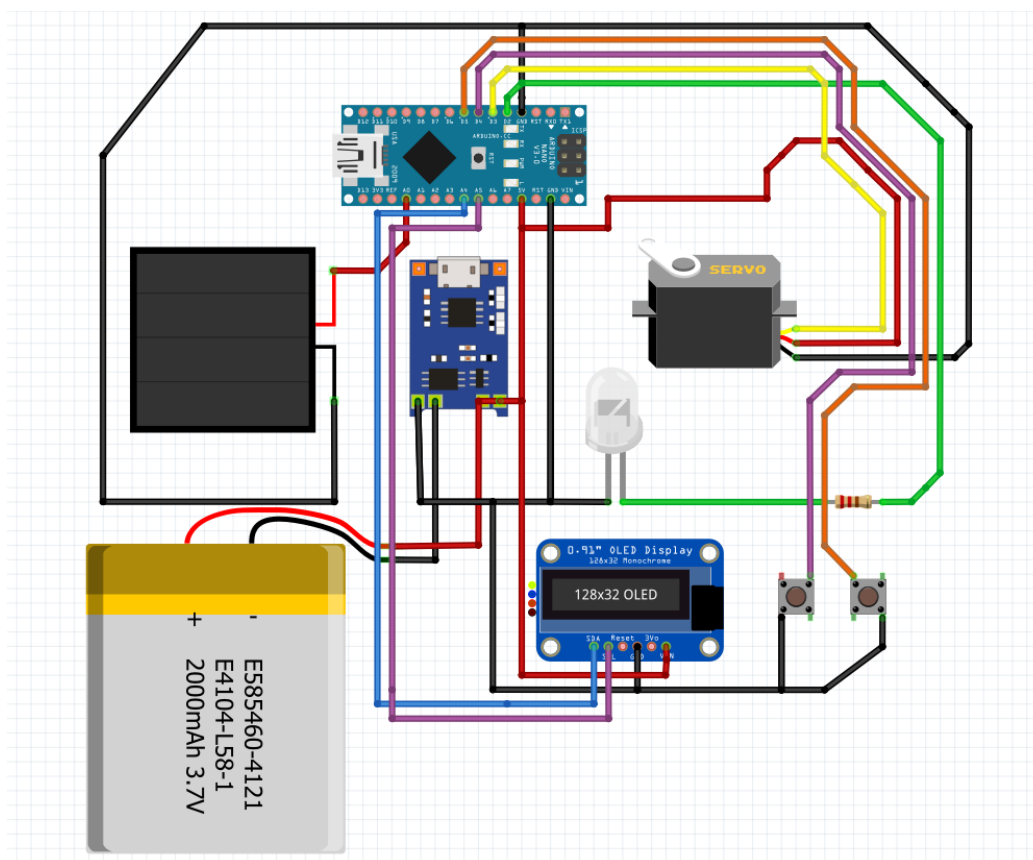


Рис 13. Наглядная схема

Получаемые значения и обработка данных.

Сервопривод пробегает световым пучком по исследуемой поверхности несколько раз, для усреднения получаемых данных и исключения погрешностей. На выходе получается массив значений интенсивности света (значений АЦП) при каждом градусе угла. Число повторов может быть произвольным, оптимальный вариант был выбран в 5 обходов. Усредненный график интенсивности света от угла выглядит так:

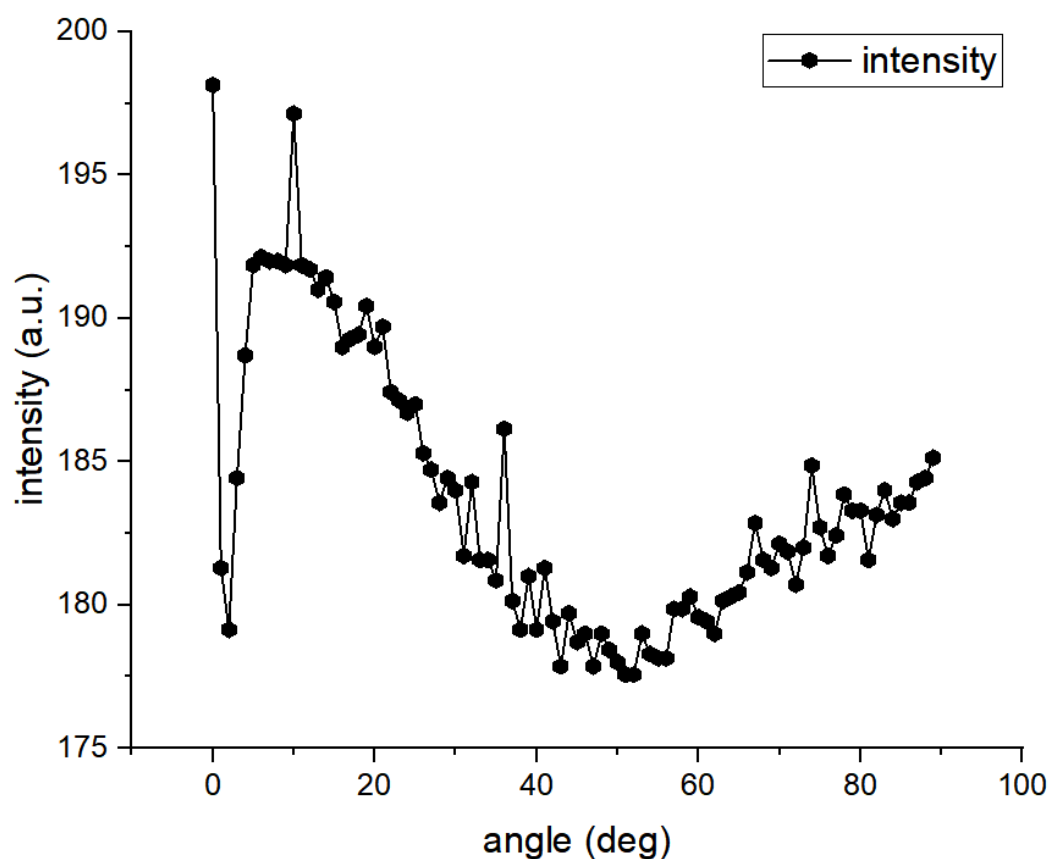


Рис 14. Зависимость интенсивности отраженного света от угла поворота источника света

Эксперимент был проведён в домашних условиях, где сложно достичь полной темноты окружающей среды. Поэтому помимо сигнала со светодиода на чувствительный элемент могло попадать излучение из окружающей среды, чем обусловлены скачки в измеряемой зависимости. Они выделены красным на рис 15

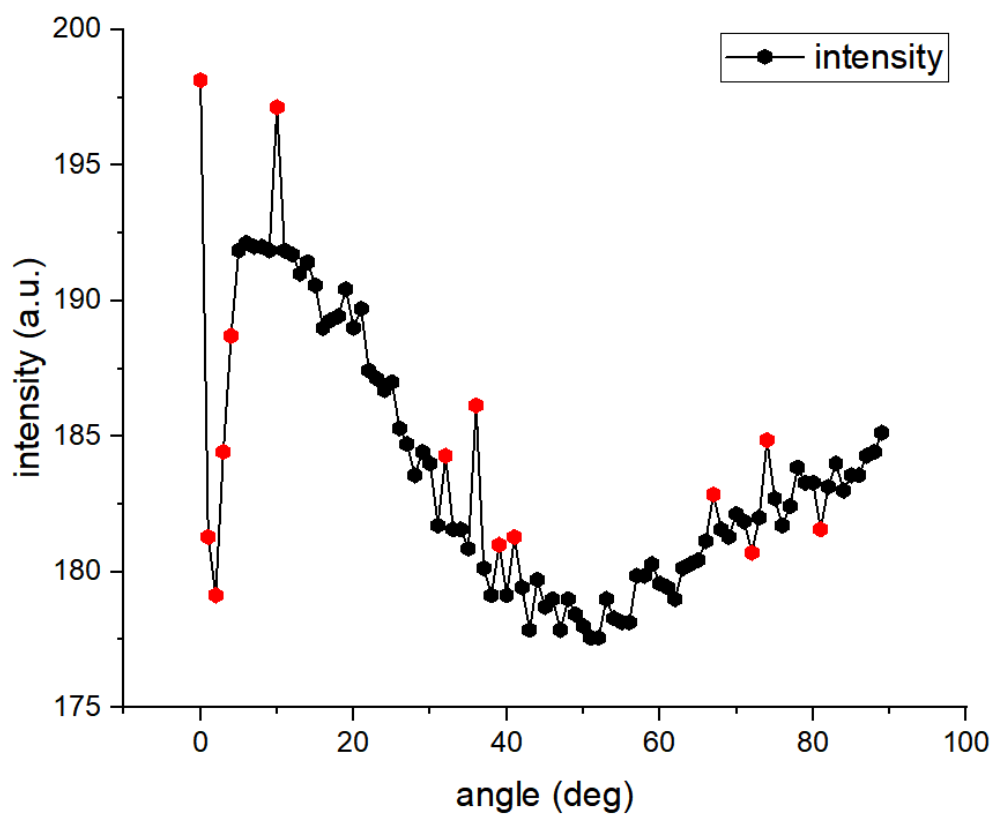


Рис 15. Некоторые точки влияния внешнего освещения на фоточувствительный элемент

Редкие импульсы можно убрать программно. Например, с помощью медианного фильтра.

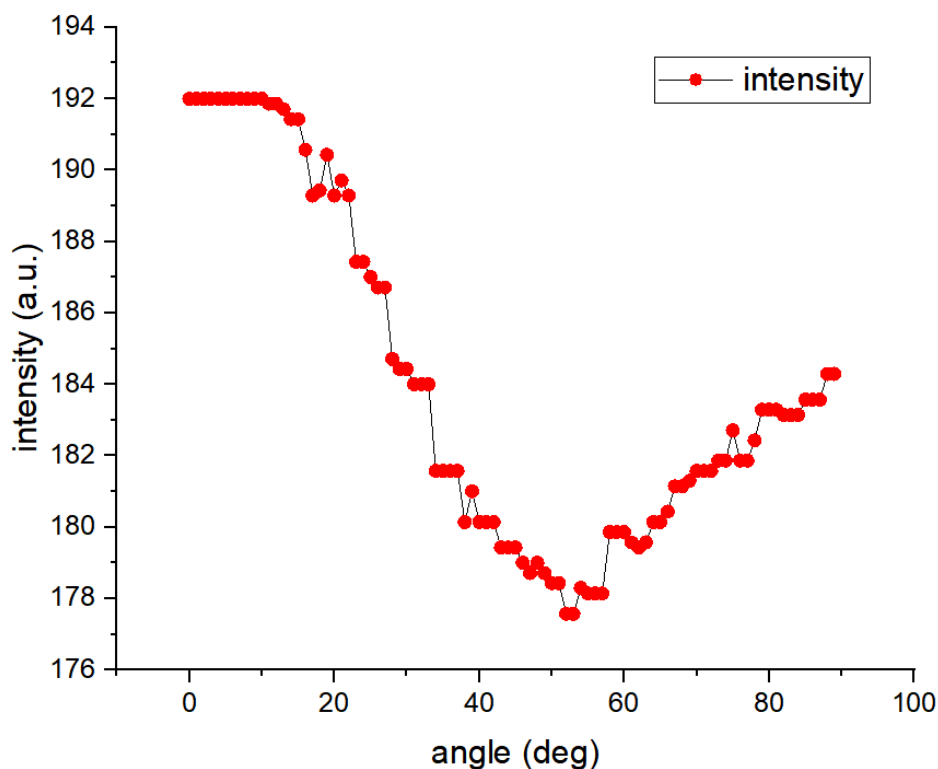


Рис 15. Применение медианного фильтра

Медианный фильтр - это метод обработки графиков, использующий медиану значений соседних точек для определения нового значения точки.

Принцип работы медианного фильтра при обработке графиков следующий:

1. Определение размера окна фильтра. В медианном фильтре окно обычно имеет нечетное количество точек, чтобы можно было определить точный медианный элемент.
2. Перемещение окна фильтра по графику. Окно проходит по графику, начиная с первой точки и перемещаясь вперед до последней точки.
3. Сортировка значений внутри окна. Внутри окна фильтра все значения соседних точек упорядочиваются по возрастанию.
4. Определение медианы. Медиана — это значение, которое занимает центральное положение в отсортированном наборе точек. Если окно фильтра имеет, например, 5 точек, то медиана будет соответствовать значению третьей (серединной) точки.
5. Присваивание нового значения точке, на которой находилось окно фильтра. Медианное значение присваивается этой точке.
6. Повторение для всех точек графика. Описанный процесс повторяется для каждой точки графика, пока все точки не будут обработаны.

Таким образом получили более «чистый» график, но он менее точный. Его нужно сгладить. С этой функцией справляется интерполяция.

Интерполяция - это процесс оценки значений функции или данных между известными точками на графике. Основной принцип действия интерполяции заключается в представлении непрерывной функции или набора данных посредством использования точек, которые являются известными или имеются в наличии.

Для выполнения интерполяции используются различные методы, такие как линейная интерполяция, кубическая интерполяция и сплайн-интерполяция.

В методе линейной интерполяции значения между двумя известными точками вычисляются с помощью прямой линии, которая соединяет эти точки.

Кубическая интерполяция использует полиномы третьей степени для приближения функции, что дает более гладкие и точные результаты.

Метод сплайн-интерполяции разбивает график на отдельные сегменты (сплайны), каждый из которых аппроксимируется полиномом низкой степени.

Как раз последняя интерполяция используется в обработке получаемого графика.

Для более точного определения провала, область интерполяции была взята от 45 до 68 градусов. Это связано с тем, что этому диапазону соответствует большинство исследуемых веществ. Приняв внешнюю среду за воздух, и взяв тангенсы от границ диапазона, можно получить диапазон измерений коэфф. преломления:

$$tg(45^{\circ}) \leq n_{исл} \leq tg(68^{\circ})$$

Формула 5. Точный диапазон измерений

$$1 \leq n_{исл} \leq 2.78$$

Формула 6. Упрощенный диапазон измерений

Применив интерполяцию, мы получаем график, на котором отчетливо виден провал, обозначенный красным цветом:

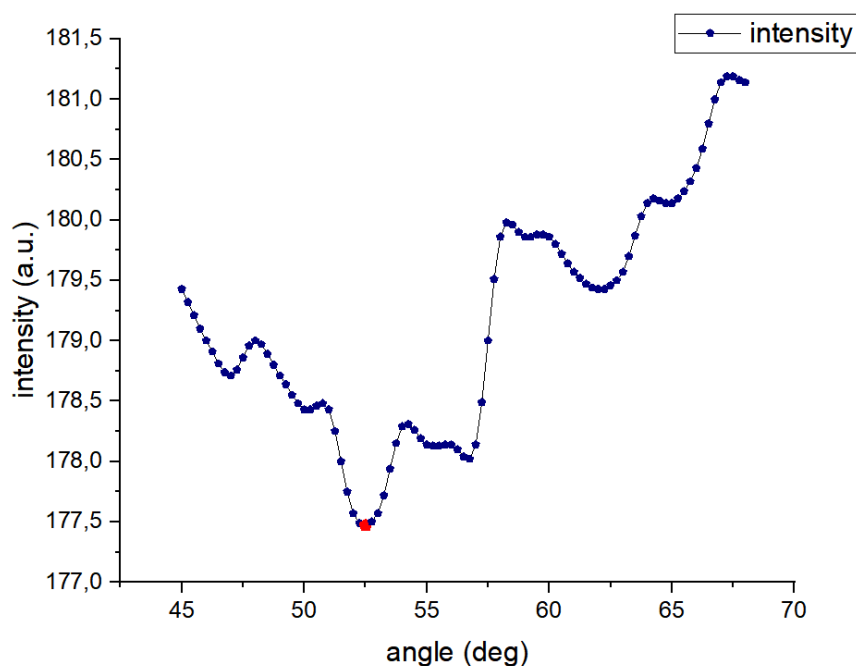


Рис 16. Промежуток интерполяции с точкой минимума

Микроконтроллеру программно задан следующий алгоритм: поиск минимума, которому соответствует конкретное значение угла, который и является углом Брюстера, далее он подставляет это значение в заданную ему формулу 4 и выдаёт значение оптической плотности вещества. В конкретном примере, так как исследуемым объектом была вода, угол Брюстера для нее равен 53° , это видно из эксперимента с небольшой погрешностью.

| | |
|-------|--------|
| 51.50 | 178.00 |
| 51.75 | 177.75 |
| 52.00 | 177.57 |
| 52.25 | 177.49 |
| 52.50 | 177.47 |
| 52.75 | 177.50 |
| 53.00 | 177.57 |
| 53.25 | 177.72 |
| 53.50 | 177.94 |
| 53.75 | 178.15 |
| 54.00 | 178.29 |
| 54.25 | 178.31 |
| 54.50 | 178.26 |
| 54.75 | 178.19 |
| 55.00 | 178.14 |
| 55.25 | 178.13 |
| 55.50 | 178.13 |
| 55.75 | 178.14 |

Рис 17. Полученные значения с микроконтроллера

Таким образом полученное значение показателя преломления исследуемого вещества равно

$$tg(52.5^\circ) \approx 1.3$$

Формула 7. Полученные экспериментальные данные

Что сходится с табличными значениями показателя преломления воды.

Так же была измерена оптическая плотность и у других материалов.

Например, у стекла:

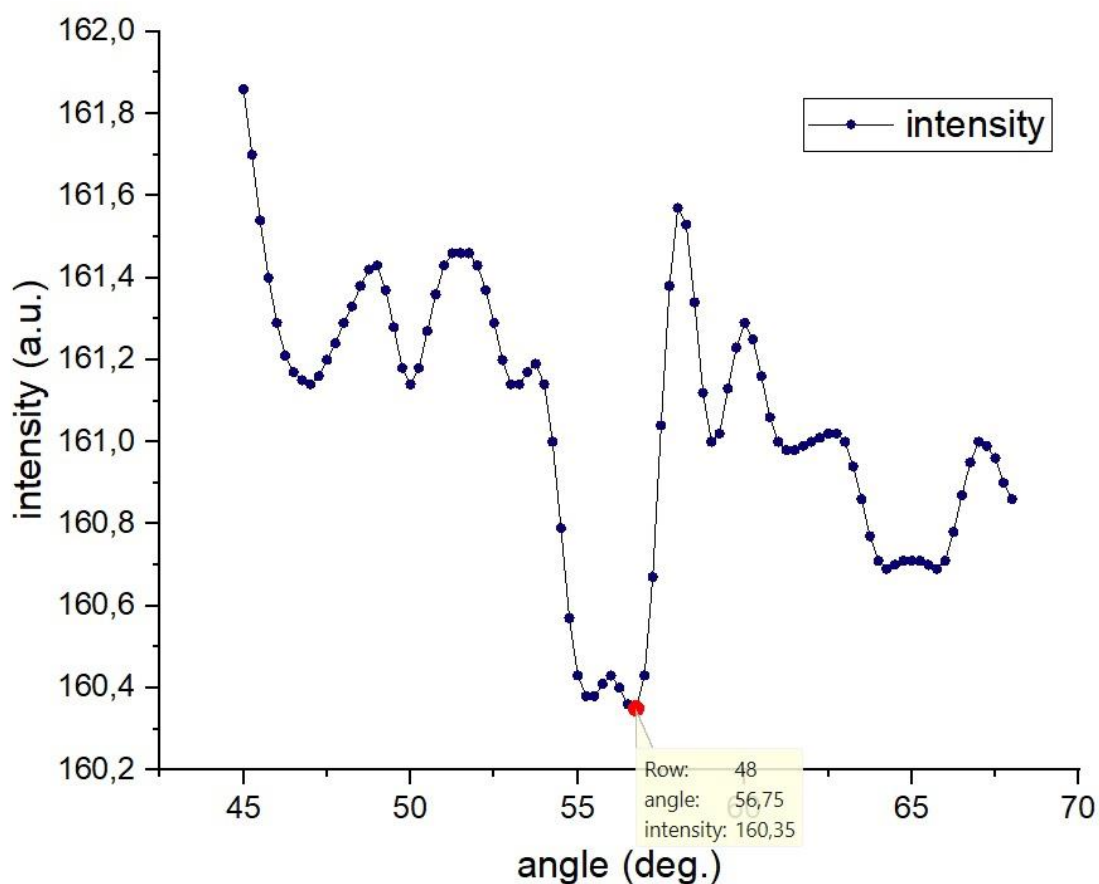


Рис 18. Точка минимума в графике интенсивности от угла поворота для стекла

Почитаем оптическую плотность стекла:

$$tg(56.75^\circ) \approx 1.53$$

Формула 8. Оптическая плотность стекла

Печатная плата

Печатная плата – это основа электронного устройства, на которой устанавливаются и соединяются различные компоненты, такие как микросхемы, резисторы, конденсаторы и другие электронные элементы. Она является неотъемлемой частью всех современных электронных устройств.

Основная функция печатной платы – обеспечить соединение и электрическую связь между компонентами электронного устройства. Она позволяет передавать сигналы, данные и питание между компонентами, обеспечивая работу устройства.

Печатная плата обычно состоит из трех основных слоев: металлической фольги, основного материала и вновь металлической фольги. Основным материалом, из которого изготавливают печатные платы, чаще всего представляет собой стеклоэпоксидную фибerglassовую текстолитовую пластину. Он имеет хорошие диэлектрические свойства, механическую прочность и устойчивость к высоким температурам.

Металлическая фольга, обычно медная, наносится на основной материал с одной или двух сторон. Медная фольга играет роль проводника, по которому протекают электрические сигналы и питание. Чтобы создать электрические соединения, провода на плате, медная фольга подвергается гравированию в некоторых местах, чтобы создать требуемую проводимость и изоляцию.

Мною была выполнена разводка гравирования печатной платы. В программном виде можно увидеть на рис 17.

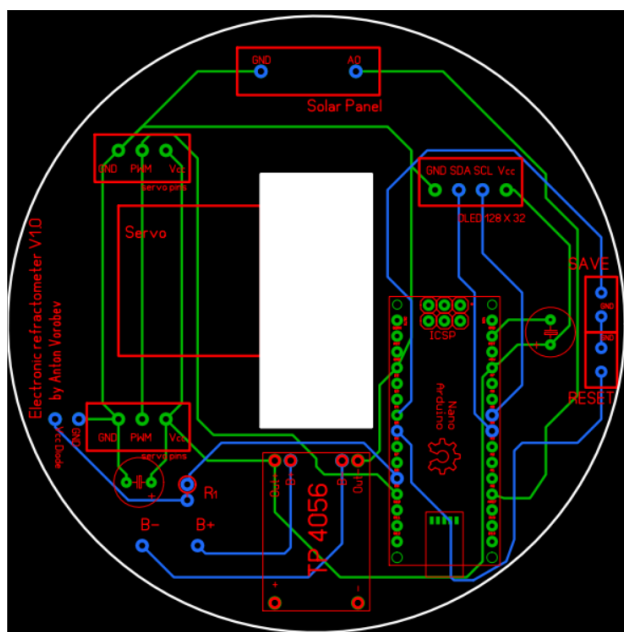


Рис. 19. Разводка печатной платы в программном виде

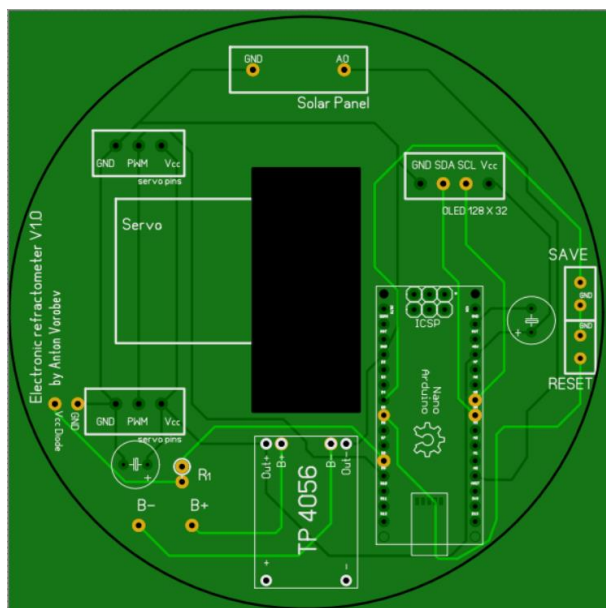


Рис. 20. Разводка печатной платы в виде реальной жизни

Плата выполнена в виде круга, чтобы соответствовать измерительной части корпуса, в которой и будет находиться все основные компоненты, кроме компонентов управления.

Корпус



Рис. 21. Вид корпуса в 3D программе.

Корпус был создан в программе Blender и представляет из себя измерительную часть, где поддерживается максимальная темнота для большей точности измерений, а также часть управления. Между ними есть рукоять для удобной транспортировки и использования устройства.



Рис. 22. Вид части управления.

На этой части можно выделить 3 отверстия. Самое большое, прямоугольное, под экран, на который будет выводиться измеренная оптическая плотность.

Остальные два отверстия сделаны под кнопки SAVE и RESET.

В дальнейшем корпус будет напечатан на 3D принтере с толщиной пластика в 3 мм., что является хорошим показателем для прочности устройства.

Предполагаемый пластик печати: ABS

Программа

Программа для микроконтроллеров – это набор инструкций, которые определяют функциональность и поведение микроконтроллера. Она может быть написана на специальных языках программирования, таких как C, C++ или ассемблер.

Важность программы для микроконтроллера весьма высока. Она является ключевым элементом, определяющим, как микроконтроллер будет выполнять свои задачи. Без программы микроконтроллер становится бесполезным устройством, неспособным обрабатывать информацию и выполнять требуемые действия.

Программа для микроконтроллера также определяет основные функции и алгоритмы, необходимые для работы устройства. Например, она определяет, как читать и записывать данные в определенные порты ввода-вывода, как обрабатывать сигналы, взаимодействовать с другими устройствами и выполнять различные вычисления.

Важность правильной и эффективной программы состоит в том, что она позволяет максимально использовать возможности микроконтроллера, снижает потребление энергии и ресурсов, улучшает производительность и надежность устройства.

Программа – это в первую очередь алгоритм. Алгоритм представлен на рис. 23:

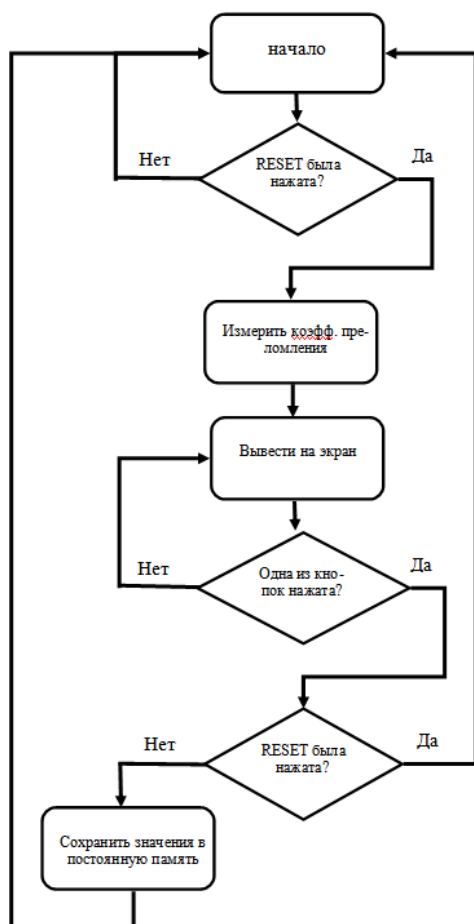


Рис. 23. Алгоритм программы

В свою очередь блок «Измерить коэф. преломления» так же состоит из своих процедур, которые представлены на рис. 24:

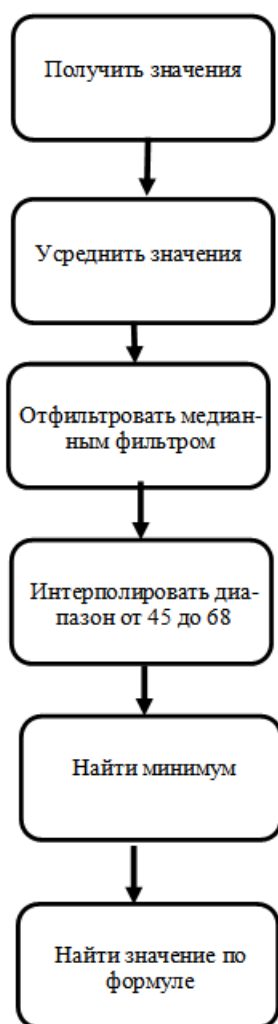


Рис. 24. Алгоритм измерения коэффициента преломления

Программа для Микроконтроллеров ATmega328P пишется на языке программирования C++, так как таким образом программа получается компактной и быстрой для Микроконтроллера, а так же читаемой для человека.