

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования «Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Факультет компьютерных систем и сетей
Кафедра электронных вычислительных машин
Дисциплина: Схемотехника

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к курсовому проекту
на тему

МЕТАЛЛОИСКАТЕЛЬ

БГУИР КП 1-40 02 01 116 ПЗ

Студент: группы 250501,
Лукьянов Е.О.

Руководитель: ассистент каф. ЭВМ
Стракович А. И.

Минск 2024

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Факультет: КСиС. Кафедра: ЭВМ.

Специальность: 40 02 01 «Вычислительные машины, системы и сети».

Специализация: 400201-01 «Проектирование и применение локальных компьютерных сетей».

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой ЭВМ

_____ Б.В. Никульшин

«_____» _____ 2024 г.

ЗАДАНИЕ

по курсовому проекту студента
Лукьянов Евгения Олеговича

1 Тема проекта: «Металлоискатель»

2 Срок сдачи студентом законченного проекта: 1 декабря 2024 г.

3 Исходные данные к проекту:

- 3.1** Микроконтроллер
- 3.2** Аудиоусилитель
- 3.3** Генератор частот
- 3.4** Аудиогнездо
- 3.5** Динамик
- 3.6** Катушка
- 3.7** Батарейка
- 3.8** Кнопки, тумблеры, потенциометры

4 Содержание пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов):

Введение 1. Обзор литературы. 2. Разработка структуры устройства. 3. Обоснование выбора узлов, элементов функциональной схемы устройства. 4. Разработка принципиальной электрической схемы устройства. 5. Разработка программного обеспечения. Заключение. Список использованных источников. Приложения.

5 Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

5.1 Metalloискатель. Схема электрическая структурная.

5.2 Металлоискатель. Схема электрическая функциональная.

5.3 Металлоискатель. Схема электрическая принципиальная.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов курсового проекта	Объем этапа, %	Срок выполнения этапа	Примечания
Обзор литературы	15	01.09 – 20.09	
Разработка структурной схемы	15	21.09 – 04.10	
Разработка функциональной схемы	20	05.10 – 23.10	
Разработка принципиальной схемы	15	24.10 – 05.11	
Разработка программного обеспечения	15	06.11 – 15.11	
Создание макета устройства	10	16.11 – 23.11	
Оформление пояснительной записки и графического материала	10	24.11 – 01.12	
Защита курсового проекта		07.12 – 19.12	

Дата выдачи задания: 13.09.2024 г.

РУКОВОДИТЕЛЬ

Стракович А.И.

(подпись)

Задание принял к исполнению

Лукьянов Е.О.

(дата и подпись студента)

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	6
1.1 Обзор технологий и алгоритмов поставленной задачи	6
1.2 Обзор аналогов.....	7
1.3 Микроконтроллеры	7
1.4 Аудиоусилители.....	8
1.5 Генератор частот.....	9
2 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ УСТРОЙСТВА.....	10
2.1 Постановка задачи	10
2.2 Определение компонентов структуры устройства.....	10
2.3 Взаимодействие компонентов устройства	10
3 ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА УЗЛОВ, ЭЛЕМЕНТОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА	12
3.1 Обоснование выбора микроконтроллера	12
3.2 Обоснование выбора аудиоусилителя	12
3.3 Обоснование выбора генератора частот.....	13
4 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА	14
4.1 Расчет мощности элементов схемы	14
4.2 Микроконтроллер	14
4.3 Аудиоусилитель	15
4.4 Генератор частот.....	15
5 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	18
5.1 Требования к программе.....	18
5.2 Схема алгоритма программы.....	18
5.3 Код программы	18
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	19
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	20
ПРИЛОЖЕНИЕ А	21
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	22
ПРИЛОЖЕНИЕ В	23
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	24
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	25
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	28
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж	29

ВВЕДЕНИЕ

Металлоискатели играют важную роль в современном обществе, предлагая широкий спектр применения в различных областях науки, техники и повседневной жизни. Они используются для решения таких задач, как обнаружение подземных коммуникаций, поиск сокровищ, обеспечение безопасности на транспортных узлах и предотвращение контрабанды. металлоискатели также активно применяются в археологических раскопках, что помогает исследователям выявлять и сохранять культурные ценности, спрятанные под землей веками. В строительной отрасли они помогают находить металлические конструкции или арматуру, а в сфере безопасности — обеспечивать защиту на важных объектах.

Технологический прогресс открывает новые возможности для усовершенствования металлоискателей, делая их более точными, компактными и многофункциональными. В зависимости от требований к обнаружению и условиям эксплуатации, металлоискатели могут различаться по конструкции, принципу работы, чувствительности и дальности обнаружения. Современные металлоискатели способны не только фиксировать наличие металлов, но и различать их типы на основе физических характеристик, таких как проводимость и магнитные свойства.

В рамках данного курсового проекта ставится задача разработки и создания металлоискателя, который будет иметь возможность обнаруживать различные виды металлов на различной глубине и различать типы металлических объектов по их физическим характеристикам. Это требует интеграции как аппаратной, так и программной частей устройства. В ходе работы необходимо выбрать подходящие компоненты: датчики, контроллеры, источники питания и средства вывода данных. В программной части будет разработан алгоритм, обеспечивающий точное определение объекта и минимизацию ложных срабатываний.

Проект направлен на создание устройства, которое сможет эффективно функционировать в условиях хобби-использования, например, для поиска монет и артефактов. В процессе разработки будет уделено внимание принципам работы металлоискателей, особенностям их применения в разных ситуациях, а также современным технологиям, повышающим их эффективность.

В завершение проекта планируется провести тестирование созданного устройства в реальных условиях, что позволит оценить его функциональные возможности и определить области для дальнейшего усовершенствования.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Обзор технологий и алгоритмов поставленной задачи

Современные металлоискатели работают на основе различных физических принципов, обеспечивающих обнаружение металлов под поверхностью земли. Существуют несколько технологий, которые широко применяются в металлоискателях:

1. Технология VLF (Very Low Frequency) — металлоискатели на основе низкочастотного электромагнитного излучения. В этих устройствах используются два катушечных контура: один передающий, другой принимающий. Передающий контур создает электромагнитное поле, которое вызывает вихревые токи в металлических объектах. Принимающий контур фиксирует изменения магнитного поля, вызванные этими токами. Технология VLF является одной из самых распространённых благодаря высокой точности обнаружения на небольшой глубине.

2. PI (Pulse Induction) — импульсная индукция. В таких металлоискателях передающий контур создает короткие электромагнитные импульсы высокой мощности, которые вызывают токи в металлических объектах. Затем устройство анализирует затухание этих токов для обнаружения объектов. Технология PI позволяет обнаруживать объекты на большей глубине по сравнению с VLF, но менее эффективна при различении типов металлов.

3. BB (Beat Frequency Oscillation) — метод, основанный на сравнении частоты колебаний двух контуров: одного фиксированного и одного изменяющегося при наличии металлического объекта. Изменение частоты позволяет обнаруживать металлические объекты, однако этот метод считается менее точным и редко используется в современных устройствах.

4. Технология мультимчастотного детектирования — металлоискатели, работающие одновременно на нескольких частотах, что позволяет улучшить обнаружение металлов разных типов и размеров. Эти устройства отличаются большей универсальностью и точностью.

Алгоритмы обработки данных в металлоискателях варьируются в зависимости от используемой технологии. Основная задача алгоритма — различить полезные сигналы от металлов и фоновые шумы. Для этого используются следующие подходы:

1. Фильтрация сигналов: устройства анализируют полученные сигналы, фильтруя шумы и выделяя полезные отклонения, которые свидетельствуют о наличии металла.

2. Различение металлов: с помощью анализа формы и интенсивности полученных сигналов металлоискатель может различать цветные металлы (например, медь, алюминий) от черных (железо).

3. Оценка глубины: в зависимости от силы сигнала устройство может оценить глубину залегания объекта.

1.2 Обзор аналогов

На рынке представлено множество моделей металлоискателей, предназначенных для разных целей — от простых устройств для любительского поиска монет до профессиональных систем для геологоразведки и безопасности. Рассмотрим несколько популярных примеров:

1. Garrett ACE 250 — популярная модель для любительского поиска. Использует технологию VLF с частотой около 6.5 кГц. Обладает высокой чувствительностью и возможностью различать типы металлов. Модель проста в использовании, но имеет ограниченные возможности по глубине поиска.

2. Minelab Excalibur II — профессиональный металлоискатель с технологией мультитемного детектирования (BBS). Способен работать под водой и обнаруживать металлы на значительных глубинах. Применяется для поиска на пляжах и в условиях повышенной влажности.

3. Fisher F75 — модель для профессионального поиска с использованием технологии VLF и возможности настройки на различные типы металлов. Отличается высокой скоростью работы и хорошей чувствительностью.

4. XP Deus — один из самых продвинутых металлоискателей с возможностью беспроводного управления и множеством настроек для профессиональных пользователей. Поддерживает работу на нескольких частотах и имеет широкий набор функций для анализа сигналов и фильтрации.

Анализ существующих технологий и устройств показывает, что металлоискатели на основе VLF наиболее подходят для создания простых, но точных устройств с возможностью различения типов металлов. Более продвинутые устройства, использующие мультитемное детектирование, обеспечивают лучшее качество обнаружения, но требуют сложных алгоритмов и более мощных аппаратных компонентов. Разработка нового металлоискателя должна учитывать баланс между стоимостью, сложностью реализации и необходимыми характеристиками.

1.3 Микроконтроллеры

Кроме возможных аналогов самого устройства, которые уже были реализованы и используются, нам необходимо рассмотреть немаловажную часть, а именно - возможные варианты микроконтроллеров. Рассмотрим несколько популярных вариантов, включая АТМega328Р, который будет использоваться в проекте. Результаты сравнения представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Сравнение микроконтроллеров

Параметр	ATMega328P	STM32F103C8T6	ESP32
Входное напряжение	7V - 12V	2.0V – 3.6V	2.2V - 3.6V
Флеш-память	32KB	64KB	4MB
ОЗУ	2KB	20KB	520KB
Тактовая частота	16MHz	72MHz	240MHz
Разрядность	8 бит	32 бит	32 бита
Цифровые входы	14	37	36
Цифровые выходы	14	16	30
Выходное напряжение	0V – 5V	0V – 3.3V	0V – 3.3V
Рабочая температура	-40°C до +85°C	-40°C до +85°C	-40°C до +125°C
Размеры	18мм x 45мм	32мм x 22мм	18мм x 25мм

1.4 Аудиоусилители

Для выбора оптимального усилителя, подходящего для использования в проекте, включая РАМ8403, был проведен анализ характеристик. Результаты представлены в таблице.

Таблица 1.2 – Сравнение аудиоусилителей

Параметр	РАМ8403	TDA7297	LM386
Рабочее напряжение	2.5V - 5.5V	6V - 18V	4V - 12V
Выходная мощность	3 Вт x 2	15 Вт x 2	0.7 Вт
Коэффициент усиления	24 дБ	до 32 дБ	Регулируемый (20 – 200 дБ)
Тип входа	Аналоговый	Аналоговый	Аналоговый

Продолжение таблицы 1.2

Выходное сопротивление	4 – 8 Ом	4 – 8 Ом	8 Ом
Энергопотребление	Низкое	Среднее	Низкое
Качество звука	Хорошее	Очень хорошее	Среднее
Размеры	20мм x 16мм	35мм x 31мм	8-контактный DIP
Дополнительные функции	Встроенная защита от короткого замыкания	Тепловая защита, защита от короткого замыкания	Простая схема подключения

1.5 Генератор частот

Генератор частот в данной схеме представляет собой LC-колебательный контур с транзисторным усилителем. Он обеспечивает создание стабильных электрических колебаний, которые необходимы для работы устройства. Основной принцип работы основан на резонансной частоте колебательного контура, поддерживаемой обратной связью через транзистор.

Принцип работы генератора: при подаче питания контур начинает генерировать колебания. Транзистор усиливает сигнал и поддерживает генерацию. Резонансная частота генерации определяется характеристиками индуктивности и ёмкости в контуре.

2 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ УСТРОЙСТВА

2.1 Постановка задачи

Целью данного курсового проекта является разработка и создание металлоискателя, который способен обнаруживать металлические объекты на различной глубине. Устройство должно быть компактным, простым в использовании и обладать высокой точностью обнаружения. Результаты можно посмотреть на структурной схеме, представленной в приложении А.

Основные задачи, которые необходимо решить в рамках проекта:

1. Изучение принципов работы металлоискателей и выбор оптимального типа устройства для поставленной задачи.
2. Разработка схемотехники, включающей выбор датчиков, микроконтроллера и прочих необходимых компонентов.
3. Написание программы для обработки сигналов, поступающих с датчиков, с целью различения типов металлов и их локализации.
4. Создание удобного для использования корпуса устройства.
5. Тестирование устройства в реальных условиях и оценка его эффективности.

2.2 Определение компонентов структуры устройства

1. Микроконтроллер – основной компонент. Выполнение обработки поступающей информации, дополнительных вычислений.
2. Генератор частот – важный компонент, который служит для создания электрического сигнала определённой частоты, играет роль возбудителя электромагнитного поля.
3. Катушка – главный датчик металлоискателя, который взаимодействует с окружающей средой. Она состоит из витков проводника и подключена к генератору частот.
4. Аудиоусилитель – компонент для усиления звукового сигнала.
5. Аудиогнездо (3.5mm jack) – компонент для подключения наушников к устройству.
6. Динамик – устройства для вывода звука.
7. Батарейка 9V – компонент для питания устройства.
8. Кнопки, тумблеры и потенциометры – элементы для управления устройством.

2.3 Взаимодействие компонентов устройства

Металлоискатель представляет собой устройство, в котором все компоненты взаимодействуют для выполнения единой задачи – обнаружения металлических объектов. Основным источником питания является батарейка 9В, которая через тумблер включает устройство и обеспечивает работу всех его частей. При включении активируется генератор частот, создающий

электрический сигнал заданной частоты. Этот сигнал поступает на катушку, представляющую собой основной датчик устройства. Катушка преобразует электрический сигнал в электромагнитное поле, которое распространяется в окружающую среду.

Когда металлический объект попадает в зону действия этого поля, в нем возникают вихревые токи, которые изменяют характеристики поля, такие как частота, амплитуда и фаза. Эти изменения фиксируются катушкой и передаются в микроконтроллер. Микроконтроллер выполняет обработку поступающей информации, анализируя сигналы и вычисляя наличие металлического объекта.

Для вывода звуковой индикации микроконтроллер передает обработанный сигнал на аудиоусилитель, который усиливает его для воспроизведения. Усиленный сигнал подается на динамик или через аудиогнездо на наушники, позволяя пользователю получать звуковую информацию об обнаруженных объектах. Управление устройством осуществляется при помощи кнопок, тумблеров и потенциометров, которые позволяют регулировать параметры работы металлоискателя, такие как чувствительность, громкость и выбор режима.

Таким образом, генератор частот, катушка, микроконтроллер, аудиоусилитель, динамик и органы управления работают в тесной связке, обеспечивая стабильную работу металлоискателя и удобство его использования.

3 ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА УЗЛОВ, ЭЛЕМЕНТОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА

В результате данного этапа проектирования была сформирована функциональная схема устройства, которая представлена в приложении Б.

3.1 Обоснование выбора микроконтроллера

В данной курсовой работе выбор пал на микроконтроллер ATmega328P.

Выбор данного контроллера обусловлен покрытием всех необходимых для реализации проекта условий, а также рядом факторов:

1. Доступность: микроконтроллер ATmega328P является достаточно распространённым на сегодняшний день, что позволяет приобрести его без длительного ожидания и лишних затрат времени и средств. Благодаря его доступности также имеется хорошая информационная база, где можно найти всю необходимую информацию для начала работы с микроконтроллером.

2. Простота использования: ATmega328P имеет достаточно простую архитектуру и хорошую, подробную документацию, что делает его относительно лёгким для изучения и использования. Также нельзя не учесть простоту программирования с помощью Arduino IDE.

3. Удобство: на текущий период времени количество всевозможных программ и библиотек, а также устройств и интерфейсов, является достаточным для осуществления большинства простых и даже комплексных проектов.

4. Энергоэффективность: микроконтроллер имеет низкое энергопотребление, что делает его одним из основных кандидатов для использования в устройствах, имеющих источники питания с ограниченной ёмкостью.

Совокупность этих факторов делает выбор ATmega328P крайне привлекательным в качестве первого проекта с использованием микропроцессора.

3.2 Обоснование выбора аудиоусилителя

Согласно ранее приведённым данным в таблице 1.2 и относительно невысоким требованиям проекта, с учётом следующих факторов, приходим к выводу о рациональности использования аудиоусилителя PAM8403:

1. Компактность и удобство интеграции: PAM8403 имеет минимальные размеры, что упрощает его установку в небольшой корпус блока управления.

2. Низкое энергопотребление: аудиоусилитель работает с минимальным энергопотреблением, всего 2.5 Вт, что существенно увеличивает время работы устройства от батареи. Металлоискатель часто используется вдали от источников питания, поэтому экономия заряда батареи является преимуществом.

3. Поддержка питания 5В: данный усилитель питается от стандартного напряжения 5 В, что соответствует напряжению, подаваемому микроконтроллером. Это позволяет интегрировать РАМ8403 в схему без необходимости дополнительных преобразователей напряжения.

4. Качество звука: несмотря на компактность, усилитель обеспечивает мощность до 3 Вт на канал, что достаточно для чёткого воспроизведения звуковых сигналов, информирующих пользователя об обнаружении металлов.

5. Низкая стоимость: для бюджетного проекта металлоискателя использование недорогих компонентов является ключевым критерием. РАМ8403 имеет доступную цену, что делает его выбор экономически выгодным.

3.3 Обоснование выбора генератора частот

Был выбран простой генератор частот, использующий транзистор BC547, резисторы сопротивлением 10 ком и 1.2 кОм, конденсаторы ёмкостью 22 нФ и 100 нФ и катушку с 30 витками медного провода диаметром 0,1 мм. Этот генератор играет ключевую роль в создании сигнала определённой частоты для работы металлоискателя. Обоснование выбора такого типа генератора частот можно разделить на несколько ключевых моментов:

Низкая стоимость: использование перечисленных компонентов, учитывая их доступность на рынке, позволяет избежать удорожания реализации проекта.

Компактность и минимальные размеры: генератор на основе транзистора и пассивных компонентов обладает компактными размерами, что идеально подходит для устройства с ограниченным пространством блока управления, которое должен быть лёгким и удобным.

Возможность настройки частоты: схема генератора позволяет гибко настраивать частоту через изменение значений резисторов и конденсаторов.

Эффективность и низкое потребление энергии: простой генератор частот, использующий транзистор, работает с низким потреблением энергии, что важно для устройства с автономным питанием, как металлоискатель.

Устойчивость к внешним воздействиям: схема на основе транзистора и пассивных компонентов устойчива к внешним помехам и не требует сложной защиты от перегрузок. Это повышает надёжность работы генератора, что важно для эксплуатации устройства в различных условиях.

4 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА

Разработанная принципиальная схема приведена в приложении В.

4.1 Расчет мощности элементов схемы

Проектируемое устройство будет питаться от общего источника питания. Для расчета характеристик блока питания была составлена таблица 4.1.

Таблица 4.1 – Характеристики компонентов устройства

Модуль	$U_{\text{пит}}$, мВ	$I_{\text{макс}}$, мА	$P_{\text{потр}}$, мВт
Микроконтроллер – Arduino Nano ATmega328P	5	30	150
Аудиоусилитель – РАМ8403	5	30	150
Генератор частот	5	10	50
Катушка	5	160	800
Кнопки, тумблеры и потенциометры	5	~0	~0
Суммарная мощность			1150

Исходя из параметров компонентов, приведенных в таблице 4.1, выбран источником питания батарейка 9V, общее напряжение питания $U_{\text{общ}} = 5\text{В}$.

Рассчитаем минимальный необходимый ток по следующей формуле:

$$I = \frac{P_{\text{потр}}}{U_{\text{общ}}}, \quad (4.1)$$

получим

$$I = \frac{1150 \text{ мВт}}{5 \text{ В}} = 230 \text{ мА}.$$

4.2 Микроконтроллер

В таблице 4.2 представлено описание контактов микроконтроллера.

Таблица 4.2 – Описание контактов микроконтроллера

Контакт	Описание
VCC	Питание
GND	Земля
RESET	Сброс микроконтроллера
D0 - D13	Цифровые входы
A0 - A5	Аналоговые входы
AREF	Опорное напряжение

Продолжение таблицы 4.2

AVCC	Питание для аналоговых цепей
ADC	Подключение к аналоговым датчикам для считывания значений напряжения

4.3 Аудиоусилитель

В таблице 4.3 представлено описание контактов аудиоусилителя

Таблица 4.3 – Описание контактов аудиоусилителя

Контакт	Описание	Подключение к микроконтроллеру
power +	Питание	VCC
power -	Земля	GND
L	Левый входной сигнал	-
G	Земля	GND
B	Левый входной сигнал	D12
rout+	Выход правого канала	-
rout-	Земля правого канала	-
lout+	Выход левого канала	-
lout-	Земля левого канала	-

4.4 Генератор частот

Компоненты генератора частот:

1. Катушка индуктивности (30 витков провода диаметром 0,1 мм, диаметр 15 см): создаёт магнитное поле и участвует в формировании резонансной частоты.

2. Конденсаторы (22 нФ): два параллельно подключённых элемента задают общую ёмкость контура. Эта ёмкость влияет на частоту.

3. Транзистор (BC547): используется как усилитель. Он усиливает слабые колебания, генерируемые контуром, и поддерживает их стабильность за счёт обратной связи.

4. Резисторы (10 кОм и 1,5 кОм): определяют рабочую точку транзистора, задавая ток базы, и обеспечивают стабильную работу усилителя.

5. Конденсаторы для фильтрации (100 нФ): убирают возможные помехи и стабилизируют напряжение, подаваемое на транзистор.

Рассчитаем индуктивность катушки по следующей формуле:

$$L = \frac{N^2 \cdot r^2}{9r + 10l}, \quad (4.2)$$

где $N = 30$ – количество витков катушки;
 $r = 0,075$ м – радиус катушки;

$l = 0,003$ м – длина намотки.

Получим:

$$L = \frac{30^2 \cdot 0,075^2}{9 \cdot 0,075 + 10 \cdot 0,003} = 7,18 \text{ мкГн.}$$

Рассчитаем эквивалентную ёмкость конденсаторов, соединённых параллельно, по следующей формуле:

$$C_{12} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}, \quad (4.3)$$

где C_1 и $C_2 = 22$ нФ – ёмкости соответствующих конденсаторов.

Получим:

$$C_{12} = \frac{22 \cdot 10^{-9} \cdot 22 \cdot 10^{-9}}{22 \cdot 10^{-9} + 22 \cdot 10^{-9}} = 11 \text{ нФ.}$$

Рассчитаем общую ёмкость конденсаторов, добавив ёмкость параллельно подключенного конденсатора C_4 к эквивалентной, по следующей формуле:

$$C_{\text{общ}} = C_{12} + C_4, \quad (4.4)$$

где $C_{12} = 11$ нФ – эквивалентная ёмкость конденсаторов, соединённых последовательно;

$C_4 = 100$ нФ – ёмкость конденсатора, подключенного параллельно к конденсаторам C_1 и C_2 .

Получим:

$$C_{\text{общ}} = 11 \cdot 10^{-9} + 100 \cdot 10^{-9} = 111 \text{ нФ.}$$

Рассчитав необходимые переменные, перейдём к расчёту частоты генератора по следующей формуле:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}, \quad (4.5)$$

где $\pi = 3,14$ – число пи;

$L = 7,18$ мкГн – индуктивность катушки;

$C = 111$ нФ – общая ёмкость конденсаторов.

Получим:

$$f = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{7,18 \cdot 10^{-6} \cdot 111 \cdot 10^{-9}}} = 178,3 \text{ кГц.}$$

Данный генератор частот генерирует частоту $f = 178,3$ кГц, которой будет достаточно для работы моего проекта металлоискателя.

Ёмкость C_3 в данной схеме не учитывается в расчётах частоты генерации, так как она выполняет иную функцию. Вот почему:

1. Назначение: C_3 является развязочным конденсатором, который фильтрует питание. Он сглаживает возможные пульсации и шумы в источнике питания, чтобы обеспечить стабильную работу схемы. Этот конденсатор подключён между линией питания и землёй, а не в цепи колебательного контура.

2. Колебательный контур: частота генерации определяется резонансной частотой колебательного контура, который состоит из индуктивности катушки L и ёмкостей, непосредственно связанных с катушкой. В данной схеме такими ёмкостями являются C_1 , C_2 и C_4 , которые образуют эквивалентную ёмкость, участвующую в расчёте частоты.

5 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

5.1 Требования к программе

Программное обеспечение является ключевым элементом работы металлоискателя, так как оно обеспечивает управление всех компонентов, обработку сигналов от датчиков, и индикацию результатов поиска. Основные требования к программе включают:

1. Обработка сигнала с датчика индуктивности: Устройство должно регистрировать изменения частоты генератора, вызванные наличием металлических объектов в зоне обнаружения.

2. Два режима работы:

- 2.1 Динамический режим: требует движения катушки для обнаружения металлов, обрабатывает изменения частоты в реальном времени.

- 2.2 Статический режим: позволяет определять металлы при неподвижной катушке за счёт плавной калибровки частоты.

3. Регулировка чувствительности: может быть изменена автоматически или вручную через подключенный потенциометр.

4. Индикация результата: используется звуковая индикация с разными настройками: счётчик Гейгера или тональная сигнализация.

5. Энергосбережение: минимизация потребления энергии, отключение звуковой индикации в случае длительного отсутствия изменений частоты.

5.2 Схема алгоритма программы

Схема алгоритма программы приведена в приложении Г.

5.3 Код программы

Код программы состоит из следующих функций:

1. Функция `void setup()` вызывается один раз во время работы микроконтроллера. Используется для инициализации пинов ввода и вывода для подключения кнопок, звуковой индикации и аналогового потенциометра.

2. Функция `void loop()` обеспечивает основной цикл работы устройства. Считывает текущую частоту генератора, применяет алгоритмы фильтрации сигнала и плавной калибровки, управляет звуковой индикацией в зависимости от настроек и обнаружения металла.

3. Функция `float absf(float f)` реализует вычисление абсолютного значения числа для обработки отклонений частоты.

4. Обработчик прерываний `SIGNAL(TIMER1_COMPA_vect)` фиксирует частоту сигнала генератора каждые 1000 импульсов, устанавливает флаг для обработки данных в основном цикле.

Листинг кода программы представлен в приложении Д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения курсового проекта была разработана и реализована функциональная модель металлоискателя на базе микроконтроллера АТМega328Р. Работа включала в себя проектирование схемы устройства, написание управляющего кода, настройку чувствительности, а также реализацию звуковой индикации.

В результате удалось достичь следующих целей:

1. Изучение принципа работы металлоискателей: проект позволил понять основы работы индукционных датчиков, их взаимодействие с металлическими объектами и алгоритмы обработки сигналов.

2. Программная реализация: была разработана программа, которая обеспечивает обработку сигналов, настройку чувствительности, выбор режимов работы (статический или динамический) и управление звуковой индикацией.

3. Тестирование устройства: испытания подтвердили работоспособность металлоискателя и его способность обнаруживать металлические объекты на заданных расстояниях. Настройка параметров чувствительности позволила добиться оптимальной работы устройства в разных условиях.

4. Применение знаний: проект способствовал углублению знаний в области электроники, работы с микроконтроллерами и программирования на языке C++.

Разработанный металлоискатель может быть использован как демонстрационная модель для изучения принципов работы подобных устройств или как основа для дальнейших усовершенствований. В перспективе возможна модернизация устройства с добавлением новых функций, таких как визуальная индикация, подключение к мобильному приложению или увеличение чувствительности.

Таким образом, выполненный курсовой проект подтвердил возможность создания недорогого, но функционального устройства с использованием доступных компонентов и современных технологий программирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] Блиндер, Ю. А. Arduino и Raspberry Pi для начинающих. Практическое руководство / Ю. А. Блиндер. – СПб. : БХВ-Петербург, 2020. – 304 с.
- [2] Игорь Брагин. Программирование микроконтроллеров Arduino. Руководство для начинающих / И. Брагин. – М. : Эксмо, 2019. – 240 с.
- [3] Брайан В. Керниган, Деннис М. Ритчи. Язык программирования C / Б. В. Керниган, Д. М. Ритчи. – М. : Вильямс, 2019. – 288 с.
- [4] Дэвид Кук. Проекты на Arduino / Д. Кук. – М. : О’Рейли, 2018. – 320 с.
- [5] Платформа Arduino: документация и примеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.arduino.cc/>.
- [6] Джереми Блум. Make: Getting Started with Arduino / J. Blum. – Sebastopol : Maker Media, 2014. – 128 с.
- [7] Граф, Т. Основы радиотехники для начинающих / Т. Граф. – СПб. : Солон-Пресс, 2016. – 200 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Схема электрическая структурная

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(обязательное)
Схема электрическая функциональная

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

Схема электрическая принципиальная

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(обязательное)
Схема программы

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
(обязательное)
Листинг кода

Файл metal_detector.ino

```
1  //-----НАСТРОЙКИ-----
2  // 0 - в стиле счётчика Гейгера, 1 - верешание
3  #define sound 0
4  // если нет переключателя режимов, то по умолчанию стоит:
5  // 1 - статический, 0 - динамический
6  #define default_mode 1
7  // 0 - нет регулировки, чувствительности, 1 - есть
8  #define sens_change 1
9  // ручная установка чувствительности
10 float SENSITIVITY = 1000.0;
11 //-----НАСТРОЙКИ-----
12
13 #define soundPin 12
14 #define resetPinGND 2
15 #define resetPin 3
16 #define switchPinGND 9
17 #define switchPin 10
18 #define sens 6
19 #define SET(x,y) (x |= (1<<y))
20 #define CLR(x,y) (x &= (~ (1<<y)))
21 #define CHK(x,y) (x & (1<<y))
22 #define TOG(x,y) (x^=(1<<y))
23
24 float koef = 0.5;
25 unsigned long t0 = 0;
26 unsigned long last_step;
27 int t = 0;
28 unsigned char tflag = 0;
29 float clf;
30 int v0 = 0;
31 float f = 0;
32 unsigned int FTW = 0;
33 unsigned int PCW = 0;
34 unsigned long timer = 0;
35
36 // Срабатывание каждые 1000 импульсов с генератора
37 SIGNAL(TIMER1_COMPA_vect)
38 {
39     OCR1A += 1000;
40     t = micros() - t0;
41     t0 += t;
42     tflag = 1;
43 }
44
45 void setup() {
46     Serial.begin(9600);
```

```

47     pinMode(soundPin, OUTPUT);
48     pinMode(resetPin, INPUT_PULLUP);
49     pinMode(resetPinGND, OUTPUT);
50     digitalWrite(resetPinGND, 0);
51     pinMode(switchPin, INPUT_PULLUP);
52     pinMode(switchPinGND, OUTPUT);
53     digitalWrite(switchPinGND, 0);
54
55     //Установка счётчика для счёта 5 пина
56     TCCR1A = 0;
57     TCCR1B = 0x07;
58     Serial.print("$");
59     Serial.print(f);
60     Serial.println(";");
61     SET(TIMSK1, OCF1A);
62     sei();
63 }
64
65 // Функция модуля
66 float absf(float f)
67 {
68     if (f < 0.0)
69         return -f;
70     else
71         return f;
72 }
73
74 void loop() {
75     if (tflag) {
76         Serial.print("$");
77         Serial.print(f);
78         Serial.println(";");
79         // если кнопка режимов не нажата
80         if (digitalRead(switchPin) == default_mode) {
81             // если нажата кнопка сброса частоты
82             if (!digitalRead(resetPin))
83                 v0 = t;
84             // нажат другой режим
85         } else {
86             // каждые 300 мсек
87             if (millis() - last_step > 300) {
88                 last_step = millis();
89                 // плавно сбрасываем частоту
90                 v0 = v0 * koef + (1 - koef) * t;
91             }
92         }
93         // фильтруем сигнал
94         f = f * 0.85 + absf(t - v0) * 0.15;
95         // если разрешено внешнее изменение чувствительности
96         if (sens_change)
97             // принять с аналогового пина, преобразовать
98             SENSITIVITY = map(analogRead(sens), 0, 1023, 500, 2000);

```

```

99      // конвертация частоты в писк
100     clf = f * SENSITIVITY;
101     if (clf > 10000)
102         clf = 10000;
103     FTW = clf;
104     // переустанавливаем флаг
105     tflag = 0;
106 }
107
108 if (sound) {
109     if (millis() > timer) {
110         timer += 10;
111         PCW += FTW;
112         if (PCW & 0x8000)
113         {
114             digitalWrite(soundPin, HIGH);
115             PCW &= 0x7fff;
116         }
117         else
118             digitalWrite(soundPin, LOW);
119     }
120 } else {
121     if (millis() > timer) {
122         timer += 10;
123         PCW += FTW;
124         if (PCW & 0x8000)
125         {
126             PCW &= 0x7fff;
127             tone(soundPin, 3000, 30);
128             delay(20);
129             noTone(soundPin);
130         }
131         else
132             noTone(soundPin);
133     }
134 }
135 }

```

ПРИЛОЖЕНИЕ Е
(обязательное)
Перечень элементов

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж
(обязательное)
Ведомость документов