

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский  
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Автоматики и информационных технологий  
Кафедра Робототехники и технических средств автоматики

Адилбеков Алтай Болатбекулы

Разработка аппаратной части неинвазивного устройства для определения уровня глюкозы в  
крови на основе анализа ЭКГ

6В07114 – Биомедицинская инженерия

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

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



Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматизации»

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**  
Заведующий кафедрой РТиТСА  
кандидат технических наук,  
профессор  
Ожигенов К. А.  
«05» 06 2025 г.

#### ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Разработка аппаратной части неинвазивного устройства для определения  
уровня глюкозы в крови на основе анализа ЭКГ»,

Специальность: 6В07114 – Биомедицинская инженерия

Выполнила

Адилбеков А.Б.

Рецензент

К. т. н. доцент

Сейдилдаева А. К.



Научный руководитель

Доктор PhD,

ассоциированный профессор

Алимбаев Ч. А.

«05» 06 2025 г.

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

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

Институт Автоматики и информационных технологий  
Кафедра Робототехники и технических средств автоматики  
6В07114 – Биомедицинская инженерия

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой РТиТСА  
кандидат технических наук, профессор  
Ожигенов К. А.  
«05» 06 2025 г.

ЗАДАНИЕ  
на выполнение дипломного проекта

Студенту Адилбеков Алтай Болатбекулы

Тема: Разработка аппаратной части неинвазивного устройства для определения уровня  
глюкозы в крови на основе анализа ЭКГ

Утверждена приказом ректора ~~университета~~ № 521-П/О от «13» 11 2024 г.

Срок сдачи законченной работы «23» 05 2025 г.

Исходные данные к дипломному проекту: ESP32 DevKit v1, ADS1298 — 8-канальный ,  
электроды ЭКГ, защитные RC-цепи, .

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов:

а) обзор и постановка задачи;

б) выбор компонентов;

в) разработка аппаратной части устройства.

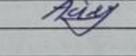
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):  
представлены слайдов презентации работы

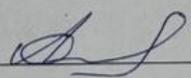
Рекомендуемая основная литература: из 17 наименований

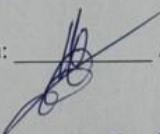
**ГРАФИК**  
подготовки дипломной работы (проекта)

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечания
Формулировка цели, задач, сбор литературы, анализ ЭКГ-сигналов при диабете	01.10.2024 – 15.02.2025	Введение и обзор литературы
Разработка архитектуры системы, выбор компонентов, проектирование схемы	17.02.2025 – 16.03.2025	Аппаратная часть и функциональная схема
Реализация программной части, тестирование системы, обработка сигналов	18.03.2025 – 18.4.2025	Алгоритмы, передача данных, проверка
Оформление дипломной работы, написание выводов, подготовка к защите	18.04.2025 – 09.05.2025	Полный документ, презентация, доклад

**Подписи**  
консультантов и норм контролера на законченную дипломную работу (проект) с указанием относящихся к ним разделов работы (проекта)

Наименование разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтроль	Игембай Е. А., магистр технических наук, преподаватель	05.06.2025	
Программное обеспечение	Алимурадетов. Е.А	05.06.2025	

Научный руководитель:  Алимбаев Ч.А.

Задание принял к исполнению обучающийся:  Адилбеков А.Б.

Дата: «05» 06 2025

## АҢДАТПА

Бұл дипломдық жұмыс электрокардиографиялық сигналдарды талдау арқылы қант диабетін анықтайтын инвазивті емес аппараттық жүйені жобалауға арналған. Қазіргі таңда қант диабетін инвазивті әдістермен анықтау кең тарағанымен, олар үнемі қолдануға ыңғайсыз және пациент үшін қолайсыздық тудырады. Сондықтан ЭКГ сигналын пайдалану – қауіпсіз әрі тиімді балама ретінде қарастырылды.

Жұмыс барысында жүрек ырғағындағы диабетке тән ауытқуларды анықтайтын әдістер қарастырылып, жоғары дәлдіктегі ADS1298 микросхемасы және ESP32-WROOM микроконтроллері негізінде аппараттық жүйенің функционалдық құрылымы жасалды. Сигналды күшейту, сүзгілеу, цифрлық өңдеу және сымсыз беру процестері біріктірілген. Ұсынылған жүйе нақты уақыт режимінде жұмыс істеуге қабілетті және телемедициналық платформаларға біріктіруге бейімделген. Бұл шешім қант диабетін ерте кезеңде анықтауға және қолжетімді бақылау құралын құруға мүмкіндік береді.

## АННОТАЦИЯ

Данная диссертация посвящена реализации неинвазивной аппаратной системы для оценки уровней сахара в крови с использованием анализа ЭКГ-сигнала. В связи с увеличением числа пациентов с диабетом, лёгкие в использовании и доступные методы диагностики становятся особенно важными. Традиционные методы мониторинга уровня глюкозы инвазивны и неудобны для регулярного использования. Ввиду этого в исследовании рассматривается ЭКГ как альтернативный источник информации, который можно использовать для выявления типичных изменений сердечного ритма, связанных с диабетом.

В ходе исследования были изучены и отобраны в качестве диагностических характеристик биомедицинские особенности ЭКГ-сигнала при диабете, такие как вариабельность сердечного ритма, а также интервалы RR и QT. Для выполнения аппаратной части системы был выбран чип ADS1298 в сочетании с микроконтроллером ESP32-WROOM для сбора данных, фильтрации, цифровой обработки и беспроводной передачи. Предлагаемая система реализована для работы в реальном времени и интегрирована с телемедицинскими приложениями. Полученные результаты предоставляют потенциальный метод неинвазивного мониторинга и ранней диагностики диабета.

## ANNOTATION

A general overview The focus of this thesis is on design considerations in developing a non-invasive hardware for diabetes detection using electrocardiogram (ECG) data . Conventional diagnostic techniques require invasive blood sampling and cause discomfort and inconvenience for frequent usage. Hence, it is investigated to utilizing ECG as a safer and more convenient substitute. The work focuses on the cardiovascular diseased state related to diabetes and presents a functional system architecture, which employs the high accuracy ADS1298 analog front-end and the ESP32-WROOM microcontroller. The system combines signal amplification, filtration, digital processing, and wireless data transfer. The proposed prototype is real-time capable and applicable in combination with tele-medicine platforms. This solution allows diabetes to be detected at the onset and is a step forward in affordable and continuous health monitoring.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	
1. Актуальность темы	7
1.1 Цель и задачи работы	7
2. Обзор литературы.	9
2.1 Современные подходы к диагностике сахарного диабета	11
2.2 Электрокардиография как инструмент диагностики	11
2.3 Влияние диабета на параметры ЭКГ	13
2.4 Методы обработки ЭКГ-сигналов	14
2.5 Анализ существующих неинвазивных решений	15
3. Постановка задачи и выбор технического решения	18
3.1 Общая архитектура устройства	18
3.2 Требования к системе	18
3.3 Выбор методов анализа ЭКГ	20
4. Разработка аппаратной части устройства	22
4.1 Проектирование функциональной схемы	23
4.2 Используемые компоненты	24
4.2.1 Микросхема ADS1298	24
4.2.2 Микроконтроллер ESP32	26
4.2.3 Фильтры, усилители, элементы защиты	28
4.3 Проектирование печатной платы, принципиальная схема	36
Заключение	
Список использованных источников	
Приложение А	
Приложение В	
Приложение С	
Приложение Е	

## ВВЕДЕНИЕ

Современная система здравоохранения вступает в плотную цифровую революцию, где интеллектуальные системы, портативные устройства и неинвазивные технологии мониторинга здоровья приобретают все большее значение.

Одной из мировых медицинских проблем является диабет — пожизненное метаболическое расстройство, и его распространенность постоянно увеличивается во всем мире. Сахарный диабет 2 типа является преобладающей формой диабета, который часто прогрессирует без известной этиологии и диагностируется на поздней стадии, обычно десятилетия спустя. По данным ВОЗ, к 2023 году более 420 миллионов человек страдают от диабета, при этом 90% случаев составляют пациенты с диабетом 2 типа [1].

Текущая диагностика диабета, такая как тесты на уровень глюкозы в крови или гликированного гемоглобина, является инвазивной с лабораторным вмешательством. Это вызывает трудности их использования за пределами больницы, например, во время амбулаторного наблюдения и телемедицины. В этом смысле неинвазивная ранняя диагностика метаболических патологий вызывает большой интерес. Одним из перспективных вариантов является использование электрокардиографии (ЭКГ) — техники, уже широко используемой для анализа функции сердца, но в настоящее время активно исследуемой для диагностики системных заболеваний, таких как диабет.

Исследования показали, что диабет изменяет параметры сигнала на ЭКГ, например, вариабельность ЧСС, продолжительность и форму волн и интервалов. Эти изменения могут рассматриваться как биомаркеры, связанные с автономной дисфункцией, связанной с диабетом. В сочетании с алгоритмами машинного обучения и современными устройствами для записи биосигналов такие тактики обещают создание интеллектуальных автоматических машин для обнаружения риска заболеваний.

*Цель работы* — разработка аппаратного компонента неинвазивной системы, способного записывать и анализировать сигнал ЭКГ, а также передавать результаты анализа на внешние платформы (например, смартфон или облачный сервер). Этот тип системы может быть реализован для концепций оказания услуг на местах и удаленного мониторинга и способствовать диагностике диабета более доступным и эффективным способом.

## **1 Актуальность темы**

В настоящее время мировая система здравоохранения в основном сосредоточена на ранней диагностике и отслеживании хронических заболеваний с использованием новых и минимально инвазивных методов.

Диабет - одно из них и является самой острой проблемой - это хроническое эндокринное заболевание, связанное с нарушениями углеводного обмена в организме человека. С каждым годом наблюдается рост распространённости этого заболевания, и, по оценкам Всемирной организации здравоохранения, более 400 миллионов человек страдают им по всему миру. Ранняя диагностика диабета может предотвратить осложнения, улучшить качество жизни пациентов и снизить затраты на лечение. Однако существующие инвазивные методы (такие как тестирование уровня глюкозы в крови, измерение HbA1c и др.) неудобны в использовании и имеют тревожные последствия для пациентов [2]. Таким образом, растёт необходимость в удобных, безопасных и повторяемых неинвазивных диагностических инструментах в научном сообществе [3][4].

Одним из таких методов является диагностика диабета на основе электрокардиографических (ЭКГ) сигналов. ЭКГ зарекомендовала себя как надёжный метод записи электрических потенциалов сердца. Последние исследования доказали, что ЭКГ содержит характеристики, описывающие наличие диабета: вариабельность ритма сердца (BPC), длина интервалов QT и RR. Такие параметры могут быть автоматически проанализированы с использованием цифровых или электронных инструментов и технологий искусственного интеллекта.

Устройства на основе ЭКГ открывают новые возможности диагностики диабета. Они могут применяться без участия медицинского персонала и легко интегрироваться в мобильные системы здравоохранения (mHealth) и телемедицинские платформы. Этот метод улучшает доступность диагностики и раннее обнаружение заболеваний [5][6].

### **1.1 Цели и задачи исследования**

Целью этой научной работы является создание модели неинвазивной аппаратной системы для диагностики вероятности наличия сахарного диабета по электрокардиографическому сигналу (ЭКГ). Разрабатываемое устройство должно уметь захватывать сигнал ЭКГ в реальном времени, проводить первичную обработку, автоматически обрабатывать и представлять показания пользователю в удобном формате.

Объектом исследования является электрическая активность сердца человека (сигнал ЭКГ), тогда как объектом является структурно-функциональные свойства аппаратного комплекса для диагностики диабета на ее основе.

*В работе были поставлены следующие задачи для решения:*

- Традиционные и новые методы диагностики диабета;
- Научно обоснованный анализ изменений в ЭКГ-следе диабетиков;
- Обзор алгоритмов обработки сигналов и машинного обучения;
- Установка аппаратной архитектуры: датчики, микроконтроллер, модуль связи и элементы питания;
- Проектирование электронной схемы и печатной платы;
- Процедуры измерения, предфильтрации и извлечения признаков из электрокардиографических сигналов ЭКГ;
- Тестирование прототипа с другими аналогичными системами и извлечение предварительных результатов.

Преодолевая эти задачи, научная работа сможет объединить технический, биомедицинский и алгоритмический аспекты для разработки интеллектуального устройства, удовлетворяющего реальным рабочим требованиям. В будущем мы ожидаем, что система будет использоваться в мобильной диагностике или телемедицинском мониторинге.

## 2 Обзор литературы

### 2.1 Обзор современных методов диагностики диабета

Сахарный диабет - это сложное метаболическое расстройство, при котором нарушается углеводный обмен, что приводит к хронической гипергликемии. Неспецифические симптомы, развивающиеся на ранней стадии заболевания, способствуют тому, что ранняя диагностика затруднена. Таким образом, эффективность диагностических средств является одним из факторов, определяющих качество жизни пациента после травмы и профилактические меры для предупреждения осложнений.

Ниже перечислены инвазивные диагностические методы для сахарного диабета, которые сегодня используются в медицинской практике:

Тестирование плазменной глюкозы натощак. Этот процесс измеряет уровень глюкозы у пациента, у которого была взята кровь из вены или капилляра после ночного голодания. Если ваши результаты выше нормы, у вас может быть диабет.



Рисунок 2.1 – Методы диагностики диабета

Традиционные методы включают: тест на глюкозу натощак, гликированный гемоглобин (HbA1c) и глюкозотолерантный тест [2]. Несмотря на широкое распространение, они требуют прокалывания кожи и доступа к биологическим жидкостям, что ограничивает частоту использования.

Гликированный гемоглобин (HbA1c). Это показатель среднего уровня сахара в крови за последние 2-3 месяца и является стандартом в диагностике сахарного диабета.

Тест толерантности к глюкозе (ГТТ). Этот тест показывает, как уровень сахара в крови реагирует на нагрузку углеводами. Он помогает выявить предиабет.

Все эти техники/методы инвазивные, при которых используется укол или взятие крови для получения результатов анализа. Это человеческий, медицинский, а иногда и лабораторный процесс. Также необходимо оценить дискомфорт, который испытывает пациент при серийных обследованиях.

В последнее время интенсивно изучаются неинвазивные техники. Они позволяют внешне наблюдать информацию, связанную с состоянием человеческого тела, без повреждения кожи. Исследовательские области, охваченные выше, включают:

Инфракрасные и спектрометрические методы (например, измерение содержания глюкозы в коже с помощью света);

Обнаружение глюкозы в поте или выдыхаемом воздухе;

Анализ электрофизиологических сигналов, например, метаболическая обработка и мониторинг ЭКГ- сигналов.

Концепция заключается в диагностике диабета на основе динамики сердечного ритма, полученного из ЭКГ. Было сообщено, что у людей с диабетом наблюдается некая дисрегуляция автономной нервной системы (АНС), которая влияет на ряд параметров, видимых на ЭКГ.



Рисунок 2.2 – Методы мониторинга глюкозы

Таким образом, неинвазивные методы, такие как ЭКГ-сигналы, считаются перспективным подходом, который может быть технически реализован и физиологически информативен. Это, в свою очередь, будет способствовать развитию мобильных, портативных и даже носимых систем мониторинга.

## 2.2 Использование электрокардиографии в медицинской диагностике

Покоящаяся электрокардиограмма (ЭКГ) — это диагностический тест, используемый для записи электрической активности сердца. Он реализуется с использованием зарегистрированных биоэлектрических сигналов, связанных с сокращением сердечной мышцы. Это один из самых точных и надежных методов обследования сердечно-сосудистой системы в современной медицине.

*ЭКГ позволяет диагностировать следующие заболевания:*

- нарушения ритма сердца (аритмии);
- ишемическая болезнь сердца;
- инфаркт миокарда;
- нарушения проводящей системы;
- гипертрофию и другие изменения структуры.

*Преимущества диагностики на основе ЭКГ:*

- быстрота и простота измерения;
- безопасность для пациента (полностью неинвазивный);
- высокая степень информативности диагностики;
- легкость использования через мобильные устройства.

В наши дни ЭКГ всё чаще применяется. ЭКГ не только является прямым диагностическим инструментом для оценки работы сердца, но также показала свою эффективность как инструмент для наблюдения за автономной нервной системой и глобальным метаболическим поведением [6][7]. "Таким образом, системные заболевания, включая диабет, могут быть выявлены раньше."

Структура сигнала ЭКГ включает:

- волна P,
- комплекс QRS,
- волна T,
- aRR,
- aPR,
- aQT.

Изменения подобных параметров могут указывать на патофизиологические процессы в организме.

Так, например, у пациентов с диабетом могут наблюдаться следующие аномалии:

- вариабельность интервала RR (HRV, снижение);
- удлинение интервала QT, задержка электрического восстановления;
- деформация волн P и T из-за нарушений автономной нервной регуляции.

Новым направлением исследований на стыке медицины и технологий является использование методов машинного обучения для обработки сигналов ЭКГ, что позволяет получать автоматическую, точную и быструю диагностику ЭКГ. Эти подходы могут быть реализованы в мобильных и носимых устройствах

(например, устройствах для здоровья и смарт-часах) и способствовать созданию широко распространённых систем мониторинга.

### 2.3 Изменения параметров ЭКГ, связанные с диабетом

Диабет - это не только нарушение обмена веществ, но и мультисистемное заболевание, затрагивающее, среди прочего, сердечно-сосудистую и вегетативную нервную системы. Недавние клинические исследования продемонстрировали, что необратимые изменения сигнала ЭКГ у пациентов с сахарным диабетом 1-го и 2-го типов происходят в сигналах ЭКГ.

Наиболее важным механизмом этих изменений является дисфункция вегетативной нервной системы, особенно нарушение регуляции её симпатического и парасимпатического отделов. Это приводит к изменению процессов, контролирующих ритм сердца.

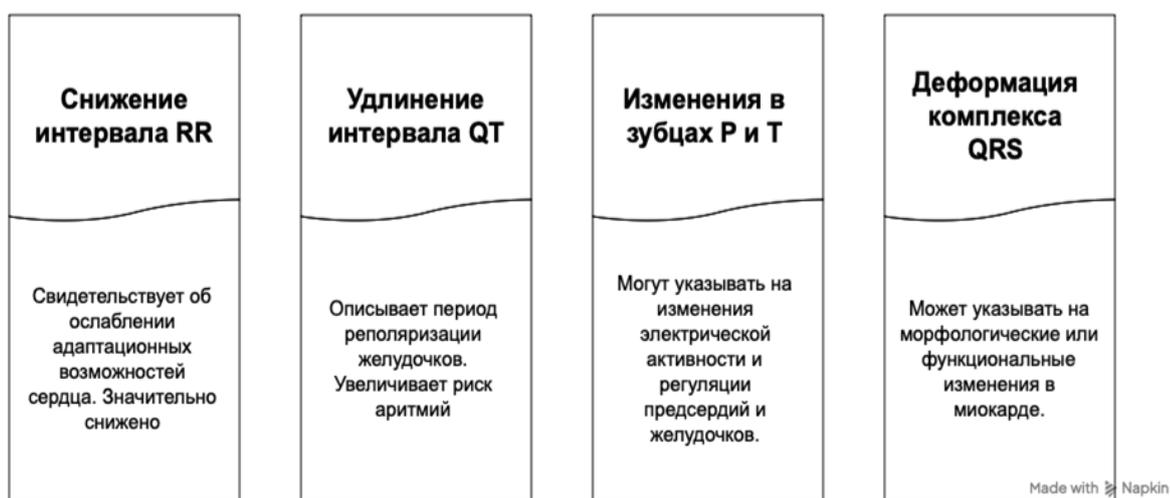


Рисунок 2.3 – Распространенные признаки ЭКГ, связанные с диабетом

Уменьшение variability интервалов RR (BCP). Это отражает нарушение физиологической способности сердца к адаптации. Эта реакция значительно ослаблена даже при наличии диабетической автономной нейропатии. Изменения интервалов QT, RR и формы волн P и T могут быть индикаторами нарушения вегетативного контроля [6][8].

Удлинение QT интервала. Время желудочковой реполяризации выражается интервалом QT. Длительное воздействие приводит к повышенному риску аритмий и внезапной сердечной смерти.

Изменения в формах волн P и T могут отражать изменения в электрической активности и контроле предсердий и желудочков.

Деформации или вариации комплекса QRS отражают морфологические или функциональные изменения миокарда.

Снижение общей электрической активности, уменьшение амплитуды и понижение высокочастотных колебаний в сигналах ЭКГ были отмечены в некоторых исследованиях. Это также указывает на изменения в электрической системе сердца у пациентов с диабетом. С клинической точки зрения, систематическое определение этих параметров позволяет рано выявлять автономные нарушения диабетической нейропатии. В этом смысле неинвазивные устройства, посвященные задаче cAB1, с системами ЭКГ и анализа с искусственным интеллектом, являются перспективными.

## **2.4 Методы обработки сигналов ЭКГ**

Электрокардиограмма (ЭКГ) - это многоуровневый биосигнал электрической функции сердечной мышцы, который содержит как полезную диагностическую информацию, так и различные мешающие влияния и шумы.

Первый шаг — это обработка сигнала ЭКГ для его надёжного анализа. Обработка сигнала начинается с его очистки: необходимо удалить такие артефакты, как движение электродов, артефакты мышц или помехи сети. Частотные фильтры и специфические алгоритмы служат этой цели, например, фильтры верхних и нижних частот или методы подавления сетевых помех.

После начальной обработки сигнала наступает фаза исследования его структуры. Диагностически значимые компоненты должны быть автоматически идентифицированы - некоторые элементы сердечного цикла (например, QRS-комплекс или T-волна) обнаруживаются автоматически. Наиболее широко используемой техникой в этом процессе является временно-частотное представление. Эти стратегии позволяют лучше оценить динамику сигналов. Наиболее известный - алгоритм Пан-Томпкинса, используемый для детектирования комплекса QRS [9]. Для интерпретации сигналов применяются нейронные сети, SVM и другие методы машинного обучения [10][11].

Затем вычисляются числовые параметры в соответствии с характеристиками изученного компонента. Это могут быть, например, интервалы между ударами сердца или время вместо определённых комплексов.

Затем комбинация алгоритмов обрабатывает эти параметры для выявления любых возможных нерегулярностей.

Наконец, собранные данные обрабатываются через интеллектуальные системы, демонстрирующие искусственные механизмы. В последнее время техники машинного обучения всё чаще используются в различных медицинских процессах обработки сигналов. Система может не только распознавать патологические изменения, вызванные сигналом ЭКГ, но и классифицировать эти изменения, а также делать предварительный диагноз.

Таким образом, обработка сигнала ЭКГ — это сложная многоэтапная задача, имеющая значительное значение как с технической, так и с клинической точки зрения.

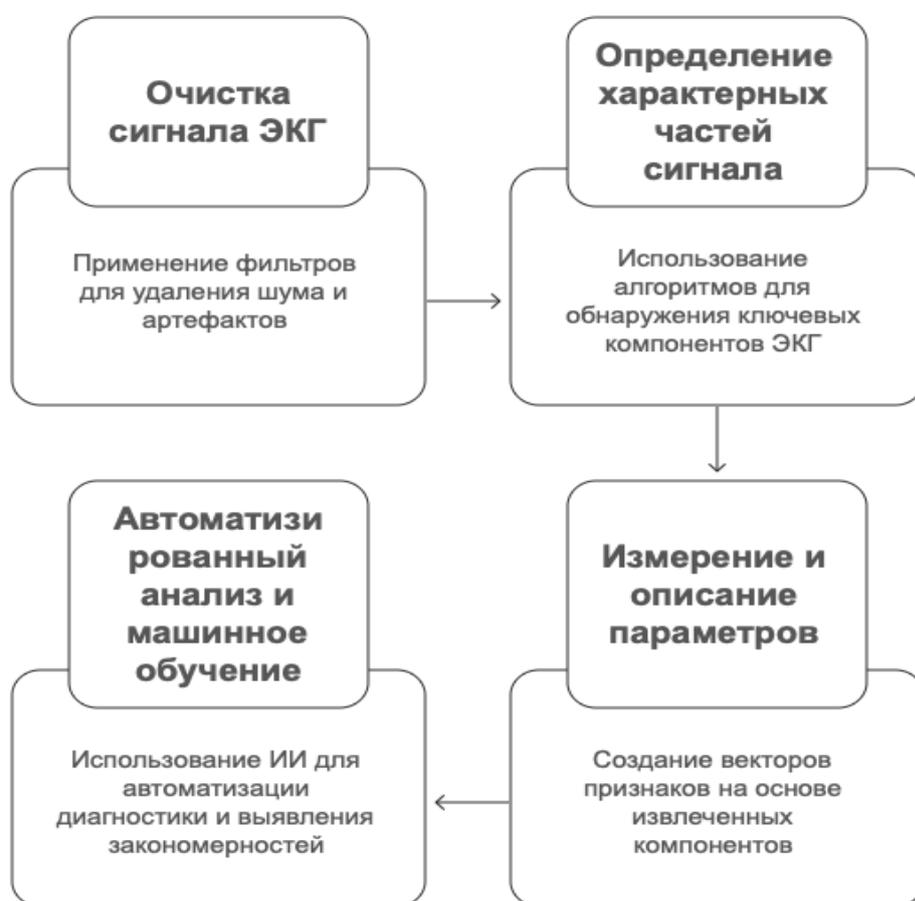


Рисунок 2.4 – Обработка и анализ ЭКГ

## 2.5 Анализ существующих неинвазивных решений

Так же как классические инвазивные диагностические методы для определения диабета, так и неинвазивные методики все чаще встречаются в последних исследованиях. В этой ситуации было разработано множество портативных устройств и программных продуктов, большинство из которых

используют физиологические сигналы человека, такие как сигналы электрокардиограммы (ЭКГ). Основным преимуществом таких систем является то, что осуществляется непрерывный и не оказывающий вредного воздействия мониторинг состояния кожи пациента. Разработано множество прототипов, таких как Aire-DM [12], ECG-DiaNet [13] и BEATINFO [14], использующих ИИ для анализа ЭКГ и предсказания диабета.

Одно из направлений исследований в обширной области проектирования систем анализа AI-ЭКГ - их детальное изучение. Например, в некоторых исследованиях были предложены модели для прогнозирования риска диабета — на основе миллионов данных ЭКГ - с использованием машинного обучения. Для этого требуется только сочетание сигнала и другой информации с такими факторами, как вес пациента, возраст и т.д., чтобы повысить точность диагностики.

Также появляются носимые устройства, совместимые с ЭКГ. Они способны записывать сердечные сигналы в реальном времени и непрерывно передавать полученные данные на мобильное приложение или в облако. Это особенно полезно для систем удаленного мониторинга и телемедицины.

Хотя в большинстве случаев эти устройства все еще находятся на стадии исследования или клинических испытаний, их технические составные части - технологии сенсоров, цифровая фильтрация, анализ и визуализация сигналов - уже зрелы. Можно, например, обрабатывать ЭКГ-сигналы с помощью нейронных сетей и отдельно распознавать паттерны, указывающие на диабет.

В общем, доступные неинвазивные подходы демонстрируют, что ЭКГ является мощным инструментом не только для выявления сердечных заболеваний, но и для диагностики метаболических состояний (диабет). Это сигнализирует о новом междисциплинарном технологическом тренде на стыке медицины, биоинженерии и искусственного интеллекта.

1. Система Aire-DM (AI-ECG Diabetes Risk Assessment) — это интеллектуальная диагностическая система, разработанная Имперским колледжем Лондона, которая интерпретирует данные ЭКГ с использованием алгоритма ИИ для оценки будущего риска развития диабета. С внедрением полностью автоматизированной AI-ECG для прогнозирования риска диабета (система Aire-DM) было замечено, что она способна предсказывать риск диабета с использованием всего лишь 30 секунд ЭКГ с предсказательной точностью по кривой MatchROC, что поддерживает 5-летнюю прогностическую точность с площадью под кривой 0,78 (больше порогового значения 0,75).

Основные особенности:

1. Обучена на более чем 1,2 миллиона ЭКГ.
2. Прогнозирует риск диабета 2 типа за 10–13 лет до его возникновения.
3. Диагностическая точность, приближающаяся к 70%.
4. Улучшение качества за счет генетической и клинической информации.

2. Система ECG-DiaNet

ECG-DiaNet - это система, основанная на глубоких нейронных сетях, которая способна автоматически выявлять признаки диабета по сигналу ЭКГ, используя временные и морфологические характеристики.

Особенности:

- Реализация прямой обработки кадров с использованием моделей CNN.
- Высокий уровень диагностической точности для данных высокого качества.
- Адаптация для нательных устройств.
- Возможность работы в режиме реального времени.

### 3. Система BEATINFO

BEATINFO — это система ЭКГ для обнаружения метаболических нарушений по частоте сердечных сокращений. Она портативная и подходит для телемедицинских платформ.

Преимущества:

- Многоканальная запись ЭКГ.
- Предобработка и загрузка данных в облако.
- Мониторинг физиологического состояния пациента с течением времени.

### 4. Умные носимые устройства

Модули ЭКГ теперь внедряются в умные носимые устройства (такие как умные часы и фитнес-браслеты) и становятся все более популярными в последние годы. Хотя они более всего известны как мониторы сердечного ритма, некоторые модели также способны записывать переменные, связанные с диабетом.

Конечные пользователи могут использовать продукты; сигнал передается на смартфон через Bluetooth/WIFI; смартфон + приложение, пациенты могут использовать эту ЭКГ в любое время и в любом месте; долгосрочный мониторинг уровня артериального давления, ЭКГ, частоты сердечных сокращений и рекомендации по спорту с учетом стиля одежды и обуви.

Таблица 2.1 – Сравнение существующих методов

Название устройства	Метод анализа	Точность	Возможность мониторинга	Интеграция	Уровень применения
Aire-DM	ИИ-анализ ЭКГ	~70%	Краткосрочный	Системы клинической диагностики	Этап клинических испытаний
ECG-DiaNet	Глубокое обучение (CNN)	Высокая	В реальном времени	Носимые устройства	Научно-исследовательская разработка
BEATINFO	Стандартный анализ ЭКГ	Средняя	Длительный	Телемедицинские платформы	Разработка и тестирование
Умные часы трекеры	Упрощённое измерение ЭКГ, HRV	Условная (по HRV)	Непрерывный	Мобильные приложения	Коммерческое, без клинической точности

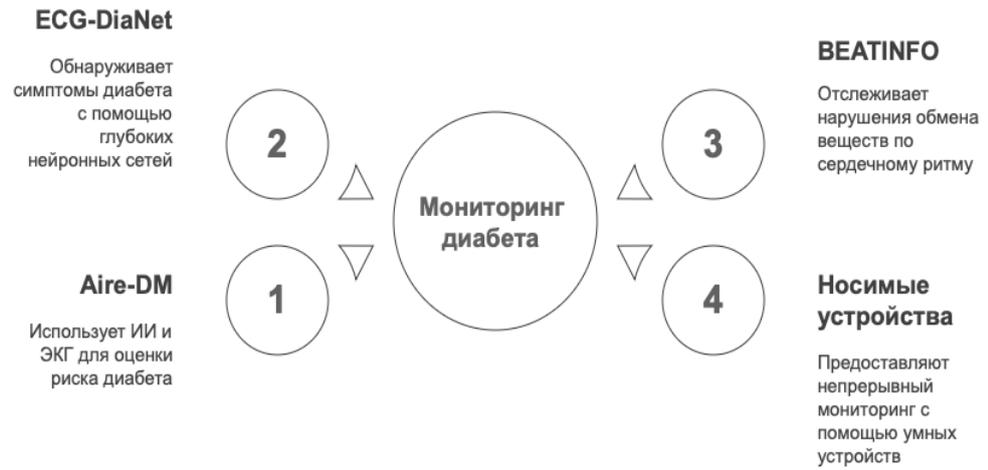


Рисунок 2.5 – Системы мониторинга диабета

### **3 Постановка задачи и выбор технического решения**

#### **3.1 Общая архитектура устройства**

Предложенная система представляет собой аппаратное неинвазивное решение для обнаружения наличия диабета, используя ЭКГ, описывающую деятельность человеческого сердца. Архитектура устройства включает три уровня функциональных узлов, объединённых определённой системной логикой. Система включает: датчики ЭКГ, аналоговый фронт-энд (ADS1298), микроконтроллер ESP32, модуль беспроводной передачи и аккумулятор [15] [16].

##### *1. Уровень съёма сигналов и предварительной обработки*

На этом уровне сердечный сигнал улавливается с помощью электродов ЭКГ, размещённых на теле человека. Входной сигнал сначала проходит через аналоговый интерфейсный модуль, выполняющий следующие функции:

- усиление слабых биосигналов (с использованием дифференциального усилителя);
- подавление нежелательных шумов и помех (фильтры высоких и низких частот);
- защита от электромагнитных влияний (фильтр помех силовой линии).

Обработанный сигнал затем передаётся на аналого-цифровой преобразователь (АЦП). На данном этапе данные ЭКГ находятся в цифровом формате и готовы к дальнейшей обработке.

##### *2. Уровень обработки и анализа информации*

Цифровой сигнал передается на микроконтроллер или микрокомпьютер (например, ESP32). Этот модуль выполняет следующие функции:

- обнаружение диагностически значимых параметров в ЭКГ-сигнале (например, интервалы RR, QT);
- обработка сигнала с помощью алгоритмов, таких как Пан-Томпкинс или нейронные сети;
- сравнительная оценка признаков диабета путём сравнения с предварительно загруженными образцами.

Обработанные данные хранятся в памяти в пределах устройства обработки информации или передаются напрямую на пользовательский интерфейс.

#### **3.2 Требования к системе**

При разработке устройства для неинвазивного обнаружения диабета необходимо учитывать технические, функциональные и эргономические требования. Кроме того, система должна точно регистрировать биомедицинский сигнал, а также быть удобной для анализа и отображения. Аппарат также должен

быть портативным, удобным для пользователя, надежным и безопасным для повседневного использования.

### 1. Функциональные требования

Ожидается, что устройство будет выполнять следующие основные функции:



Рисунок 3.1 – Процесс анализа ЭКГ

- регистрация сигнала ЭКГ в реальном времени;
- преобразование аналогового сигнала в цифровой формат;
- автоматическое определение диагностических признаков (интервал RR, комплекс QRS, продолжительность QT и т. д.);
- оценка отклонений, характерных для диабета, путем анализа обработанных данных;
- визуализация результата или передача по беспроводной связи.

### 1. Технические характеристики

Таблица 3.1 – Основные технические параметры устройства

Параметр	Требование
Частота дискретизации	250–500 Гц (достаточно точно для ЭКГ)
Разрешение АЦП	Не менее 16 бит (лучше – 24 бита)
Снижение шума	Подавление сетевых и мышечных артефактов
Энергоснабжение	Аккумулятор (минимум 8–10 часов автономной работы)
Размеры и вес	Компактный, легко крепится на теле
Безопасность материалов	Безвреден для кожи, не вызывает аллергии
Интерфейс связи	Модуль Wi-Fi/Bluetooth

## *2. Требования к удобству использования*

Устройство должно быть простым в использовании, максимально понятным. Оно должно обладать следующими характеристиками:

- Все элементы управления устройством должны быть наглядными и простыми для понимания;
- Устройство должно быть удобно для ношения (например, модуль, расположенный на груди пользователя);
- У него должно быть мобильное приложение или веб-интерфейс для доступа к данным;
- Устройство должно быть безопасным для чистки и повторного использования.

## *3. Безопасность и Надежность*

Из-за его медицинского применения устройство также должно быть чрезвычайно надежным и соответствовать всем актуальным требованиям по электрической безопасности. Однако поверхность электрода, контактирующая с кожей, не должна, например, вызывать раздражение или повреждения кожи даже при длительном использовании. Кроме того, как программное, так и аппаратное обеспечение должны быть устойчивыми к отказам микроконтроллеров.

### **3.3 Выбор методов анализа ЭКГ**

Электрокардиографический (ЭКГ) сигнал является динамичным, многомерным источником биомедицинской информации. Этот сигнал включает диагностически значимые характеристики, указывающие на различные состояния сердца. Поскольку диабет изменяет автономное регулирование сердца, система специфических характеристик ЭКГ сигнала подвергается воздействию. Следовательно, информационная эффективность детектора критически зависит от достоверности выбранного метода анализа.

Цель обработки ЭКГ сигнала — анализировать его характеристики в отношении диагностических признаков в отличие от таковых у диабетиков. Для этой цели были исследованы морфологическая структура, временные свойства и вариабельность сердечного ритма (ВСР) сигнала.

Выбранные методы считаются подходящими и осуществимыми для реализации в данной работе.



Рисунок 3.2 – Методы диагностики диабета

1. Обнаружение комплекса QRS осуществляется с помощью алгоритма Пан-Томпкинса, который является точным и эффективным алгоритмом. С помощью этого метода можно извлечь моменты сердцебиения из временного сигнала, причём данный метод отличается низким энергопотреблением.

2. Статистический и спектральный анализ интервала RR позволяет выявить автономные нарушения, которые возникают при диабете, на основе исследования вариабельности сердечного ритма. Этот индекс находится под влиянием вегетативной нервной системы.

3. Интервал QT и продолжительность QRS рассчитывались в качестве маркеров электрофизиологических изменений, связанных с диабетом. Удлинение интервала QT может свидетельствовать об аномальной реполяризации сердца.

4. Классификация с использованием машинного обучения — на основе оцененных параметров создается вектор признаков, который подаётся на вход нейронной сети или используется в классической классификации (например, SVM или случайный лес). В настоящее время система распознаёт паттерны, указывающие на наличие диабета, и анализирует вероятность диагноза.

*Эти методы были выбраны на основе следующих критериев:*

- вычислительные затраты и энергопотребление - для использования на портативном устройстве;

- диагностическая чувствительность (чувствительность к выявлению отклонений, общих для диабета);

- предикативная способность (то есть возможность "немедленного запуска" для обеспечения мгновенного мониторинга);

- гибкость интеграции — разработаны для лёгкого развёртывания на платформе ESP32.

В этой главе мы представляем методологию для эффективного обнаружения изменений ЭКГ, связанных с диабетом. Они подаются на алгоритм устройства и также обеспечивают более точную и надёжную обработку сигнала. Это позволяет получить диагностически значимую информацию, которая способствует интеллектуальной аналитической функции аппарата.

## 4 Разработка аппаратной части устройства

### 4.1 Проектирование функциональной схемы

При получении катетерного подкожного оптического датчика глюкозы в подкожную ткань тела вводится коническое направляющее устройство с основанием и вершиной, в которое располагается оптическое волокно.

Вершина вставляется в подкожную ткань на глубину, превышающую максимальный радиус направляющего устройства, а оптическое волокно излучает свет в подкожную ткань и принимает рассеянный свет, исходящий отсюда.

Эта фигура иллюстрирует наиболее важные действия каждого блока и то, как они соединены друг с другом. Цепь включает RC-фильтры, ADS1298 и ESP32-WROOM, соединённые по SPI. Выходные данные передаются через Wi-Fi или Bluetooth [15] [16].

Предлагаемое устройство выполняет три основные функции:

1. Сбор сигнала ЭКГ;
2. Обработка сигнала и расчет диагностических параметров;
3. Распространение и представление информации.

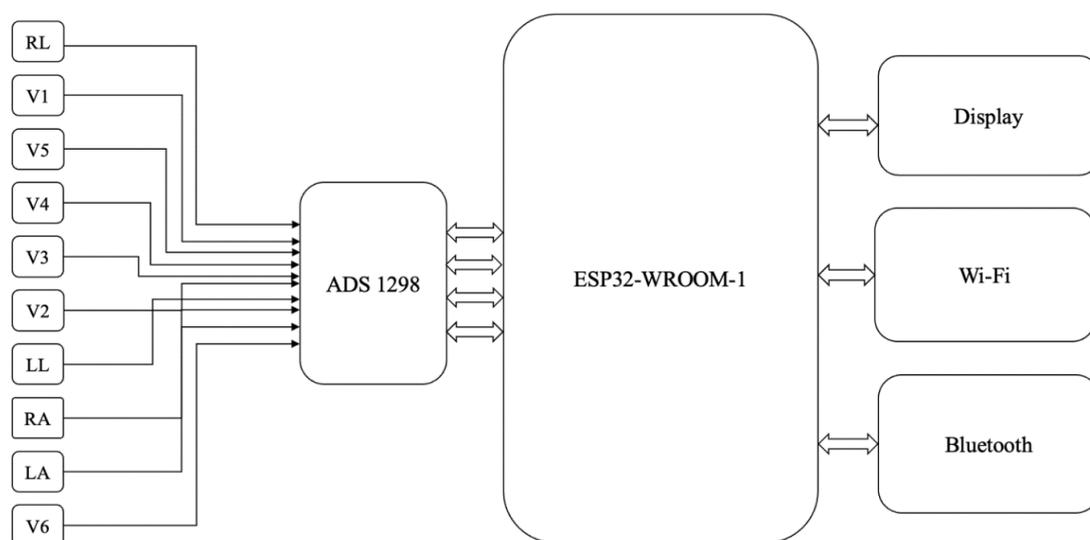


Рисунок 4.1– Функциональная схема цепи

#### 1. Модуль датчика (электроды ЭКГ)

Разработан электронный модуль с использованием датчиков 1D PID для использования в полосках датчиков ЭКГ. Устройство размещается на теле человека и фиксирует электрические импульсы, производимые сердечной мышцей. Поступающие аналоговые сигналы через электроды очень слабые и часто подвергаются шуму.

## 2. Аналоговая обработка сигнала (RC-фильтры + ADS1298)

Результирующий сигнал сначала проходит высокочастотную фильтрацию с помощью RC-фильтра. Затем сигнал принимается микросхемой ADS1298. Эта микросхема переводит сигнал в цифровой формат с разрешением 24 бита и проводит предварительную обработку сигнала. Сигнал также усиливается программируемым усилителем (PGA), а ненужные частоты дополнительно фильтруются цифровыми методами.

## 3. Микроконтроллерный модуль (ESP32-WROOM)

Цифровые данные ЭКГ с ADS1298 передаются на интерфейс SPI. Глобальные параметры, такие как интервал RR, комплекс QRS и длительность QT, автоматически вычисляются из сигнала. При необходимости могут быть распознаны отклонения данных, типичные для диабета.

## 4. Модуль связи

Используя функции Wi-Fi и Bluetooth, интегрированные в чип ESP32, устройство может отправлять данные измерений во внешний мир, например, на смартфон, компьютер или сервер. Это необходимо для отображения диагностической информации и медицинского наблюдения.

## 5. Система питания

Для надежной и автономной работы аппарата используется литий-полимерный аккумулятор. Напряжение от источника питания понижается до 3,3 В и 1.8 В с помощью регуляторов напряжения, которые передаются на соответствующие элементы.

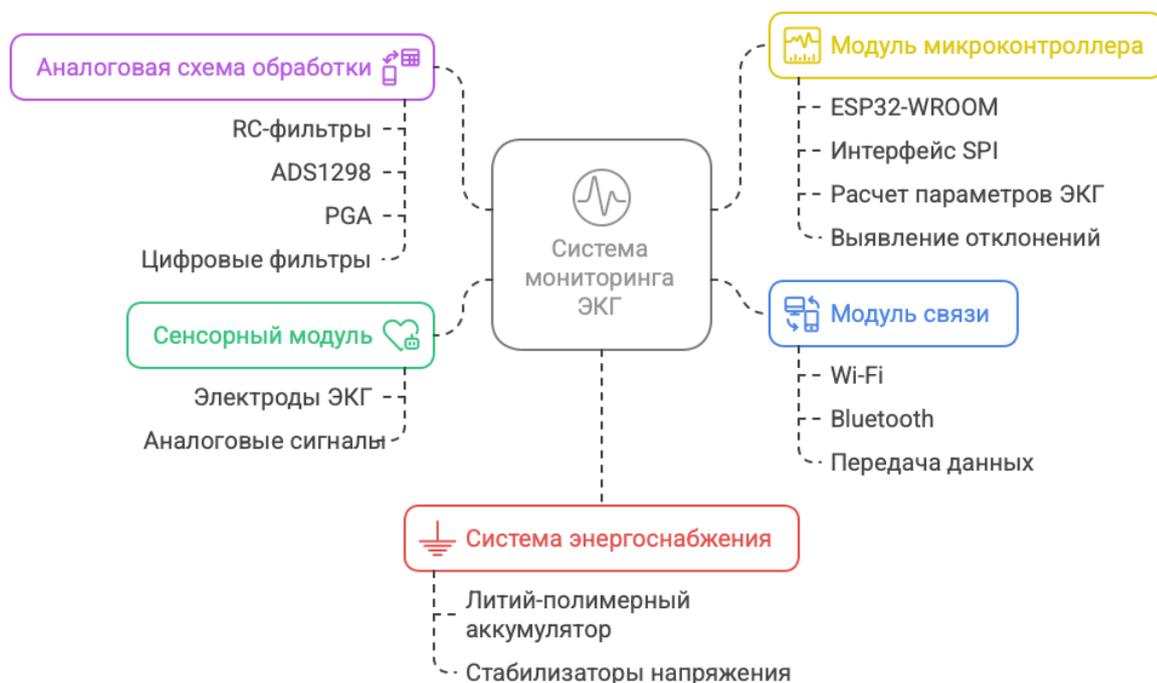


Рисунок 4.2 – Система мониторинга ЭКГ

При проектировании функциональной схемы определяется алгоритм работы устройства, идентифицируются функции каждого модуля. Это будет основой, которую я буду использовать для начала работы над схемотехническим чертежом, проектированием платы и планированием программного обеспечения. Полученная система называется модульной и энергоэффективной системой, подходящей для безопасной медицинской среды.

## **4.2 Используемые компоненты**

Правильный выбор электронных компонентов является ключевым для точной и эффективной работы устройства. В следующем обзоре рассматриваются основные компоненты каждого блока и конструктивные соображения.

ADS1298 - 8-канальный АЦП с разрешением 24 бита, предназначенный для медицинских применений [15].

ESP32-WROOM - двухъядерный микроконтроллер с модулями Wi-Fi/Bluetooth и поддержкой Arduino IDE [16].

Фильтры и усилители - RC-цепи для подавления шумов, керамические конденсаторы, резисторы SMD [17].

### **4.2.1 Микросхема ADS1298**

Для точной регистрации ЭКГ-сигнала мы выбрали чип ADS1298 от Texas Instruments. Этот чип имеет 8-канальный 24-битный АЦП, настроенный для медицинского использования. Он имеет следующие преимущества:

- Точные дифференциальные измерения;
- Встроенный усилитель и сглаживающие фильтры;
- Энергосберегающая работа (для мобильных устройств);
- Легко соединяется с микроконтроллером через последовательный интерфейс SPI;
- Имеется функция обнаружения и указания отключения электрода и функция управления тестированием включения-выключения.

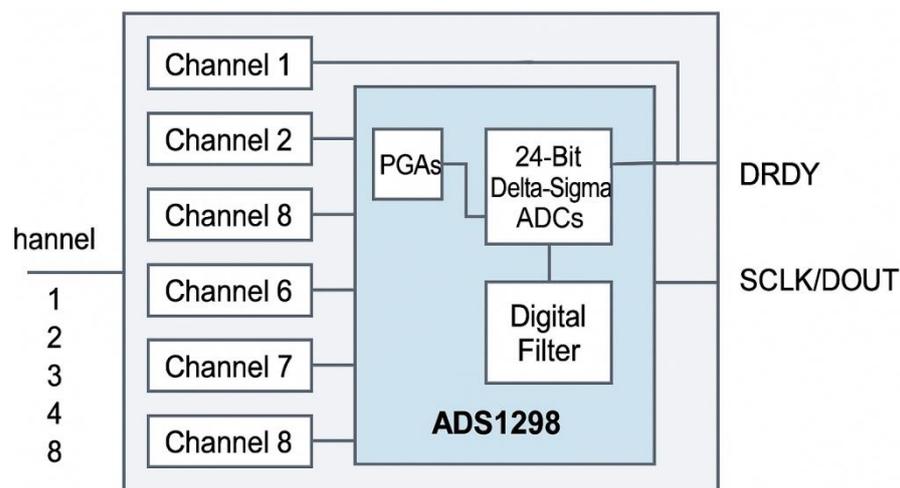


Рисунок 4.3 – Микросхема ADS1298

ADS1298 - это сверхнизкошумящий, 8-канальный, 24-битный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) для приложений с высокими требованиями к разрешению измерений. Он разработан для измерения нескольких биосигналов, таких как сигналы электрокардиограммы (ЭКГ), электроэнцефалограммы (ЭЭГ) и электромиограммы (ЭМГ). За счет интеграции разнообразных функциональных возможностей, миниатюризации и надежности портативных медицинских устройств достигнуты улучшения.

- Количество каналов: 8 независимых каналов (полностью дифференциальный вход);
- Разрешение АЦП: 24 бита;
- Встроенные периферийные устройства: ПГУ (программируемые усилители), цифровые фильтры, источник опорного напряжения;
- Тип преобразования сигнала: АЦП, использующий  $\Delta\Sigma$  (дельта-сигма) архитектуру;
- Интерфейс выходного сигнала: поддерживает SPI (Serial Peripheral Interface);
- Напряжение питания: 1,8 В (логическая часть), 3,0 В (аналоговая часть);
- Фактическое потребление: около 750 мкА на канал (подходит для устройств с низким энергопотреблением);
- Прочие функции: проверка подключений, выход тестового сигнала, драйвер RLD (управление правой ногой).

*Внутренняя архитектура ADS1298 включает в себя следующие ключевые блоки:*

1. Входные каналы — каждый канал имеет дифференциальный вход, который может усиливать очень слабые биосигналы, получаемые от электродов.
2. Программируемые усилители (ПГУ) — усиление может настраиваться на различных уровнях (1, 2, 4, 6, 8, 12), что облегчает гибкость в усилении сигнала.

3.  $\Delta\Sigma$  АЦП — преобразует аналоговый сигнал в цифровой с высокой точностью. Структуры  $\Delta\Sigma$  эффективно подавляют шум и подходят для обнаружения биосигналов.

4. Цифровые фильтры — позволяют фильтровать нежелательные частоты и помехи, например, сетевые шумы 50/60 Гц в получаемых сигналах.

5. Выходы DRDY и SCLK/DOUТ для синхронного чтения и записи данных с микроконтроллером через SPI.

ADS1298 очень популярен, особенно в портативном медицинском оборудовании с низким энергопотреблением. Он обеспечивает полную интеграцию системы ЭКГ (внешние усилители и дискретные компоненты не требуются). Наличие нескольких каналов на одном чипе увеличивает возможности устройства, например, многоточечное действие ЭКГ. И его можно легко подключить к ведущему устройству через SPI интерфейс, так что вы можете подключить его непосредственно к ESP32, STM32!



Рисунок 4.5 – Преимущества ADS1298

ADS1298 - это критически важный, высокопроизводительный и точный чип, предназначенный для современных биомедицинских устройств. Он играет центральную роль в обработке сигналов ЭКГ, определяя точность, надежность и компактность конечного устройства.

#### 4.2.2 Микроконтроллер ESP32

В качестве центрального элемента для управления и обработки данных ЭКГ используется микроконтроллер ESP32-WROOM-32. Этот чип обеспечивает необходимую вычислительную мощность благодаря двухъядерному 32-битному процессору с тактовой частотой до 240 МГц, а также предоставляет широкие возможности беспроводной связи через Wi-Fi и Bluetooth. Кроме того, ESP32-WROOM-32 поддерживает различные интерфейсы, такие как UART, SPI, I2C и

PWM, и позволяет оптимизировать энергопотребление за счет режимов Deep Sleep и Light Sleep. Разработка программного обеспечения упрощается благодаря поддержке Arduino IDE и ESP-IDF.



Рисунок 4.6 – ESP32-WROOM-32

ESP32-WROOM-32, разработанный Espressif Systems, представляет собой микроконтроллер, способный решать сложные задачи благодаря высокой вычислительной мощности. Встроенные модули Wi-Fi и Bluetooth, а также низкое энергопотребление, делают его идеальным выбором для создания подключенных устройств, таких как портативные медицинские системы.

Таблица 4.1 – Основные технические характеристики

Параметр	Значение
Процессор	2-ядерный Tensilica Xtensa LX6, до 240 МГц
Флэш-память	4 МБ (расширяется в зависимости от версии)
Оперативное запоминающее устройство (ОЗУ)	~520 КБ SRAM
Wi-Fi	IEEE 802.11 b/g/n (2.4 ГГц)
Bluetooth	Bluetooth v4.2 BR/EDR и BLE
Периферийные интерфейсы	SPI, I2C, I2S, UART, PWM, ADC, DAC, SDIO
Аналоговые входы	12-битный АЦП (до 18 каналов)
Режимы потребления	Deep Sleep – <10 μA, Light Sleep – ~1 mA
Рабочее напряжение	3.0–3.3 В
Программирование	Arduino IDE, ESP-IDF, PlatformIO

Микроконтроллер, радиомодуль и встроенная система обработки сигналов с модулем ESP32-WROOM входят в тот же пакет. Это обеспечивает устройству компактный и удобный форм-фактор. Дополнительно:

- Одновременная работа Wi-Fi и Bluetooth позволяет мгновенно передавать данные по беспроводной сети непосредственно на умное устройство или на большие расстояния;
- Многопроцессорность позволяет параллелизм и обработку в реальном времени;
- Режимы низкого энергопотребления крайне важны для автономных медицинских устройств;
- Универсальные периферийные устройства могут быстро подсоединяться к различным датчикам, дисплеям, модемам;
- Программное обеспечение с открытым исходным кодом с множеством документации, библиотек и даже сообществом, основанным на ESP-IDF и Arduino.

Микроконтроллер ESP32 способен считывать, обрабатывать, отображать или передавать сигналы (такие как ЭКГ-сигнал, пульс, температура и дыхание) на облачный сервер. Это позволяет адаптировать его для широкого использования в телемедицине, мобильной медицине и системах удаленного мониторинга.

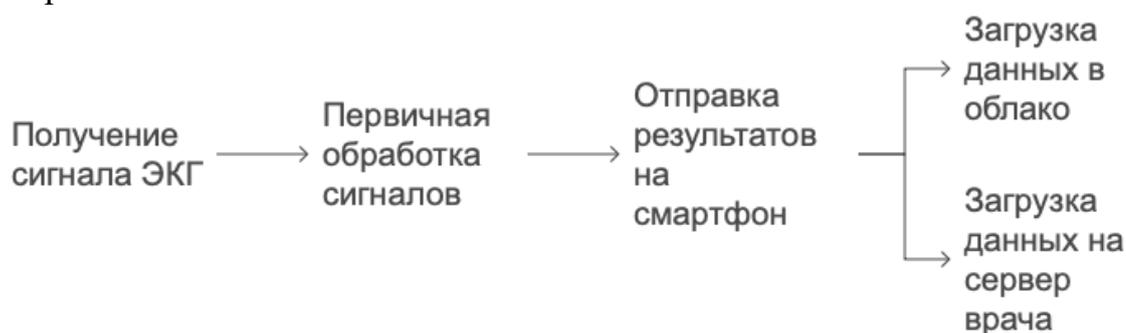


Рисунок 4.7 – Процесс выявления диабета с помощью ESP32

ESP32-WROOM - это мощный и энергоэффективный микроконтроллер, который благодаря своим возможностям беспроводной связи, находит широкое применение в медицинской электронике, особенно в интеллектуальных медицинских устройствах. Он является ключевым компонентом современных портативных диагностических систем, например, в системах неинвазивного мониторинга диабета, где он выступает в роли центрального процессора и коммуникационного модуля.

### 4.2.3 Фильтры, усилители, элементы защиты

RC-фильтры служат для уменьшения уровня шума в сигналах, проходящих через электронные схемы. Этими элементами являются:

- Резисторы (например, 22 кОм,  $\pm 1\%$ ) – для ограничения тока и создания фильтрующей цепи;

– Конденсаторы (например, 4,7 нФ, керамические, с низким ESR) – для подавления высокочастотных шумов и электромагнитных помех.

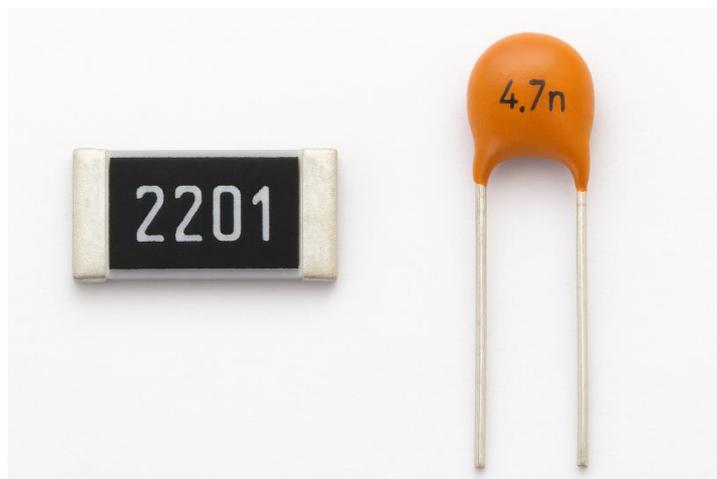


Рисунок 4.8 – Резистор и конденсатор

Для улучшения качества сигнала, каждый входной канал ADS1298 оснащен индивидуальной RC-фильтрующей цепью.

Конденсатор - это элемент электрической цепи, который накапливает электрический заряд и энергию в виде электрического поля. Он обычно состоит из двух проводящих пластин (обкладок), разделенных тонким слоем изоляционного материала (диэлектрика). Конденсатор — это электрический элемент с двумя выводами, который хранит потенциальную энергию в электрическом поле между парой проводников.



Рисунок 4.9 – Конденсатор

Электрический заряд конденсатора может быть накоплен, а его ёмкость тем больше, чем больше площадь электродов и толще диэлектрик. Ёмкость конденсатора - это величина, которая описывает, сколько заряда он может хранить. Она измеряется в фарадах.

Конденсаторы используются в самых разнообразных электрических цепях и устройствах. Ими оснащают ИБП в качестве устройств для хранения энергии, они применяются для разделения частот в радиотехнологиях, сглаживания сигналов в фильтрах и во многом другом.

*Конденсатор и принцип его работы:*

Конденсатор состоит из двух проводников (пластин), разделённых диэлектриком. Эти элементы закреплены в закрытом корпусе для защиты от внешних воздействий. Пластины обычно изготавливаются из металлической фольги или другого металлизированного материала, в то время как материал диэлектрика может быть керамикой, слюдой, полимером, бумагой, воздушной прослойкой и так далее.

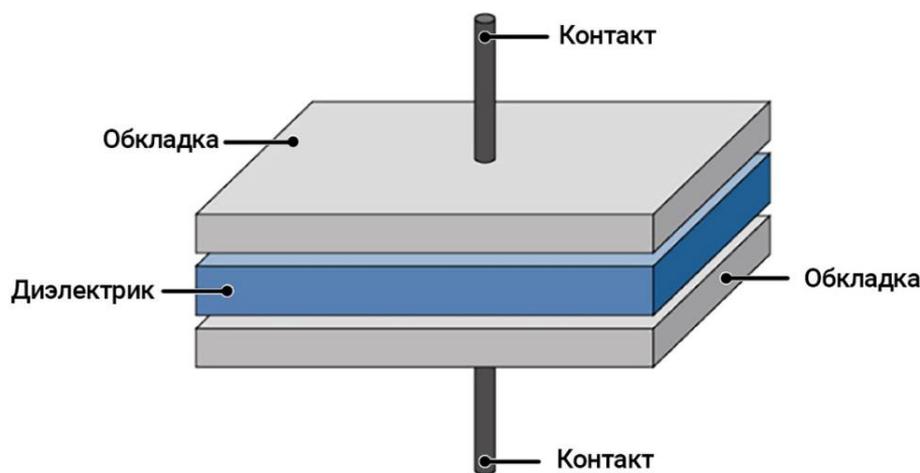


Рисунок 4.10 – Принцип работы конденсатора

Когда на конденсатор подается напряжение, электроны (отрицательно заряженные частицы) собираются на одной из этих пластин, оставляя одну из пластин положительно заряженной, а другую пластину — отрицательно заряженной. Электроны не проходят через диэлектрик и, таким образом, образуют статическое электрическое поле между пластинами. Дело в том, что между пластинами возникает разность потенциалов, которая поддерживает поле.

Если этот конденсатор подключен к цепи с нагрузкой, электрическое поле будет продолжать разрушаться, и конденсатор будет разряжаться в цепь, становясь источником энергии для цепи до тех пор, пока напряжения на пластинах не станут равными.

Конденсаторы играют роль во многих электронных и электрических системах, позволяя хранить и высвобождать заряд. Они используются в различных приложениях, начиная от потребительских устройств и заканчивая крупным промышленным оборудованием. Некоторые из общих применений конденсаторов: каждое из этих примеров - это всего лишь одно из применений конденсаторов, и существует много других.

– Фильтрация энергии. В блоках питания после выпрямления конденсаторы используются для фильтрации пульсаций. Когда напряжение высокое, они накапливают заряд, а когда низкое, высвобождают его для выравнивания выходного напряжения.

– Пути сигнализации и связи. Конденсаторы используются в радиочастотных и аудиочастотных кроссоверах для направления тока к соответствующим динамикам, блокируя радиочастоты, которые могут их повредить.

– Стабилизация напряжения и тока. В системах на основе обратной связи конденсаторы могут помочь стабилизировать напряжение и ток, предотвращая скачки и падения выше и ниже желаемых уровней, чего мы стремимся избежать в высокоточных аналоговых цепях.

– Таймеры и задержка. Конденсаторы также используются в сочетании с резисторами в RC-цепях, которые применяются для создания таймерных схем, таких как генераторы.

– Сглаживание импульсов. Конденсаторы могут сглаживать быстрые фронты нарастания, замедляя скорость изменения напряжения и создавая задержку, или могут соединяться между функциями в цифровых цепях для предотвращения ложных срабатываний из-за шумов и линий задержки, связанных с уровнем сигнала.

– Хранение энергии. Электролитические и суперконденсаторы имеют высокую емкость и могут служить для кратковременного накопления энергии для транзитных источников в системах аварийного электропитания или в коротких энергетических импульсах в электрических транспортных средствах.

Снижение помех. В фильтрах ЭМП/РЧП ёмкость используется для снижения электромагнитных помех, отвлекая нежелательные сигналы на землю или обратно к источнику питания.

Коммуникационные системы. Конденсаторы настолько важны в проектировании антенн и других коммуникационных устройств для настройки и согласования импеданса.

Медицинское оборудование. Такие применения включают дефибрилляторы, где конденсаторы необходимы для накопления и быстрой разгрузки энергии для перезапуска сердца, а также медицинские системы изображения, в которых конденсаторы используются для регулировки и управления током и напряжением.

Запуск двигателей. Они используются как в промышленности, так и в быту для создания фазового сдвига, необходимого для запуска однофазных двигателей.

Коррекция коэффициента мощности. Конденсаторы применяются в промышленности для уменьшения коэффициента мощности в электроэнергетических системах, что приводит к снижению реактивной мощности и, как следствие, повышению эффективности систем.

Маркировка конденсаторов будет различаться в зависимости от типа, размера и производителя, но может содержать данные об установке, включая

значение ёмкости, допуск, номинальное напряжение или рабочее напряжение и номинальную температуру.

*Ниже представлены некоторые стандартные обозначения конденсаторов:*

Ёмкость. Конденсатор обычно маркируется его значением в микрофарадах (мкФ), нанофарадах (нФ) или пикофарадах (пФ).

Со стоимостью из трех цифр у нас также есть возможность использовать первые две цифры для формирования десятичных значений, а третья цифра сообщает степень десятки, на которую следует умножить. Если цифра — «9», степень равна «-1», если цифра — «0», степень равна «1», если цифра — «1», степень равна «2» и так далее. Если первая цифра — «0», ёмкость будет меньше 1 пФ (например, 010 = 1,0 пФ).

Таблица 4.3 – Трехцифровая маркировка

Цифровое обозначение	Ёмкость, пФ	Ёмкость, нФ	Ёмкость, мкФ
109	1.0	0.001	0.000001
159	1.5	0.0015	0.0000015
229	2.2	0.0022	0.0000022
339	3.3	0.0033	0.0000033
479	4.7	0.0047	0.0000047
689	6.8	0.0068	0.0000068
100	10	0.01	0.00001
150	15	0.015	0.000015
220	22	0.022	0.000022
330	33	0.033	0.000033
470	47	0.047	0.000047
680	68	0.068	0.000068
101	100	0.1	0.0001
151	150	0.15	0.00015
221	220	0.22	0.00022
331	330	0.33	0.00033
471	470	0.47	0.00047
681	680	0.68	0.00068
102	1000	1	0.001
152	1500	1.5	0.0015
222	2200	2.2	0.0022
332	3300	3.3	0.0033
472	4700	4.7	0.0047
682	6800	6.8	0.0068
103	10000	10	0.01
153	15000	15	0.015
223	22000	22	0.022
333	33000	33	0.033
473	47000	47	0.047
683	68000	68	0.068
104	100000	100	0.1

154	150000	150	0.15
224	220000	220	0.22
334	330000	330	0.33
474	470000	470	0.47
684	680000	680	0.68
105	1000000	1000	1.0

Если код состоит из четырёх цифр, декодирование такое же, за исключением того, что значение этого кода представлено первыми тремя цифрами, а показатель степени — последней цифрой.

Если используется буквенно-цифровая маркировка, то М (или  $\mu$ ), п и р также могут обозначать десятичные значения  $\mu\text{F}$ ,  $\text{nF}$  и  $\text{pF}$  соответственно. Пример: «220п» = 220  $\text{nF}$ .

Вы также можете увидеть букву «R», которая представляет собой десятичную точку в микрофарадах, а если перед ней стоит ноль, то это на самом деле пикофарады. Пример: 7R4 = 7.4  $\mu\text{F}$ , 0R3 = 0.3  $\text{pF}$ .

Толерантность. Толерантность выражает допустимое отклонение значения ёмкости в процентах и обычно обозначается буквами. Например, толерантность  $\pm 5\%$  к «J»,  $\pm 10\%$  к «K» и  $\pm 20\%$  к «M».

Таблица 4.5 – Буквенно-цифровое маркировка

Буквенное обозначение	Допуск, %
B	$\pm 0.1$
C	$\pm 0.25$
D	$\pm 0.5$
F	$\pm 1$
G	$\pm 2$
J	$\pm 5$
K	$\pm 10$
M	$\pm 20$
N	$\pm 30$
Q	-10...+30
T	-10...+50
Y	-10...+100
S	-20...+50
Z	-20...+80

Рабочее напряжение конденсатора – это максимальное напряжение, которое можно безопасно подавать на него постоянно. Оно указывается в вольтах (например, 16V) или с помощью специальных буквенных обозначений.

Таблица 4.6 – Буквенное обозначение и напряжение

Буквенное обозначение	Напряжение, В
I	1
R	1,6
A	3,2
C	4
B	6,3
D	10
E	16
F	20
G	25
H	32
C	40
J	50
K	63
L	80
N	100
P	125
Q	160
Z	200
W	250
X	315
Y	400
U	450
V	500

Обозначение конденсаторов на электрических схемах варьируется в зависимости от используемого стандарта. В Европе (IEC) конденсатор обычно изображается двумя параллельными линиями, ориентированными горизонтально или вертикально. Для полярных конденсаторов часто добавляется знак "+" для указания положительного вывода. Иногда неполярные конденсаторы обозначаются кругом с внутренней отрицательной пластиной. В американском стандарте (ANSI) конденсатор представлен прямой и изогнутой линиями, символизирующими его пластины. Полярность полярных конденсаторов также указывается знаками "+" или "-".



Рисунок 4.11 – Обозначение конденсатора

В проекте использовал конденсатор  $4.7\mu\text{F}\pm 0.25\mu\text{F}$  NPO 50V 0805, GRM2165C1H4R7C, Конденсатор керамический smd



Рисунок 4.12 – Конденсатор керамический

Murata – признанный лидер в производстве керамических электронных компонентов, используя передовые материалы, включая оксид титана и титанат бария. Среди широкого спектра продукции выделяются керамические многослойные конденсаторы (MLCC) серии GRM. Эти неполярные, безвыводные конденсаторы общего применения обеспечивают превосходную производительность в импульсных режимах и характеризуются минимальным уровнем шума благодаря низкому импедансу на высоких частотах. Разнообразие диэлектриков в серии GRM позволяет подобрать конденсатор с оптимальным температурным коэффициентом емкости (ТКЕ) для конкретной задачи. Конденсаторы GRM доступны с рабочим напряжением от 6.3 В до 630 В, в диапазоне емкостей от 0.3 пФ до 100 мкФ и в широком диапазоне размеров от 0201 до 2220.

### 4.3 Резисторы

Резистор — это пассивный двухполюсный электрический компонент, который реализует электрическое сопротивление в качестве элемента цепи. Он может использоваться для преобразования тока в напряжение, напряжения в ток, для ограничения тока, для поглощения электрической энергии и т.д. Это базовая часть практически всех электрических и электронных устройств.



Рисунок 4.13 – Резисторы

Каждый резистор подчиняется закону Ома, согласно которому сопротивление регулируется в зависимости от напряжения и тока, который через него проходит. Значения напряжения и тока могут изменяться путем выбора номиналов сопротивления. Это происходит потому, что ток, протекающий через цепь, в итоге теряет импульс внутри компонента.

При выборе резисторов следует учитывать три основных свойства:

- Номинальное сопротивление. Эта характеристика измеряется в омах ( $\Omega$ ), например, 1 к $\Omega$  (1000  $\Omega$ ), 1 М $\Omega$  (1000 к $\Omega$ ).

- Допустимая мощность рассеивания. Наибольшее количество мощности, которое компонент может генерировать при непрерывном использовании. Такой параметр полезен для высокотемпературных сверхпроводников. Чем больше мощности он может обрабатывать, тем больше резистор.

- Класс точности. Он показывает, насколько реальное значение сопротивления может отличаться от номинального. Например, резистор может иметь допустимое отклонение 5%, 10%.

Дополнительные свойства, которые также могут понадобиться - максимальное рабочее напряжение, температура, влажность, дополнительный шум, коэффициент напряжения. Его паразитная ёмкость и паразитная индуктивность учитываются, если вход будет использоваться в высокочастотных или сверхвысокочастотных устройствах. Чем ниже значения этих параметров, тем выше качество резистора.



Рисунок 4.14 – Виды/типы резисторов

### *Постоянные резисторы*

В них значение сопротивления всегда постоянно (даже если с небольшими изменениями в зависимости от температуры).

### *Переменные резисторы*

Их сопротивление можно регулировать, но они не могут регулироваться самостоятельно, только при внешнем воздействии. Попробуйте повернуть ручку на радио или передвинуть ползунок, и вы заметите, что звук станет громче или тише, как будто по волшебству, хотя на самом деле это из-за изменения сопротивления в цепи.

*Существует несколько различных типов переменных резисторов:*

- *Настройка:* это регулировка с помощью винта для увеличения сопротивления. Ход обычно может быть рискованным. Они идеальны для настройки параметров схемы во время установки, ремонта или сборки оборудования. Обычные резисторы имеют прорезь для тестирования (если нет, то в современных). Настраиваемые элементы предназначены для редкого использования и изнашиваются после около 1000 регулировок.

- *Переменные:* они имеют возможный диапазон сопротивления. Индивидуальные резисторы необходимы для регулировки громкости, тембра и т. д. Их срок службы составляет 5000 циклов или более.

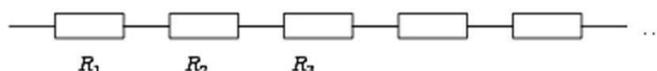
*По классификации по режиму управления, переменные резисторы могут быть в основном разделены на два типа:*

– *Поворотные:* Основой токопроводящего элемента является кольцо, которое вращается через механизм регулировки с помощью специальной рукоятки. Сравниваются однооборотные и многооборотные резисторы.

– *Метод скольжения:* Сопротивление может регулироваться не с помощью кривошипа, а с помощью специального ползунка. Передвигая его в одну или другую сторону, вы можете уменьшить или усилить нагрузку на цепь.

– *Последовательное соединение:*

В такой схеме конец одного из этих элементов соединяется с началом другого, а конец другого — с началом последующего и т. д. Они соединены друг за другом, так что через них проходит только один общий ток. В этом случае общее сопротивление зависит от двух факторов: (1) индивидуальных возможностей каждого из резисторов и (2) количества элементов в цепи (чем больше будет добавлено, тем больше будет сопротивление току).



$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

Рисунок 4.15 – Последовательное соединение резисторов

### Параллельное соединение

В этой схеме все элементы соединены таким образом, что их начала сходятся в одной точке, а концы - в другой. Это означает, что ток через каждый элемент течет своим собственным путем. Чем больше элементов в схеме, тем больше путей для тока и, следовательно, тем меньше общее сопротивление. В отличие от последовательного соединения, где добавление элементов увеличивает сопротивление, в параллельном соединении сопротивление уменьшается.

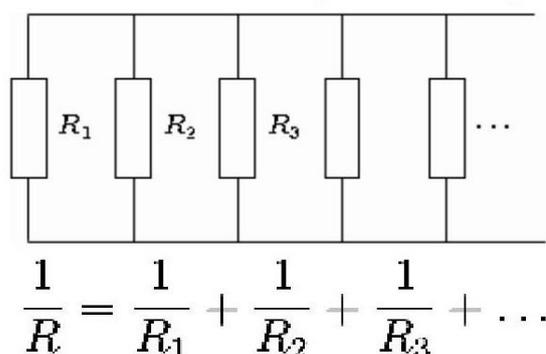


Рисунок 4.16 – Параллельное соединение резисторов

### Смешанное соединение

В данной схеме используются два основных типа соединения, объединенных вместе. Это часто называют последовательно-параллельным соединением.

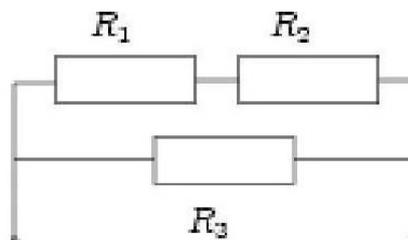


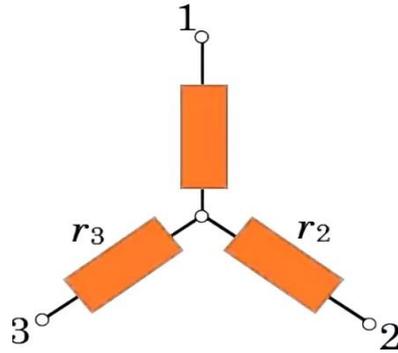
Рисунок 4.17 – Смешанное соединение резисторов

Соединение "треугольник-звезда" – это способ соединения резисторов, который может быть реализован двумя различными конфигурациями:

– *Треугольник*: Резисторы соединяются последовательно, образуя замкнутый контур в форме треугольника. Точки соединения резисторов являются узлами схемы.

– *Звезда*: Три резистора соединяются одним концом в общей точке (центральный узел), а их другие концы расходятся в разные стороны. Для наглядности смотрите на Рис. 4.18.

Соединение звезда



Соединение треугольник

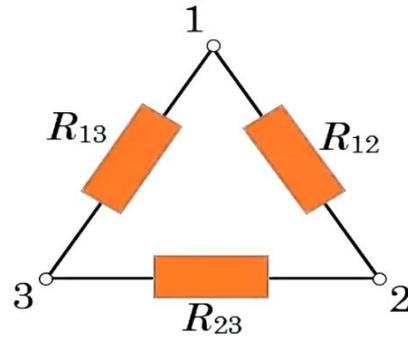


Рисунок 4.18 – Схема треугольник-звезда

Два соединения эквивалентны в использовании, когда передают одинаковую нагрузку между соответствующими клеммами электрической цепи, так как в этих условиях будут передавать на соответствующие клеммы одинаковый ток - а следовательно, и одинаковую мощность.

Значение каждого резистора предоставлено с указанием допуска. Номинальное значение - это рабочее сопротивление элемента. Нагрузка, которую цепь должна выдерживать, должна быть ниже этой точки. Допуск обуславливает точность изделия и может интерпретироваться как возможное отклонение реальных значений от номинальных значений. Сообщается процент допуска. Серия или тип также указывались на советских резисторах.

Существуют два типа маркировки резисторов, которые часто используются; это не единственные два типа, но наиболее часто используемые. Мы можем рассмотреть их подробнее.

Маркировка резисторов алфавитно-цифровая. Другой стиль маркировки также часто используется на более крупных силовых резисторах, поэтому он включён здесь для сравнения. Код обычно состоит из двух цифр и буквы или из трёх цифр и буквы. В некоторых случаях встречаются две буквы, как, например, мк. Цифры представляют значение изделий, а буквы - множитель Таблица – 4.7

Таблица 4.7 – Кодовая маркировка

Обозначение	Приставка	Множитель
Э	экса	$10^{18}$
П	пета	$10^{15}$
Т	тера	$10^{12}$
Г	гига	$10^9$
М	мега	$10^6$
к	кило	$10^3$
г	гекто	$10^2$
да	дека	$10^1$
д	деци	$10^{-1}$

с	санти	$10^{-2}$
м	милли	$10^{-3}$
мк	микро	$10^{-6}$
н	нано	$10^{-9}$
п	пико	$10^{-12}$
ф	фемто	$10^{-15}$
а	атто	$10^{-18}$

Если сопротивление выражено целым числом, обозначение множителя (например, "к" для килоом) ставится после числа. Если же сопротивление имеет десятичную часть (например, 4.7 Ома), то обозначение множителя заменяет десятичную запятую. Примеры приведены на рисунке.

Таблица 4.8 – Примеры сопротивления

Сопротивление		Допуск		Примеры обозначения	
Множитель	Код	Допуск, %	Код	Полное обозначение	Код
1	R(E)	±0,1	B(Ж)	3,9 Ом ± 5%	3R9J
		±0,25	C(У)	215 Ом ± 2%	215RG
1000	K(K)	±0,5	D(Д)	1 кОм ± 5%	1K0J
		±1	F(P)	12,4 кОм ± 1%	12K4F
1000000	M(M)	±2	G(Л)	10 кОм ± 5%	10KJ
		±5	J(И)	100 кОм ± 5%	M10J
1000000000	G(Г)	±10	K(С)	2,2 МОм ± 10%	2M2K
		±20	M(B)	6,8 ГОм ± 20%	6G8M
10000000000000	T(T)	±30	N(Ф)	1 ТОм ± 20%	1T0M

В связи с миниатюрными размерами большинства резисторов, нанесение буквенно-цифровой маркировки на них затруднительно. Это привело к разработке цветовой кодировки, которая, к тому же, обладает универсальностью, позволяя специалистам из разных стран интерпретировать номинал резистора независимо от языковых барьеров. Однако, для эффективного использования цветовой маркировки необходимо ознакомиться с ее принципами.

<b>3 полосы:</b>	<b>4 полосы:</b>	<b>5 полос:</b>	<b>6 полос:</b>
1) зн. цифра	1) зн. цифра	1) зн. цифра	1) зн. цифра
2) зн. цифра	2) зн. цифра	2) зн. цифра	2) зн. цифра
3) множитель	3) множитель	3) зн. цифра	3) зн. цифра
	4) допуск	4) множитель	4) множитель
		5) допуск	5) допуск
			6) темп. коэф.

### Маркировка резисторов цветными полосками

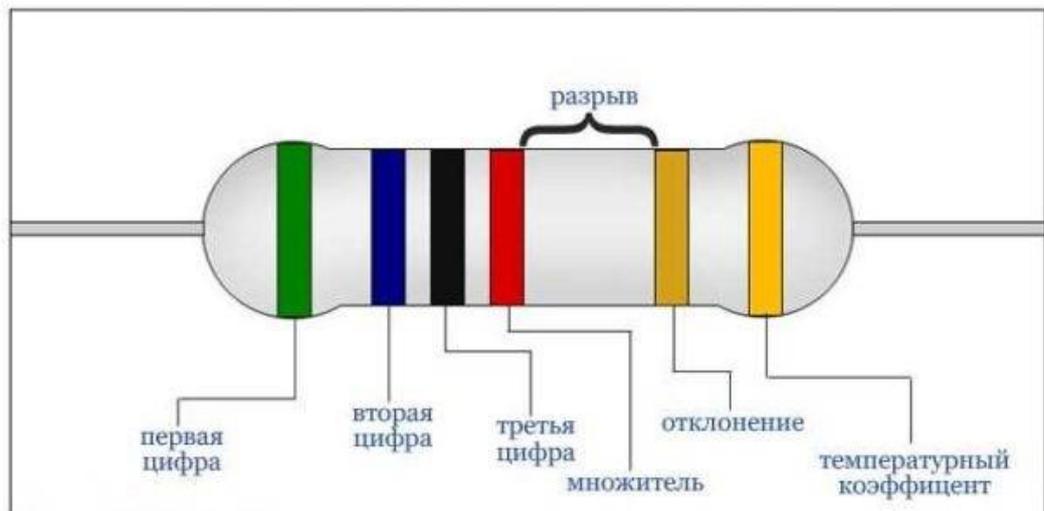


Рисунок 4.19 – Цветовая маркировка резисторов

Резисторы изображаются в виде прямоугольника в схемах, и мы присоединяем к ним провода (часто изображаемые просто как линии). Элемент может обозначаться буквой R, за которой следует число, представляющее порядок в схеме.

В проекте использую резисторы с различным сопротивлением. Например, резистор 0,125 Вт 0805 22 кОм, 1%, чип-резистор (SMD).



Рисунок 4.20 – Чип резистор (SMD)

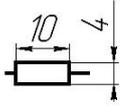
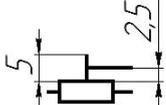
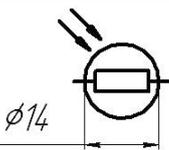
	Резистор постоянный, общее обозначение
	Резистор переменный
	Резистор подстроечный
	Фоторезистор
	Варистор
	Терморезистор
	Обозначение резистора в зарубежных схемах

Рисунок 4.21 – Обозначения на схемах

Бескорпусные толстопленочные резисторы (чип-резисторы, smd-резисторы) предназначены для работы в цепях постоянного, переменного и импульсного тока. Используются для поверхностного монтажа.

*Номинальная мощность: 0.063 Вт (тип 0603), 0.125 Вт (тип 0805), 0.25 Вт (тип 1206)*

*Диапазон номинальных сопротивлений: 1 Ом - 10 МОм, ряд 24*

*Точность:  $\pm 1\%$  (F)*

*Рабочее напряжение: 200 В*

*Диапазон рабочих температур: -55...+ 125 °С*

#### 4.4 Построение принципиальной схемы

«Схема электрической цепи - это технический чертеж, который показывает и объясняет, как работает электрическая цепь. В неё размещаются устройства, вокруг неё проектируются печатные платы (PCB), и программируется прошивка для её управления. Более того, на стадии проектирования схема неинвазивного устройства для обнаружения диабета с использованием сигналов ЭКГ считается одним из наиболее важных этапов проекта.

Связь между тремя основными функциями может быть показана с помощью следующей упрощённой блочной схемы:

1. Схема регистрации сигнала ЭКГ.

- Эта схема будет принимать слабые биосигналы от электродов.
- Дифференциальные электроды соединяются как входы схемы.
- Вначале сигнал проходит через массив RC-фильтров, который позволяет отфильтровать высокочастотные шумы и электромагнитные эффекты.
- Для каждого канала резистор и конденсатор размещены независимо.
- Затем сигнал подключается к аналоговым входам микросхемы ADS1298.

2. Блок преобразования и обработки сигналов.

- ADS1298 — это основная АЦП микросхема схемы.
- Она включает восьмиканальный 24-битный дельта-сигма АЦП с усилителями и цифровыми фильтрами.
- Выводы SCLK, MISO, MOSI, CS интерфейса SPI микросхемы подключены к микроконтроллеру ESP32.
- Также используется сигнал DRDY для индикации готовности данных микроконтроллеру.
- Чтобы улучшить стабильность сигнала, в схему встроены RLD (схема управления правой ногой).

3. Блок управления и связи.

- "Мозгом" схемы является микроконтроллер ESP32-WROOM.
- Он получает данные от ADS1298 и инициализирует себя с их использованием.
- Затем ESP32 передаёт полученную информацию по Wi-Fi или Bluetooth на внешнее устройство.
- Схема также подключается к программным интерфейсам, таким как UART или USB-TTL.
- Помимо этого, размещены светодиоды и кнопки для отображения состояния.

4. Цепь электропитания.

- Для бесперебойной работы системы используются литий-ионный аккумулятор, регулятор заряда (например, TP4056) и стабилизаторы напряжения (например, AMS1117-3.3 или аналогичные).
- ESP32 питается от 3,3 В, а ADS1298 — от 3,0 и 1,8 В.
- Все заземляющие (GND) цепи объединены в единую сеть."

Создание проекта для Altium Designer с использованием специальной программы Library Loader.

File → New → Project → PCB Project. Сперва начнем с этого.

Дается имя, и создается структура проекта: .PrjPcb, .SchDoc, .PcbDoc.

Altium Designer имеет структуру проекта, и да, в ней есть коллекция различных типов файлов, которые по-своему уникально участвуют в проектировании печатной платы.

*.PrjPcb — файл проекта печатной платы.*

Это основной файл проекта, который связывает вместе все остальные файлы (схемы, платы, библиотеки и документы). Он содержит список токенов для всех документов, создаваемых для проекта, и настройки проекта. Когда вы открываете его в Altium, вы можете увидеть весь проект в панели Projects.

*.SchDoc* — документ схемы.

Здесь находится схема (или одна из страниц схемы, если их несколько). Здесь добавляются и соединяются электронные компоненты, представляя логическую работу устройства. В проект может быть включено несколько таких файлов (например, Main.SchDoc, Power.SchDoc, MCU.SchDoc и т.д.).

*PcbDoc* — документ компоновки печатной платы.

Это файл компоновки платы. В нем размещаются части и прорисовываются взаимосвязи. Здесь находится графика контура платы, слоев, трасс, контактных площадок, отверстий и надписей.

SamacSys — это облачный программный сервис, предоставляющий высококачественные, интеллектуальные САД-модели для проектирования компонентов в электронной промышленности. Его единственная миссия — облегчить жизнь разработчикам электроники, предоставляя все необходимое: символы для схем, посадочные места для проектирования печатных плат и 3D-модели корпусов. Это действительно ускоряет разработку и помогает избежать ошибок, которые имеют тенденцию возникать при создании библиотек вручную.

Примеры специальной программы Library Loader облегчают настройку с Altium Designer. После загрузки на компьютер пользователь может искать компоненты по имени или артикулу непосредственно через веб-сайт ComponentSearchEngine. Полученный компонент загружается одним щелчком мыши и затем мгновенно отображается в Altium — с правильным символом, посадочным местом и 3D-моделью. Это особенно критично при разработке плат высокой плотности или создании многослойных сборок, так как точность как электрических, так и механических параметров имеет значение.

Платформа SamacSys ориентирована на соблюдение международных стандартов, включая IPC-7351 для посадочных мест, так что библиотеки, которые вы получаете, могут использоваться для промышленного производства. Пользователю не нужно тратить время на поиск документации, проверку размеров, создание чертежей вручную и т. д., так как всё уже проверено и организовано.

И, если потребуется, вы можете редактировать библиотеку в Altium, так как всё находится в свободном открытом формате (вам не нужно добавлять какие-либо модули или плагины).

Таким образом, SamacSys является связующим звеном между производителями электронных компонентов и инженерами по проектированию электроники, обеспечивая быстрый и лёгкий доступ к высококачественным моделям, совместимым с САПР, для инженеров, использующих такие модели. Теперь мы можем сосредоточиться на логике и функциональности машины, вместо того чтобы быть скованными выполнением повторяющейся, подверженной ошибкам работы с библиотеками.

Вы также можете создать свою собственную библиотеку (Файл → Новый → Библиотека).

После создания моего нового проекта в библиотеке SamacSys мы можем выбрать различные компоненты даже из разных источников. Мы нашли чип ADS1298, который, кажется, соответствует потребностям нашего проекта. На принципиальной схеме также есть резисторы сопротивлением 22 кОм. Резисторы можно добавить с помощью библиотеки SamacSys или с использованием компонентов, уже встроенных в программное обеспечение.

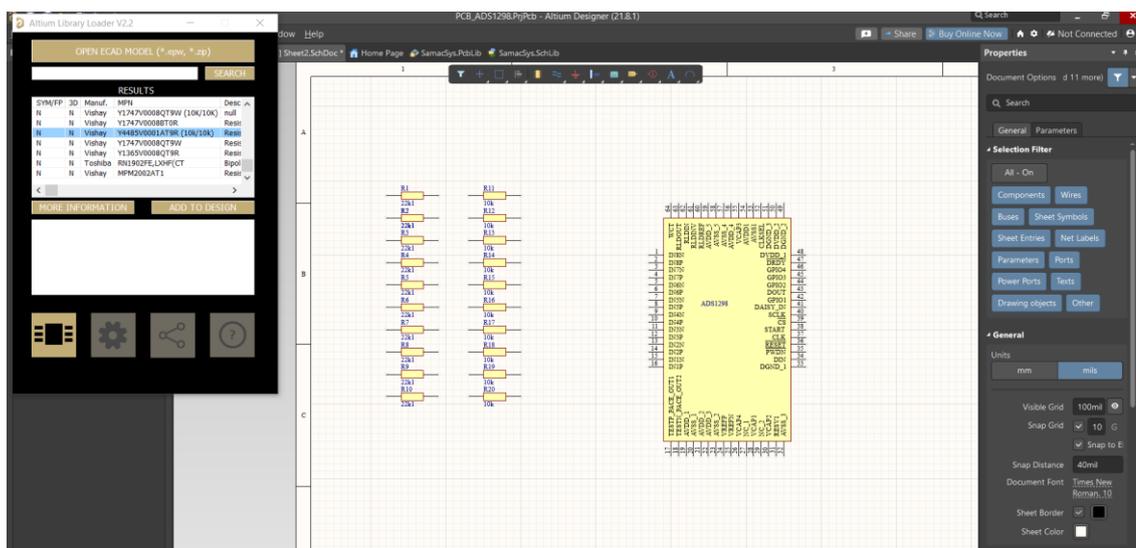


Рисунок 4.22 –

Десять пар входных электродов защищены RC-цепями, состоящими из резисторов (22 кОм) и конденсаторов (4.7 нФ). Эти RC-цепи выполняют функцию антиалиасинговых фильтров нижних частот, предназначенных для подавления высокочастотных помех и защиты от перенапряжений. Резисторы ограничивают ток, а конденсаторы совместно с резисторами формируют фильтр, отсекающий нежелательные высокочастотные сигналы, такие как паразитные импульсы и электромагнитные помехи.

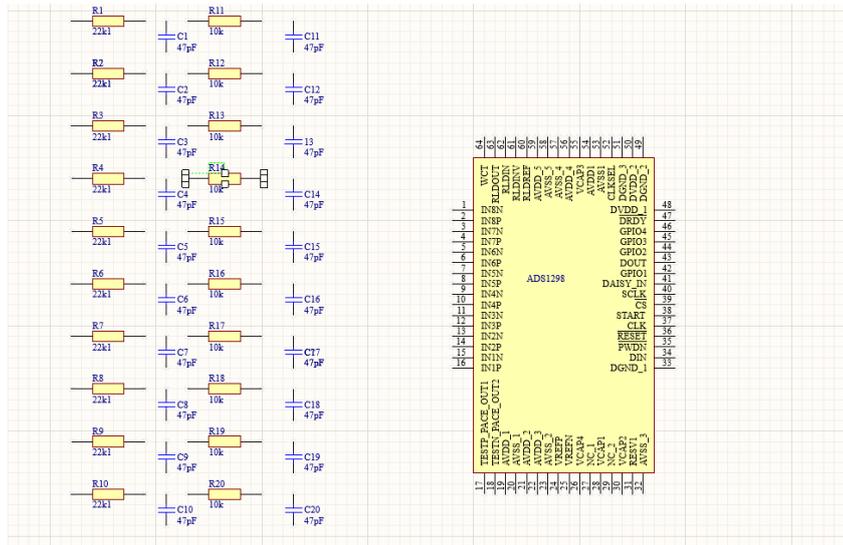


Рисунок 4.23 –

Затем устанавливаем 10-контактный разъем, который будет служить для подключения входных сигналов к микросхеме.

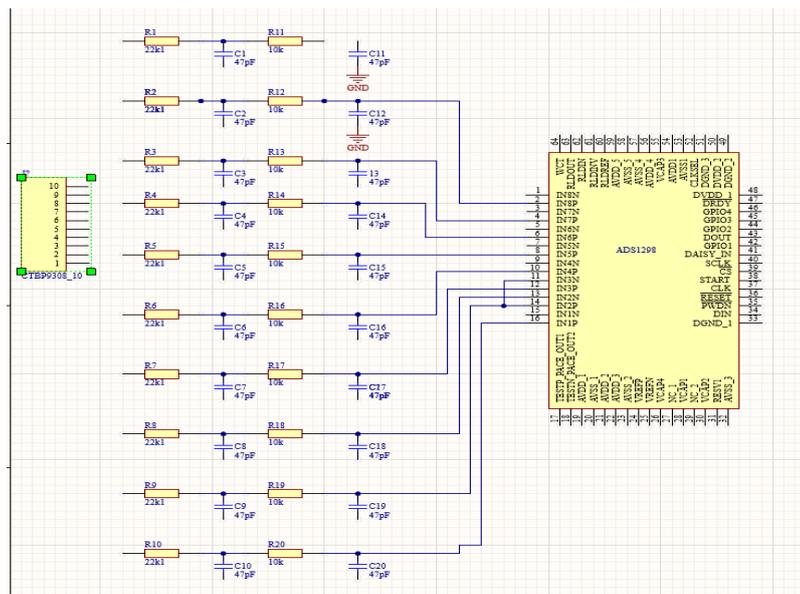


Рисунок 4.24 –

В этой схеме резисторы последовательно соединены с конденсаторами, как показано на схеме. Эти компоненты подключены к микросхемам, которые преобразуют сигналы. Входные цепи заземлены на аналоговую землю (AGND).

Аналоговая земля (AGND) является точкой отсчета для всех входных сигналов. Важно помнить, что аналоговая земля должна быть отделена от цифровой земли, чтобы избежать помех от цифровых устройств.

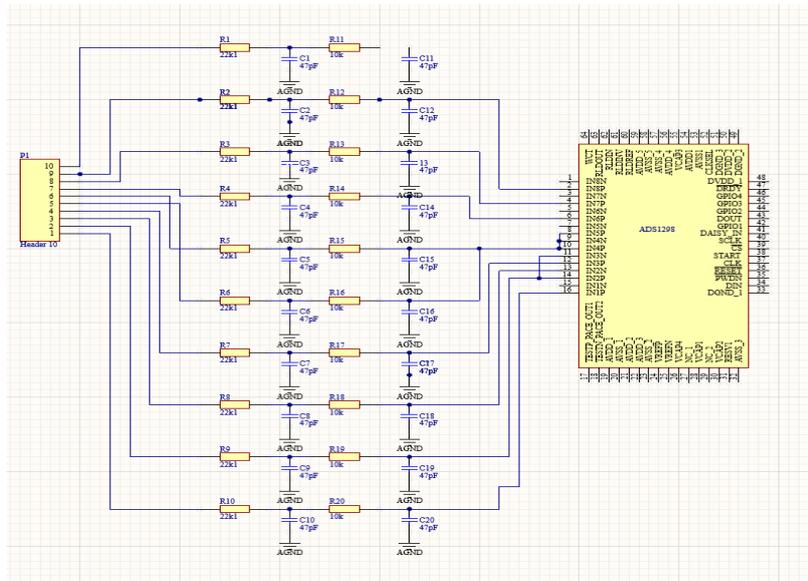


Рисунок 4.25 –

Далее, проводим сопротивление (R27-32), для подключения контроллера ESP32.

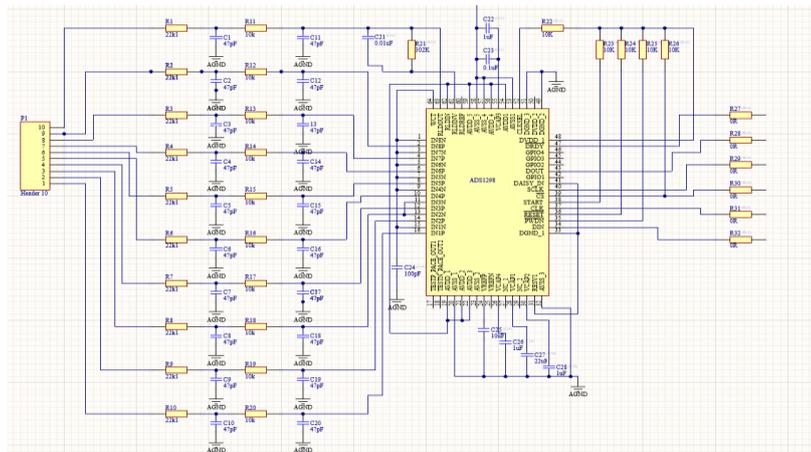


Рисунок 4.26 –

Для упрощения процесса прошивки контроллера и обеспечения модульности конструкции, предусмотрены 20-контактные разъемы. Это позволит легко перепрограммировать устройство, а также быстро извлекать и отлаживать контроллер в случае неисправности, избегая необходимости в пайке и других сложных операциях.

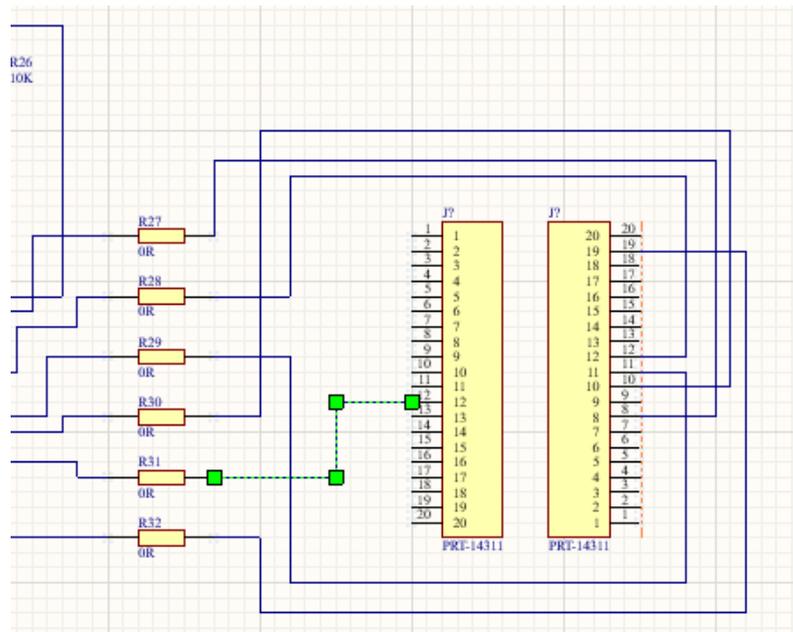


Рисунок 4.27 –

Конденсаторы MI0805K400R-10 применяются в качестве блокировочных (байпасных) конденсаторов для фильтрации высокочастотных помех и стабилизации напряжения питания. Обычно их устанавливают между линией питания и землей, вблизи точек подключения питания (AVDD, DVDD), генераторов тактовой частоты или RLD-каскадов.

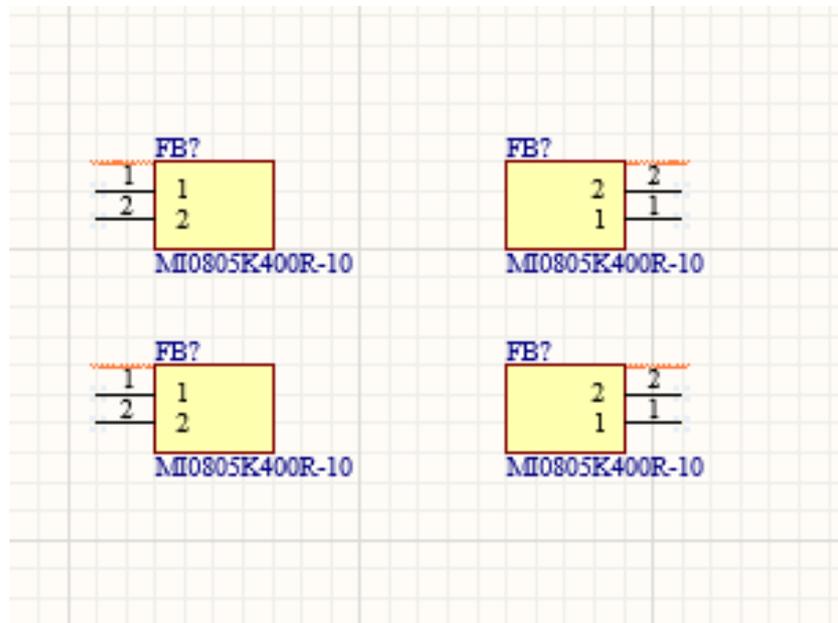


Рисунок 4.28 –

Это полноценная готовая принципиальная схема проекта. Теперь можно будет приступать для сборки печатной платы.

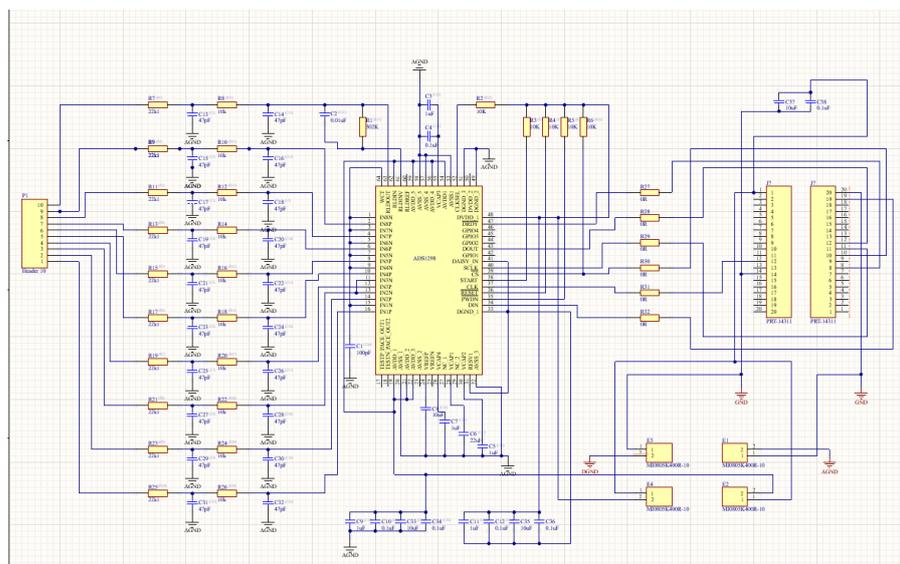


Рисунок 4.29 –

#### 4.5 Создание принципиальной схемы

Схематическое проектирование является одним из основных этапов работы над аппаратной частью проекта. Эта схема представляет собой логические и электрические связи между всеми функциональными частями устройства, то есть датчики, микросхемы, контроллеры и элементы питания в одном замкнутом объекте. В разрабатываемом проекте блок-схема включает подсистему сбора сигналов ЭКГ, модуль цифровой обработки и модуль беспроводной передачи данных, и все эти три модуля совмещены в схеме.

##### 1. Система сбора сигналов ЭКГ

Дифференциальные электроды, которые улавливают слабые биоэлектрические сигналы сердца, принимаются на вход системы. Сразу после электродов сигнал проходит через аналоговые фильтры — RC-цепи, специально разработанные для подавления высокочастотного шума и артефактов движения. Эти фильтры состоят из резисторов 22 кОм и конденсаторов 4,7 нФ, что реализует полосовой фильтр.

Отфильтрованный сигнал затем направляется к микросхеме ADS1298, где выполняется DSP-обработка, состоящая из усиления, 24-битного АЦП, цифровой фильтрации и выравнивания. Эта микросхема характеризуется наличием встроенных программируемых усилителей, опорного напряжения и схемы обратного привода по правой ноге (RLD), что увеличивает стабильность измерений.

##### 2. Цифровая обработка сигнала

Данные считываются микросхемой ESP32-WROOM из ADS1298 с использованием интерфейса SPI (CS, MISO, MOSI, SCLK). Также используется DRDY для информирования микроконтроллера о приходе следующего пакета данных. Выполняется обработка данных в реальном времени, такая как

параметризация комплекса QRS, извлечение интервала RR, анализ variability ритма и возможная индикация диабетических изменений.

Для индикации работы системы можно подключить светодиод LEDK на ESP32, а также кнопку сброса или конфигурирования.

### 3. Пакет питания и стабилизации питания

Устройство работает от литий-полимерной батареи напряжением 3,7 В, подключенной к устройству с помощью зарядного устройства на микросхеме TP4056. Напряжение регулируется до 3,3 В и 1,8 В с помощью линейных регуляторов AMS1117 и их аналогов. Маршрутизация земли и кондиционирование питания с помощью керамических обходных конденсаторов (0,1 мкФ и 10 мкФ вблизи критических микросхем) тщательно освещены.

### 4. Связь с внешними устройствами

ESP32 предлагает радио по беспроводной связи как в Wi-Fi, так и в Bluetooth и может подключаться к внешним устройствам (например, к вашему смартфону, ПК, облачному серверу и т. д.). Беспроводные модули интегрированы в шлюзы без внешних компонентов. Можно включить преобразователь USB в сериал (TTL) (например, CH340G) для отладки и программирования через ПК.

Теперь, когда мы закончили схематическое проектирование в Altium Designer, перейдем ко второму этапу: внедрение и разводка печатной платы. Этот этап состоит из размещения компонентов, маршрутизации цепи, управления проводкой и окончательной 3D-визуализации.

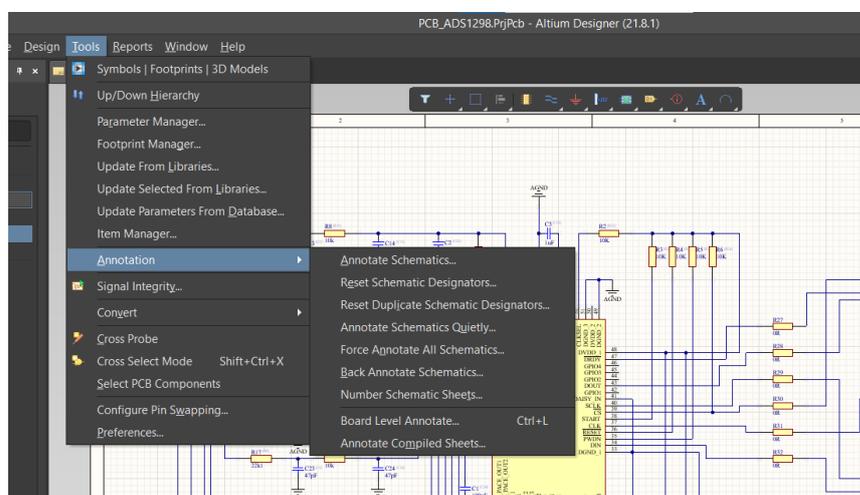


Рисунок 4.30 – Разработка и разводка печатной платы

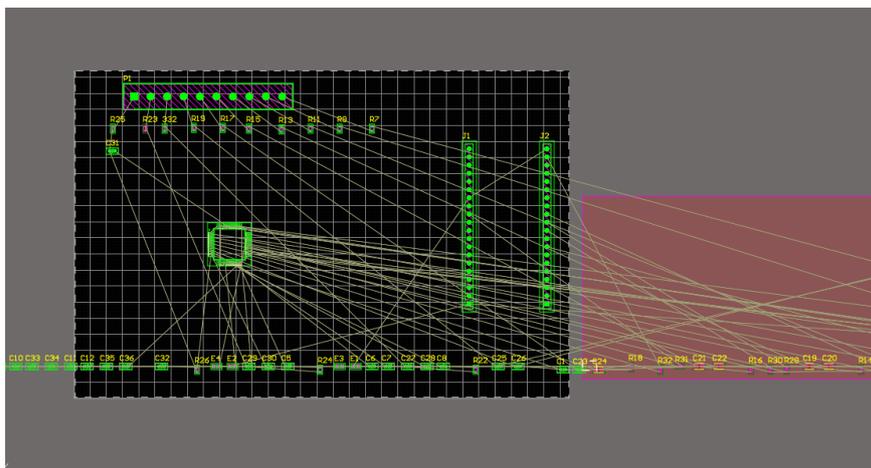


Рисунок 4.31 – Аннотирование компонентов

Перед началом работы со схемой необходимо пронумеровать все её компоненты. Функция "Annotation" в меню Tools > Annotation > Annotate Schematics... автоматически присваивает каждому элементу уникальный идентификатор, что значительно облегчает их поиск и распознавание при дальнейшей разводке платы.

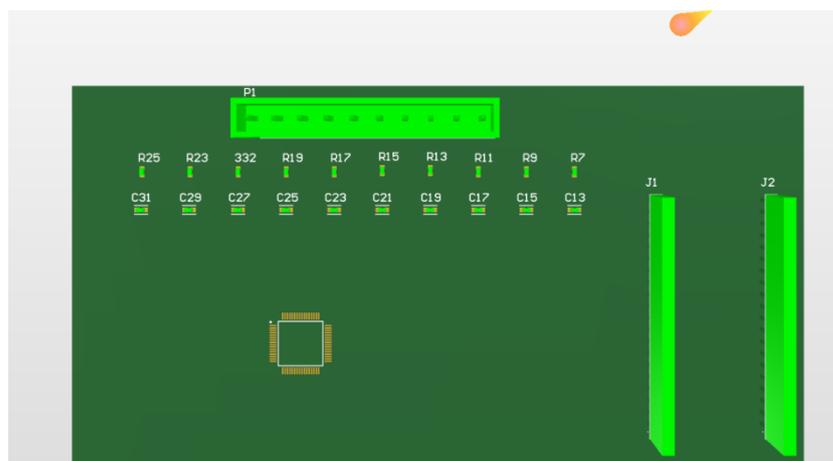


Рисунок 4.32 – Импорт схемы в РСВ-макет

После того, как схема аннотирована и перекрестно проверена с аннотацией, данные необходимо перенести на печатную плату.

*Это выполняется с помощью команды:*

**Design > Import Changes from [ProjectName].**

Altium теперь синхронизирует все обновления, ввод новых компонентов, проводов и позиционирование SMD.

Снова, и вы можете закрыть редактор печатных плат для создания вашей печатной платы.

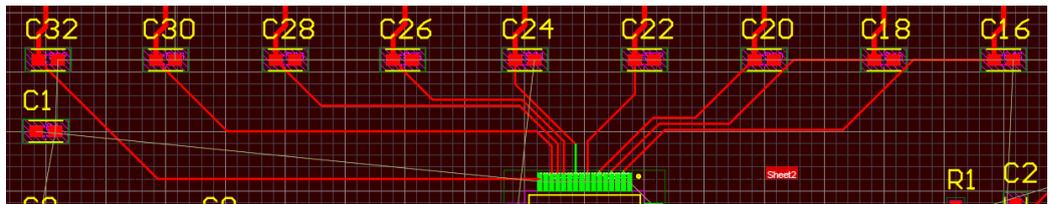


Рисунок 4.33 – Размещение компонентов

Изначально, при начале трассировки, все компоненты располагаются вне области печатной платы. Необходимо вручную переместить и разместить их на плате, руководствуясь схемой и стремясь к минимальной длине проводников. При этом, компоненты группируются: резисторы и конденсаторы размещаются вблизи микросхем, а разъемы - по периферии платы.

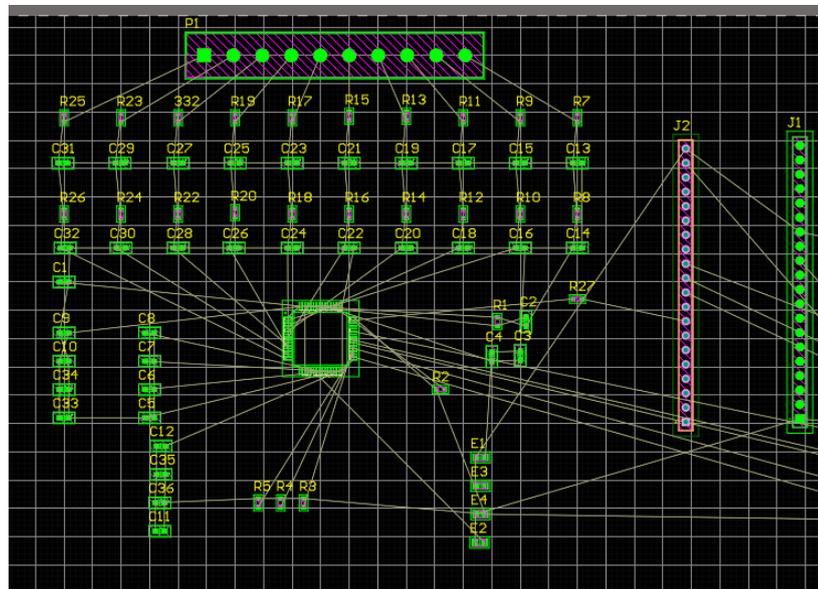


Рисунок 4.34 – Первичная трассировка и редактирование

Как только все компоненты установлены, наступает время для трассировки - прокладывания дорожек для соединения всего.

Первоначальные признаки некоторой маршрутизации сигналов из микросхемы ADS1298 и подключенных RC-цепочек фильтров.

Затем соединения добавляются, маршруты оптимизируются, и ширина дорожек изменяется по мере необходимости позднее.

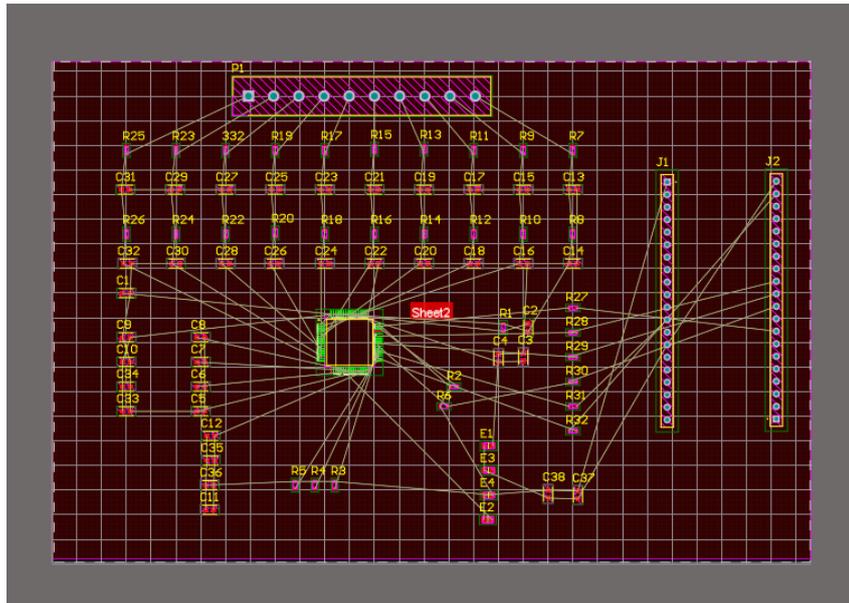


Рисунок 4.35 – Многослойная разводка и разводка питания

Далее, на втором слое печатной платы прокладываются дополнительные проводники (часто синего цвета, обозначающего нижний слой). Это позволяет избежать пересечений между дорожками и оптимизировать трассировку. Кроме того, добавляются проводящие полигоны, предназначенные для заземления и питания схемы. Эти меры значительно снижают уровень шума и электромагнитных помех, что особенно важно для точной обработки биомедицинских сигналов.

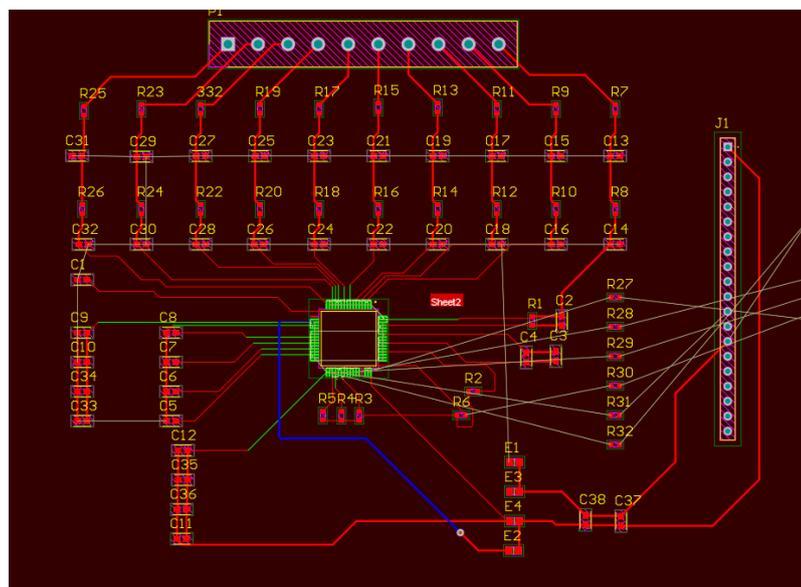


Рисунок 4.36 – Финальная компоновка и 3D-модель

После трассировки выполняется визуальный контроль проекта в трехмерном пространстве. В 3D-виде проверяется соответствие расположения компонентов требованиям проекта: правильная ориентация, доступность контактных площадок, соблюдение минимальных расстояний между элементами и корректность маркировки.

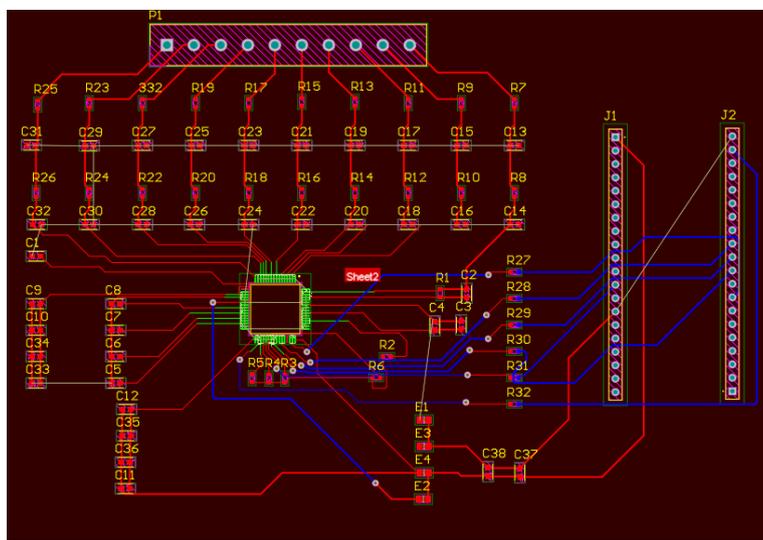


Рисунок 4.37 – Полная разводка платы

На финальной стадии завершается трассировка всех сигнальных цепей, линий питания и заземления. При этом соблюдены все необходимые нормы по ширине проводников, зазорам между ними, стандартам проектирования и требованиям к обеспечению высокой надежности.

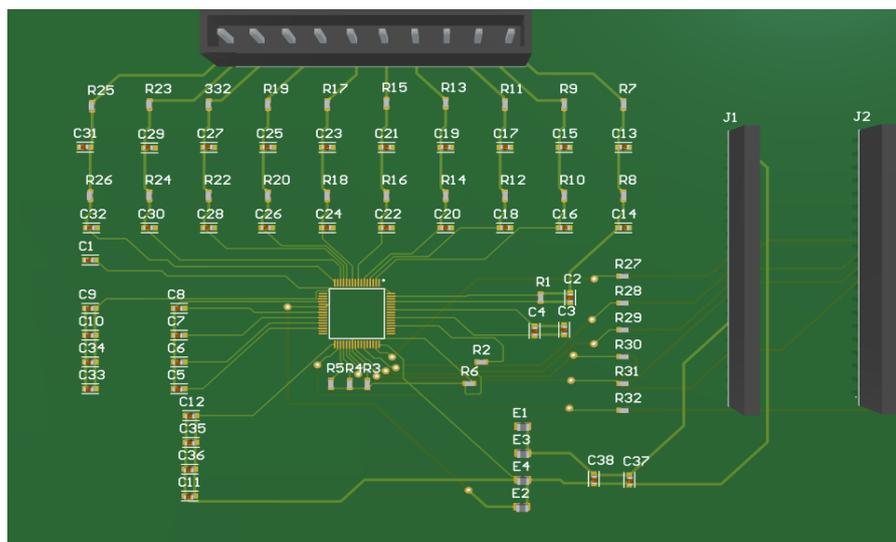


Рисунок 4.38 – Готовая плата

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель проекта заключается в выявлении отличий, связанных с диабетом, при исследовании временно-частотного электрокардиографического сигнала, основанного на биоэлектрической активности, производимой человеческим сердцем. На основе современных научных данных и клинических исследований было доказано, что диабет влияет на сердцебиение.

Следовательно, проблема заключалась в том, что диагностически значимую информацию можно было получить из сигнала ЭКГ, только выделив и исследовав интересующие характеристики, такие как вариабельность RR интервалов, длительность интервала QT или морфология комплекса QRS.

Структурная основа системы была четко определена и включала:

- датчики,
- аналого-цифровой преобразователь,
- микроконтроллер и модуль связи.

В качестве аппаратной базы были выбраны высокоточный чип ADS1298 и микроконтроллер ESP32-WROOM. Связь между этими модулями осуществляется с использованием интерфейса SPI, обеспечивающего динамическую передачу данных.

Кроме того, на начальном этапе аналоговой обработки сигнала использовались пять фильтрующих цепей, а литий-полимерный аккумулятор и система модуля стабилизации служили источниками питания.

Выбранные алгоритмы анализа сигнала были вычислительно эффективными и надежными благодаря учёту портативной реализации. Разработанная инфраструктура позволяет в режиме реального времени записывать, предварительно обрабатывать и диагностически интерпретировать электрокардиограммы, при этом минимизируя потребление энергии.

Эта система легко интегрируется с любой системой телемедицины или мобильным приложением и подходит для домашнего использования.

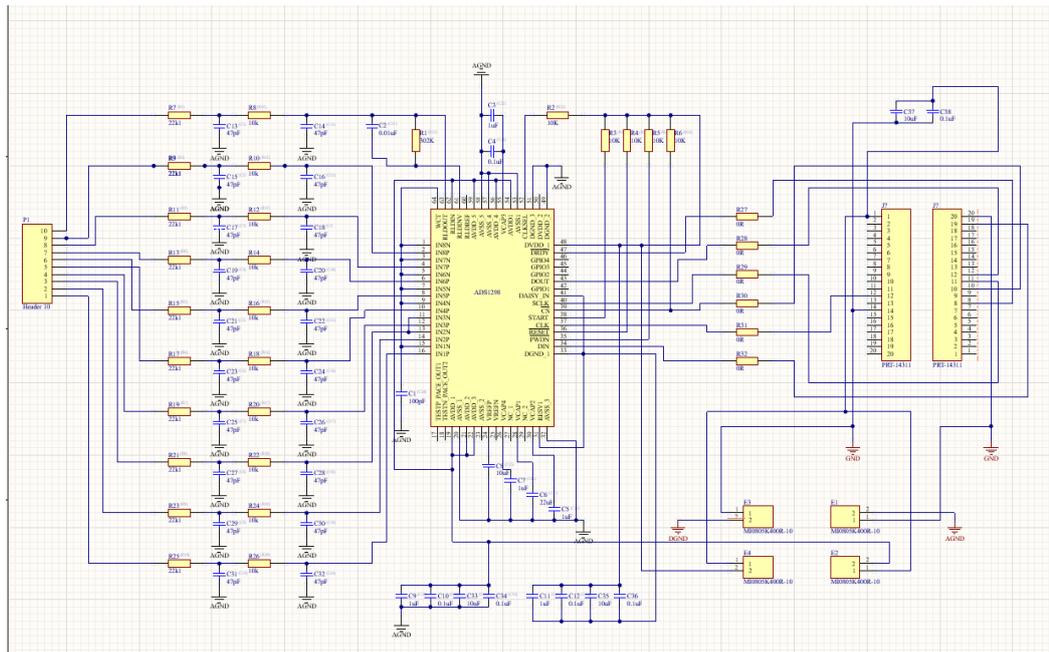
В целом, эта работа предоставляет хорошую основу для реализации прототипа аппаратной системы и должна быть развита дальше. Применение устройства можно расширить в будущем благодаря улучшению через нейронные сети, возможности работы с большими базами данных и реальными медицинскими испытаниями.

Эта работа продвигает очень актуальную тему в современной медицинской электронике - автономный, надежный и недорогой мониторинг здоровья.

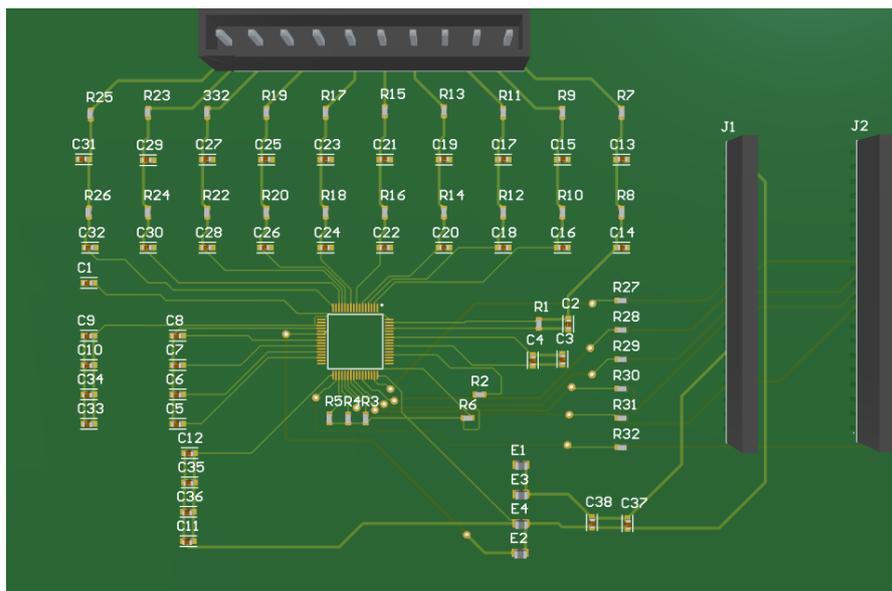
## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУР

- [1] Всемирная организация здравоохранения. Глобальный отчет о диабете. – Женева: ВОЗ, 2023.
- [2] American Diabetes Association. Standards of Medical Care in Diabetes — 2022 // *Diabetes Care*. 2022. Vol. 45, Suppl. 1. P. S1–S264.
- [3] Malik M., Camm A. Heart rate variability // *Clinical Cardiology*. 2020. Vol. 43, No. 9. P. 1020–1029.
- [4] Acharya U.R. et al. Automated diagnosis of diabetes using ECG signals: A review // *Comput. Methods Programs Biomed.* 2021. Vol. 205. P. 106060.
- [5] Sörnmo L., Laguna P. *Bioelectrical Signal Processing in Cardiac and Neurological Applications*. – Amsterdam: Elsevier, 2005.
- [6] Clifford G.D., Azuaje F., McSharry P.E. *Advanced Methods and Tools for ECG Data Analysis*. – Norwood: Artech House, 2006.
- [7] Goldberger A.L. et al. Physiobank, Physi toolkit, and Physionet // *Circulation*. 2000. Vol. 101, No. 23. P. e215–e220.
- [8] Ziegler D. et al. Diabetic Cardiovascular Autonomic Neuropathy // *Diabetes Care*. 2011. Vol. 34, Suppl. 2. P. S62–S68.
- [9] Pan J., Tompkins W.J. A real-time QRS detection algorithm // *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 1985. Vol. BME-32, No. 3. P. 230–236.
- [10] Ghosh S. et al. Deep Learning Models for Detection of Diabetes Using ECG Signals // *IEEE Access*. 2021. Vol. 9. P. 100679–100690.
- [11] Nasiri S., Hashemzadeh S. ECG-based diagnosis of diabetes using machine learning // *Biomed. Signal Process. Control*. 2022. Vol. 68. P. 102726.
- [12] Attia Z.I. et al. Screening for Diabetes Using Electrocardiograms and Artificial Intelligence // *Mayo Clinic Proc.* 2021. Vol. 96, No. 9. P. 2396–2410.
- [13] ECG-DiaNet. Predictive Neural Model for Diabetes Risk from ECG // *Bioengineering Journal*. 2022. Vol. 5, No. 3. P. 77–85.
- [14] BEATINFO: Wearable AI-ECG System for Diabetic Risk Detection // *J. Medical Devices*. 2020. Vol. 44, No. 2. P. 110–118.
- [15] Texas Instruments. ADS1298 Datasheet. – 2020. URL: <https://www.ti.com> (дата обращения: 08.06.2025).
- [16] Espressif Systems. ESP32-WROOM-32 Technical Reference Manual. – 2022. URL: <https://www.espressif.com> (дата обращения: 08.06.2025).
- [17] Murata Manufacturing Co. GRM Series MLCC Capacitors. – Technical Catalog, 2021.

# Приложение А – Принципиальная схема устройства



## Приложение В – Печатная плата



### Приложение С – Таблица компонентов (BOM – Bill of Materials)

№	Наименование	Обозначение	Характеристики	Количество
1	АЦП	ADS1298	8-канальный, 24-бит, SPI	1
2	Микроконтроллер	ESP32- WROOM-32	Wi-Fi, Bluetooth, 2 ядра, 240 МГц	1
3	Резисторы	R1–R10	22 кОм, ±1%, 0805	10
4	Конденсаторы	C1–C10	4.7 нФ, 50 В, NPO, 0805	10
5	Стабилизатор напряжения	AMS1117- 3.3	Линейный, 3.3 В, SOT-223	1
6	Зарядный модуль	TP4056	Зарядка Li-Ion, micro-USB	1

## Приложение Е – Код программного обеспечения

Ниже представлены ключевые фрагменты кода, реализующие сбор и обработку ЭКГ сигнала с использованием микросхемы ADS1298 и микроконтроллера ESP32-WROOM.

### Настройка SPI и получение данных с ADS1298:

```
#include <SPI.h>

#define CS_PIN 5

void setup() {
  SPI.begin();
  pinMode(CS_PIN, OUTPUT);
  digitalWrite(CS_PIN, HIGH);
  Serial.begin(115200);
}

uint32_t readData() {
  digitalWrite(CS_PIN, LOW);
  SPI.transfer(0x12); // команда чтения данных
  uint32_t data = SPI.transfer(0x00);
  digitalWrite(CS_PIN, HIGH);
  return data;
}
```

### Инициализация Wi-Fi соединения на ESP32:

```
#include <WiFi.h>

const char* ssid = "YourSSID";
const char* password = "YourPassword";

void setupWiFi() {
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(1000);
    Serial.println("Подключение к WiFi...");
  }
  Serial.println("WiFi подключен");
}
```

**РЕЦЕНЗИЯ**

дипломного проекта (работы)

студента специальности 6В07114 – «Биомедицинская инженерия»

**Адилбеков Алтай Болатбекулы**

**На тему: «Разработка аппаратной части неинвазивного устройства для  
определения уровня глюкозы в крови на основе анализа ЭКГ»**

Разработан:

- а) графический раздел \_ листов
- б) пояснительная записка на \_ странице

**ЗАМЕЧАНИЕ**

Бакалаврский дипломный проект посвящён разработке аппаратной части неинвазивного устройства, предназначенного для оценки уровня глюкозы в крови на основе анализа электрокардиограммы (ЭКГ).

Целью работы является создание прототипа системы, способной проводить первичный съём ЭКГ-сигнала, обработку и передачу данных для последующего анализа и прогноза уровня глюкозы. В рамках проекта рассмотрены современные подходы к неинвазивному мониторингу, обоснован выбор методологии и элементной базы, выполнены схмотехнические решения, макетирование и тестирование ключевых модулей устройства.

В первой части проекта представлены теоретические основы анализа ЭКГ в контексте гликемических изменений, а также обзор существующих методов и средств мониторинга.

Во второй части подробно описана архитектура аппаратной части: применённый модуль съёма ЭКГ-сигнала, микроконтроллер (например, STM32 или ESP32), схема фильтрации и предусиления сигнала. Рассмотрены особенности подключения и взаимодействия компонентов.

В третьем разделе произведены расчёты надёжности системы, анализ помехоустойчивости и оценка потребляемой мощности. Представлена экономическая оценка выбранных решений и технико-экономическое обоснование проекта.

В четвёртой части представлена сборка прототипа устройства, а также результаты экспериментального тестирования и анализа точности снятых данных.

НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени К.И. САТПАЕВА»  
Дипломный проект выполнен в соответствии с требованиями к оформлению,  
содержанию и структуре выпускной квалификационной работы, и отражает  
высокий уровень технической подготовки студента.

#### Оценка работы

Считаю, что дипломный проект студента на тему «Разработка аппаратной части неинвазивного устройства для определения уровня глюкозы в крови на основе анализа ЭКГ» был выполнен на высоком уровне и полностью соответствует поставленным задачам. Работа демонстрирует актуальность темы, глубину проработки материала и практическую значимость полученных результатов. Студент заслуживает присуждения академической степени бакалавра.

#### Рецензент

Заведующая кафедры «Общенаучные дисциплины» Академии  
гражданской авиации, к. т. н, доцент



Сейдилдаева А.К.  
2025 г

## ОТЗЫВ

дипломного проекта (работы)

студента специальности 6В07114 – «Биомедицинская инженерия»

**Адилбеков Алтай Болатбекулы**

**На тему: «Разработка аппаратной части неинвазивного устройства для  
определения уровня глюкозы в крови на основе анализа ЭКГ»**

Бакалаврский дипломный проект посвящён разработке аппаратной части неинвазивного устройства, предназначенного для оценки уровня глюкозы в крови на основе анализа электрокардиограммы (ЭКГ).

Целью работы является создание прототипа системы, способной проводить первичный съём ЭКГ-сигнала, обработку и передачу данных для последующего анализа и прогноза уровня глюкозы. В рамках проекта рассмотрены современные подходы к неинвазивному мониторингу, обоснован выбор методологии и элементной базы, выполнены схмотехнические решения, макетирование и тестирование ключевых модулей устройства.

В первой части проекта представлены теоретические основы анализа ЭКГ в контексте гликемических изменений, а также обзор существующих методов и средств мониторинга.

Во второй части подробно описана архитектура аппаратной части: применённый модуль съёма ЭКГ-сигнала, микроконтроллер (например, STM32 или ESP32), схема фильтрации и предусиления сигнала. Рассмотрены особенности подключения и взаимодействия компонентов.

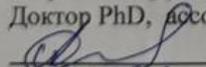
В третьем разделе произведены расчёты надёжности системы, анализ помехоустойчивости и оценка потребляемой мощности. Представлена экономическая оценка выбранных решений и технико-экономическое обоснование проекта.

В четвёртой части представлена сборка прототипа устройства, а также результаты экспериментального тестирования и анализа точности снятых данных.

Дипломный проект выполнен в соответствии с требованиями к оформлению, содержанию и структуре выпускной квалификационной работы, и отражает высокий уровень технической подготовки студента.

### **Научный руководитель**

Доктор PhD, ассоциированный профессор

 Алимбаев Ч. А.

«05» 06 2025 г.



## Отчет подобия

### Метаданные

Название организации

**Satbayev University**

Название

**Разработка аппаратной части неинвазивного устройства для определения уровня глюкозы в крови на основе анализа ЭКГ**

Автор

**Адилбеков Алтай Болатбекулы** Научный руководитель / Эксперт

Подразделение

**ИАИИТ**

### Объем найденных подоби

КП-ия определяют, какой процент текста по отношению к общему объему текста был найден в различных источниках. Обратите внимание! Высокие значения коэффициентов не означают плагиат. Отчет должен быть проанализирован экспертом.



3.63%

3.63%

КП1

**25**

Длина фразы для коэффициента подоби 2



2.10%

2.10%

КП2

**9953**

Количество слов



1.92%

1.92%

КЦ

**77766**

Количество символов

### Тревога

В этом разделе вы найдете информацию, касающуюся текстовых искажений. Эти искажения в тексте могут говорить о ВОЗМОЖНЫХ манипуляциях в тексте. Искажения в тексте могут носить преднамеренный характер, но чаще, характер технических ошибок при конвертации документа и его сохранении, поэтому мы рекомендуем вам подходить к анализу этого модуля со всей долей ответственности. В случае возникновения вопросов, просим обращаться в нашу службу поддержки.

Замена букв		3
Интервалы		0
Микропробелы		9
Белые знаки		0
Парафразы (SmartMarks)		17

### Подобия по списку источников

Ниже представлен список источников. В этом списке представлены источники из различных баз данных. Цвет текста означает в каком источнике он был найден. Эти источники и значения Коэффициента Подоби не отражают прямого плагиата. Необходимо открыть каждый источник и проанализировать содержание и правильность оформления источника.

#### 10 самых длинных фраз

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ И АДРЕС ИСТОЧНИКА URL (НАЗВАНИЕ БАЗЫ)	Цвет текста
		КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	<a href="https://itsound.info/capacitor-labeling/">https://itsound.info/capacitor-labeling/</a>	136 1.37 %
2	<a href="https://cari.ru/raznoe-2/nyu-fizika-fizicheskaya-velichina-y-fizike-nyu-cto-oznachaet-i-kakaya-ee-formula-nabozhdeniya.html">https://cari.ru/raznoe-2/nyu-fizika-fizicheskaya-velichina-y-fizike-nyu-cto-oznachaet-i-kakaya-ee-formula-nabozhdeniya.html</a>	40 0.40 %
3	<a href="https://chistotnik.ru/kondensator-100nf-keramicheskiy-diskovyy.html">https://chistotnik.ru/kondensator-100nf-keramicheskiy-diskovyy.html</a>	33 0.33 %

4	Нурдана антиплагиат 300523.docx 5/30/2023 International IT University (Радиотехника, электроника и телекоммуникации)	16 0.16 %
5	PROFIL CLINIC ŞI METABOLIC AL PACIENŢILOR CU DIABET ZAHARAT ŞI BOALĂ CARDIOVASCULARĂ 6/20/2024 UMF Carol Davila - Biblioteca (UMF Carol Davila - Biblioteca UMFCO)	15 0.15 %
6	Нурдана антиплагиат 300523.docx 5/30/2023 International IT University (Радиотехника, электроника и телекоммуникации)	15 0.15 %
7	PROFIL CLINIC ŞI METABOLIC AL PACIENŢILOR CU DIABET ZAHARAT ŞI BOALĂ CARDIOVASCULARĂ 6/20/2024 UMF Carol Davila - Biblioteca (UMF Carol Davila - Biblioteca UMFCO)	15 0.15 %
8	PROFIL CLINIC ŞI METABOLIC AL PACIENŢILOR CU DIABET ZAHARAT ŞI BOALĂ CARDIOVASCULARĂ 6/20/2024 UMF Carol Davila - Biblioteca (UMF Carol Davila - Biblioteca UMFCO)	15 0.15 %
9	Чмарин Жумабаев (1).docx 1/4/2023 Atyrau State University named after Khaled Dosmukhamedov (Программная инженерия)	13 0.13 %
10	<a href="https://www.chipdip.ru/product/22969">https://www.chipdip.ru/product/22969</a>	10 0.10 %

из базы данных RefBooks (0.00 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из домашней базы данных (0.16 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	Разработка технологии картографирования уровня сигнала Wi-Fi в помещении на основе модулей точного позиционирования 5/22/2025 Satbayev University (ИАИИТ)	16 (2) 0.16 %

из программы обмена базами данных (0.89 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	PROFIL CLINIC ŞI METABOLIC AL PACIENŢILOR CU DIABET ZAHARAT ŞI BOALĂ CARDIOVASCULARĂ 6/20/2024 UMF Carol Davila - Biblioteca (UMF Carol Davila - Biblioteca UMFCO)	45 (3) 0.45 %
2	Нурдана антиплагиат 300523.docx 5/30/2023 International IT University (Радиотехника, электроника и телекоммуникации)	31 (2) 0.31 %
3	Чмарин Жумабаев (1).docx 1/4/2023 Atyrau State University named after Khaled Dosmukhamedov (Программная инженерия)	13 (1) 0.13 %

из интернета (2.57 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ИСТОЧНИК URL	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	<a href="https://ldsound.info/capacitor-labeling/">https://ldsound.info/capacitor-labeling/</a>	136 (1) 1.37 %
2	<a href="https://cari.ru/raznoe-2/nyu-fizika-fizicheskaya-velichina-v-fizike-nyu-chno-oznachaet-i-kakaya-ee-formula-nahozhdeniya.html">https://cari.ru/raznoe-2/nyu-fizika-fizicheskaya-velichina-v-fizike-nyu-chno-oznachaet-i-kakaya-ee-formula-nahozhdeniya.html</a>	40 (1) 0.40 %
3	<a href="https://chistotnik.ru/kondensator-100nf-keramicheskij-diskovyy.html">https://chistotnik.ru/kondensator-100nf-keramicheskij-diskovyy.html</a>	33 (1) 0.33 %
4	<a href="https://www.chipdip.ru/product/22868">https://www.chipdip.ru/product/22868</a>	26 (3) 0.26 %
5	<a href="https://www.dissertat.com/content/getmintozy-plotoyadnykh-krasnodarskogo-kraya-i-mery-borby-s-nimi">https://www.dissertat.com/content/getmintozy-plotoyadnykh-krasnodarskogo-kraya-i-mery-borby-s-nimi</a>	12 (2) 0.12 %
6	<a href="https://www.ruangteknisi.com/cara-menghitung-kapasitor/">https://www.ruangteknisi.com/cara-menghitung-kapasitor/</a>	9 (1) 0.09 %

### Список принятых фрагментов (нет принятых фрагментов)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	СОДЕРЖАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	------------	---

