РАЗРАБОТКА СТАЦИОНАРНОГО ДВЕНАДЦАТИКАНАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФА

Пиньковская Д.И.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Ревинская И.И. – ассистент кафедры ЭТТ

Аннотация. Рассматривается разработка двенадцатиканального электрокардиографа для диагностики сердечно-сосудистых заболеваний. Рассмотрены методы обработки ЭКГ-сигналов, включая алгоритмы фильтрации помех и усиления полезных сигналов. Обоснован выбор ключевых компонентов при разработке электрической схемы устройства.

Ключевые слова: электрокардиография, двенадцатиканальный электрокардиограф, сердечно-сосудистые заболевания, ЭКГ.

Введение. Электрическая активность сердца представляет собой серию электрических импульсов, генерируемых синусовым узлом, которые регулируют ритм и координируют сокращение миокарда. Синусовый узел генерирует первичный электрический импульс, который распространяется по предсердиям, вызывая их сокращение и передавая сигнал к атриовентрикулярному узлу. В этом узле происходит небольшая задержка, чтобы предотвратить слишком быстрое распространение сигнала на желудочки. Затем сигнал проходит по специализированным проводникам, называемыми пучком Гиса, и его ветвям до волокон Пуркинье в желудочках [1]. В желудочках сигнал вызывает их сокращение, что позволяет перекачивать кровь в артерии. После этого возникает небольшая пауза, позволяющая сердечным камерам заполниться кровью перед следующим циклом. Один цикл длится около 0,7 - 1 секунды в покое, при беге или нагрузке длительность цикла может сокращаться до 0,4 секунды (при ЧСС 150 уд/мин). Изменения в этом процессе могут быть следствием различных патологий, таких как аритмии, ишемическая болезнь сердца, гипертрофия миокарда и другие сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ).

Смертность от ССЗ в Беларуси, согласно статистике за 2016-2019 годы, варьируется от 694 до 754 случаев на сто тысяч человек населения [2]. В общей структуре смертности на долю этих заболеваний в стране приходится 53,8%. Это обуславливает потребность развития и внедрения современных методов диагностики, в том числе электрокардиографии, для своевременного выявления и мониторинга сердечных заболеваний.

Основная часть. Для эффективной регистрации ЭКГ и анализа электрической активности сердца в многоканальном режиме необходимо использование нескольких отведений. В конструкции разрабатываемого электрокардиографа применяются шесть конечностных отведений (I, II, III, aVR, aVL, aVF) и шесть грудных отведений (V1–V6), позволяющие анализировать электрическую активность сердца как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости, что способствует более точной локализации патологических изменений.

Каждое отведение ЭКГ имеет свой вектор, который определяется разностью напряжений между электродами. В биполярных отведениях разность напряжений между электродами LA и RA составляет отведение I, между LL и RA – отведение II, между LL и LA – отведение III. Усиленные униполярные отведения рассчитываются с учётом напряжений с нескольких конечностных электродов: aVL – в сторону LA (-30 градусов), aVF – к LL (+90 градусов), aVR – к RA (-150 градусов). Центральная терминаль Вильсона (WCT) является ненаправленным «нулевым отведением» и рассчитывается как среднее от трёх отведений от конечностей [3].

Анализ электрокардиограммы включает множество составляющих, таких как интервалы R-R, PR, QT, сегмент ST и комплекс QRS. Интервал R-R – это время между двумя последовательными пиками R на ЭКГ, отражающее частоту сердечных сокращений (ЧСС). Изменения в длительности и регулярности интервалов R-R помогают выявлять различные аритмии, включая тахикардию и брадикардию. Сегмент ST отражает время между окончанием деполяризации и началом реполяризации желудочков. Подъем или депрессия сегмента ST могут свидетельствовать об инфаркте миокарда. Комплекс QRS отображает деполяризацию желудочков и состоит из зубцов Q, R и S. Анализ его формы и продолжительности помогает диагностировать различные нарушения проводимости и структурные изменения сердца. Интервал QT представляет собой время от начала деполяризации до окончания реполяризации желудочков. Удлинение этого интервала может указывать на повышенный риск опасных аритмий, таких как желудочковая тахикардия [4].

Для повышения точности диагностики кардиографы используют методы цифровой обработки сигналов, включая фильтрацию помех и усиление полезных компонентов. В процессе записи ЭКГ фиксируются не только электрическая активность сердца, но и дыхательные и мышечные движения, а также внешние помехи. Для улучшения качества записи ЭКГ применяются различные фильтры: низкочастотный (0,5-1,0 Гц) устраняет дрейф изолинии, сетевой (50 Гц) убирает наводки от электросети, «мышечный» фильтр (35 Гц) снижает помехи от мышечных движений. Быстрое преобразование Фурье используется для изучения частотных характеристик электросигналов, генерируемых сердцем, что позволяет выявлять различные аномалии в сердечном ритме и особенности отдельных компонентных составляющих. Для повышения точности сигнала также применяется вейвлет-преобразование, которое разлагает ЭКГ-сигнал на последовательность коэффициентов, учитывающих длительность, положение во времени и частотную полосу [5]. Преимущество этого преобразования заключается в способности отмечать детали ЭКГ-сигнала с оптимальным частотно-временным разрешением. Алгоритмы машинного обучения помогают выявлять зависимости в данных и могут использоваться для анализа форм кардиоциклов, например, нейросетевой алгоритм бинарной классификации QRS-комплексов ЭКГ, основанный на векторном представлении сигнала и использующий данные с нескольких отведений для повышения устойчивости к шумам [6].

Для обработки данных в электрокардиографе выбрана аналоговая микросхема ADS1298, которая поддерживает восемь каналов ввода [7], что позволяет осуществлять многоканальную запись ЭКГ. Встроенные фильтры и усилители минимизируют помехи и обеспечивают точную работу даже при слабых сигналах. Усиление настраивается программно. АЦП в устройстве обеспечивает скорость передачи данных от 250 до 32 кбит/с. Поддерживается два режима работы High Rate и Low Power, в зависимости от которых меняется частота дискретизации. Связь с микроконтроллером осуществляется с помощью SPI-совместимого интерфейса. Для тактирования используется внутренний кварцевый резонатор.

Важными элементами в данной микросхеме являются встроенный детектор плохого контакта, который отслеживает плохое качество контакта с кожей пациента, и драйвер нейтрального электрода, подавляющий синфазные помехи. Поскольку амплитуда потенциалов, непосредственно записываемых с поверхности тела, может быть меньше 1 мВ, во всех существующих электрокардиографах установлены усилители. Сигнал поступает на вход усилителя через высокочастотные емкостные фильтры с нижней полосой пропускания около 0,1 Гц, что соответствует постоянной времени 2 с. Благодаря этому на кривой ЭКГ не отражаются помехи в виде постоянных составляющих и медленных изменений потенциалов в области металлических электродов. Кроме переменного кардиосигнала на входе также присутствует постоянная составляющая – разность электродных потенциалов амплитудой около 300 мВ. ЭКГ сигнал относится к квазипериодическим сигналам с периодом следования кардиокомплексов (определяемых по R-R интервалам) 0,2 – 3 с; диапазон амплитуд сигнала 0,03 – 5 мВ; частотный диапазон

сигнала 0,05 – 300 Гц. Наиболее информативная часть ЭКГ сигнала занимает полосу частот 0,1 – 120 Гц.

Для обработки и передачи был выбран микроконтроллер STM32F407VG, который обладает встроенной высокоскоростной памятью (флэш-память до 1 Мбайт, до 192 Кбайт SRAM), а также широким спектром расширенных входов/выходов и периферийных устройств [8]. Кроме того, данный микроконтроллер обладает встроенным интерфейсом Parallel RGB, необходимым для подключения дисплея. Для беспроводной передачи данных и связи с внешними устройствами используется интерфейс Bluetooth 5.0, встроенный в микросхему IS1870BLE. Модуль на основе данной микросхемы подключается к выбранному микроконтроллеру с помощью встроенного интерфейса асинхронной передачи данных UART.

Электропитание устройства организовано с помощью AC-DC преобразователя, который осуществит трансформацию переменного сетевого напряжения в +5В постоянного напряжения, которое необходимо для питания большинства аналоговых компонентов устройства. Для питания логических элементов (ТТЛ-схем), микросхем, дисплея и других маломощных элементов используется понижающий преобразователь DC-DC, который преобразует +5В в +3.3В. С шины +5В также осуществляется заряд аккумулятора, который с помощью ключа и повышающего преобразователя DC-DC будет работать в момент отключения сетевого питания.

Заключение. Рассмотрены основы электрической активности сердца, описаны принципы многоканальной регистрации ЭКГ и анализа электрической активности сердца. Рассмотрены методы цифровой обработки электрокардиографических сигналов, включая фильтрацию помех и усиление сигналов, направленные на повышение точности и эффективности диагностики. Важным этапом разработки является оценка характеристик и преимуществ ключевых компонентов устройства, в связи с чем были рассмотрены микроконтроллер STM32F407VG и аналоговая микросхема ADS1298.

Список литературы

1. Кузнецов, А. А. *Биофизика сердца: учеб. пособие. В 2 кн. Кн. 1. Независимые методы исследования сердца / А. А. Кузнецов; Владим. Гос. Ун-т имени А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2013. – с. 27.*
2. *Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Статистический ежегодник 2020. – Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2020. – с. 54.*
3. Суворов, А. В. *Клиническая электрокардиография. – Нижний Новгород: Изд-во НМИ, 1993. – с. 14.*
4. Арсентьева, Р. Х. Синдром удлиненного интервала QT // *Вестник современной клинической медицины. 2012. № 3. – с. 70.*
5. Лагирвандзе, А. К., Калиниченко, А. Н., Моргунова, Т. В. Алгоритм анализа форм кардиоциклов ЭКГ с использованием технологий машинного обучения // *Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2019. № 4. – с. 10.*
6. Чесноков, Ю. В., Чижиков, В. И. Вейвлет-преобразование в обработке электрокардиограмм [Электронный ресурс] // *Вестник новых медицинских технологий. – 2003. – Т. 10. – № 1–2.*
7. *Техническая документация на микросхему ADS1298 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ti.com/product/ADS1298>.*
8. *Техническая документация на микросхему STM32F407VG [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f407vg.html>.*

UDC 621.38:61

DEVELOPMENT OF A STATIONARY TWELVE-CHANNEL ELECTROCARDIOGRAPH

Pinkovskaya D.I.

Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Revinskaya I.I. – assistant of the Department of ETT

Annotation. The article discusses the development of a twelve-channel electrocardiograph for diagnosing cardiovascular diseases. Methods for processing ECG signals are considered, including algorithms for filtering interference and amplifying useful signals. The choice of key components, such as the STM32F407VG microcontroller and ADS1298 ADC, is substantiated.

Keywords: electrocardiography, twelve-channel electrocardiograph, cardiovascular diseases, ECG.