

РАЗРАБОТКА ПОРТАТИВНОГО ПОЛИКАРДИОГРАФА С ЦЕЛЬЮ ИССЛЕДОВАНИЯ СИНХРОННЫХ СИГНАЛОВ ЭКГ, ФКГ И ФПГ

Д.А.Вершинин¹, П.А.Серко¹

¹Самарский университет, г. Самара
e-mail: demid.vershinin2018@yandex.ru

Аннотация

В статье приводится описание разработки устройства регистрации электрокардиограммы, фотоплетизмограммы и фонокардиограммы, состоящего из цифрового фронтенд модуля ADS1293, цифрового модуля MAX30102, микрофонного усилителя MAX4466 и микроконтроллера STM32F411CE. Приведена структурная схема, основные характеристики разработанного устройства и результаты проведенных испытаний.

Ключевые слова: электрокардиография, фотоплетизмограмма, фонокардиограмма.

Введение

Анализ синхронных сигналов электрокардиограммы (ЭКГ), фотоплетизмограммы (ФПГ) и фонокардиограммы (ФКГ) представляет собой комплексный метод кардиодиагностики, направленный на изучение временных и амплитудных взаимосвязей между электрической, механической и сосудистой активностью сердца. В отличие от изолированной регистрации каждого из биосигналов, синхронный подход позволяет установить точные временные интервалы между фазами сердечного цикла. Такой анализ открывает возможности для неинвазивной оценки сократимости миокарда, эластичности сосудистой стенки и вегетативной регуляции кровообращения [1].

Основная часть

Основными требованиями к разрабатываемому оборудованию являются: высокая степень интеграции компонентов, компактные размеры, низкое энергопотребление и минимальный уровень шумов [2]. Структурная схема разработанного устройства приведена на рисунке 1.

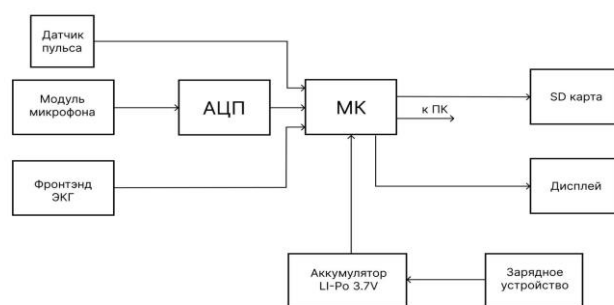


Рисунок 1 – Структурная схема разработанного устройства

В качестве центрального процессора выбран STM32F411CEU6 на базе ядра Cortex-M4 с максимальной тактовой частотой 100 МГц, обеспечивающий синхронный опрос датчиков по интерфейсам I²C, SPI и встроенному АЦП.

При построении канала регистрации ЭКГ был сделан выбор в пользу модуля ADS1293 - прецизионный 24-битный интерфейс для ЭКГ с тремя независимыми каналами, встроенным драйвером правой ноги ($CMRR \geq 110$ дБ) и программируемой полосой пропускания. Конфигурация регистров по интерфейсу SPI обеспечивает регистрацию отведений I и II с частотой дискретизации 860 Гц. Метрологические характеристики данного модуля представлены в таблице 1. В качестве регистратора фотоплетизмограммы был выбран интегральный датчик MAX30102 с 18-битным АЦП и интерфейсом I²C, светодиодами красного и ИК-диапазона. Настроен на частоту 100 Гц, максимальную яркость и длительность импульса 411 мкс для оптимального SNR. Метрологические характеристики данного модуля представлены в таблице 2. Для регистрации ФКГ был выбран электретный микрофон с регулируемым усилением MAX4466, подключён к 12-битному АЦП STM32 с коэффициентом усиления 40 дБ. Частота дискретизации ФКГ - 2000 Гц, полоса пропускания 20–1000 Гц. Метрологические характеристики данного модуля представлены в таблице 3.

Для хранения сигналов используется SD-карта со слотом, подключенным к микроконтроллеру по интерфейсу SDIO объемом 4 ГБ, что позволит записывать и хранить сигналы в течении 1 недели. Для передачи данных на ПК используется модуль преобразователь USB-UART на базе CP2102 с разъемом USB Type-C. Для отображения информации о работе устройства установлен OLED дисплей на контроллере ssd1306 и 3 тактовых кнопки для старта, стопа и перезагрузки устройства. Питание осуществляется от аккумулятора L7ADFJ ёмкостью 3000 мАч с выходным напряжением 3.7 вольт. Для зарядки аккумулятора используется модуль TP4056 с разъемом USB Type-C.

Таблица 1 – Метрологические характеристики ADS1293 [3]

Параметр	Значение	Минимальные требования
Частота дискретизации	1829 Гц	≥ 1000 (диагностика)
Полоса пропускания	0,05–810 Гц	0,05–150 Гц
Шум RTI	8 мкВ/пик-пик	< 30 мкВ
CMRR	≥ 110 дБ	≥ 80 дБ
Синхронизация каналов	< 1 мкс	< 1 мс

Таблица 2 – Метрологические характеристики МАХ30102 [4]

Параметр	Значение	Минимальные требования
Частота дискретизации	100 Гц	≥ 60 Гц
Разрядность АЦП	16 бит	-
Погрешность SpO ₂	$\pm 2,5$ %	≤ 4 %
Погрешность ЧСС	$\pm 1 - 3$ уд/мин	± 5 уд/мин

Таблица 3 – Метрологические характеристики МАХ4466 [5]

Параметр	Значение	Минимальные требования
Частота дискретизации	2000 Гц	≥ 2000 Гц
Полоса пропускания	20-1000 Гц	20-1000 Гц
Коэффициент усиления	40 дБ	-
Динамический диапазон	66 дБ	≥ 60 дБ
Синхронизация с ЭКГ	< 5 мкс	-

Разработанное устройство полностью удовлетворяет прикладываемым техническим требованиям и представлено на рисунке 2.

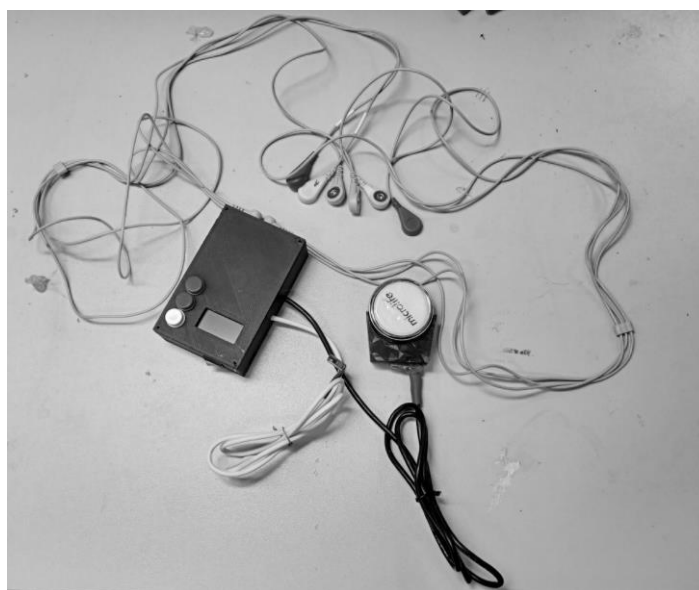


Рисунок 2 – Разработанной устройством

Заключение

В результате работы разработан портативный поликардиограф, обеспечивающий синхронную регистрацию сигналов ЭКГ, ФКГ и ФПГ с высокими метрологическими характеристиками. Экспериментальные испытания подтвердили стабильность работы устройства и пригодность зарегистрированных сигналов для дальнейшего анализа с использованием методов машинного обучения.

Список использованных источников

1. A signal processing framework for multimodal cardiac analysis / N. F. Hikmah [et al.] // International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA). – IEEE, 2015. – P. 125–130.
2. Karimpour, P. Photoplethysmography for the Assessment of Arterial Stiffness / P. Karimpour, 3. J. M. May, P. A. Kyriacou // Sensors (Basel). – 2023. – V. 23, № 24.
- Texas Instruments. ADS1293 Low-Power, 3-Channel, 24-Bit Analog Front-End for Biopotential Measurements: datasheet (rev. D). – 2014. – URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/download/ads1293> (дата обращения: 05.03.2026).
4. Maxim Integrated. MAX30102 High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health: datasheet. – URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/download/max30102> (дата обращения: 05.03.2026).
5. Maxim Integrated. MAX4466 Low-Cost, Micropower, SC70/SOT23-8, Microphone Preamplifier with Complete Shutdown: datasheet. – URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/download/max4466> (дата обращения: 05.03.2026).

DEVELOPMENT OF A PORTABLE POLYCARDIOGRAPH FOR THE STUDY OF SYNCHRONOUS ECG, FCG, AND FPG SIGNALS

D.A. Vershinin¹, P.A. Serko¹

¹*Samara University, Samara
e-mail: demid.vershinin2018@yandex.ru*

Abstract

The article describes the development of a device for recording electrocardiogram, photoplethysmogram and phonocardiogram, consisting of a digital front-end module ADS1293, a digital module MAX30102, a microphone amplifier MAX9418 and a microcontroller STM32F411CE. The block diagram, the main characteristics of the developed device and the results of the tests conducted using the trained machine learning model are given.

Keywords: electrocardiography, photoplethysmography, phonocardiography.