

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
(Самарский университет)

Институт информатики и кибернетики

Кафедра лазерных и биотехнических систем

Пояснительная записка к курсовому проекту

”Носимый монитор ЭКГ”

Выполнил студент группы 6364-120304D: _____ Репик В.И.

Руководитель проекта: _____ Корнилин Д.В.

Работа защищена с оценкой: _____

Самара 2023

ЗАДАНИЕ

Разработать монитор активности и отслеживания падений со следующими параметрами:

- Амплитуда сигнала от 0.5 мВ до 4 мВ;
- Диапазон частот 0.05 Гц до 40 Гц;
- Погрешность регистрации амплитуды и частоты 1%;
- Передача данных по интерфейсу Bluetooth;
- Предусмотреть возможность сохранения данных на встроенном носителе в течение суток;
- Питание батарейное;

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: 27 страниц, 18 рисунков, источников, 1 приложение.

НОСИМЫЙ МОНИТОР ЭКГ, МИКРОКОНТРОЛЛЕР, BLUETOOTH, STM32WB, АЛГОРИТМ, ADS1293

В курсовом проекте разработаны структурная и принципиальная схемы монитора ЭКГ, с использованием интегральной AFE микросхемы ADS1293. Был осуществлен выбор микроконтроллера со встроенным блоком Bluetooth. Разработан алгоритм анализа данных и программа на языке Си, реализующая его.

СОДЕРЖАНИЕ

1	РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА	6
2	РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА . . .	8
2.1	Разработка(надо придумать заголовок)	8
2.2	Выбор микроконтроллера	11
2.3	Выбор встроенного носителя	14
2.4	Блок питания	16
3	РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ	17
3.1	Разработка алгоритма	17
3.2	Разработка кода	17
3.2.1	Выбор программного обеспечения	17
3.2.2	Инициализация периферии	18
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	24
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	25
	ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	27

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация различных процессов на базе интеллектуальных систем невозможна в современном мире без использования устройств такого типа, как микроконтроллер. Многофункциональные, компактные микроконтроллеры применяются во многих современных приборах, бытовом оборудовании, прочих инженерно-технических объектах, а также в медицинской диагностике.

Согласно статистике сердечно-сосудистые заболеваний являются причиной смерти 17,9 млн человек в год. Именно поэтому мониторинг и диагностика состояния сердечно-сосудистой системы человека является такой важной задачей. Самым простым методом диагностики является ЭКГ.

В данном курсовом проекте рассматривается проектирование носимого монитора ЭКГ, автономной системы, позволяющий вести непрерывный мониторинг показателей сердечно-сосудистой системы человека. В процессе проектирования были выбраны микросхема ADS1293 и микроконтроллер STM32WB55RCV6 со встроенным модулем Bluetooth, а также была написана программа управления на языке Си.

1 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА

Структурная схема устройства представлена на рисунке 1.

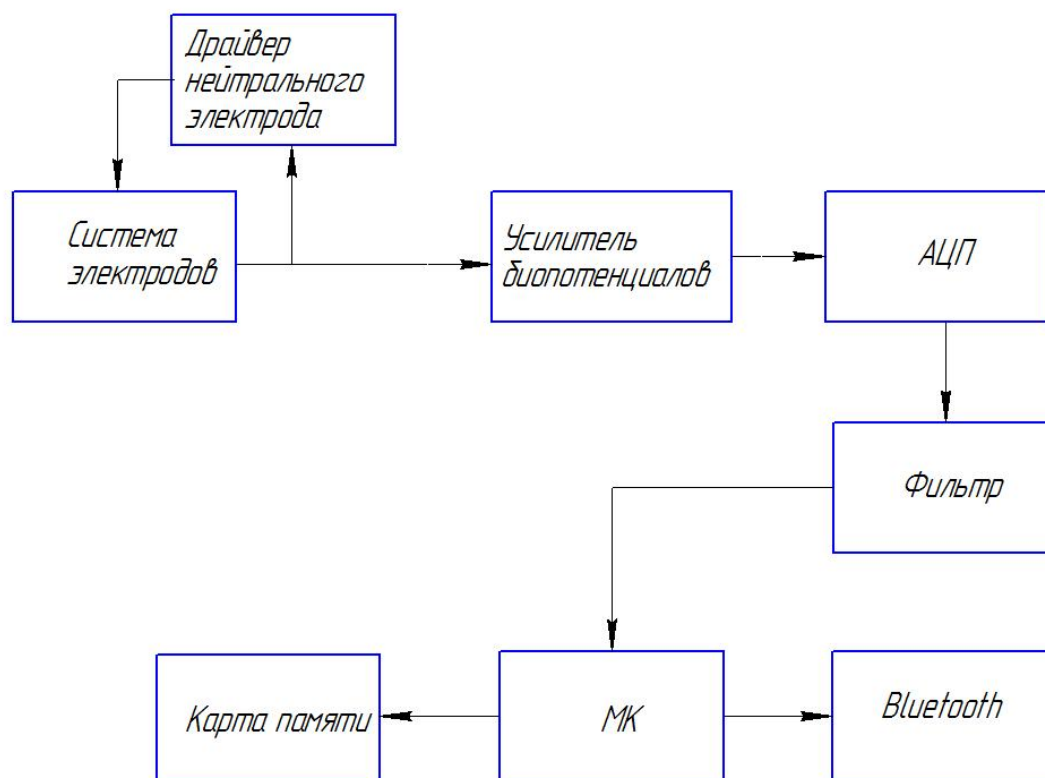


Рисунок 1 – Структурная схема устройства

Принцип работы устройства основан на регистрации разности биопотенциалов, возникающей под действием электрической активности сердца. Система электродов позволяет эту разность измерить. Сигнал будет содержать помимо полезной составляющей синфазную помеху. Для ее устранения используется драйвер нейтрального электрода. Сигнал с электродов с 1 по 3 усредняется, инвертируется в цепи обратной связи и подается на тело человека через электрод 4, тем самым подавляя синфазную составляющую. Так как разность биопотенциалов очень мала по своему значению, то для дальнейшего анализа ее необходимо усилить. Для этого следующим шагом служит усилитель биопотенциалов.

Усиленный сигнал преобразуется в цифровой посредством АЦП, про-

ходит через фильтр и поступает на микроконтроллер для обработки. Так же с микроконтроллера данные передаются по Bluetooth, передача данных осуществляется по таймеру. Предусмотрена запись данных на карту памяти.

Система электродов, драйвер нейтрального электрода, усилитель, АЦП и цифровой фильтр интегрированы в AFE микросхему ADS1293.

Данные поступают в микроконтроллер, где они проходят первичную обработку,

Так же, данные передаются по модулю Bluetooth, интегрированному в микроконтроллер. Передача данных запускается по таймеру. На устройстве есть LED-индикатор, который сигнализирует о передаче пакета данных.

Все элементы схемы питаются от литий-полимерного аккумулятора, имеющего номинальное напряжение 3.7 В, и DC-DC преобразователя, встроенного в микроконтроллер, который стабилизирует напряжение до уровня 3.3 В, необходимого всем элементам устройства.

2 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА

Электрическая принципиальная схема представлена в приложении.

2.1 Разработка(надо придумать заголовок)

Для получения кардиосигнала возможны несколько подходов - проектирование собственных схемотехнических решений на основе дискретных компонентов, или использование Analog Front End (AFE) микросхем, например, ADS1293 от Texas Instruments.

Микросхема ADS1293 предназначена для измерения биопотенциалов, в таких медицинских приборах, как портативные электрокардиографы с батарейным питанием, холтеровские мониторы и аппаратура беспроводного мониторинга пациентов. [1]

ADS1293 способна поддерживать от одного до пяти каналов, что позволяет существенно сократить габариты, энергопотребление и полную стоимость масштабируемых измерительных медицинских систем. Каждый канал ADS1293 может быть независимо запрограммирован на работу со специальными (отличными от других) частотой выборки и полосой пропускания.

На основании анализа функциональных возможностей и технических характеристик AFE ADS1293, можно сделать вывод о том, что кроме очевидных преимуществ по габаритам в сравнении с аналоговой частью холтеровских мониторов на дискретных операционных усилителях (ОУ) и аналого-цифровых преобразователях (АЦП), гибридная интегральная схема (ИС) обладает достаточно низким энергопотреблением даже в активном режиме, высоким соотношением сигнал/шум и достаточным динамическим диапазоном для решения задач холтеровского мониторинга. Как следствие высокой интеграции аналоговой части и АЦП, а так же цифровой подсистемы первичной обработки квантованного сигнала использование AFE позволило существенно упростить схемные решения монитора ЭКГ, уменьшить габариты и

продолжительность автономной работы от батареи той же емкости.

Структурная схема акселерометра из даташита ADS1293 [2] приведена на рисунке 2.

BLOCK DIAGRAM

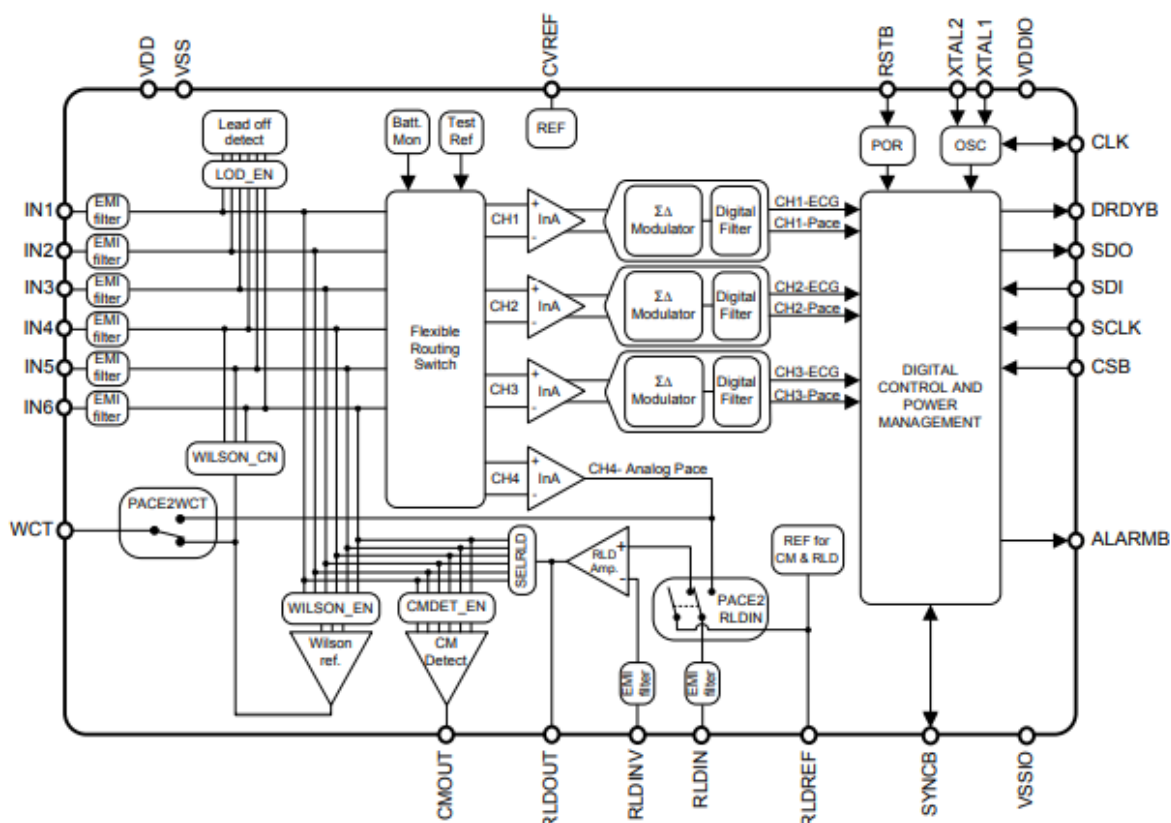


Рисунок 2 – Структурная схема ADS1293

Оцифрованный аналоговый сигнал от ADS1293 передается микроконтроллеру посредством Serial Peripheral Interface (SPI).

Так же, в даташите приведена рекомендованная схема включения для трехэлектродной схемы(рисунок 3).

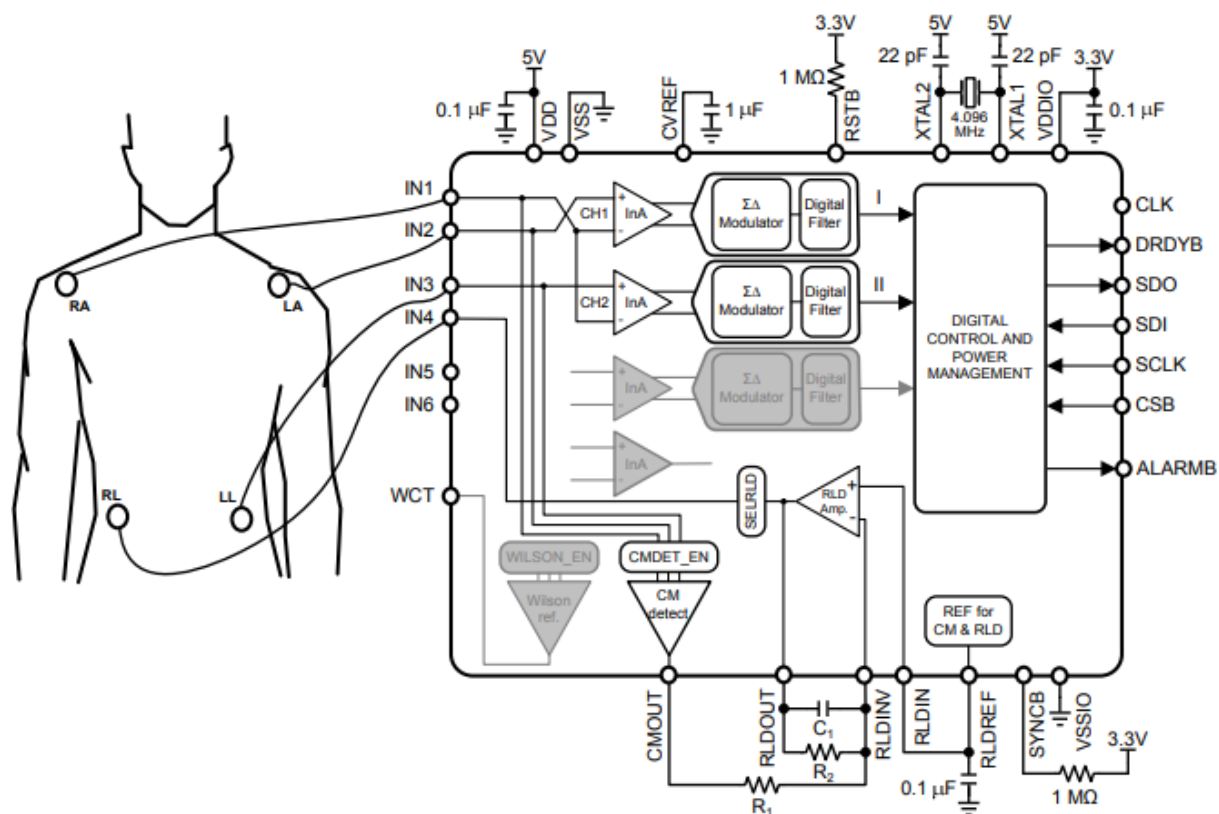


Figure 32. 3-Lead ECG Application

Рисунок 3 – Трехэлектродная схема включения

Нумерация и назначение выводов ADS1293 приведены ниже (рисунки 4, 5).

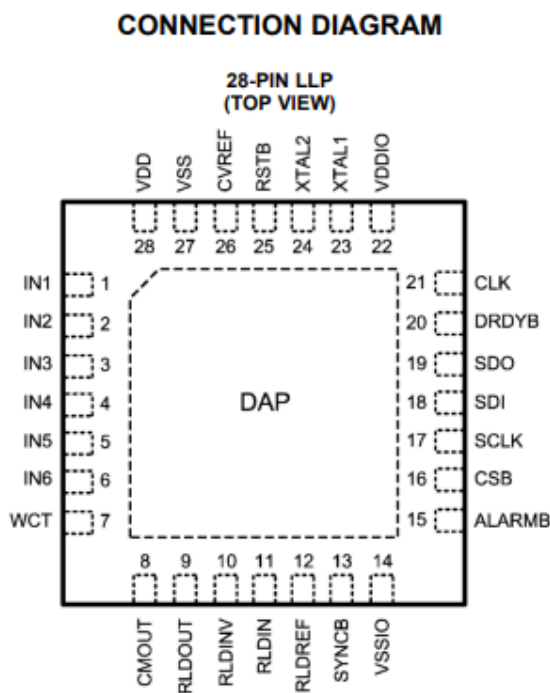


Рисунок 4 – Нумерация выводов

Table 2. Pin Descriptions

PIN		TYPE	FUNCTION
NO.	NAME		
1 - 6	IN1 - IN6	Analog Input	Electrode input signals
7	WCT	Analog Output	Wilson reference output or analog pace channel output
8	CMOUT	Output	Common-mode detector output
9	RLDOUT	Analog Output	Right leg drive amplifier output
10	RLDINV	Analog Input	Right leg drive amplifier negative input
11	RLDIN	Analog I/O	Right leg drive amplifier positive input or analog pace channel output
12	RLDREF	Analog Output	Internal right leg drive reference
13	SYNCB	Digital I/O	Sync bar; multiple-chip synchronization signal input or output
14	VSSIO	Digital Supply	Digital input/output supply ground
15	ALARMB	Digital Output	Alarm bar
16	CSB	Digital Input	Chip select bar
17	SCLK	Digital Input	Serial clock
18	SDI	Digital Input	Serial data input
19	SDO	Digital Output	Serial data output
20	DRDYB	Digital Output	Data ready bar
21	CLK	Digital I/O	Internal clock output or external clock input
22	VDDIO	Digital Supply	Digital input/output supply
23	XTAL1	Digital Input	External crystal for clock oscillator
24	XTAL2	Digital Input	External crystal for clock oscillator
25	RSTB	Digital Input	Reset bar
26	CVREF	Analog I/O	External cap for internal reference voltage
27	VSS	Analog Supply	Power supply ground
28	VDD	Analog Supply	Positive power supply
	DAP		No connect

Рисунок 5 – Назначение выводов

2.2 Выбор микроконтроллера

С учетом технического задания микроконтроллер должен обладать следующими свойствами:

- Интерфейс для работы с микросхемой ADS1293: SPI;
- Интерфейс для работы с внешней флеш-памятью: SPI или I^2C ;
- Для передачи данных по Bluetooth: встроенный стек протокола Bluetooth;
- Малое энергопотребление;
- Свободные выводы для подключения индикатора и выводов прерываний от ADS1293;

Для решения задачи был выбран микроконтроллер STM32WB55RCV6 фирмы ST Microelectronics [3]. STM32WB55 содержит два производительных ядра ARM-Cortex:

- ядро ARM® -Cortex® M4 (прикладное), работающее на частотах до 64 МГц, для пользовательских задач имеется модуль управления памятью, модуль плавающей точки, инструкции ЦОС (цифровой обработки сигналов), графический ускоритель (ART accelerator);
- ядро ARM®-Cortex® M0+ (радиоконтроллер) с тактовой частотой 32 МГц, управляющее радиотрактом и реализующее низкоуровневые функции сетевых протоколов;

Данный микроконтроллер включает в себя все необходимые периферийные устройства, такие как интерфейсы передачи данных SPI, необходимый для подключения к акселерометру, и радиоконтроллер с поддержкой Bluetooth.

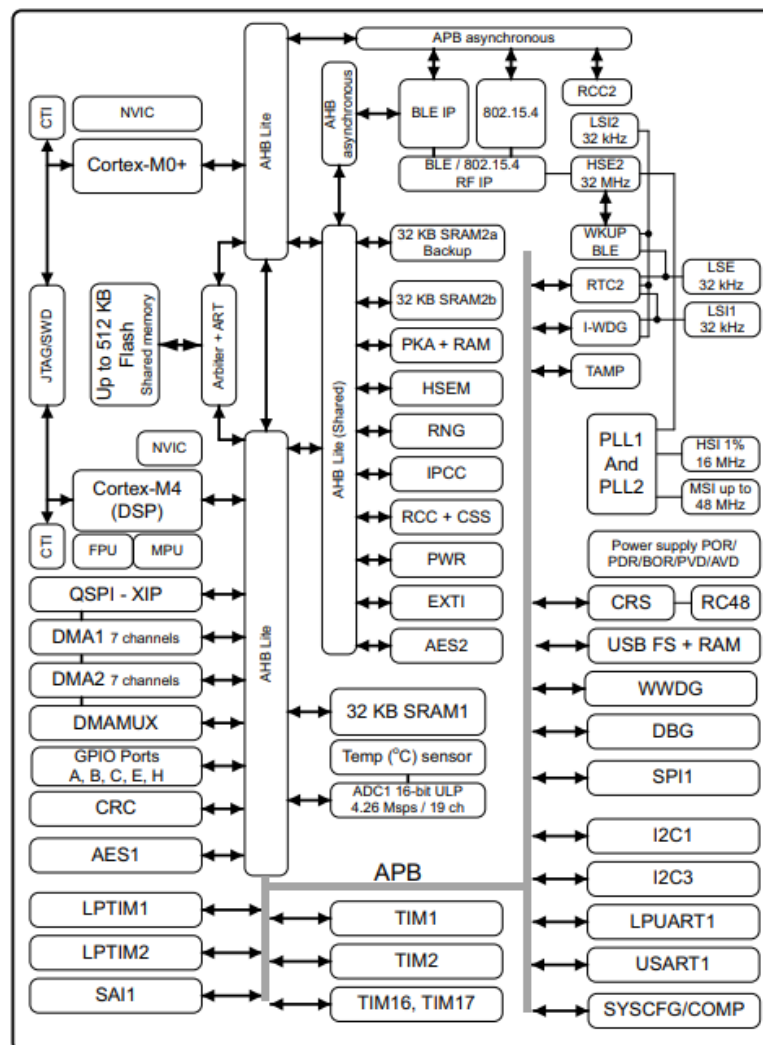
Основные характеристики:

- типовое энергопотребление 50 мкА/МГц (при напряжении питания 3 В);
- потребление в режиме останова 1,8 мкА (радиочасть в режиме ожидания (standby));
- потребление в выключенном состоянии (Shutdown) менее 50 нА;
- диапазон допустимых напряжений питания 1,7...3,6 В (встроенный DC-DC-преобразователь и LDO-стабилизатор);
- рабочий температурный диапазон -40...105°C.

Структурная схема микроконтроллера приведена на рисунке 7, а назначение выводов портов корпуса на рисунке 6.

Pin diagram of the VFQFPN68 package. The package is shown with pins numbered 1 to 34 on the left and 35 to 68 on the right. Pin 1 is VBAT, Pin 2 is PC13, Pin 3 is PC14-OSC32_IN, Pin 4 is PC15-OSC32_OUT, Pin 5 is PH3-BOOT0, Pin 6 is PB8, Pin 7 is PB9, Pin 8 is NRST, Pin 9 is PC0, Pin 10 is PC1, Pin 11 is PC2, Pin 12 is PC3, Pin 13 is VREF, Pin 14 is VDDA, Pin 15 is PA0, Pin 16 is PA1, Pin 17 is PA2, Pin 18 is PA3, Pin 19 is PA4, Pin 20 is PA5, Pin 21 is PA6, Pin 22 is PA7, Pin 23 is PA8, Pin 24 is PA9, Pin 25 is PC4, Pin 26 is PC5, Pin 27 is PB2, Pin 28 is PB10, Pin 29 is PB11, Pin 30 is VDD, Pin 31 is RF1, Pin 32 is VSSRF, Pin 33 is VDDRF, Pin 34 is OSC_OUT, Pin 35 is OSC_IN, Pin 36 is AT0, Pin 37 is AT1, Pin 38 is PB0, Pin 39 is PB1, Pin 40 is PE4, Pin 41 is VFBSMPS, Pin 42 is VSSSMPS, Pin 43 is VLXSMPS, Pin 44 is VDDSMPS, Pin 45 is VDD, Pin 46 is PB12, Pin 47 is PB13, Pin 48 is PB14, Pin 49 is PB15, Pin 50 is PC6, Pin 51 is PA10, Pin 52 is PA11, Pin 53 is PA12, Pin 54 is PA13, Pin 55 is VDDUSB, Pin 56 is PA14, Pin 57 is PA15, Pin 58 is PC10, Pin 59 is PC11, Pin 60 is PC12, Pin 61 is PD0, Pin 62 is PD1, Pin 63 is PB3, Pin 64 is PB4, Pin 65 is PB5, Pin 66 is PB6, Pin 67 is PB7, Pin 68 is VDD.

Figure 2. STM32WB35xx block diagram



13

Подключение будет осуществляться согласно типовой схеме из Application note [4](рисунок 8).

Figure 9. VFQFPN68 reference board

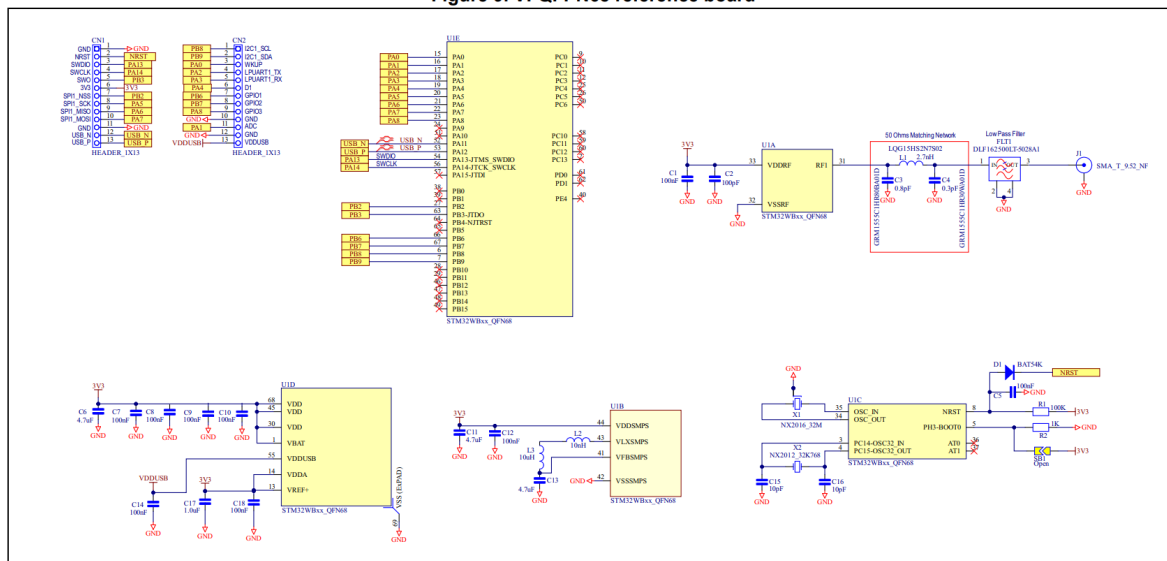


Рисунок 8 – Типовая схема подключения STM32WB55

2.3 Выбор встроенного носителя

В качестве носителя информации выберем последовательную FLASH-память серии W25Q [9]. Данная последовательная память может быть различной ёмкости — 8, 16, 32, 64, 128, 256 Мбит и т. д. Подключается такая память по интерфейсу SPI, а также по многопроводным интерфейсам Dual SPI, Quad SPI и QPI. Мы же пока будем подключим данную микросхему по обычному интерфейсу SPI.

Краткие основные характеристики W25Q:

- Потребляемая мощность и температурный диапазон:
- Напряжение питания 2.7...3.6 В
- Типичный потребляемый ток: 4 мА (активный режим), <1 мкА (в режиме снижения мощности)
- Рабочий температурный диапазон -40°C...+85°C.

Гибкая архитектура с секторами размером 4 кбайт:

- Посекторное стирание (размер каждого сектора 4 кбайт)
- Программирование от 1 до 256 байт
- До 100 тыс. циклов стирания/записи
- 20-летнее хранение данных

Максимальная частота работы микросхемы:

- 104 МГц в режиме SPI
- 208/416 МГц — Dual / Quad SPI

Также микросхема существует в различных корпусах, но в большинстве случаев распространён корпус SMD SO8. Распиновка микросхемы следующая(рисунок 9).

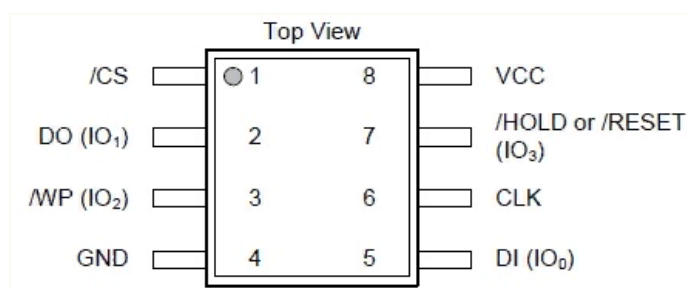


Рисунок 9 – Распиновка W25Q128

Описание выводов из [9](рисунок 10).

3.3 Pin Description SOIC / VSOP 208-mil, WSON 6x5-mm / 8x6-mm

PIN NO.	PIN NAME	I/O	FUNCTION
1	/CS	I	Chip Select Input
2	DO (IO1)	I/O	Data Output (Data Input Output 1) ⁽¹⁾
3	/WP (IO2)	I/O	Write Protect Input (Data Input Output 2) ⁽²⁾
4	GND		Ground
5	DI (IO0)	I/O	Data Input (Data Input Output 0) ⁽¹⁾
6	CLK	I	Serial Clock Input
7	/HOLD or /RESET (IO3)	I/O	Hold or Reset Input (Data Input Output 3) ⁽²⁾
8	VCC		Power Supply

Рисунок 10 – Описание выводов W25Q128

К микроконтроллеру подключается по стандартному интерфейсу SPI.

2.4 Блок питания

Питание схемы будет осуществляться с помощью аккумулятора LP-310-233350 [6] и DC-DC преобразователя LM3671 [5]. Аккумулятор литий-полимерный LP-310-233350 имеет номинальную емкость 310 мАч, номинальное напряжение 3,7 В, вес 8г. Длина: 50 ± 1 мм. Ширина: 33 ± 1 мм. Толщина: $2,3 \pm 1$ мм.

DC-DC преобразователь LM3671MF с фиксированным выходным напряжением 3,3 В. Типичный ток покоя 16 мкА, типичный ток в выключенном состоянии - 0.01 мкА, максимальная нагрузка по току 600 мА.

Подключение DC-DC преобразователя будет осуществляться согласно типовой схеме из Data Sheet [5] (рисунок 11)

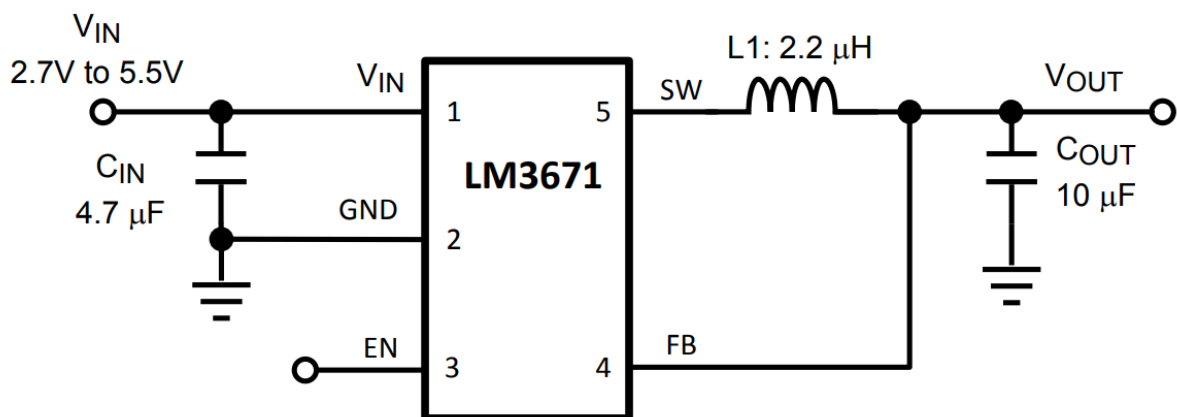


Рисунок 11 – Типовая схема включения DC-DC-преобразователя

3 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ

3.1 Разработка алгоритма

Проанализируем задание, учитывая ранее описанное. Необходимо получать данные от AFE микросхемы ADS1293 по интерфейсу SPI, записывать их во флеш-память W25Q128. Так же данные передаются по интерфейсу Bluetooth.

3.2 Разработка кода

3.2.1 Выбор программного обеспечения

Для разработки ПО под STM32 можно использовать различные IDE. Самые популярные — IAR, Keil, Сооох (Eclipse). Мы же пойдем по пути, который с недавних пор абсолютно бесплатно и в полном объеме предоставляет сама ST.

STM32CubeIDE – многофункциональное средство разработки, являющееся частью экосистемы STM32Cube от компании STMicroelectronics. STM32CubeIDE – платформа разработки C/C++ с IP-конфигурацией, генерацией и компиляцией кода и способностью прошивки микроконтроллеров STM32. Программное обеспечение построено на платформе ECLIPSE™/CDT и пакетов программ GCC для разработки, а также отладчика GDB для прошивки микроконтроллера.

Какие плюсы у данного ПО: абсолютно бесплатно, нет ограничения по размеру кода, есть неплохой отладчик, простая установка и настройка. Так же, стоит отметить, что данная платформа кроссплатформенная - есть версии для Windows, Linux и даже MacOS. Ознакомиться с STM32CubeIDE можно в [7]

3.2.2 Инициализация периферии

В STM32CubeIDE встроен STM32CubeMx – программный продукт, позволяющий при помощи достаточно понятного графического интерфейса произвести настройку любой имеющейся на борту микроконтроллера периферии. Подробнее об этом можно прочитать в [8]

В нашем случае нужно создать проект, выбрать микроконтроллер и подключить периферию - таймер, SPI, тактирование. Все это настраивается в графическом интерфейсе.

Сначала в настройках Reset and Clock Controller(RCC) подключаем кварцевые резонаторы, как показано на рисунке 12.

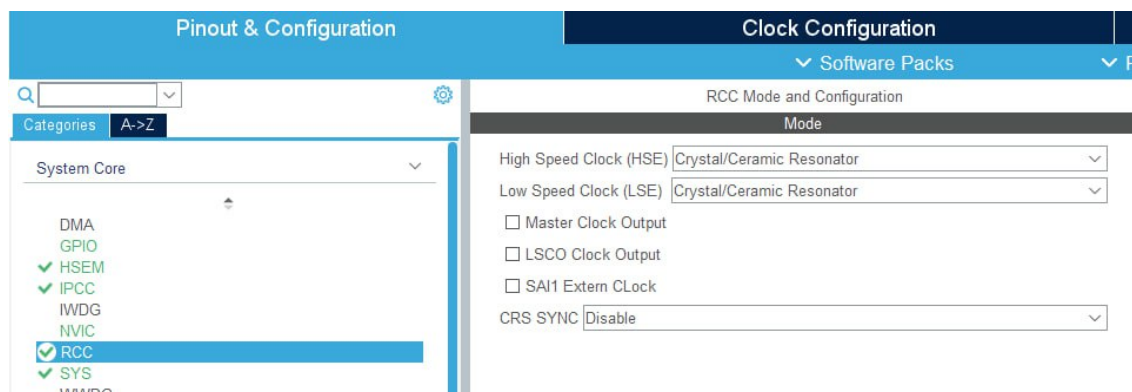


Рисунок 12 – Настройки RCC

Затем подключим порты ввода-вывода и настроим их как внешний источник прерываний, как показано на рисунке 13.

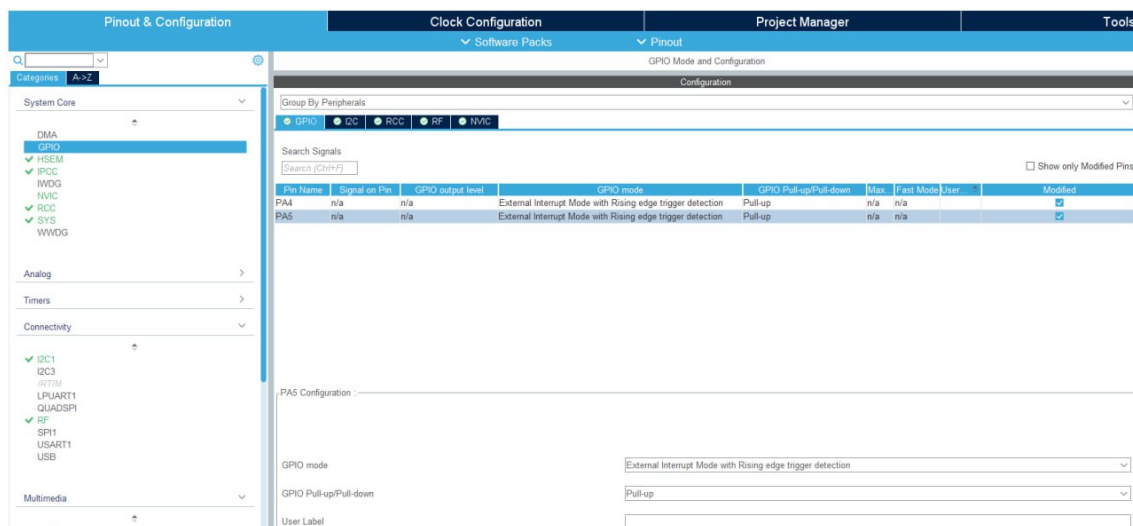


Рисунок 13 – Настройки портов ввода-вывода

Затем подключим порты ввода-вывода и настроим их как внешний источник прерываний, как показано на рисунке ??.

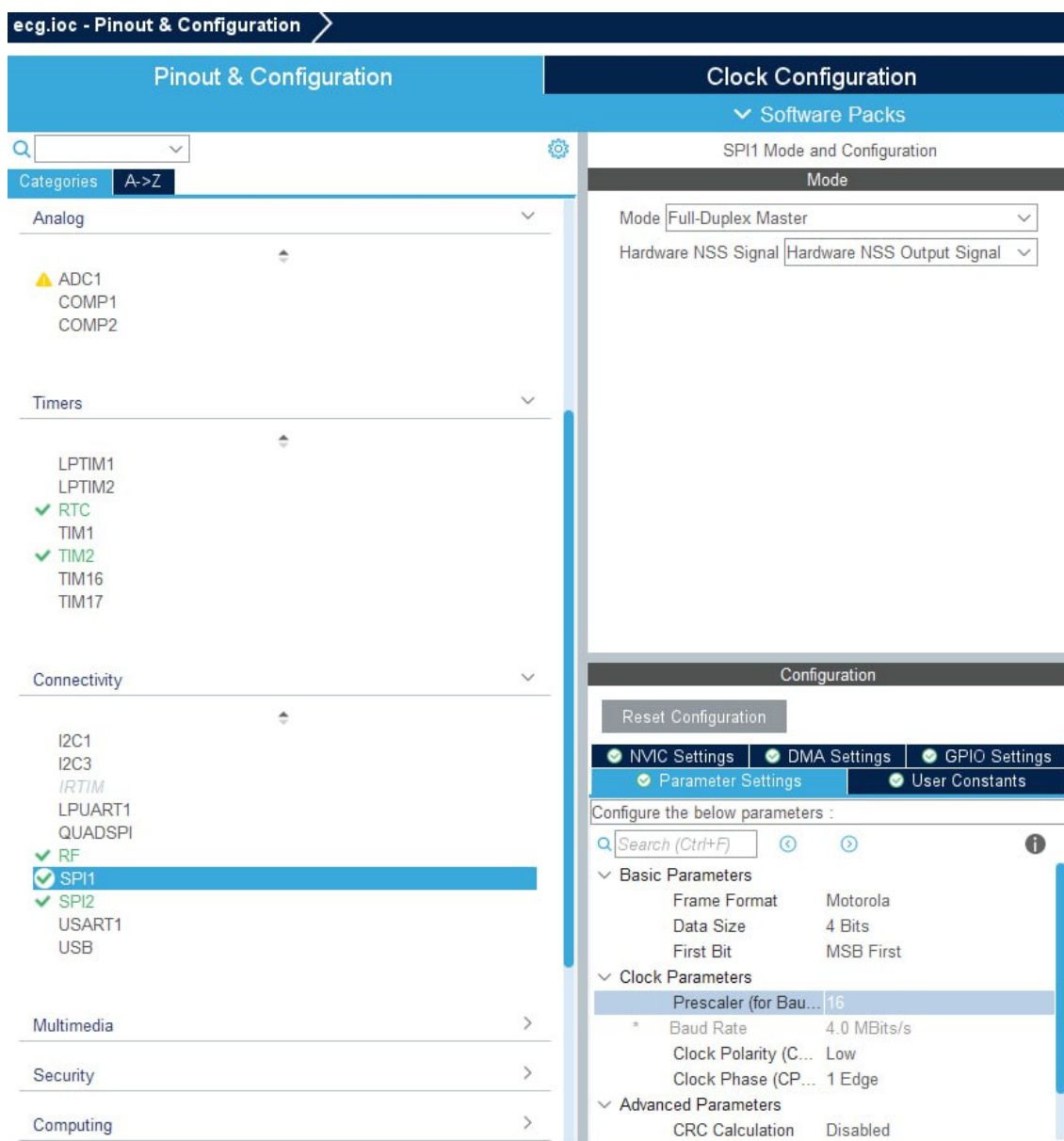


Рисунок 14 – Настройки портов ввода-вывода

После этого можно настроить тактирование на вкладке Clock Configuration, как показано на рисунке 14.

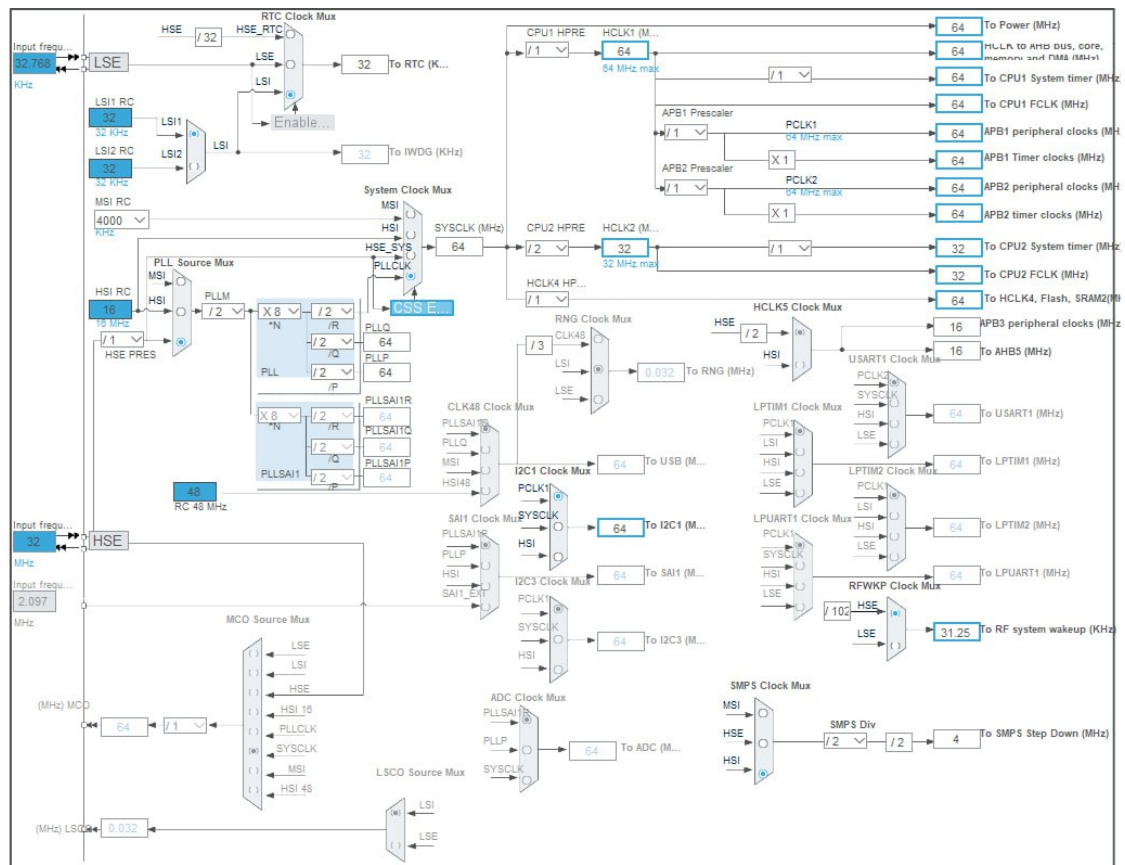


Рисунок 15 – Настройки тактирования

Так же включаем таймер - он необходим для того, чтобы

Для включения стека Bluetooth необходимо активировать Inter-Process Communication Controller(IPCCC), Hardware Semaphore (HSEM) (необходим для синхронизации процессов, запущенных на разных ядрах), как показано на рисунках 15, 16, включить Radio System(RF),как показано на рисунке 17.

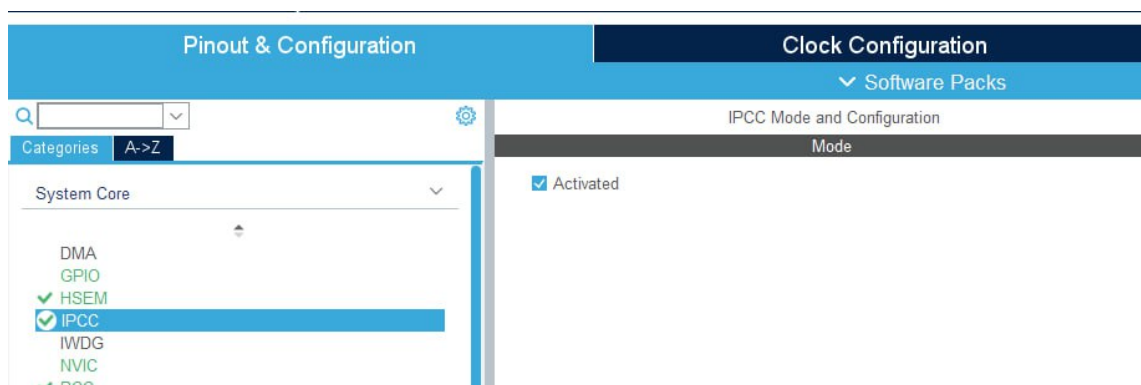


Рисунок 16 – Активируем IPCC

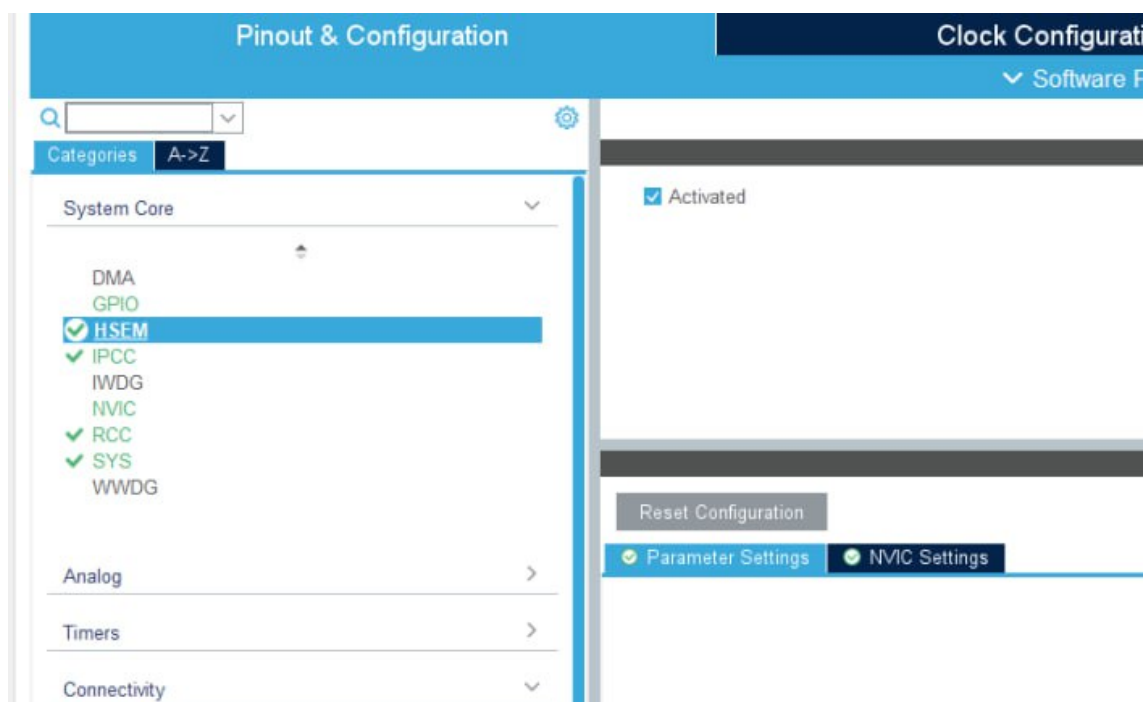


Рисунок 17 – Активируем HSEM

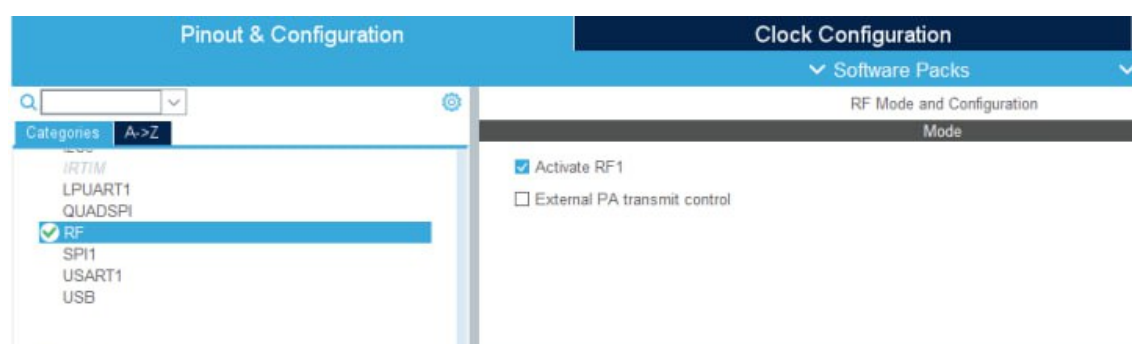


Рисунок 18 – Активируем RF

Теперь разблокирована вкладка STM32WPAN, где нужно включить стек Bluetooth. В настройках указываем, что конечное устройство будет являться сервером(то есть транслировать данные другим устройствам). Настройки показаны на рисунке 18.

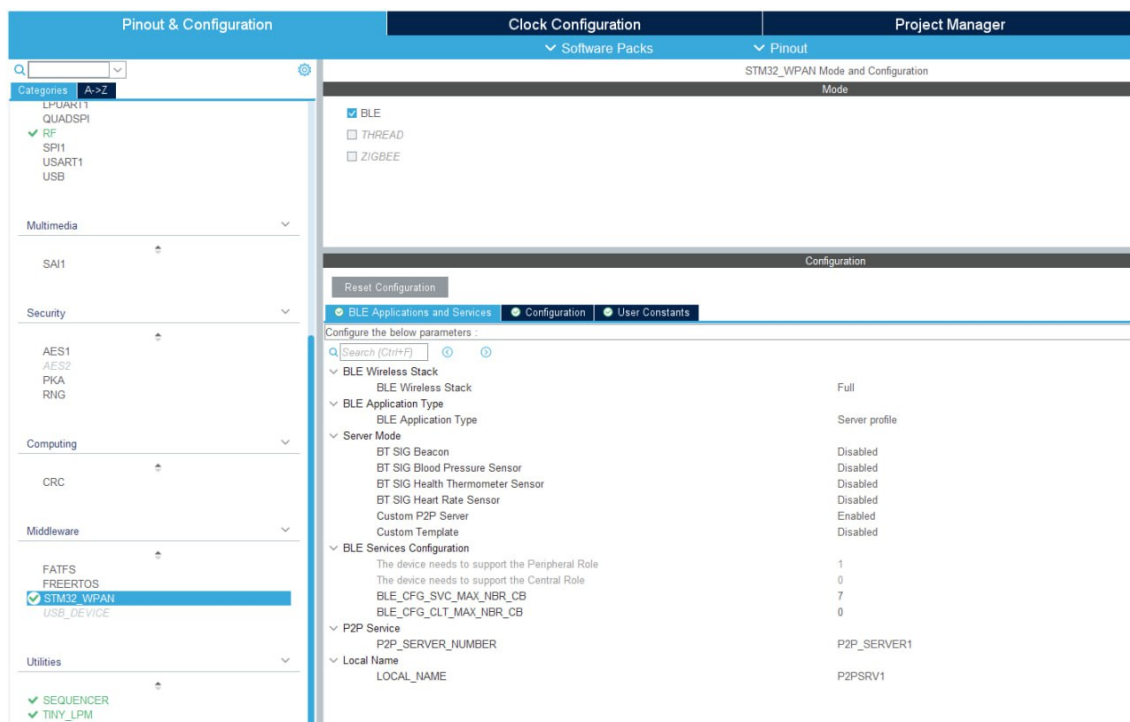


Рисунок 19 – Активируем Bluetooth

Дальше все настройки будут происходить в коде. После активации стека Bluetooth в директории проекта появляется множество файлов, отвечающих за функции радиоядра и сервисы Bluetooth.

Стоит отметить, что в данной линейке микропроцессоров используется еще не полноценная операционная система реального времени, но уже вполне функциональный диспетчер задач - Sequensor.

Для запуска этого диспетчера надо добавить строку в файл main.c вызов диспетчера задач(UTIL_SEQ_Run), а так же подключить библиотеки, содержащие все необходимые функции.

```
/* USER CODE BEGIN Includes */
#include "stm32_seq.h" //подключаем библиотеку Sequensor
/* USER CODE END Includes */

/* USER CODE BEGIN PV */
uint8_t send_ble[12] = {0,0};
/* USER CODE END PV */

/* USER CODE BEGIN WHILE */
while (1)
{
    UTIL_SEQ_Run(UTIL_SEQ_DEFAULT); //запускаем его в стандартном режиме.
}
```

```
/* USER CODE END WHILE */
}
```

Активируем прерывания от Inter-Process Communication Controller

```
/* USER CODE BEGIN 1 */
void RTC_WKUP_IRQHandler(void)
{
    HW_TS_RTC_Wakeup_Handler();
}

void IPCC_C1_TX_IRQHandler(void)
{
    HW_IPCC_Tx_Handler();

    return;
}

void IPCC_C1_RX_IRQHandler(void)
{
    HW_IPCC_Rx_Handler();
    return;
}
/* USER CODE END 1 */
```

В файле `app_ble.c` уже автоматически прописано соединение клиента с сервером, описаны основные функции инициализации и настроек. Можно изменить этот файл, добавив свой функционал. Добавим простое включение и выключение светодиода при активной передаче данных. Файл генерируется большой, в приложении не приводим, отметим лишь то место, куда добавляем собственный код. Светодиод так же подключаем с помощью графического интерфейса, и присваиваем ему метку `LED_Pin`, а порту присваиваем `LED_GPIO_Pin`.

```
/* USER CODE BEGIN RADIO_ACTIVITY_EVENT*/
HAL_GPIO_WritePin(LED_GPIO_Port, LED_Pin, GPIO_PIN_SET); // включение светодиода
HAL_Delay(5); // небольшая задержка
HAL_GPIO_WritePin(LED_GPIO_Port, LED_Pin, GPIO_PIN_RESET); //отключение светодиода
/* USER CODE END RADIO_ACTIVITY_EVENT*/
```


ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном курсовом проекте рассмотрены принципы разработки устройств на базе микроконтроллеров. Был разработан носимый монитор ЭКГ. Данные передаются по интерфейсу Bluetooth и записываются на карту памяти. В процессе работы были разработаны структурная и принципиальная схемы устройства, были проведены необходимые расчёты для получения заданной погрешности, осуществлен выбор микроконтроллера и вспомогательных компонентов схемы.

Конфигуратор кода STM32CubeIDE предоставляет все необходимые библиотеки для реализации устройства, а также обеспечивает необходимые настройки микроконтроллера перед началом реализации алгоритма основной программы. Далее был разработан алгоритм программы и текст программы на языке Си.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Беляев, А. О. Анализ аналоговых характеристик микросхемы ADS1293 для применения в медицинской технике / А. О. Беляев, В. В. Кириенко // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 3(30). – С. 67. – EDN TFXFTD

2 Data Sheet на AFE микросхему ADS1293 [Электронный ресурс]. URL:<https://radioaktiv.ru/ds/ti/snas602b.pdf> (Дата обращения: 6.05.2023)

3 Data Sheet на микроконтроллер STM32WB55CCU6 [Электронный ресурс]. URL:<https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32wb55cc.pdf> (Дата обращения: 10.05.2023)

4 Application note на микроконтроллеры серии STM32WB [Электронный ресурс]. URL:https://www.st.com/resource/en/application_note/an5165-development-of-rf-hardware-using-stm32wb-microcontrollers-stmicroelectronics.pdf (Дата обращения: 11.05.2023)

5 Data Sheet на DC-DC преобразователь LM3671/-Q1 [Электронный ресурс]. URL:<https://static.chipdip.ru/lib/091/DOC001091994.pdf> (Дата обращения: 16.05.2023)

6 Спецификация на Li-pol аккумулятор LP-310-233350 [Электронный ресурс]. URL:<https://static.chipdip.ru/lib/412/DOC005412828.pdf> (Дата обращения: 11.05.2023)

7 STM32CubeIDE - Integrated Development Environment for STM32 [Электронный ресурс]. URL:<https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeide.html> (Дата обращения: 2.05.2023)

8 STM32. Быстрый старт с STM32CubeMx [Электронный ресурс].
URL:<https://microtechnics.ru/stm32cube-sozdanie-proekta/> (Дата обращения:
2.05.2023)

9 Data Sheet на последовательную FLASH память W25Q128FV
[Электронный ресурс]. URL:<https://www.winbond.com/resource-files/w25q128fv%20rev.l%2008242015.pdf> (Дата обращения: 2.05.2023)

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

AFE	– Analog Front End	8, 17
SPI	– Serial Peripheral Interface	9
АЦП	– Аналого-цифровой преобразователь	8
ИС	– интегральная схема	8
ОУ	– операционный усилитель	8
ЭКГ	– электрокардиограмма	8