

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет)  
Высшая школа электроники и компьютерных наук  
Кафедра «Информационно-измерительная техника»

**Разработка электронного устройства на базе микроконтроллера**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ  
по дисциплине: «Цифровые измерительные устройства»  
ЮУрГУ-12.03.01.2020.308/415 ПЗКП

Нормоконтролер:

\_\_\_\_\_ Вставская Е.В.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021г.

Руководитель:

\_\_\_\_\_ Вставская Е.В.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021г.

Автор проекта

Студент группы КЭ-413

\_\_\_\_\_ Ильин С.С.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021г.

Проект защищён с оценкой

\_\_\_\_\_ 2021г.

Челябинск 2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет)  
Высшая школа электроники и компьютерных наук  
Кафедра «Информационно-измерительная техника»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой ИНИТ

\_\_\_\_\_ М.Н. Самодурова

\_\_\_\_\_ 2021 г.

### **ЗАДАНИЕ**

на курсовой проект студента  
Ильина Семена Сергеевича  
Группа КЭ-413

1. Дисциплина: «Цифровые измерительные устройства».
2. Тема проекта: Разработка электронного устройства на базе микроконтроллера
3. Срок сдачи студентом законченного проекта: 8 марта 2020 г.
4. Перечень вопросов, подлежащих разработке:

Разработать устройство, обеспечивающее отображение количества нажатий кнопки, полученное по интерфейсу USART, на трех 7-сегментных индикаторах.

Вход/Выход – интерфейс USART.

Выход – три 7-сегментных индикатора.

Устройство запрашивает значение по интерфейсу USART и отображает полученное значение на 7-сегментных индикаторах.

\* Предусмотреть возможность переключения частоты опроса 1Гц или 0,2Гц.

Предусмотреть возможность внутрисхемного программирования микроконтроллера.

*Задание выполняется совместно с вариантом 5*

### 5. Календарный план

Наименование разделов курсового проекта	Срок выполнения разделов проекта	Отметка о выполнении руководителя
Введение	27.12.2021	
Обзор литературы	27.12.2021	
Выбор и расчёт элементов схемы	27.12.2021	
Проектирование принципиальной схемы	27.12.2021	
Составление программы для микроконтроллера	27.12.2021	
Оформление пояснительной записки	27.12.2021	

Руководитель проекта \_\_\_\_\_ /Е.В. Вставская/

Студент \_\_\_\_\_ /С.С. Ильин/

## АННОТАЦИЯ

Ильин С.С., Разработка датчика бесконтактного измерения температуры. – Челябинск: ЮУрГУ, КЭ-413, 15 с., библиогр. список. –3 наименований.

Цель работы: разработка устройства с возможностью измерять температуру бесконтактным датчиком.

Задачи работы:

- разработать архитектуру программного обеспечения в виде диаграммы UML.
- разработать код программного обеспечения;
- работа программы должна быть продемонстрирована совместно с платой XNUCLEO-F411RE.

В ходе выполнения данного курсового проекта по варианту было разработано устройство, позволяющего измерять температуру бесконтактным способом.

Предусмотрена возможность питания от солнечной батареи за счёт подключения соответствующего модуля.

Проект реализован в программе MS Word 2019, принципиальная схема и перечень элементов устройства создавалась в программе AutoCAD 2021.

					12.03.01.2022.308/401.ВКР		
Изм.	Лист	№ Докум.	Подпись	Дата	Разработка информационно-измерительной системы мониторинга здоровья		
Разраб.	Ильин С.С.						
Пров.	Вставская Е.В.						
Н.Контр	А.С. Волосников						
Утв.	Вставская Е.В.						
					Литера	Лист	Листов
						4	15
					ЮУрГУ кафедра ИНИТ		

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1. ОБЗОР .....	7
1.1. Плата STM32F411.....	7
1.2. Бесконтактный инфракрасный датчик температуры MLX90614 .....	9
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	15

## ВВЕДЕНИЕ

Микроконтроллер (microcontroller), как следует из названия, – это маленький (micro) инструмент для управления (control) какими-либо процессами реального мира. С этой целью в микроконтроллере предусмотрены периферийные аппаратные средства: порты ввода-вывода, АЦП, ЦАП, счётчики-таймеры, приёмопередатчики. Обработка и формирование сигналов, связанных с этими процессами, осуществляются сердцем микроконтроллера – однокристальной микропроцессорной системой в соответствии с программным обеспечением, обычно хранящимся в энергонезависимой памяти. Маленьким микроконтроллер делает конструктивное объединение всех перечисленных устройств на одном кристалле.

Микроконтроллер помимо центрального процессора (ЦП) содержит память и многочисленные устройства ввода/вывода: аналого-цифровые преобразователи, последовательные и параллельные каналы передачи информации, таймеры реального времени, широтно-импульсные модуляторы (ШИМ), генераторы программируемых импульсов и т.д. Его основное назначение – использование в системах автоматического управления, встроенных в самые различные устройства: кредитные карточки, фотоаппараты, сотовые телефоны, музыкальные центры, телевизоры, видеомагнитофоны и видеокамеры, стиральные машины, микроволновые печи, системы охранной сигнализации, системы зажигания бензиновых двигателей, электроприводы локомотивов, ядерные реакторы и др.

Микроконтроллеры используются во всех сферах жизнедеятельности человека, устройствах, которые окружают его. Простота подключения и большие функциональные возможности. С помощью программирования микроконтроллера можно решить многие практические задачи аппаратной техники.

					12.03.01.2022.308/401.ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		6

## 1. ОБЗОР

### 1.1. Плата STM32F411

STM32F411 [1]– линейка плат с оптимизированной динамической потребляемой мощностью и увеличенным объемом ОЗУ (до 128 кбайт). Максимальная рабочая частота этих микроконтроллеров достигает 100 МГц.

Микроконтроллер STM32F411 построен на базе микропроцессорного ядра Cortex-M4 и сочетает все преимущества предыдущих семейств (рисунок 1):

- высокая производительность;
- сверхнизкое потребление;
- низкая цена.



Рисунок 1 – преимущества STM32F411

Главной отличительной особенностью STM32F411(рисунок 2) является оптимизация внутренней архитектуры и применение новых технологий, объединённых под названием Dynamic Efficiency. Этим разработчики хотели подчеркнуть, что нововведения позволили значительно снизить потребление. По величине динамической потребляемой мощности новые линейки сравнимы с малопотребляющими STM32L1.

					12.03.01.2022.308/401.ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		7

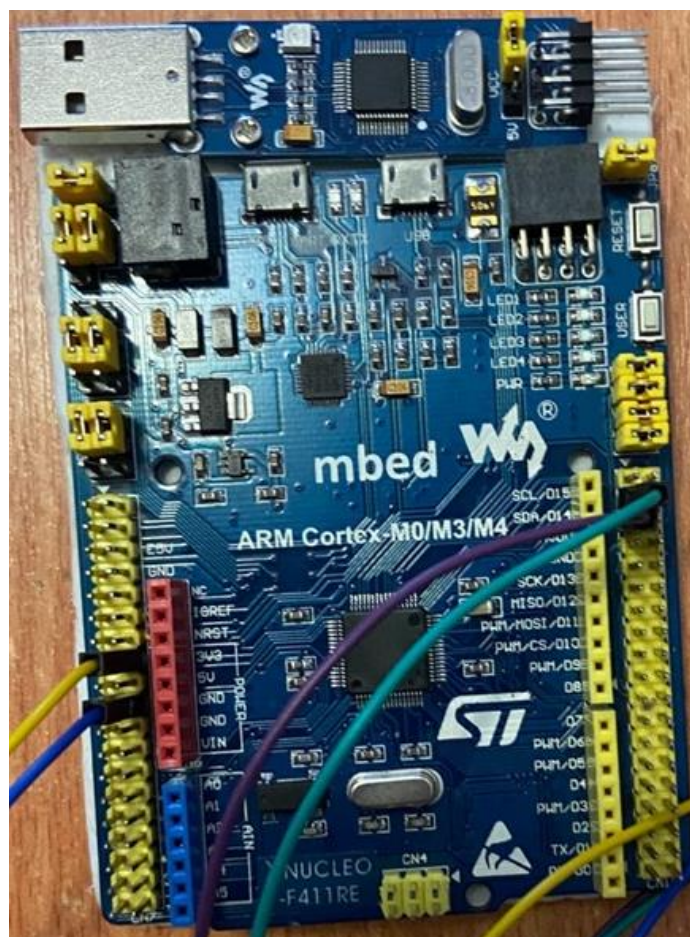


Рисунок 2 – STMF411

STM32F411 обладают производительностью, характерной для семейств STM32F4. Используемый процессор Cortex-M4 (рисунок 3) ничем не отличается от того, который применяется в топовых линейках STM32F42/43. Аппаратный ускоритель (ART Accelerator), блок для выполнения операций над числами с плавающей запятой (FPU) – все это обеспечивает высокую производительность даже при цифровой обработке сигналов. Единственное ограничение связано со снижением максимальной рабочей частоты до 84 МГц (STM32F401) и 100 МГц (STM32F411).

Отличительные способности данного микроконтроллера [2]:

- ядро ARM 32-бит Cortex-M4;
- рабочая частота 100 МГц;
- рабочее напряжение 1,7...3,6 В;
- память: 512 Кб Flash, 128 Кб SRAM;



- интерфейсы: 1 x SDIO, 1 x USB 2.0 FS, 5 x SPI или 5 x I2C, 3 x USART, 3 x I2C, 1 x АЦП (12 бит, 16 каналов).

Процессоры с архитектурой ARM (ARM-процессоры) разработаны британской фирмой AconComputers. В настоящее время это корпорация один из крупнейших разработчиков 32-разрядных RISC-процессоров занимается Изм. Лист № докум. Подп. Дата Лист 9 12.03.01.2022.308/415 ПЗ лишь разработкой процессорных архитектур и их лицензированием. В настоящее время ARM-процессоры более распространены в мобильных устройствах и встроенных системах различного применения.

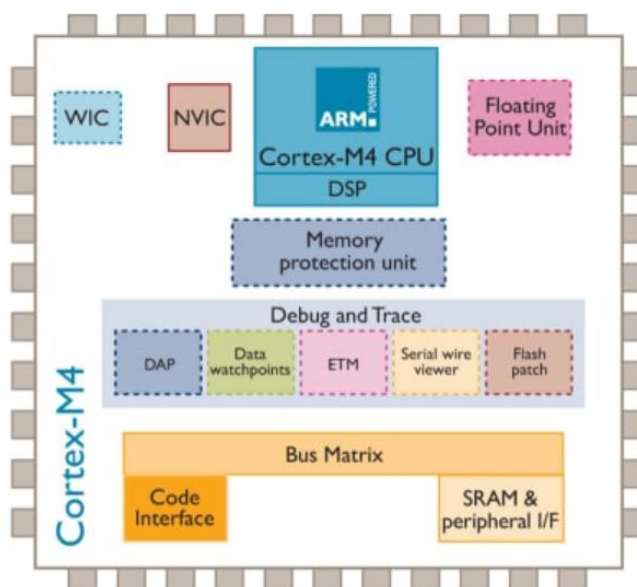


Рисунок 3 – Ядро Cortex-M4

Сохранение производительности и снижение потребления не сильно сказалось на цене. Новые линейки рассчитаны на применение в приложениях, где низкая стоимость является одним из самых важных требований.

## 1.2. Бесконтактный инфракрасный датчик температуры MLX90614

Для измерения температуры использовался бесконтактный инфракрасный (ИК) датчик температуры MLX90614 (рисунок 4) в корпусе ТО-39. Сенсор способен определять температуру объекта, не прикасаясь к нему, в зависимости

от излучаемых ИК-волн. Датчик обладает возможностью измерять среднюю температуру по площади. Бесконтактный, высокая точность, высокое разрешение, быстрый отклик.



Рисунок 4 – MLX90614

Характеристики [3].

- Мощность: 3,3 В ~ 5 В.
- Диапазон измерения (площадь): 40°C ~ 85°C.
- Диапазон измерения (объект): -70°C ~ 380°C.
- Разрешение: 0,02°C. • Точность:  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  (0~50°C).

Распиновка:

- VCC – 3,3В / 5В;
- GND – земля;
- SDA – ввод даны I2C;
- SCL – тактовый контакт I2C.

Стартовый сигнал: SCL имеет высокий уровень, SDA переключается с высокого на низкий, начинается передача данных.

Сигнал остановки: SCL имеет высокий уровень, SDA переходит от низкого уровня к высокому, передача завершена.

Датчик имеет цифровой выход PWM и SMBus (шина управления системой). В этом документе мы вводим только связь SMBus. SMBus – это двухпроводной интерфейс, основанный на принципе I2C.

## 2. ПРИМЕНЕНИЕ SMBUS И USART

SMBus (System Management Bus) – протокол обмена данными для устройств питания. Основан на шине I2C, но использует более низкий уровень сигнального напряжения (3,3 В). Основное назначение интерфейса – управление подсистемой питания, мониторинг оборудования и сопутствующих подсистем.

SMBus является двухпроводным интерфейсом, по которому простые устройства могут обмениваться информацией с остальной системой. Сообщения идут к устройствам и от них, вместо прохождения по отдельным управляющим линиям. Таким образом обеспечиваются преимущества:

- уменьшается количество проводов (не требуются отдельные линии управления);
- гарантируется дальнейшая расширяемость путём приёма сообщений по протоколу I2C.

В данной работе SMBus использовался для подключения к ИК датчику MLX90614.

Для считывания данных по SMBus были выполнены следующие действия.

### 1) Настроен модуль SMBus:

- Подаётся тактирование на модуль I2C.
- Для переключения из режима I2C в режим SMBus необходимо устанавливается бит SMBus в регистре I2C\_CR1.
- Указывается тип устройства (Host или Device), в нашем случае – Device.
- Определяется, какой режим I2C нам необходим (fast или standard), так как используется SMBus, подходит достаточно «Standard mode».
- После записывается значение частоты.
- Скидываем биты частоты шины тактирования APB1.
- Устанавливается TRISE, обеспечивающий максимальную продолжительность петли обратной связи SCL в Master – режиме.
- Устанавливается бит PE, чтобы включить периферию.
- Записывается бит high в выходной регистр данных.

					12.03.01.2022.308/401.ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		11

- Далее происходит настройка портов (перевод в альт. режим, установка альт. функций, настройка выходов, указание скорости, установка подтяжки к единице).

2) Для считывания данных с ИК-датчика прописан код:

- Функция должна принимать адрес поля, в котором хранится значение температуры в ИК-датчике.

- Запускается модуль I2C.

- Разрешается АСК для модуля I2C. Данный бит необходимо установить сразу, потому что потом он может не работать.

- Проверяется, установился ли стартовый бит.

- Получаются данные с регистра SR1.

- В регистр DR передаётся адрес MLX90614 (если устройство одно, то адрес по умолчанию 0x00).

- Проверяется, был ли согласован адрес Master с адресом Slave устройства.

- Получаются данные с регистров SR1 и SR2.

- Опустошение регистра.

- Записывается адрес датчика, в котором хранятся значения температуры (рисунок 5).

RAM (32x17)		
Name	Address	Read access
Melexis reserved	0x00	Yes
...	...	...
Melexis reserved	0x03	Yes
Raw data IR channel 1	0x04	
Raw data IR channel 2	0x05	
T <sub>A</sub>	0x06	Yes
T <sub>OBJ1</sub>	0x07	Yes
T <sub>OBJ2</sub>	0x08	Yes
Melexis reserved	0x09	Yes
...	...	...
Melexis reserved	0x1F	Yes

Рисунок 5 – Адрес, в котором хранится значение температуры

- Далее нужно перезагрузить модуль I2C, проверить установку стартового бита.
- После отправляется команда на чтение и проверяется согласование адреса Master с Slave.
- Проверяется посылка на ошибки при помощи бита POS, получаются данные с регистров SR1 и SR2.
- Затем ожидается окончание передачи и остановка I2C.
- В конце значение температуры с датчика записывается в переменную, при этом учитывая условие, описанное в документации на датчик (рисунок 6).

$$\text{Celsius degree } (^{\circ}\text{C}) : ((\text{TempData\_H} \ll 8) + \text{TempData\_L}) * 0.02 - 273.15$$

Рисунок 5 – Условие температуры

3) Общение с платой расширения должно осуществляться через USART.

USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) – это модуль последовательного ввода-вывода, который может использоваться для работы с периферийными устройствами.

USART может работать в трех режимах:

- асинхронный, полный дуплекс;
- ведущий синхронный, полудуплекс;
- ведомый синхронный, полудуплекс.

USART STM микроконтроллера очень обширный, но мы рассмотрим только то, что относится к UART. В модуле USART можно настраивать следующие параметры:

- Скорость обмена до 4 Мбит/с.
- Контроль четности.
- 1 или 2 стоповых битов.
- 8 или 9 бит данных.

• • Запросы на детектирование ошибок приемо-передачи. Изм. Лист №  
докум. Подп. Дата Лист 14 12.03.01.2022.308/415 ПЗ

• • Прерывания по приему, передачи, ошибкам передачи. Для настройки и  
работы модуля UART нужны всего несколько регистров.

- • USART\_CR1/CR2/CR3 – регистр настройки 1.
- • USART\_DR – регистр принятого символа (регистр данных).
- • USART\_BRR – регистр настройки скорости передачи.
- • USART\_SR – регистр состояния.

Модуль приемо-передатчика обеспечивает полнодуплексный обмен по  
последовательному каналу, при этом скорость передачи данных может  
варьироваться в довольно широких пределах. Длина посылки может составлять  
от 5 до 9 битов. В модуле присутствует схема контроля и формирования бита  
чётности.

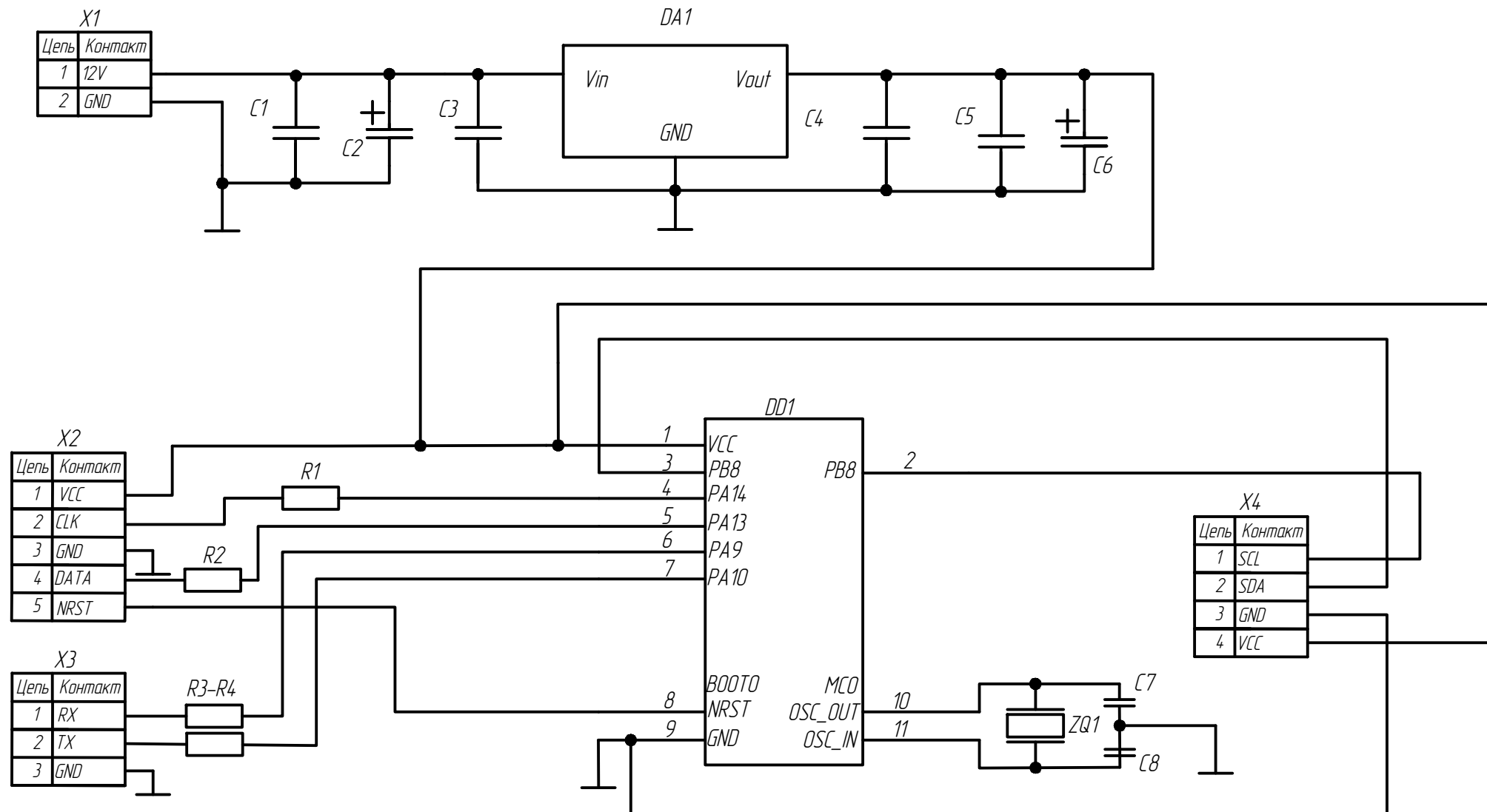
Для корректной работы USART необходимо выполнить следующие  
действия:

- 1) Подать тактирование на шину USART.
- 2) Настроить порты A2, A3 в альтернативный режим.
- 3) Указать альтернативные функции TX, RX для соответствующих портов.
- 4) Указать скорость.
- 5) Включить модуль USART.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 1. <https://www.waveshare.com/wiki/XNUCLEO-F411RE>. – XNUCLEOF411RE.
2. XNUCLEO-F411RE, Отладочный комплект на базе MCU STM32F411RET6 (Cortex-M4), ST-LINK/V2 (mini), Arduino-интерфейс. – <https://www.chipdip.ru/product/xnucleo-f411re>.
3. <https://www.waveshare.com/infrared-temperature-sensor.htm>. – Contact-less Infrared Temperature Sensor.

					12.03.01.2022.308/401.ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		15



					КЭ.413006.001 33				
					Схема электрическая принципиальная	Лит.		Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докum.	Подпись	Дата		У			1:1
Разраб.		Ильин С.С.							
Провер.		Вставская Е.В.							
Т. контр.						Лист	23	Листов	1
						ЮУрГУ Кафедра ИНИТ			
Н. контр.									
Утв.									



Перв. примен.		Поз. обозн.	Наименование				Кол.	Примечание		
			Конденсаторы							
		С1, С3-С5	X7R 0402 -0,1мкФ				4			
		С2, С6	ECAP SMD-100 мкФ, 16В				2			
		С7, С8	NPO 1206- 20пФ				2			
Справ. №			Разъемы							
		X1	KLS-125				1			
		X2, X3	СНП383-4ВП21				2			
		X4	MLX90614				1			
			Резисторы							
		R1-R4	SMD-0,125 -100				4			
		ZQ1	HC-49SM				1			
		DA1	L 78L33ACD13TR				1			
		DD1	STM32F 411RE				1			
Подп. и дата	Подп. и дата									
Инв. №	Инв. №									
Взаим. инв. №	Взаим. инв. №									
Подп. и дата	Подп. и дата									
Инв. № подл.	Инв. № подл.									
КЭ.413006.001										
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						
Разраб.		Чирков А.М.						Лит.	Лист	Листов
Провер.		Вставская Е.В.							24	
Н. контр.										
Утв.										
Перечень элементов							ЮУрГУ Кафедра ИНИТ			