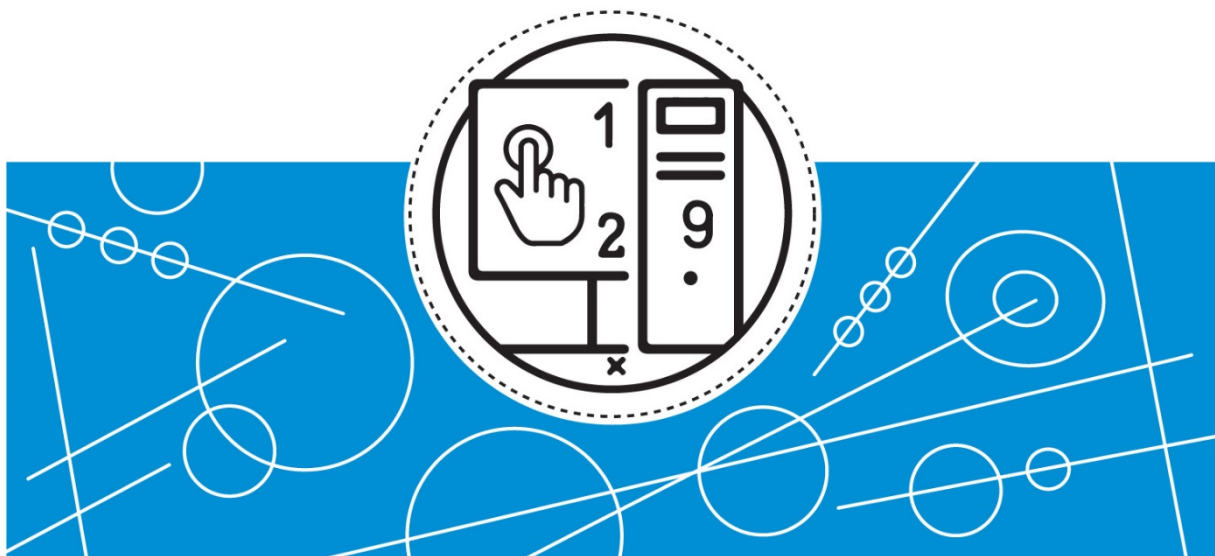


# ІІТМО

---

## ПРОГРАММИРОВАНИЕ STM32 НА HAL. ЧАСТЬ 2



Санкт-Петербург  
2026

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

# **ПРОГРАММИРОВАНИЕ STM32 НА НАЛ. ЧАСТЬ 2**

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

**РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ  
В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО**

по направлению подготовки 15.03.06 «Мехатроника и  
робототехника», 27.03.04 «Управление в технических системах» в  
качестве учебного пособия для реализации основных  
профессиональных образовательных программ высшего

образования бакалавриата

The logo for ITMO University, consisting of the letters 'ITMO' in a bold, sans-serif font. The letter 'I' is stylized with a dot above it, resembling a vertical line with a terminal dot.

Санкт-Петербург

2026

Программирование STM32 на HAL. Часть 2 / С.М. Власов, В.А. Жданов, А.А. Маргун [и др]. — Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2026. — 30 с.

### **Рецензент:**

И.А. Бжихатлов, к.т.н., факультет систем управления и робототехники, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия.

В лабораторном практикуме рассматриваются основы программирования микроконтроллеров STM32 серии F446RE от STMicroelectronics в среде разработки STM32CubeIDE.

# **ITMO**

**Университет ИТМО** (Санкт-Петербург) — национальный исследовательский университет, ведущий вуз России в области информационных, фотонных и биохимических технологий. Альма-матер победителей международных соревнований по программированию: ICPC (единственный в мире семикратный чемпион), GoogleCode Jam, Facebook Hacker Cup, Яндекс.Алгоритм, Russian Code Cup, Topcoder Open и др. Приоритетные направления: IT и искусственный интеллект, фотоника, робототехника, квантовые коммуникации, трансляционная медицина, Life Sciences, Art & Science, Science Communication. Входит в ТОП-100 по направлению «Автоматизация и управление» Шанхайского предметного рейтинга (ARWU) и занимает 74 место в мире в британском предметном рейтинге QS по компьютерным наукам (Computer Science and Information Systems). Представлен в мировом ТОП-200 по телекоммуникационным технологиям (Telecommunication engineering), а также в ТОП-300 по нанонаукам и нанотехнологиям (Nanoscience & Nanotechnology) ARWU. Входит в ТОП-200 по инженерным наукам (Engineering and Technology), в ТОП-300 по физике и астрономии (Physics & Astronomy), наукам о материалах (Materials Sciences), а также по машиностроению, аэрокосмической и промышленной инженерии (Mechanical, Aeronautical & Manufacturing Engineering) рейтинга QS. Лидер проекта «Приоритет – 2030».

© Университет ИТМО, 2026  
© С.М. Власов, В.А. Жданов, А.А. Маргун, К.А. Зименко, А.С. Кремлев, Д.А. Галкина, 2026

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение . . . . .	4
Лабораторная работа №1. . . . .	5
Цель работы . . . . .	5
Аппаратное обеспечение . . . . .	5
Программное обеспечение . . . . .	5
Порядок выполнения . . . . .	5
Контрольные вопросы: . . . . .	7
Лабораторная работа №2 . . . . .	8
Цель работы . . . . .	8
Аппаратное обеспечение . . . . .	8
Программное обеспечение . . . . .	8
Порядок выполнения . . . . .	8
Контрольные вопросы: . . . . .	10
Лабораторная работа №3. . . . .	11
Цель работы . . . . .	11
Аппаратное обеспечение . . . . .	11
Программное обеспечение . . . . .	11
Порядок выполнения . . . . .	11
Контрольные вопросы: . . . . .	12
Лабораторная работа №4. . . . .	13
Цель работы . . . . .	13
Аппаратное обеспечение . . . . .	13
Программное обеспечение . . . . .	13
Порядок выполнения . . . . .	13
Контрольные вопросы: . . . . .	14
Список литературы . . . . .	16
Приложение А. Электрические схемы лабораторного стенда	17

## Введение

Настоящий лабораторный практикум является логическим продолжением первой части и разработан для изучения дисциплин «Программирование микроконтроллеров», «Цифровая и микроконтроллерная техника» и «Цифровая техника систем управления» в рамках образовательных программ подготовки по направлениям 15.03.06 «Мехатроника и Робототехника» и 27.03.04 «Управление в технических системах».

Главной целью данного пособия является формирование у студентов теоретических знаний и практических навыков в области программирования микроконтроллеров STM32 с использованием интегрированной среды разработки STM32CubeIDE. Пособие содержит детальные пошаговые инструкции и методические указания по выполнению лабораторных работ, направленных на изучение периферийных интерфейсов, таких как особые режимы работы таймеров, DMA, SPI и I2C. В ходе выполнения лабораторных работ студенты получают навыки настройки и конфигурирования периферийных модулей микроконтроллеров STM32, работы с отладочной платой Nucleo-F446RE и встроенным программатором-дебаггером ST-LINK/V2, программирования на языке C с использованием библиотеки HAL, а также взаимодействия с интегрированной средой разработки STM32CubeIDE.

Выполнение предложенных лабораторных работ позволяет студентам развить компетенции, включающие навыки разработки программного обеспечения для встроенных систем, способность конфигурировать и работать с периферийными устройствами микроконтроллеров для решения практических задач, применять методы диагностики и отладки встроенного ПО, а также осуществлять анализ и проектирование архитектуры программно-аппаратных решений на основе микроконтроллеров.

# Лабораторная работа №1

## Цель работы

- Получение навыков работы с периферией DMA и Timer в режиме PWM микроконтроллера серии F446RE.

## Аппаратное обеспечение

- Лабораторный стенд.

## Программное обеспечение

- STM32CubeIDE,
- Matlab Simulink.

## Порядок выполнения

Таблица 1. Исходные данные для работы

№ Варианта	Частота CPU, МГц	Частота ШИМ сигнала, Гц
1	100	500
2	110	600
3	120	700
4	130	800
5	140	900
6	150	1000
7	160	1100
8	170	1200

- Активировать внешний источник тактовых импульсов в окне графической инициализации контроллера.
- Настроить тактовую частоту процессора во вкладке Clock Configuration в соответствии с вариантом задания.
- Определить используемый USART и соответствующие пины (TX и RX) для обмена данными с компьютером по схеме лабораторного стенда.

- Инициализировать пины линий USART (TX и RX) и настроить модуль USART: задать асинхронный режим, скорость передачи данных 1000000 бит/с, включить глобальные прерывания от USART.
- Выбрать таймер для формирования прерываний отправки данных через USART в Matlab Simulink, определить его входную частоту, рассчитать и установить значения Prescaler и Counter Period для получения частоты прерываний 1 кГц.
- Включить глобальные прерывания от выбранного таймера.
- Запустить выбранный таймер в функции main.
- Реализовать формирование пакета данных и его передачу в Matlab Simulink через USART в обработчике прерывания таймера.
- Определить пины подключения сервопривода и внешнего потенциометра по схеме лабораторного стенда.
- Настроить определённые пины в окне графической инициализации контроллера: выход таймера для генерации ШИМ, выход управления направлением вращения двигателя сервопривода и входы ADC для считывания сигналов с потенциометров.
- Включить каналы ADC, подключённые к внутреннему потенциометру сервопривода и внешнему потенциометру, в окне графической инициализации контроллера.
- Установить значения Prescaler и Counter Period для таймера двигателя сервопривода в окне графической инициализации контроллера с целью получения частоты ШИМ сигнала согласно варианту задания.
- Настроить ADC для считывания данных с двух каналов с помощью DMA в окне графической инициализации контроллера.
- Реализовать систему управления сервоприводом, обеспечивающую регулирование положения его вала внешним потенциометром, и организовать передачу телеметрических данных на компьютер.

## Контрольные вопросы:

- Что такое ШИМ (PWM) сигнал, и для чего он используется в управлении сервоприводом?
- Как выбрать и настроить выходной канал таймера STM32 для генерации ШИМ сигнала?
- Как рассчитываются значения параметров Prescaler и Counter Period для получения заданной частоты ШИМ сигнала?
- В чём заключается физический смысл параметров скважности и частоты ШИМ сигнала?
- Какой эффект окажет изменение значения Counter Period на характеристики выходного ШИМ сигнала?
- Что такое DMA и в чём заключается его преимущество при работе с АЦП?
- Как настроить DMA для считывания данных с нескольких каналов АЦП на контроллере STM32?
- Опишите, каким образом DMA передает считанные АЦП данные в оперативную память контроллера.

## Лабораторная работа №2

### Цель работы

- Получение навыков работы с периферией Timer в режиме Encoder микроконтроллера серии F446RE.

### Аппаратное обеспечение

- Лабораторный стенд.

### Программное обеспечение

- STM32CubeIDE,
- Matlab Simulink.

### Порядок выполнения

Таблица 2. Исходные данные для работы

№ Варианта	Частота CPU, МГц	Частота ШИМ сигнала, Гц	Prescaler Таймера в режиме En- coder
1	100	500	1
2	110	600	2
3	120	700	3
4	130	800	4
5	140	900	5
6	150	1000	6
7	160	1100	7
8	170	1200	8

- Активировать внешний источник тактовых импульсов в окне графической инициализации контроллера.
- Настроить тактовую частоту процессора во вкладке Clock Configuration в соответствии с вариантом задания.

- Определить используемый USART и соответствующие пины (TX и RX) для обмена данными с компьютером по схеме лабораторного стенда.
- Инициализировать пины линий USART (TX и RX) и настроить модуль USART: задать асинхронный режим, скорость передачи данных 1000000 бит/с, включить глобальные прерывания от USART.
- Выбрать таймер для формирования прерываний отправки данных через USART в Matlab Simulink, определить его входную частоту, рассчитать и установить значения Prescaler и Counter Period для получения частоты прерываний 1 кГц.
- Включить глобальные прерывания от выбранного таймера.
- Запустить выбранный таймер в функции main.
- Реализовать формирование пакета данных и его передачу в Matlab Simulink через USART в обработчике прерывания таймера.
- Определить пины подключения электродвигателя с энкодера и внешнего энкодера по схеме лабораторного стенда.
- Настроить определённые пины в окне графической инициализации контроллера: выход таймера для генерации ШИМ, вход таймера для получения данных с энкодера электродвигателя, вход таймера для получения данных с внешнего энкодера и выход управления направлением вращения электродвигателя.
- Установить значения Prescaler (согласно варианту) и Counter Period и настроить режим Encoder для таймеров энкодера электродвигателя и внешнего энкодера в окне графической инициализации контроллера.
- Установить значения Prescaler и Counter Period для таймера электродвигателя в окне графической инициализации контроллера с целью получения частоты ШИМ сигнала согласно варианту задания.
- Реализовать систему управления электродвигателем, обеспечивающую регулирование скорости и направления

вращением его вала внешним энкодером, и организовать передачу телеметрических данных на компьютер.

### **Контрольные вопросы:**

- Что представляет собой режим Encoder таймера STM32 и для каких задач он используется?
- Как настроить таймер контроллера STM32 в режиме энкодера с помощью CubeIDE?
- Какие входные сигналы необходимы для работы таймера STM32 в режиме энкодера и как они обрабатываются контроллером?
- В чём заключается принцип работы инкрементального энкодера и как он используется совместно с таймером STM32?
- Как определить направление вращения и текущую позицию вала электродвигателя по показаниям таймера в режиме энкодера?
- Как организовать обработку переполнения счётчика энкодера и в каких ситуациях это необходимо?

## Лабораторная работа №3

### Цель работы

- Получение навыков работы с периферией SPI микроконтроллера серии F446RE.

### Аппаратное обеспечение

- Лабораторный стенд.

### Программное обеспечение

- STM32CubeIDE,
- Terminal.

### Порядок выполнения

Таблица 3. Исходные данные для работы

№ Варианта	Частота CPU, МГц	Скорость передачи данных USART, бит/с	Prescaler SPI
1	100	9600	2
2	110	14400	4
3	120	19200	8
4	130	28800	16
5	140	38400	32
6	150	56000	64
7	160	57600	128
8	170	115200	256

- Активировать внешний источник тактовых импульсов в окне графической инициализации контроллера.
- Настроить тактовую частоту процессора во вкладке Clock Configuration в соответствии с вариантом задания.
- Определить используемый USART и соответствующие пины (TX и RX) для обмена данными с компьютером по схеме лабораторного стенда.

- Инициализировать пины линий USART (TX и RX) и настроить модуль USART: задать асинхронный режим, скорость передачи данных в соответствии с вариантом задания, включить глобальные прерывания от USART.
- Реализовать прием пакетов данных через USART в обработчике прерывания.
- Определить к каким выводам подключены сдвиговые регистры и какой блок SPI в микроконтроллере используется для управления ими по схеме лабораторного стенда.
- В окне графической инициализации контроллера необходимо настроить выводы, определенные в предыдущем пункте, для работы со сдвиговыми регистрами. Установить Prescaler для скорости передачи данных по SPI согласно варианту.
- Реализовать программу которая отображает данные на 7-сегментом индикаторе. Реализовать возможность изменения значения при помощи USART.

### **Контрольные вопросы:**

- Что такое интерфейс SPI, какие сигналы он использует и какова их роль?
- Какова роль сигнала NSS (Slave Select) в интерфейсе SPI, и как его использовать при работе с несколькими периферийными устройствами?
- Какие преимущества и недостатки имеет SPI в сравнении с другими последовательными интерфейсами (например, USART)?
- Что представляет собой сдвиговый регистр и для каких задач он используется?
- Что такое сигнал защёлки (Latch) в сдвиговом регистре, и для чего он необходим?
- Как устроен 7-сегментный индикатор, и каким образом происходит отображение цифр и символов?

## Лабораторная работа №4

### Цель работы

- Получение навыков работы с периферией ADC микроконтроллера серии F446RE.

### Аппаратное обеспечение

- Лабораторный стенд.

### Программное обеспечение

- STM32CubeIDE,
- Terminal.

### Порядок выполнения

Таблица 4. Исходные данные для работы

№ Варианта	Частота CPU, МГц	Скорость передачи данных USART, бит/с	Prescaler SPI	Режим скорости передачи данных I2C
1	100	9600	2	Standard
2	110	14400	4	Fast
3	120	19200	8	Standard
4	130	28800	16	Fast
5	140	38400	32	Standard
6	150	56000	64	Fast
7	160	57600	128	Standard
8	170	115200	256	Fast

- Активировать внешний источник тактовых импульсов в окне графической инициализации контроллера.
- Настроить тактовую частоту процессора во вкладке Clock Configuration в соответствии с вариантом задания.

- Определить используемый USART и соответствующие пины (TX и RX) для обмена данными с компьютером по схеме лабораторного стенда.
- Инициализировать пины линий USART (TX и RX) и настроить модуль USART: задать асинхронный режим, скорость передачи данных в соответствии с вариантом задания, включить глобальные прерывания от USART.
- Реализовать прием пакетов данных через USART в обработчике прерывания.
- Определить к каким выводам подключены сдвиговые регистры и какой блок SPI в микроконтроллере используется для управления ими по схеме лабораторного стенда.
- В окне графической инициализации контроллера необходимо настроить выводы, определенные в предыдущем пункте, для работы со сдвиговыми регистрами. Установить Prescaler для скорости передачи данных по SPI согласно варианту.
- Определить к каким выводам подключены часы реального времени и какой блок I2C в микроконтроллере используется для управления ими по схеме лабораторного стенда. Установить режим скорости передачи данных по I2C согласно варианту.
- В окне графической инициализации контроллера необходимо настроить выводы, определенные в предыдущем пункте, для работы с часами реального времени.
- Реализовать программу которая отображает время на 7-сегментом индикаторе.
- Реализовать возможность изменения значения времени при помощи USART.

### **Контрольные вопросы:**

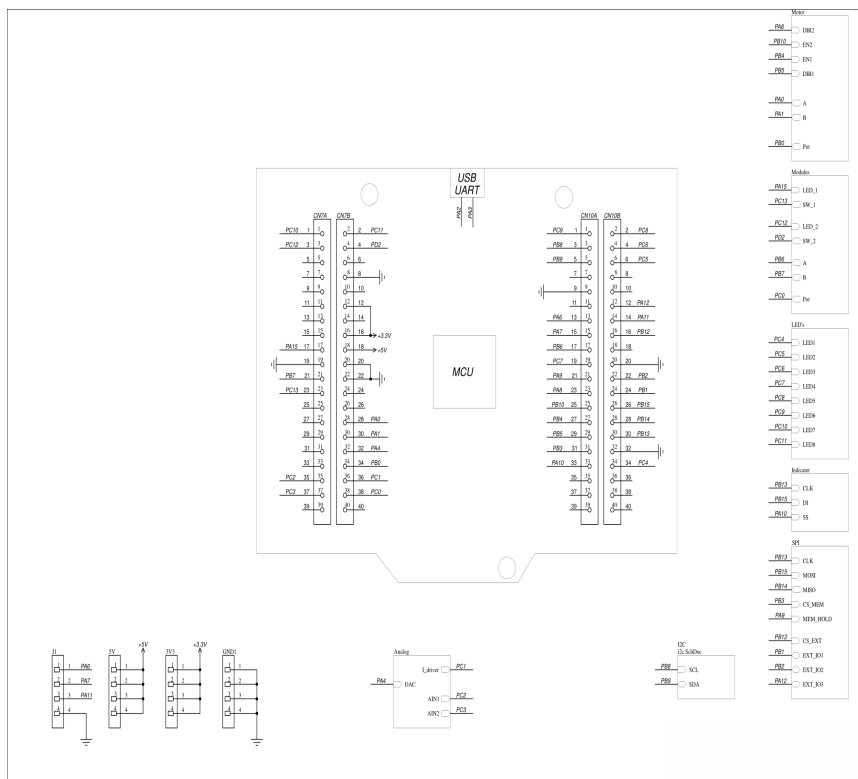
- Что такое интерфейс I<sup>2</sup>C, каковы его основные линии и каковы их функции?
- В чём заключаются преимущества и недостатки интерфейса I<sup>2</sup>C по сравнению с SPI и USART?

- Каким образом устанавливается скорость передачи данных по I<sup>2</sup>C, и какие стандартные режимы скорости существуют?
- Что такое адрес устройства в интерфейсе I<sup>2</sup>C и каким образом он используется при обмене данными?
- Как настроить модуль I<sup>2</sup>C в микроконтроллере STM32 с использованием CubeMX?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 STM32CubeIDE. Integrated Development Environment for STM32. URL: <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeide.html> (дата обращения: 13.01.2025).
- 2 NUCLEO-F446RE. STM32 Nucleo-64 development board with STM32F446RE MCU. URL: <https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-f446re.html> (дата обращения: 13.01.2025).
- 3 STM32F446xC/E. Datasheet – production data // STMicroelectronics. 2021. 189 p.
- 4 RM0390. Reference manual // STMicroelectronics. 2021. 1347 p.
- 5 UM1725. Description of STM32F4 HAL and low-layer drivers UM1725 User manual // STMicroelectronics. 2023. 2227 p.
- 6 Ключарёв, А. А. Программирование микроконтроллеров STM32 : учебное пособие / А. А. Ключарёв, К. А. Кочин, А. А. Фоменкова. — Санкт-Петербург : ГУАП, 2023. — 196 с.

# Приложение А. Электрические схемы лабораторного стенда



Общая схема подключений

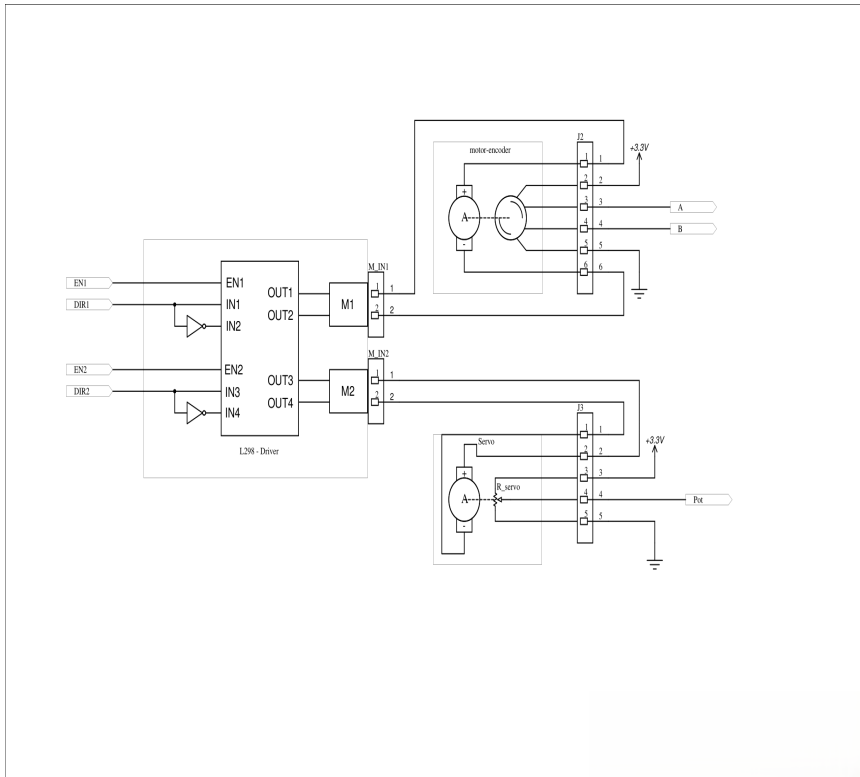


Схема подключения ДПТ

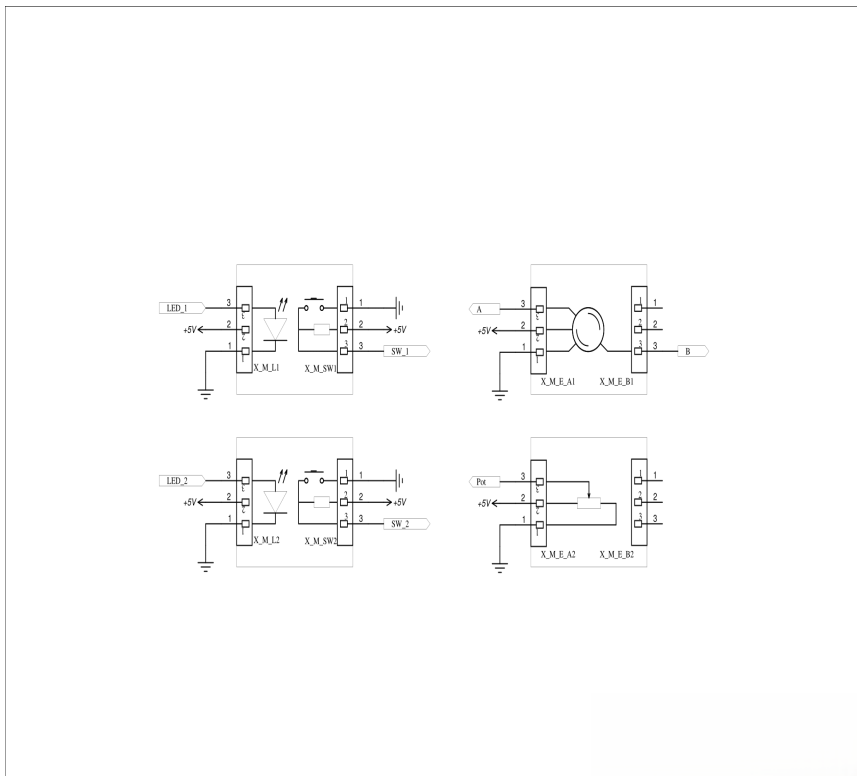
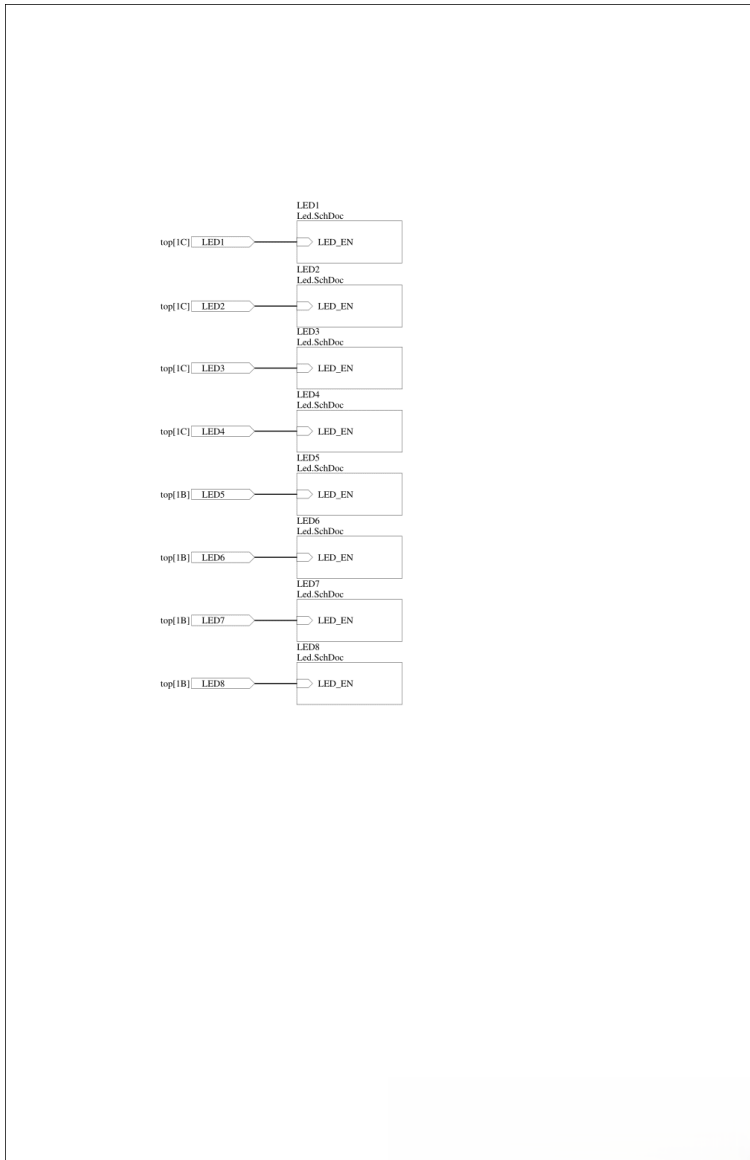


Схема подключения модулей



Блок светодиодов

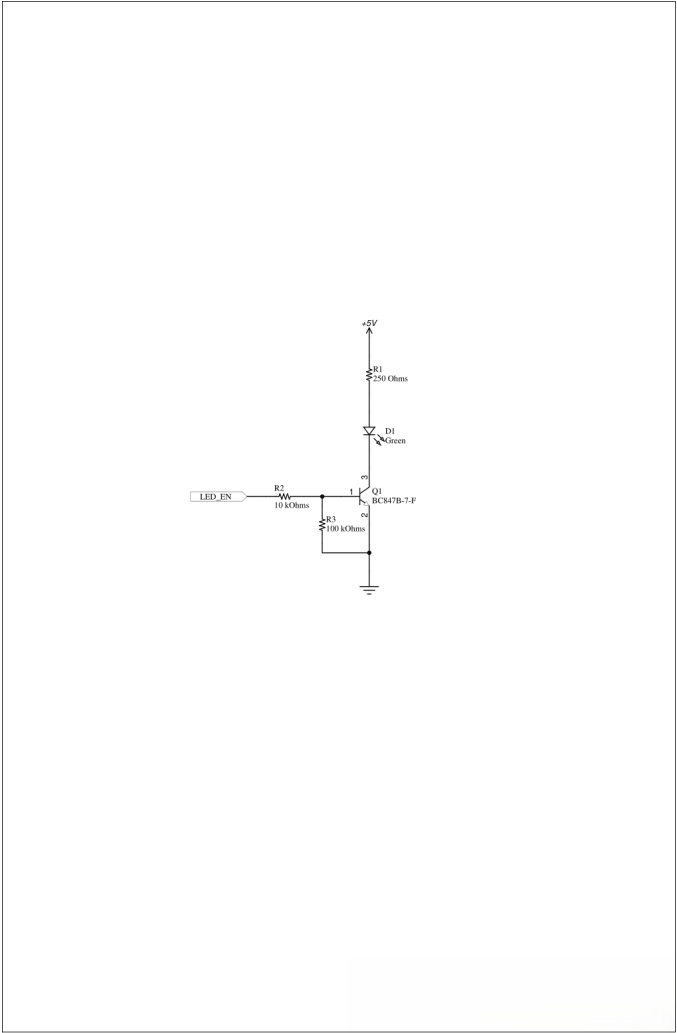


Схема подключения одного светодиода в блоке

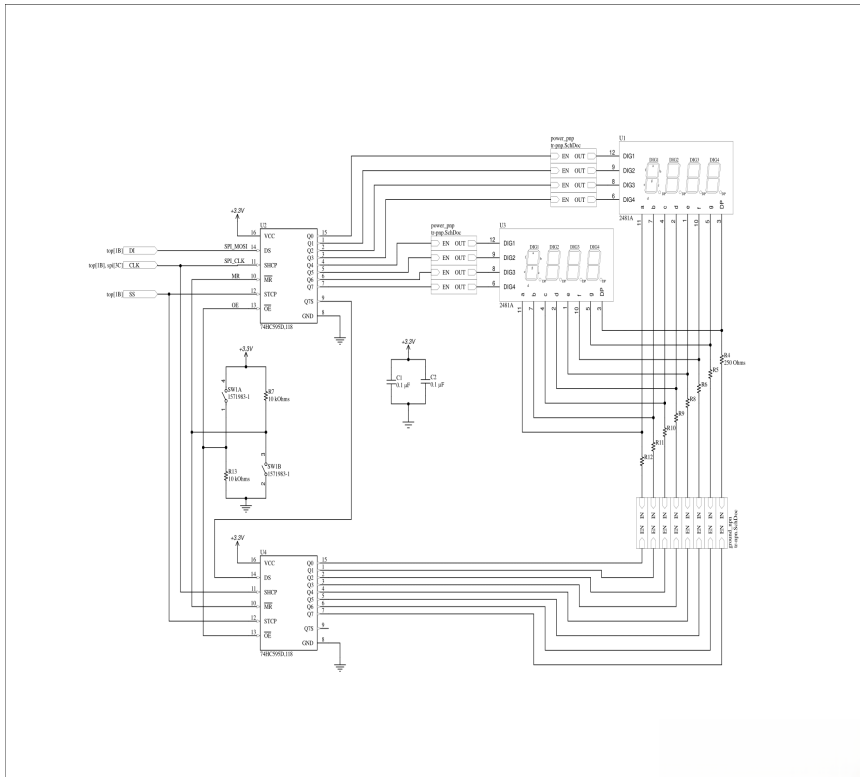
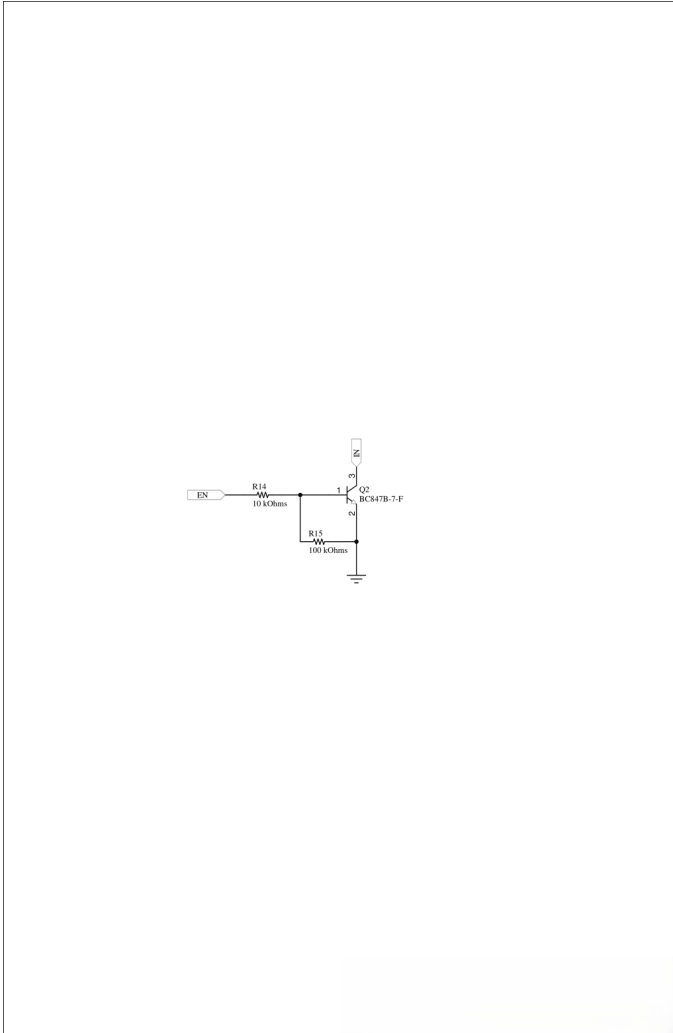
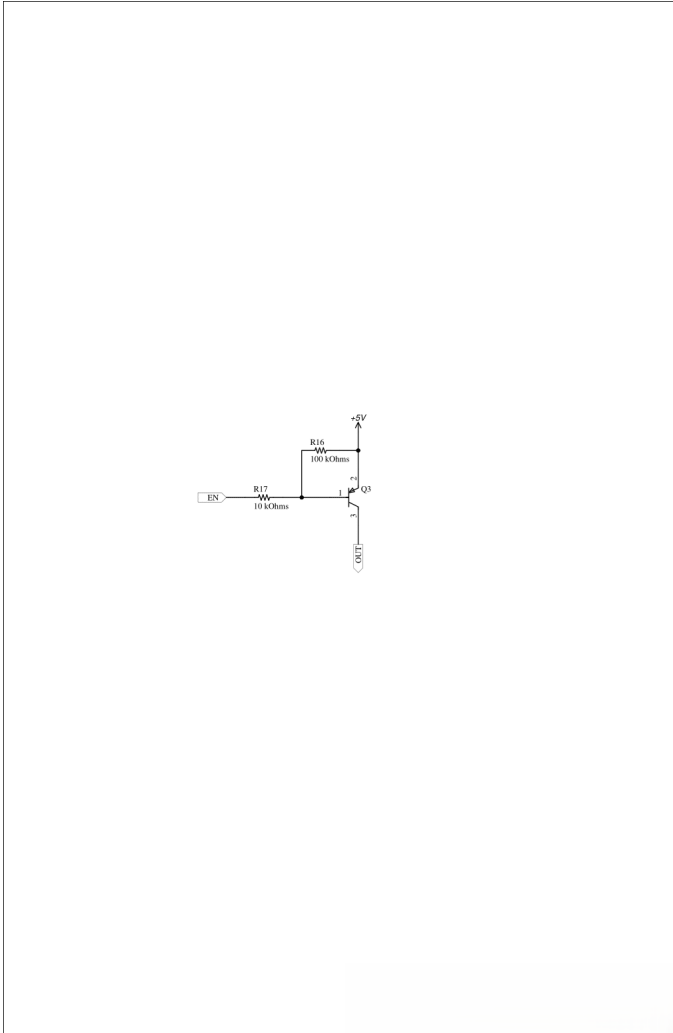


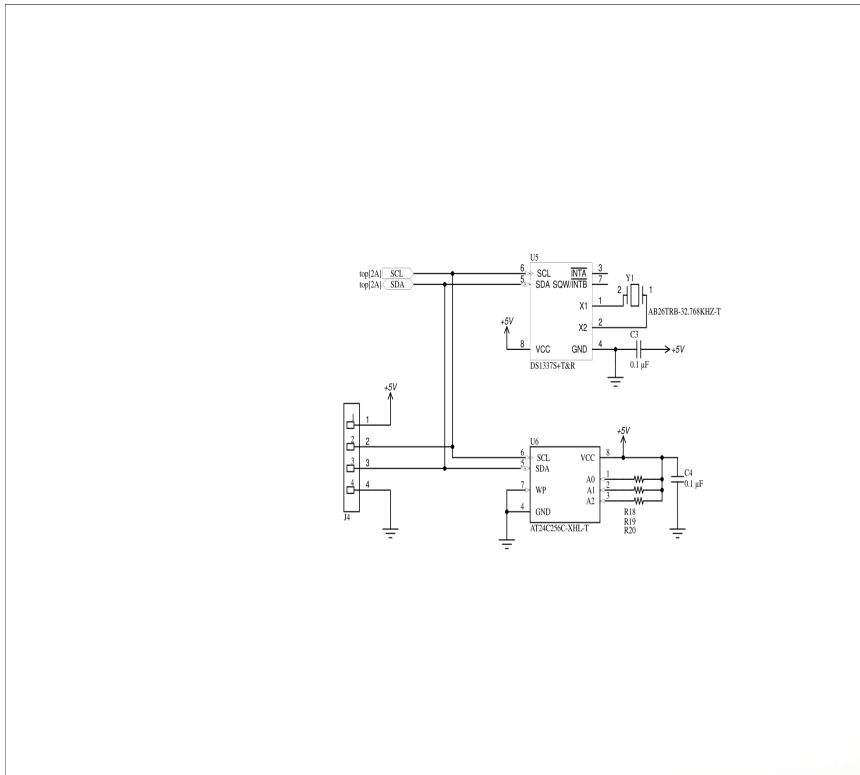
Схема подключения 7-сегментных индикаторов



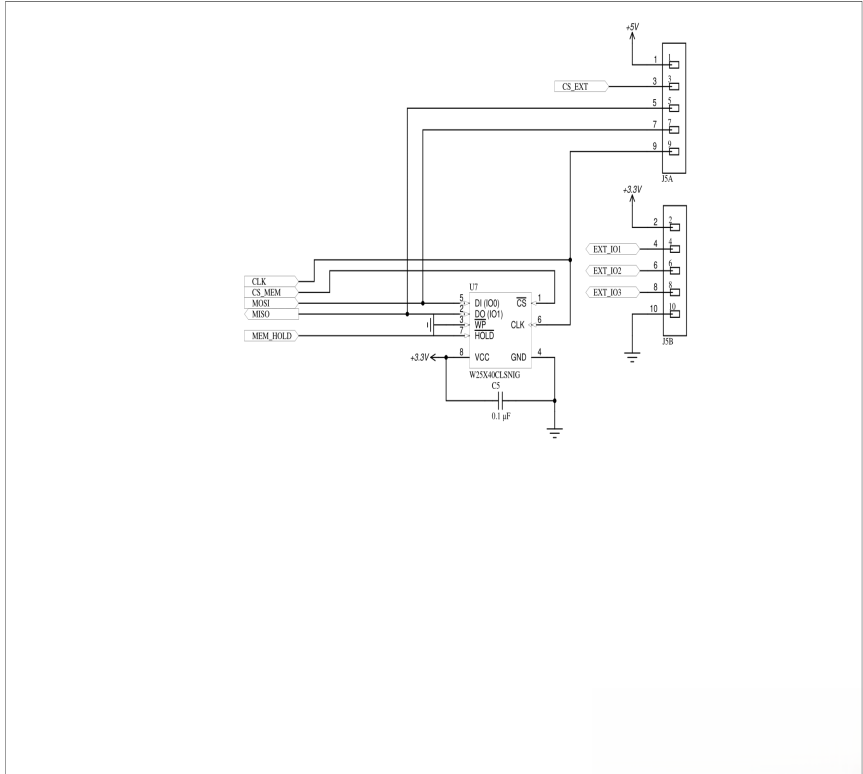
Драйвер 1 7-сегментного индикатора



Драйвер 2 7-сегментного индикатора

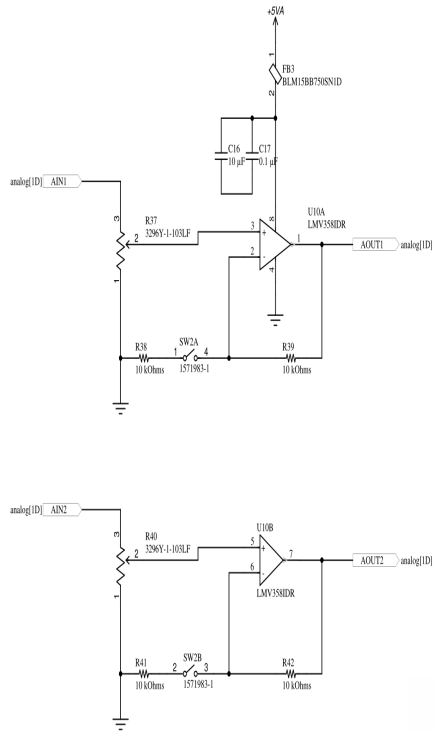


Подключение устройств по шине i2c



Подключение устройств по шине SPI





Блок ОУ

Власов Сергей Михайлович  
Жданов Виктор Андреевич  
Маргун Алексей Анатольевич  
Зименко Константин Александрович  
Кремлев Артем Сергеевич  
Галкина Дарья Алексеевна

**Программирование STM32 на HAL. Часть 2**  
**Лабораторный практикум**

В авторской редакции  
Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО  
Зав. РИО Н.Ф. Гусарова  
Подписано к печати  
Заказ №  
Тираж  
Отпечатано на ризографе

**Редакционно-издательский отдел  
Университета ИТМО**

197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49, литер А