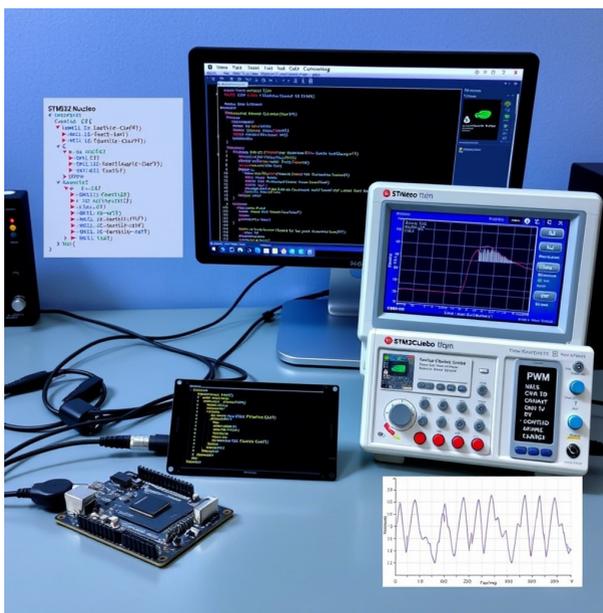




ПРОГРАММИРОВАНИЕ STM32 НА НАЛ. ЧАСТЬ 2



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 small circle at the top.

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:

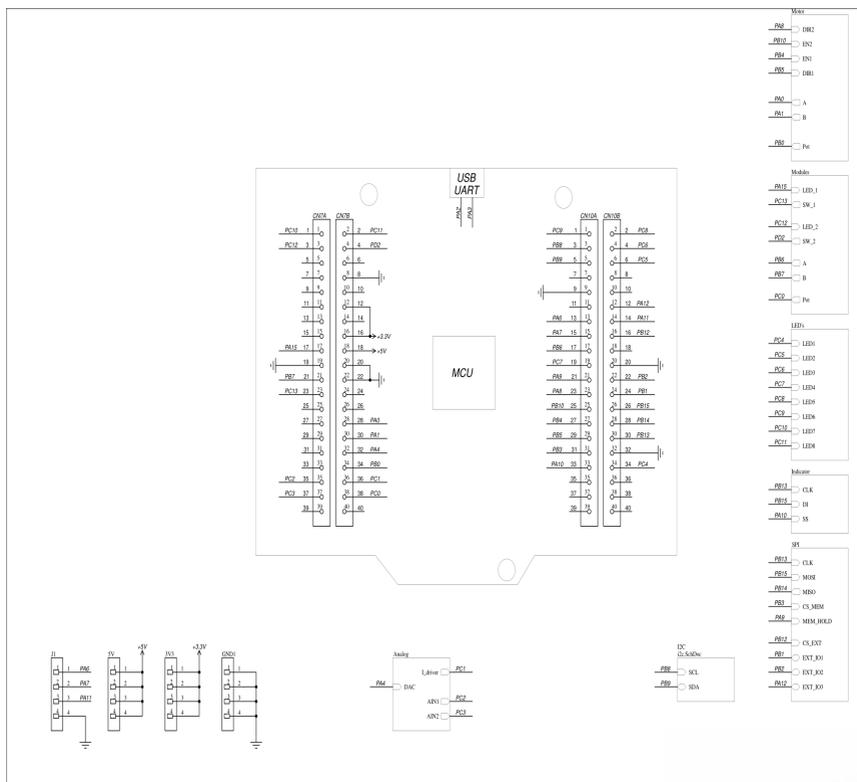
- Что такое интерфейс I²C, каковы его основные линии и каковы их функции?
- В чём заключаются преимущества и недостатки интерфейса I²C по сравнению с SPI и USART?

- Каким образом устанавливается скорость передачи данных по I²C, и какие стандартные режимы скорости существуют?
- Что такое адрес устройства в интерфейсе I²C и каким образом он используется при обмене данными?
- Как настроить модуль I²C 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

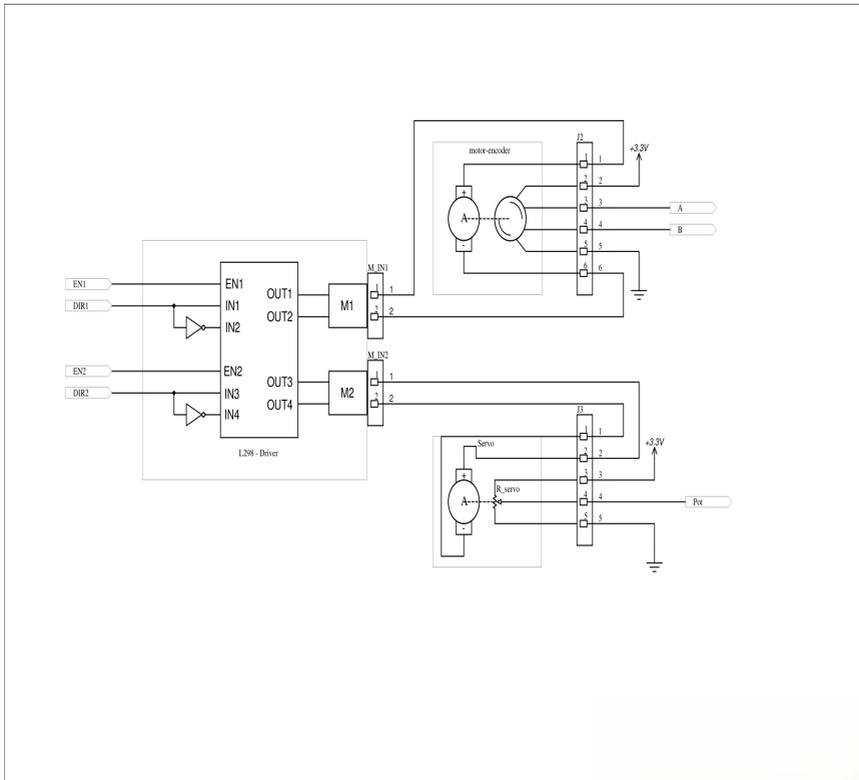


Схема подключения ДПТ

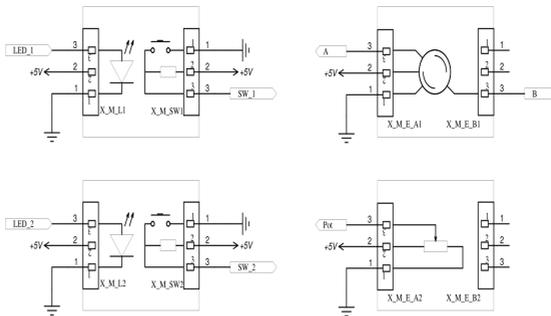
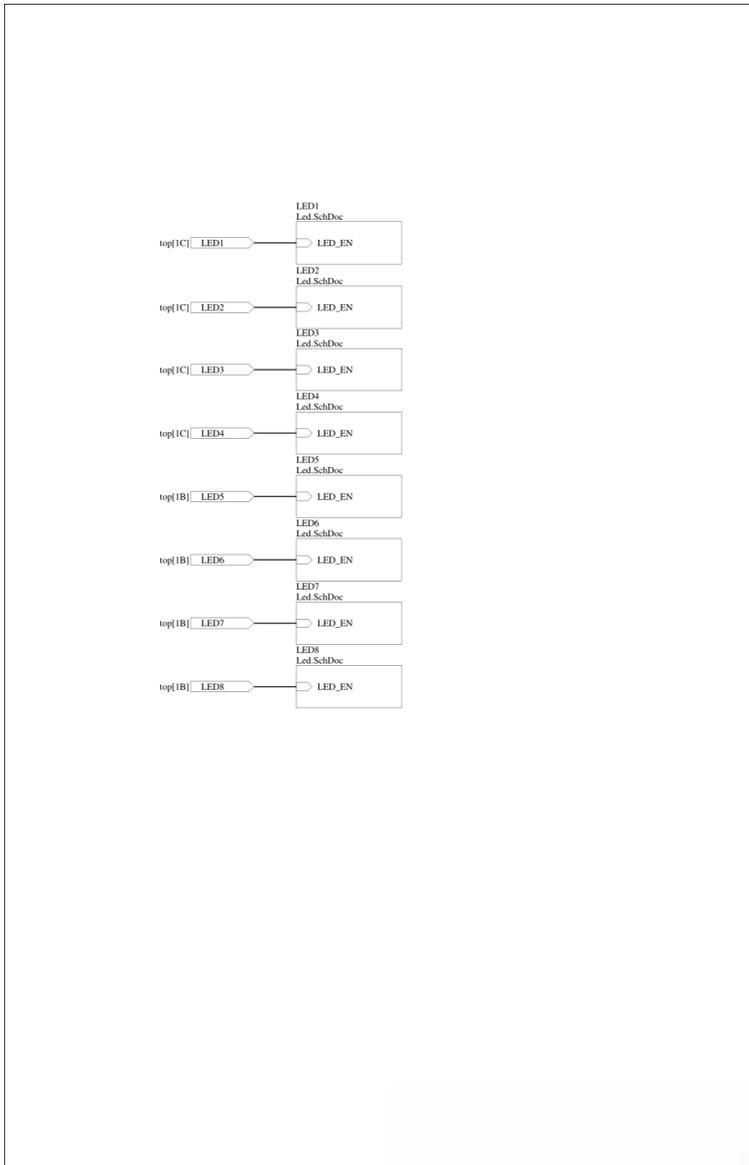


Схема подключения модулей



Блок светодиодов

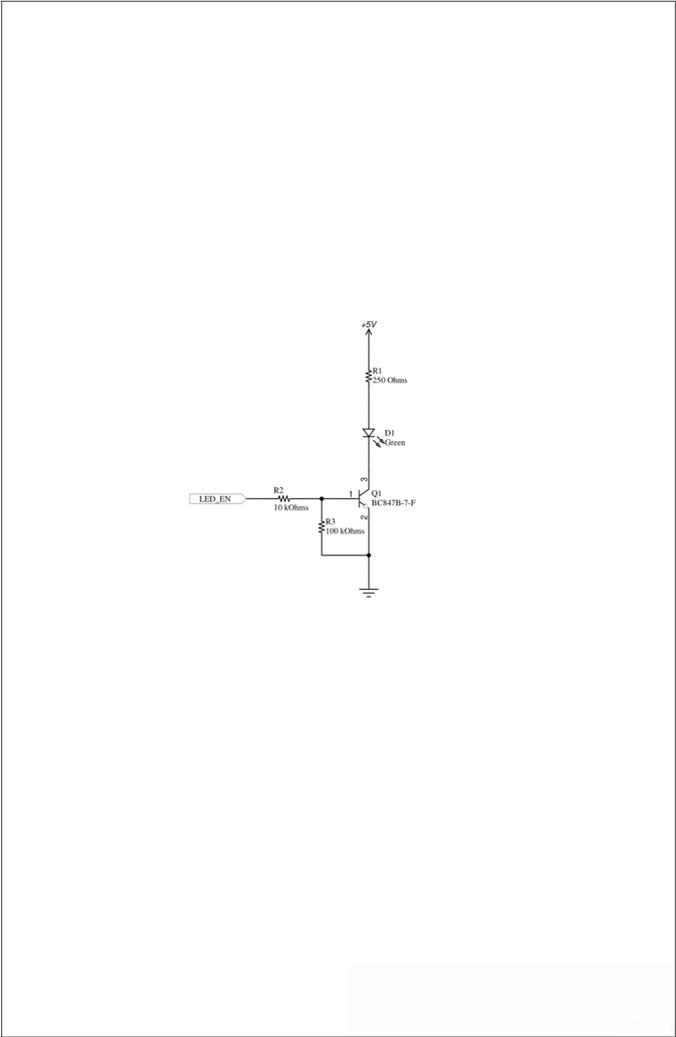


Схема подключения одного светодиода в блоке

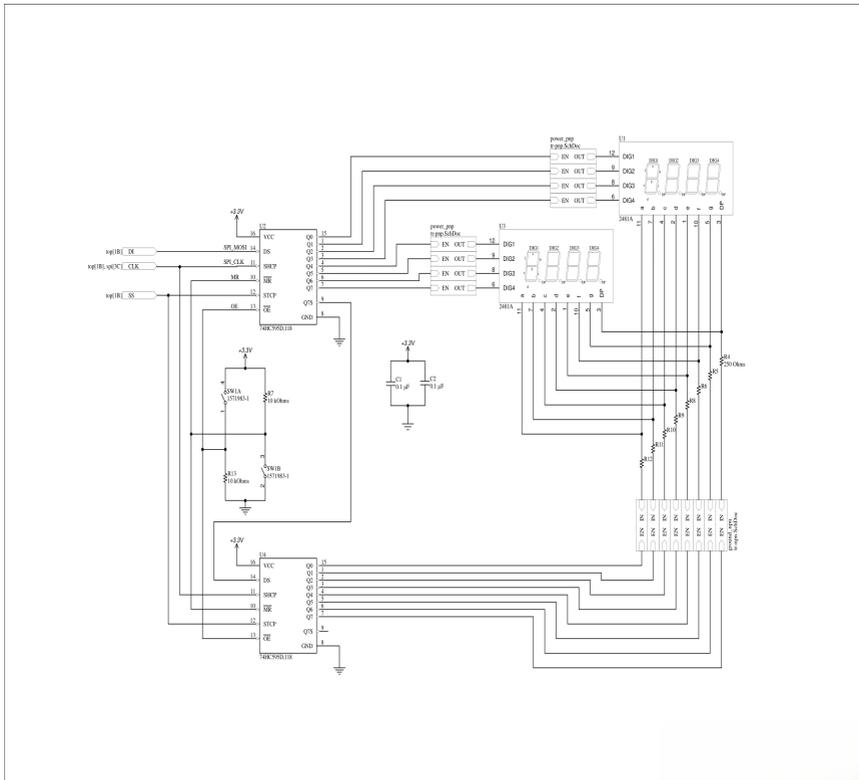
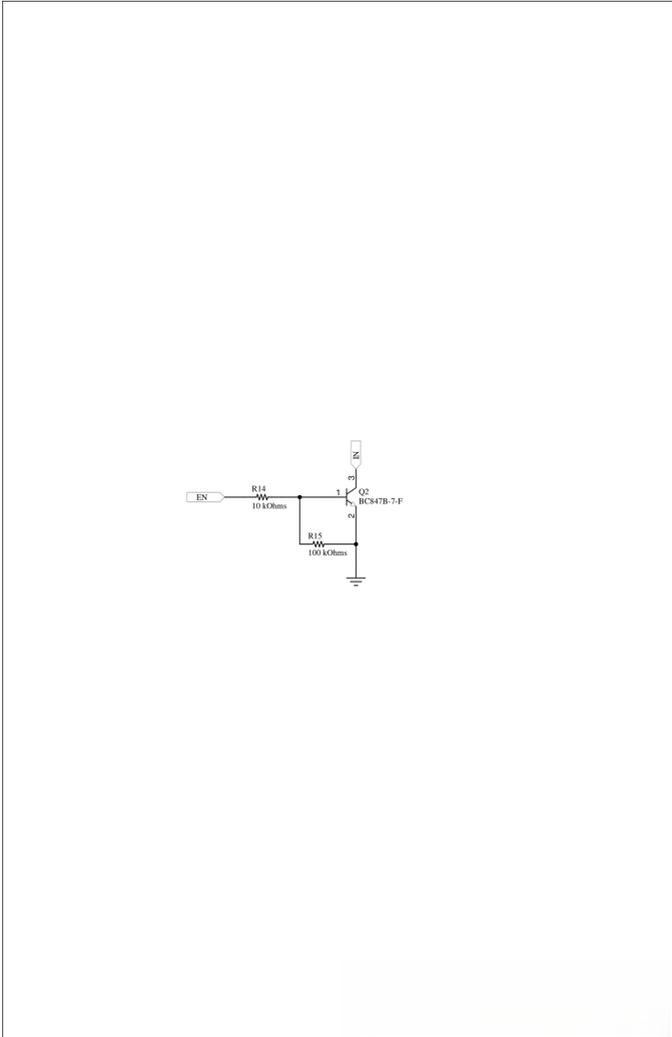
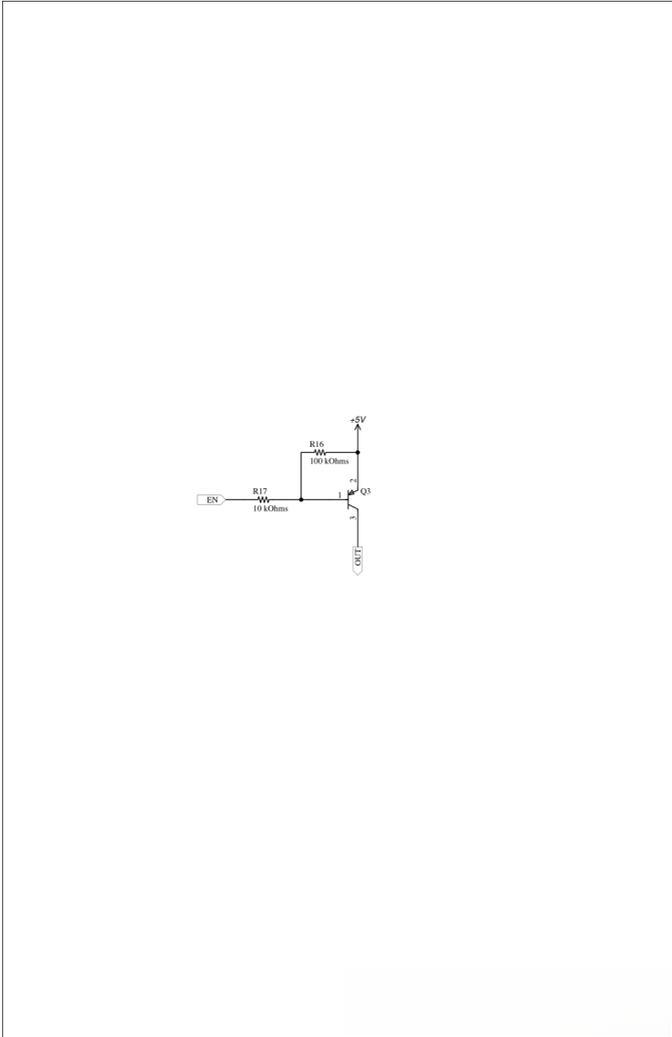


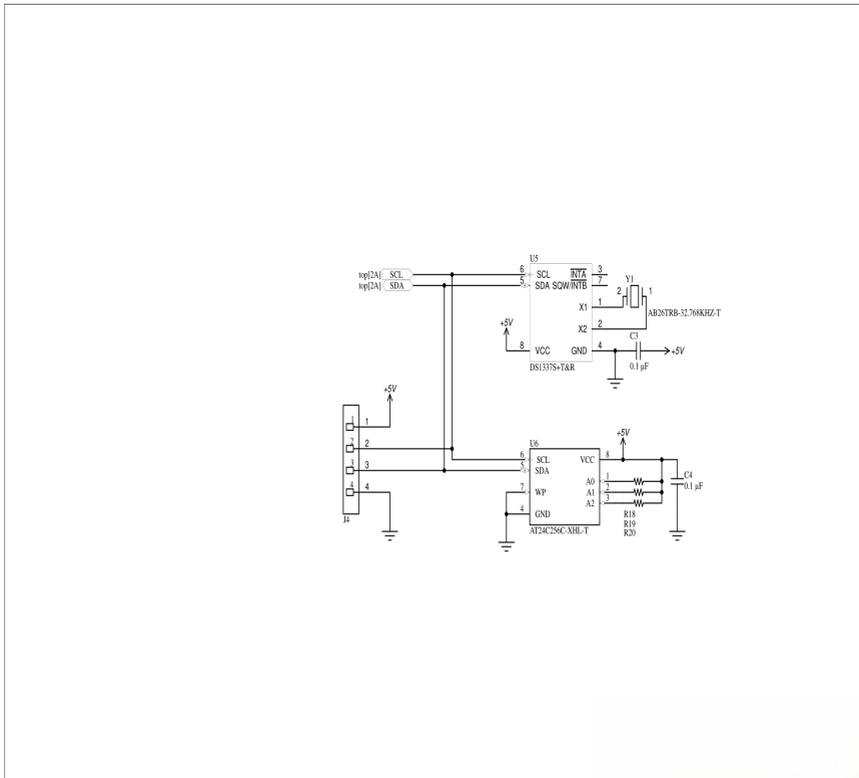
Схема подключения 7-сегментных индикаторов



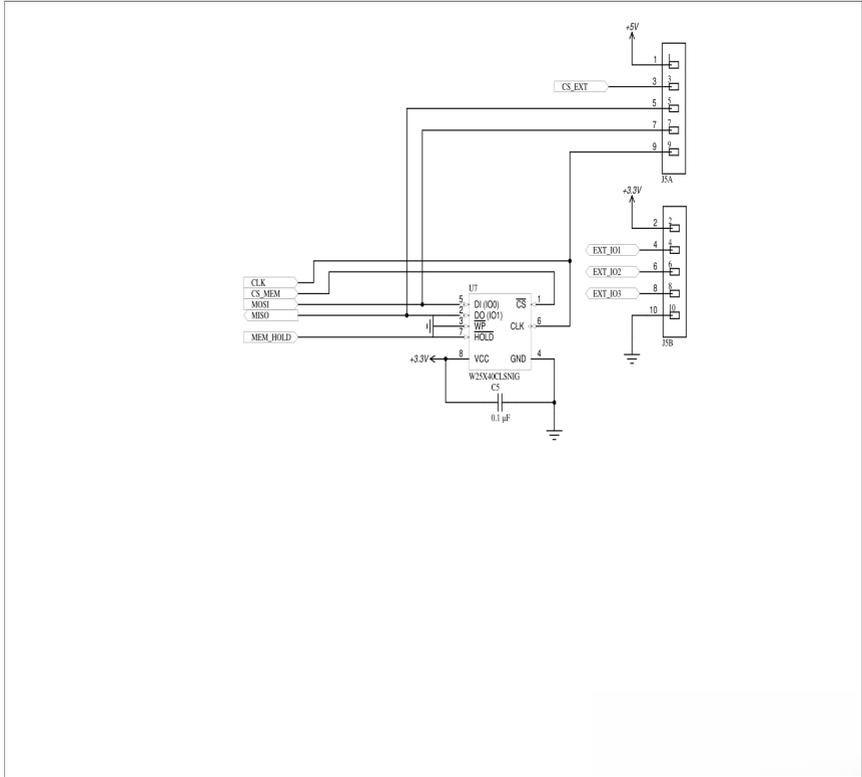
Драйвер 1 7-сегментного индикатора



Драйвер 2 7-сегментного индикатора



Подключение устройств по шине i2c



Подключение устройств по шине SPI

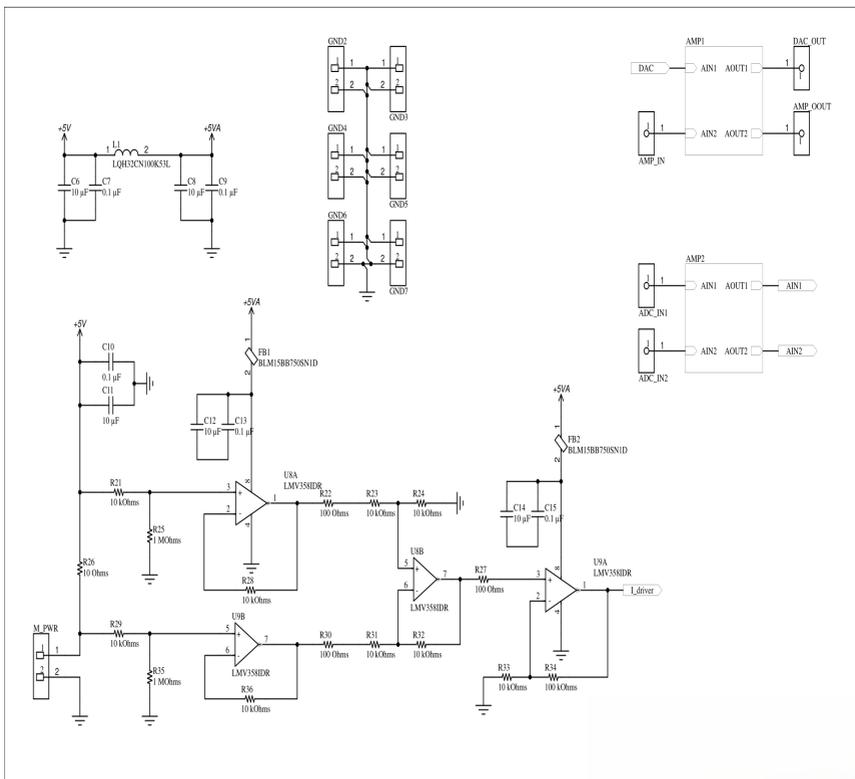
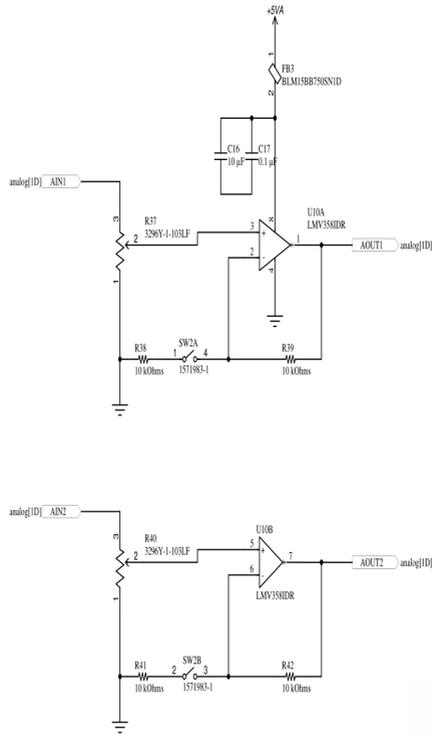


Схема работы с аналоговыми сигналами



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