I/İTMO

С.М. Власов, В.А. Жданов, А.А. Маргун, К.А. Зименко, Л. Сулейман, Д.А. Галкина

ПРОГРАММИРОВАНИЕ STM32 HA HAL. ЧАСТЬ 1



Санкт-Петербург 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

университет итмо

С.М. Власов, В.А. Жданов, А.А. Маргун, К.А. Зименко, Л. Сулейман, Д.А. Галкина ПРОГРАММИРОВАНИЕ STM32 НА НАL. ЧАСТЬ 1

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



Санкт-Петербург 2025 С.М. Власов, В.А. Жданов, А.А. Маргун, К.А. Зименко, Л. Сулейман, Д.А. Галкина. Программирование STM32 на HAL. Часть 1. — Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2025. — 38 с.

Рецензент:

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

В лабораторном практикуме рассматриваются физические основы дискретных электронных компонентов, их принципы работы и принципы построения простейших электронных схем.



Университет ИТМО (Санкт-Петербург) национальный исследовательский университет, ведущий вуз России 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 Ореп 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 InformationSystems). 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, 2025 © С.М. Власов, В.А. Жданов, А.А. Маргун, К.А. Зименко, Л. Сулейман, Д.А. Галкина, 2025

содержание

Введение	4
Начало работы в среде разработки STM32CubeIDE	5
Знакомство со средой разработки	7
Лабораторная работа №1	10
Цель работы	10
Аппаратное обеспечение	10
Программное обеспечение	10
Общие сведения	10
Порядок выполнения	10
Контрольные вопросы:	16
Лабораторная работа №2	17
Цель работы	17
Аппаратное обеспечение	17
Программное обеспечение	17
Порядок выполнения	17
Контрольные вопросы:	19
Лабораторная работа №3.	20
Цель работы	20
Аппаратное обеспечение	20
Программное обеспечение	20
Порядок выполнения	20
Контрольные вопросы:	21
Лабораторная работа №4	22
Цель работы	22
Аппаратное обеспечение	22
Программное обеспечение	22
Порядок выполнения	22
Контрольные вопросы:	23
Список литературы	24
Приложение А. Электрические схемы лабораторного стенда	25

Введение

Данный лабораторный практикум предназначен для освоения дисциплин «Программирование микроконтроллеров», «Цифровая и микроконтроллерная техника» и «Цифровая техника систем управления» в рамках образовательных программ направлений подготовки 15.03.06 «Мехатроника и Робототехника» и 27.03.04 «Управление в технических системах».

Основной целью пособия является формирование V обучающихся знаний и практических навыков программирования микроконтроллеров STM32 с использованием среды разработки STM32CubeIDE. В пособии содержатся пошаговые инструкции и методические рекомендации по выполнению лабораторных работ, направленных на изучение периферийных интерфейсов, включая GPIO, UART, таймеры, ЦАП и АЦП. В процессе выполнения лабораторных работ обучающиеся приобретают умения по настройке и конфигурированию периферийных модулей микроконтроллеров STM32, работе с отладочной платой Nucleo-F446RE и встроенным программатором-дебаггером ST-LINK/V2, программированию на языке С с использованием библиотеки HAL, работе с интегрированной средой разработки STM32CubeIDE.

Выполнение лабораторных работ способствует формированию у студентов компетенций, включающих способность разрабатывать программное обеспечение для встроенных систем, навыки работы с периферийными устройствами микроконтроллеров и их конфигурации для решения прикладных задач, применение метолов лиагностики и отладки программного обеспечения способность встроенных систем. \mathbf{a} также анализу Κ И проектированию архитектуры программно-аппаратных комплексов на основе микроконтроллеров.

Для успешного выполнения лабораторных работ рекомендуется ознакомиться coследующими источниками: Reference STM32F446, содержащий подробное описание Manual для всех периферийных модулей и их регистров; Datasheet на микроконтроллер STM32F446RE, включающий информацию характеристиках устройства, параметрах работы 0 функциональности; Description of HAL and low-layer drivers, предоставляющее информацию о библиотеке аппаратной абстракции HAL и низкоуровневых драйверах LL, которые упрощают программирование периферий.

4

Начало работы в среде разработки STM32CubeIDE

Создайте рабочую папку для проекта. Запустите STM32CubeIDE, в открывшемся окне задайте путь к вашей рабочей папке (Рисунок 1). В пути к рабочей папке и названии проекта не должно быть русских букв. В этой папке будут храниться все лабораторные работы.

DE STM32C	ibelDE Launcher	×
Select a dir STM32Cube	actory as workspace IDE uses the workspace directory to store its preferences and development artifacts.	
<u>W</u> orkspace:	E\Path\Workspace_Name	
□ <u>U</u> se this a ▶ <u>R</u> ecent W	s the default and do not ask again orkspaces	
	Launch Cancel	

Рисунок 1. Окно выбора рабочей папки

В появившемся окне (Рисунок 2) необходимо создать проект. Либо нажмите «Start new STM32 project», либо «File->New->STM32 Project».

File	Edit Source Refactor Navigate	Search Project	Run	Window Help	
	New	Alt+Shift+N >	6	Makefile Project with Existing Code	
	Open File		6	C/C++ Project	
۵,	Open Projects from File System		IDE	STM32 Project	
	Recent Files	>	нх	STM32 Project from an Existing STM32CubeMX Configuration File (.ioc)	
	Close Editor	Ctrl+W	2	Project	
	Close All Editors	Ctrl+Shift+W	63	Source Folder	
	Save		63	Folder	
	Save As.		C	Source File	
	Save All	Ctrl+Shift+S	h	Header File	
~	Revert		Ľ	File from Template	
	Maure		G	Class	
	Rename	E2	2	Other	Ctrl+N
	Pefrerb	ES			
-	Convert Line Delimiters To			, Your e	
				infor	
۳	Print	Ctrl+P			

Рисунок 2. Стартовое окно

После открытия окна выбора конечного устройства (Рисунок 3) в поле «Commercial Part Number» необходимо ввести наименование микроконтроллера. Наименование контроллера можно найти на отладочной плате. Возможные варианты – STM32F446RET.

CONTRACT AND A C	TUDT 1 State TUDT 2		CUMPU hiters		Features	Block Disatam	Dat	n & Renout	IC 65	Data	teedat	12	Buy
Product mo	EVICAL STATUS	Description Instruction Notice of Plank memory, 180 MHz CPU, ART Accessed on PPU, 121 Moyles of Plank memory, 180 MHz CPU, ART Accessed on PPU, 121 Moyles of Plank memory, 180 MHz CPU, ART Accessed on PPU, 121 Moyles of Plank memory, 180 MHz CPU, ART Accessed on PPU, 121 Moyles of Plank memory, 180 MHz CPU, ART Accessed on PPU, 121 Moyles of Plank memory, 180 MHz CPU, ART Accessed on PPU, 121 Moyles of Plank memory, 180 MHz CPU, ART Accessed on PPU, 121 Moyles of Plank memory, 180 MHz CPU, ART Accessed on PPU, 121 Moyles of Plank memory, 180 MHz CPU, ART Accessed on PPU, 121 Moyles of Plank memory, 180 MHz CPU, ART Accessed on PPU, 121 Moyles of Plank memory, 180 MHz CPU, ART Accessed on PPU, 121 Moyles of Plank memory, 180 MHz CPU, ART Accessed on PPU, 121 Moyles of Plank memory, 180 MHz CPU, ART Accessed on PPU, 121 Moyles of Plank memory, 180 MHz CPU, ART Accessed on PPU, 180 Moyles of Plank memory, 180 MHz CPU, 181 MHz CPU, 181 MHz CPU, 181 MHZ MHZ CPU, 181 MHZ			STMDE4 Series								
PRIODECT INFO STATUSZPARARETO High-performance housedation link, Am Contrast All core with DBP and PPU, a status	STM0274446EET Second Part House Resolution line, Area Cartes Machine Line and Part At Construction Day and Party 1, 122 Second Party and Party 1, 122 Second Party 1, 123 Second	STM32F446850 STM32F446850 STM32F446850 STM32F446850 STM32F446850 STM32F446850 STM32F446850 STM32F446850 STM32F44685 STM32F44685 STM32F44685 STM32F44685 STM32F44685 STM32F44685 STM32F4468 STM32F446 STM32F4468 STM32F4468 STM32F446 STM32F4468 STM32F446 STM32F44 STM32F446 STM32F44 STM32F4 STM32F44 STM32F4 STM32F44 STM32F4 STM32F STM32F STM32F STM32F STM32F STM32F STM32F STM32F ST	Part Number STM32F446RET	✓ ☆	STINSET & Series								
NELLOYY	Constraint of the set of the	SUGV >> GER >> MADD >> >> MADD >> >> >> >> >> >> >>> >>> >>>> >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>	PRODUCT INFO		STM32F446RET6	High-performa Kbytes of Flas	ince found in memory	iation lin r, 180 MH	e, Arm Cor iz CPU, AR	tex-M4 core T Accelerat	or, Dual Q	and FPU, 6 SPI	512
NEXIOO* >> Current term >> Current term >> Current term Current term >> Current term Current term <t< td=""><td>Constraints or middle Constraints Constra</td><td>SUGY >> BILE Provide III mass probability Provide IIII mass probability Provide IIIII mass probability Provide IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII</td><td></td><td></td><td>(779)</td><td>Unit Price for 10kU (</td><td>US\$): 5.0897</td><td></td><td></td><td>-</td><td></td><td></td><td></td></t<>	Constraints or middle Constraints Constra	SUGY >> BILE Provide III mass probability Provide IIII mass probability Provide IIIII mass probability Provide IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII			(779)	Unit Price for 10kU (US\$): 5.0897			-			
NUME > Image: Control of the second	The STALST-FARGE_Encode and based on the Insylpation manage Am ² Outer. M 12:20 HSSC cere spenting at a requirey of up to 150 MET. The Content Content and program of the Insylpation management of the STALST-FARGE_Encode and program of the Outer State of the Insylpation management of the STALST-FARGE_Encode and program of the Outer State of the Insylpation management of the STALST-FARGE_Encode and program of the Outer State of the Institute of Institute o	ESE NOTAXIE Constraints Constrain	MEMORY		Product is in mass production	Board MICLEDIES	ANDE			LOFP 6	4 10x10x1.4 mr		
ANALOG >> ORGENERTISHAGE >> DERINUL SANGOY FOR STATUS >> DER	The STURY-FAUCE device an state of the fing-performance AM 2004 REC core spectra at a Stepary of the bit form. The Origin AL 2004 REC core spectra at a Stepary of the bit form. The Origin AL 2004 REC core spectra at a Stepary of the bit form. The Origin AL 2004 REC core spectra at a Stepary of the bit form. The Origin AL 2004 REC core spectra at a Stepary of the bit form. The Origin AL 2004 REC core spectra at a Stepary of the bit form. The Origin AL 2004 REC core spectra at a Stepary of the bit form. The Origin AL 2004 REC core spectra at a Stepary of the bit form. The Origin AL 2004 REC core spectra at a Stepary of the bit form. The Origin AL 2004 REC core spectra at a Stepary of the bit form. The Origin AL 2004 REC core spectra at a Stepary of the bit form. The Origin AL 2004 REC core spectra at a Stepary of the bit form. The Origin AL 2004 REC core spectra at a Stepary of the bit form. The Origin AL 2004 REC core spectra at a Stepary of the bit form. The Origin AL 2004 REC core spectra at a Stepary of the bit form. The Origin AL 2004 REC core spectra at a Stepary of the bit form. The Origin AL 2004 REC core spectra at a Stepary of the bit form. The Origin AL 2004 REC core spectra at a Stepary of the bit form. The Origin AL 2004 REC core spectra at a Stepary of the Bit form. The Origin AL 2004 REC core spectra at a Stepary of the Bit form. The Origin AL 2004 REC core spectra at a Stepary of the Bit form. The Origin AL 2004 REC core spectra at a Stepary of the Bit form. The Origin AL 2004 REC core spectra at a Stepary of the Bit form. The Origin AL 2004 REC core spectra at a Stepary of the Bit form. The Origin AL 2004 REC core spectra at a Stepary of the Bit form. The Origin AL 2004 REC core spectra at a Stepary of the Bit form. The Origin AL 2004 REC core spectra at a Stepary of the Bit form. The Origin AL 2004 REC core spectra at a Stepary of the Bit form. The Origin AL 2004 REC core spectra at a Stepary of the Bit form. The Origin AL 2004 REC core spectra at a Stepary of the Bit form. The Origin AL 20	MLDS The TRUST / MUCE device an based on the type entremance Am [®] Cost [®] - MLD 4000C concerning and a type entremain of the type entremance and a type entremain of the type entremance and a type entremain of the type entre	TIMER	>									
ARACULO ARACULOR INTERFACE ARACULAR INTERFACE ARACU	to 100 kmC has due to be the standard stand	ULUU Lt To Status Annual Status To Sta			The STM32F446xC/E devices	are based on the hig	ph-performan	ice Arm [®] C	Contex®-M4 32	2-bit RISC core	operating at	a frequency	of up
COMMARGENOIS INTEGRACE >> USB HTERSH ALGONY THEREFACE >> DETERSIL MEMORY THEREFACE >>> DETERSIL MEMORY THEREFACE >>> DETERSIL MEMORY THEREFACE >>>	Construction of the second secon	AMARADATION (1995/ACC) > INTERPACE >	ANALOG		to 180 MHz. The Cortex-M4 co	ire features a floating	point unit (i	PU) single	precision su	oporting all Arr	n [®] single-pre	cision data-	
USE INTERVACE US	The STUDY-BUCE device incorporate https:-peed embodied memorys (Full memory up to 212 bytes, up to 123 bytes of Study, lip to 13 bytes (Study, Study, and Antone memory efficient memory up to 212 bytes, up to 123 bytes of Study, lip to 13 bytes (Study, Study, and Study, St	HITEPACE The TINDO'4 MCCC device incorporate traj-speciel emotopace (than speciel) and project emotopace (than sp	COMPANY INCOMENTATION INTERFACE	>	enhances application security.	ara types, it also impe	ements a full	set or USP	- instructions	and a memory	protection un	in (MPO) that	
UIII NITEYSZE	Example 1 and 2 and	a HISPACE a HISPACE b HIS	COMMUNICATION INTERPACE		The OTTODE LOCATE AND INC.	In a second state in the second	ad embedde	ed memorie	es (Flash men	tory up to 512	Ktyles, up to	128 Kbytes	to
EXERCISE All devices definitions? EXERCISE. In the Use principle grants purpose 154 times including the PMM times to inter 254 ACOS, the DALs, a law paper RTC, being principle grants and grants and times. The term of term	A device drift here: 15 de ACG. Les DuCa, les pour HTC, teute general-purpose 15 dit times neutrals teo PAM times for devic centre, tre averal-avoide 25 di Hinst, and teo PAM times for devic centre, tre averal-avoide 25 di Hinst, and the second averal-avoide 26 di Hinst, and the second avoide 26 di Hinst, a	TERMUL MEMORY HTTSPACE Af descend off time 12 k4 AGO, bit DAS, a bit gover RTC, heldin general grapping 16 bit times including the PMM times for index cells to be even all sources 2 k4 AGO, bit DAS, a bit gover RTC, heldin general grapping 16 bit times including the PMM times for index cells to be even all sources 2 k4 AGO, bit DAS, a bit gover RTC, heldin general grapping 16 bit times including the PMM times for index cells to be even all sources 2 k4 AGO, bit DAS, a bit gover RTC, heldin general grapping 16 bit times including the PMM times for index cells to be even all sources 2 k4 AGO, bit DAS, a bit gover RTC, heldin general grapping 16 bit times including the PMM times for index cells to be even all sources 2 k4 AGO, bit DAS, a bit gover RTC, heldin general grapping 16 bit times including the PMM times for index cells to be even all sources 2 k4 AGO, bit DAS, a bit gover RTC, helding general grapping 16 bit times including the PMM times for index cells to be even all sources 2 k4 AGO, bit DAS, a bit gover RTC, helding general grapping 16 bit times including the PMM times for index cells to be even all sources 2 k4 AGO, bit DAS, a bit gover RTC, helding general grapping 16 bit times including the PMM times for index cells to be even all sources 2 k4 AGO, bit DAS, and bit gover RTC, helding sources index all sources 2 k4 AGO, bit DAS, and bit gover RTC, helding sources index all sources 2 k4 AGO, bit DAS, and bit gover RTC, helding sources index all sources 2 k4 AGO, bit DAS, and bit gover RTC, helding sources index all sources 2 k4 AGO, bit DAS, and bit gover RTC, helding sources index all sources 2 k4 AGO, bit DAS, and bit gover RTC, helding sources index all sources 2 k4 AGO, bit DAS, and bit gover RTC, helding sources index all sources 2 k4 AGO, bit DAS, and bit gover RTC, helding sources index all sources 2 k4 AGO, bit DAS, and bit gover RTC, helding sources index all sources 2 k4 AGO, bit DAS, and bit gover RTC, helines sources all sources 2 k4 AGO, bit DAS, and bit gove	COmmonio Auron InflERPAGE		The STM32F446%C/E devices	incorporate nigh-spe							
Disset Comment of the second survey 52 kit mers. ORER FIETHING MODADERA List & Rems Index control, the second survey 52 kit mers. MODADERA List & Rems Index control, the second survey 52 kit mers. Index control, the second survey 52 kit mers. SOLRAPICS Disset Comment of this Particle Sollary SOLRAPIC Disset Comment of this Particle Sollary SOLRAPIC Disset Sollary Comment of this Particle Sollary SOLRAPICS Disset Sollary Comment of this Particle Sollary Comment of this OFER FIRINEENL Disset Sollary Sollary Comment of this <	Inducromov. No operate purpose 32 of times. MOUMPIn last. Lares MOUMPIn last. Lares MOUMPIN last. Lares Oromove altroit for the denove Average-Spectrosci-C, Back S, Pasage S,	Operation 2010 AC2 Instruct controls to general controls 20 4011mers. RES INTERVACE Active Address of the control of 20 4011mers. MICINARIO Active Address of the control of 20 4011mers. CORTY O O MICINARIOFICATION CORTY O O MICINARIOFICATION Distribution of the control of 20 4011mers. Distribution of 20 40111mers. Di <td< td=""><td>USB INTERFACE</td><td>></td><td>SRAM), up to 4 Kbytes of back</td><td>kup SRAM, and an en</td><td>densive rang</td><td>e of enhar</td><td>nced I/Os and</td><td>peripherals co</td><td>sinected to a</td><td>IO APB DUses</td><td>s, ewo</td></td<>	USB INTERFACE	>	SRAM), up to 4 Kbytes of back	kup SRAM, and an en	densive rang	e of enhar	nced I/Os and	peripherals co	sinected to a	IO APB DUses	s, ewo
OPER RTERVAZ > DAPNES > DAPNES > DEVENDS > COMMENTS Particle Interview COMMENTS PROVER INTERVIEW OF RESTREETS STRUCK44-Annue A Street OF STRUCK444EETS STRUCK44-Annue A Street	D Description Description Description 2 Commentative bits Particle Description	Disk ND2PACE Atthe Disk ND2PACE Disk ND2PACEE Disk	USB INTERFACE	>	SRAM), up to 4 Kbytes of back AHB buses and a 32-bit multi- All devices offer three 12-bit A	Incorporate nigh-spe kup SRAM, and an er AHB bus matrix. (DCs. two DACs. a low	densive rang	e of enhar	nced I/Os and eneral-purpos	peripherals co	including two	PWM timers	for
GRPHADS MCIL:MPIA (all 4 Allema MCIL:MPIA (allema) (allema MCIL:MPIA (allema) (allema)	MCUs/MPUs Last 4 items	MCM/ME/Let 4 iner Image and the second as a second	USB INTERFACE EXTERNAL MEMORY INTERFACE	>	AHB buses and a 32-bit multi- All devices offer three 12-bit A motor control, two general-pur	Incorporate nigh-spe kup SRAM, and an er AHB bus matrix. (DCs. two DACs, a low pose 32-bit timers.	densive rang w-power RTC	e of enhar 3. twelve ge	nced I/Os and eneral-purpos	peripherals co e 16-bit timers	sincluding two	PWM timers	for
GBUPHCG - Comment/Fill India Entropy Company Entropy Comp	* Commercial Partilio Particio Betternical Monaching_m2[pint Price 1_x] Date: X Fault 6 > ☆ STM32F445RET6 STM32F44_Active 5 (887) Moticion446 LOPP 64 1. 512 48/yets 128 48/yets 128 48/yets	OpenCIC 0 Compared Feats Factors Result Compared Feats Factors Result Compared Feats Factors Result Factors Result Factors Result Factors Result Factors Result Factors Result Factors		> >	SRAM), up to 4 Kbytes of back AHB buses and a 32-bit multi- All devices offer three 12-bit A motor control, two general-pur	Incorporate nigh-spe kup SRAM, and an er AHB bus matrix. JDCs, two DACs, a low pose 32-bit timers.	densive rang n-power RTC	e of enhar 3. twelve ge	nced I/Os and eneral-purpos	peripherals co e 16-bit timers	sincluding two	PWM timers	for
SECURITY 0 DIMINGHAGES STM024L Acres SEM1 COUPS ALL STM024L Acres SEM1 COUPS ALL STM024L Acres) ☆ STM32F446RET6 STM32F44Active 5.0897 WELCOF44. LQFP 64 1 512 kBytes 128 kBytes	SCORTY > 0 BIX02F44 ARM SCORTY x=0000 (2014) (20	USB INTERFACE EXTERNAL MEMORY INTERFACE OTHER INTERFACE	> > MCIn	SRAM, up to 4 Royes of back SRAM, up to 4 Royes of back AHB buses and a 32-bit multi- All devices offer three 12-bit A motor control, two deneral-pur	Incorporate night-spe kup SRAM, and an en AHB bus matrix. DCs, two DACs, a low pose 32-bit timers.	densive rang a-power RTC	e of enhar 3. twelve ge	nced I/Os and	peripherals co e 16-bit timers	s including two	PWM timers	for
Image: STM22F44RetTer STM22F44 Active 5.0937 L02P 64 5.12 Mp/se OTHER PERPHERAL Image: STM22F44 STM22F44 STM22F44 Active 5.465 L02P 64 5.12 Mp/se OTHER PERPHERAL Image: STM22F44 STM22F44 Active 5.465 L02P 64 5.12 Mp/se OTHER MEMORYTP STM22F44 Active 5.465 L02P 64 5.12 Mp/se		Φ STM25444EFTRR STM25444. Active 5 (987) LOPP 44.1. 50 (98) TER PERPHERAL > Δ STM25444. Active 5 (987) LOPP 44.1. 50 (98) 2	USB INTERFACE EXTERNAL MEMORY INTERFACE OTHER INTERFACE GRAPHICS	> > > MCUs	SRAM, up to 4 Koytes of bein SRAM, up to 4 Koytes of bein AHB buses and a 32-bit multi- All devices offer three 12-bit A motor control. two deneral-our	Incorporate nign-spe kup SRAM, and an en AHB bus matrix. DCs. two DACs, a low pose 32-bit timers.	densive rang «-power RTC splay similar i	e of enhar 2, twelve ge Iems	nced I/Os and eneral-purpos	e 16-bit timers	sincluding two	PWM timers	for
OTHER PERPHERAL > ☆ STM22F44RET7 STM22F44	STM32F446ME16TM STM32F44 Active 5.0897 LQFP 64 1 512 kBytes 128 kBy	HER PERPHERAL >> ☆ STM227446RET7 STM22744. Active 5.446 LQFP 64 1 512 kB/xos 128 kB/ ☆ STM227444RET7TR STM22744. Active 5.446 LQFP 64 1 512 kB/xos 128 kB/		> > > > MCUs	STANL, UP 4 KOVES of back SRAML, UP 4 KOVES of back ANB buses and a 32-bit multi- all devices offer three 12-bit A motor control. two general-pur MPUs List: 4 items Conneccul Part Ke STM207445RETE	Incorporate nign-spe kup SRAM, and an ex AHB bus matrix. IDCs, two DACs, a low pose 32-bit timers.	densive rang a-power RTC oplay similar i Reference STM32F44	e of enhar 2. twelve ge lerns Marketter Active	nced I/Os and eneral-purpos	e 16-bit timers	Including two Includi	PWM timers	6 Exp
CONTRACTOR STATZENE Artis 5.445 LOED 51 1 512 bit Artic	STM32F446RET7 STM32F44 Active 5.446 LQFP 64 1 512 kBytes 128 kBytes	☆ STM32F446RET7TR STM32F44 Active 5.446 LQFP 64 1 512 kBytes 128 kBytes	USB NTERFACE EXTERNAL NEMORY NTERFACE OTHER NTERFACE GRAPHICS SECURITY	> > > > > MCUs	SRADU, per La Kalon and Kalon	Introporate ngin-spin kup SRAM, and an en AHB bus matrix. IDCs. Inv DACs, a lov pose 32-bit limers.	densive rang n-power RTC play similar i Beference STM32F44. STM32F44.	e of enhar 2, twelve ge Isrns Markettiss Active Active	nced I/Os and eneral-purpos 	e 16-bit timers	Package LOFP 64 1	PWM timers	 for Exp 128 kB 128 kB
a office were presedent of the presedent	☆ STM32F446RET7TR STM32F44 Active 5.446 LQFP 64 1 512 kBytes 128 kBytes		USB INTERFACE USB INTERFACE EXTERNAL MEMORY INTERFACE OTHER INTERFACE GRAPHICS SECURITY OTHER PERIFHERAL	> > > > > MCUs	The ST M32F4480CE2 devices SRAM, up to 4 X596s of back AHB buses and a 32-bit multi- AHB buses and a 32-bit multi- Amble List: 4 items MPUs List: 4 items STM32F4486ET5 STM32F446EET5 STM32F446EET5	Introporate ngin-spe AND bus matrix. DCS, two DACS, al too pose 32-bit times.	densive rang n-power RTC play similar i Reference STM32F44. STM32F44.	e of enhar , twelve ge lerns Marketing Active Active	2003 5,0037 5,0037 5,0037	peripherals co e 16-bit limers 	Packape LOEP 64 1 LOEP 64 1 LOEP 64 1	PWM timers PWM timers 512 kBytes 512 kBytes 512 kBytes	 two for Exp 128 kB 128 kB 128 kB
PHYSICAL >		IYSICAL >	USB INTERFACE EXTERNAL MEMORY INTERFACE OTHER INTERFACE GRAPHICS SECURITY OTHER PERIPHERAL	> > > > > MCUs	The ST M32r4aboult berkes SRAMU, op to 43056 of basis ANS bases and a 32-bit multi- ANS bases and a 32-bit multi- ANS bases and a 32-bit multi- notor control. No seneral-our MPUs List: 4 items Constructed Part Bases STM22r446RETT STM32r446RETT	Introporate ngin-spec Augus SRAM, and an en AHB bus matrix. DOS, two DACS, a low pose 32-bit timers.	densive rang n-power RTC play similar i Boference STM32F44 STM32F44 STM32F44 STM32F44	e of enhar , twelve ge erns Merketter Active Active Active	LICS and eneral-purpos 5.0897 5.0897 5.445 5.445	= 16-bit timers	Package LOFP 64 1	PWM timers PWM timers 512 kBytes 512 kBytes 512 kBytes 512 kBytes 512 kBytes	 for for Exp 128 kB 128 kB 128 kB 128 kB 128 kB 128 kB
			VARIMUMACUMAN INFERPACE SIS INTERVACE XITERVAL NEMORY INTERPACE INFER INTERVACE ECURITY HER PERIPHERAL HYSICAL	> > > > > > C	The ST INSCI 4460UC before SHAP to see the of 422-64 most All devices offer three 12-64 A motor control. two denerations MPUs List 4 items STM2244468E15 STM2244468E15 STM2244468E17TR	Interpretate nagris-spectrum pup SRAM, and an es AHB bus matrix. LOCS, two DACS, a los pose 32-bit timers. Port No STM128'44	densive rang n-power RTC Determose STM32F44 STM32F44 STM32F44	e of enhar , twelve ge erns Morkettig Active Active Active	2011 Price 1 5.0897 5.445 5.445	=> Board	Processor Processor LOFP 64 1 LOFP 64 1 LOFP 64 1	PWM timers 512 kBytes 512 kBytes 512 kBytes 512 kBytes	 for for Exp 128 kB 128 kB 128 kB 128 kB 128 kB
	/		SIRINGRACIES INTERPACE SIS INTERPACE STITUER INTERPACE INTERPALIE INTERPACE ECURITY INTER PERIPHERAL HYSICAL	> > > > > C C C	The 5 InSQC*adaQUE download APE backs and a 32-bit mole APE backs and a 32-bit mole and download the time 12-bit A mole control. No general-but AMPUs List 4 items Conservation And Ampunet STML07-448RETETR STML07-448RETETR STML07-448RETETR	Introporate ngin-spe Augus SRAM, and an ex AHB bus matrix. LOSs, two DACS, a low pose 32-bit timers.	densive rang n-power RTC play similar i Boleronce STM32F44. STM32F44. STM32F44.	e of enhar 2, twelve ge arms Active Active Active Active	xed I/Os and eneral-purpos 5.0897 5.0897 5.445 5.445	Peripherals cc ie 16-bit timers -× Board	Peckape LQFP 64 1. LQFP 64 1. LQFP 64 1. LQFP 64 1.	 Fash Fash 512 kBytes 512 kBytes 512 kBytes 512 kBytes 	 for for Exp /ul>
			USEN INTERFACE USEN INTERFACE OTHER INTERFACE OTHER INTERFACE GRAPHICS SECURITY DTHER PERIPHERAL PHYSICAL	> > > > > > C C C	The ST NOCT ARACULC BAYERS WHY Devolves of a 20-bit molt- All devices offer three T-26-All MIDULELE Commonweal Barelian MIDULELE Commonweal Barelian STM20F444RETET STM20F444RETET STM20F444RETET STM20F444RETET	Incorporate right -page up SRAM, and an es whith Due matrix. Docs. thro DACs, a low pose 32-bit timers. Part loo STM32P44	densive rang a-power RTC Power RTC STM32F44 STM32F44 STM32F44 STM32F44	e of enhar 2. betwe ge lerns Active Active Active Active	x ed I/Os and eneral-purpos 5.0897 5.0897 5.0897 5.445 5.445	Deard	Package LQEP 64 1 LQEP 64 1 LQEP 64 1 LQEP 64 1	512 kBytes 512 kBytes 512 kBytes 512 kBytes	 for for Exp 128 kB 128 kB 128 kB 128 kB 128 kB
			USB INTERFACE EXTERNAL INSURY INTERFACE EXTERNAL INSURY NOTERFACE GRAPHICS SECURITY OTHER PERIPHERAL PHYSICAL	> > > > > > > >	I Real November 2014 Barbard Barbard All Bouss and a 20-bit mail- All device offer three Tool A All All devices offer three Tool A All devices offer three Tool A MPUs List: 4 issues STM02-448ET6 STM02-448ET67 STM02-448ET77R	Incorporate rigs-species up SRAM, and an ex- MHB bus matrix. DOS, two DACS, at on DOS the DACS, at on DACS, at on DACS, at on DOS the DACS, at on DOS the DACS, at on DOS the DACS, at on DACS, at on at on DACS	tensive rang n-power RT(Paterness STM32F44. STM32F44.	e of enhar below get errs Active Active Active Active	2 Unit Proce 1 5.0837 5.0837 5.445	Deard	Packape LQFP 64 1 LQFP 64 1 LQFP 64 1	PWM timers PWM timers 512 kBytes 512 kBytes 512 kBytes 512 kBytes	 for for Exp 128 kB 128 kB 128 kB 128 kB
			USE INTERFACE USE INTERFACE OTHER INTERFACE OTHER INTERFACE OTHER INTERFACE SECURITY OTHER PERPHERAL PHYSICAL	> > > > > > 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	HERMIN (as) to 4 biologies of base HERMIN (as) to 4 biologies Hospital as a biologies HERMIN (as) to 4 biol	Incorporate right specific up SRAM, and an exist AHD bue marks. Docts. thro DACS, at four prove 32-bit times. Part to Date to STM339'44	tensive rang n-power RTC play similar i Beteroco STM32F44. STM32F44. STM32F44.	e of enhar), twelve ge lerns Active Active Active Active	 X evi Pose 1 X evi Pose 1 5.0837 5.445 5.445 	Doard	Package LOFP 64 1 LOFP 64 1 LOFP 64 1 LOFP 64 1	PWM timers PWM timers 512 kBytes 512 kBytes 512 kBytes	 for for Exp 128 kB 128 kB 128 kB 128 kB
	<u>/</u>		SARRAWANIN MIERAAC SISRINERAAC ODER HIERACE ODER HIERACE SECURITY OREF REPRESAL PHYSICAL	> > > > > > > 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	ITRANI, NORTHANDER DE DE DES ITRANI, NORTHANDER DE DE DES ANDER DE DES ANTA SE DE MINI- Al device offer three Tool A A Al device offer three Tool A Al device offer three Tool A Al device offer three Tool A MPUs List: 4 isrus STM027448ETTR STM027448ETTR STM027448ETTR	Incorporate rigs-spectrum up SRAM, and an ex- Artib bus matrix. Dobs. thro DACS, at to Dobs 22-bit timers.	tensive rang n-power RTC play similar i Reference STM32F44. STM32F44	e of enhar 2, twelve ge lerns Active Active Active Active	x ed I/Os and eneral-purpos 5.0897 5.0897 5.445 5.445	->> Board	Processor Processor COPP 64 1. LOPP 64 1. LOPP 64 1.	PWM timers PWM timers 512 kBytes 512 kBytes 512 kBytes	 For Exp Exp 128 kB 128 kB 128 kB 128 kB 128 kB
	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		UNITED ALL CONTRACT OF A CONTR	> > > > > > > > >	IRPANI, voj ta Albudes / tabu IRPANI, voj ta Albudes / tabu Romanna / tabues /	Incorporate rigs-space up SRAM, and an ex- Artib bue matrix. 2025, thro DACS, at for pose 32-bit times. Part los STM329'44	tensive rang w-power RTC play similar in Reference STM30744. STM30744. STM30744.	e of enhar 2, twelve ge ierrs Active Active Active Active	xced I/Os and eneral-purpose 5.0897 5.0897 5.446 5.446 5.446	Examplerais co	Package LOFP 64 1. LOFP 64 1. LOFP 64 1.	PWM timers Fisch S12 kBytes S12 kBytes S12 kBytes	 For Exp Exp 128 kB 128 kB 128 kB 128 kB 128 kB
	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		GARINGALINE INTERFACE BETERAL EXTERNAL BENGRY OTHER INTERFACE GRANICS OTHER IPSINHERAL OTHER IPSINHERAL NYYSOLL	> MCUs > MCUs > c > c > c	IPPANI, val ja 4 Alovies of task IPPANI, val ja 4 Alovies of task Zoherman- Al devices of a 25-bit mol- Al devices offer time 12-24 Al Zoherman-	Incorporate Ingr-space upper SPAM, and an energy of the space ICCS. Into DACS, a to pose 32-bit limes.	tensive rang a-power RTC play similar i Reference STM32F44. STM32F44.	e of enhar), twelve ge lerns Morketiky Active Active Active Active	ccd I/Os and eneral-purpose 5.0897 5.0897 5.445 5.445	Penpherals cc e 16-bit timers	Including two Includi	PWM biners PWM biners 512 kBytes 512 kBytes 512 kBytes	 two for Ex 128 kit 128 kit 128 kit 128 kit
	· · · ·			> > > > > > > >	TRADING STATES AND STATES TO STATES	In Standard suprassion In Standard St Standard Standard Stand Standard Standard Stand Standar	tensive rang a-power RTC play similar i STM32F44. STM32F44 STM32F44	e of enhar 5, beeke ge erros Marketke Active Active Active	-> 2 virit Price 1 5 0837 5 0837 5 445	Peripherals cc Period Deard Deard Deard Deard	Package Dorf Age D	PWM timers 512 kBytes 512 kBytes	 two for Exp 128 kB 128 kB 128 kB 128 kB

Рисунок 3. Окно выбора конечного устройства

В следующем окне (Рисунок 4) необходимо ввести название проекта, выберите язык – С, типы выходного файла – Executable, тип проекта – STM32Cube; нажмите Finish. На сообщение необходимо ответить Yes.

		חו
Setup STM32 pr	oject	
Project		
Project Name:	Ir1	
🗹 Use default	location	
Location:	E:/projects/Cube/stuents_test	Browse
Executal Targeted Pr	ole O Static Library	
Targeted Pr	oject Type ube ○Empty	

Рисунок 4. Окно настроек проекта

Знакомство со средой разработки

На рисунке 5 изображена среда разработки STM32CubeIDE, которая используется для создания проектов, конфигурации и отладки микроконтроллеров STM32. В рамках лабораторных работ по программированию микроконтроллеров эта прелоставляет vдобный графический среда интерфейс. систематизированный набор инструментов и подробные средства отладки, что упрощает обучение и ускоряет разработку встроенных систем. Область «Project Explorer» (слева) отображает структуру включая папки с исходными файлами, текущего проекта, заголовочными файлами, конфигурационными файлами и т. д., что позволяет быстро переключаться между файлами, открывать их в редакторе, а также создавать новые или удалять ненужные.

Intro - Device Configuration Tool - 5 File Edit Navigate Search Project T - 10 0 0 - 5 - 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	TM32CubelDE Run Window Help ▲ Hello Victo • O • O • · · · · · · · · · · · · · · ·	x ◇ ◇ ▼ ◇ ▼ ♥ 0			- a ×
E % 7 8	Test_Project.ioc - Pinout &	Configuration			
> @ Includes	Pinout & Config	uration	Clock Configuration	Project Manager	Tools
> de linc y de Srr			✓ Software Packs	✓ Pinout	
> it main.c > it stm32f4oc_hal_msp.c > it stm32f4oc_it.c	Categories A->Z	<u> </u>		Pinout view PI System view	
> id syscalls.c > id sysmem.c > id sysmem.c > id system_stm32Hoo.c	System Core Analog	>		00 × 1	
B Drivers STM32F446RETX_FLASH.id STM32F446RETX_RAM.id	Timers Connectivity	>	lone long	* * * * * * * * * * * * * * * * * * *	
- recruption	Multimedia	>	En pike Peakikated Roc_dock_am Roc_dock_am Roc_dock_am Roc_dock_am Roc_dock_am	Vis., 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24	Trus
	Compding Middleware and Software Pac	<u>></u>	9 (19),200,200 9 (19) 9		
			ଷ୍ଟ 🖸 ର୍	🕒 🖆 💷 🗏 Q	~

Рисунок 5. Окно визуальной конфигурации микроконтроллера

Центральная вкладка «Pinout & Configuration» содержит схематическое представление микроконтроллера (Рисунок 6), где каждая ножка (пин) показана отдельно и может быть настроена (GPIO, альтернативные функции, периферийные интерфейсы и т. д.).



Рисунок 6. Графическое изображение микроконтроллера

В левой части окна расположены категории (System Core, Analog, Timers, Connectivity и др.), позволяющие выбрать нужный периферийный блок для конфигурации (Рисунок 7).



Рисунок 7. Область настроек периферийных блоков

Вкладка «Clock Configuration» (Рисунок 8) служит для настройки тактирования системы: выбора внутреннего или внешнего генератора, задания делителей тактовых сигналов и частот шин (АНВ, АРВ) и т. д., при этом графический интерфейс позволяет наглядно проследить цепочку генераторов и вычислить итоговые частоты



Рисунок 8. Окно настроек тактирования системы

Программирование микроконтроллера в STM32CubeIDE выполняется по следующему базовому алгоритму:

- При необходимости задайте параметры тактирования системы во вкладке Clock Configuration.
- В разделе Pinout Configuration настройте необходимые пины.
- Включите и настройте необходимые периферийные модули.
- Сохраните проект и нажмите GENERATE CODE. STM32CubeIDE автоматически сгенерирует базовый программный код, соответствующий параметрам, заданным в графическом конфигураторе.
- Напишите программу и скомпилируйте проект, нажав Build. Убедитесь, что процесс завершился без ошибок.
- Подключите микроконтроллер к компьютеру через отладчик ST-LINK и нажмите Run. Это загрузит скомпилированный код в память микроконтроллера.
- Если процесс загрузки выполнен успешно, в окне Console появится сообщение: Download verified successfully.

Лабораторная работа №1

Цель работы

• Получение навыков работы с периферией GPIO микроконтроллера серии F446RE.

Аппаратное обеспечение

• Лабораторный стенд.

Программное обеспечение

• STM32CubeIDE.

Общие сведения

• Порты ввода-вывода (англ. General-Purpose Input/ Output, GPIO)

Порядок выполнения

- На основе схемы лабораторного стенда определить пины, к которым подключены две кнопки (синяя и красная) и 8 светодиодов.
- В схеме лабораторного стенда изучить схему подключения кнопок.
- Разработать программу в соответствии с вариантом.
- Дополнительное задание: нажатие на кнопку должно отображаться включением подсветки кнопки (для этого нужно также определить пины, к которым подключены светодиоды кнопок).

Таблица 1. Исходные д	данные д	для ра	боты
-----------------------	----------	--------	------

Nº	Задание
Варианта	
1	«Счётчик с границами»: Отображать на 8 светодиодах двоичную запись переменной (например, var), изменяемой кнопками. • Начальное значение var = 0. Диапазон var: от 0 до максимально представимого числа для 8
	 бит (0 до 255). При нажатии красной кнопки var увеличивается на 1, если не достигнут максимум. Если var = 255, при нажатии красной кнопки значение не меняется. При нажатии синей кнопки var уменьшается на 1, если var > 0. Если var = 0, при нажатии синей кнопки значение не меняется.
2	 «Счётчик с циклическим переполнением»: Отображать на 8 светодиодах двоичное число (var), аналогично Варианту 1, но с другой логикой на границах: Начальное значение var = 0, диапазон значений от 0 до 255. При нажатии красной кнопки, если var < 255, увеличить его на 1. Если var = 255, при нажатии красной кнопки установить var = 0 (циклическое переполнение). При нажатии синей кнопки, если var > 0, уменьшить его на 1. Если var = 0, при нажатии синей кнопки установить var = 255 (циклическое задание максимума).
	Продолжение на следующей странице

Nº	Задание
Варианта	
3	«Пошаговое включение-выключение с реверсом»: • Начальное состояние: все светодиоды выключены.
	 Красная кнопка: при каждом нажатии загорается один светодиод, двигаясь от младшего (LED0) к старшему (LED7). Таким образом, красная кнопка «перемещает» включённый светодиод вперёд по порядку. Если включённым был самый старший светодиод (LED7), следующее нажатие красной кнопки возвращает систему в состояние без горящих светодиодов. Синяя кнопка: делает то же самое, но в обратном направлении – если светодиод «двигается» вперёд по красной, то синяя
	кнопка движет его назад. • Пример последовательности (кр = красная, син = синяя): – кр: 0b0000001 – кр: 0b0000010 – кр: 0b0000010 – син: 0b00000010 – син: 0b0000001 – син: 0b0000000
	Продолжение на следующей странице

Таблица	1	Исхолные	ланные	лля	работы
таолица	Τ.	полодивіс	дашыс	для	работы

Nº	Задание
Варианта	
4	«Нарастающее и убывающее заполнение»:
	• Начальное состояние: все светодиоды выключены.
	• Красная кнопка: при первом нажатии загорается LED0. При следующем нажатии дополнительно к уже горящим загорается следующий светодиод (LED1), и так далее, формируя «нарастающую» цепочку. Например:
	– кр: 0b0000001
	— кр: 0b00000011
	— кр: 0b00000111
	 до тех пор, пока не загорятся все светодиоды (11111111).
	 Синяя кнопка: работает в обратном порядке при нажатии синией кнопки цепочка укорачивается на один светодиод справа. Например:
	— син: 0b00000011
	— син: 0b0000001
	— син: 0b0000000
	Таким образом, красная кнопка расширяет область включённых светодиодов, синяя — сужает.
	Продолжение на следующей странице

Таблица 1. Исходные данные для работы

Nº	Задание
Варианта	
5	«Поэтапное симметричное заполнение и очистка»:
	• Начальное состояние: все светодиоды выключены.
	• Красная кнопка:
	 При первом нажатии загораются крайние светодиоды (LED0 и LED7): 0b10000001
	 При втором – к уже горящим добавляются ещё два крайних с каждой стороны к центру: 0b11000011
	 При следующем – 0b11100111
	– Ещё одно нажатие – 0b11111111 (все горят).
	 Когда все горят, следующее нажатие красной кнопки начинает обратный процесс – гаснут крайние пары:
	– кр: 0b01111110
	– кр: 0b00111100
	— и т.д., пока не погаснут все.
	• Синяя кнопка выполняет тот же процесс, но в
	обратную сторону: если красная «расширяет»,
	синяя «сужает», или наоборот, в зависимости
	от текущего состояния. То есть синяя кнопка
	меняет направление изменения паттерна.
	Прододжение на следующей странице
	mpodorine na cred remon erbannden.

Таблина	1.	Исхолные	ланные	лля	работы
таолица	±.	подпыс	данные	<u>д</u> , 121	paooibi

Nº Bapuautta	Задание			
барианта	«Комбинация».			
	 Начальное состояние: все светодиоды выключены. При нажатии какой-либо из кнопок 			
	последовательно, начиная с LED0, набирается сообщение в двоичной форме, где красная кнопка – «единица», светодиод горит, синяя – «ноль», светодиод не горит.			
	— кр: 0b00000001			
	— син: 0b00000010			
	— син: 0b00000100			
	— кр: 0b00001001			
	• При одновременном нажатии красной и синей кнопок сообщение сбрасывается (все светодиоды гаснут).			
7	«Тетрис»:			
	• Начальное состояние: все светодиоды выключены.			
	• Реализовать одномерный восьмибитный тетрис, где каждая «фигура» это один горящий светодиод.			
	• Когда все светодиоды заполняются «фигурами», система переходит в начальное состояние (все светодиоды гаснут).			
8	«Код Грея»: Реализовать задание из Варианта №1, но при этом, число отображается в форме кода Грея.			

Таблица 1. Исходные данные для работы

Контрольные вопросы:

- Что такое GPIO (General-Purpose Input/Output) и для чего он используется в микроконтроллере STM32?
- Какие существуют основные режимы работы GPIO?
- Какой смысл имеют режимы "Push-Pull" и "Open-Drain"?
- В каком случае на выходе стоит применять встроенные подтяжки (pull-up/pull-down), а когда внешние резисторы?
- Как правильно считывать состояние входа и как избежать "дребезга контактов" (contact bounce)?
- Какое напряжение может выдавать и принимать пины в цифровых режимах?

Лабораторная работа №2

Цель работы

• Получение навыков работы с периферией USART микроконтроллера серии F446RE.

Аппаратное обеспечение

- Лабораторный стенд,
- Логический анализатор.

Программное обеспечение

- STM32CubeIDE,
- Terminal.

Порядок выполнения

- Инициализировать пины кнопок и светодиодов из предыдущей лабораторной работы.
- На основе схемы стенда определить, какой USART используется для передачи данных на компьютер.
- Инициализировать пины для линий USART (TX и RX) и настроить сам USART (основные настройки: задать асинхронный режим работы, установить скорость передачи данных, включить глобальные прерывания от USART).
- Разработать протокол обмена данными с компьютером. Компьютер выступает главным устройством, МК отвечает на запросы. Пакет данных от компьютера должен содержать байты, идентификаторы начала и конца посылки.

Должны быть реализованы следующие команды:

Команда	Ответ		
Проверка связи (ping)	Повторяет принятую команду		
Включить все светодиоды	Повторяет принятую команду		
Выключить все светодиоды	Повторяет принятую команду		
Включение определенного	Повторяет принятую команду		
набора светодиодов в			
соответствии с вариантом			

Результат работы программы необходимо продемонстрировать при помощи утилиты Terminal и логического анализатора.

Таблица 2.	Исходные	данные	для	работы
------------	----------	--------	-----	--------

Nº	Задание				
Варианта					
1	Скорость передачи данных: 9600 бит/с.				
	Отправляется десятичное число (0–8). В				
	соответствии с этим числом загорается нужное				
	количество светодиодов.				
2	Скорость передачи данных: 14400 бит/с.				
	Светодиоды управляются по отдельности,				
	отравляется команда формата: № светодиода,				
	состояние.				
3	Скорость передачи данных: 19200 бит/с.				
	Состояние светодиодов отправляется в виде				
	двоичного числа, например, 0b11100011.				
4	Скорость передачи данных: 28800 бит/с.				
	Отправляется число десятичное (0–255).				
	Светодиоды отображают запись этого числа в				
	двоичной форме.				
5	Скорость передачи данных: 38400 бит/с.				
	Отправляется десятичное число (0–8). После этого				
	загораются все светодиоды, кроме светодиода под				
-	этим номером.				
6	Скорость передачи данных: 56000 бит/с.				
	Отправляется 0 или 1. Состояние светодиодов				
	отображает последовательную отправку нулей и				
	единиц.				
Продолжение на следующей странице					

Таблица 2. Ися	одные данные	ДЛЯ	работы
----------------	--------------	-----	--------

Nº	Задание				
Варианта					
7	Скорость передачи данных: 57600 бит/с.				
	Отправляется десятичное число (0–7), которое				
	соответствует длине шага (количество светодиодов),				
	который должен сделать горящий светодиод.				
8	Скорость передачи данных: 115200 бит/с.				
	Отправляется десятичное число (0–255).				
	Светодиоды отображают запись этого числа в				
	форме кода Грея.				

Контрольные вопросы:

- Что такое UART и для чего он предназначен?
- Как формируется и интерпретируется кадр данных UART (start bit, data bits, parity bit, stop bit)?
- Какие основные параметры конфигурации UART необходимо настроить?
- Зачем использовать прерывания при обмене данными по UART, если можно работать в режиме опроса (Polling)?
- Какие типы прерываний обычно генерируются периферией UART (прерывание по приёму байта, по окончанию передачи, по ошибкам)?
- Как отличить прерывание по приёму данных от прерывания по ошибке или по окончанию передачи?

Лабораторная работа №3

Цель работы

• Получение навыков работы с перифериями Timer и DAC микроконтроллера серии F446RE.

Аппаратное обеспечение

- Лабораторный стенд,
- Осциллограф.

Программное обеспечение

- STM32CubeIDE,
- Terminal,
- MultiVirAnalyzer.

Порядок выполнения

- В окне графической инициализации контроллера, используя внешний источник тактовых импульсов, во вкладке Clock configuration настроить частоту процессора в соответствии с вариантом.
- На основе схемы лабораторного стенда определить пины, к которым подключен один из каналов DAC.
- В окне графической инициализации контроллера включить нужный канал DAC.
- Выбрать таймер для формирования прерываний и определить его входную частоту. Рассчитать значения Prescaler и Counter Period.
- Включить глобальные прерывания от выбранного таймера.
- В main файле добавить callback-функцию таймера.
- В main функции запустить таймер и DAC.

- Разработать программу формирования синусоидального сигнала заданной частоты на выходе ЦАП. Начальные частоту и амплитуду сигнала выбрать в соответствии с вариантом.
- Разработать функцию для изменения частоты и амплитуды сигнала по команде через UART.

Результат работы программы необходимо продемонстрировать при помощи осциллографа.

Nº	Частота	Начальная	Начальная
Варианта	СРИ, МГц	частота	амплитуда
		синусоиды, Гц	синусоиды, В
1	100	5	0.4
2	110	10	0.8
3	120	15	1.2
4	130	20	1.6
5	140	25	2
6	150	30	2.4
7	160	35	2.8
8	170	40	3.2

Таблица 3. Исходные данные для работы

Контрольные вопросы:

- Для чего в микроконтроллере используются таймеры и чем отличаются базовые, универсальные (general-purpose) и передовые (advanced) таймеры?
- Как связаны тактовая частота ядра микроконтроллера, шина и входная частота таймера?
- Какие основные параметры настраиваются при работе с таймером?
- Каков общий принцип работы цифро-аналогового преобразователя?
- Что такое разрешение ЦАП (например, 8, 12 бит) и как оно влияет на качество выходного сигнала?

Лабораторная работа №4

Цель работы

• Получение навыков работы с периферией ADC микроконтроллера серии F446RE.

Аппаратное обеспечение

- Лабораторный стенд
- Осциллограф.

Программное обеспечение

- STM32CubeIDE,
- MultiVirAnalyzer,
- Matlab Simulink.

Порядок выполнения

- Повторить шаги 1–8 из лабораторной работы №3.
- Изменить скорость передачи данных USART на 1000000 бит/с.
- На основе схемы лабораторного стенда определить пины, к которым подключен один из каналов ADC.
- В окне графической инициализации контроллера включить нужный канал ADC.
- Выбрать таймер для формирования прерываний для отправки данных через USART в Simulink и определить его входную частоту. Рассчитать значения Prescaler и Counter Period. Частота прерывания для отправки данных должна быть равна 1кГц.
- Включить глобальные прерывания от выбранного таймера.
- В main функции запустить выбранный таймер.

• В обработчике прерывания таймера необходимо сформировать пакет данных для отправки в matlab, отправить пакет и запустить преобразования на АЦП.

Результат работы программы необходимо продемонстрировать при помощи осциллографа.

Nº	Частота	Начальная	Начальная
Варианта	СРИ, МГц	частота	амплитуда
		синусоиды, Гц	синусоиды, В
1	100	5	0.4
2	110	10	0.8
3	120	15	1.2
4	130	20	1.6
5	140	25	2
6	150	30	2.4
7	160	35	2.8
8	170	40	3.2

Таблица 4. Исходные данные для работы

Контрольные вопросы:

- Каков общий принцип преобразования аналогового сигнала в цифровое значение?
- Что такое разрядность (разрешение) АЦП (например, 12, 16 бит) и как она влияет на точность измерений?
- Как связаны опорное напряжение (Vref) и максимальное входное напряжение, измеряемое АЦП?
- В чём разница между одиночным (Single) и непрерывным (Continuous) режимами?
- Как помехи (шумы) могут искажать показания АЦП и каким образом можно снизить их влияние?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 STM32CubeIDE. Integrated Development Environment for STM32. URL: https://www.st.com/en/developmenttools/stm32cubeide.html (дата обращения: 13.01.2025).
- 2 NUCLEO-F446RE. STM32 Nucleo-64 development board with STM32F446RE MCU. URL: https://www.st.com/en/evaluationtools/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 лабораторного стенда

схемы

PBro EN2 - PB4 - ENI P85 DR 840 PAT B PB0 Dec Modules USB UART PA15 LED_I PC10 SW_1 SN2 CN78 CNTRA - AC12 _____ LED_2 PCA P02 SW_2 0⁴ 4 PD2 0⁴ 4 PD8 0⁶ 6 0⁸ 8 PC5 P85 A 0 6 P87 B 08 8 0 10 10 10 12 12 2 10 PCP Pre 11 16 d² 12 PM12 d² 12 PA12 d³ 14 PA17 d⁵ 16 PB12 d⁸ 18 d⁹ 20 13 1 14 14 16 16 LED's 15 1 PA7 15 15 AC4 LEDI d⁸ 18 → sy PBS 17 12 9415 17 17 PCS LEDO 20 20 11 12 PC7 19 13 3¹ 22 P82 4 44 A91 3¹ 24 A91 3¹ 26 782 3¹ 27 782 3¹ 28 7815 3¹ 29 782 3¹ 29 782 3¹ 29 783 3¹ 39 49 -POF LEDI MCU 2² 22 || 1 2⁴ 24 2⁶ 26 P87 21 21 FAB 21 2 PC7 LED4 AN 23 23 PC15 23 23 PCE LEDA 25 25 PB10 25 3 - PC9 _____ LED6 2³ 28 PA0 PB4 27 27 PCM LED! 23 23 30 30 AN1 ABS 29 23 PCH LEDI 31 13 3² 32 PM P80 31 3 PA10 33 33 35 35 0-30-799 0-34-980 0-36-901 0-36-9 Infester PG2 35 35 P8/3 CLK PC3 37 77 39 78 37 12 P875 DI PATO SS SPI P813 CLK P815 MOS _____MB0 - PB3 CS_MEM AND NEW JICED P812 CS_EXT IIC iIr.SchDec ABE SCL Litive 🗆 ANI PCZ AIN2 PC3

Общяя схема подключений



Схема подключения ДПТ



Схема подключения модулей



Блок светодиодов







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 Сулейман Лейла Галкина Дарья Алексеевна

Программирование STM32 на HAL. Часть 1

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