

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»

Кафедра №43

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ
ДИСЦИПЛИНЫ «Программирование встроенных приложений»

Санкт-Петербургский
государственный
аэрокосмический
университет

Содержание:

1	Цель реализации дисциплины «Программирование встроенных приложений».....	2
2	Общие указания к самостоятельной работе.....	3
2.1	Руководство к выполнению проверочной работы.....	3
3	Обязательное содержание отчёта.....	6
4	Литература.....	7

1 Цель реализации дисциплины «Программирование встроенных приложений»

Основной целью курса является – обучение принципам организации современных встраиваемых систем и первоначальным навыкам программирования встраиваемых приложений.

Встраиваемая система (embedded system) – специализированная цифровая система управления, контроля и мониторинга, концепция разработки которой заключается в том, что такая система будет работать, будучи встроенной непосредственно в устройство, которым она управляет. Основой построения простых встроенных систем часто служат одноплатные (однокристальные) цифровые вычислители (микроконтроллеры), специализированные или универсальные микропроцессоры, ПЛИС. Среди многочисленных современных многофункциональных устройств широко используются микропроцессоры архитектуры ARM.

Программирование встраиваемых систем имеет некоторые особенности:

- во встраиваемых системах ресурсы (память и вычислительная мощность процессора) ограничены;
- встраиваемые системы, как правило, работают в режиме реального времени, непрерывно, в течение всего срока эксплуатации;
- для встраиваемых систем существует множество вариантов операционных систем, но обычная практика — это вариант работы вообще без операционной системы;
- аппаратная часть каждой встраиваемой системы уникальна и зависит от устройства, которым она управляет.

Результатом изучения курса должны стать:

- представления о принципах работы RISC архитектуры ARM Cortex-M3 процессоров на примере 32х-битных микроконтроллеров STM32F103x;
- знания принципов организации архитектуры встраиваемых систем;
- навыки написания программ на языке *c/c++* контроля подключенных к микроконтроллеру внешних устройств (датчики, средства индикации, интерфейсы);
- навыки использования измерительных инструментов для отладки встраиваемых приложений.

Данные об общем объеме самостоятельной работы представлены в таблице 1.

Таблица 1

Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость

Вид самостоятельной работы	Всего, час	Семестр №8, час
1	2	3
Самостоятельная работа, всего	151	151
изучение теоретического материала дисциплины (ТО)	86	86
курсовое проектирование (КП, КР)	45	45
Подготовка к текущему контролю (ТК)	20	20

Основным видом подготовки по дисциплине является самостоятельная работа обучающихся. В ходе выполнения самостоятельной работы, студент выполняет работу по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

2 Общие указания к самостоятельной работе.

Поскольку основной целью курса является получение обучающимися необходимых навыков в области программного обеспечения встроенных систем, то основной упор сделан на развитие практического навыка программирования микроконтроллеров. Поэтому работа поделена на две части: первая часть выполняется дома самостоятельно в симуляторе с оформлением отчёта; вторая часть в лаборатории.

Поскольку время на каждую работу в лаборатории ограничено, необходимо дома самостоятельно подготовиться, изучив заранее методические материалы и выполнить практическую работу на симуляторе, оформить отчёт и загрузить в личный кабинет на проверку. Наличие отчёта является необходимым условием для получения оценки выше удовлетворительно.

2.1 Руководство к выполнению проверочной работы

URL: https://github.com/vocmok/Simul_guide_Keil_STM32F103X/blob/main/lab_z.pdf

Проекты примеров к каждому разделу: https://github.com/vocmok/Simul_guide_Keil_STM32F103X

Каждому студенту выполнить свой вариант практических заданий к разделам 2,3,4,5,6. Оформить в виде одного отчёта и загрузить в ЛК. Варианты определить по номеру списка в

журнале. Совпадение вариантов у разных студентов не допускается. Старосте выслать на почту нумерованный список группы.

В лаборатории предусмотрено две лабораторных работы: первая – изучение принципов программной настройки подсистемы прерываний микроконтроллера; вторая – изучение принципов автоматного программирования как механизма организации управления периферийными подсистемами микроконтроллера. По каждой лабораторной работе оформляется отчёт и защищается с выставлением оценки.

Теоретический материал для изучения указан в таблице 2. Поскольку половина материала для изучения представлена на английском языке, разъяснения по непонятным разделам можно найти в русскоязычном интернете.

Таблица 2

Содержание разделов и тем лекционных занятий

Номер раздела	Название и содержание разделов и тем лекционных занятий	Литература и разделы для изучения
I	Архитектура встроенных систем. Тема 1. Основные понятия и принципы построения встроенных систем. Организация работы микроконтроллера. Общие понятия проектирования и программирования встроенных систем. Процесс проектирования встраиваемых систем. Понятие микроконтроллера. Понятие архитектура системы команд. Общая схема работы ядра микроконтроллера с памятью. Процессор Cortex-M4. Регистры процессора. Карта памяти процессора Cortex-M4, основные разделы. Блок - схема STM32F303xC, назначение подсистем.	[1] Разделы 1, 3. [2] Разделы 3, 4, 6: п. 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6; п. 6.12. [3] Главы 2, 3, 5: п. 5.1, 5.2, 5.3; п. 5.6, 5.7, 5.8. Глава 6, 10.2, 10.3. [4] Раздел 3. [5] Разделы 1.3, 2.
II	Принципы программирования встроенных приложений. Тема 2. Принципы программного управления: подсистемой сброса и синхронизации; портами ввода/вывода; контроллёром прерываний; таймерами. Стандарт CMSIS. Подсистема тактирования и сброса MK STM32F3x (RCC). Понятие дискретных цифровых сигналов, логических входов/выходов. Структурная схема управления линией порта ввода/вывода MK STM32F3x (GPIO). Система прерываний. Основные определения. Архитектура исключений ARM Cortex_M3/4. Контроллер вложенных векторных прерываний (NVIC). Регистры NVIC. Системный таймер SYSTICK. Диаграмма работы системы прерываний. Расширенный контроллер прерываний и событий EXTI.	[2] Раздел 7, 8, 9.5. [3] Глава 7, 8, 9, 10.4, 20.8. [4] Разделы 9, 11, 14, 15, 17. [5] Подразделы 4.3, 4.4.5, 4.5.

	Понятие таймера на основе счётчика. Принцип работы простого таймера, таймера общего назначения. Каскадирование таймеров. Структурная схема таймера с расширенным функционалом. Режимы работы каналов таймера. Понятие ШИМ. Энкодер.	
III	<p>Принципы организации операционных систем для встроенных приложений.</p> <p>Тема 3. Основные подходы к построению ПО.</p> <p>Принципы автоматного программирования. Понятие мультизадачной системы, встраиваемой ОС, процесса (задачи), потока. Планирование задач, реентерабельность. Архитектура ОС. Операционная система реального времени CMSIS-RTOS RTX.</p>	<p>[2] Подразделы 10.1, 10.2, 10.3, 10.4</p> <p>[3] Глава 12. http://easyelectronics.ru/ img/ARM_kurs/FreeRTOS/Kurniz.pdf</p>

Дополнительно используйте руководство [6] для расширенного изучения возможностей микроконтроллера STM32.

В интернете много лекций по программированию встраиваемых приложений, систем, микроконтроллеров, рекомендую цикл лекций Олега Артамонова. Практическое применение детально показано в лекции №9. Рекомендую начать с неё.

URL адрес	Наименование
Курс лекций «Программирование микроконтроллеров» на ТВ МИРЭА	
https://youtu.be/qiSjLxeyNv4	Лекция №1
https://youtu.be/D-KhL0o9SQ4	Лекция №2
https://youtu.be/OfBruktDjWc	Лекция №3
https://youtu.be/4uoC52pQOxE	Лекция №4
https://youtu.be/S0IJ_vVp8Gg	Лекция №5
https://youtu.be/yhfsqjX_75k	Лекция №6
https://youtu.be/UYadbGMS9sg	Лекция №7
https://youtu.be/dBsjbF6SivA	Лекция №8
https://youtu.be/jQneH8JB8Ig	Лекция №9 часть 1
https://youtu.be/jArH9TdtFvY	Лекция №9 часть 2

Более детальное рассмотрение STM32 и его периферии в лекциях ФРТК МФТИ:
https://youtube.com/playlist?list=PLhtMaaf_npBzsEQ94eGn5RnuE-VdGVOBr.

3 Обязательное содержание отчёта

По II разделу:

- 1) Текст задания согласно варианту, с указанием размера стека, значений переменных.
- 2) Исходный код программы.
- 3) Выписку из файла карты компоновки: затрат оперативной и постоянной памяти проекта; адрес расположения и размер стека, heap; адрес расположения и размер таблицы векторов; адрес расположения и размер функции main.
- 4) Адреса расположения в памяти переменных a1, b1, ..., b8, c8, name1/2/3.
- 5) Содержимое файла logdat.txt с отпечатком всей области памяти содержащей значения переменных a1, b1, ..., b8, c8, name1/2/3.

По III разделу:

- 1) Номер варианта с заданием. Исходный код программы.
- 2) Таблицу трассировки двух заданных выводов STM32F103x8.
- 3) Таблицу используемых регистров STM32F103x8 с расчётом адресов (с указанием на документацию) и управляемые биты.
- 4) Две эпюры сигналов на линиях в/в. Снимок окна Watch со значением OSC. И таблица с характеристиками сигналов (частоты и периода).

По IV разделу:

- 1) Номер варианта с заданием. Листинг программы.
- 2) Отпечаток окна Watch со значениями OSC, HSI_RC, SYSCLK, HCLK, SystemCoreClock. Отпечаток окна Debug (printf) Viewer.
- 3) Эпюры сигнала без оптимизации компилятора (-O0) и с уровнем оптимизации компилятора (-O3), с расчётом частоты переключения.
- 4) Маршрут настройки частоты согласно варианту.

По V разделу:

- 1) Номер варианта с заданием. Листинг программы этапа №3. Листинг файла инициализация симуляции кнопок (*.ini).
- 2) Анализ поведения системы прерываний для всех трёх этапов.
- 3) Листинг варианта программы, написанной с использованием функций стандартной библиотеки периферии STM32F10x standard peripheral library (SPL).

По VI разделу:

- 1) Номер варианта с заданием. Листинг программы.
- 2) Снимки эпюр логического анализатора для заданных линиях ввода/вывода с измерениями частоты и изменения счётчиков таймеров.
- 3) Решение учебной задачи.

4 Литература

- 1 Микроконтроллеры. Разработка встраиваемых приложений: учебное пособие / A.E. Васильев ; С.-Петербург. гос. политехн. ун-т. - СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2003. - 211 с.
- 2 The Definitive Guide to ARM Cortex-M3 and Cortex-M4 Processors. Third Edition. Joseph Yiu. ARM Ltd., Cambridge, UK.
- 3 Джозеф Ю. Ядро Cortex-M3 компании ARM. Полное руководство. 2012. ISBN: 978-5-94120-243-0. URL: <https://www.litres.ru/dzhozef-u/yadro-cortex-m3-kompanii-arm-polnoe-rukovodstvo-48411055/>.
- 4 RM0316. Reference manual STM32F303xB/C/D/E, STM32F303x6/8, STM32F328x8, STM32F358xC, STM32F398xE advanced ARM®-based MCUs.
- 5 PM0214. STM32F3 Series, STM32F4 Series, STM32L4 Series and STM32L4+ Series Cortex®-M4 programming manual.
- 6 Мартин М. Инсайдерское руководство по STM32. URL: <https://istarik.ru/file/STM32.pdf>.