Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

К. В. Савенко
Е. В. Рогожников
Э. М. Дмитриев

ВСТРАИВАЕМЫЕ СИСТЕМЫ

Методические указания для выполнения практических и самостоятельных работ

Томск
2024

УДК 621.37
ББК 32.884.1
С12

Савенко К.В.

С12 Встраиваемые системы: методические указания для выполнения практических и самостоятельных работ / К. В. Савенко, Е. В. Рогожников, Э. М. Дмитриев. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2024. – 69 с.

Настоящее учебно-методическое пособие для студентов технических направлений подготовки и специальностей посвящено изучению микроконтроллеров и микропроцессоров для систем беспроводной связи и интернета вещей в программной среде STM32CubeMX и uVision IDE. В нём представлены указания для выполнения практических и самостоятельных работ, позволяющих углубленно изучить принцип работы встраиваемых систем. В методическом пособии представлены как основы работы с микроконтроллером, так и работа с различными аналоговыми и цифровыми датчиками.

Одобрено на заседании ПИШ, протокол № 2 от 21.10.2023.

УДК 621.37
ББК 32.884.1

Оглавление

Введение

В современном мире интернет вещей – это наиболее быстро растущее явление в сфере информационных технологий. Устройства интернета вещей все чаще применяются в нашей повседневной жизни. Это смартфоны, голосовые помощники, различные беспроводные датчики и другие интеллектуальные устройства. Основной массой передаваемых данных в интернете вещей является информация, которая предается посредством межмашинной связи, между различными устройствами через интернет, без участия человека. Множество устройств могут обмениваться необходимой информацией, при этом основные вычисления могут производиться на удаленном сервере. Все это позволяет использовать в качестве узлов интернета вещей недорогие и энергоэффективные устройства, выполняющие определенные функции и соединенные в единую сеть посредством сети интернет. Как правило, данные устройства состоят из датчиков, которые регистрируют события окружающей среды, интерфейса для передачи данной информации в сеть интернет и микроконтроллера для управления данными узлами и преобразования информации.

В тринадцати практических и самостоятельных работах данного методического пособия представлены эксперименты, позволяющие углубленно изучить принцип работы встраиваемых систем. В методическом пособии представлены как основы работы с микроконтроллером, так и работа с различными аналоговыми и цифровыми датчиками.

Сборник начинается с ознакомления с графическим интерфейсом программы STM32CubeMX, где производятся основные настройки микроконтроллера. Далее производится обучение работе в программе uVision IDE, в которой непосредственно производится программирование микроконтроллера и написание программы для встраиваемой системы. Далее рассматривается работа с аналоговыми и цифровыми датчиками встраиваемых систем.

1 Начало работы со встроенными системами. Программирование МК

Цель работы: ознакомиться с созданием проекта в Keil µVision 5 и изучить его структуру, настроить периферию микроконтроллера в CubeMX.

Задачи практической работы:

1) Изучить основные функции и блоки CubeMX.

2) Настроить периферию микроконтроллера в CubeMX.

3) Изучить основные функции и структуры Keil µVision 5.

4) Произвести генерацию проекта и загрузить прошивку в плату B-L475E-IOT01A [1].

Оборудование и программное обеспечение: плата B-L475E-IOT01A, кабель USB, среда разработки Keil µVision 5, CubeMX.

Теоретический материал

STM32CubeMX – это графический инструмент, который позволяет очень легко конфигурировать микроконтроллеры и микропроцессоры STM32, а также генерировать соответствующий код C для ядра Arm Cortex-M.

Первый шаг состоит в выборе микроконтроллера или микропроцессора STMicroelectronics STM32, который соответствует требуемому набору периферийных устройств.

Второй шаг позволяет конфигурировать GPIO и настройку тактирования для всей системы, а также интерактивно назначать периферийные устройства либо на Arm Cortex-M, Cortex-A. Специальные утилиты позволяют легко приступить к работе с микропроцессорами STM32.

Для микроконтроллеров и микропроцессора Arm Cortex-M второй шаг заключается в настройке программного обеспечения с помощью средства разрешения конфликтов распиновки, помощника настройки дерева, калькулятора энергопотребления и утилиты, которая настраивает периферийные устройства (такие как GPIO или USART) и стеки промежуточного программного обеспечения (например, USB или TCP / IP).

В конце пользователь запускает генерацию, которая соответствует выбранным вариантам конфигурации. Этот шаг предоставляет код инициализации C для Arm Cortex-M, готовый для использования в нескольких средах разработки [2].

Среда IDE µVision объединяет управление проектом, среду выполнения, средства сборки, редактирование исходного кода и отладку программ в единой мощной среде. µVision прост в использовании и ускоряет разработку встроенного программного обеспечения. µVision поддерживает несколько экранов и позволяет создавать отдельные макеты окон в любом месте визуальной поверхности.

Отладчик включает в себя традиционные функции, такие как простые и сложные точки останова, окна наблюдения и контроль выполнения, и обеспечивает полную видимость периферии устройства [3].

Ход работы

1) Запустите программу CubeMX. Для этого на панели задач откройте меню «Пуск», «Все программы», «STMicroelectronics», «STM32Cube», «STM32CubeMX», «STM32CubeMX.exe».

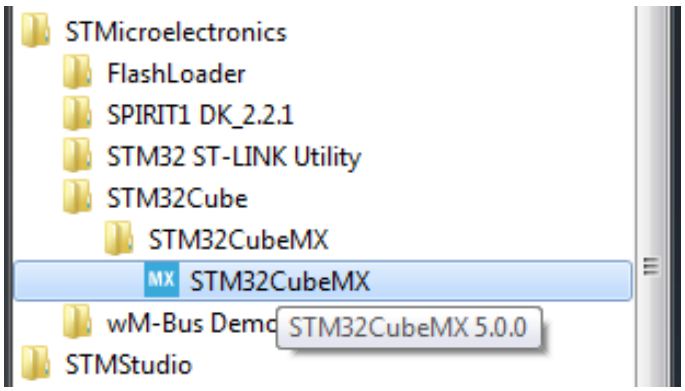


Рисунок 1.1 – CubeMX

STM32CubeMX представляет собой графический пользовательский интерфейс, который позволяет настраивать периферию микроконтроллера для вашего проекта в графическом режиме. На основе указанных вами данных STM32CubeMX сгенерирует настроенные библиотеки (HAL) для дальнейшей работы с проектом.

При первом запуске программы вы увидите окно, которое представлено ниже. В данном окне вы можете открыть уже созданный проект, создать новый проект для микроконтроллера или для платы разработчика, а также проверить обновления программы.

Нажмите на кнопку «ACCESS TO MCU SELECTOR» как показано на рисунке 1.2.

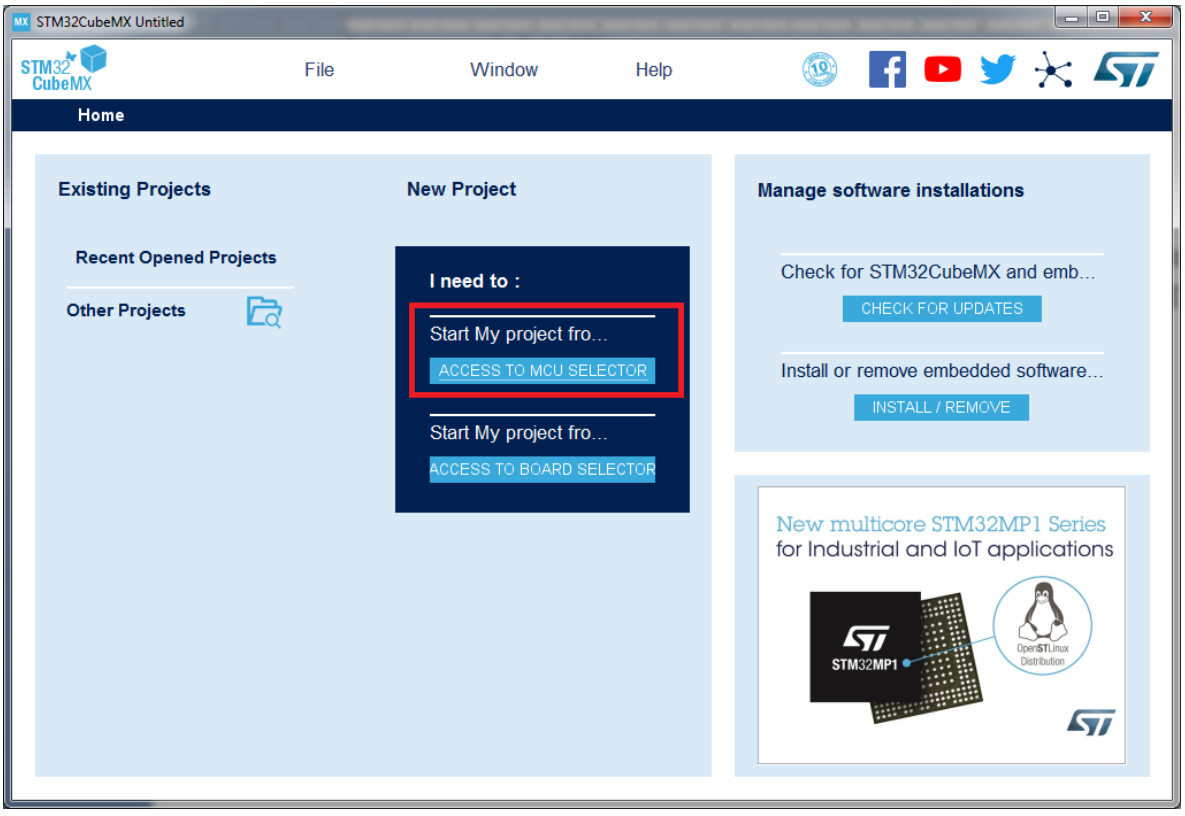


Рисунок 1.2 – Начальный экран программы

Далее откроется окно для выбора микроконтроллера, в списке «MCUs list» выберите микроконтроллер STM32L475VGTx и нажмите на кнопку «Start Project», как показано на рисунке 1.3.

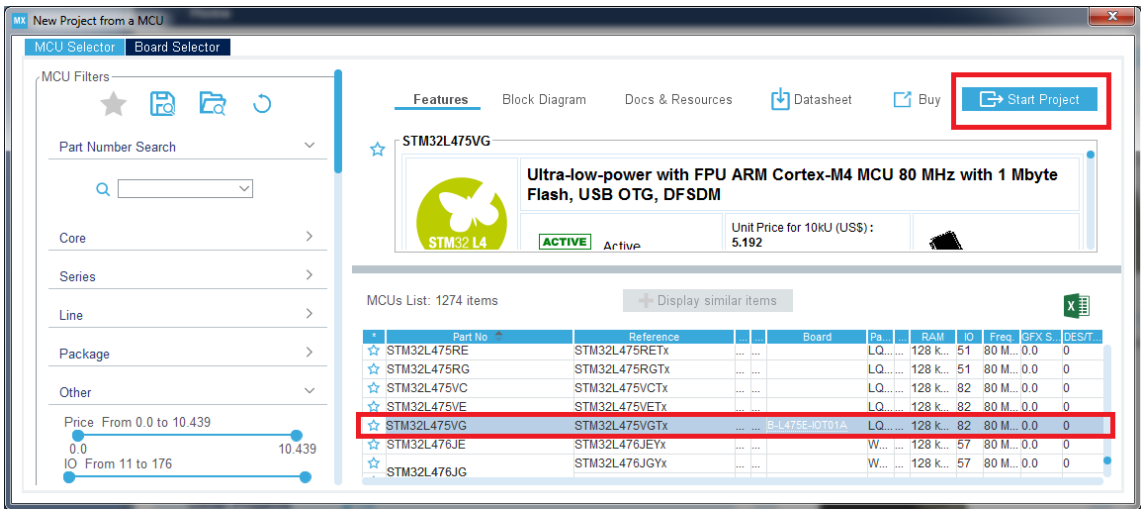


Рисунок 1.3 – Выбор микроконтроллера

Далее откроется рабочая область программы. Она изображена на рисунке 1.4. На данном рисунке выделены основные элементы программы:

1) Панель задач. На данной панели вы можете переключаться между Pinout & Configuration, Clock Configuration, Project Manager and Tools.

2) Окно периферии микроконтроллера. В данном окне по категориям разбиты все блоки микроконтроллера, для настройки каждой нужно дважды нажать левой кнопкой мыши по блоку.

3) В данном окне можно настраивать характеристики выбранного блока.

4) В данном окне показан Pinout микроконтроллера. В нем можно настроить функции каждого пина микроконтроллера отдельно.

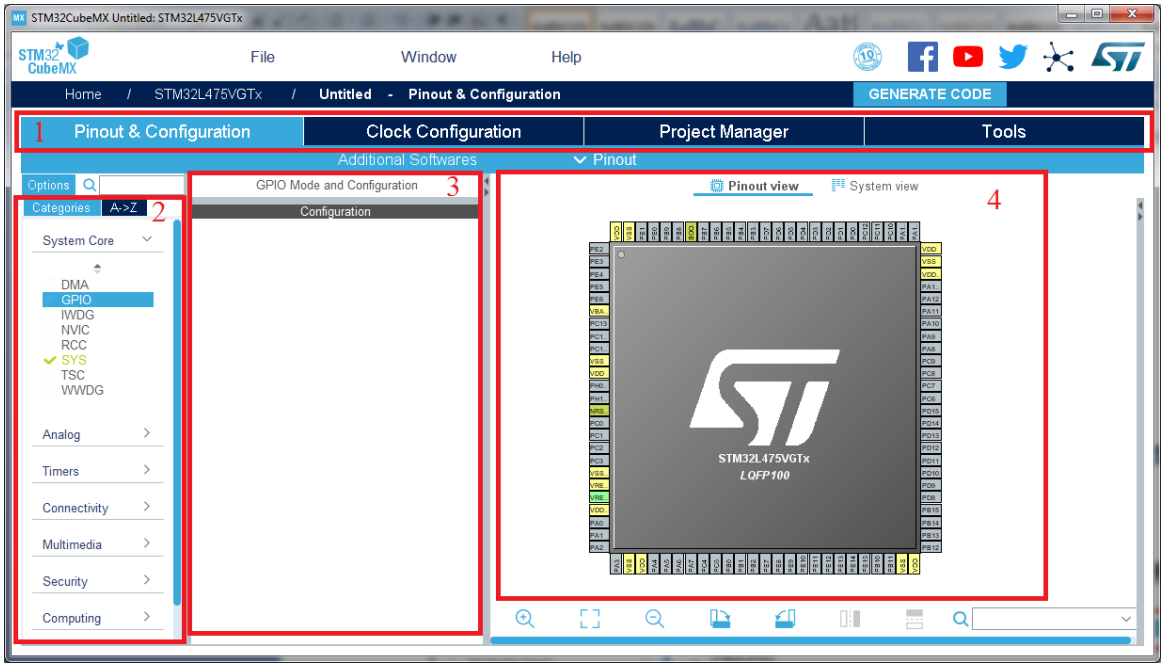


Рисунок 1.4 – Рабочая область программы

В данной практической работе мы включим подключенный к микроконтроллеру светодиод. Для этого необходимо настроить GPIO микроконтроллера. В соответствии с документацией платы B-L475E-IOT01A можно узнать, что зеленый светодиод на плате подключен к пину номер 14, порта B микроконтроллера (PB14) [1].

Наведите курсор мыши на окно «Pinout view», покрутите колесико мышки чтобы увеличить или уменьшить изображение микроконтроллера. Зажав левую клавишу мыши, можно перемещать изображение микроконтроллера в окне. Найдите пин PB14, и кликните на него левой кнопкой мыши. Появится вспомогательное меню, как показано на рисунке 1.5.

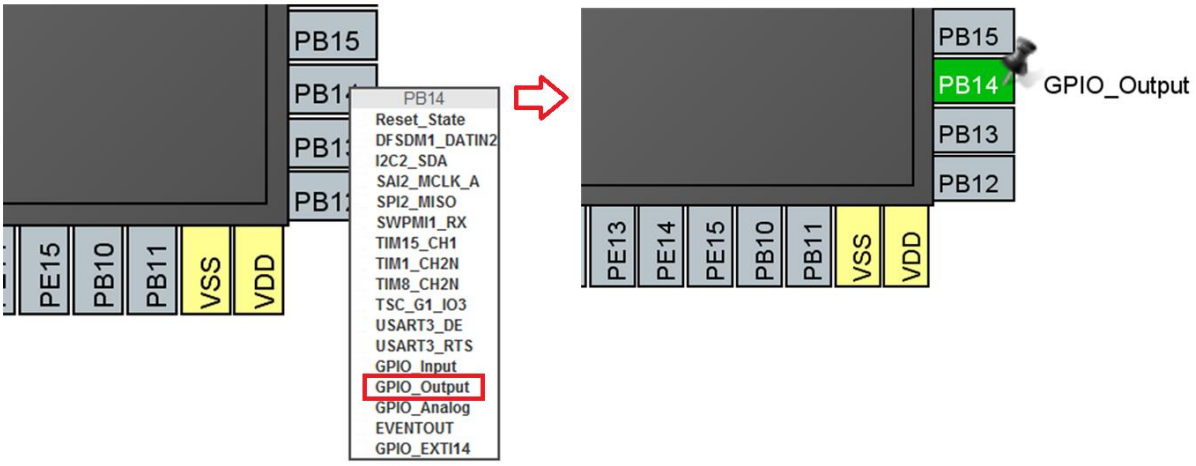


Рисунок 1.5 – Pinout configuration

Для того чтобы управлять светодиодом нужно настроить данный пин как «GPIO_Output». Данная настройка означает, что на данный пин может подаваться цифровой сигнал из микроконтроллера на внешнее устройство.

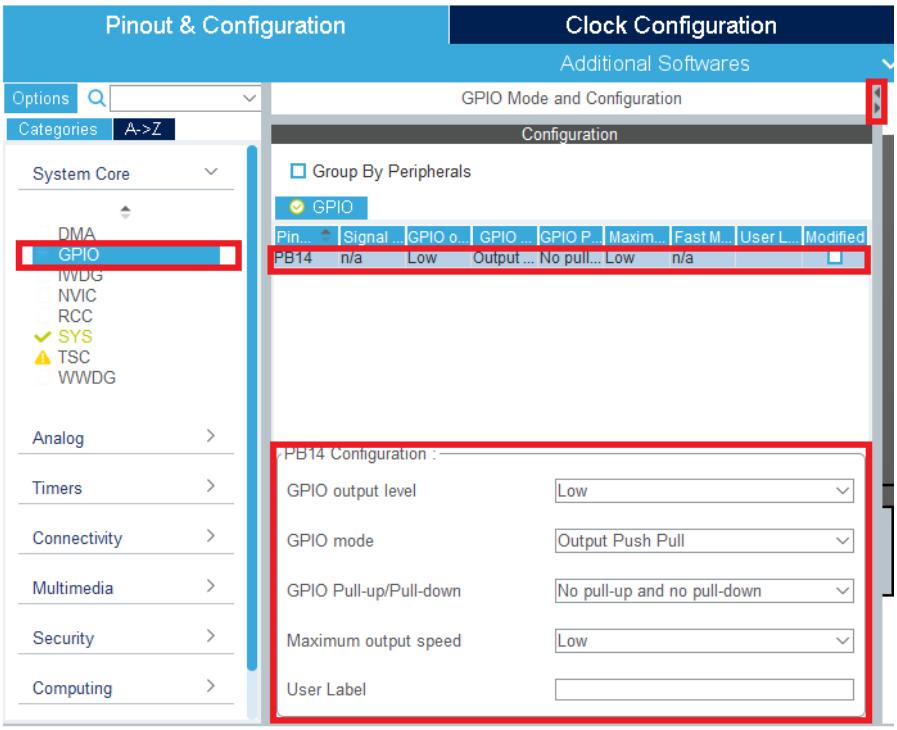


Рисунок 1.6 – GPIO configuration

В списке слева выберите «System Core», «GPIO», как показано на рисунке 1.6. После этого появится окно «GPIO Mode and Configuration» (Если данное окно не появилось, то его нужно развернуть, нажав на стрелочки, которые выделены на рисунке 1.6 в правом верхнем углу). Затем нажмите на строку PB14 в этом окне. Вы увидите в нижней части настройки пина PB14. Укажите следующую конфигурацию:

- GPIO output level – Low (уровень напряжения на данном пине после включения микроконтроллера);
- GPIO mode – Output Push Pull;
- GPIO Pull-up/Pull-down – No pull-up and no pull down;
- Maximum output speed – Low.

После того как GPIO настроены, можно приступать к настройке тактирования микроконтроллера. Микроконтроллеры STM32 могут использовать множество схем тактирования, от внутреннего генератора, от внешнего генератора, настраивать различную частоту для определенных блоков микроконтроллера. Для настройки тактирования в STM32CubeMX имеется удобный визуальный интерфейс. Чтобы открыть его нажмите на вкладку «Clock Configuration». Появится окно настройки тактирования, которое показано на рисунке 1.7.

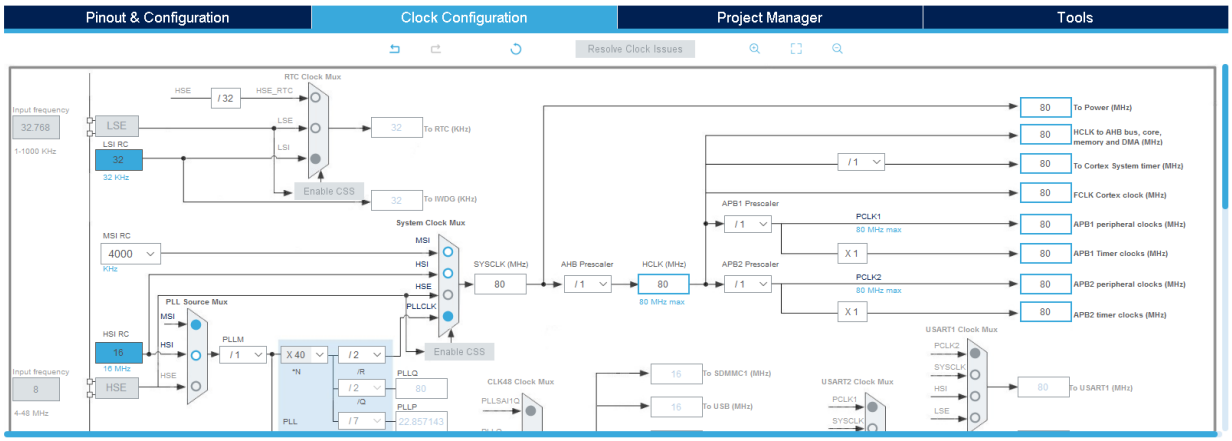


Рисунок 1.7 – Clock configuration

В блоке «PLL Source Mux» выберите «MSI», затем измените делители на «/1», «X40», «/2», в блоке «System Clock Mux» выберите «PLLCLK», как показано на рисунке 1.7. Проверьте чтобы настройки тактирования вашего проекта были такими же, как и на рисунке 1.7. Частоты всех блоков должны измениться на 80 MHz.

Далее откройте вкладку «Project Manager», вы увидите окно настройки вашего проекта. В поле «Project Name» введите название проекта «Blink». В поле «Project Location» укажите путь для сохранения проекта на жестком диске вашего компьютера. В поле «Toolchain/IDE» выберите «MDK-ARM V5», так как для дальнейшей работы мы используем программу KEIL Uvision 5.

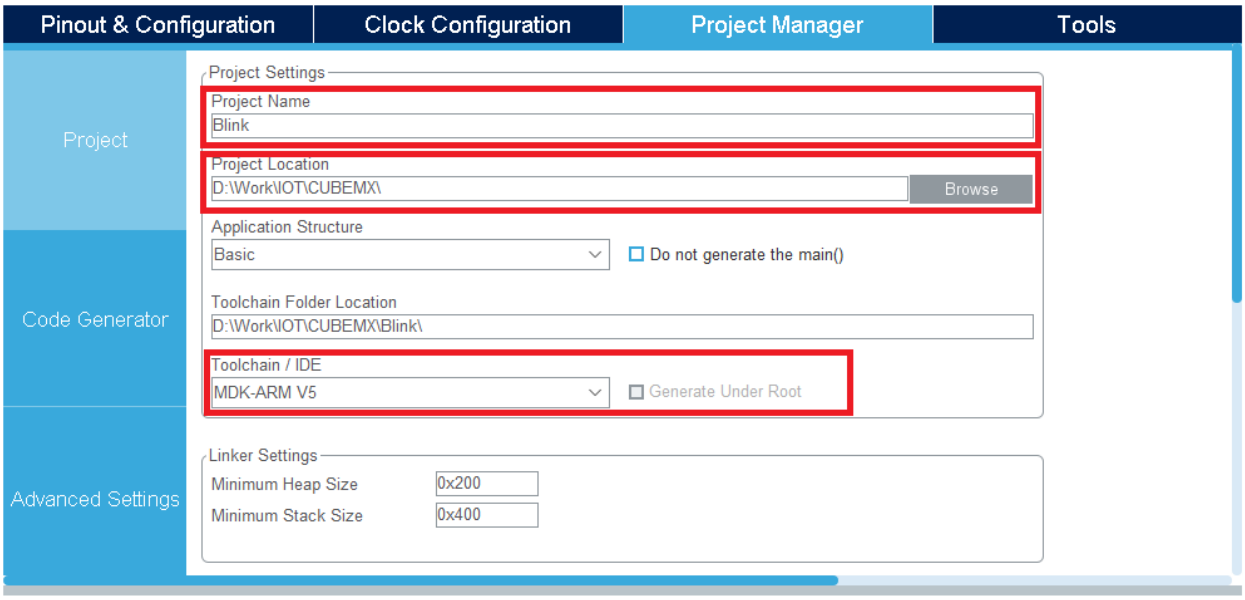


Рисунок 1.8 – Project configuration

Если вы внесли все необходимые настройки в ваш проект, можете нажать кнопку «GENERATE CODE». Начнется компиляция, если все настроено правильно вы увидите окно, которое показано на рисунке 1.9, нажмите кнопку «Open Project».

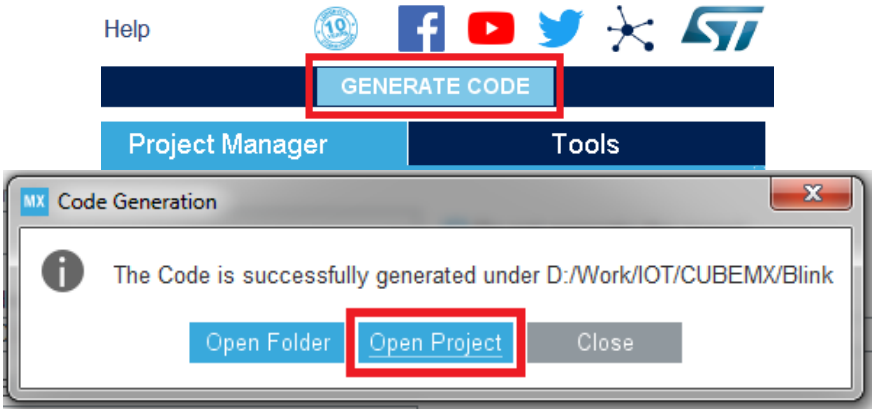


Рисунок 1.9 – Generate Code to KEIL Uvision 5

2) Далее откроется программа KEIL Uvision 5, с вашим проектом «Blink». Рабочая область программы показана на рисунке 1.10. Она включает в себя следующие блоки:

1 – Панель задач;

2 – File Toolbar;

3 – Build Toolbar;

4 – Окно иерархии проекта. В данном окне показаны все файлы и папки, которые содержит ваш проект;

5 – Рабочая область. Окно, в котором отображается содержимое открываемых файлов. В этом окне вы пишите код вашей программы;

6 – Build Output. Окно, в котором отображается процесс генерации проекта и наличие ошибок и предупреждений.

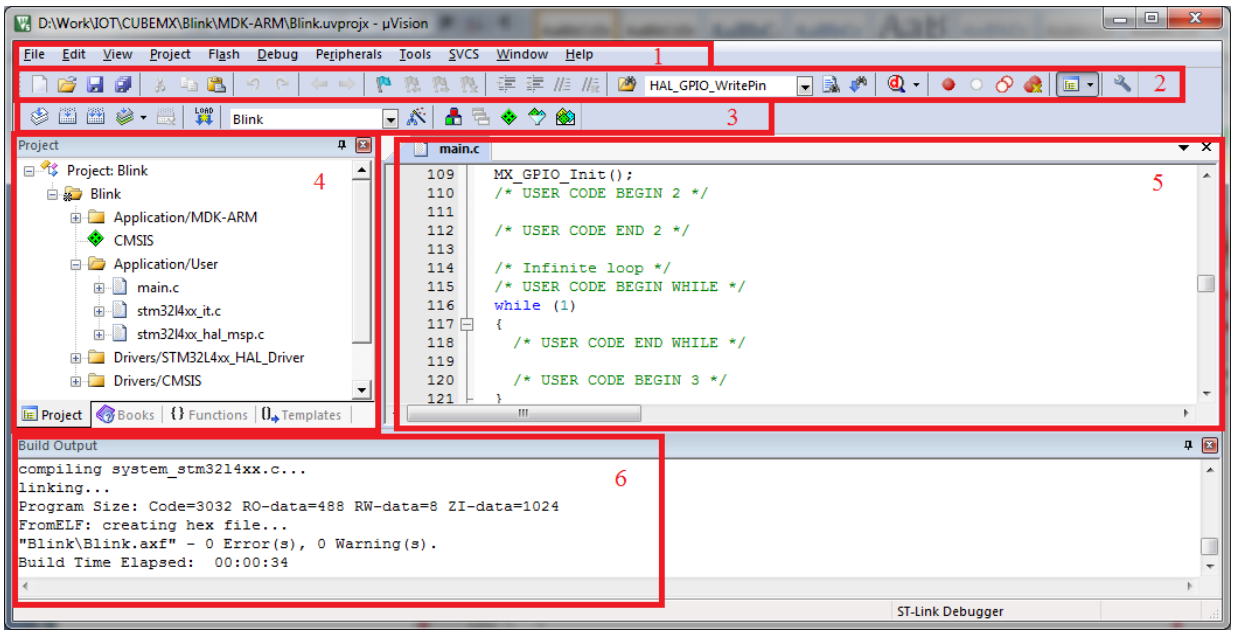


Рисунок 1.10 – KEIL Uvision 5

Пролистайте папки в окне иерархии проекта. В проекте расположены папки:

Application/MDK-ARM, Driver/CMSIS – в данных папках расположены низкоуровневые библиотеки для микроконтроллера STM32L4xx.c

Application/User – в данной папке расположены файлы, в которых пользователь будет писать свой основной код, а именно в файле main.c

Drivers/STM32L4xx_HAL_Driver – в этой папке расположены библиотеки «HAL» которые содержат множество удобных функций для работы с микроконтроллером. С данными функциями мы ознакомимся во время выполнения практических работ.

Все эти библиотеки и файлы были автоматически сгенерированы программой STM32CubeMX, и содержат все те настройки, которые мы делали в графическом интерфейсе STM32CubeMX. Например, в программе STM32CubeMX вы настроили PB14. Данная программа сгенерировала функцию инициализации GPIO в файле main.c с этими настройками, как показано на рисунке 1.11.

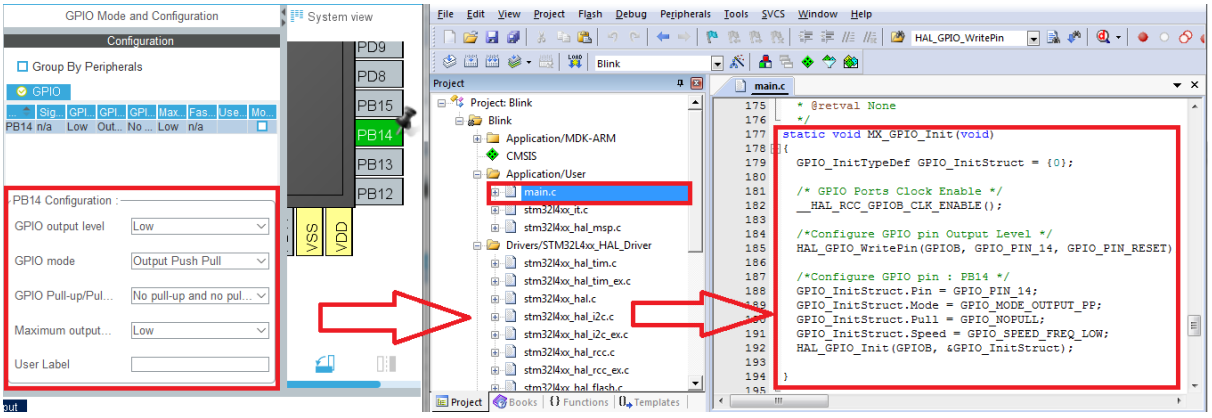


Рисунок 1.11 – Генерация функций программой CubeMX

Как мы видим на рисунке выше данный способ создания проекта экономит много времени и сил при настройке периферии микроконтроллера, но имеет и свои недостатки, которые мы рассмотрим в следующей практической работе.

3) Ознакомимся подробнее с файлом main.c. Именно в этом файле описана основная часть работы вашей программы в микроконтроллере. Как и в любой программе на языке «С», команды, которые выполняет микроконтроллер расположены в функции «main». Их

можно разделить на две части. Первая выполняется один раз при включении микроконтроллера (или перезагрузке), а вторая повторяется бесконечно, пока микроконтроллер включен и расположена в бесконечном цикле while (1). Каждая функция открывается и заканчивается скобками «{ }».

```
int main(void)
{
  code that runs once when the microcontroller is turned on (initialization)

  while (1)
  {
  code that repeats endlessly
  }

}
```

Рисунок 1.12 – Структура программы на языке «С»

Так как программа CubeMX сама генерирует код, то вы можете писать свой код только определенных для этого местах. Эти места выделены комментариями «USER CODE BEGIN…» и «USER CODE END…», как показано на рисунке 1.13. Если вы напишете код в другом месте, а потом измените настройки в CubeMX ваш код будет удален!

```
  * @brief  The application entry point.
  * @retval int
  */
int main(void)
{
  /* USER CODE BEGIN 1 */

  /* USER CODE END 1 */

  /* MCU Configuration--------------------------------------------------------*/

  /* Reset of all peripherals, Initializes the Flash interface and the Systick. */
  HAL_Init();

  /* USER CODE BEGIN Init */

  /* USER CODE END Init */

  /* Configure the system clock */
  SystemClock_Config();

  /* USER CODE BEGIN SysInit */

  /* USER CODE END SysInit */

  /* Initialize all configured peripherals */
  MX_GPIO_Init();
  /* USER CODE BEGIN 2 */

  /* USER CODE END 2 */

  /* Infinite loop */
  /* USER CODE BEGIN WHILE */
  while (1)
  {
    /* USER CODE END WHILE */

    /* USER CODE BEGIN 3 */
  }
  /* USER CODE END 3 */
}
```

Рисунок 1.13 – Места для записи вашего кода

После того как вы узнали, как писать свою программу, напишем код для мигания светодиодом. Для этого мы должны подавать высокое, а затем низкое напряжение на пин микроконтроллера. Для этого в библиотеке HAL существует функция:

HAL_GPIO_WritePin (GPIOX, GPIO_PIN_X, GPIO_PIN_X);

Для начала напишем код между комментариями «USER CODE BEGIN WHILE» и «USER CODE END WHILE», и напишем функцию, которая подаст на порт GPIOB, на GPIO_PIN_14, высокое напряжение – GPIO_PIN_SET. Затем выставим задержку в 100 миллисекунд функцией HAL_Delay(100) и подадим низкое напряжение на этот пин – GPIO_PIN_RESET. Данный код пояснен на рисунке 1.14

```
  /* USER CODE BEGIN WHILE */
  while (1)
  {
      HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_14, GPIO_PIN_SET);  // LED ON
      HAL_Delay(100);                                       // Delay 100 milliseconds
      HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_14, GPIO_PIN_RESET);// LED OFF
      HAL_Delay(100);                                       // Delay 100 milliseconds
    /* USER CODE END WHILE */

    /* USER CODE BEGIN 3 */
  }
  /* USER CODE END 3 */
}
```

Рисунок 1.14 – Blink code

4) Затем нужно сгенерировать ваш код. Для этого нажмите «Rebuild all target files» в Build Toolbar как показано на рисунке 1.15. Начнется генерация проекта и через несколько минут в окне Build Output будет написано «0 Errors 0 Warnings». Это означает что ошибок в проекте нет, и успешно создан файл в формате «.hex» для микроконтроллера.

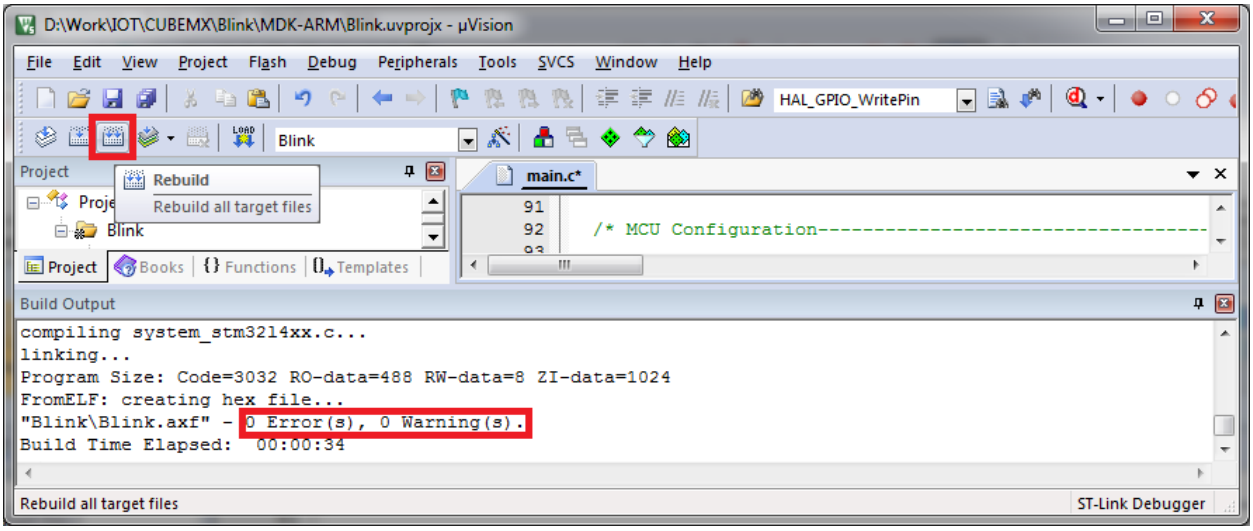


Рисунок 1.15 – Build

Присоедините плату B-L475E-IOT01A к вашему компьютеру кабелем USB в разъем под номером 1, как показано на рисунке 1.16. Должен загореться красный светодиод, как показано на рисунке 1.16 под номером 1.

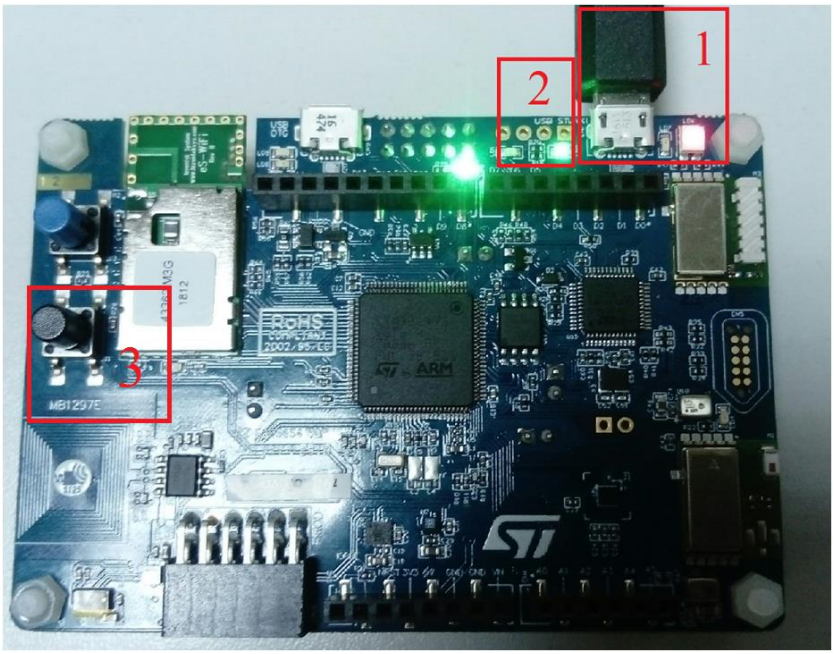


Рисунок 1.16 – B-L475E-IOT01A

Затем нужно загрузить вашу программу в микроконтроллер. Для этого нажмите «Download code to flash memory» в Build Toolbar как показано на рисунке 1.17. Начнется загрузка проекта и через несколько секунд в окне Build Output будет написано «Programming Done». Это означает, что программа успешно загружена.

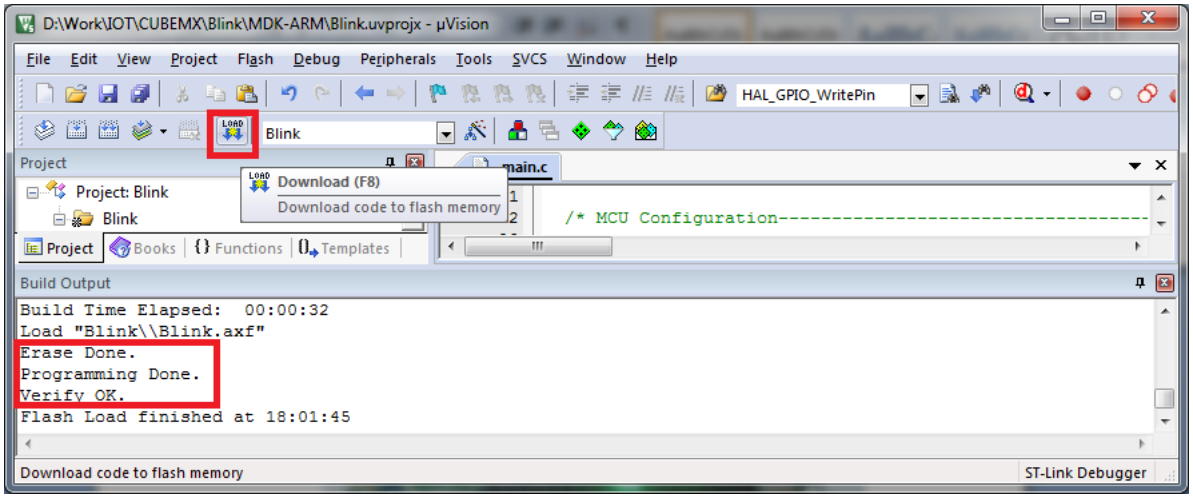


Рисунок 1.7 – Загрузка программы в память микроконтроллера

Нажмите кнопку RESET на плате B-L475E-IOT01A, как показано на рисунке 1.16 под номером 3. Если вы все сделали верно, то светодиод (номер 2 на рисунке 1.16) должен начать мигать.

Измените частоту миганий светодиода в вашем коде и повторите «Build», а затем «Download». Проверьте как изменилась работа светодиода на плате B-L475E-IOT01A.

Контрольные вопросы

1) Опишите основные блоки программы CubeMX.
2) Опишите назначение программы CubeMX.
3) Как настроить периферию микроконтроллера в CubeMX?
4) Опишите основные функции и структуры Keil µVision 5.

5) Опишите характеристики и назначение B-L475E-IOT01A.

Содержание отчета

1) Цель работы;
2) Подробное описание всех этапов проделанной работы;
3) Анализ проделанной работы;
4) Выводы по данной практической работе.

2 Программирование МК. Основные функции в СИ

Цель работы: ознакомиться с основными функциями языка программирования Си. Применить данные функции во встроенной системе.

Задачи практической работы:

1) Изучить основные функции и операторы языка программирования Си.

2) Применить данные функции в проекте встроенной системы.

3) Произвести генерацию проекта и загрузить прошивку в плату B-L475E-IOT01A.

Оборудование и программное обеспечение: плата B-L475E-IOT01A, кабель USB, среда разработки Keil Uvusuion 5.

Теоретический материал

С – это язык программирования общего назначения, чрезвычайно популярный, простой и гибкий. Это машинно-независимый, структурированный язык программирования, который широко используется в различных приложениях. В языке СИ представлены типы данных, приведенные в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Типы данных в языке СИ

Тип данных	Описание	Диапазон
uint8_t	unsigned char (8-bit)	0…255
int8_t	signed char (8-bit)	-128…+127
uint16_t	unsigned short (16-bit)	0…65535
int16_t	signed short (16-bit)	-32768…+32767
uint32_t	unsigned int (32-bit)	0…65535
int32_t	signed int (32-bit)	-32768…+32767
uint64_t	unsigned long long (64-bit)	0 to 18,446,744,073,709,551,615
int64_t	signed long long (64-bit)	–9,223,372,036,854,775,808-9,223,372,036,854,775,807
float	single precision floating number (32-bit)	±1.175494E-38…±3.402823E+38
double	double precision floating number (64-bit)	2.22507385850720138e-308-1.79769313486231571e+308

Так же важно понимать представление данных в разных системах счисления, так как для работы с микроконтроллером нужно уметь работать с двоичными данными и их представление в шестнадцатеричном виде:

Для представления числа в шестнадцатеричной системе счисления используются «0x», для десятичной ничего не пишется.

Таблица 2.2 – Разные системы счисления

Десятичная	Шестнадцатеричная	Двоичная
93	0x5D	1011101

Арифметические операции

Арифметический оператор выполняет математические операции, такие как сложение, вычитание, умножение, деление и т. д. над числовыми значениями (константами и переменными).

«+» сложение или одинарный плюс;

«–» вычитание или унарный минус;

«*» умножение;

«/» деление;

«%» остаток после деления (по модулю деления).

Операторы инкремента и декремента

В С-программировании есть два оператора приращения «++» и декремента «--» для изменения значения операнда (константы или переменной) на 1.

Операторы присваивания

Оператор присваивания используется для присвоения значения переменной. Наиболее распространенным оператором присваивания является знак равно «=». Операторы приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Операторы присваивания

$=$	$+=$	$-=$	$/=$	$\%=$	$*=$
$a=b$	$a+=b$	$a-=b$	$a/=b$	$a\%=b$	$a*=b$
$b=a$	$a=a+b$	$a=a-b$	$a=a/b$	$a=a\%b$	$a=a*b$

Операторы отношений

Оператор отношений проверяет связь между двумя операндами. Если отношение истинно, возвращается 1; если отношение ложно, оно возвращает значение 0.

Оператор отношений используются в принятии решений и в циклах. Операторы приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Операторы отношений

Оператор	Обозначение	Пример	Оценивается как
==	Равно	$5==3$	0
>	Больше	$5>3$	1
<	Меньше	$5<3$	0
!=	Не равно	$5!=3$	1
>=	Больше или равно	$5>=3$	1
<=	Меньше или равно	$5<=3$	0

Логические Операторы

Выражение, содержащее логический оператор, возвращает 0 или 1 в зависимости от того, является ли выражение истинным или ложным. Логические операторы обычно используются при принятии решений в С-программировании.

«&&» Логическое И.

«||» Логическое ИЛИ.

«!» Логическое НЕ.

Битовые операторы

Во время вычислений математические операции, такие как сложение, вычитание, умножение, деление и т.д., преобразуются в битовый уровень, что ускоряет обработку и экономит электроэнергию.

Битовые операторы используются в С-программировании для выполнения операций на битовом уровне.

«&» Побитовое И;

«|» Побитовое ИЛИ;

«<<» Сдвиг влево;

«>>» Сдвиг вправо.

Ход работы

1) Откройте папку с проектом, который вы выполнили в практической работе №1. Для этого запустите файл Blink.uvprojx в папке, в которой вы сохранили проект практической 1, как показано на рисунке 2.1

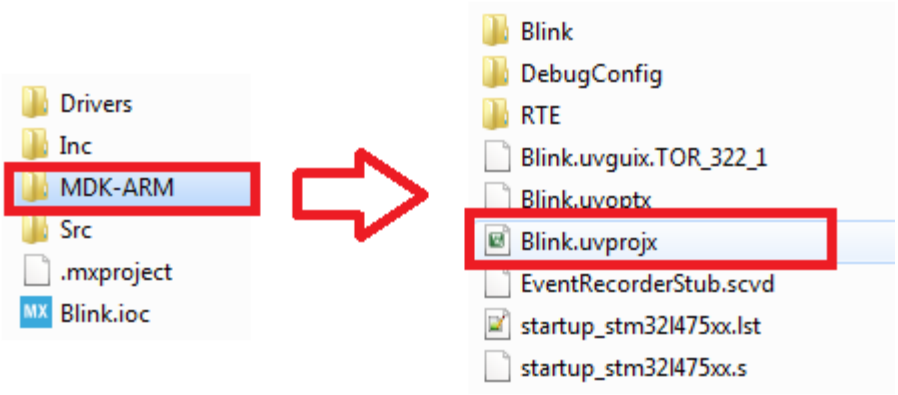


Рисунок 2.1 – Project location

2) Первым проверим работу оператора условия (if). Для этого откройте файл main.c. В разделе «/* USER CODE BEGIN PV */ /* USER CODE END PV */» приведите инициализацию переменно «a», типа unsigned char. В языке Си все переменные нужно сначала проинициализировать, то есть указать их тип и имя переменной.

```
64  /* Private variables ---------------------------------------------------------*/
65
66  /* USER CODE BEGIN PV */
67  uint8_t a;
68  /* USER CODE END PV */
69
70  /* Private function prototypes -----------------------------------------------*/
71  void SystemClock_Config(void);
72  static void MX_GPIO_Init(void);
```

Рисунок 2.2 – Переменные

3) Затем замените ваш код в цикле while (1) на условный оператор. Для этого сначала приравняйте переменную, а к нулю. Затем напишите условие: если $a=1$, то нужно включить светодиод. Иначе – нужно выключить светодиод (рисунок 2.3).

```
  /* Infinite loop */
  /* USER CODE BEGIN WHILE */
  while (1)
  {

    a = 1;
       if (a == 1)
       {
       HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_14, GPIO_PIN_SET);
       }
       else
       {
       HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_14, GPIO_PIN_RESET);
       }
      /* USER CODE END WHILE */

    /* USER CODE BEGIN 3 */
  }
  /* USER CODE END 3 */
}
```

Рисунок 2.3 – Цикл

4) Затем нужно сгенерировать ваш код. Для этого нажмите «Rebuild all target files» в Build Toolbar. Начнется генерация проекта и через несколько минут в окне Build Output будет написано «0 Errors 0 Warnings». Это означает что ошибок в проекте нет, и успешно создан файл в формате .hex для микроконтроллера.

Присоедините плату B-L475E-IOT01A к вашему компьютеру кабелем USB в разъем.

Затем нужно загрузить вашу программу в микроконтроллер. Для этого нажмите «Download code to flash memory» в Build Toolbar. Начнется загрузка проекта и через несколько секунд в окне Build Output будет написано «Programming Done». Это означает что программа успешно загружена.

Нажмите кнопку RESET на плате B-L475E-IOT01A. Если вы все сделали верно, то светодиод PB14 должен включиться.

Измените значение переменной «a» на 0. Сгенерируйте проект, затем загрузите в плату. Проверьте как ведет себя светодиод.

Измените значение переменной «a» на 4. Измените условие так: если значение «a» больше 2, то нужно включить светодиод. Иначе – выключить светодиод

5) Добавьте в раздел «/* USER CODE BEGIN PV */ /* USER CODE END PV */» переменную «b», типа unsigned char. Присвойте ей значение 1. Переменной «a» присвойте значение 0. Измените оператор if так, чтобы проверялось условие: Если «a» ИЛИ «b» равно 1, то нужно включить светодиод, иначе выключить. Скомпилируйте и загрузите код.

```
/* USER CODE END 2 */

/* Infinite loop */
/* USER CODE BEGIN WHILE */
while (1)
{
a = 1;
b = 0;
  if (a==1 && b==1)
  {
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_14, GPIO_PIN_SET);
  }
  else
  {
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_14, GPIO_PIN_RESET);
  }
  /* USER CODE END WHILE */
```

Рисунок 2.4 – Цикл с условием

6) Затем измените условие на: если «a» И «b» равно 1, то нужно включить светодиод, иначе выключить. Объясните показания светодиода и работу данного кода.

7) Затем измените условие на: Если НЕ «a» И НЕ «b» равно 1, то нужно включить светодиод, иначе выключить. Объясните показания светодиода и работу данного кода.

8) Далее изучим цикл for. Для этого удалите строчки кода с оператором условия. Оставьте цикл while пустым, как показано на рисунке 2.5.

В область «/* USER CODE BEGIN 2 */ /* USER CODE END 2 */» запишите цикл for, как показано на рисунке 2.5. В данном цикле мы вводим переменную «i» равной 1, которая будет увеличиваться на 1 при выполнении цикла 1 раз. Пишем условие окончания цикла: – когда i будет больше, чем 5, цикл не будет выполняться. В тело цикла напишите код мигания светодиодом, с задержкой 1000мс.

```
  /* Initialize all configured peripherals */
  MX_GPIO_Init();
  /* USER CODE BEGIN 2 */
  for(int i=1; i<=5; i++)    //from 1 to 5 in increments of 1
{
      HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_14, GPIO_PIN_SET);   // LED ON
      HAL_Delay(1000);                                       // Delay 1000 milliseconds
      HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_14, GPIO_PIN_RESET); // LED OFF
      HAL_Delay(1000);                                       // Delay 1000 milliseconds
}
  /* USER CODE END 2 */

  /* Infinite loop */
  /* USER CODE BEGIN WHILE */
  while (1)
  {


      /* USER CODE END WHILE */

    /* USER CODE BEGIN 3 */
  }
  /* USER CODE END 3 */
}
```

Рисунок 2.5 – Цикл for

Скомпилируйте проект и загрузите в плату. Сколько раз загорелся светодиод? Это количество раз выполнилось тело цикла.

Так же циклом вы можете изменять параметры функции. Измените цикл for, как показано на рисунке 2.6. Затем в тело цикла напишите мигание светодиодом. Замените значение задержки между миганиями на «i» (HAL_Delay(i)). Скомпилируйте проект и загрузите в плату. Как меняется работа светодиода?

```
  /* Initialize all configured peripherals */
  MX_GPIO_Init();
  /* USER CODE BEGIN 2 */
      //remove previous code
  /* USER CODE END 2 */

  /* Infinite loop */
  /* USER CODE BEGIN WHILE */
  while (1)
  {

    for(int i=20; i<=50; i++)    //from 20 to 50 in increments of 1
{
      // your LED flashing code
}
      /* USER CODE END WHILE */

    /* USER CODE BEGIN 3 */
  }
  /* USER CODE END 3 */
}
```

Рисунок 2.6 – Цикл for

9) Добавьте к этому коду второй цикл for, в котором частота мигания светодиодом будет уменьшаться. То есть нужно, чтобы частота мигания увеличивалась, а затем уменьшалась. Скомпилируйте код и загрузите в плату.

Контрольные вопросы

1) Опишите основные операции языка Си.
2) Опишите основные операторы языка Си.
3) Приведите примеры использования операторов языка Си?

Содержание отчета

1) Цель работы;
2) Примеры использования операций и операторов Си;
3) Подробное описание всех этапов проделанной работы;
4) Анализ проделанной работы;
5) Выводы по данной практической работе.

3 Программирование МК. Инициализация GPIO

Цель работы: получить навыки работы с документацией микроконтроллера. Настроить периферию микроконтроллера согласно данной документации без использования сторонних библиотек.

Задачи практической работы:

1) Ознакомиться с документацией платы B-L475E-IOT01A.

2) Произвести настройку GPIO по документации микроконтроллера.

3) Произвести генерацию проекта и загрузить прошивку в плату B-L475E-IOT01A.

Оборудование и программное обеспечение: плата B-L475E-IOT01A, кабель USB, среда разработки Keil Uvusuion 5, B-L475E-IOT01A datasheets files.

Теоретический материал

Микроконтроллер – это компьютер, представленный в единой интегральной схеме, который предназначен для выполнения одной задачи и выполнения одного конкретного приложения. Он содержит память, программируемую периферию ввода-вывода, а также процессор, называемый также ядром. Разрядность ядра для микроконтроллеров STM32 составляет 32 бита.

Микроконтроллер в основном содержит следующие компоненты:

- Центральный процессор (ЦП);
- Оперативная память (RAM);
- Постоянная память (ПЗУ);
- Порты ввода / вывода;
- Таймеры и Счетчики;
- Управление прерываниями;
- Аналого-цифровые преобразователи;
- Цифро-аналоговые преобразователи.

В данной практической работе мы рассмотрим GPIO.

GPIO – это порты ввода-вывода общего назначения. Через них микроконтроллер соединяется с внешними частями схемы (LEDs, кнопками и т.д.).

Микроконтроллеры семейства STM32 имеют несколько цифровых портов, называемых GPIOA, GPIOB, GPIOC.

Каждый порт имеет 16 бит и, следовательно, 16 электрических контактов. Контакты обозначаются как P_{xy}, где x – имя порта (A, B, ..., E), а y – бит (0, 1, ..., 15).

Например, контакт PC3 является битом 3 порта C. Каждый PIN-код также имеет альтернативную функцию, связанную с периферийным устройством, например, таймер, UART, SPI и т. д. Функциональная схема представлена на рисунке 3.1.

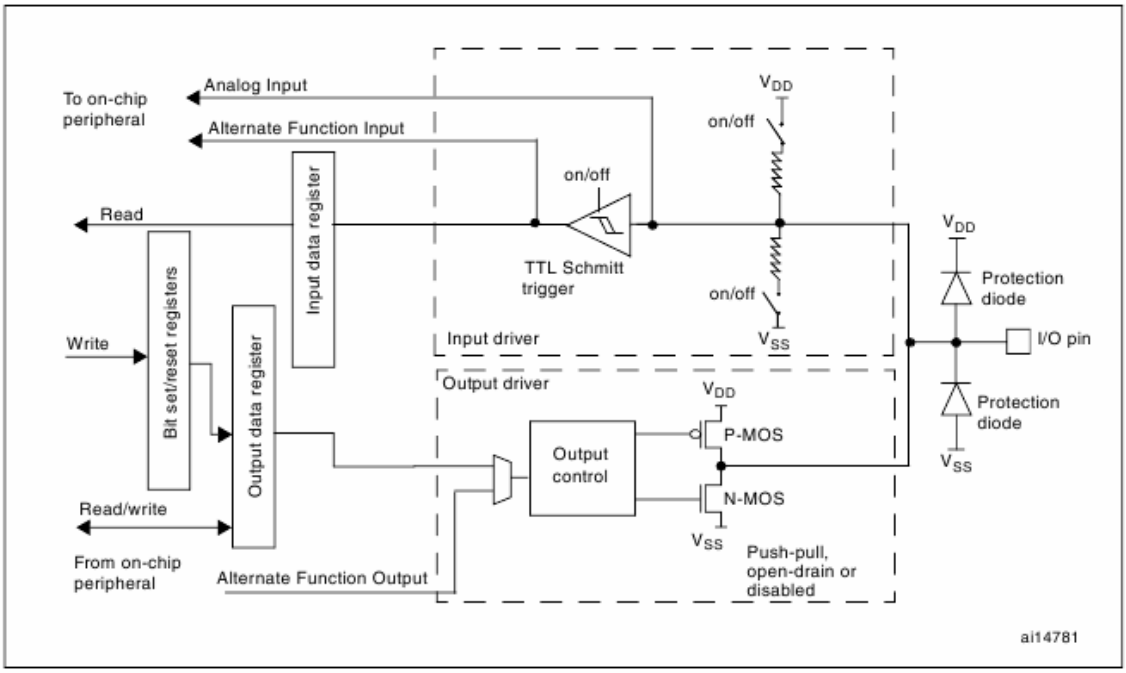


Рисунок 3.1 – Функциональная схема GPIO[2]

STM32 позволяет настроить GPIO различными способами:
- Input floating;
- Input pull-up;
- Input-pull-down;
- Analog;
- Output push-pull with pull-up or pull-down capability.

Ход работы

1) Запустите программу CubeMX. Для этого на панели задач откройте меню «Пуск», «Все программы», «STMicroelectronics», «STM32Cube», «STM32CubeMX», «STM32CubeMX.exe».

Нажмите на кнопку «ACCESS TO MCU SELECTOR». Далее откроется окно для выбора микроконтроллера, в списке «MCUs list» выберите микроконтроллер STM32L475VGTx и нажмите на кнопку «Start Project».

В данной практической работе мы не будем настраивать GPIO визуальным интерфейсом, для понимания работы микроконтроллера.

Нажмите на вкладку «Clock Configuration». Появится окно настройки тактирования, которое показано на рисунке 3.2.

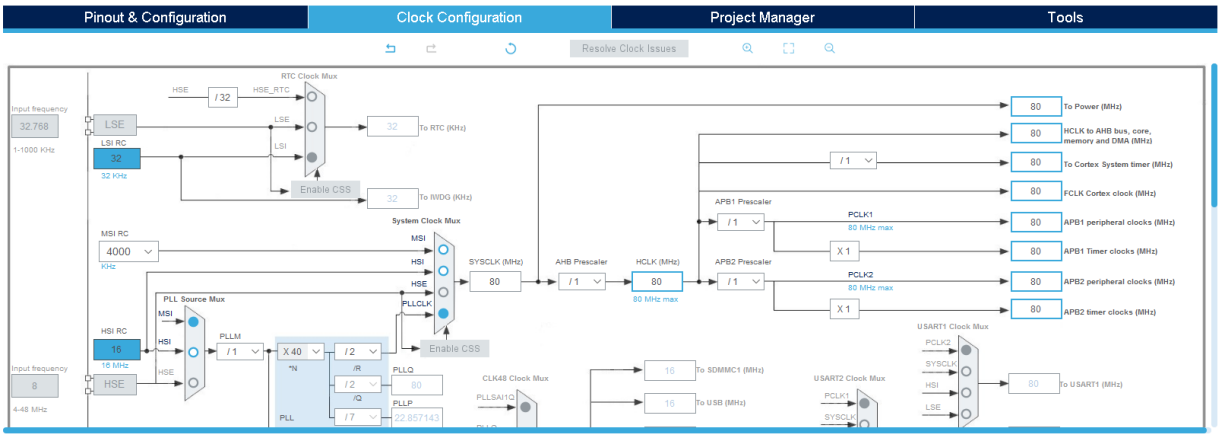


Рисунок 3.2 – Clock configuration

В блоке «PLL Source Mux» выберите «MSI», затем измените делители на «/1», «X40», «/2», в блоке «System Clock Mux» выберите «PLLCLK», как показано на рисунке 3.2. Проверьте чтобы настройки тактирования вашего проекта были такими же, как и на рисунке 3.2. Частоты всех блоков должны измениться на 80 MHz.

Далее откройте вкладку «Project Manager», вы увидите окно настройки вашего проекта. В поле «Project Name» введите название проекта «GPIO». В поле «Project Location» укажите путь для сохранения проекта на жестком диске вашего компьютера. В поле «Toolchain/IDE» выберите «MDK-ARM V5», так как для дальнейшей работы мы используем программу KEIL Uvision 5.

2) Если вы внесли все необходимые настройки в ваш проект, можете нажат кнопку «GENERATE CODE». Затем нажмите кнопку «Open Project».

Далее откроется программа KEIL Uvision 5, с вашим проектом «GPIO». Так как мы не настроили GPIO в CubeMX, то при генерации проекта они работать не будут.

Для настройки GPIO в данной практической работе настроим один пин на выход для светодиода, а второй для подключения кнопки. Для этого необходимо обратиться к документации платы B-L475E-IOT01A [1].

В таблице «STM32L4 Discovery kit for IoT node I/O» можно увидеть, что LED2 подключен к порту Б, пину 14 (PB14). Для того чтобы управлять светодиодом нужно настроить его как двухтактный выход. Чтобы это сделать, обратимся к документации микроконтроллера STM32L475 [4]

Как видно из документации, каждый порт имеет 11 управляющих регистров:

- MODER: настраивает каждый бит как вход или выход;
- OSPEEDR: настраивает максимальную частоту выходного контакта;
- PUPDR: configures the internal pull-up or pull-down register;
- IDR: регистр входных данных;
- ODR: регистр выходных данных;
- BSRR: бит установлен / сброшен регистр;
- AFRL, AFRH: регистры конфигурации альтернативных функций;
- LCKR: регистр блокировки бит;
- OTYPER: конфигурация выходного типа (двухтактный или открытый сток).

Для того чтобы получить доступ к данным регистрам существуют структуры портов: GPIOA, GPIOB, GPIOC. Функции для работы с реестрами находятся внутри этих структур.

Получить доступ к управляющему регистру можно с помощью указателя структуры «->»: GPIOA -> ODR

3) в первую очередь нужно включить тактирование порта Б, для того чтобы GPIO порта Б могли работать. Для настройки тактирование у STM32L475 имеется регистр «AHB2ENR».

Откроем документацию микроконтроллера STM32L475 [4 пункт 6.4.17 AHB2 peripheral clock enable register (RCC_AHB2ENR)], в котором описан регистр AHB2ENR.

При этом если записать «1» – в соответствующий бит, тактирование будет включено, а если «0» – то выключено.

Узнаем, как в языке Си изменить значение одного бита в регистре:

STRUCTURE-> REGISTER &=~(1 << BIT_NUMBER);

В данной формуле мы выбираем указатель на REGISTER из соответствующей STRUCTURE. В этом регистре мы выбираем бит BIT_NUMBER, для этого мы 1 сдвигаем «<<» на нужное количество бит и делаем маску. Затем выполняем операцию «&=~» для того, чтобы умножить весь регистр на эту маску и только этот бит изменится на «0». То есть мы инвертируем маску, все биты будут 1, а нужный нам бит 0, а затем выполняем операцию «И». В результате все биты не изменятся, а нужный бит изменится на «0».

STRUCTURE->REGISTER |= (1 << BIT_NUMBER);

В данной формуле мы выбираем указатель на REGISTER из соответствующей STRUCTURE. В этом регистре мы выбираем бит BIT_NUMBER, для этого мы 1 сдвигаем «<<» на нужное количество бит и делаем маску. Затем выполняем операцию «|=» для того, чтобы умножить весь регистр на эту маску и только этот бит изменится на «1». То есть в маске все биты будут 0, а нужный нам бит 1. Затем мы выполняем операцию «ИЛИ». В результате все биты не изменятся, а нужный бит изменится на «1».

Запишем «1» в бит №1(GPIOBEN), для включения тактирования. Для этого в разделе /* USER CODE BEGIN 2 */ /* USER CODE END 2 */ запишем функцию изменения регистра AHB2ENR в структуре RCC:

RCC->AHB2ENR |= (1 << 1);

4) Настроим регистр MODE:

Откроем документацию микроконтроллера STM32L475 [4 пункт 8.4.1 GPIO port mode register (GPIOx_MODER) (x =A to I)], в ней описан регистр MODE.

MODER позволяет программисту определять функцию вывода GPIO.

Каждый вывод имеет 2 бита, которые допускают следующие конфигурации:

«00» – вход;

«01» – выход;

«10» – альтернативная функция;

«11» – аналоговый.

Значит, чтобы настроить PB14 как выход то нужно записать в регистр MODE14[1:0], «0» – в бит № 29, и «1» – в бит №28.

GPIOB->MODER &=~(1 << 29);

GPIOB->MODER |= (1 << 28);

5) Настроим регистр Output Type Register:

Откроем документацию микроконтроллера STM32L475 [4 пункт 8.4.2 GPIO port output type register (GPIOx_OTYPER) (x = A to I)], в ней описан регистр OTYPER.

OTYPER allows a programmer to configure the output stage of an output GPIO pin.

Each pin has 1 bits that permits the following configurations:

«0» – Push-pull;

«1» – Open Drain.

Значит, чтобы настроить PB14 как Push-pull (это наиболее подходит для подключения светодиода) то нужно записать в регистр OTYPER14 «0» – в бит № 14.

GPIOB->OTYPER &=~(1 << 14);

6) Настроим Output Speed Register:

Откроем документацию микроконтроллера STM32L475 [4 пункт 8.4.3 GPIO port output speed register (GPIOx_OSPEEDR), в ней описан регистр OSPEEDR.

OSPEEDR allows a programmer to define the speed of an output GPIOpin

Each pin has 2 bits that permits the following configurations:

«00» – Low speed;

«01» – Medium speed;

«10» – High speed;

«11» – Very high speed.

Значит, чтобы настроить PB14 как High speed (скорость в данном примере не важна, поэтому поставим самую большую) то нужно записать в регистр OSPEEDR 14 «1» – в бит № 29, «0» – в бит № 28,

```
GPIOB->OSPEEDR |=(1 << 29);
GPIOB->OSPEEDR &=~(1 << 28);
```

7) Настроим Pull-up/Pull-Down Register:

Откроем документацию микроконтроллера STM32L475 [4 пункт 8.4.4 GPIO port pull-up/pull-down register (GPIOx_PUPDR)], в ней описан регистр PUPDR:

PUPDR defines the presence of a pull-up or pull-down resistor (or none) at the GPIO pin

Each pin has 2 bits that permits the following configurations:

«00» – No pull-up, pull-down;

«01» – Pull-up;

«10» – Pull-down;

«11» – Reserved.

Значит, чтобы настроить PB14 как Pull-down (для устранения возможных шумов) то нужно записать в регистр PUPDR14 «1» – в бит № 29, «0» – в бит № 28,

```
GPIOB->PUPDR |= (1 << 29);
GPIOB->PUPDR &=~(1 << 28);
```

8) Настроим GPIO port bit set/reset register (GPIOx_BSRR):

Откроем документацию микроконтроллера STM32L475 [4 пункт 8.4.7 GPIO port bit set/reset register (GPIOx_BSRR)], в ней описан регистр BSRR.

Bits 31:16 BR[15:0]: Port x reset I/O pin y (y = 15 to 0) These bits are write-only. A read to these bits returns the value «0x0000».

«0» – No action on the corresponding ODx bit;

«1» – Resets the corresponding ODx bit;

«Note» – If both BSx and BRx are set, BSx has priority.

Bits 15:0 BS [15:0]: Port x set I/O pin y (y = 15 to 0). These bits are write-only. A read to these bits returns the value «0x0000».

«0» – No action on the corresponding ODx bit;

«1» – Sets the corresponding ODx bit.

Значит, чтобы зажечь светодиод на PB14 нужно записать в регистр BSRR «1» – в бит № 14

```
GPIOB-> BSRR |= (1 << 14);
```

А чтобы выключить светодиод на PB14 нужно записать в регистр BSRR «1» – в бит № 30

```
GPIOB-> BSRR |= (1 << 30);
```

В результате мы получим код, представленный на рисунке 3.3.

```
  /* Initialize all configured peripherals */
  /* USER CODE BEGIN 2 */

RCC->AHB2ENR |=(1 << 1);      /* Enable GPIOB clock */
GPIOB->MODER &=~(1 << 29);    /* PB.14 Enable Output */
GPIOB->MODER |= (1 << 28);
GPIOB->OTYPER &=~(1 << 14);   /* PB.14 Push-Pull */
GPIOB->OSPEEDR |=(1 << 29);   /* PB.14 High speed */
GPIOB->OSPEEDR &=~(1 << 28);
GPIOB->PUPDR |= (1 << 29);    /* PB.14 is Pull-Down */
GPIOB->PUPDR &=~(1 << 28);
GPIOB-> BSRR |= (1 << 14);    /* PB.14 set bit */

  /* USER CODE END 2 */

  /* Infinite loop */
  /* USER CODE BEGIN WHILE */
  while (1)
  {
    /* USER CODE END WHILE */

    /* USER CODE BEGIN 3 */
  }
  /* USER CODE END 3 */
}
```

Рисунок 3.3 – Включение светодиода

9) Затем нужно сгенерировать ваш код. Для этого нажмите «Rebuild all target files» в Build Toolbar. Начнется генерация проекта и через несколько минут в окне Build Output будет написано «0 Errors 0 Warnings». Это означает что ошибок в проекте нет, и успешно создан файл в формате «.hex» для микроконтроллера.

Присоедините плату B-L475E-IOT01A к вашему компьютеру кабелем USB в разъем.

Затем нужно загрузить вашу программу в микроконтроллер. Для этого нажмите «Download code to flash memory» в Build Toolbar. Начнется загрузка проекта и через несколько секунд в окне Build Output будет написано «Programming Done». Это означает что программа успешно загружена.

Нажмите кнопку RESET на плате B-L475E-IOT01A. Если вы все сделали верно, то светодиод PB14 должен включиться.

10) К плате B-L475E-IOT01A подключена синяя пользовательская кнопка. Она присоединена к порту C пину 13 (PC13).

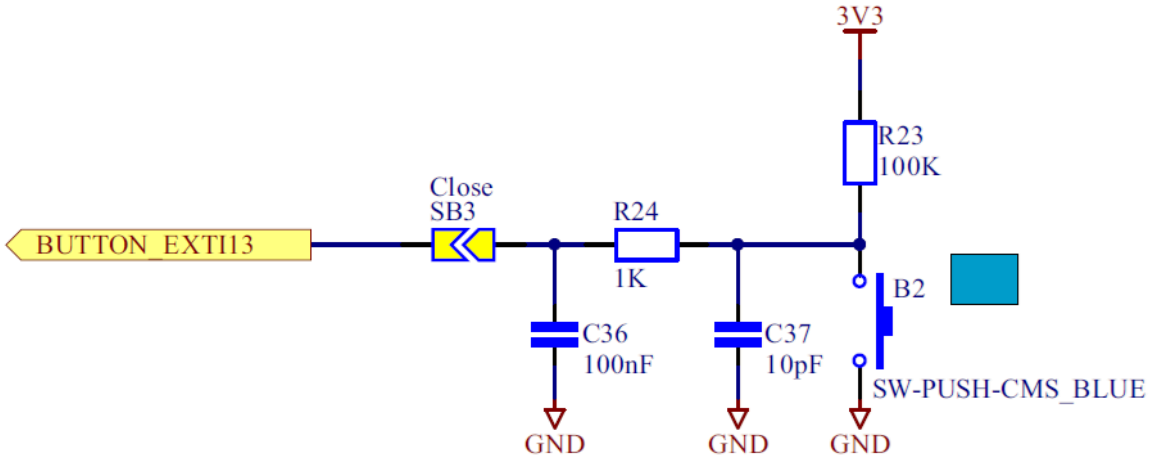


Рисунок 3.4 – User Button [1]

В разделе /* USER CODE BEGIN 2 */ /* USER CODE END 2 */ настройте этот пин на вход.

Для этого:

Регистр AHB2ENR настройте на тактирование порта C;

В регистре MODER порта C настройте пин 13 как INPUT;

В регистре PUPDR порта C настройте пин 13 как No pull-up, pull-down;

11) Затем в цикле while напишите условие: если кнопка нажата – включить светодиод, иначе – выключить светодиод.

Для этого считайте значение регистра IDR. (Data Input Register):

Откроем документацию микроконтроллера STM32L475 [4 пункт 8.4.5 GPIO port input data register (GPIOx_IDR)].

Регистр IDR позволяет считывать состояние пина, который настроен как вход. Если значение высокого уровня, то бит будет равен «1», если низкого, то «0».

Кнопка по схеме B-L475E-IOT01A подключена резистором к VCC, значит при нажатии на кнопку регистр IDR PC13 будет равен «0», а когда кнопка не нажата равен «1».

Значит, чтобы проверить нажата ли кнопка нужно написать следующую функцию:

```
  /* Infinite loop */
  /* USER CODE BEGIN WHILE */
  while (1)
  {
    /* USER CODE END WHILE */
if ((GPIOC->IDR & (1 << 13)) == 0)
{
// ENABLE LED
}
else
  {
//DISABLE LED
  }

    /* USER CODE BEGIN 3 */
  }
  /* USER CODE END 3 */
}
```

Рисунок 3.5 – Условие

Скомпилируйте проект и загрузите в плату. Нажмите RESET на плате. Затем нажимайте на синюю кнопку на плате и проверяйте, как работает светодиод.

В данной практической работе вы научились настраивать GPIO при помощи настройки регистров. Важно также сказать, что записывать информацию в регистр можно несколькими способами. Для понимания в этой практической использовался наглядный способ записи бита в нужную позицию. Но многие разработчики библиотек предоставляют макросы. Макрос – это наглядное описание функции регистра. Например, запись байта в регистр можно сделать так:

A |= 0x1 ; или A |= MACRO_1 ;

То есть определенному набору байт присваивается соответствующее название. Это используется для лучшего понимания кода другими людьми и переносе вашего кода на другое оборудование. Так как при использовании одного макроса на разных микроконтроллерах он автоматически будет назначать разные регистры.

Так при настройке регистра AHB2ENR вы использовали запись:

RCC-> AHB2ENR |= (1 << 1);

Ее можно записать и через макрос:

RCC->AHB2ENR |= RCC_AHB2ENR_GPIOBEN;

Все макросы нужно искать в описании соответствующих библиотек, которые вы используете.

Контрольные вопросы

1) Как производится настройка периферии микроконтроллера?
2) Что такое GPIO?
3) Из чего состоит микроконтроллер?
4) Опишите способы настройки GPIO.
5) Опишите регистры для настройки GPIO.

Содержание отчета

1) Цель работы;
2) Подробное описание всех этапов проделанной работы;
3) Ответы на вопросы, представленные в тексте практической работы;
4) Важные части вашего кода с пояснениями;
5) Анализ проделанной работы;
6) Выводы по данной практической работе.

4 Работа с аналоговыми датчиками. АЦП

Цель работы: изучить принцип считывания показаний аналоговых датчиков микроконтроллером. Настроить периферию микроконтроллера для подключения датчика температуры.

Задачи практической работы:

1) Произвести настройку АЦП по документации микроконтроллера.
2) Произвести калибровку датчика температуры.
3) Считать и проанализировать показания аналогового датчика.

Оборудование и программное обеспечение: плата B-L475E-IOT01A, кабель USB, среда разработки Keil Uvusuion 5, CubeMX.

Теоретический материал

В микроконтроллере STM32l475VG, который установлен на плате B-L475E-IOT01A присутствует аналоговый датчик температуры. Датчик температуры (TS) генерирует напряжение VTS, которое изменяется линейно в зависимости от температуры. Датчик температуры внутренне подключен к входам ADC1_IN17 и ADC3_IN17, которые используются для преобразования выходного напряжения датчика в цифровое значение.

Датчик обеспечивает хорошую линейность, но он должен быть откалиброван для получения хорошей точности измерения температуры. Так как меняется смещение датчика температуры от чипа к чипу из-за изменения процесса.

Рассчитать температуру можно двумя способами. Один использует данные из даташита к микроконтроллеру STM32l475xx, которые представлены в даташите [4 6.3.23 Temperature sensor characteristics].

Расчет температуры выполняется по формуле:

$$Temperature = (Voltage - V_{30}) / Avg\_Slope + TS\_CAL1\_TEMP; \quad (4.1)$$

$$Voltage = ADC\_Value / 4096 * V_{DDA}; \quad (4.2)$$

Где ADC_Value – значение АЦП при измерении температуры;

V_{DDA} = 3.3V – напряжение питания АЦП в плате B-L475E-IOT01A;

TS_CAL1_TEMP = 30 °C.

Для повышения точности измерения температурного датчика есть второй способ измерения. Каждое устройство имеет индивидуально откалиброванный на заводе ST датчик. Данные заводской калибровки датчика температуры хранятся STM32 в области памяти, доступной в режиме только для чтения, в таблица 4.1.

Таблица 4.1 – Данные заводской калибровки датчика

Значение	Описание	Адрес памяти	Адрес памяти, определенный в библиотеке HAL
TS_CAL1	TS ADC необработанные данные, полученные при температуре of 30 °C (± 5 °C), VDDA = VREF+ = 3.0 V (± 10 mV)	0x1FFF 75A8 - 0x1FFF 75A9	TEMPSENSOR_CAL1_ADDR
TS_CAL2	TS ADC необработанные данные, полученные при температуре of 110 °C (± 5 °C), VDDA = VREF+ = 3.0 V (± 10 mV)	0x1FFF 75CA - 0x1FFF 75CB	TEMPSENSOR_CAL2_ADDR

Формула расчета:

$$Temperature = (((TS\_ADC\_DATA * VDDA / VREF) - TS\_CAL1) * (TEMPSENSOR\_CAL2\_TEMP - TEMPSENSOR\_CAL1\_TEMP)) / (TS\_CAL2 - TS\_CAL1) + TEMPSENSOR\_CAL1\_TEMP; \quad (4.1)$$

TS_ADC_DATA – необработанные данные датчика температуры, измеренные АЦП;
VDDA = 3.3V – напряжение питания АЦП в плате B-L475E-IOT01A;
VREF = 3.0V – напряжение питания АЦП при калибровке на заводе ST;
TS_CAL1 – эквивалент TS_ADC_DATA при температуре 30 °C (откалиброван на заводе);
TS_CAL2 – эквивалент TS_ADC_DATA при температуре 110 °C (откалибровано на заводе)
TEMPSENSOR_CAL1_TEMP = 30 °C;
TEMPSENSOR_CAL2_TEMP = 110 °C.

Ход работы

1) Запустите программу CubeMX. Для этого на панели задач откройте меню «Пуск», «Все программы», «STMicroelectronics», «STM32Cube», «STM32CubeMX», «STM32CubeMX.exe».

Нажмите на кнопку «ACCESS TO MCU SELECTOR». Далее откроется окно для выбора микроконтроллера, в списке «MCUs list» выберите микроконтроллер STM32L475VGTx и нажмите на кнопку «Start Project».

В вкладке «Analog» выберите «ADC1», затем в окне «Mode» поставьте галочку в пункте «Temperature Sensor Channel», как на рисунке 4.1.

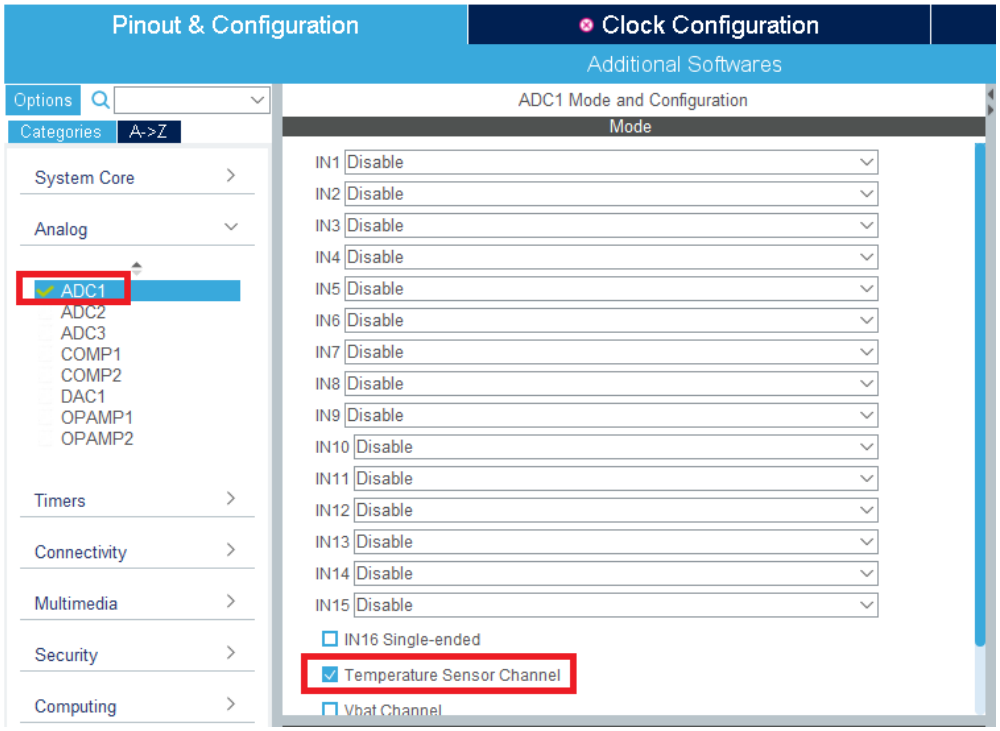


Рисунок 4.1 – ADC Mode

Во вкладке «Parameter Settings» выберите «Rank» -> «24.5 Cycles», как на рисунке 4.2.

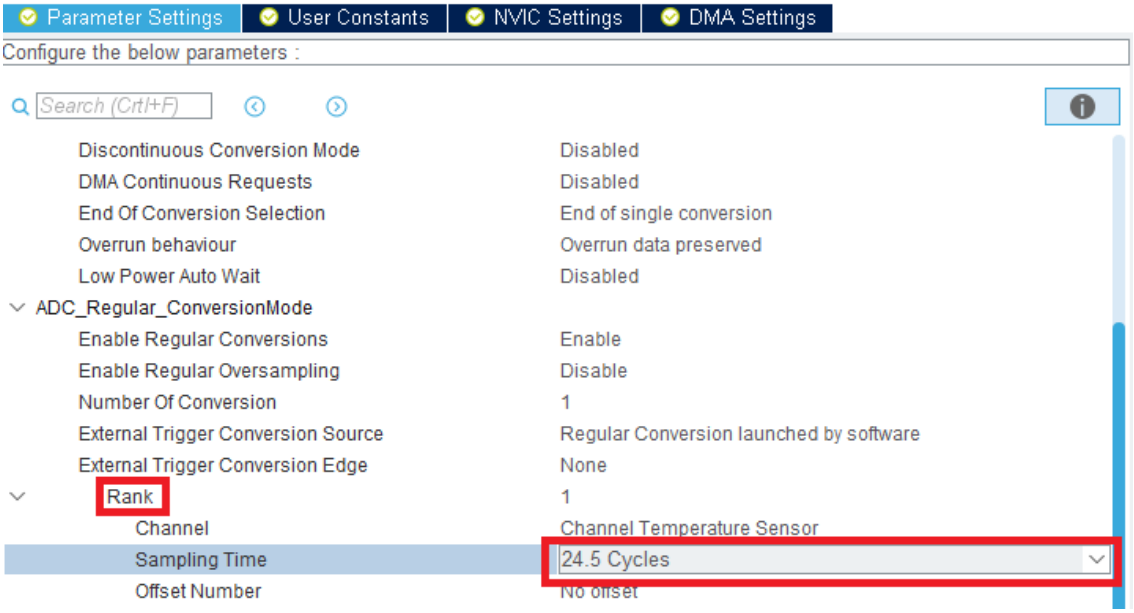


Рисунок 4.2 – Parameter Settings

Перейдите во вкладку «Clock Configuration», если появилось всплывающее окно, представленное на рисунке 4.3, то нажмите «Yes».

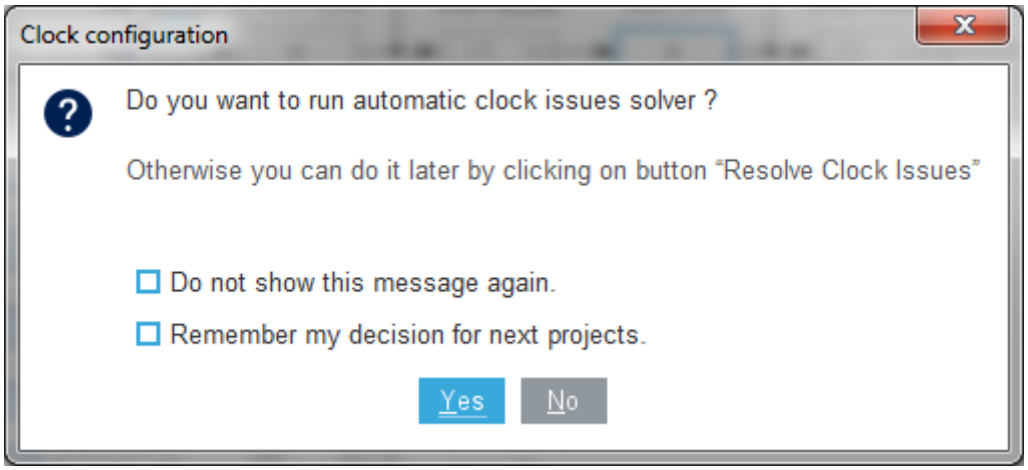


Рисунок 4.3 – Clock automatically Configuration

Настройте тактирование так же, как показано на рисунке 4.4.

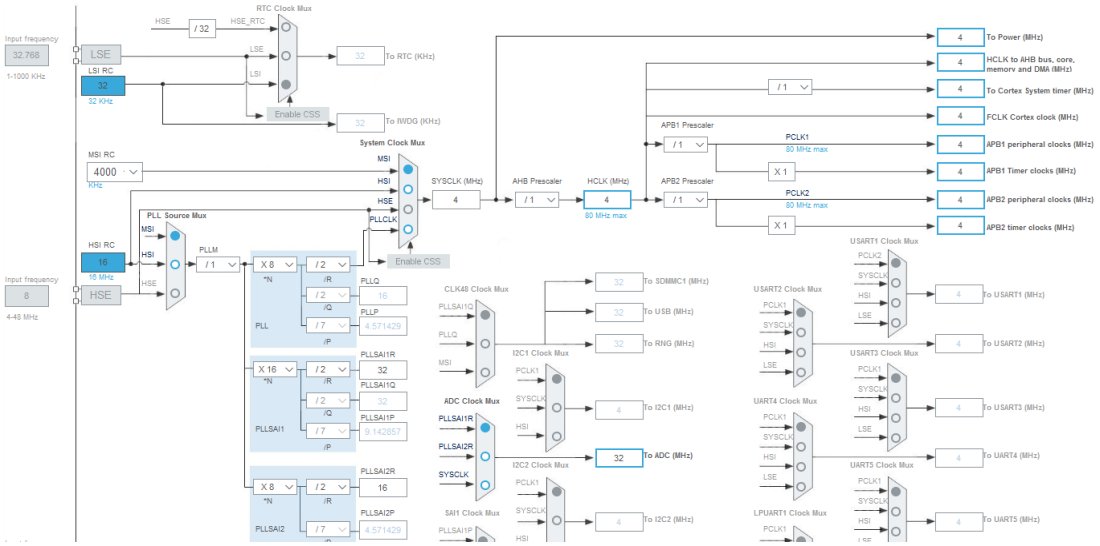


Рисунок 4.4 – Clock configuration

Далее откройте вкладку «Project Manager», вы увидите окно настройки вашего проекта. В поле «Project Name» введите название проекта «Analog_Sensor». В поле «Project Location» укажите путь для сохранения проекта на жестком диске вашего компьютера. В поле «Toolchain/IDE» выберите «MDK-ARM V5», так как для дальнейшей работы мы используем программу KEIL Uvision 5.

2) Если вы внесли все необходимые настройки в ваш проект, можете нажат кнопку «GENERATE CODE». Затем нажмите кнопку «Open Project».

Далее откроется программа KEIL Uvision 5, с вашим проектом «Analog_Sensor».

Откройте файл main.c. В раздел /* USER CODE BEGIN PD */ /* USER CODE END PD */ добавьте данные из таблицы 4.1:

```
#define V_30  0.76f;
#define Avg_Slope     0.0025f;
#define VDDA          3.3f.
```

f – в конце цифр, это тип данных float. Директива #define определяет идентификатор и последовательность символов, которой будет замещаться данный идентификатор при его обнаружении в тексте программы. Стандартный вид директивы:

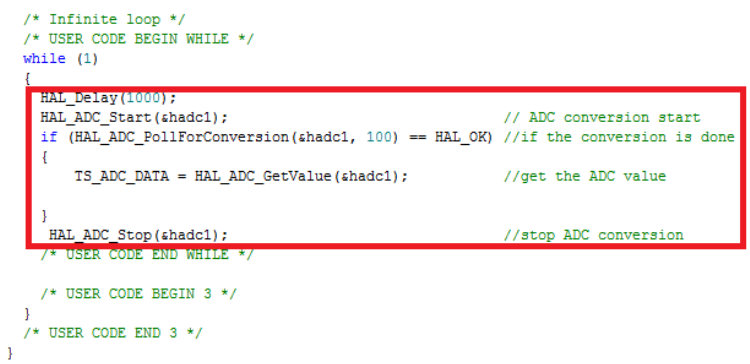
#define имя_макроса последовательность_символов;

Обратим внимание, что в данном операторе отсутствует точка с запятой. Между идентификато-ром и последовательностью символов может быть любое число пробелов. Макрос завершается только переходом на новую строку.

В раздел /* USER CODE BEGIN PV */ /* USER CODE END PV */ добавьте переменные для расчета:

```
int16_t TS_ADC_DATA = 0;
float voltage, Temperature, Temperature2;
uint16_t TS_CAL1, TS_CAL2.
```

3) Далее нужно получить данные с АЦП. Для этого в цикле while (1) нужно выполнить код, который представлен на рисунке 4.5. В этом коде присутствует оператор if, он нужен для того, чтобы считать данные с АЦП только тогда, когда преобразование завершится, и функция вернет значение HAL_OK.



```
/* Infinite loop */
/* USER CODE BEGIN WHILE */
while (1)
{
 HAL_Delay(1000);
 HAL_ADC_Start(&hadc1);                                  // ADC conversion start
 if (HAL_ADC_PollForConversion(&hadc1, 100) == HAL_OK) //if the conversion is done
 {
     TS_ADC_DATA = HAL_ADC_GetValue(&hadc1);           //get the ADC value

 }
  HAL_ADC_Stop(&hadc1);                                  //stop ADC conversion
  /* USER CODE END WHILE */

  /* USER CODE BEGIN 3 */
}
/* USER CODE END 3 */
}
```

Рисунок 4.5 – Get ADC value

Рассчитайте значение температуры по формуле 4.1. В результате у вас получится код, как на рисунке 4.6.

```
/* Infinite loop */
/* USER CODE BEGIN WHILE */
while (1)
{
  HAL_Delay(1000);
  HAL_ADC_Start(&hadc1);                                  // ADC conversion start
  if (HAL_ADC_PollForConversion(&hadc1, 100) == HAL_OK) //if the conversion is done
  {
      TS_ADC_DATA = HAL_ADC_GetValue(&hadc1);           //get the ADC value
      voltage = (float) TS_ADC_DATA/4096*VDDA;          //convert ADC value to volts
      Temperature = Your Code                           //Calculate the temperature value
  }
   HAL_ADC_Stop(&hadc1);                                  //stop ADC conversion
  /* USER CODE END WHILE */

  /* USER CODE BEGIN 3 */
}
/* USER CODE END 3 */
```

Рисунок 4.6 – Аналоговый датчик

Затем нужно сгенерировать ваш код. Для этого нажмите «Rebuild all target files» в Build Toolbar. Начнется генерация проекта и через несколько минут в окне Build Output будет написано «0 Errors 0 Warnings». Это означает что ошибок в проекте нет, и успешно создан файл в формате «.hex» для микроконтроллера.

Присоедените плату B-L475E-IOT01A к вашему компьютеру кабелем USB в разъем.

Затем нужно загрузить вашу программу в микроконтроллер. Для этого нажмите «Download code to flash memory» в Build Toolbar. Начнется загрузка проекта и через несколько секунд в окне «Build Output» будет написано «Programming Done». Это означает что программа успешно загружена.

4) После этого запустите программу STMStudio. Эта программа позволяет смотреть значение переменных в микроконтроллере в режиме реального времени. Нажмите «Пуск», «Все программы», «STMStudio», «STMStudio.exe».

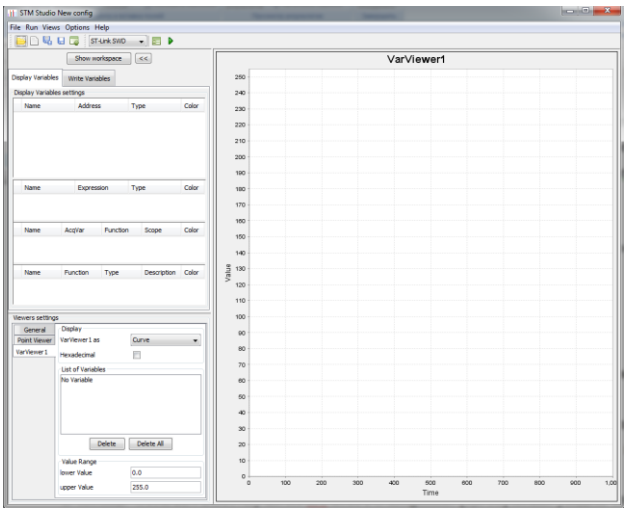


Рисунок 4.7 – Программа STMStudio

На рисунке 4.7 представлен внешний вид программы STMStudio. Она состоит из панели инструментов, «Display Variables» – где отображаются переменные вашей программы, «Viewers settings» – где вы можете настроить окно просмотра, «VarViewer» – окно просмотра переменных.

Чтобы открыть проект нажмите «File» –> «Import Variables». Откроется окно, которое видно на рисунке 4.8. Нажмите на кнопку «Browse» (Выделена красным на рисунке 4.8).

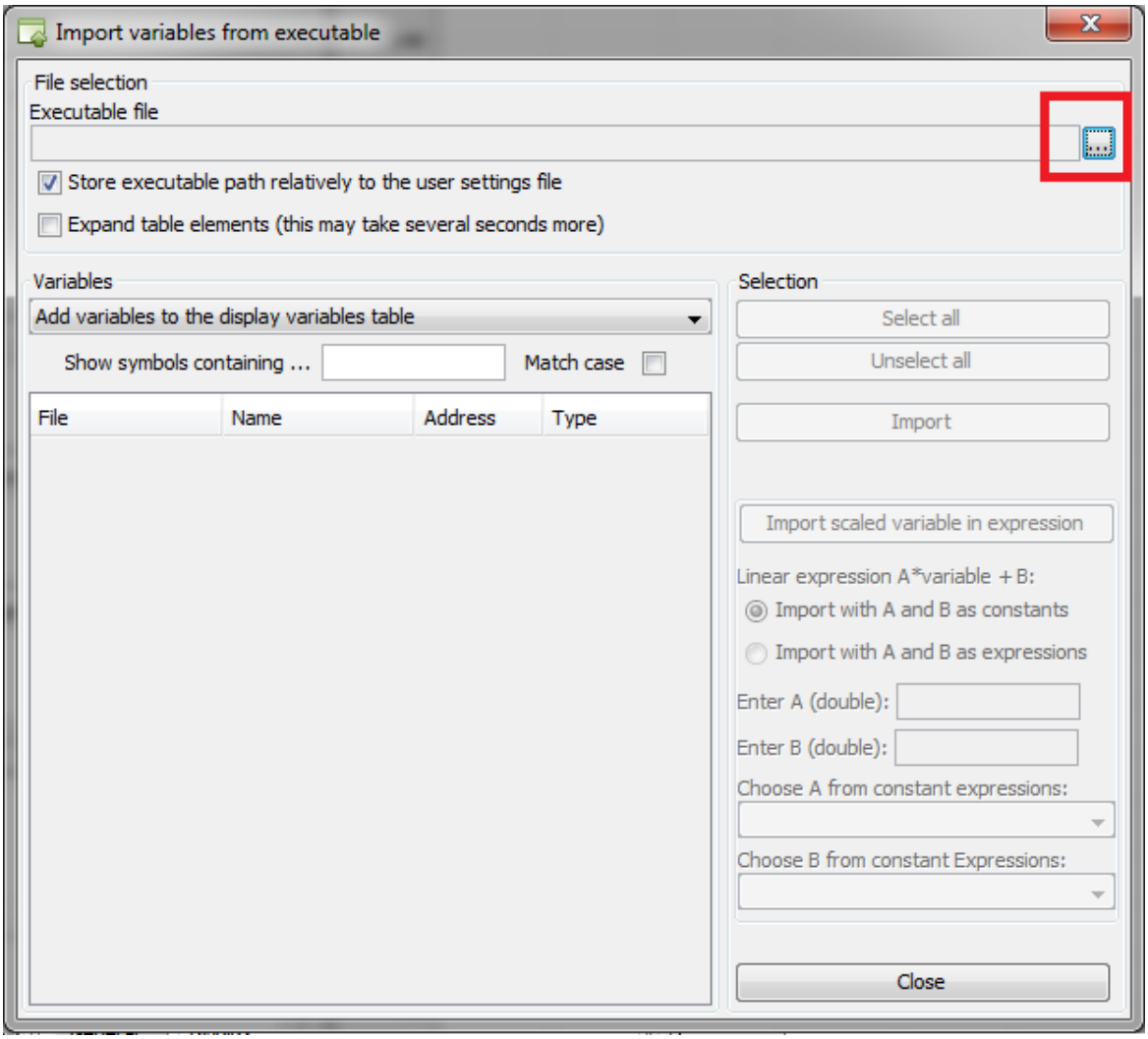


Рисунок 4.8 – Import variables

Далее откройте папку с вашим проектом. В данной папке выберите подпапку «MDK-ARM» и снова папку с вашим проектом, в ней есть файл «Analog_Sensor.axf».

В примере путь выглядит так:

/Analog_sensor/MDK-ARM/Analog_Sensor/ Analog_Sensor.axf;

Затем нажмите кнопку «Select executable file». В новом окне появится список всех переменных в микроконтроллере, как видно на рисунке 4.9.

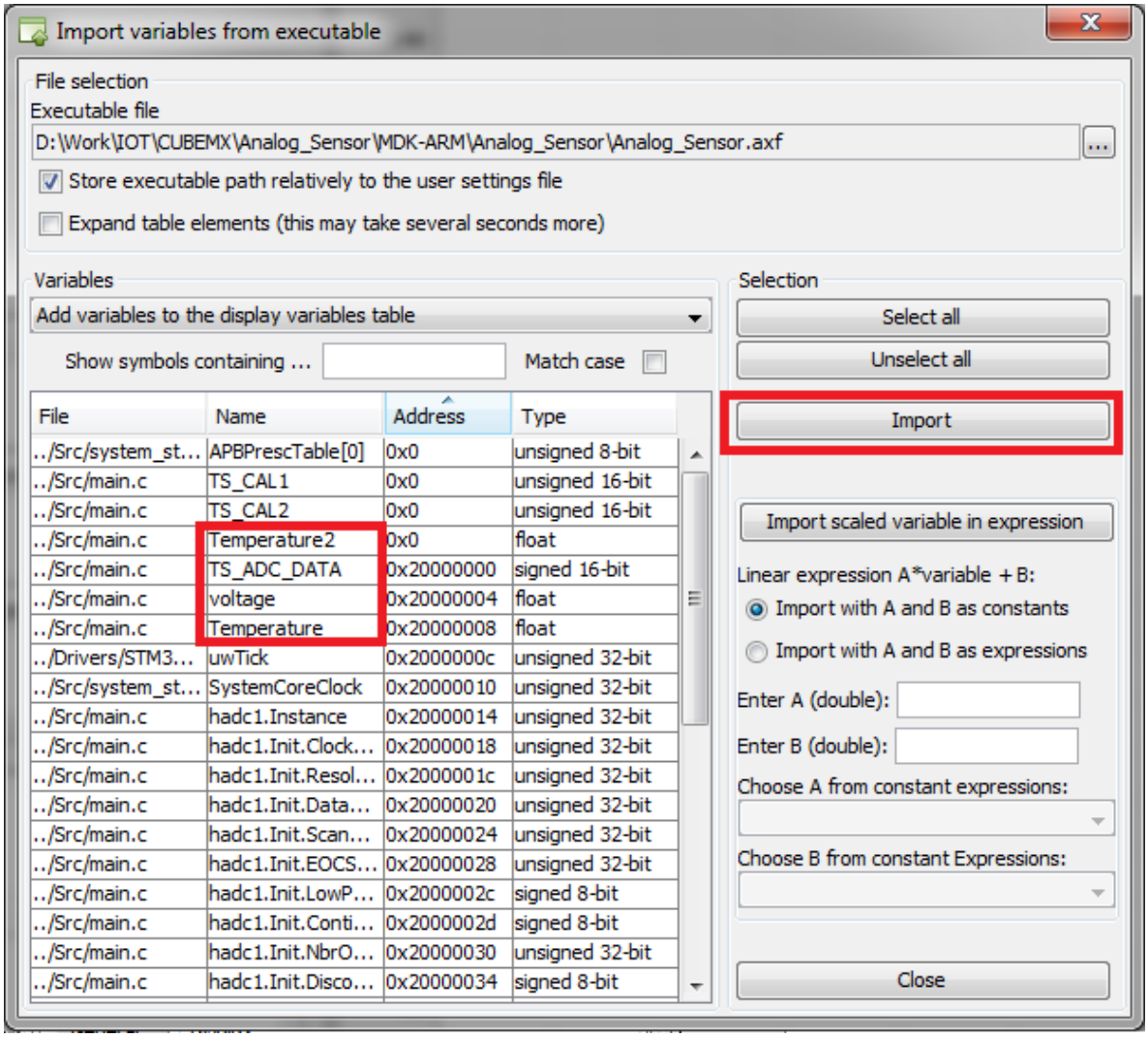


Рисунок 4.9 – Import variables

С зажатой клавишей Shift мышкой выделите переменные: Temperature, Temperature2, TS_ADC_DATA, voltage. Затем нажмите кнопку «Импорт», после этого нажмите кнопку «Close».

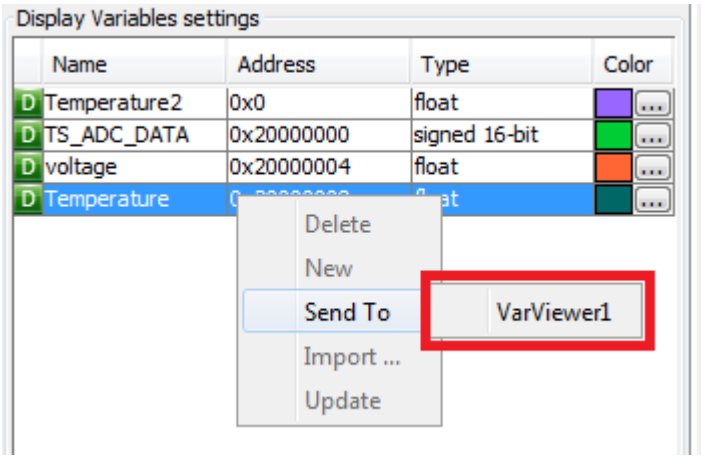


Рисунок 4.10 – Display Variables

Далее в окне «Display Variables», выберите нужную переменную, кликните правой кнопкой мыши и выберите «Send To» –> «VarViewer1». В окне «Viewers settings» вы увидите добавленные переменные (рисунок 4.10). Вы можете отображать данные как Curve, Bar Graph, Table. В этой работе выберите «Table».

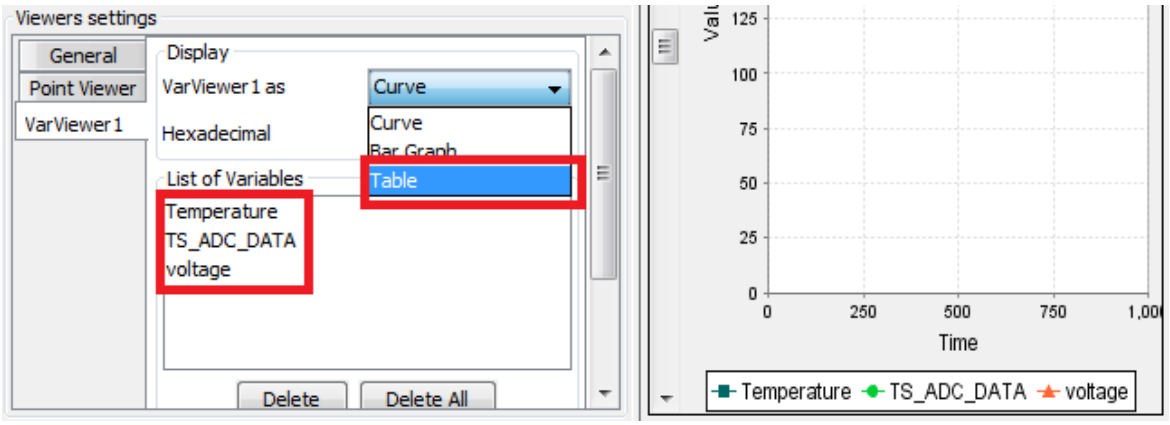


Рисунок 4.11 – Viewers settings

Затем на панели инструментов нажмите «Run» –> «Start S». Вы увидите значения температуры и других переменных в реальном времени. Запишите значение температуры в отчет. После этого нажмите «Run» –> «Stop S». Внимание! Нельзя одновременно смотреть значения переменных в STMStudio и выполнять загрузку кода в плату из Keil. Поэтому всегда нажимайте «Stop S» после просмотра переменных.

Откройте main.c вашего проекта в Keil, в цикле while (1) допишите строки кода:

TS_CAL1 = *TEMPSENSOR_CAL1_ADDR;

TS_CAL2 = *TEMPSENSOR_CAL2_ADDR.

Так вы добавили указатели (знак *) на область памяти, где лежат данные калибровки датчика температуры на заводе ST при 30°C и при 110°C. Далее самостоятельно запишите код расчета температуры по формуле 4.3. Сгенерируйте проект и загрузите его в плату. Запустите программу STMStudio и посмотрите показания температуры, которую вычислили по формуле 4.1 и по формуле 4.3. Объясните полученный результат, запишите результаты в отчет. Какие показания более точны?

Контрольные вопросы

1) Опишите принцип преобразования аналогового сигнала в цифровой.
2) Какие виды датчиков вы знаете?

3) Где в первую очередь искать характеристики датчика или устройства?
4) Как производится настройка АЦП в программе CubeMX.
5) Как преобразовываются данные с АЦП в показания температуры.

Содержание отчета

1) Цель работы;
2) Подробное описание всех этапов проделанной работы;
3) Ответы на вопросы, представленные в тексте практической работы;
4) Важные части вашего кода с пояснениями;
5) Графики и формулы, полученные в процессе выполнения практической работы;
6) Анализ проделанной работы;
7) Выводы по данной практической работе.

5 Работа с цифровыми датчиками. Барометр

Цель работы: изучить принцип считывания показаний цифровых датчиков микроконтроллером. Настроить периферию микроконтроллера для подключения датчика давления.

Задачи практической работы:

1) Подключить датчик давления к микроконтроллеру.
2) Произвести настройку I2C по документации микроконтроллера.
3) Произвести калибровку датчика по документации LPS22HB.
4) Считать и проанализировать показания датчика.

Оборудование и программное обеспечение: плата B-L475E-IOT01A, кабель USB, среда разработки Keil Uvusuion 5, CubeMX.

Теоретический материал

Микроэлектромеханические системы (МЭМС) – устройства, объединяющие в себе микроэлектронные и микромеханические компоненты.

Механическим компонентом может быть примитивный инерциальный датчик и другие, способные определить характерные движения, которые пользователь проделывает со своим устройством.

МЭМС-устройства изготавливают на кремниевой подложке с помощью технологии микрообработки, аналогично технологии изготовления однокристальных интегральных микросхем. Типичные размеры микромеханических элементов лежат в диапазоне от 1 микрометра до 100 микрометров, тогда как размеры кристалла МЭМС-микросхемы имеют размеры от 20 микрометров до одного миллиметра [7].

LPS22HB – ультракомпактный пьезорезистивный датчик абсолютного давления, который функционирует как цифровой выходной барометр. Устройство содержит чувствительный элемент и интерфейс IC, который связывается через I2C или SPI с приложением.

Чувствительный элемент, который определяет абсолютное давление, состоит из подвесной мембраны, изготовленной с использованием специального процесса, разработанного ST. [5] Интерфейс I2C – это простой интерфейс с минимально возможным количеством линий связи. Интерфейс I2C использует всего две линии для связи ведущего устройства с ведомым:

- двунаправленная линия данных SDA;
- линия тактирования SCL, которая используется для синхронизации приема и передачи данных.

Есть ведущий(master) и ведомый (slave), такты генерирует master, ведомый лишь подтверждает прием байта. Всего на одной двухпроводной шине может быть до 127 устройств. Данные передаются последовательно по линии SDA.

Основной формат кадра обмена по I2C состоит из 11 бит. Сначала следует старт-бит, затем 8 бит данных, далее бит подтверждения приема, затем стоп-бит. Старт-бит определяется наличием спадающего фронта на лини SDA при высоком уровне сигнала на линии SCL. Эту комбинацию сигналов принято также называть стартовым состоянием, или состоянием «Старт». Стоп-бит (или состояние «Стоп») определяется наличием нарастающего фронта на линии SDA при высоком уровне на линии SCL. Состояния Старт и Стоп генерируются ведущим устройством, показано на рисунке 5.1 [8].

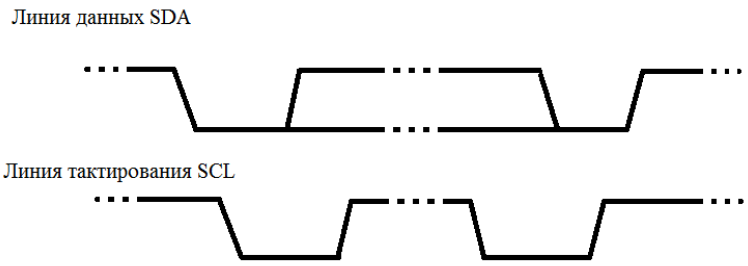


Рисунок 5.1 – I2C

Ход работы

1) Запустите программу CubeMX. Для этого на панели задач откройте меню «Пуск», «Все программы», «STMicroelectronics», «STM32Cube», «STM32CubeMX», «STM32CubeMX.exe».

Нажмите на кнопку «ACCESS TO MCU SELECTOR». Далее откроется окно для выбора микроконтроллера, в списке «MCUs list» выберите микроконтроллер STM32L475VGTx и нажмите на кнопку «Start Project».

Во вкладке «Connectivity» выберите «I2C2», затем в окне «Mode» выберите значение «I2C», значения во вкладке «Parameter Settings» установите, как на рисунке 5.2.

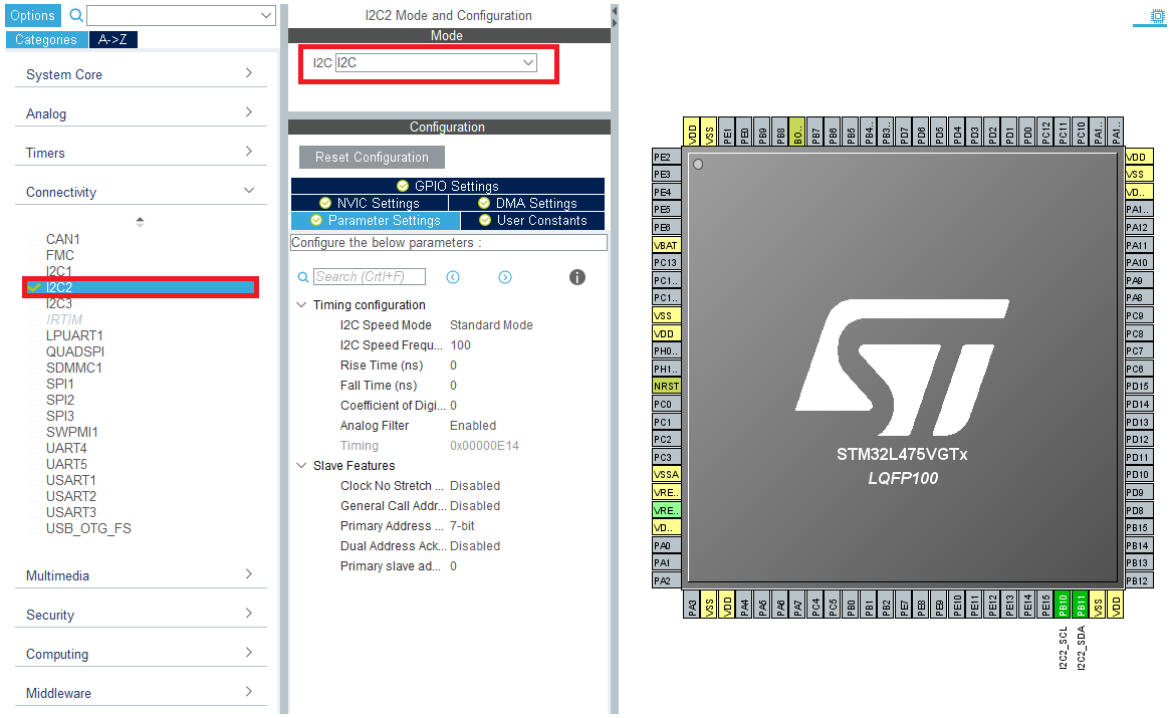


Рисунок 5.2 – I2C Mode

Перейдите во вкладку «Clock Configuration», если появилось всплывающее окно, представленное на рисунке 5.3, то нажмите «Yes».

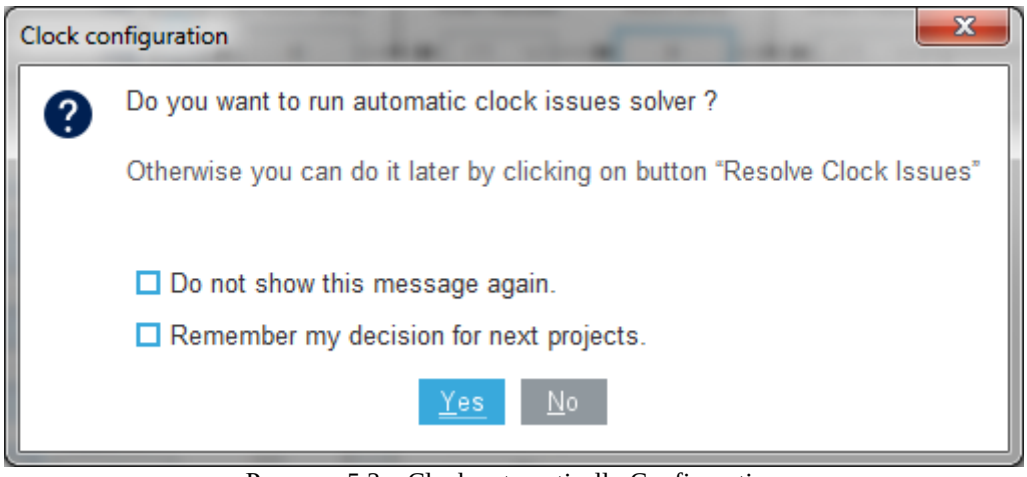


Рисунок 5.3 – Clock automatically Configuration

Настройте тактирование так же, как показано на рисунке 5.4.

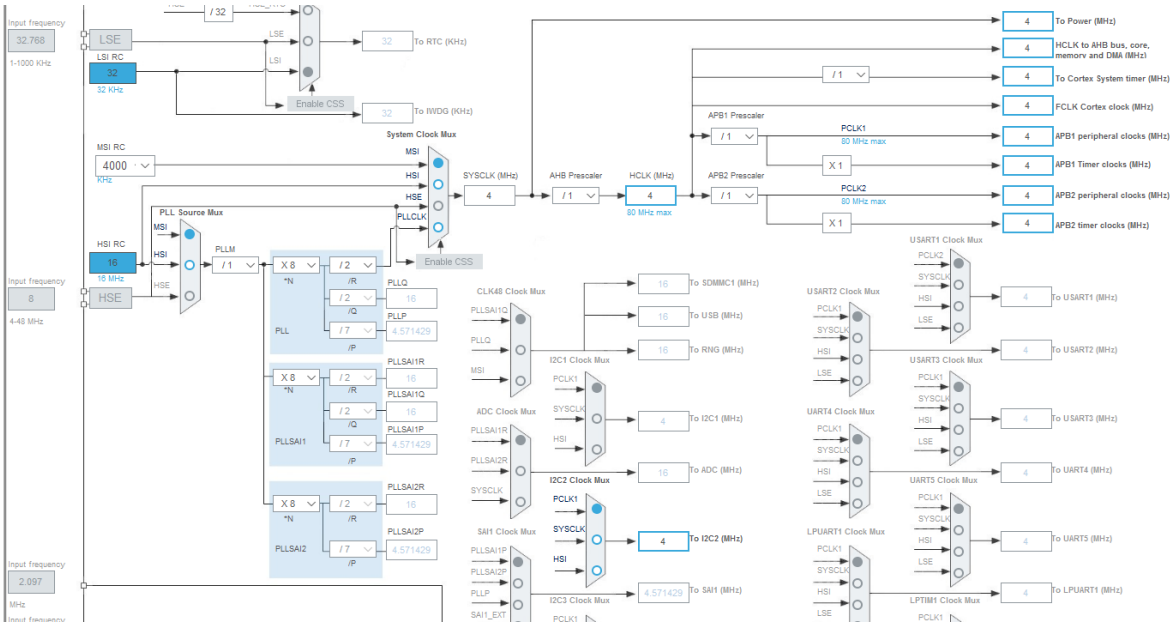


Рисунок 5.4 – Clock configuration

Далее откройте вкладку «Project Manager», вы увидите окно настройки вашего проекта. В поле «Project Name» введите название проекта «LPS22HB». В поле «Project Location» укажите путь для сохранения проекта на жестком диске вашего компьютера. В поле «Toolchain/IDE» выберите «MDK-ARM V5», так как для дальнейшей работы мы используем программу KEIL Uvision 5.

2) Если вы внесли все необходимые настройки в ваш проект, можете нажат кнопку «GENERATE CODE». Затем нажмите кнопку «Open Project».

Далее откроется программа KEIL Uvision 5, с вашим проектом «LPS22HB».

Передача и прием данных с датчика будет осуществляться по интерфейсу I2C. Для работы по этому интерфейсу в библиотеке HAL используются следующие функции:

*HAL_StatusTypeDef HAL_I2C_Master_Receive (I2C_HandleTypeDef *hi2c, uint16_t DevAddress,*

*uint8_t * pData, uint16_t Size, uint32_t Timeout)*

Parameters:

hi2c : Pointer to a I2C_HandleTypeDef structure that contains the configuration information for the specified I2C.

DevAddress: Target device address

pData: Pointer to data buffer
Size: Amount of data to be sent
Timeout: Timeout duration
*HAL_StatusTypeDef HAL_I2C_Master_Transmit (I2C_HandleTypeDef * hi2c, uint16_t DevAddress, uint8_t * pData, uint16_t Size, uint32_t Timeout)*
Parameters:
hi2c: Pointer to a I2C_HandleTypeDef structure that contains the configuration information for the specified I2C.
DevAddress: Target device address
pData: Pointer to data buffer
Size: Amount of data to be sent
Timeout: Timeout duration
Как видно из функции чтобы отправить данные по I2C необходимо указать шину I2C, адрес устройства на шине I2C, адрес регистра в который нужно писать, буфер с вашими данными, размер буфера (для работы с этим сенсором размер буфера = 1) и таймаут.
Для того чтобы считать данные, нужно выполнить функции сложнее. Так как микроконтроллер – это мастер. То нужно сначала отправить данные с адресом регистра, который вы хотите считать, а потом принять данные из этого регистра. Поэтому для удобства добавим эти операции в свои функции, чтобы не писать их каждый раз в дальнейшей работе.
Запишите в раздел /* USER CODE BEGIN 0 */ /* USER CODE END 0 */ функции для отправки данных и приема данных по шине I2C, как показано на рисунке 5.5. Запомните эти функции, они будут использоваться в следующих практических работах.

```
/* USER CODE BEGIN 0 */
void write_register(uint16_t DevAddress, uint8_t register_pointer, uint8_t register_value)
{
    uint8_t data[2];
    data[0] = register_pointer;
    data[1] = register_value;
    HAL_I2C_Master_Transmit(&hi2c2, DevAddress, data, 2, 100);
}

void read_register(uint16_t DevAddress, uint8_t register_pointer, uint8_t* receive_buffer)
{
    HAL_I2C_Master_Transmit(&hi2c2, DevAddress, &register_pointer, 1, 100);
    HAL_I2C_Master_Receive(&hi2c2, DevAddress, receive_buffer, 1, 100);
}
/* USER CODE END 0 */
```

Рисунок 5.5 – Transmit and receive I2C functions

Далее добавьте инициализацию переменных, как на рисунке 5.6. Эти переменные понадобятся для работы с сенсором.

```
/* USER CODE BEGIN PV */
uint8_t WHO_I_AM;
int32_t PRESS,Pressure_millibar;
uint8_t buffer[3];
uint8_t i2c_receive_buf[1];
/* USER CODE END PV */
```

Рисунок 5.6 – Private variables

3) Теперь можно начать изучение датчика давления. Первое что нужно сделать при работе с датчиком по шине I2C – узнать адрес сенсора в документации.
Откройте документацию платы B-L475E-IOT01A [1 7.15 I2C addresses of modules used on MB1297] и в таблице 5.1 найдите адрес датчика LPS22HB.

Таблица 5.1 – Устройства на шине I2C

Модули	Описание	SAD[6:0] + R/W	I2C write address	I2C read address
HTS221	Емкостный цифровой датчик для измерения относительной влажности и температуры	1011111x	0xBE	0xBF
LIS3MDL	3-х осевой магнитометр	0011110x	0x3C	0x3D
LPS22HB	МЭМС датчик давления	1011101x	0xBA	0xBB
LSM6DSL	3D акселерометр и 3D гироскоп	1101010x	0xD4	0xD5
VL53L0X	Датчик обнаружения жестов	0101001x	0x52	0x53
M24SR64-Y	Динамическая NFC / RFID метка	1010110x	0xAC	0xAD
STSAFE-A100	-	0100000x	0x40	0x41

Как видно в таблице 5.1 адрес сенсора написан в трех вариантах: в двоичном виде без младшего байта, в шестнадцатеричном виде если младший байт = 0, в шестнадцатеричном виде если младший байт = 1. Но функции HAL_I2C_Master_Receive и HAL_I2C_Master_Transmit сами изменяют младший байт на «1» при считывании, поэтому используйте только I2C write Address. Для датчика LPS22HB этот адрес будет равен «10111010» или в шестнадцатеричном виде «0xBA». Вы должны хорошо понимать перевод числа из одной системы счисления в другую, так как все числа нужно писать в шестнадцатеричном виде, а настраивать регистры в двоичном виде.

4) Откройте документацию датчика LPS22HB [5 Description,3.1-3.4,4.1-4.4] прочитайте описание и характеристики датчика. Затем нужно узнать значение регистра WHO_I_AM. WHO_I_AM – это регистр в котором сохранен идентификатор устройства. Это проверка подключен ли сенсор, и какой сенсор подключен по этому адресу. Откройте [5 - 9.4 WHO_AM_I (0Fh)]. Как видно адрес регистра WHO_AM_I равен 0Fh (для большинства сенсоров он равен 0Fh), а его значение 10110001b = B1h = 177d.

Теперь считаем данные с сенсора с адресом 0xBA, из регистра 0Fh, как показано на рисунке 5.7.

```
  /* USER CODE BEGIN 2 */
read_register(0xBA, 0x0F, i2c_receive_buf);
WHO_I_AM = i2c_receive_buf[0];
  /* USER CODE END 2 */
```

Рисунок 5.7 – WHO_AM_I

Затем нужно сгенерировать ваш код. Для этого нажмите «Rebuild all target files» в «Build Toolbar». Начнется генерация проекта и через несколько минут в окне «Build Output» будет написано «0 Errors 0 Warnings». Это означает что ошибок в проекте нет, и успешно создан файл в формате «.hex» для микроконтроллера.

Присоедините плату B-L475E-IOT01A к вашему компьютеру кабелем USB в разъем.

Затем нужно загрузить вашу программу в микроконтроллер. Для этого нажмите «Download code to flash memory» в Build Toolbar. Начнется загрузка проекта и через несколько секунд в окне Build Output будет написано «Programming Done». Это означает что программа успешно загружена.

Запустите программу STMStudio с проектом «LPS22HB» (описано в предыдущей практической работе) и сделайте импорт переменной WHO_I_AM включите плату и запустите просмотр. Посмотрите значение переменной. Если оно равно «0xB1» в шестнадцатеричном виде, значит вы правильно запустили датчик и можете выполнять работу дальше, если нет – то вы допустили ошибку. Проверьте ваш код и исправьте ее.

5) Далее нужно проинициализировать сенсор. Это значит нужно настроить частоту работы, показания этого датчика и другие. Для этого существуют управляющие регистры. Изменяя их значения, вы изменяете работу датчика.

В датчике LPS22HB это регистры 10h, 11h, 12h. Откройте документацию LPS22HB и прочитайте значения всех битов регистра 10h [5 - 9.5 CTRL_REG1 (10h)]. После этого вы должны понять, что нужно настроить:

- Output data rate - 75 Hz;
- Low-pass filter enabled;
- Output registers not updated until MSB and LSB have been read;
- SPI Serial Interface Mode - Default value: 0 (We do not use SPI interface).

Поэтому значение регистра нужно написать 01011010 (5Ah), как описано в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Описание настройки регистра

№	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	0	ODR2	ODR1	ODR0	EN_LPFP	LPFP_ CFG	BDU	SIM
Need value	0	1	0	1	1	0	1	0

Далее изучите регистр CTRL_REG2 (11h) [5 - 9.6 CTRL_REG2 (11h)]. Его нужно настроить следующим образом:

- Reboot memory content – normal mode;
- FIFO disable;
- Stop on FIFO watermark – disable;
- Register address automatically incremented during a multiple byte access with a
- serial interface – disable;
- I2C enabled;
- Software reset – normal mode;
- One-shot enable – idle mode.

Далее изучите регистр CTRL_REG3 (12h) [5 - 9.7 CTRL_REG3 (12h)]. Его нужно настроить следующим образом:

All bytes – Default value.

В результате вы получите код инициализации датчика, как показано на рисунке 5.8.

```
  /* USER CODE BEGIN 2 */
read_register(0xBA, 0x0F, i2c_receive_buf);
WHO_I_AM = i2c_receive_buf[0];
//initialisation
write_register(0xBA, 0x10, 0x5A); // (5Ah = 1011010b)
write_register(0xBA, 0x11, 0x00); // (00h = 0000000b)
write_register(0xBA, 0x12, 0x00); // (00h = 0000000b)
  /* USER CODE END 2 */
```

Рисунок 5.8 – Инициализация

6) Если вы правильно настроили инициализацию, то датчик должен исправно работать и показывать данные об атмосферном давлении. Для того чтобы узнать, как считать данные о давлении с датчика откройте документацию LPS22HB и прочтите пункты 9.18-9.20. Информация о давлении это 32-битное число, которое разделено на 3 8-битных числа, которые находятся в регистрах PRESS_OUT_XL (28h), PRESS_OUT_L (29h), PRESS_OUT_H (2Ah). Нужно по очереди считать показания трех регистров, а затем соединить их в одно число.

Таблица 5.3 – Структура данных

PRESS_OUT_H (2Ah)	PRESS_OUT_L (29h)	PRESS_OUT_XL (28h)
00010110 = 16h	00011010 = 1Ah	10111010 = BAh
PRESS_OUT = 00010110 00011010 10111010 = 161ABAh		

Аналогично тому как вы считали значения регистра WHO_AM_I, считайте по очереди значения регистров PRESS_OUT_XL (28h), PRESS_OUT_L (29h), PRESS_OUT_H (2Ah). И добавьте их в массив buffer, как показано на рисунке 5.9.

```
  /* USER CODE BEGIN WHILE */
  while (1)
  {
    //// Barometer_READ
read_register(0xBA, 0x28, i2c_receive_buf);
buffer[0] = i2c_receive_buf[0];
read_register Your code ;
buffer[1] = i2c_receive_buf[0];
read_register Your code ;
buffer[2] = i2c_receive_buf[0];
    /* USER CODE END WHILE */

    /* USER CODE BEGIN 3 */
  }
  /* USER CODE END 3 */
}
```

Рисунок 5.9 – Barometer read

Далее нужно собрать три 3 8-битных числа из массива buffer в одно 32-битное число. Для этого нужно сложить buffer [0] со сдвинутым на 8 бит buffer [1] и со сдвинутым на 16 бит buffer [2] (как объяснено в таблице 5.3).

Чтобы перевести это значение из LSB в миллибары нужно поделить это значение на Scaling Factor.

Pressure Value (LSB) = PRESS_OUT_H (2Ah) & PRESS_OUT_L (29h) & PRESS_OUT_XL (28h);

Press Value (hPa) = (Pressure value (LSB))/ Scaling Factor.

Это видно на рисунке 5.10.

Скомпилируйте полученный код, загрузите его в плату. Затем запустите программу STMStudio, импортируйте новые переменные для просмотра (PRESS, Pressure_millibar). Оцените полученный результат.

7) Затем добавьте код преобразования результатов сенсора (Pressure_millibar) в миллиметры ртутного столба. И выведите значение в STMStudio.

8) Запишите его в отчет. Найдите значение нормального атмосферного давления и сравните его с полученным вами. На сколько отличается значение? Что это означает? Как атмосферное давление изменяется от погоды? Как атмосферное давление изменяется от высоты?

```
  /* Infinite loop */
  /* USER CODE BEGIN WHILE */
  while (1)
  {
    //// Barometer_READ
read_register(0xBA, 0x28, i2c_receive_buf);
buffer[0] = i2c_receive_buf[0];
read_register(Your code);
buffer[1] = i2c_receive_buf[0];
read_register(Your code);
buffer[2] = i2c_receive_buf[0];
PRESS = ((((uint32_t)buffer[2]) << 16)+(((uint32_t)buffer[1]) << 8) + buffer[0]);
Pressure_millibar = PRESS/4096;
HAL_Delay(2000);
    /* USER CODE END WHILE */

    /* USER CODE BEGIN 3 */
  }
  /* USER CODE END 3 */
}
```

Рисунок 5.10 – Чтение данных барометра

Контрольные вопросы

1) Как работают МЭМС датчики?
2) Какие виды МЭМС датчиков вы знаете?
3) Как устроен датчик давления?
4) Как работает интерфейс I2C?
5) Из каких этапов состоит считывание данных с датчика?
6) Как производится инициализация датчика давления?

Содержание отчета

1) Цель работы;
2) Подробное описание всех этапов проделанной работы;
3) Ответы на вопросы, представленные в тексте практической работы;
4) Важные части вашего кода с пояснениями;
5) Графики и формулы, полученные в процессе выполнения практической работы;
6) Анализ проделанной работы;
7) Выводы по данной практической работе.

6 Работа с цифровыми датчиками. Цифровой датчик температуры

Цель работы: подключить к микроконтроллеру цифровой датчик температуры. Произвести инициализацию и калибровку датчика. Считать данные и рассчитать значение температуры, измеренное датчиком.

Задачи практической работы:

1) Подключить датчик температуры к микроконтроллеру.
2) Произвести настройку I2C по документации микроконтроллера.
3) Произвести калибровку датчика по документации HTS221.
4) Считать и проанализировать показания датчика.

Оборудование и программное обеспечение: плата B-L475E-IOT01A, кабель USB, среда разработки Keil Uvusuion 5, CubeMX, STMStudio.

Теоретический материал

HTS221 – это цифровой датчик влажности и температуры. Устройство включает в себя чувствительный элемент и интерфейс IC (интегральную схему), способный принимать информацию от чувствительного элемента и предоставлять цифровой сигнал приложению, связываясь через интерфейсы I²C / SPI.

Полная цепочка измерений состоит из малошумящего емкостного усилителя, который преобразует емкостный дисбаланс датчика влажности в аналоговый сигнал напряжения, а аналого-цифровой преобразователь преобразовывает в цифровую.

Преобразователь соединен со специальным аппаратным (HW) фильтром усреднения для удаления высокочастотного компонента и уменьшения трафика по последовательному интерфейсу.

Интерфейс IC (интегральная схема) откалиброван на заводе-изготовителе, и коэффициенты, необходимые для преобразования 16-битных значений АЦП градусы Цельсия, могут быть считаны через внутренние регистры датчика. Дальнейшая калибровка пользователем не требуется.

Блок-схема датчика HTS221 показана на рисунке 6.1.

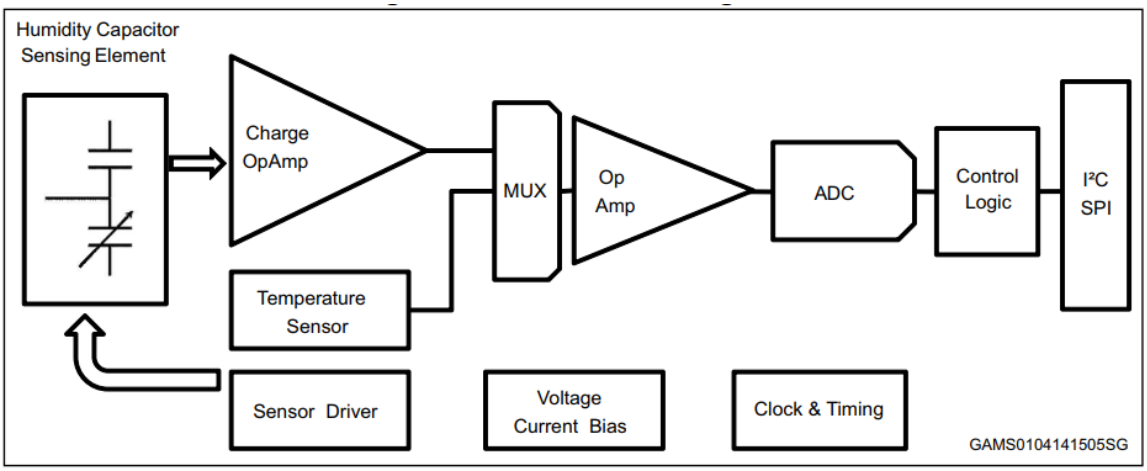


Рисунок 6.1 – Блок-диаграмма HTS221[6]

Датчик влажности HTS221 сохраняет значение температуры в необработанных значениях в двух 8-битных регистрах:

- TEMP_OUT_H (0x2B);
- TEMP_OUT_L (0x2A).

2 байта объединяются в 16-битное слово.

Самый старший бит (MSB) регистра TEMP_OUT_H указывает полярность:

- Если бит знака равен нулю, то считанное значение является положительным;
- Если бит знака равен единице, то считываемое значение является отрицательным: в этом случае мы берем два дополнения к полному слову.

Значение температуры T должно быть рассчитано путем линейной интерполяции текущих регистров (TEMP_OUT_H & TEMP_OUT_L) с калибровочными регистрами.

Ход работы

1) Запустите программу CubeMX. Для этого на панели задач откройте меню «Пуск», «Все программы», «STMicroelectronics», «STM32Cube», «STM32CubeMX», «STM32CubeMX.exe».

Нажмите на кнопку «ACCESS TO MCU SELECTOR». Далее откроется окно для выбора микроконтроллера, в списке «MCUs list» выберите микроконтроллер STM32L475VGTx и нажмите на кнопку «Start Project».

В вкладке «Connectivity» выберите «I2C2», затем в окне «Mode» выберите значение «I2C», значения во вкладке «Parameter Settings» установите, как на рисунке 6.2.

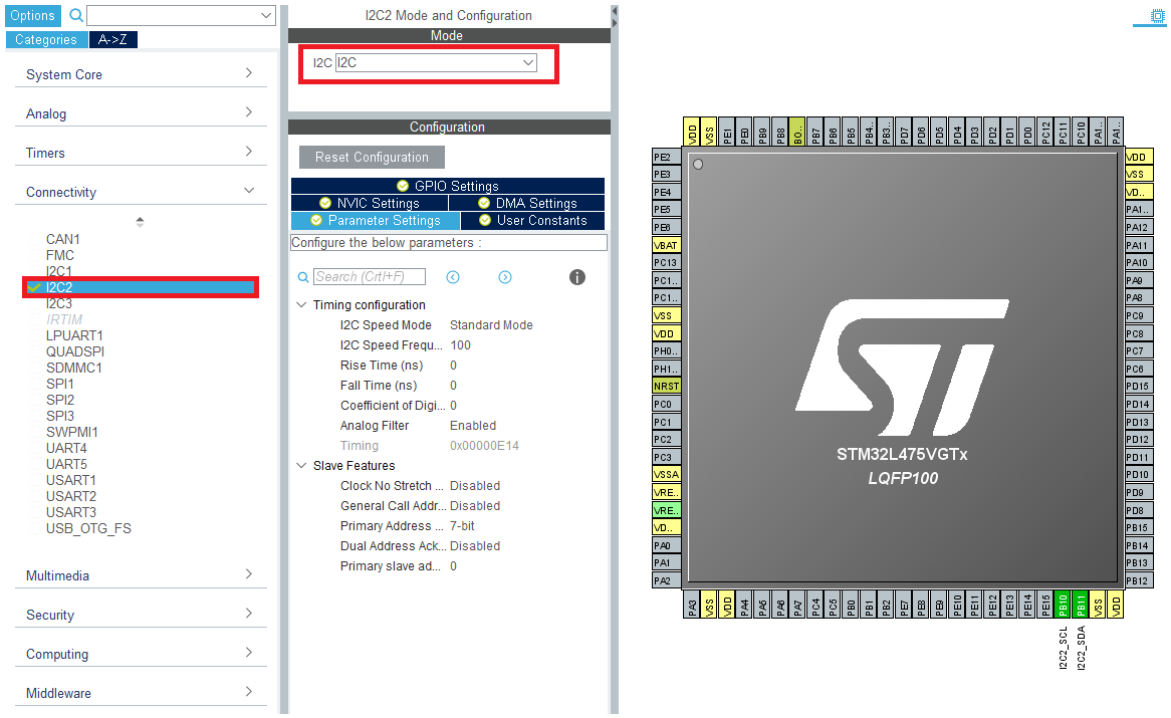


Рисунок 6.2 – I2C Mode

Настройте тактирование так же, как показано на рисунке 6.3.

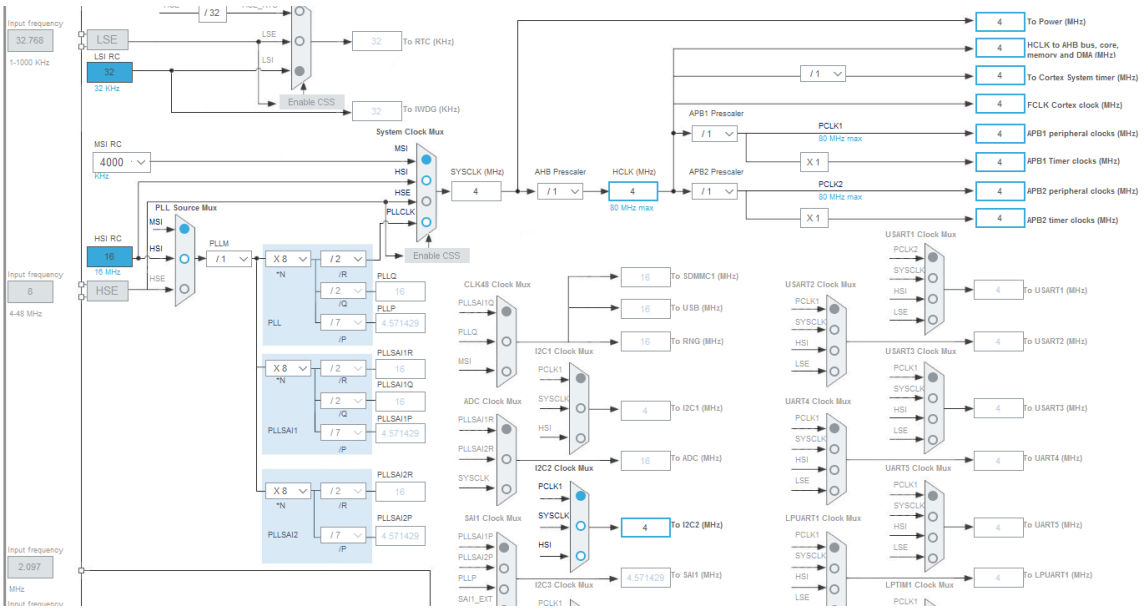


Рисунок 6.3 – Clock configuration

Далее откройте вкладку «Project Manager», вы увидите окно настройки вашего проекта. В поле «Project Name» введите название проекта «HTS221_Temperature». В поле «Project Location» укажите путь для сохранения проекта на жестком диске вашего компьютера. В поле «Toolchain/IDE» выберите «MDK-ARM V5», так как для дальнейшей работы мы используем программу KEIL Uvision 5.

Если вы внесли все необходимые настройки в ваш проект, можете нажать кнопку «GENERATE CODE». Затем нажмите кнопку «Open Project».

2) Далее откроется программа KEIL Uvision 5, с вашим проектом «HTS221_Temperature».

Запишите в раздел /* USER CODE BEGIN 0 */ /* USER CODE END 0 */ функции для отправки данных и приема данных по шине I2C, как показано на рисунке 6.4.

```
/* USER CODE BEGIN 0 */
void write_register(uint16_t DevAddress, uint8_t register_pointer, uint8_t register_value)
{
    uint8_t data[2];
    data[0] = register_pointer;
    data[1] = register_value;
    HAL_I2C_Master_Transmit(&hi2c2, DevAddress, data, 2, 100);
}

void read_register(uint16_t DevAddress, uint8_t register_pointer, uint8_t* receive_buffer)
{
    HAL_I2C_Master_Transmit(&hi2c2, DevAddress, &register_pointer, 1, 100);
    HAL_I2C_Master_Receive(&hi2c2, DevAddress, receive_buffer, 1, 100);
}
/* USER CODE END 0 */
```

Рисунок 6.4 – Transmit and receive I2C functions

3) Далее добавьте инициализацию переменных, как на рисунке 6.5. Эти переменные понадобятся для работы с сенсором.

```
/* USER CODE BEGIN PV */
uint8_t i2c_receive_buf[2], buffer[4], tmp;
int16_t T0_degC, T1_degC, T0_out, T1_out, T_out, T0_degC_x8_u16, T1_degC_x8_u16;
float Temperature;
/* USER CODE END PV */
```

Рисунок 6.5 – Private variables

Откройте документацию платы B-L475E-IOT01A [1 7.15 I2C addresses of modules used on MB1297] и найдите адрес датчика HTS221.

Для датчика HTS221 этот адрес будет равен «10111110» или в шестнадцатеричном виде «0xBE».

4) Откройте документацию датчика HTS221 [6 - 7.1 WHO_AM_I] и определите адрес и значение регистра WHO_AM_I.

Теперь считайте данные с сенсора HTS221, из регистра WHO_AM_I. Вы делали это аналогично в предыдущей работе. Сгенерируйте проект, подключите плату и загрузите в нее проект. Затем запустите STMStudio и посмотрите значение регистра WHO_AM_I аналогично предыдущей работе.

5) Затем нужно проинициализировать сенсор. Для этого нужно открыть [6 - 7.3 CTRL_REG1 (20h)]. В нем нужно настроить 4 байта:

- PD: power-down control – active mode;
- BDU: block data update – output registers not updated until MSB and LSB reading;
- ODR1, ODR0: output data rate selection – 12.5 Hz.

Таблица 6.1 – CTRL_REG1

7	6	5	4	3	2	1	0
PD	Reserved				BDU	ODR1	ODR0

Запишите в устройство с адресом «0xBE», в регистр «0x20», значение «0x87 (10000111)».

Далее считайте показания датчика ADC_OUT (LSB) и преобразуйте в °C. Для этого прочитайте пункт 8 документации сенсора [6 - 8 Humidity and temperature data conversion]:

6) Считайте значение коэффициентов T0_degC_x8 и T1_degC_x8 из регистров 0x32 & 0x33.

```
read_register(0xBE, 0x32, i2c_receive_buf);
    buffer[0]=i2c_receive_buf[0];
read_register(0xBE, 0x33, i2c_receive_buf);
    buffer[1]=i2c_receive_buf[0];
```

7) Считайте MSB биты T1_degC и T0_degC из регистров 0x35 для вычисления T0_DegC and T1_DegC.

```
read_register(0xBE, 0x35, i2c_receive_buf);
    tmp=i2c_receive_buf[0];
```

8) Вычислите T0_degC и T1_degC

```
T0_degC_x8_u16 = (((uint16_t)(tmp & 0x03)) << 8) | ((uint16_t)buffer[0]);
T1_degC_x8_u16 = (((uint16_t)(tmp & 0x0C)) << 6) | ((uint16_t)buffer[1]);
    T0_degC = T0_degC_x8_u16 >> 3;
    T1_degC = T1_degC_x8_u16 >> 3;
```

9) Считайте из регистров 0x3C & 0x3D значение T0_OUT.

```
read_register(0xBE, 0x3C, i2c_receive_buf);
    buffer[0]=i2c_receive_buf[0];
read_register(0xBE, 0x3D, i2c_receive_buf);
    buffer[1]=i2c_receive_buf[0];
```

10) Считайте значение T1_OUT из регистров 0x3E & 0x3F.

```
read_register(0xBE, 0x3E, i2c_receive_buf);
    buffer[2]=i2c_receive_buf[0];
read_register(0xBE, 0x3F, i2c_receive_buf);
    buffer[3]=i2c_receive_buf[0];
```

11) Переведите 8-bit данные в 16-bit T0_out и T1_out

```
T0_out = (((uint16_t)buffer[1]) << 8) | (uint16_t)buffer[0];
```

T1_out = (((uint16_t)buffer[3]) << 8) | (uint16_t)buffer[2];

Общий код показан на рисунке6.6.

```
  /* USER CODE BEGIN 2 */
//Initialization
write_register(0xBE, 0x20, 0x87);

read_register(0xBE, 0x32, i2c_receive_buf);
buffer[0]=i2c_receive_buf[0];
read_register(0xBE, 0x33, i2c_receive_buf);
buffer[1]=i2c_receive_buf[0];
read_register(0xBE, 0x35, i2c_receive_buf);
tmp=i2c_receive_buf[0];
T0_degC_x8_u16 = (((uint16_t)(tmp & 0x03)) << 8) | ((uint16_t)buffer[0]);
T1_degC_x8_u16 = (((uint16_t)(tmp & 0x0C)) << 6) | ((uint16_t)buffer[1]);
T0_degC = T0_degC_x8_u16 >> 3;
T1_degC = T1_degC_x8_u16 >> 3;
read_register(0xBE, 0x3C, i2c_receive_buf);
buffer[0]=i2c_receive_buf[0];
read_register(0xBE, 0x3D, i2c_receive_buf);
buffer[1]=i2c_receive_buf[0];
read_register(0xBE, 0x3E, i2c_receive_buf);
buffer[2]=i2c_receive_buf[0];
read_register(0xBE, 0x3F, i2c_receive_buf);
buffer[3]=i2c_receive_buf[0];
T0_out = (((uint16_t)buffer[1]) << 8) | (uint16_t)buffer[0];
T1_out = (((uint16_t)buffer[3]) << 8) | (uint16_t)buffer[2];
  /* USER CODE END 2 */
```

Рисунок 6.6 – Инициализация датчика

12) Далее в цикле, while(1) считайте T_OUT (ADC_OUT) из регистров 0x2A & 0x2B.

13) Аналогично T0_out преобразовать 8-битные значения (MSB и LSB) в один 16-битный T_OUT

```
  /* Infinite loop */
  /* USER CODE BEGIN WHILE */
  while (1)
  {
HAL_Delay(1000);
read_register(0xBE, 0x2A, i2c_receive_buf);
buffer[0]=i2c_receive_buf[0];
read_register(0xBE, 0x2B, i2c_receive_buf);
buffer[1]=i2c_receive_buf[0];
T_out = Your code;

    /* USER CODE END WHILE */

    /* USER CODE BEGIN 3 */
  }
  /* USER CODE END 3 */
}
```

Рисунок 6.7 – Считывание показаний

14) Вычислите значение T [degC] путем линейной интерполяции, применяя следующую формулу:

$$T[\deg C] = \frac{(T1\_\deg C - T0\_\deg C)(T\_OUT - T0\_OUT)}{T1\_OUT - T0\_OUT} + T0\_\deg C \quad (6.1)$$

Когда рассчитываете формулу приведите ее к типу float

Temperature = (float) Your formula;

15) Сгенерируйте проект, загрузите его в плату. Включите STMStudio, добавьте новые переменные из проекта и посмотрите на показания температуры и переменных. Запишите все показания в отчет. Опишите принцип работы датчика, его характеристики. Для чего температура рассчитывается таким образом? Как обеспечивается калибровка?

Контрольные вопросы

1) Как работает датчик HTS221?
2) Как производится калибровка датчика температуры?
3) Как работает интерфейс обмена между микроконтроллером и датчиком по I2C?
4) Из каких этапов состоит считывание данных с датчика?
5) Как производится инициализация датчика?

Содержание отчета

1) Цель работы;
2) Подробное описание всех этапов проделанной работы;
3) Ответы на вопросы, представленные в тексте практической работы;
4) Важные части вашего кода с пояснениями;
5) Графики и формулы, полученные в процессе выполнения практической работы;
6) Анализ проделанной работы;
7) Выводы по данной практической работе.

7 Работа с цифровыми датчиками. Цифровой датчик влажности

Цель работы: подключить к микроконтроллеру цифровой датчик влажности. Произвести инициализацию и калибровку датчика. Считать данные и рассчитать значение влажности, измеренное датчиком.

Задачи практической работы:

1) Подключить датчик влажности к микроконтроллеру.
2) Произвести настройку I2C по документации микроконтроллера.
3) Произвести калибровку датчика по документации HTS221.
4) Считать и проанализировать показания датчика.

Оборудование и программное обеспечение: плата B-L475E-IOT01A, кабель USB, среда разработки Keil Uvusuion 5, CubeMX, STMStudio.

Теоретический материал

Относительная влажность (RH) – это отношение парциального давления водяного пара к равновесному давлению водяного пара при данной температуре. Относительная влажность зависит от температуры и давления интересующей системы. Такое же количество водяного пара приводит к более высокой относительной влажности холодного воздуха, чем теплого воздуха.

HTS221 – это цифровой датчик влажности и температуры. Устройство включает в себя чувствительный элемент и интерфейс IC (интегральной схемы), способный принимать информацию от чувствительного элемента и предоставлять цифровой сигнал приложению, связываясь через интерфейсы I²C / SPI с хост-контроллером.

Блок-схема датчика HTS221 показана на рисунке 7.1.

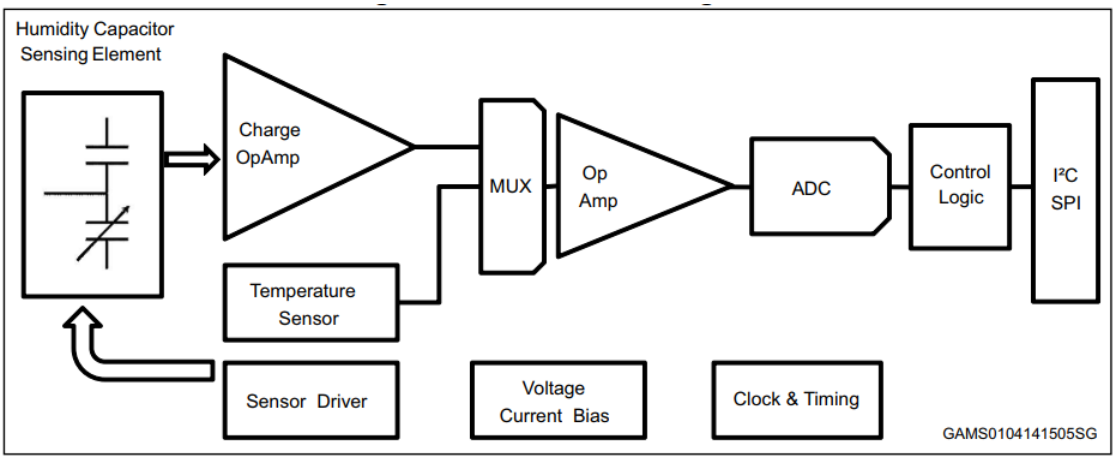


Рисунок 7.1 – Блок-диаграмма HTS221[6]

Датчик влажности HTS221 хранит значение влажности в необработанных значениях в двух 8-битных регистрах;

HUMIDITY_OUT_H (0x29);

HUMIDITY_OUT_L (0x28).

2 байта объединяются в 16-битное слово.

Значение относительной влажности RH следует рассчитывать путем линейной интерполяции регистров (HUMIDITY_OUT_H & HUMIDITY_OUT_L) с регистрами калибровки;

Устройство откалибровано на заводе-изготовителе, и коэффициенты, необходимые для преобразования 16-разрядных значений АЦП в% относительной влажности, могут быть считаны из регистров внутреннего датчика.

Ход работы

1) Запустите программу CubeMX. Для этого на панели задач откройте меню «Пуск», «Все программы», «STMicroelectronics», «STM32Cube», «STM32CubeMX», «STM32CubeMX.exe».

Нажмите на кнопку «ACCESS TO MCU SELECTOR». Далее откроется окно для выбора микроконтроллера, в списке «MCUs list» выберите микроконтроллер STM32L475VGTx и нажмите на кнопку «Start Project».

В вкладке «Connectivity» выберите «I2C2», затем в окне «Mode» выберите значение «I2C», значения во вкладке «Parameter Settings» установите, как на рисунке 7.3.

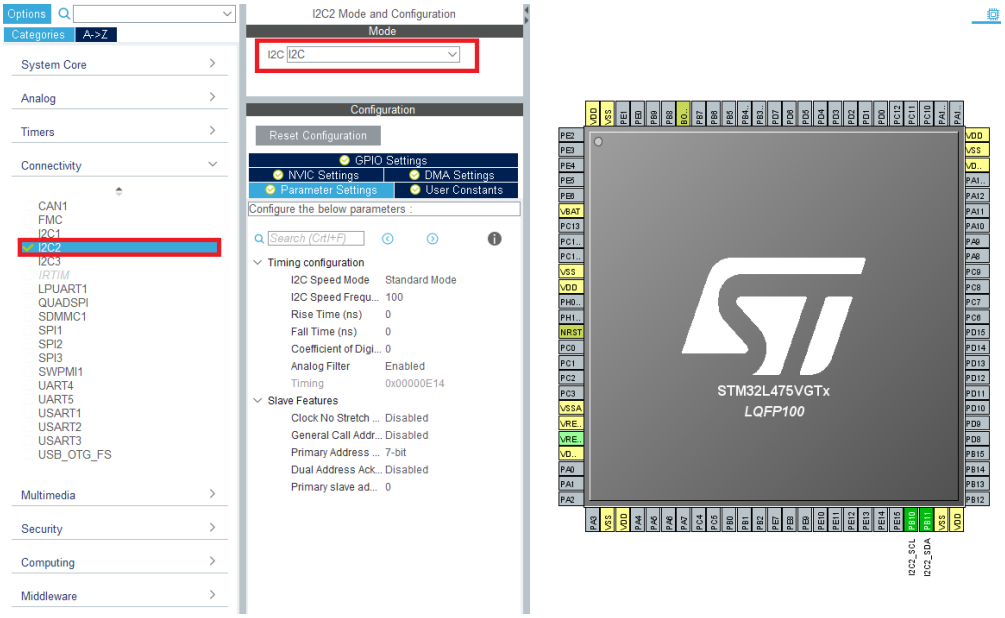


Рисунок 7.3 – I2C Mode

Настройте тактирование так же, как показано на рисунке 7.4.

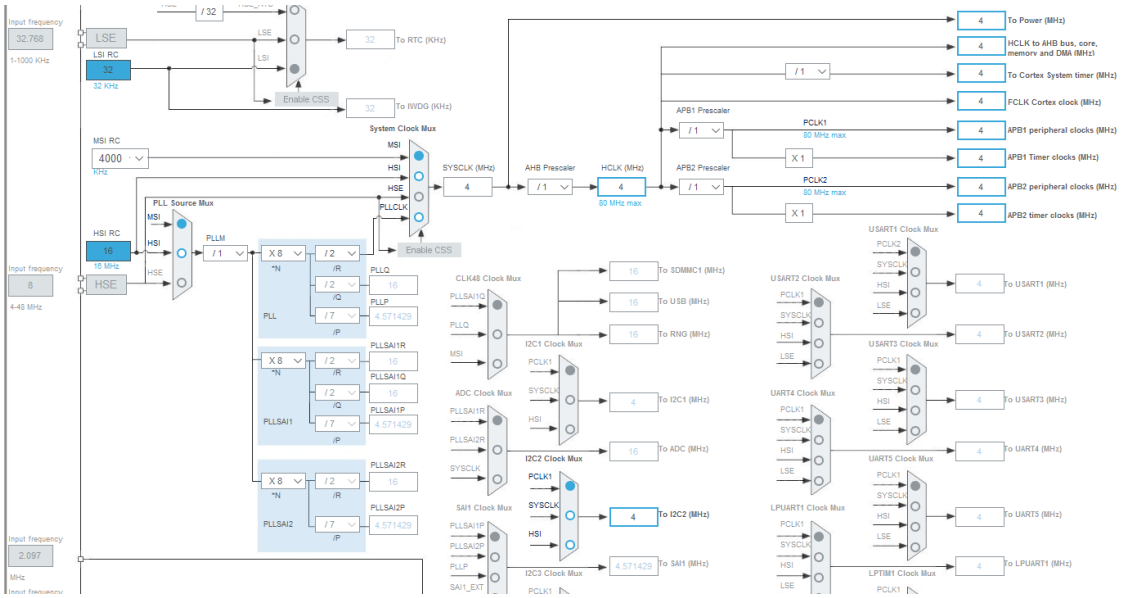


Рисунок 7.4 – Настройка тактирования

Далее откройте вкладку «Project Manager», вы увидите окно настройки вашего проекта. В поле «Project Name» введите название проекта «HTS221_ Humidity». В поле

«Project Location» укажите путь для сохранения проекта на жестком диске вашего компьютера. В поле «Toolchain/IDE» выберите «MDK-ARM V5», так как для дальнейшей работы мы используем программу KEIL Uvision 5.

2) Если вы внесли все необходимые настройки в ваш проект, можете нажат кнопку «GENERATE CODE». Затем нажмите кнопку «Open Project».

Далее откроется программа KEIL Uvision 5, с вашим проектом «HTS221_ Humidity».

Запишите в раздел /* USER CODE BEGIN 0 */ /* USER CODE END 0 */ функции для отправки данных и приема данных по шине I2C, как показано на рисунке 7.5.

```
/* USER CODE BEGIN 0 */
void write_register(uint16_t DevAddress, uint8_t register_pointer, uint8_t register_value)
{
    uint8_t data[2];
    data[0] = register_pointer;
    data[1] = register_value;
    HAL_I2C_Master_Transmit(&hi2c2, DevAddress, data, 2, 100);
}

void read_register(uint16_t DevAddress, uint8_t register_pointer, uint8_t* receive_buffer)
{
    HAL_I2C_Master_Transmit(&hi2c2, DevAddress, &register_pointer, 1, 100);
    HAL_I2C_Master_Receive(&hi2c2, DevAddress, receive_buffer, 1, 100);
}
/* USER CODE END 0 */
```

Рисунок 7.5 – Функции передачи и приема I2C

Далее добавьте инициализацию переменных, как на рисунке 7.6. Эти переменные понадобятся для работы с сенсором.

```
/* USER CODE BEGIN PV */
uint8_t i2c_receive_buf[1], buffer[2];
int16_t H0_T0_out, H1_T0_out, H_T_out, H0_rh, H1_rh;
float humidity;
/* USER CODE END PV */
```

Рисунок 7.6 – Переменные

Откройте документацию платы B-L475E-IOT01A [1 - 7.15 I2C addresses of modules used on MB1297] и в таблице 5.1 найдите адрес датчика HTS221.

Для датчика HTS221 этот адрес будет равен «10111110» или в шестнадцатеричном виде «0xBE».

3) Откройте документацию датчика HTS221 [6 - 7.1 WHO_AM_I] и определите адрес и значение регистра WHO_AM_I.

Теперь считайте данные с сенсора HTS221, из регистра WHO_AM_I. Вы делали это аналогично в предыдущей работе. Сгенерируйте проект, подключите плату и загрузите в нее проект. Затем запустите «STMStudio» и посмотрите значение регистра WHO_AM_I аналогично предыдущей работе.

4) Затем нужно проинициализировать сенсор. Для этого нужно открыть [6 - 7.3 CTRL_REG1 (20h)]. В нем нужно настроить 4 байта:

- PD: power-down control – active mode;
- BDU: block data update – output registers not updated until MSB and LSB reading;
- ODR1, ODR0: output data rate selection – 12.5 Hz.

Запишите в устройство с адресом «0xBE», в регистр «0x20», нужное значение.

Прочитайте пункт 8 документации сенсора [6 - 8 Humidity and temperature data conversion].

Далее приступим к считыванию показаний сенсора (ADC_OUT) и переводу в RH %:

5) Считайте значение коэффициентов H0_rH_x2 и H1_rH_x2 из регистров 0x30 и 0x31.

```
read_register(0xBE, 0x30, i2c_receive_buf);
```

buffer[0]=i2c_receive_buf[0];
H0_rh = buffer[0] >> 1;
read_register(0xBE, 0x31, i2c_receive_buf);
buffer[1]=i2c_receive_buf[0];
H1_rh = buffer[1] >> 1;

6) Считайте значение H0_T0_OUT из регистров 0x36 и 0x37.

read_register(0xBE, 0x36, i2c_receive_buf);
buffer[0]=i2c_receive_buf[0];
read_register(0xBE, 0x37, i2c_receive_buf);
buffer[1]=i2c_receive_buf[0];
H0_T0_out = (((uint16_t)buffer[1]) << 8) | (uint16_t)buffer[0];

7) Считайте значение H1_T0_OUT из регистров 0x3A и 0x3B.

read_register(0xBE, 0x3A, i2c_receive_buf);
buffer[0]=i2c_receive_buf[0];
read_register(0xBE, 0x3B, i2c_receive_buf);
buffer[1]=i2c_receive_buf[0];
H1_T0_out = (((uint16_t)buffer[1]) << 8) | (uint16_t)buffer[0];

```
  /* USER CODE BEGIN 2 */
//Initialization
write_register(0xBE, 0x20, 0x87);
//----------------------------------------
read_register(0xBE, 0x30, i2c_receive_buf);
buffer[0]=i2c_receive_buf[0];
H0_rh = buffer[0] >> 1;
read_register(0xBE, 0x31, i2c_receive_buf);
buffer[1]=i2c_receive_buf[0];
H1_rh = buffer[1] >> 1;

read_register(0xBE, 0x36, i2c_receive_buf);
buffer[0]=i2c_receive_buf[0];
read_register(0xBE, 0x37, i2c_receive_buf);
buffer[1]=i2c_receive_buf[0];
H0_T0_out = (((uint16_t)buffer[1]) << 8) | (uint16_t)buffer[0];
read_register(0xBE, 0x3A, i2c_receive_buf);
buffer[0]=i2c_receive_buf[0];
read_register(0xBE, 0x3B, i2c_receive_buf);
buffer[1]=i2c_receive_buf[0];
H1_T0_out = (((uint16_t)buffer[1]) << 8) | (uint16_t)buffer[0];

  /* USER CODE END 2 */
```

Рисунок 7.7 – Инициализация датчика

Далее перейдите в цикл while(1) и считайте показания влажности.

8) Считайте значение влажности в необработанных счетах H_T_OUT из регистров 0x28 и 0x29.

```
  while (1)
  {
HAL_Delay(1000);
read_register(0xBE, 0x28, i2c_receive_buf);
buffer[0]=i2c_receive_buf[0];
read_register(0xBE, 0x29, i2c_receive_buf);
buffer[1]=i2c_receive_buf[0];
H_T_out = Your code buffer[0] and buffer[1] to 16 bit;
humidity= Your code;
    /* USER CODE END WHILE */

    /* USER CODE BEGIN 3 */
  }
  /* USER CODE END 3 */
}
```

Рисунок 7.8 – Считывание данных

9) Вычислите значение RH [%] с помощью линейной интерполяции, используя приведенную ниже формулу:

$$H_{RH}[\%] = \frac{(H1\_rH - H0\_rH)(H\_T\_OUT - H0\_T0\_OUT)}{H1\_T0\_OUT - H0\_T0\_OUT} + H0\_rH \quad (7.1)$$

Обратите внимание, что коэффициенты H0_rH, H1_rH, H0_T0_OUT и H1_T0_OUT откалиброваны на заводе и сохранены в памяти, а значение H_T_OUT (0x28 и 0x29) зависит от температуры T, измеренной датчиком во время считывания относительной влажности. Таким образом, вы можете выполнить шаги 1, 2, 3 и 4 только один раз и циклически повторять только шаги 5 и 6.

Это значит, что шаги 1-4 нужно записать в область /* USER CODE BEGIN 2 */ /* USER CODE END 2 */, а шаги 5-6 в /* USER CODE BEGIN WHILE */ /* USER CODE END WHILE */.

Когда рассчитываете формулу приведите ее к типу float

Humidity = (float) Your formula;

Так как относительная влажность воздуха не может быть более 100%, и не может быть менее 0%, сделайте условие при помощи функции «if». Если значения влажности, показанные датчиком, выходят за пределы, то нужно приравнивать их к 100% или 0%.

Скомпилируйте проект, подключите плату к компьютеру и загрузите код в плату. Запустите программу STMStudio и посмотрите показания влажности температуры.

Контрольные вопросы

1) Как работает датчик HTS221?
2) Как производится калибровка датчика влажности?
3) Как работает интерфейс обмена между микроконтроллером и датчиком по I2C?
4) Из каких этапов состоит считывание данных с датчика?
5) Как производится инициализация датчика?

Содержание отчета

1) Цель работы;
2) Подробное описание всех этапов проделанной работы;
3) Ответы на вопросы, представленные в тексте практической работы;
4) Важные части вашего кода с пояснениями;
5) Графики и формулы, полученные в процессе выполнения практической работы;
6) Анализ проделанной работы;

7) Выводы по данной практической работе.

8 Работа с цифровыми датчиками. Акселерометр

Цель работы: измерить ускорение при помощи датчика LSM6DSL. Произвести инициализацию и калибровку датчика. Считать и проанализировать показания датчика. Произвести фильтрацию показаний датчика.

Задачи практической работы:

1) Подключить акселерометр к микроконтроллеру.
2) Произвести настройку I2C и UART по документации микроконтроллера.
3) Произвести калибровку датчика по документации LSM6DSL.
4) Считать и проанализировать показания датчика.
5) Написать код фильтра

Оборудование и программное обеспечение: плата B-L475E-IOT01A, кабель USB, среда разработки Keil Uvusuion 5, CubeMX, STMStudio.

Теоретический материал

Акселерометр – это устройство, которое измеряет правильное ускорение. Правильное ускорение, являющееся ускорением (или скоростью изменения скорости) тела в его собственной системе мгновенного покоя, не совпадает с ускорением координат, а является ускорением в фиксированной системе координат. Например, акселерометр в состоянии покоя на поверхности Земли будет измерять ускорение, вызванное силой тяжести Земли, прямо вверх (по определению) g ≈ 9,81 м / с2. В отличие от акселерометров в свободном падении (падение к центру Земли со скоростью около 9,81 м / с2) будет измерять ноль.

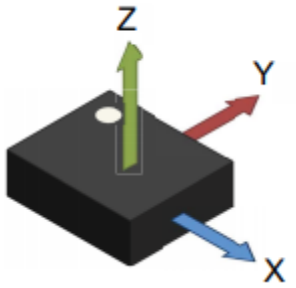


Рисунок 8.1 – Акселерометр

Основные характеристики акселерометра приведены в таблице 1.

Таблица 8.1 – Характеристики LSM6DSL

Символ	Параметр	Условия тестирования	Мин.	Тип.	Макс.	Ед. изм
RnRMS	Gyroscope RMS noise in normal/low-power mode			75		mdps
An	Acceleration noise density in high-performance mode	FS = ±2 g		80		μg/√Hz
		FS = ±4 g		80		
		FS = ±8 g		90		
		FS = ±16 g		130		
RMS	Acceleration RMS noise in normal/low-power mode	FS = ±2 g		1.8		mg(RMS)
		FS = ±4 g		2.0		
		FS = ±8 g		2.4		
		FS = ±16 g		3.0		
LA_FS	Linear acceleration measurement range			±2		g
				±4		
				±8		
				±16		
LA_So	Linear acceleration sensitivity	FS = ±2		0.061		mg/LSB
		FS = ±4		0.122		
		FS = ±8		0.244		
		FS = ±16		0.488		

Универсальный асинхронный приемник-передатчик (UART) – это компьютерное аппаратное устройство для асинхронной последовательной связи, в котором формат данных и скорость передачи данных настраиваются опционально. Уровни и методы электрической сигнализации обрабатываются схемой возбуждения, внешней по отношению к UART. UART обычно представляет собой отдельную (или часть) интегральную схему (IC), используемую для последовательной связи через последовательный порт компьютера или периферийного устройства. Одно или несколько периферийных устройств UART обычно интегрированы в микроконтроллеры. Связанное устройство, универсальный синхронный и асинхронный приемник-передатчик (USART) также поддерживает синхронную работу.

Передача данных в UART осуществляется с регулярными интервалами. Этот период времени определяется заданной скоростью UART. Существует общепринятая серия стандартных скоростей: 300; 600; 1200; 2400; 4800; 9600; 19200; 38400; 57600; 115200; 230400; 4,60800; 921600 бод

В дополнение к информационным битам UART автоматически вставляет в поток метки синхронизации, так называемые стартовые и стоповые биты.

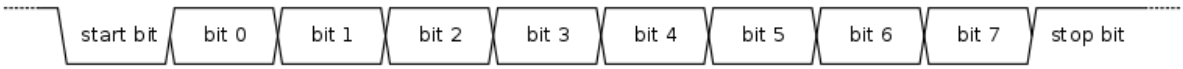


Рисунок 8.2 – Кадр UART

Ход работы

1) Запустите программу CubeMX. Для этого на панели задач откройте меню «Пуск», «Все программы», «STMicroelectronics», «STM32Cube», «STM32CubeMX», «STM32CubeMX.exe».

Нажмите на кнопку «ACCESS TO MCU SELECTOR». Далее откроется окно для выбора микроконтроллера, в списке «MCUs list» выберите микроконтроллер STM32L475VGTx и нажмите на кнопку «Start Project».

Во вкладке «Connectivity» выберите «I2C2», затем в окне «Mode» выберите значение «I2C», значения во вкладке «Parameter Settings» установите, как на рисунке 8.3.

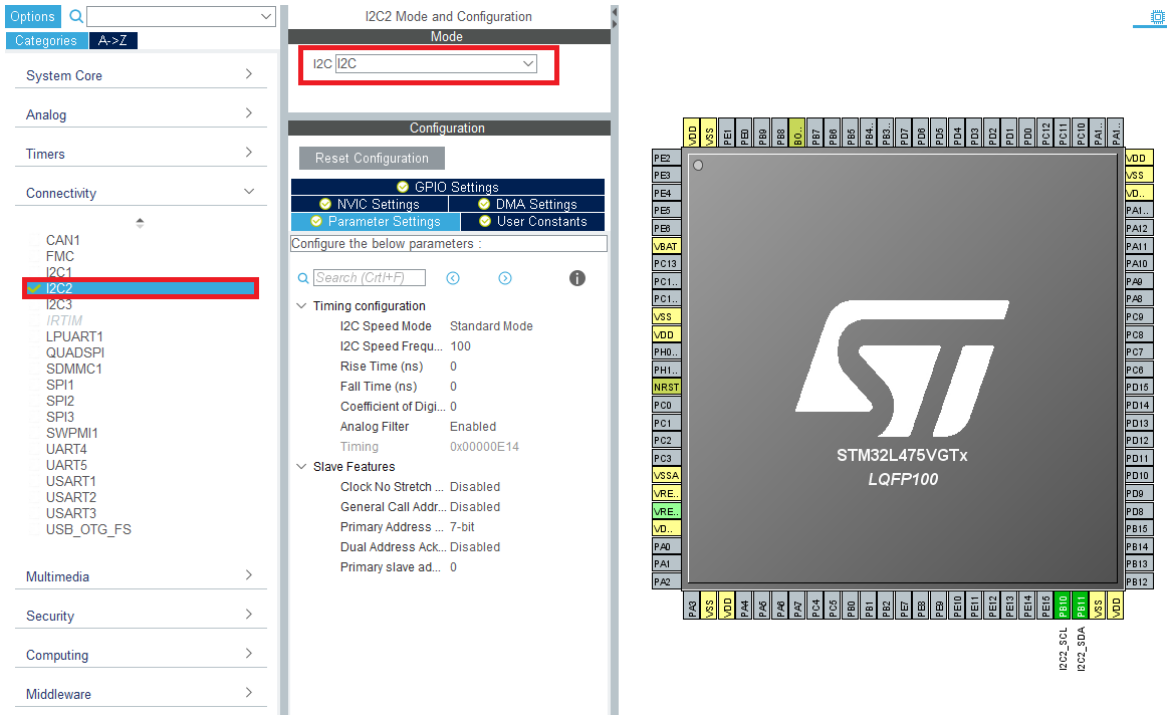


Рисунок 8.3 – I2C Mode

В окне «Pinout view» левой кнопкой мыши нажмите на PB6, в открывшемся меню выберите «USART1_TX», после этого нажмите на PB7, в открывшемся меню выберите «USART1_RX». Затем в окне «Options» откройте вкладку «Categories» и выберите пункт «USART1». В окне «USART1 Mode and Configuration» выберите тип «Mode»-«Asynchronus». Так вы включите USART1. Проверьте чтобы показания были как на рисунке 8.4.

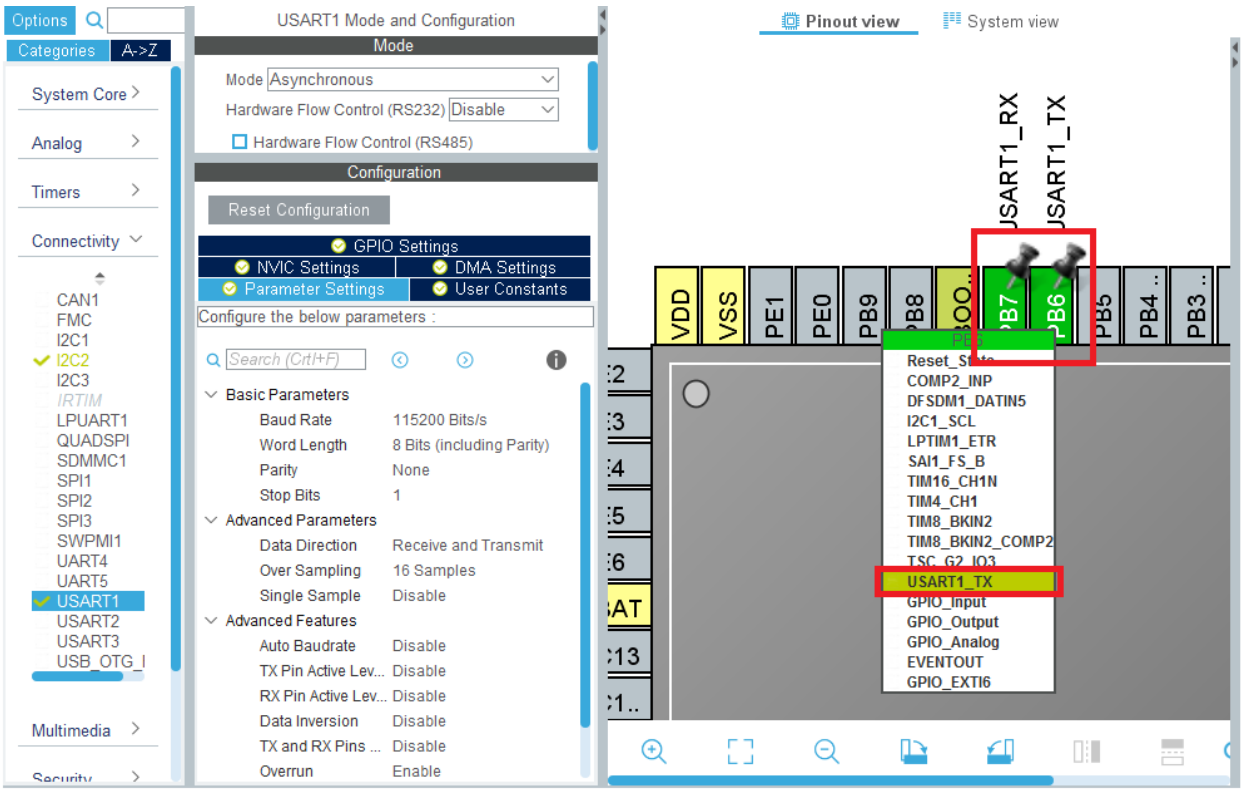


Рисунок 8.4 – Настройка USART

Настройте тактирование так же, как показано на рисунке 8.5.

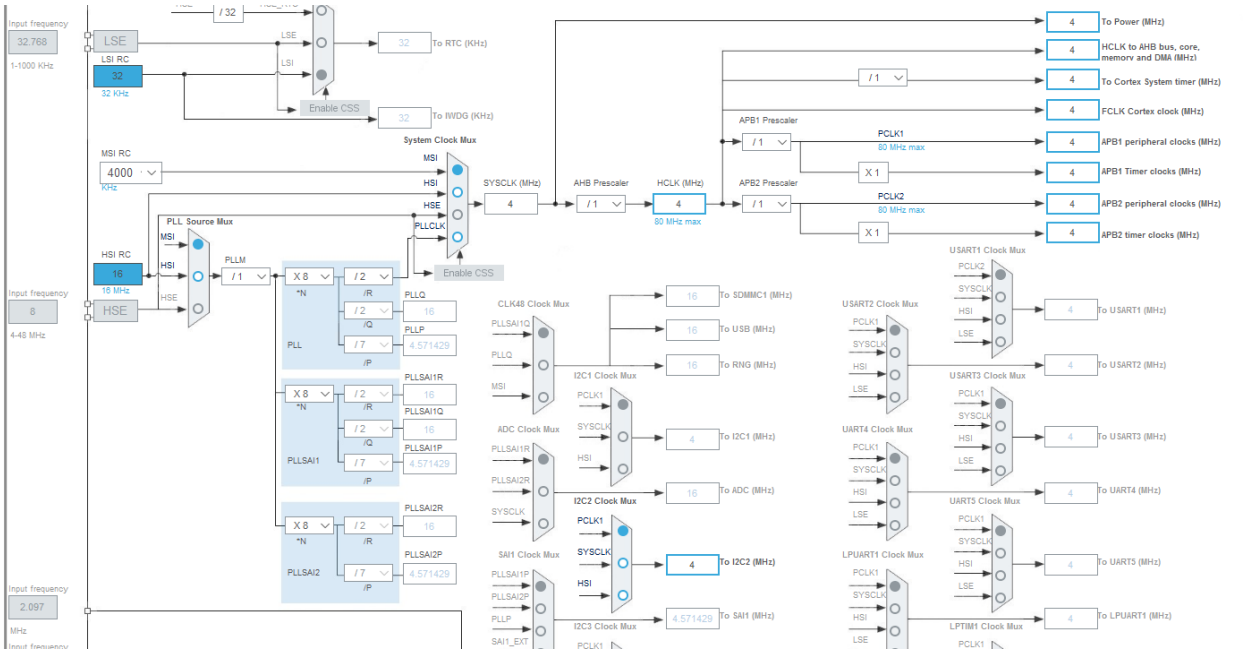


Рисунок 8.5 – Настройка тактирования

Далее откройте вкладку «Project Manager», вы увидите окно настройки вашего проекта. В поле «Project Name» введите название проекта «LSM6DSL_ ACCELEROMETER». В поле «Project Location» укажите путь для сохранения проекта на жестком диске вашего компьютера. В поле «Toolchain/IDE» выберите «MDK-ARM V5», так как для дальнейшей работы мы используем программу KEIL Uvision 5.

2) Если вы внесли все необходимые настройки в ваш проект, можете нажат кнопку «GENERATE CODE». Затем нажмите кнопку «Open Project».

Далее откроется программа KEIL Uvision 5, с вашим проектом “LSM6DSL_ ACCELEROMETER”.

Запишите в раздел /* USER CODE BEGIN 0 */ /* USER CODE END 0 */ функции для отправки данных и приема данных по шине I2C, как показано на рисунке 8.6.

```
/* USER CODE BEGIN 0 */
void write_register(uint16_t DevAddress, uint8_t register_pointer, uint8_t register_value)
{
    uint8_t data[2];
    data[0] = register_pointer;
    data[1] = register_value;
    HAL_I2C_Master_Transmit(&hi2c2, DevAddress, data, 2, 100);
}

void read_register(uint16_t DevAddress, uint8_t register_pointer, uint8_t* receive_buffer)
{
    HAL_I2C_Master_Transmit(&hi2c2, DevAddress, &register_pointer, 1, 100);
    HAL_I2C_Master_Receive(&hi2c2, DevAddress, receive_buffer, 1, 100);
}
/* USER CODE END 0 */
```

Рисунок 8.6 – Функции передачи и приема I2C

3) Далее добавьте инициализацию переменных, как на рисунке 8.7. Эти переменные понадобятся для работы с сенсором.

```
/* USER CODE BEGIN PV */
uint8_t i2c_buffer[1];
uint8_t buffer[2];
uint8_t uart_buffer[8];
uint8_t WHO_I_AM;
int16_t Accel_x, Accel_y, Accel_z;
/* USER CODE END PV */
```

Рисунок 8.7 – Переменные

Откройте документацию платы B-L475E-IOT01A [1 - 7.15 I2C addresses of modules used on MB1297] и в таблице 8.2 найдите адрес датчика LSM6DSL.

Таблица 8.2 – Устройства на шине I2C

Модули	Описание	SAD[6:0] + R/W	Адрес записи I2C	Адрес чтения I2C
HTS221	Capacitive digital sensor for relative humidity and temperature	1011111x	0xBE	0xBF
LIS3MDL	3-axis magnetometer	0011110x	0x3C	0x3D
LPS22HB	MEMS nano pressure sensor	1011101x	0xBA	0xBB
LSM6DSL	3D accelerometer and 3D gyroscope	1101010x	0xD4	0xD5
VL53L0X	Time-of-Flight ranging and gesture detection sensor	0101001x	0x52	0x53
M24SR64-Y	Dynamic NFC/RFID tag IC	1010110x	0xAC	0xAD
STSAFE-A100	-	0100000x	0x40	0x41

Для датчика LSM6DSL этот адрес будет равен 11010100 или в шестнадцатеричном виде 0xD4.

Откройте документацию датчика LSM6DSL [9 - 9.12 WHO_AM_I] и определите адрес и значение регистра WHO_AM_I.

4) Теперь считайте данные с сенсора LSM6DSL, из регистра WHO_AM_I. Вы делали это аналогично в предыдущей работе. Сгенерируйте проект, подключите плату и загрузите в нее проект. Затем запустите STMStudio и посмотрите значение регистра WHO_AM_I аналогично предыдущей работе.

Если значение регистра соответствует документации, то продолжайте работу. Если нет – то проделайте пункты заново и найдите ошибку.

5) Затем нужно проинициализировать сенсор. Для этого нужно открыть [9 - 9.13 CTRL1_XL (10h)]. Для настройки работы акселерометра в нем нужно настроить:
Output data rate and power mode selection - 52 Hz
Accelerometer full-scale selection - ±8 g
Accelerometer digital LPF (LPF1) bandwidth selection default (LPF1_BW_SEL = 0)
Accelerometer analog chain bandwidth selection - BW @ 1.5 kHz

Запишите в устройство с адресом 0xD4, в регистр 0x10, нужное значение.

6) После этого откройте [9 - 9.15 CTRL3_C (12h)]. В нем нужно настроить 4 байта:
Software reset - normal mode;
Big/Little Endian Data selection - data LSB @ lower address;
Register address automatically incremented during a multiple byte access with a serial interface (I2C or SPI) - enabled;
SPI Serial Interface Mode selection - 4-wire interface;
Push-pull/open-drain selection on INT1 and INT2 pads - push-pull mode;
Interrupt activation level - interrupt output pads active high;
Block Data Update - output registers not updated until MSB and LSB have been read;
Reboot memory content - normal mode;

Запишите в устройство с адресом 0xD4, в регистр 0x12, нужное значение.

7) После этого откройте [9 - 9.20 CTRL8_XL (17h)]. В нем нужно настроить 4 байта:
LPF2 on 6D function selection = 0;
Accelerometer slope filter / high-pass filter selection = 0;
Composite filter input selection - ODR/4 low pass filtered sent to composite filter;

Enable HP filter reference mode - disabled;
Accelerometer LPF2 and high-pass filter configuration and cutoff setting - 00 (ODR/50) (Table 73. Accelerometer bandwidth selection)
Accelerometer low-pass filter LPF2 selection = 1 (enable)

Запишите в устройство с адресом 0xD4, в регистр 0x17, нужное значение.

Код для записи значений регистров (Пункты 1-4) запишите в область /* USER CODE BEGIN 2 */ /* USER CODE END 2 */.

После этого датчик будет настроен и можно приступит к считыванию данных. Данные о ускорении находятся в регистрах с адресами 0x28 – 0x2D.

OUTX_L_XL (28h) - Linear acceleration sensor X-axis output register (r). The value is expressed as a 16-bit word in two's complement;
OUTX_H_XL (29h) - Linear acceleration sensor X-axis output register (r). The value is expressed as a 16-bit word in two's complement;
OUTY_L_XL (2Ah) - Linear acceleration sensor Y-axis output register (r). The value is expressed as a 16-bit word in two's complement;
OUTY_H_XL (2Bh) - Linear acceleration sensor Y-axis output register (r). The value is expressed as a 16-bit word in two's complement;
OUTZ_L_XL (2Ch) - Linear acceleration sensor Z-axis output register (r). The value is expressed as a 16-bit word in two's complement;
OUTZ_H_XL (2Dh) - Linear acceleration sensor Z-axis output register (r). The value is expressed as a 16-bit word in two's complement.

Как и в датчиках, которые мы уже рассмотрели, данные разбиты на две части по 8 бит. Их нужно считать и соединить в одно число размером 16 бит. Код для этих операций видно на рисунке 8.8.

```
  /* USER CODE BEGIN WHILE */
  while (1)
  {
//// Accel_READ
read_register(.....Your code.....);
buffer[0] = i2c_buffer[0];
read_register(.....Your code.....);
buffer[1] = i2c_buffer[0];
Accel_x = (((int16_t)((uint16_t)buffer[1]) << 8) + buffer[0]);
read_register(.....Your code.....);
buffer[0] = i2c_buffer[0];
read_register(.....Your code.....);
buffer[1] = i2c_buffer[0];
Accel_y = (((int16_t)((uint16_t)buffer[1]) << 8) + buffer[0]);
read_register(.....Your code.....);
buffer[0] = i2c_buffer[0];
read_register(.....Your code.....);
buffer[1] = i2c_buffer[0];
Accel_z = (((int16_t)((uint16_t)buffer[1]) << 8) + buffer[0]);
    /* USER CODE END WHILE */
```

Рисунок 8.8 – Считывание показаний акселерометра

Скомпилируйте ваш код и загрузите его в плату. Откройте программу STMStudio и посмотрите в реальном времени значения переменных Accel_x, Accel_y, Accel_z. Если эти показания находятся в диапазоне ±10000 (как правило — это примерно ±2000), то вы считали данные с датчика верно. Если нет – то повторите шаги 4 – 7 и найдите ошибку.

Пример значения переменных Accel_x, Accel_y, Accel_z в программе STMStudio представлен на рисунке 8.9.

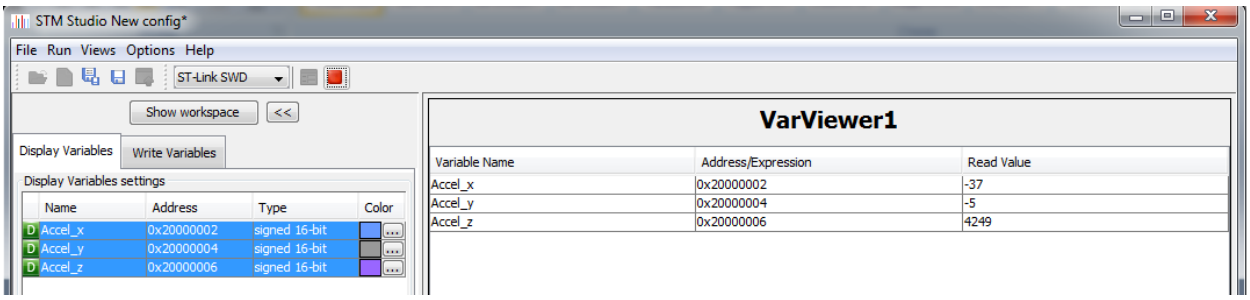


Рисунок 8.9 – Значения регистров 0x28 – 0x2D

8) Как видно показания датчика не соответствуют ускорению свободного падения (g = 9,8 м/с²). Далее нужно перевести показания датчика (RAW_DATA) в единицы измерения ускорения свободного падения (DATA_G). Для этого нужно посмотреть таблицу 8.1. В данной таблице есть пункт Linear acceleration sensitivity (LA_So). В настройках инициализации мы указали FS=±8 g. Значит показания акселерометра можно рассчитать по формуле:

$$1\ LSB = 0.244\ mg$$

Например, на рисунке 8.9 Accel_z = 4249(LSB) = 1036,756 (mg) = 1, 037g. Что соответствует нормальному ускорению свободного падения. Значит показания датчика верные.

Напишите код для перевода показаний датчика по X-axis, Y-axis и Z-axis в g.

Скомпилируйте код и загрузите его в плату. Добавьте новые переменные (или клик правой кнопкой мыши и выбрать «update») и выведите значения акселерометра в программе STMStudio. Запишите результаты в отчет.

9) Далее нужно вывести график показаний акселерометра на компьютер. Для этого передадим данные из микроконтроллера в компьютер по интерфейсу UART.

Функция для передачи данных по интерфейсу UART выглядит так:

*HAL_StatusTypeDef HAL_UART_Transmit(UART_HandleTypeDef *huart,uint8_t *pData,uint16_t Size,uint32_t Timeout)*

Отправьте определенное количество данных в режиме блокировки.

Параметры:

huart: UART-дескриптор

pData: Указатель буфера данных

Size: Объем данных, которые необходимо отправить.

Timeout: Продолжительность тайм-аута.

UART1 на плате подключен к программатору ST-LINK, который преобразует UART интерфейс в RS232 интерфейс (UART to COM Port). Для того чтобы построить график на компьютере из данных COM порта используется программа «Serial Plot».

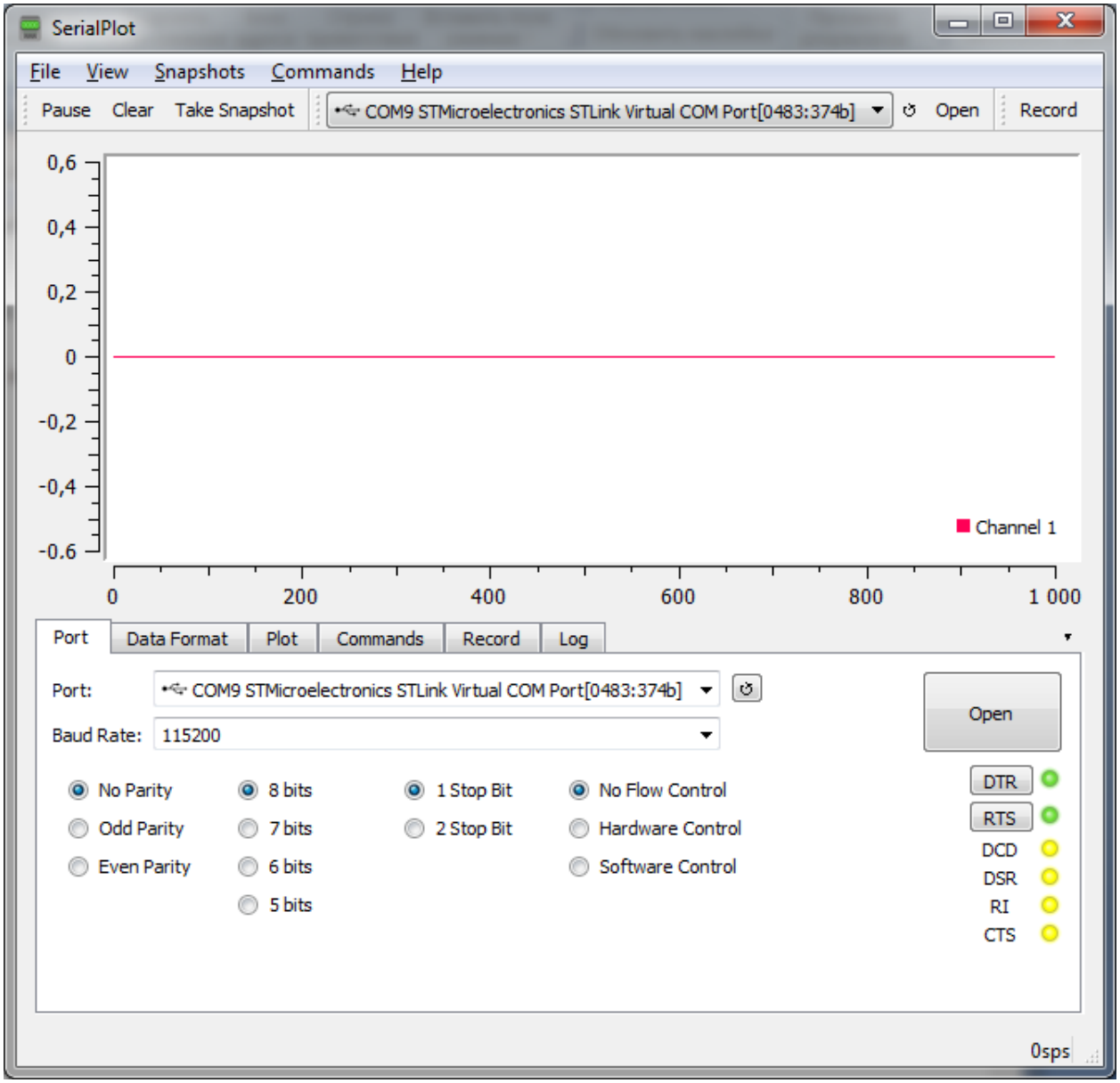


Рисунок 8.10 – Внешний вид программы Serial Plot

10) Для того, чтобы передать данные трех осей акселерометра в программу нужно сформировать кадр. В начале кадра идут маркеры (два символа которые указывают на начало кадра), затем данные X-Axis, затем данные Y-Axis, затем данные Z-Axis. Структура кадра показана в таблице 8.3.

Таблица 8.3 – Структура кадра для передачи графиков

Frame Start		Channel-1 data		Channel-2 data		Channel-3 data	
0xAA	0xBB	X-Axis high 8 byte	X-Axis low 8 byte	Y-Axis high 8 byte	Y-Axis low 8 byte	Z-Axis high 8 byte	Z-Axis low 8 byte

По таблице 8.3 напишите код передачи данных трех осей по UART. Пример показан на рисунке 8.11. На данном коде данные ускорения свободного падения передаются в LSB так как при больших числах удобнее передавать целочисленные данные.

```
  /* USER CODE BEGIN WHILE */
  while (1)
  {
//// Accel_READ
read_register(.....Your code.....);
buffer[0] = i2c_buffer[0];
read_register(.....Your code.....);
buffer[1] = i2c_buffer[0];
Accel_x = (((int16_t)((uint16_t)buffer[1]) << 8) + buffer[0]);
read_register(.....Your code.....);
buffer[0] = i2c_buffer[0];
read_register(.....Your code.....);
buffer[1] = i2c_buffer[0];
Accel_y = (((int16_t)((uint16_t)buffer[1]) << 8) + buffer[0]);
read_register(.....Your code.....);
buffer[0] = i2c_buffer[0];
read_register(.....Your code.....);
buffer[1] = i2c_buffer[0];
Accel_z = (((int16_t)((uint16_t)buffer[1]) << 8) + buffer[0]);
//// Accel to UART
uart_buffer[0]=0xAA;
uart_buffer[1]=0xBB;
uart_buffer[2]=(uint8_t)(Accel_x>>8);
uart_buffer[3]=(uint8_t)Accel_x;
uart_buffer[4]=(uint8_t)(Accel_y>>8);
uart_buffer[5]=(uint8_t)Accel_y;
uart_buffer[6]=(uint8_t)(Accel_z>>8);
uart_buffer[7]=(uint8_t)Accel_z;
HAL_UART_Transmit(&huart1,uart_buffer,8,1000);
    /* USER CODE END WHILE */
```

Рисунок 8.11 – Передача данных по UART

Сгенерируйте код, загрузите проект в плату.

11) Затем откройте программу SerialPlot. Для этого откройте Пуск, Все программы, serialplot, serialplot.exe. В главном окне программы откройте вкладку «Port» и настройте в соответствии с рисунком 8.12.

Вместо **COM9 STMicroelectronics STLink Virtual COM Port**
Вы увидите другой номер COM-Port, к которому подключена ваша плата. То есть выберите тот COM-Port, в котором написано «**STMicroelectronics STLink Virtual COM Port**». Остальные настройки нужно указать такие же, как вы настроили UART в программе CubeMX.

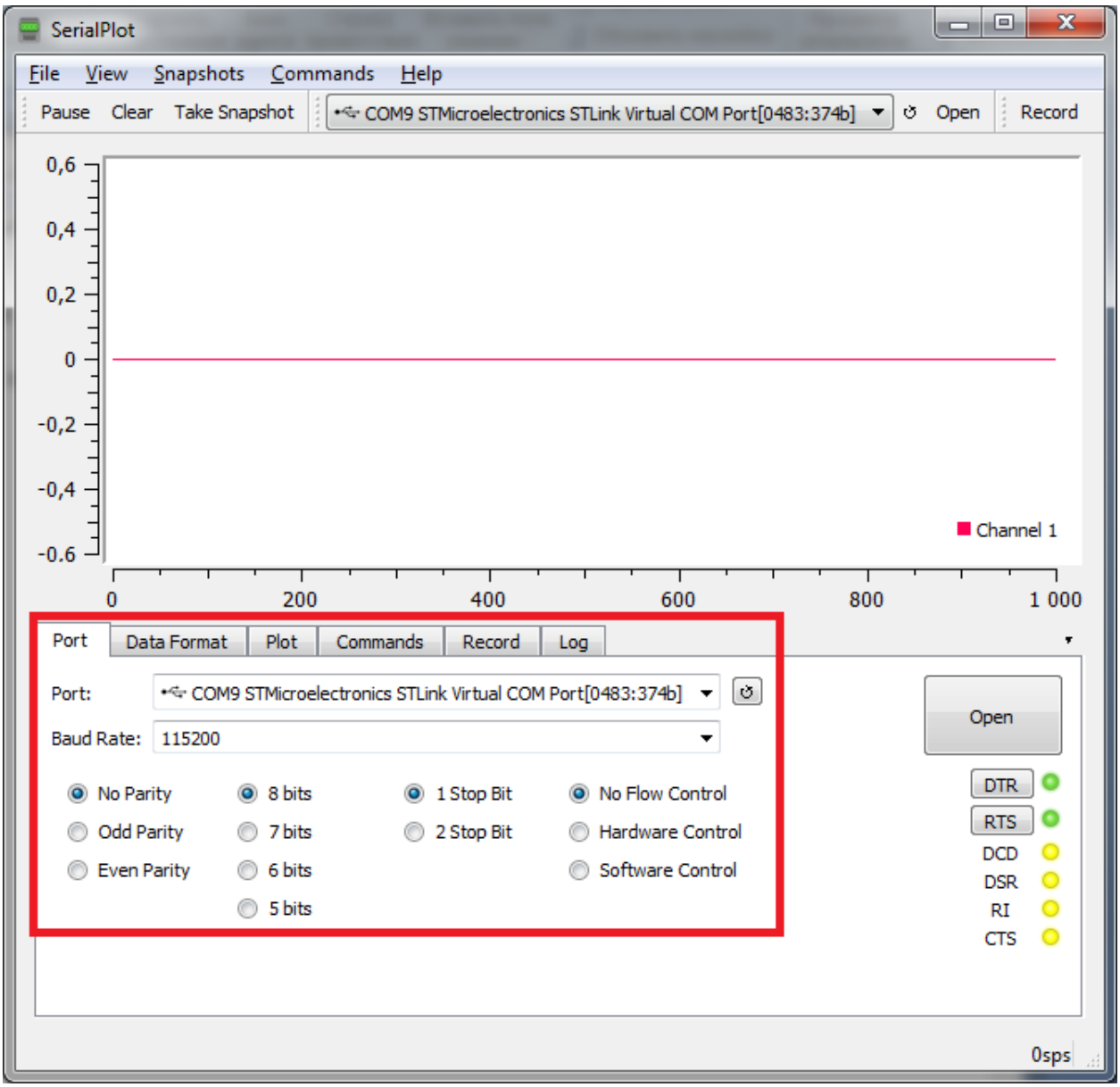


Рисунок 8.12 – Настройки порта

Далее откройте вкладку «Data Format» и выставьте настройки как на рисунке 8.13.

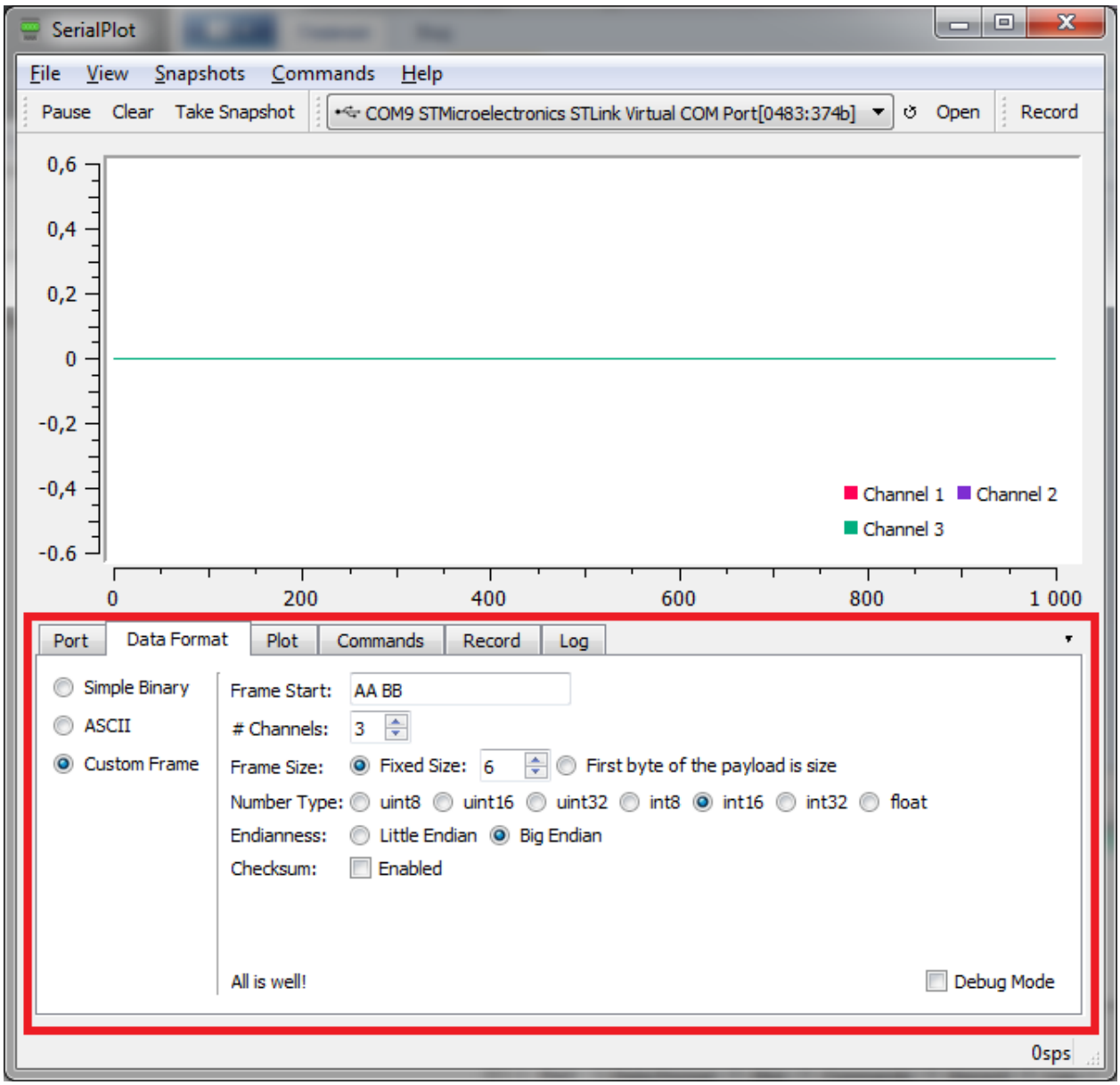


Рисунок 8.13 – Формат данных

Затем отройте вкладку «Port» и нажмите кнопку Open (Рисунок 8.14). Возьмите плату в руку и измените ее положение.

Если все настроено верно, то вы увидите, как формируются графики показаний акселерометра Красный – X-Axis, Зеленый – Z-Axis, Синий – Y-Axis.

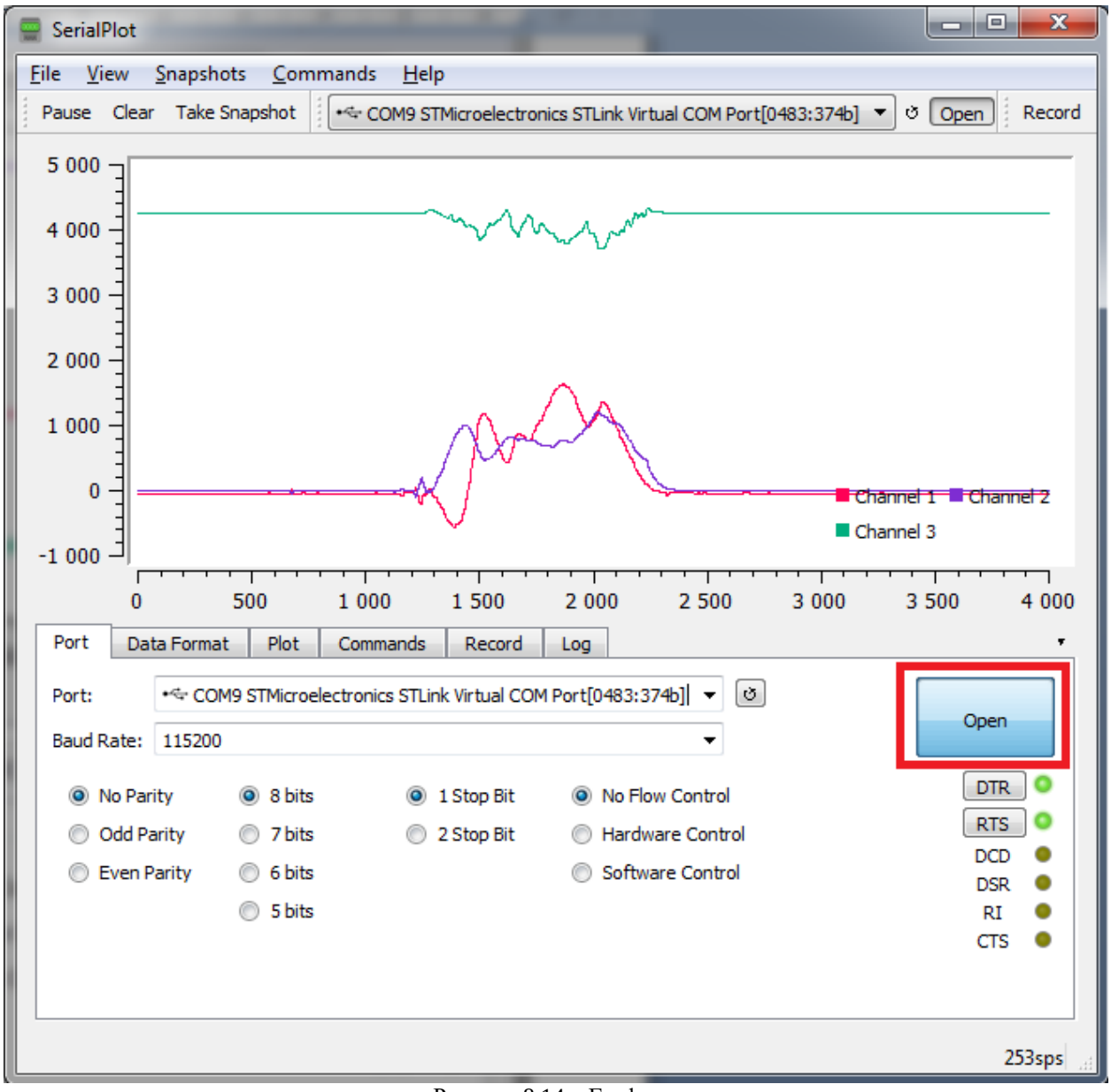


Рисунок 8.14 – Графики

Изменить масштабы графиков вы можете во вкладке «Plot», как на рисунке 8.15. Установите Buffer Size=4000 и Plot Width=4000. Затем отройте вкладку «Port» и два раза нажмите кнопку Open.

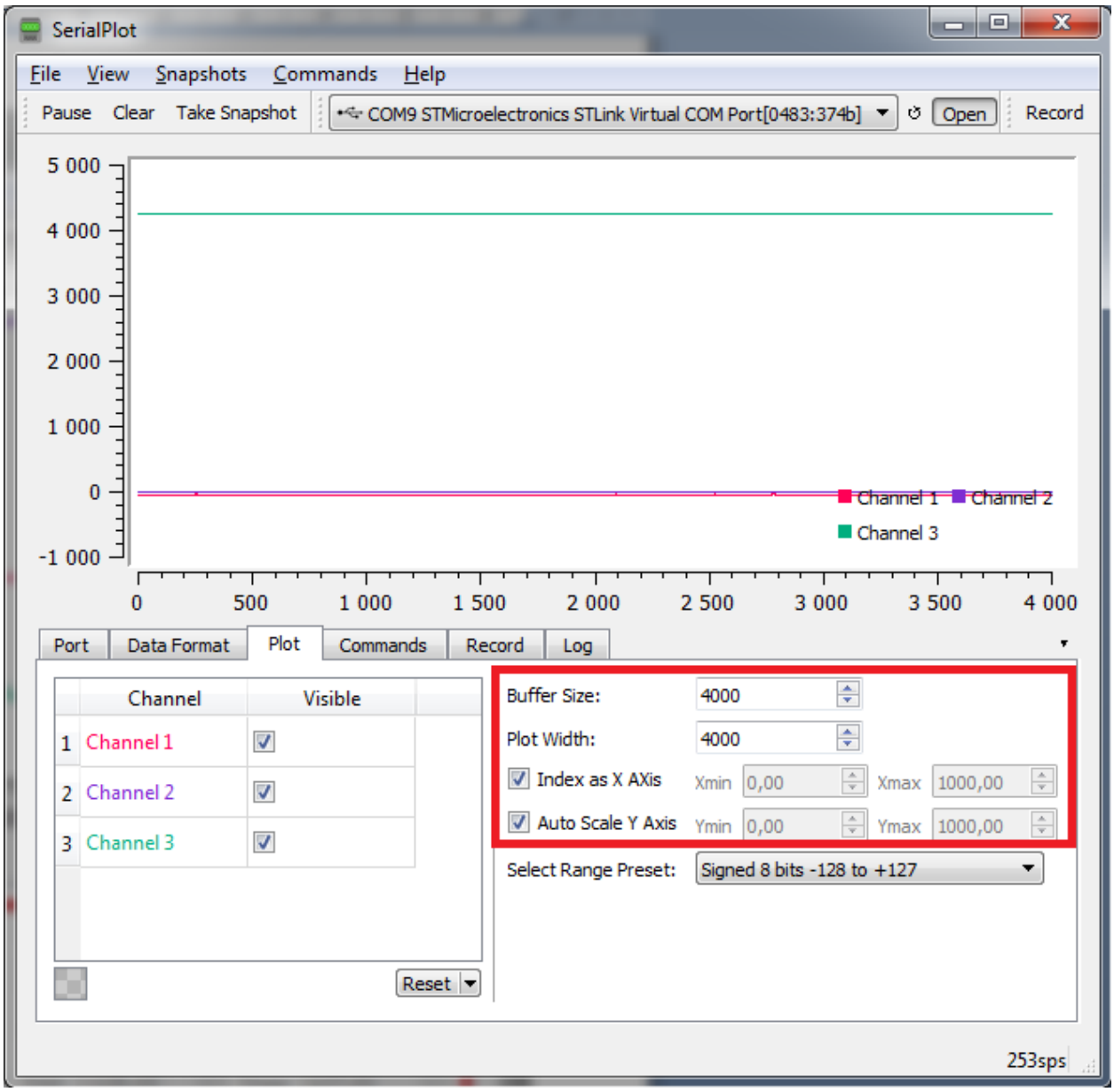


Рисунок 8.15 – Параметры графика

12) Затем изменяйте положения платы в пространстве и смотрите на изменение показаний акселерометра. На рисунке ниже представлено изменение показаний акселерометра из горизонтального положения (1) и при повороте на 90° по оси Y (2).

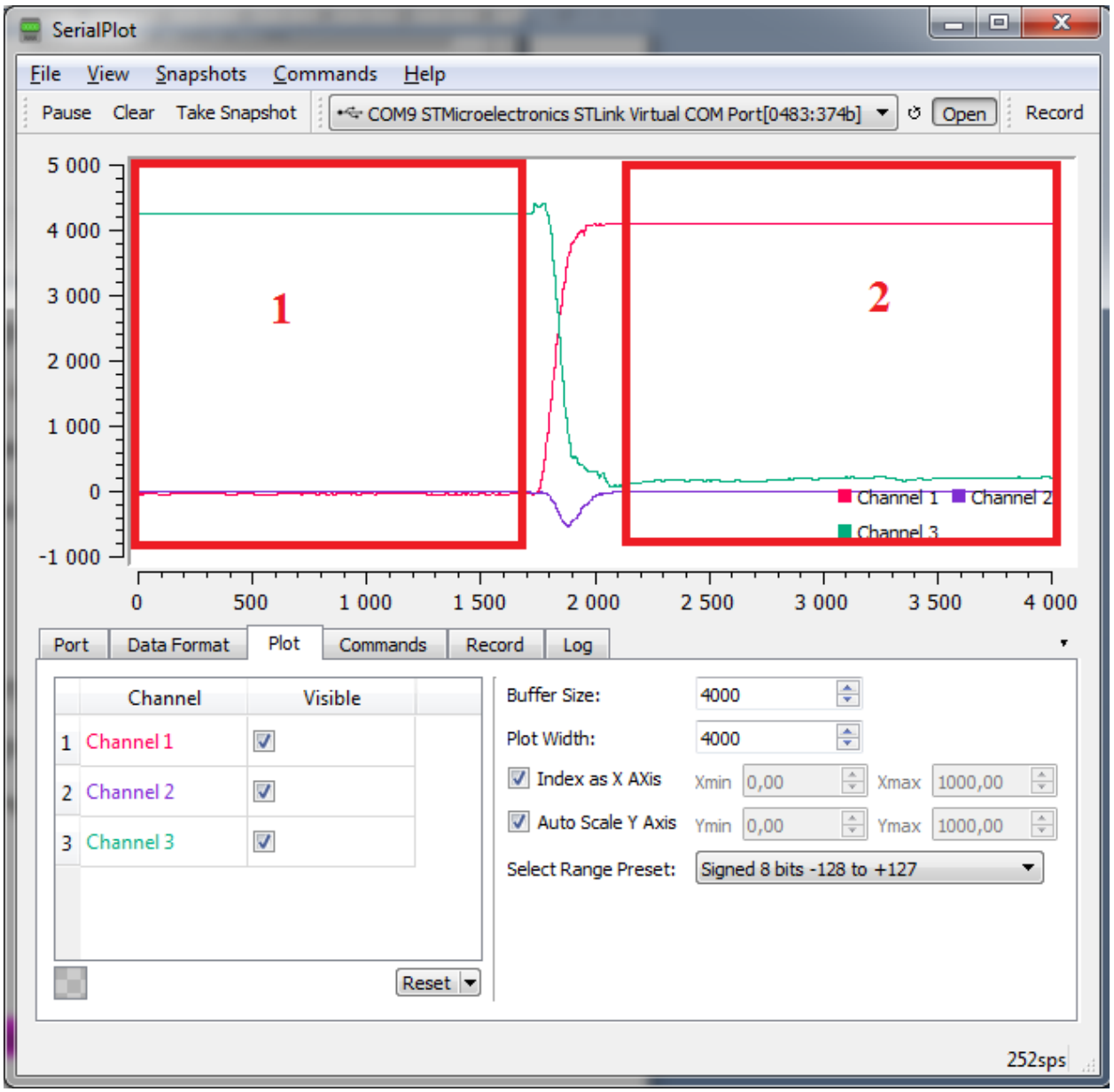


Рисунок 8.16 – Изменение показаний

13) По графику запишите показания при разных положениях платы в таблицу 8.4.

Таблица 8.4 – Показания акселерометра

Положение платы	Accel_x (LSB)	Accel_x (g)	Accel_y (LSB)	Accel_y (g)	Accel_z (LSB)	Accel_z (g)
Повернуть на 90° по оси Z						
Повернуть на -90° по оси Z						
Повернуть на 90° по оси X						
Повернуть на 90° по оси Y						
Повернуть на 180° по оси X						

14) Объясните закономерность изменения показаний датчика. Почему они изменяются при изменении положения платы? Соответствуют ли они нормальному ускорению свободного падения Земли? Чем обусловлена погрешность показаний?

15) При помощи конструкции if напишите код, в котором светодиод на плате будет включаться только при горизонтальном положении платы. Когда положение платы изменится светодиод должен выключаться. Не забудьте, что сначала нужно проинициализировать GPIO, чтобы светодиод заработал. (Смотрите практическую работу №3).

16) Доработайте ваш код так, чтобы светодиод не мигал при малых отклонениях платы от горизонтального положения и выключался при отклонении платы более чем на 30°.

Контрольные вопросы

1) Как работает датчик LSM6DSL?
2) Как производится калибровка акселерометра?
3) Как работает интерфейс UART (USART)?
4) Из каких этапов состоит считывание данных с датчика?
5) Как производится инициализация датчика?

Содержание отчета

1) Цель работы;
2) Подробное описание всех этапов проделанной работы;
3) Ответы на вопросы, представленные в тексте практической работы;
4) Важные части вашего кода с пояснениями;
5) Графики и формулы, полученные в процессе выполнения практической работы;
6) Анализ проделанной работы;
7) Выводы по данной практической работе.

9 Работа с цифровыми датчиками. Цифровой датчик магнитного поля

Цель работы: измерить магнитное поле Земли при помощи датчика LIS3MDL. Произвести инициализацию и калибровку датчика. Считать и проанализировать показания датчика.

Задачи практической работы:

1) Подключить датчик магнитного поля к микроконтроллеру.
2) Произвести настройку I2C по документации микроконтроллера.
3) Произвести калибровку датчика по документации LIS3MDL.
4) Считать и проанализировать показания датчика.
5) Произвести фильтрацию сигнала.

Оборудование и программное обеспечение: плата B-L475E-IOT01A, кабель USB, среда разработки Keil Uvusuion 5, CubeMX, STMStudio, SerialPlot.

Теоретический материал

Датчики магнитного поля предназначены для определения скорости передвижения или вращения, положения и угла поворота различных объектов. Индукционный магнитометр основан на явлении электромагнитной индукции — возникновении электродвижущей силы в измерительной катушке при изменении проходящего сквозь её контур магнитного потока.

LIS3MDL – это трехосный магнитный датчик со сверхнизким энергопотреблением и высокой производительностью.

Основные характеристики:

-Широкий диапазон напряжения питания: от 1,9 В до 3,6 В.
-Независимый источник ввода-вывода (1,8 В).
- $\pm 4 / \pm 8 / \pm 12 / \pm 16$ гаусс, выбираемая магнитная шкала.
-Непрерывный режим и режим однократного преобразования.
-16-битный вывод данных.
-Генератор прерываний.
-Самодиагностика.
-Интерфейс цифрового вывода I2C/SPI.
-Режим отключения питания/режим низкого энергопотребления.

Таблица 9.1 – Характеристики магнитометра

Символ	Параметр	Условия тестирования	Мин.	Тип.	Макс.	Ед. изм.
FS	Measurement range			±4		gauss
				±8		
				±12		
				±16		
GN	Sensitivity	$FS = \pm 4$ gauss		6842		LSB/ gauss
		$FS = \pm 8$ gauss		3421		
		$FS = \pm 12$ gauss		2281		
		$FS = \pm 16$ gauss		1711		
Zgauss	Zero-gauss level	$FS = \pm 4$ gauss		±1		gauss
RMS	RMS noise	X-axis; $FS = \pm 12$ gauss; Ultra-high-performance mode		3.2		mgauss

		Y-axis; $FS = \pm 12$ gauss Ultra-high-performance mode		3.2		mgauss
		Z-axis; $FS = \pm 12$ gauss Ultra-high-performance mode		4.1		mgauss
NL	Non-linearity	Best-fit straight line $FS = \pm 12$ gauss Happlied $= \pm 6$ gauss		±0.12		%FS
ST	Self test	X-axis $FS = \pm 12$ gauss	1		3	gauss
		Y-axis $FS = \pm 12$ gauss	1		3	
		Z-axis $FS = \pm 12$ gauss	0.1		1	
DF	Magnetic disturbance field	Zero-gauss offset starts to degrade			50	gauss
Top	Operating temperature range		-40		+85	°C

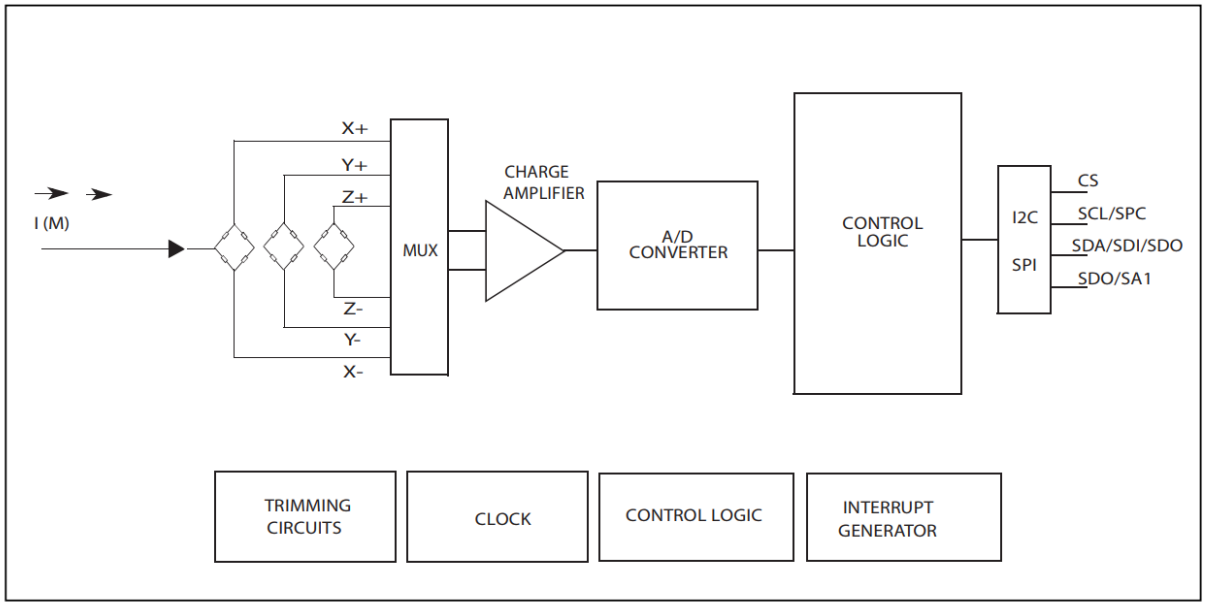


Рисунок 9.1 – Блок-диаграмма датчика

Ход работы

1) Запустите программу CubeMX. Для этого на панели задач откройте меню «Пуск», «Все программы», «STMicroelectronics», «STM32Cube», «STM32CubeMX», «STM32CubeMX.exe».

Нажмите на кнопку «ACCESS TO MCU SELECTOR». Далее откроется окно для выбора микроконтроллера, в списке «MCUs list» выберите микроконтроллер STM32L475VGTx и нажмите на кнопку «Start Project».

В вкладке «Connectivity» выберите «I2C2», затем в окне «Mode» выберите значение «I2C», значения во вкладке «Parameter Settings» установите, как на рисунке 9.2.

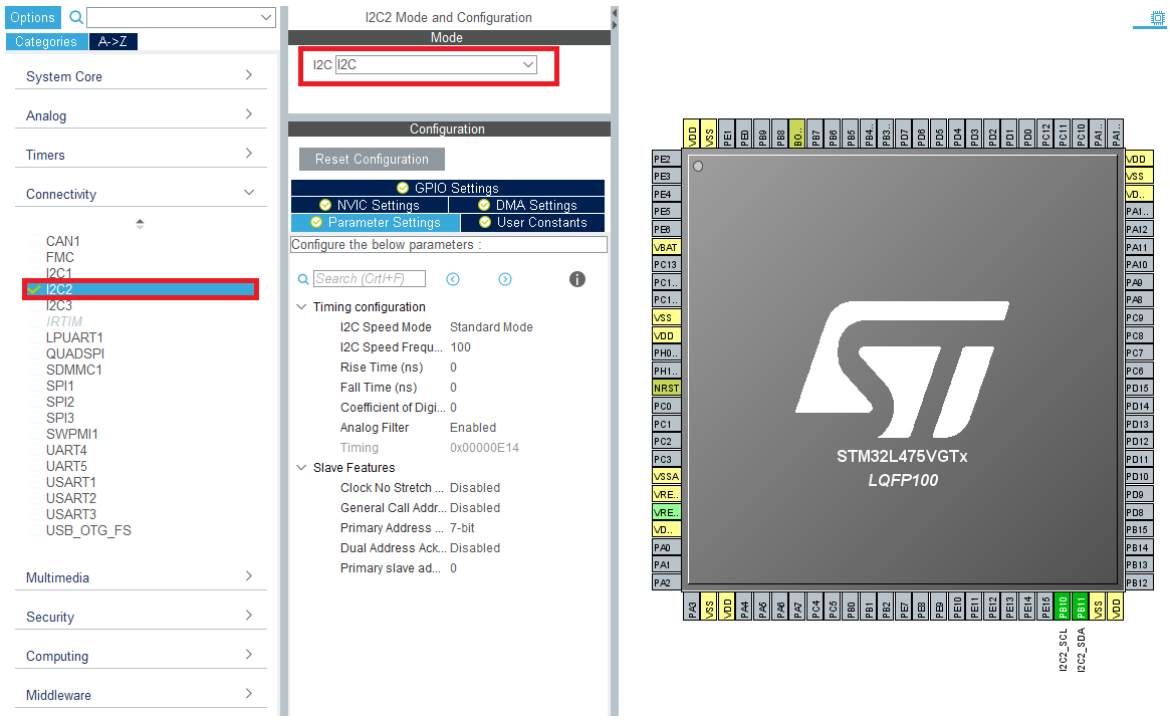


Рисунок 9.2 – I2C Mode

В окне «Pinout view» левой кнопкой мыши нажмите на PB6, в открывшемся меню выберите «USART1_TX», после этого нажмите на PB7, в открывшемся меню выберите «USART1_RX». Затем в окне «Options» откройте вкладку «Categories» и выберите пункт «USART1». В окне «USART1 Mode and Configuration» выберите тип «Mode»-«Asynchronus». Так вы включите USART1. Проверьте чтобы показания были как на рисунке 9.3.

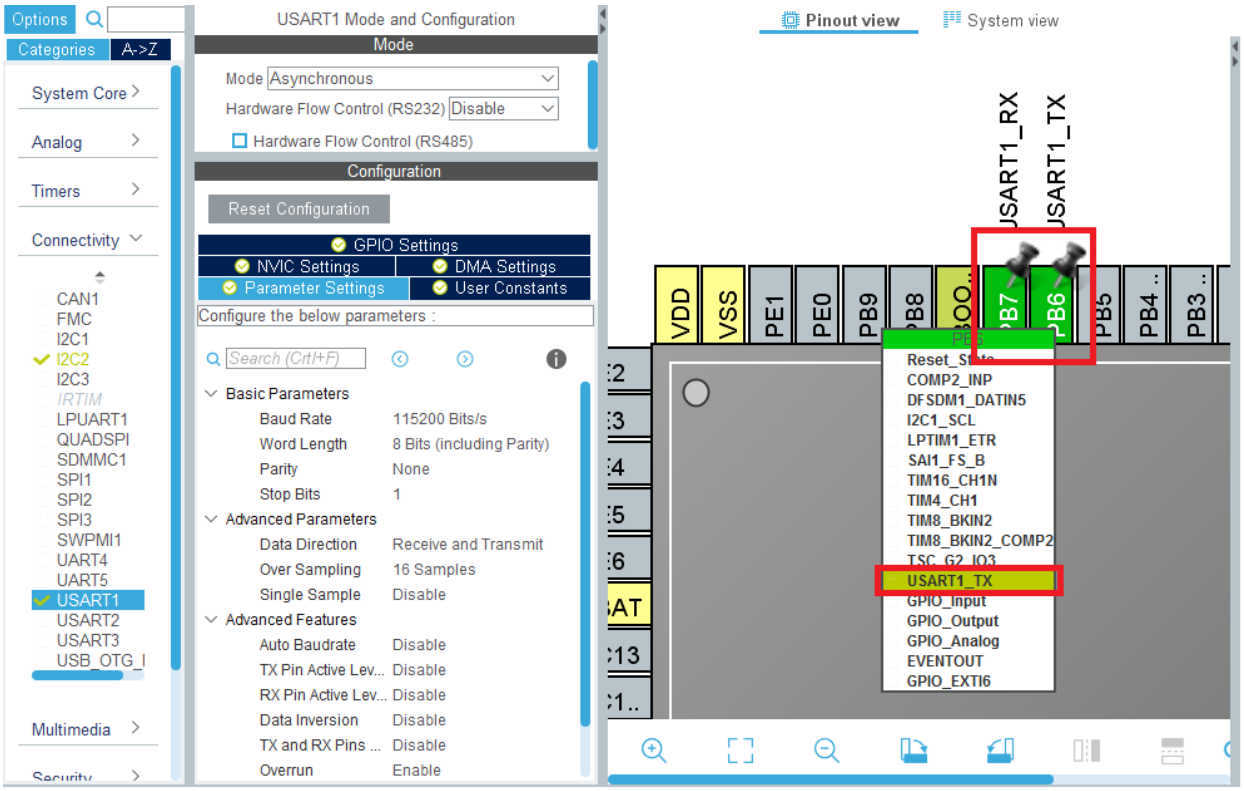


Рисунок 9.3 – Настройки USART

Настройте тактирование так же, как показано на рисунке 9.4.

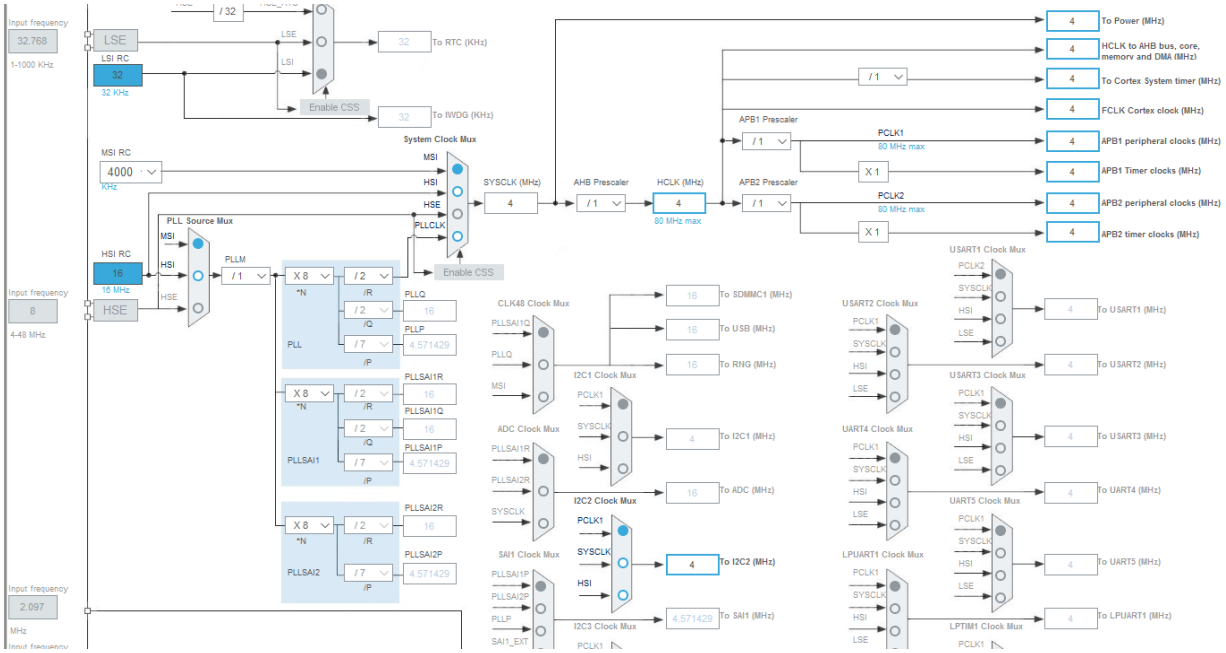


Рисунок 9.4 – Настройка тактирования

Далее откройте вкладку «Project Manager», вы увидите окно настройки вашего проекта. В поле «Project Name» введите название проекта «LIS3MDL». В поле «Project Location» укажите путь для сохранения проекта на жестком диске вашего компьютера. В поле «Toolchain/IDE» выберите «MDK-ARM V5», так как для дальнейшей работы мы используем программу KEIL Uvision 5.

2) Если вы внесли все необходимые настройки в ваш проект, можете нажать кнопку «GENERATE CODE». Затем нажмите кнопку «Open Project».

Далее откроется программа KEIL Uvision 5, с вашим проектом “ LIS3MDL”. Запишите в раздел /* USER CODE BEGIN 0 */ /* USER CODE END 0 */ функции для отправки данных и приема данных по шине I2C, как показано на рисунке 9.5.

```
/* USER CODE BEGIN 0 */
void write_register(uint16_t DevAddress, uint8_t register_pointer, uint8_t register_value)
{
    uint8_t data[2];
    data[0] = register_pointer;
    data[1] = register_value;
    HAL_I2C_Master_Transmit(&hi2c2, DevAddress, data, 2, 100);
}

void read_register(uint16_t DevAddress, uint8_t register_pointer, uint8_t* receive_buffer)
{
    HAL_I2C_Master_Transmit(&hi2c2, DevAddress, &register_pointer, 1, 100);
    HAL_I2C_Master_Receive(&hi2c2, DevAddress, receive_buffer, 1, 100);
}
/* USER CODE END 0 */
```

Рисунок 9.5 – Функции передачи и приема I2C

3) Далее добавьте инициализацию переменных, как на рисунке 9.6. Эти переменные понадобятся для работы с сенсором.

```
/* USER CODE BEGIN PV */
uint8_t WHO_I_AM;
int16_t Magnet_x, Magnet_y, Magnet_z, Magnet_x_filter;
uint8_t buffer[2];
uint8_t i2c_receive_buf[1];
uint8_t uart_buffer[6];
double K = 0.1;
/* USER CODE END PV */
```

Рисунок 9.6 – Переменные

4) Откройте документацию платы B-L475E-IOT01A [1 - 7.15 I2C addresses of modules used on MB1297] и в таблице 9.2 найдите адрес датчика LIS3MDL.

Для датчика LIS3MDL этот адрес будет равен 00111000 или в шестнадцатеричном виде 0x3C.

5) Откройте документацию датчика LIS3MDL [10 - 7.1 WHO_AM_I] и определите адрес и значение регистра WHO_AM_I.

Теперь считайте данные с сенсора LIS3MDL, из регистра WHO_AM_I. Вы делали это аналогично в предыдущей работе. Сгенерируйте проект, подключите плату и загрузите в нее проект. Затем запустите STMStudio и посмотрите значение регистра WHO_AM_I аналогично предыдущей работе.

Если значение регистра соответствует документации, то продолжайте работу. Если нет – то проделайте пункты заново и найдите ошибку.

6) Затем нужно проинициализировать сенсор. Для этого нужно открыть [10 - 7.6 CTRL_REG5 (24h)]. В нем нужно настроить 2 байта:

FAST_READ FAST READ - FAST_READ disabled;

BDU Block data update for magnetic data - output registers not updated until MSb and LSb have been read.

Запишите в устройство с адресом 0x3C, в регистр 0x24, нужное значение.

Таблица 9.2 – Устройства на шине I2C

Модули	Описание	SAD[6:0] + R/W	Адрес записи I2C	Адрес чтения I2C
HTS221	Capacitive digital sensor for relative humidity and temperature	1011111x	0xBE	0xBF
LIS3MDL	3-axis magnetometer	0011110x	0x3C	0x3D
LPS22HB	MEMS nano pressure sensor	1011101x	0xBA	0xBB
LSM6DSL	3D accelerometer and 3D gyroscope	1101010x	0xD4	0xD5
VL53L0X	Time-of-Flight ranging and gesture detection sensor	0101001x	0x52	0x53
M24SR64-Y	Dynamic NFC/RFID tag IC	1010110x	0xAC	0xAD
STSAFE-A100	-	0100000x	0x40	0x41

7) После этого откройте [10 - 7.2 CTRL_REG1 (20h)]. В нем нужно настроить 4 байта:

-TEMP_EN - Temperature sensor disabled;

-OM[1:0] High-performance mode;

-DO[2:0] Output data rate selection - 80Hz (Table 22. Output data rate configuration)

-FAST_ODR - 0;(FAST_ODR disabled)
-ST Self-test disabled.
Запишите в устройство с адресом 0x3C, в регистр 0x20, нужное значение.

8) После этого откройте [10 - 7.3 CTRL_REG2 (21h)]. В нем нужно настроить 4 байта:
-FS[1:0] - ±4 gauss;
-REBOOT - normal mode;
-SOFT_RST Configuration registers and user register reset function - 0: Default value;
Запишите в устройство с адресом 0x3C, в регистр 0x21, нужное значение.

9) После этого откройте [10 - 7.4 CTRL_REG3 (22h)]. В нем нужно настроить 4 байта:
LP (Low-power mode configuration) - Default value: 0;
SIM (SPI serial interface mode selection) - Default value: 0
MD[1:0] - Continuous-conversion mode (Table 28. System operating mode selection)
Запишите в устройство с адресом 0x3C, в регистр 0x22, нужное значение.

10)Код для записи значений регистров (Пункты 1-4) запишите в область /* USER CODE BEGIN 2 */ /* USER CODE END 2 */.

После этого датчик будет настроен и можно приступит к считыванию данных. Данные о магнитном поле находятся в регистрах с адресами 0x28 – 0x2D.

OUT_X_L (28h), OUT_X_H(29h) - X-axis data output. The value of magnetic field is expressed as two's complement.

OUT_Y_L (2Ah), OUT_Y_H (2Bh) - Y-axis data output. The value of magnetic field is expressed as two's complement.

OUT_Z_L (2Ch), OUT_Z_H (2Dh) - Z-axis data output. The value of magnetic field is expressed as two's complement.

Как и в датчиках, которые мы уже рассмотрели, данные разбиты на две части по 8 бит. Их нужно считать и соединить в одно число размером 16 бит. Код для этих операций видно на рисунке 9.7.

```
  /* USER CODE BEGIN WHILE */
  while (1)
  {
// X-axis data read
read_register(.....Your code.....);
buffer[0] = i2c_receive_buf[0];
read_register(.....Your code.....);
buffer[1] = i2c_receive_buf[0];
Magnet_x = (((int16_t)((uint16_t)buffer[1]) << 8) + buffer[0]);
// Y-axis data read
read_register(.....Your code.....);
buffer[0] = i2c_receive_buf[0];
read_register(.....Your code.....);
buffer[1] = i2c_receive_buf[0];
Magnet_y = (((int16_t)((uint16_t)buffer[1]) << 8) + buffer[0]);
// Z-axis data read
read_register(.....Your code.....);
buffer[0] = i2c_receive_buf[0];
read_register(.....Your code.....);
buffer[1] = i2c_receive_buf[0];
Magnet_z = (((int16_t)((uint16_t)buffer[1]) << 8) + buffer[0]);
    /* USER CODE END WHILE */
```

Рисунок 9.7 – Считывание показаний магнитного датчика

Скомпилируйте ваш код и загрузите его в плату. Откройте программу STMStudio и посмотрите в реальном времени значения переменных Magnet_x, Magnet_y, Magnet_z. Если эти показания находятся в диапазоне ±10000 (как правило – это примерно ±2000), то вы считали данные с датчика верно. Если нет – то повторите шаги 4 – 10 и найдите ошибку.

Пример значения переменных Magnet_x, Magnet_y, Magnet_z в программе STMStudio представлен на рисунке 9.8.

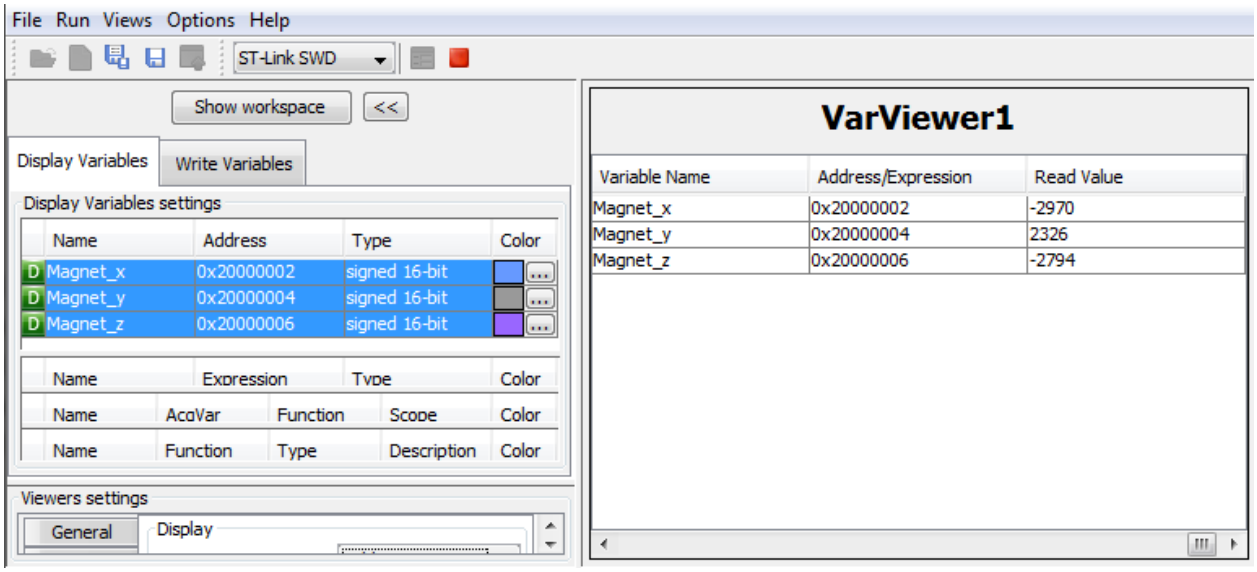


Рисунок 9.8 – Значения регистров 0x28 – 0x2D

11) Далее нужно перевести показания датчика (RAW_DATA) в единицы измерения магнитного поля (DATA_GAUSS). Для этого нужно посмотреть таблицу 9.1. В данной таблице есть пункт Sensitivity (GN). В настройках инициализации мы указали FS=±4 gauss. Значит показания магнитометра можно рассчитать по формуле:

1 gauss = 6842 LSB

Например, на рисунке 9.8 Magnet_x = 2326(LSB) = 0,34 (gauss).

Напишите код для перевода показаний датчика по X-axis, Y-axis и Z-axis в gauss. Скомпилируйте код и загрузите его в плату. Добавьте новые переменные (или клик правой кнопкой мыши и выбрать «update») и выведите значения магнитного поля в программе STMStudio.

12) Далее нужно вывести график показаний магнитного датчика. Для этого передадим данные из микроконтроллера в компьютер по интерфейсу UART.

Для того чтобы передать данные трех осей магнитного датчика в программу нужно сформировать кадр. В начале кадра идут маркеры (два символа которые указывают на начало кадра), затем данные X-Axis, затем данные Y-Axis. Структура кадра показана в таблице 9.3.

Таблица 9.3 – Структура кадра для передачи графиков

Frame Start		Channel-1 data		Channel-2 data	
0xAA	0xBB	X-Axis high 8 byte	X-Axis low 8 byte	Y-Axis high 8 byte	Y-Axis low 8 byte

По таблице 9.3 напишите код передачи данных трех осей по UART. Пример показан на рисунке 9.9.

```
  /* USER CODE BEGIN WHILE */
  while (1)
  {
// X-axis data
read_register(.............);
buffer[0] = i2c_receive_buf[0];
read_register(.............);
buffer[1] = i2c_receive_buf[0];
Magnet_x = (((int16_t)((uint16_t)buffer[1]) << 8) + buffer[0]);
// Y-axis data
read_register(.............);
buffer[0] = i2c_receive_buf[0];
read_register(.............);
buffer[1] = i2c_receive_buf[0];
Magnet_y = (((int16_t)((uint16_t)buffer[1]) << 8) + buffer[0]);

// Magnet to UART
uart_buffer[0]= 0xAA;
uart_buffer[1]= 0xBB;
uart_buffer[2]=(uint8_t)(Magnet_x>>8);
uart_buffer[3]=(uint8_t)Magnet_x;
uart_buffer[4]=(uint8_t)(Magnet_y>>8);
uart_buffer[5]=(uint8_t)Magnet_y;
HAL_UART_Transmit(&huart1,uart_buffer,6,1000);
HAL_Delay(10);

    /* USER CODE END WHILE */
```

Рисунок 9.9 – Передача данных по UART

Сгенерируйте код, загрузите проект в плату.

12) Затем откройте программу SerialPlot. Для этого откройте Пуск, Все программы, serialplot, serialplot.exe. В главном окне программы откройте вкладку «Port» и настройте в соответствии с рисунком 9.10.

Вместо **COM9 STMicroelectronics STLink Virtual COM Port**
Вы увидите другой номер COM-Port, к которому подключена ваша плата. То есть выберите тот COM-Port, в котором написано «**STMicroelectronics STLink Virtual COM Port**». Остальные настройки нужно указать такие же, как вы настроили UART в программе CubeMX.

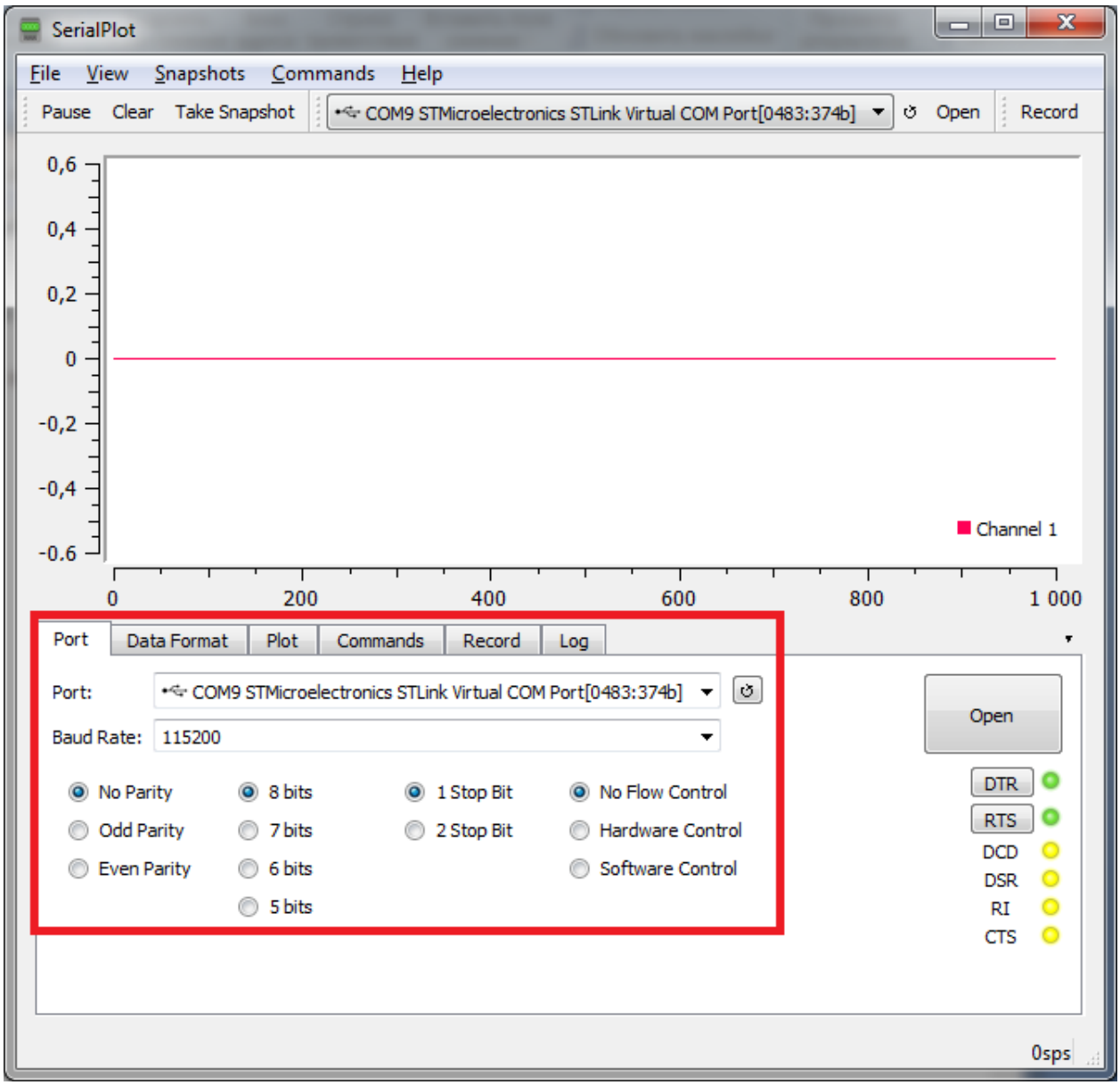


Рисунок 9.10 – Настройки порта

Далее откройте вкладку «Data Format» и выставьте настройки как на рисунке 9.11.

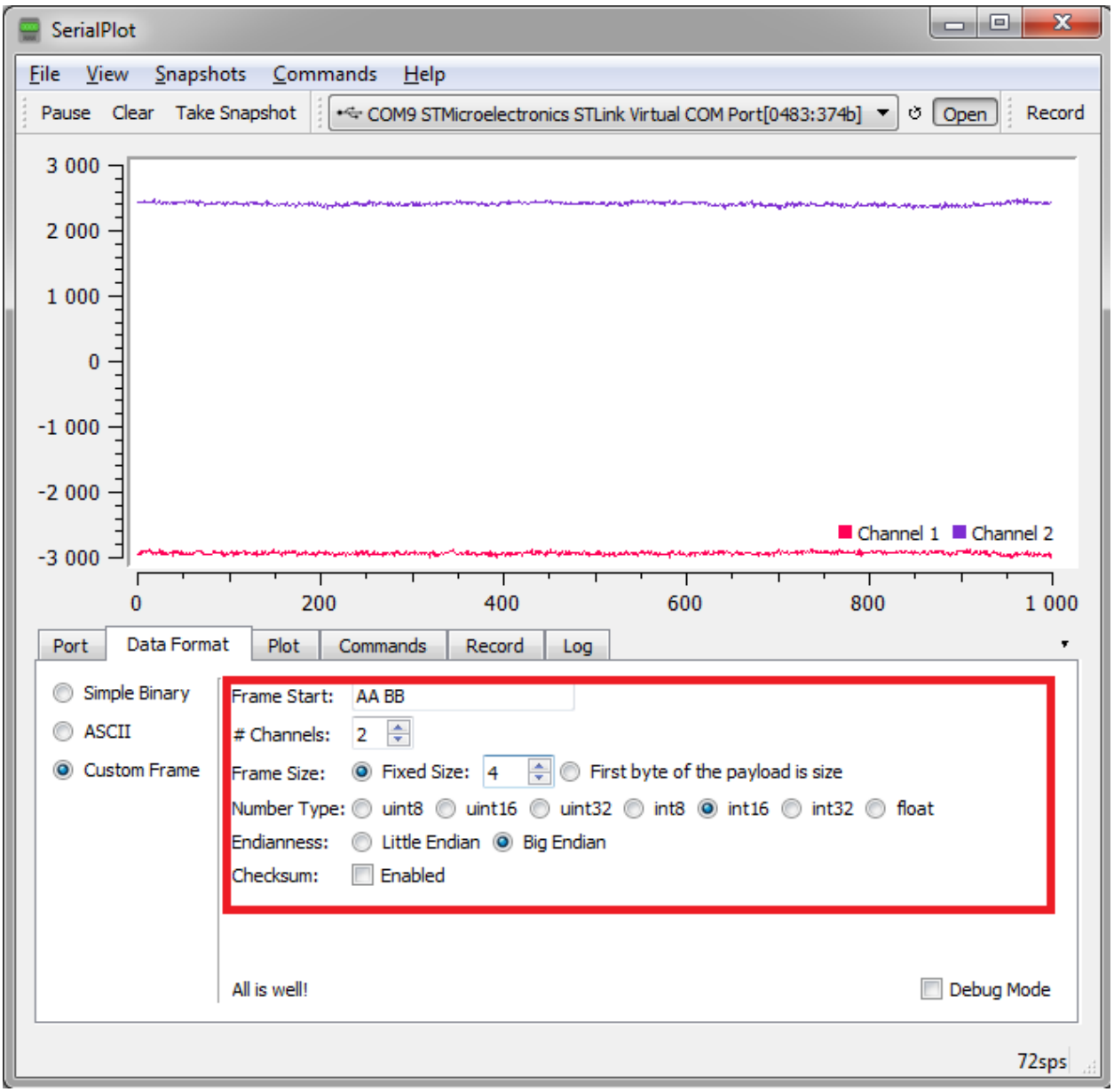


Рисунок 9.11 – Формат данных

Затем отройте вкладку «Port» и нажмите кнопку Open (Рисунок 9.10).

Если все настроено верно, то вы увидите, как формируются графики показаний магнитного датчика Красный – X-Axis, Синий – Y-Axis.

Изменить масштабы графиков вы можете во вкладке «Plot», как на рисунке 9.12.

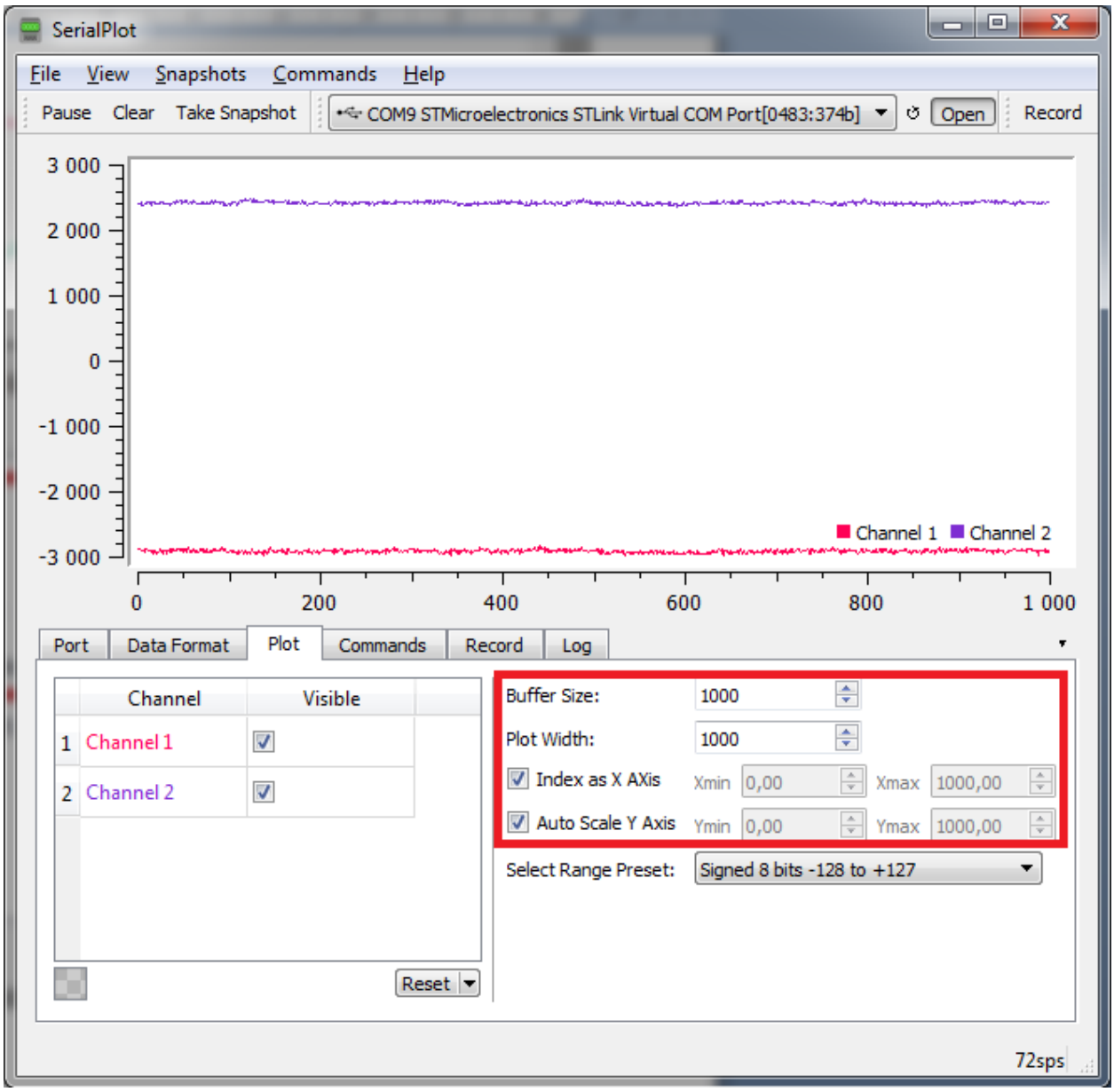


Рисунок 9.12 – Настройки графиков

13) Затем возьмите ваш смартфон и поднесите его близко к плате. Изменяйте положение смартфона смотрите как изменяется график. Зарисуйте график в отчет.

14) Как изменяются показания датчика? Объясните почему изменяются показания датчика при близком расположении электронных устройств?

15) Как видно на рисунке 9.12 показания магнитометра имеют шум. Это может негативно повлиять на использования этого датчика. Для этого показания нужно отфильтровать.

Экспоненциальное сглаживание – один из простейших и распространенных приемов выравнивания ряда. Экспоненциальное сглаживание можно представить как фильтр, на вход которого последовательно поступают члены исходного ряда, а на выходе формируются текущие значения экспоненциальной средней. Этот фильтр можно представить функцией:

$$S_t = S_{t-1} + K(C_t - S_{t-1})$$

где S_t – сглаженный ряд,

C_t – исходный ряд,

K – коэффициент сглаживания, который выбирается ($0 < K < 1$).

Напишем код фильтра для показаний Magnet_x:

```
  /* USER CODE BEGIN WHILE */
  while (1)
  {
read_register(0x3C, 0x28, i2c_receive_buf);
buffer[0] = i2c_receive_buf[0];
read_register(0x3C, 0x29, i2c_receive_buf);
buffer[1] = i2c_receive_buf[0];
Magnet_x = (((int16_t)((uint16_t)buffer[1]) << 8) + buffer[0]);

Magnet_x_filter = Magnet_x_filter + K *((Magnet_x - Magnet_x_filter));

uart_buffer[0]= 0xAA;
uart_buffer[1]= 0xBB;
uart_buffer[2]=(uint8_t)(Magnet_x>>8);
uart_buffer[3]=(uint8_t)Magnet_x;
uart_buffer[4]=(uint8_t)(Magnet_x_filter>>8);
uart_buffer[5]=(uint8_t)Magnet_x_filter;
HAL_UART_Transmit(&huart1,uart_buffer,6,1000);
HAL_Delay(10);
```

Рисунок 9.13 – Фильтрация

Сгенерируйте проект, загрузите в плату. Выведите показания в программу Serial Plot. Пример работы фильтра показан на рисунке 9.14.

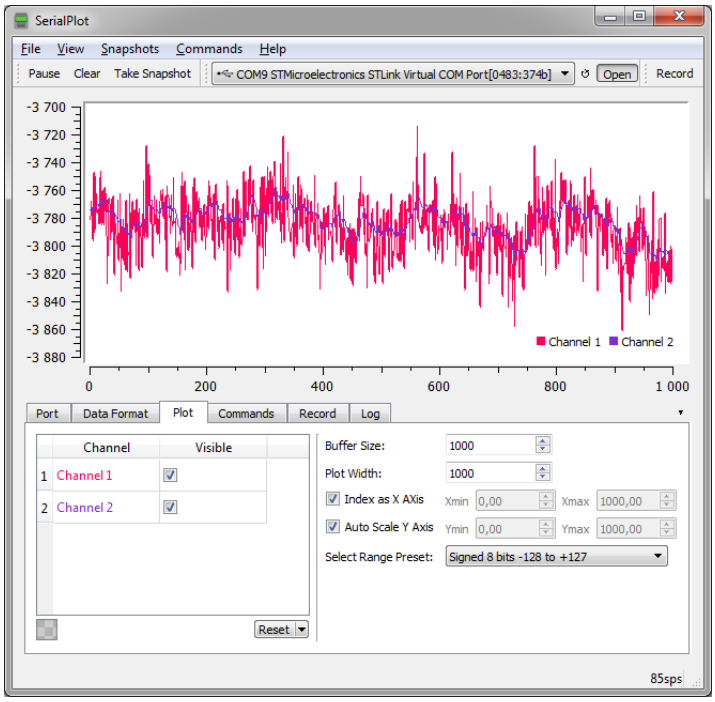


Рисунок 9.14 – Данные до фильтра (Ch1) и данные после фильтра (Ch2)

16) Затем измените в коде значение $K = 0.7$, снова сгенерируйте проект и загрузите в плату. В программе Serial Plot дважды нажмите «Open». Как изменились показания после фильтра? Для чего нужна фильтрация сигнала?

17) Напишите программу в которой при приближении смартфона к плате светодиод плавно увеличивал яркость, а при отдалении от платы плавно уменьшал яркость.

Контрольные вопросы

1) Как работает датчик LIS3MDL?

2) Как производится калибровка датчика?
3) Как производится фильтрация данных?
4) Из каких этапов состоит считывание данных с датчика?
5) Как производится инициализация датчика?

Содержание отчета

1) Цель работы;
2) Подробное описание всех этапов проделанной работы;
3) Ответы на вопросы, представленные в тексте практической работы;
4) Важные части вашего кода с пояснениями;
5) Графики и формулы, полученные в процессе выполнения практической работы;
6) Анализ проделанной работы;
7) Выводы по данной практической работе.

10 Работа с цифровыми датчиками. Гироскоп

Цель работы: измерить угловую скорость при помощи датчика LSM6DSL. Произвести инициализацию и калибровку датчика. Считать и проанализировать показания датчика. Произвести фильтрацию показаний датчика.

Задачи практической работы:

1) Подключить гироскоп к микроконтроллеру.
2) Произвести настройку I2C и UART по документации микроконтроллера.
3) Произвести калибровку датчика по документации LSM6DSL.
4) Считать и проанализировать показания датчика.
5) Написать код фильтра.

Оборудование и программное обеспечение: плата B-L475E-IOT01A, кабель USB, среда разработки Keil Uvusuion 5, CubeMX, STMStudio.

Теоретический материал

Гироскоп – это устройство, которое использует гравитацию Земли, чтобы помочь определить ориентацию. Основные характеристики гироскопа приведены в таблице 10.1.

Таблица 10.1 – Характеристики LSM6DSL

Обозначение	Параметр	Условия тестирования	Мин.	Тип.	Макс.	Ед. изм.
RnRMS	Gyroscope RMS noise in normal/low-power mode			75		mdps
G_FS	Angular rate measurement range			±125		dps
				±250		
				±500		
				±1000		
				±2000		
G_So	Angular rate sensitivity	$FS = \pm 125$		4.375		mdps/ LSB
		$FS = \pm 250$		8.75		
		$FS = \pm 500$		17.50		
		$FS = \pm 1000$		35		
		$FS = \pm 2000$		70		
G_SoDr	Angular rate sensitivity change vs. temperature	from -40° to +85°		±0.007		%/°C
G_OffDr	Angular rate typical zero-rate level change vs. temperature			±0.015		dps/°C

Гиродатчики – это устройства, которые измеряют угловую скорость, которая представляет собой изменение угла поворота за единицу времени. Угловая скорость обычно выражается в градусах / с (градусы в секунду).

Гироскопы ST измеряют угловую скорость с широким полноразмерным диапазоном (от 30 до 4000 dps), чтобы удовлетворить требования различных приложений, от распознавания жестов и стабилизации изображения до точного расчета и персональной навигации.

Ход работы

1) Запустите программу CubeMX. Для этого на панели задач откройте меню «Пуск», «Все программы», «STMicroelectronics», «STM32Cube», «STM32CubeMX», «STM32CubeMX.exe».

Нажмите на кнопку «ACCESS TO MCU SELECTOR». Далее откроется окно для выбора микроконтроллера, в списке «MCUs list» выберите микроконтроллер STM32L475VGTx и нажмите на кнопку «Start Project».

Во вкладке «Connectivity» выберите «I2C2», затем в окне «Mode» выберите значение «I2C», значения во вкладке «Parameter Settings» установите, как на рисунке 10.1.

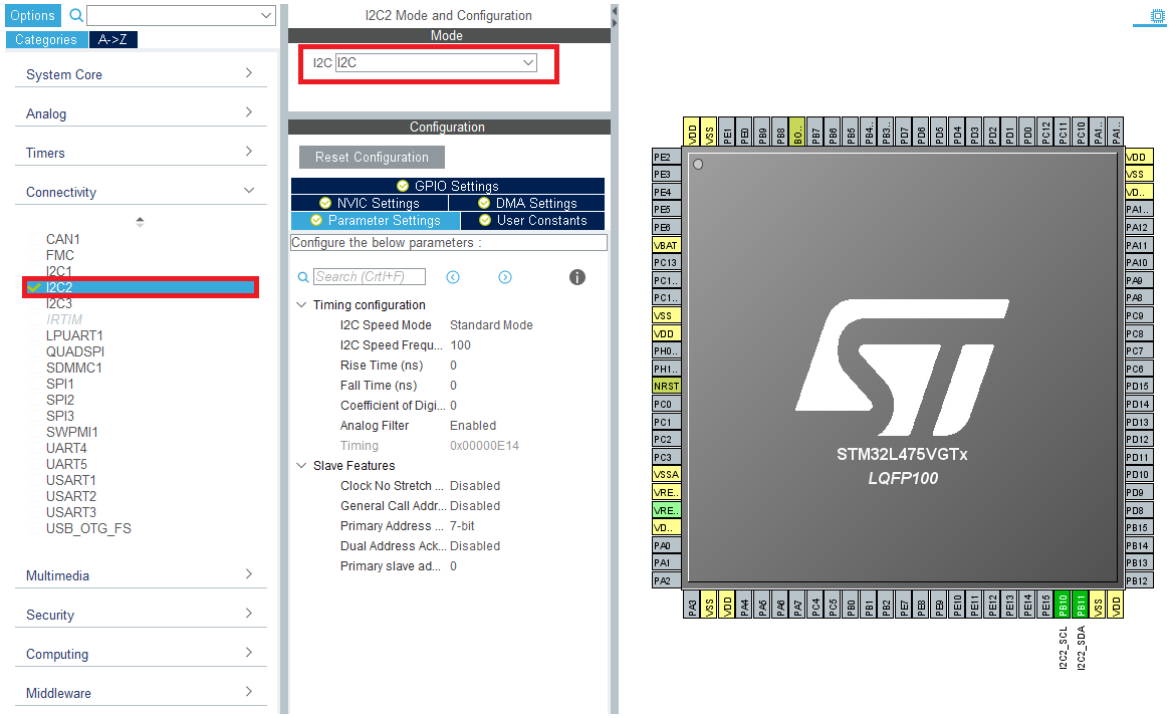


Рисунок 10.1 – I2C Mode

В окне «Pinout view» левой кнопкой мыши нажмите на PB6, в открывшемся меню выберите «USART1_TX», после этого нажмите на PB7, в открывшемся меню выберите «USART1_RX». Затем в окне «Options» откройте вкладку «Categories» и выберите пункт «USART1». В окне «USART1 Mode and Configuration» выберите тип «Mode»-«Asynchronous». Так вы включите USART1. Проверьте, чтобы показания были как на рисунке 10.2.

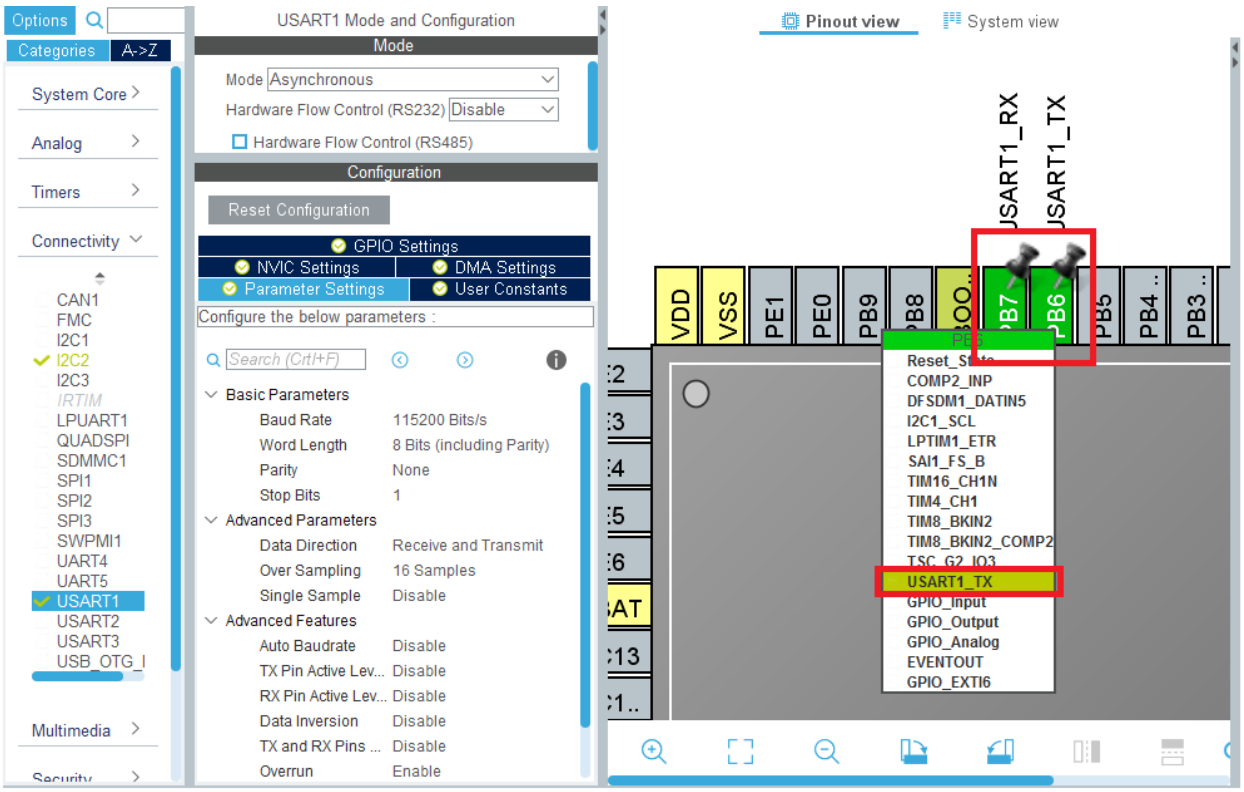


Рисунок 10.2 – Настройки USART

Настройте тактирование так же, как показано на рисунке 10.3.

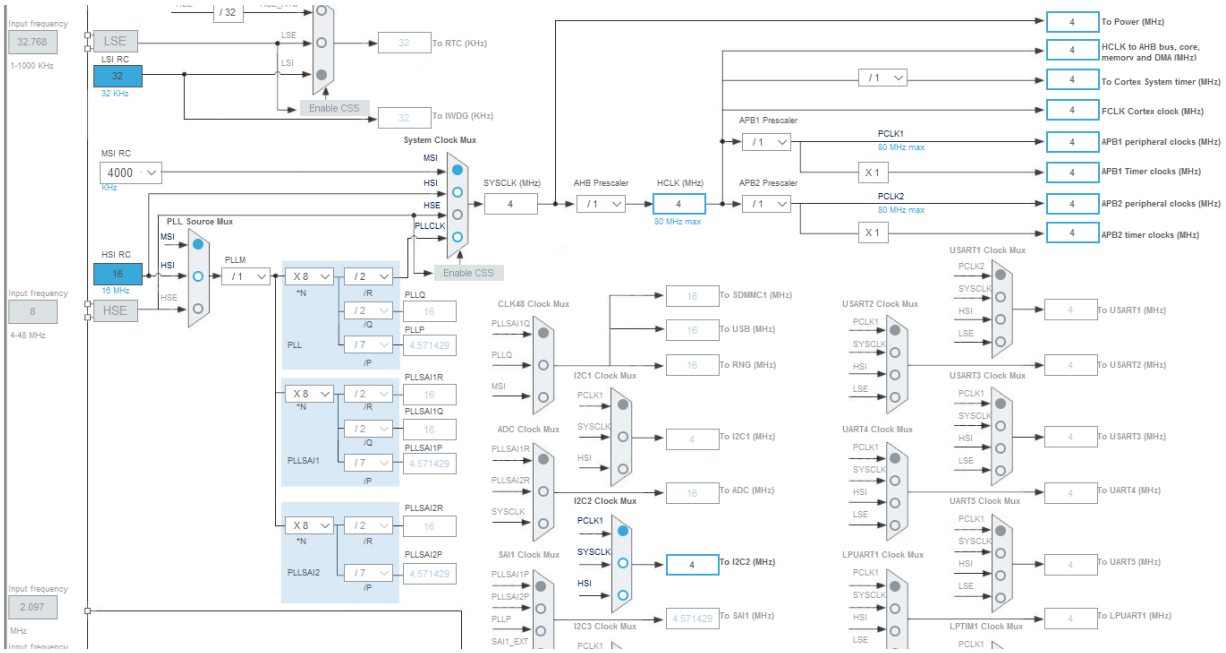


Рисунок 10.3 – Настройки тактирования

Далее откройте вкладку «Project Manager», вы увидите окно настройки вашего проекта. В поле «Project Name» введите название проекта «LSM6DSL_Gyroscope». В поле «Project Location» укажите путь для сохранения проекта на жестком диске вашего компьютера. В поле «Toolchain/IDE» выберите «MDK-ARM V5», так как для дальнейшей работы мы используем программу KEIL Uvision 5.

2) Если вы внесли все необходимые настройки в ваш проект, можете нажат кнопку «GENERATE CODE». Затем нажмите кнопку «Open Project».

Далее откроется программа KEIL Uvision 5, с вашим проектом “LSM6DSL_Gyroscope”. Запишите в раздел /* USER CODE BEGIN 0 */ /* USER CODE END 0 */ функции для отправки данных и приема данных по шине I2C, как показано на рисунке 10.4.

```
/* USER CODE BEGIN 0 */
void write_register(uint16_t DevAddress, uint8_t register_pointer, uint8_t register_value)
{
    uint8_t data[2];
    data[0] = register_pointer;
    data[1] = register_value;
    HAL_I2C_Master_Transmit(&hi2c2, DevAddress, data, 2, 100);
}

void read_register(uint16_t DevAddress, uint8_t register_pointer, uint8_t* receive_buffer)
{
    HAL_I2C_Master_Transmit(&hi2c2, DevAddress, &register_pointer, 1, 100);
    HAL_I2C_Master_Receive(&hi2c2, DevAddress, receive_buffer, 1, 100);
}
/* USER CODE END 0 */
```

Рисунок 10.4 – Функции передачи и приема I2C

Далее добавьте инициализацию переменных, как на рисунке 10.5. Эти переменные понадобятся для работы с сенсором.

```
/* USER CODE BEGIN PV */
uint8_t i2c_buffer[1];
uint8_t buffer[2];
uint8_t uart_buffer[8];
uint8_t WHO_I_AM;
int16_t Gyro_x, Gyro_y, Gyro_z;
int16_t MA_window_x[20], MA_window_y[20], MA_window_z[20];
int16_t Gyro_x_filter, Gyro_y_filter, Gyro_z_filter;
int16_t MA_window_size = 20;
/* USER CODE END PV */
```

Рисунок 10.5 – Переменные

Откройте документацию платы B-L475E-IOT01A [1 - 7.15 I2C addresses of modules used on MB1297] и в таблице 10.2 найдите адрес датчика LSM6DSL.

Таблица 10.2 – Устройства на шине I2C

Модули	Описание	SAD[6:0] + R/W	Адрес записи I2C	Адрес чтения I2C
HTS221	Capacitive digital sensor for relative humidity and temperature	1011111x	0xBE	0xBF
LIS3MDL	3-axis magnetometer	0011110x	0x3C	0x3D
LPS22HB	MEMS nano pressure sensor	1011101x	0xBA	0xBB
LSM6DSL	3D accelerometer and 3D gyroscope	1101010x	0xD4	0xD5
VL53L0X	Time-of-Flight ranging and gesture detection sensor	0101001x	0x52	0x53
M24SR64-Y	Dynamic NFC/RFID tag IC	1010110x	0xAC	0xAD
STSAFE-A100	-	0100000x	0x40	0x41

Для датчика LSM6DSL этот адрес будет равен 11010100 или в шестнадцатеричном виде 0xD4.

3) Откройте документацию датчика LSM6DSL [9 - 9.12 WHO_AM_I] и определите адрес и значение регистра WHO_AM_I.

Теперь считайте данные с сенсора LSM6DSL, из регистра WHO_AM_I. Вы делали это аналогично в предыдущей работе. Сгенерируйте проект, подключите плату и загрузите в нее проект. Затем запустите STMStudio и посмотрите значение регистра WHO_AM_I аналогично предыдущей работе.

Если значение регистра соответствует документации, то продолжайте работу. Если нет – то проделайте пункты заново и найдите ошибку.

4) Затем нужно проинициализировать сенсор. Для этого нужно открыть [9 - 9.19 CTRL7_G (16h)]. Для настройки работы гироскопа в нем нужно настроить:
High-performance operating mode disable for gyroscope - high-performance operating mode enabled;
Gyroscope digital high-pass filter - HPF enabled;
Gyroscope digital HP filter cutoff selection - 16 mHz;
Rounding_Status - Rounding disabled.
Запишите в устройство с адресом 0xD4, в регистр 0x16, нужное значение.

5) После этого откройте [9 - 9.14 CTRL2_G (11h)]. В нем нужно настроить 4 байта:
Gyroscope full-scale at 125 dps - disabled;
Gyroscope full-scale selection - 2000 dps;
Gyroscope output data rate selection - 208 Hz;
Запишите в устройство с адресом 0xD4, в регистр 0x11, нужное значение.

6) После этого откройте [9 - 9.15 CTRL3_C (12h)]. В нем нужно настроить 4 байта:
Software reset - normal mode;
Big/Little Endian Data selection - data LSB @ lower address;
Register address automatically incremented during a multiple byte access with a serial interface (I2C or SPI) - enabled;
SPI Serial Interface Mode selection - 4-wire interface;
Push-pull/open-drain selection on INT1 and INT2 pads - push-pull mode;
Interrupt activation level - interrupt output pads active high;
Block Data Update - output registers not updated until MSB and LSB have been read;

Reboot memory content - normal mode;
Запишите в устройство с адресом 0xD4, в регистр 0x12, нужное значение.

7) Код для записи значений регистров (Пункты 1-4) запишите в область /* USER CODE BEGIN 2 */ /* USER CODE END 2 */.

После этого датчик будет настроен и можно приступит к считыванию данных. Данные о ускорении находятся в регистрах с адресами 0x22 – 0x27.

OUTX_L_G (22h) - Angular rate sensor pitch axis (X) angular rate output register (r). The value is expressed as a 16-bit word in two's complement;
OUTX_H_G (23h) - Angular rate sensor pitch axis (X) angular rate output register (r). The value is expressed as a 16-bit word in two's complement;
OUTY_L_G (24h) - Angular rate sensor roll axis (Y) angular rate output register (r). The value is expressed as a 16-bit word in two's complement;
OUTY_H_G (25h) - Angular rate sensor roll axis (Y) angular rate output register (r). The value is expressed as a 16-bit word in two's complement;
OUTZ_L_G (26h) - Angular rate sensor yaw axis (Z) angular rate output register (r). The value is expressed as a 16-bit word in two's complement;
OUTZ_H_G (27h) - Angular rate sensor Yaw axis (Z) angular rate output register (r). The value is expressed as a 16-bit word in two's complement.

Как и в датчиках, которые мы уже рассмотрели, данные разбиты на две части по 8 бит. Их нужно считать и соединить в одно число размером 16 бит. Код для этих операций видно на рисунке 10.6.

```
  /* USER CODE BEGIN WHILE */
  while (1)
  {
//// Gyro_READ
read_register(.....Your code.....);
buffer[0] = i2c_buffer[0];
read_register(.....Your code.....);
buffer[1] = i2c_buffer[0];
Gyro_x = (.....Your code.....);

read_register(.....Your code.....);
buffer[0] = i2c_buffer[0];
read_register(.....Your code.....);
buffer[1] = i2c_buffer[0];
Gyro_y = (.....Your code.....);

read_register(.....Your code.....);
buffer[0] = i2c_buffer[0];
read_register(.....Your code.....);
buffer[1] = i2c_buffer[0];
Gyro_z = (.....Your code.....);

    /* USER CODE END WHILE */
```

Рисунок 10.6 – Считывание показаний акселерометра

Скомпилируйте ваш код и загрузите его в плату. Откройте программу STMStudio и посмотрите в реальном времени значения переменных Gyro_x, Gyro_y, Gyro_z. Если эти показания находятся в диапазоне ±20, то вы считали данные с датчика, верно. Если нет – то повторите шаги 3 – 7 и найдите ошибку.

8) Далее нужно перевести показания датчика (RAW_DATA) в единицы измерения угловой скорости (DATA_G). Для этого нужно посмотреть таблицу 10.1. В данной таблице

есть пункт Angular rate sensitivity (G_So). В настройках инициализации мы указали FS = ±2000. Значит показания гироскопа можно рассчитать по формуле:

1 LSB = 70 mdps

Напишите код для перевода показаний датчика по X-axis, Y-axis и Z-axis в mdps.
Скомпилируйте код и загрузите его в плату. Добавьте новые переменные (или клик правой кнопкой мыши и выбрать «update») и выведите значения акселерометра в программе STMStudio. Запишите результаты в отчет.

9) Далее нужно вывести график показаний гироскопа на компьютер. Для этого передадим данные из микроконтроллера в компьютер по интерфейсу UART.

Для того чтобы передать данные трех осей акселерометра в программу нужно сформировать кадр. В начале кадра идут маркеры (два символа которые указывают на начало кадра AA BB), затем данные X-Axis, затем данные Y-Axis, затем данные Z-Axis. Структура кадра показана в таблице 10.3.

Таблица 10.3 – Структура кадра для передачи графиков

Frame Start		Channel-1 data		Channel-2 data		Channel-3 data	
0xAA	0xBB	X-Axis high 8 byte	X-Axis low 8 byte	Y-Axis high 8 byte	Y-Axis low 8 byte	Z-Axis high 8 byte	Z-Axis low 8 byte

По таблице 10.3 напишите код передачи данных трех осей по UART. Скомпилируйте и загрузите код в плату.

10) Далее включите программу Serial Plot. Откройте вкладку «Data Format» и выставьте настройки как на рисунке 10.7

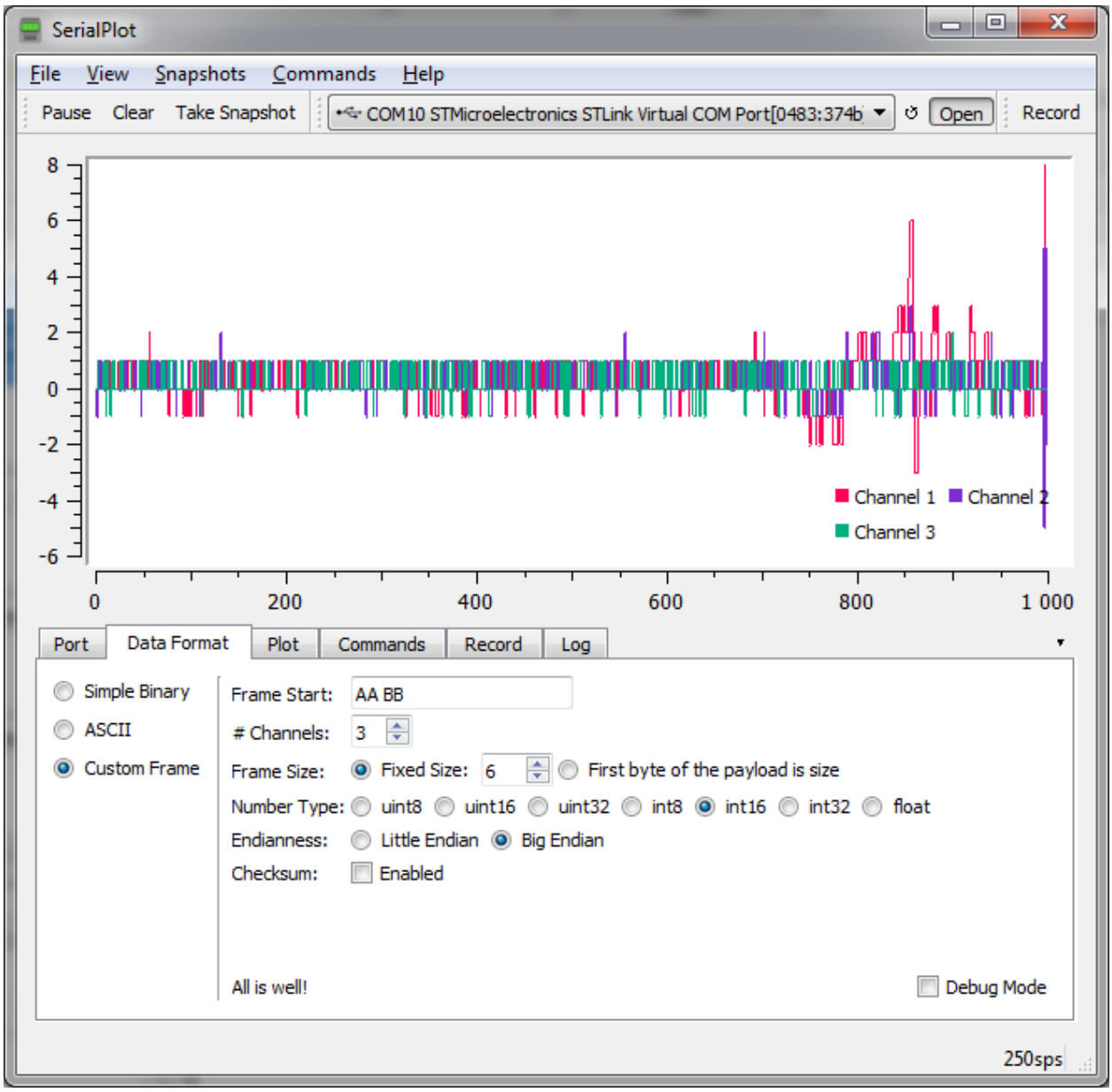


Рисунок 10.7 – Формат данных

Затем отройте вкладку «Port» и нажмите кнопку Open. Возьмите плату в руку и измените ее положение. Если все настроено верно, то вы увидите, как формируются графики показаний гироскопа Красный – X-Axis, Зеленый – Z-Axis, Синий – Y-Axis.
Сохраните графики в отчет.

Затем положите плату на стол и не трогайте ее. Дождитесь пока масштаб графика увеличится до десятков (Если он настроен автоматически). Вы увидите график как на рисунке 10.8.

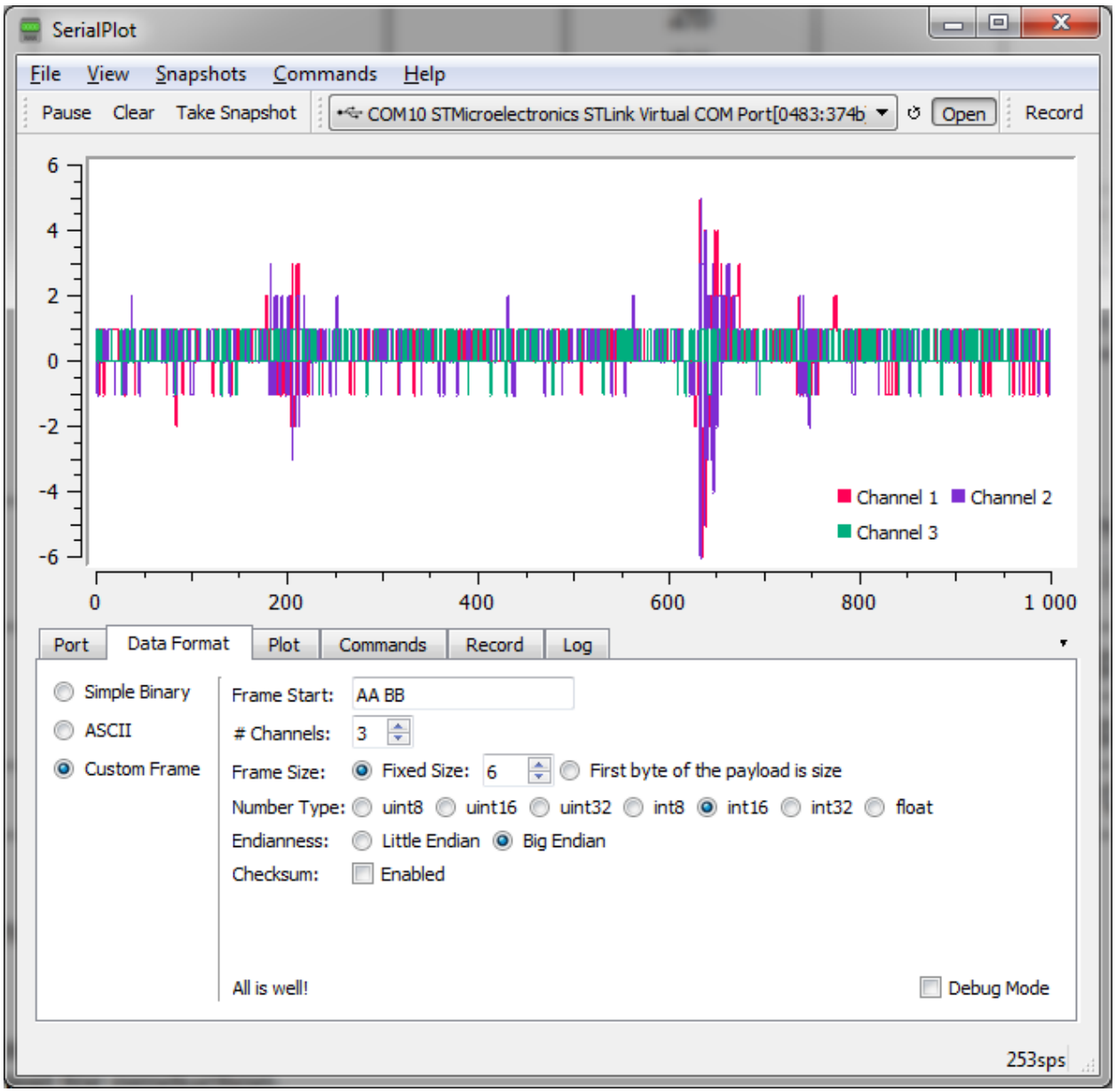


Рисунок 10.8 – Шум в показаниях гироскопа

Как вы видите, показания неравномерны. В показаниях гироскопа имеется шум (при этом мы уже включили фильтр в настройках датчика). Значит, показания гироскопа нужно отфильтровать.

11) В данной практической работе мы рассмотрим фильтр скользящего среднего.

Скользящее среднее – общее название для семейства функций, значения которых в каждой точке определения равны среднему значению исходной функции за предыдущий период. Скользящие средние обычно используются с данными временных рядов для сглаживания краткосрочных колебаний. Математически скользящее среднее является одним из видов свертки и поэтому его можно рассматривать как фильтр низких частот, используемых в обработке сигналов.

Простое (арифметическое) скользящее среднее численно равно среднему арифметическому значений исходной функции за установленный период и вычисляется по формуле:

$$\tilde{f}_k = \frac{1}{h}\sum_{i=l}^{k} f_i ,$$

где f_i – исходные значения рассматриваемой функции;

$h = k - l$ – сглаживающий интервал – количество значений исходной функции для расчета скользящего среднего.

Напишем код этой функции на языке С. Для этого в раздел /* USER CODE BEGIN 0 */ /* USER CODE END 0 */ допишите функцию скользящего среднего. Эта функция будет принимать три параметра: Окно сглаживания (элементы от которых вычисляется среднее значение), Размер окна сглаживания (количество этих элементов) и входные данные без фильтрации. В результате выполнения функции мы получим данные после фильтра.

Этот код будет выглядеть следующим образом:

```
/* USER CODE BEGIN 0 */
void write_register(uint16_t DevAddress, uint8_t register_pointer, uint8_t register_value)
{
    uint8_t data[2];
    data[0] = register_pointer;
    data[1] = register_value;
    HAL_I2C_Master_Transmit(&hi2c2, DevAddress, data, 2, 100);
}

void read_register(uint16_t DevAddress, uint8_t register_pointer, uint8_t* receive_buffer)
{
    HAL_I2C_Master_Transmit(&hi2c2, DevAddress, &register_pointer, 1, 100);
    HAL_I2C_Master_Receive(&hi2c2, DevAddress, receive_buffer, 1, 100);
}


int16_t moving_average_filter(int16_t *window, uint8_t window_size, int16_t no_filter_data)
{
  int16_t filter_data;
  int sum = 0;
  for (int j=1; j<window_size; j++)
{
window[j-1] = window[j];                  // Shift not filtered data in a window
}
window[window_size-1] = no_filter_data;   // The last element of the window is not filtered data at the moment

  for (int j=0; j<window_size; j++)
{
sum = sum + window[j];                    //Sum up the window elements
}
filter_data = sum/window_size;           //Divide by the number of window elements
return(filter_data);                     //Derive a filtered value of the function
}
/* USER CODE END 0 */
```

Рисунок 10.9 – Фильтрация данных

Посмотрите на рисунок 10.5, вы добавляли переменные:

MA_window_x, MA_window_y, MA_window_z – это окна для сглаживания для осей X, Y, Z.

Gyro_x_filter, Gyro_y_filter, Gyro_z_filter – Это отфильтрованные данные;

MA_window_size – размер окна сглаживания.

В основном цикле while(1) добавьте функции скользящего среднего для осей X, Y, Z:

Filtered data = moving_average_filter (window,size,No filtered data);

12) Выведите графики фильтрованных данных оси X,Y,Z с помощью программы SerialPlot. Сохраните данные графики в отчет.

13) Выведите на одном графике фильтрованные данные и не фильтрованные данные для одной из осей. Сохраните графики в отчет. Опишите чем обусловлены изменения в графиках.

14) В разделе /* USER CODE BEGIN PV */ /* USER CODE END PV */ измените размеры MA_window_x, MA_window_y, MA_window_z и MA_window_size на 30, 50, 70. Выведите соответственно графики с фильтрованными и нефильтрованными данными. Объясните, как влияет изменение размера окна на работу фильтра? Как различаются графики с разным размером окна? В чем плюсы и минусы в увеличении размера окна? Где целесообразно применять данный фильтр?

Контрольные вопросы

1) Как работает датчик LSM6DSL?
2) Как производится калибровка датчика?
3) Как производится фильтрация данных?
4) Из каких этапов состоит считывание данных с датчика?
5) Как производится инициализация датчика?

Содержание отчета

1) Цель работы;
2) Подробное описание всех этапов проделанной работы;
3) Ответы на вопросы, представленные в тексте практической работы;
4) Важные части вашего кода с пояснениями;
5) Графики и формулы, полученные в процессе выполнения практической работы;
6) Анализ проделанной работы;
7) Выводы по данной практической работе.

11 Интерфейс пользователя для управления устройствами интернета вещей. Реализация консоли ввода-вывода UART. AT-команды

Цель работы: реализовать интерфейс пользователя для управления устройствами интернета вещей при помощи консоли ввода-вывода.

Задачи практической работы:

1) Настроить интерфейс UART.

2) Ознакомиться с консольной программой Putty.

3) Передать данные в микроконтроллер из консоли.

4) Настроить передачу и прием данных через консоль.

5) Написать программу управления микроконтроллером через консоль

Оборудование и программное обеспечение: плата B-L475E-IOT01A, кабель USB, среда разработки Keil µVision 5, CubeMX.

Теоретический материал

Интерфейс пользователя (user interface или сокращенно UI) – это интерфейс, с помощью которого человек может управлять программным обеспечением или устройством. Интерфейс пользователя должен быть удобным в использовании для человека. Интерфейсы программного обеспечения также называют графическими пользовательскими интерфейсами (graphical user interface или GUI).

Существует несколько видов интерфейсов пользователя:

1) Интерфейс командной строки (Command Line Interface или CLI) - Среди областей применения интерфейса командной строки можно выделить микроконтроллеры, SoC и другие устройства, в которых не требуется графическое оформление. Взаимодействие происходит с помощью ввода команд с клавиатуры компьютера. Устройство обрабатывает эти команды и выводит на экран очередную строку.

2) Текстовый интерфейс пользователя (Text User Interface или TUI) - Этот тип интерфейса пользователя предназначен для работы с символами. Исполнение происходит в режиме аппаратного текста, однако часто используется и дисплей. В данном случае на каждый источник у программиста имеется 256 символов. Навигация производится клавиатурой, а не мышью.

3) Графический пользовательский интерфейс (Graphical User Interface или GUI) - Графический пользовательский интерфейс является наиболее популярным UI. Он представляет собой окно, в котором содержатся различные элементы управления. Взаимодействие пользователя с программой при помощи мыши и при помощи клавиатуры. Также есть возможность использовать кнопки и разделы меню, расположенные внутри самого приложения. Это окно представляет собой нечто вроде шлюза между пользователем и программным обеспечением. В графическом интерфейсе пользователя распространены типичные элементы управления.

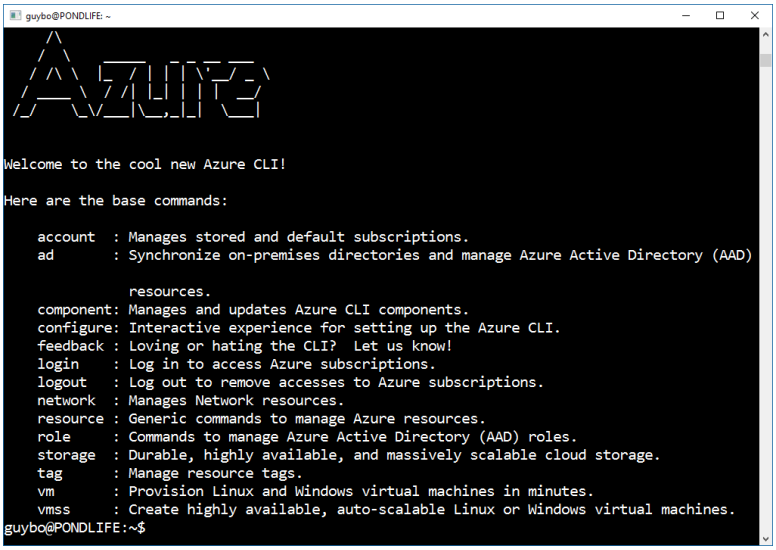


Рисунок 11.1 – Пример Command Line Interface

В данной практической работе будет реализован простой пользовательский интерфейс - Command Line Interface. Передача данных будет осуществляться по интерфейсу UART. При этом передаются символы ASCII, перевод этих символов в формат hex приведен на рисунке 11.2.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0	NUL	SOH	STX	ETX	EOT	ENQ	ACK	BEL	BS	HT	LF	VT	FF	CR	SO	SI
1	DLE	DC1	DC2	DC3	DC4	NAK	SYN	ETB	CAN	EM	SUB	ESC	FS	GS	RS	US
2		!	"	#	$	%	&	'	(	)	*	+	,	-	.	/
3	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	:	;	<	=	>	?
4	@	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
5	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	[	\	]	^	_
6	`	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
7	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z	{	|	}	~	DEL

Рисунок 11.2 – Таблица кодов ASCII

Например, если на клавиатуре вы нажмете клавишу «1», то по интерфейсу UART будет передаваться число 0x31.

DMA (direct memory access) – прямой доступ к памяти.

DMA позволяет перемещать данные без участия центрального процессора. То есть процессор основные полезные функции, не отвлекается ни на что, а DMA в этот момент может пересылать огромные массивы данных, например, в USART.

Технология DMA используется, не только в интерфейсе USART, а во многих других интерфейсах и случаях, причём настройки будут подобны, поэтому, изучив данную практическую работу, вы можете уже с гораздо меньшим трудом разобраться в программировании DMA в других случаях.

AT-команды (attention) – набор команд, разработанных в 1977 году компанией Hayes. Применение короткого набора текстовых команд в специальном формате было настолько удачным решением, что стало стандартом для остальных производителей.

С появлением стандарта связи GSM, производители не стали отказываться от такого удачного решения. Был разработан стандарт AT-команд, описывающий работу модемов в режимах GSM07.05 и GSM07.07. Многие производители оборудования связи могут использовать AT-команды собственной разработки, но эти команды только расширяют

возможности стандартных команд при необходимости использования специфических функций.

Ход работы

1) Запустите программу CubeMX. Для этого на панели задач откройте меню «Пуск», «Все программы», «STMicroelectronics», «STM32Cube», «STM32CubeMX», «STM32CubeMX.exe».

Нажмите на кнопку «ACCESS TO MCU SELECTOR». Далее откроется окно для выбора микроконтроллера, в списке «MCUs list» выберите микроконтроллер STM32L475VGTx и нажмите на кнопку «Start Project».

В окне «Pinout view» левой кнопкой мыши нажмите на PB6, в открывшемся меню выберите «USART1_TX», после этого нажмите на PB7, в открывшемся меню выберите «USART1_RX». Затем в окне «Options» откройте вкладку «Categories» и выберите пункт «USART1». В окне «USART1 Mode and Configuration» выберите тип «Mode»-«Asynchronous». Так вы включите USART1. Проверьте, чтобы показания были как на рисунке 11.3.

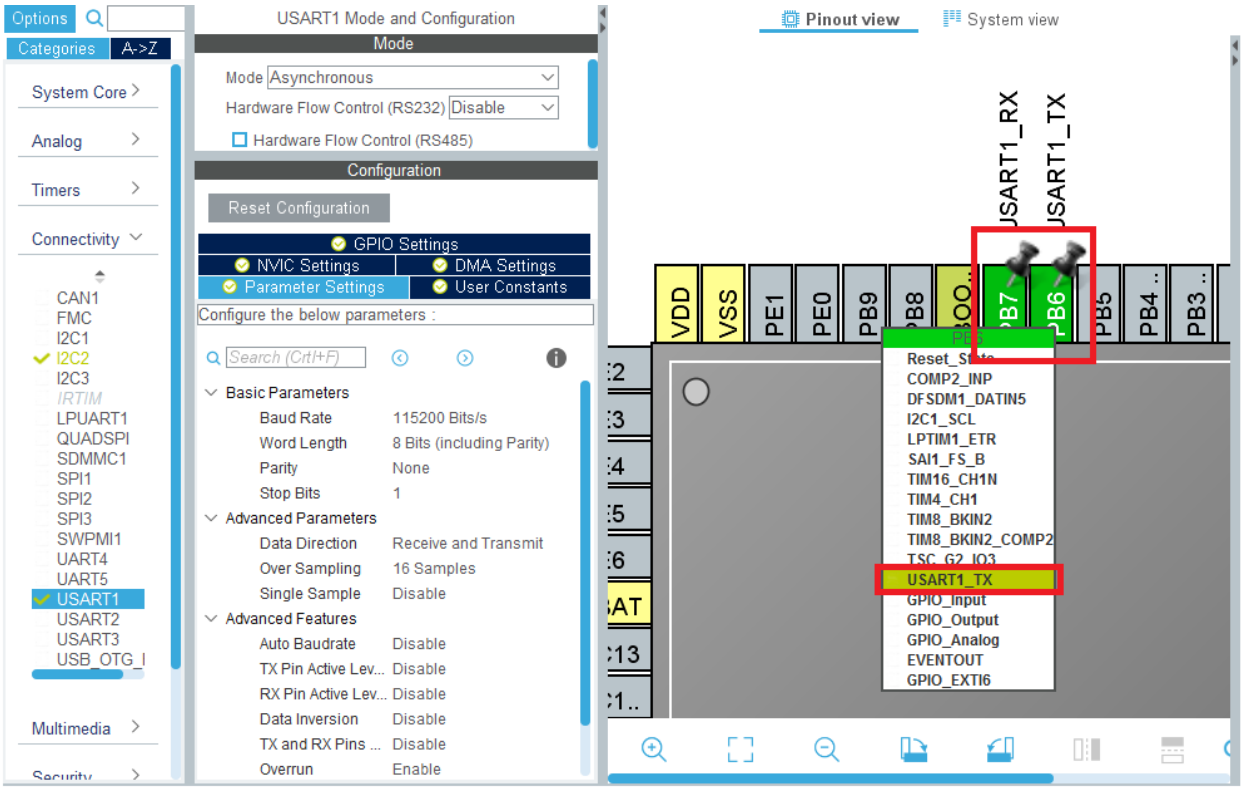


Рисунок 11.3 – USART Settings

2) Затем в «Configuration» для USART1 и выберите вкладку «DMA Settings». В ней нажмите кнопку «Add», затем нажмите на Select и выберите USART1_RX. Это показано на рисунке 11.4. Так вы включили режим DMA для USART1.

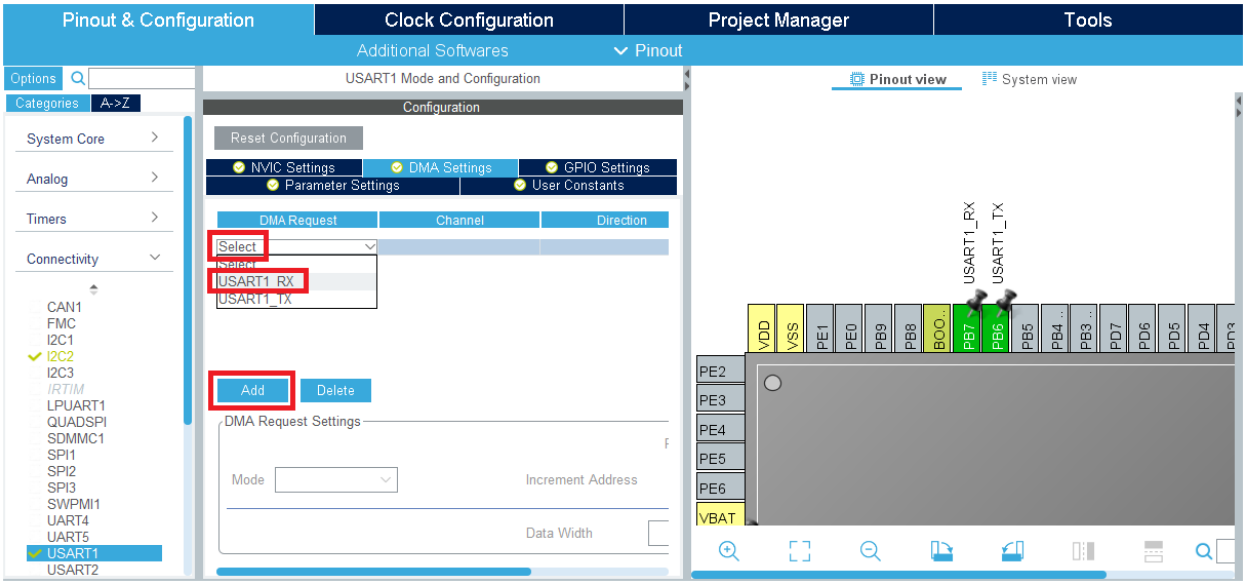


Рисунок 11.4 – USART1 DMA

3) Далее откройте вкладку «Pinout view», и настройте пин PB14 как GPIO Output . Во вкладке «Configuration» настройте:

GPIO output level – Low;

GPIO mode – Output Push Pull;

GPIO Pull-up/Pull-down – No pull-up and no pull-down;

Maximum output speed – Low.

4) Далее откройте вкладку «Pinout view», и настройте пин PC13 как GPIO Input . Во вкладке «Configuration» настройте:

GPIO mode – Input mode;

GPIO Pull-up/Pull-down – No pull-up and no pull-down.

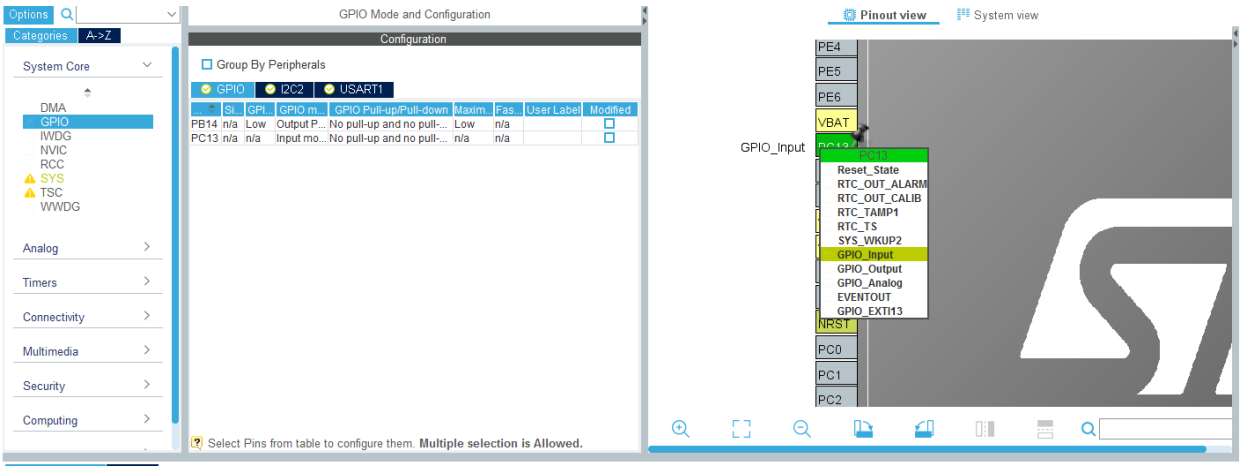


Рисунок 11.5 – Настройка GPIO

Далее откройте вкладку «Clock Configuration» и настройте тактирование микроконтроллера, как показано на рисунке 11.6.

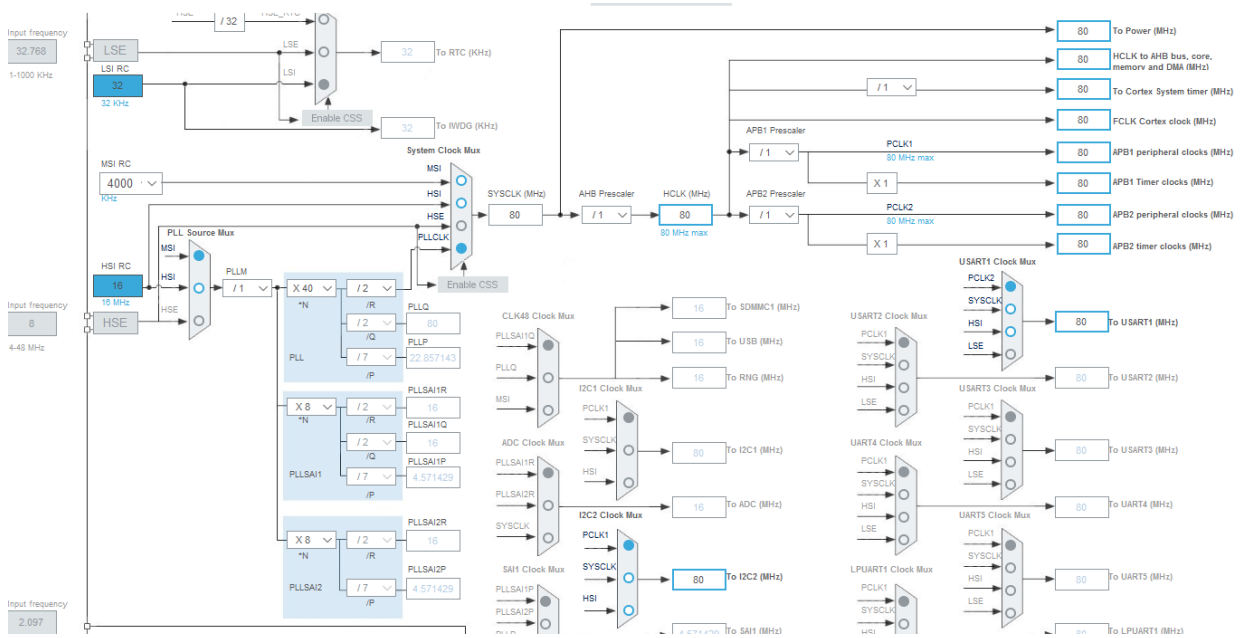


Рисунок 11.6 – Clock configuration

Далее откройте вкладку «Project Manager», вы увидите окно настройки вашего проекта. В поле «Project Name» введите название проекта «CONSOLE». В поле «Project Location» укажите путь для сохранения проекта на жестком диске вашего компьютера. В поле «Toolchain/IDE» выберите «MDK-ARM V5», так как для дальнейшей работы мы используем программу KEIL Uvision 5.

5) Если вы внесли все необходимые настройки в ваш проект, можете нажат кнопку «GENERATE CODE». Затем нажмите кнопку «Open Project».

Далее откроется программа KEIL Uvision 5, с вашим проектом “CONSOLE”.

Для начала нужно передать строку по интерфейсу UART. В предыдущих практических работах Вы передавали данные в формате HEX. Так как функция HAL_UART_Transmit работает только с типом данных uint8_t. Чтобы передать строку нужно преобразовать строку в массив uint8_t и передать при помощи функции HAL_UART_Transmit. На рисунке ниже представлен код формирования строки «Hello World!» и передача ее по интерфейсу UART с приведением к uint8_t.

```
/* USER CODE BEGIN WHILE */
while (1)
{
char Data_to_uart[14] = "Hello World!\r\n";
HAL_UART_Transmit(&huart1, (uint8_t *)&Data_to_uart,sizeof(Data_to_uart), 0x100);
HAL_Delay(2000);
  /* USER CODE END WHILE */

  /* USER CODE BEGIN 3 */
}
/* USER CODE END 3 */
```

Рисунок 11.7 – Передача строки по UART

Сгенерируйте проект и загрузите его в плату и нажмите кнопку Reset.

6) Для того, чтобы увидеть строку «Hello World!» на компьютере нужна программа «PuTTY». Для того, чтобы запустить программу, нажмите «Пуск»- «Все программы» - «PuTTY(64-bit)»-«PuTTY.exe». Интерфейс программы представлен на рисунке 11.8. Вкладка «Category» содержит основные настройки программы и интерфейсов, вкладка «Specify the destination you want to connect to» содержит выбор интерфейсов для работы и их

основные настройки, вкладка «Load, save or delete a stored session» содержит сохраненные настройки для сессии.

Для того чтобы подключиться к плате нужно во вкладке ««Specify the destination you want to connect to»» выбрать «Serial», затем в поле «Serial line» введите номер COM порта, к которому подключена плата (этот номер Вы указывали в программе SerialPlot для подключения к плате). В примере на рисунке 11.8 – это «COM10». В поле «Speed» выберите скорость 115200, так как при настройке UART CubeMX Вы указали эту скорость. Затем нажмите кнопку «Open».

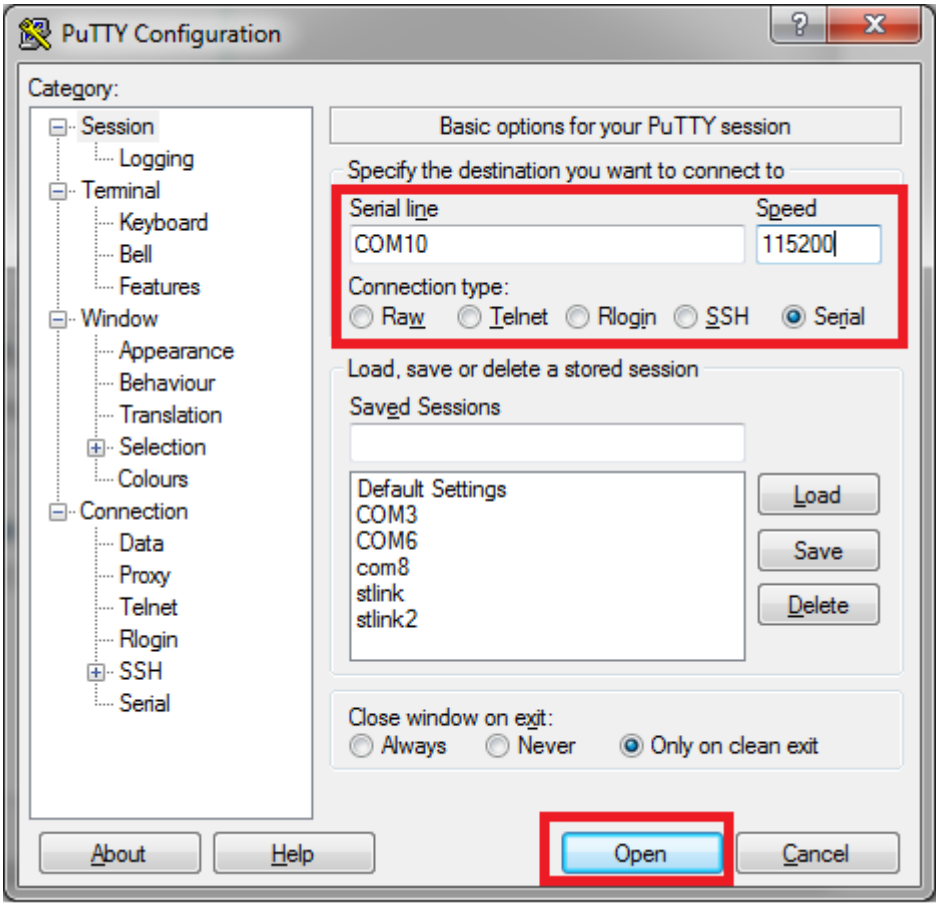


Рисунок 11.8 – Интерфейс программы PuTTY

Далее появится черный экран и, если все настроено верно, Вы увидите надписи «Hello World!», которые принимаются компьютером с периодом 2 секунды.

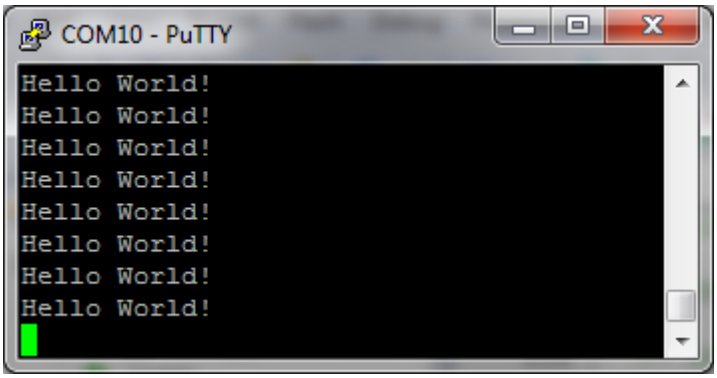


Рисунок 11.9 – Консоль PuTTY

7) Отправлять данные довольно просто. Но принять данные по интерфейсу UART немного сложнее. Мы не можем использовать простую функцию HAL_UART_Receive, так как мы не знаем точного момента времени, когда по интерфейсу UART придет символ. Для того чтобы решить эту проблему есть два пути:

1. Использовать прерывание – то есть, когда приходит символ, на пин микроконтроллера приходит сигнал.

2. Использовать DMA – то есть, для приема символов будет использоваться память DMA, а в основной программе мы будем только вызывать готовые данные, когда нам будет это нужно.

Мы используем способ DMA, так как он позволяет повысить быстродействие программы. А это будет нужно в следующих практических работах.

Для этого имеется функция:

HAL_UART_Receive_DMA(UART_HandleTypeDef *huart,uint8_t *pData,uint16_t Size)

Parameters:

huart - pointer to a UART_HandleTypeDef structure that contains the configuration information for the specified UART module.

pData - Pointer to data buffer

Size - Amount of data to be received

При этом, когда прием посылки при помощи этой функции завершается, элемент «State» структуры «hdma_usart1_rx» становится равным «HAL_DMA_STATE_READY». Это маркер готовности принятого символа. Когда он равен «HAL_DMA_STATE_READY», можно использовать принятые данные из буфера.

Мы будем принимать по одному символу, и сохранять их в массив «uart1_symbol_buffer». Поэтому первое, что нужно сделать, записать функцию HAL_UART_Receive_DMA, а затем считать данные, когда они будут готовы. Потом считать второй символ и так далее.

То есть при нажатии клавиши на клавиатуре, при помощи функции HAL_UART_Receive_DMA мы принимаем этот символ, сохраняем в массив «uart1_symbol_buffer». Чтобы мы видели этот символ на экране, нужно отправить этот символ обратно на ПК, при помощи функции HAL_UART_Transmit. Данный код представлен ниже. (Переменная uart1_symbol_buffer будет использоваться в следующих практических работах).

```
/* USER CODE BEGIN 2 */
HAL_UART_Receive_DMA(&huart1,uart1_buffer,1);                //FIRST READ UART PORT
/* USER CODE END 2 */

/* Infinite loop */
/* USER CODE BEGIN WHILE */
while (1)
{
            if(hdma_usart1_rx.State == HAL_DMA_STATE_READY) // IF GET 1 BYTE FROM PC
              {
              uart1_symbol_buffer[0] = uart1_buffer[0];
              HAL_UART_Transmit(&huart1,uart1_buffer,1,1);  // SEND SYMBOL BACK TO PC
              HAL_UART_Receive_DMA(&huart1,uart1_buffer,1); // RECEIVE NEXT SYMBOL
              }
  /* USER CODE END WHILE */
```

Рисунок 11.10 – Код приема данных

Скомпилируйте код и загрузите его в плату, перезагрузите микроконтроллер. Перезапустите программу PuTTY. Начните печатать в консоли. Если буквы, которые вы печатаете, отображаются на экране, то все сделано верно.

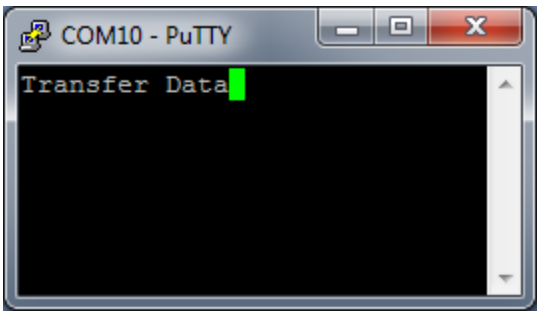


Рисунок 11.11 – Передача символов в консоли

Далее при помощи консоли необходимо давать команды микроконтроллеру. Для этого будем записывать символы в строку, а когда будет нажата клавиша «Enter», строка будет сохраняться. И при помощи конструкций «if» или «case» можно сделать селектор команд и функции, которые микроконтроллер будет выполнять. Когда вы допустили ошибку при вводе, нужно нажать клавишу «Backspace», очистить буфер и ввести команду снова. Пример данного кода представлен на рисунке 11.12.

```
/* USER CODE BEGIN 2 */
HAL_UART_Receive_DMA(&huart1,uart1_buffer,1);                          // RECEIVE FIRST SYMBOL
/* USER CODE END 2 */

/* Infinite loop */
/* USER CODE BEGIN WHILE */
while (1)
{
            if(hdma_usart1_rx.State == HAL_DMA_STATE_READY)            // IF GET 1 BYTE FROM PC
              {
              uart1_symbol_buffer[n] = uart1_buffer[0];
              n++;                                                     // NEXT BUFFER POSITION
              HAL_UART_Transmit(&huart1,uart1_buffer,1,1);             // SEND SYMBOL BACK TO PC
              if (uart1_symbol_buffer[n-1] == 0x0D)                    // IF SYMBOL IS 'ENTER'
              {
                HAL_UART_Transmit(&huart1,(uint8_t*)"\r\n<",3,100);    // SEND  \r\n< TO PC
                HAL_UART_Transmit(&huart1,uart1_symbol_buffer,n-1,100); // SEND BUFFER TO PC
                HAL_UART_Transmit(&huart1,(uint8_t*)"\r\n>",3,100);    // SEND  \r\n> TO PC
                n=0;                                                   // 0 BUFFER POSITIN
              }
              if (uart1_symbol_buffer[n-1] == 0x7f)                    // IF SYMBOL IS 'BACKSPACE'
              {
                HAL_UART_Transmit(&huart1,(uint8_t*)"*CLEAR\r\n>",9,100); // SEND *CLEAR\r\n> TO PC
                n=0;
              }
              HAL_UART_Receive_DMA(&huart1,uart1_buffer,1);            // RECEIVE NEXT SYMBOL
              }
  /* USER CODE END WHILE */
```
Рисунок 11.12 – Код приема и передачи команд в консоли

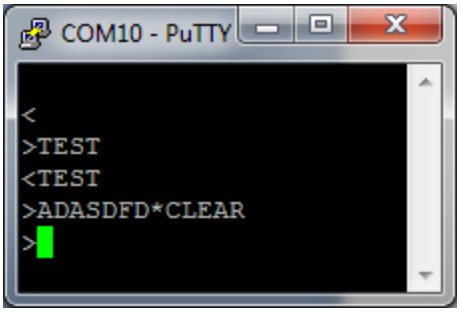


Рисунок 11.13 – Прием и передача команд в консоли

Обратите внимание, что при нажатии клавиш «Insert», «Home», «F1-F12» и так далее, их значения так же отправляются в UART. Нажатие этих клавиш может привести к ошибке кода. Если ваша программа не отвечает, то нажмите «RESET» на плате. В данной

практической работе мы создаем простейшую консоль, поэтому данные ошибки не принимаются во внимание.

8) Далее напишите программу, которая будет включать светодиод на пине PB14 при вводе в консоли команды «LED» и отправит обратно на PC надпись «LED ON». При вводе команды «OFF» программа должна выключить светодиод и отправить обратно на PC надпись «LED OFF». Несколько клавиш можно сравнивать с помощью && в условии «if».

9) Далее напишите программу, которая будет включать светодиод на пине PB14 при нажатии на синюю кнопку на плате и отправит на PC надпись «Button pressed».

Контрольные вопросы

1) Как настраивается интерфейс UART для консоли?
2) Что представляет собой программа Putty?
3) Как передать данные в микроконтроллер из консоли?
4) Что такое ASCII?
5) Описать программу управления микроконтроллером через консоль.

Содержание отчета

1) Цель работы;
2) Подробное описание всех этапов проделанной работы;
3) Ответы на вопросы, представленные в тексте практической работы;
4) Важные части вашего кода с пояснениями;
5) Графики и формулы, полученные в процессе выполнения практической работы;
6) Анализ проделанной работы;
7) Выводы по данной практической работе.

12 Передача данных между устройствами интернета вещей. Подключение Wi-Fi модуля

Цель работы: реализовать интерфейс пользователя для управления Wi-Fi module Inventek ISM43362-M3G-L44 при помощи консоли ввода-вывода.

Задачи практической работы:

1) Настроить интерфейс UART между модулем и микроконтроллером.
2) Настроить интерфейс UART между ПК и микроконтроллером.
3) Передать данные в ПК из модуля ISM43362-M3G-L44.
4) Настроить передачу и прием данных с модулем ISM43362-M3G-L44.
5) Написать программу управления модулем через консоль.

Оборудование и программное обеспечение: плата B-L475E-IOT01A, кабель USB, среда разработки Keil Uvusuion 5, CubeMX, PuTTY.

Теоретический материал

В современном мире «интернет вещей» (IoT) стремительно набирает популярность. Он в будущем поможет человечеству автоматизировать многие аспекты жизни, упростить рутинные операции. Современная элементная база только способствует этому. Еще несколько лет назад задача управления устройством из сети порождала необходимость использовать высокопроизводительные процессоры, что увеличивало стоимость конечного исполнительного устройства. Сейчас же есть возможность построить простые и эффективные IoT-решения дешево.

Рисунок 12.1 – Wi-Fi module Inventek ISM43362-M3G-L44

Inventek ISM43362-M3G-L44 – это встроенный последовательный беспроводной интерфейс WiFi (eS-WiFiTM). Аппаратное обеспечение модуля Wi-Fi состоит из хост-процессора STM M3 Cortex, встроенной антенны (или дополнительной внешней антенны) и устройства Cypress Wi-Fi. Модуль предоставляет интерфейсы UART, USB и SPI. Модуль Wi-Fi не требует операционной системы и имеет полностью интегрированный стек TCP / IP, который требует только IWIN (Inventek Wireless Interoperability Network) Inventek, AT-команды для установления соединения для вашего беспроводного продукта, минимизации времени разработки, тестирования процедур и сертификации. Низкая стоимость, малый размер (14,5 мм x 30 мм) и простота конструкции делают его идеальным для ряда встроенных приложений. Аппаратное обеспечение модуля может использоваться с набором команд Inventek IWIN AT или с Cypress WICEDTM SDK. [11]

Для модуля Inventek ISM43362-M3G-L44 существует свой набор команд AT-команд. Их краткий список представлен в [12].

Ход работы

1) Запустите программу CubeMX. Для этого на панели задач откройте меню «Пуск», «Все программы», «STMicroelectronics», «STM32Cube», «STM32CubeMX», «STM32CubeMX.exe».

Нажмите на кнопку «ACCESS TO MCU SELECTOR». Далее откроется окно для выбора микроконтроллера, в списке «MCUs list» выберите микроконтроллер STM32L475VGTx и нажмите на кнопку «Start Project».

В окне «Pinout view» левой кнопкой мыши нажмите на PB6, в открывшемся меню выберите «USART1_TX», после этого нажмите на PB7, в открывшемся меню выберите «USART1_RX». Затем в окне «Options» откройте вкладку «Categories» и выберите пункт «USART1». В окне «USART1 Mode and Configuration» выберите тип «Mode»-«Asynchronous». Так вы включите USART1. Проверьте, чтобы показания были как на рисунке 12.2.

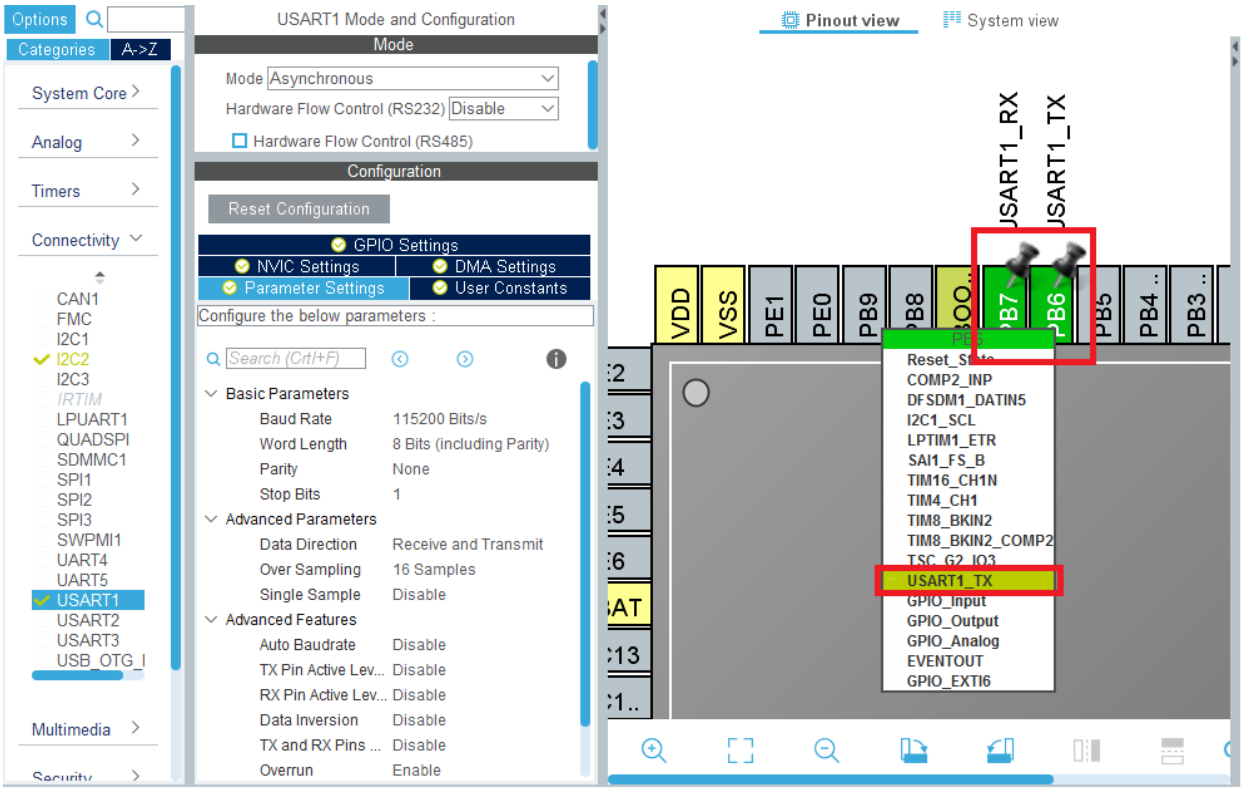


Рисунок 12.2 – USART Settings

Аналогично пины PD8 и PD9 настройте как «USART3_TX» и «USART3_RX». Настройте «USART3» аналогично «USART1».

2) Затем в «Configuration» для «USART1» и для «USART3» выберите вкладку «DMA Settings». В ней нажмите кнопку «Add», затем нажмите на Select и выберите USART1_RX (USART3_RX для «USART3»). Это показано на рисунке 12.3. Так вы включили режим DMA для «USART1» и «USART3».

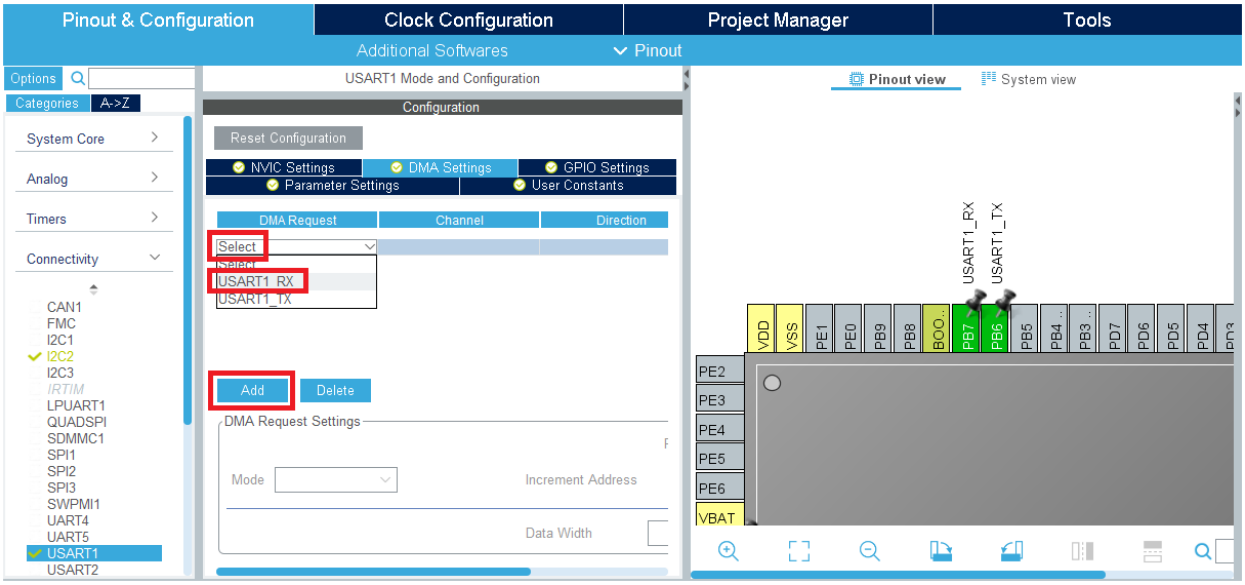


Рисунок 12.3 – USART1 DMA

Затем настройте PE8, как GPIO_OUTPUT, No pull-up and no pull-down. Этот пин будет подключен к контакту RESET на модуле ISM43362-M3G-L44.

Далее откройте вкладку «Clock Configuration» и настройте тактирование микроконтроллера, как показано на рисунке 12.4.

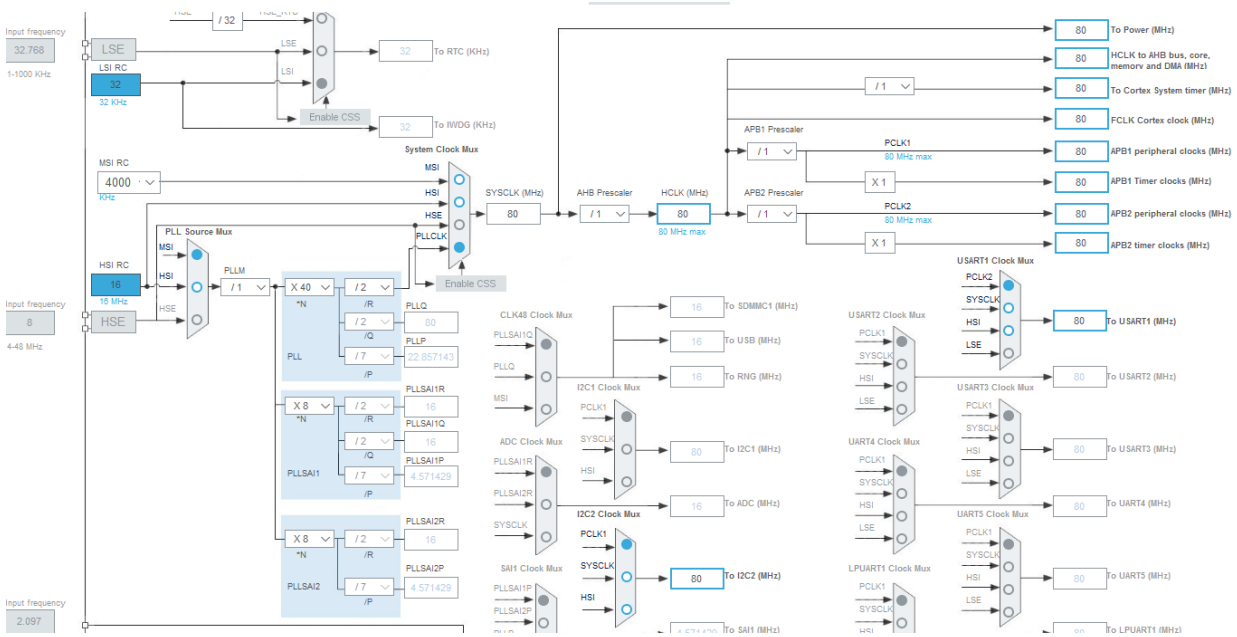


Рисунок 12.4 – Clock configuration

Далее откройте вкладку «Project Manager», вы увидите окно настройки вашего проекта. В поле «Project Name» введите название проекта «WI_FI». В поле «Project Location» укажите путь для сохранения проекта на жестком диске вашего компьютера. В поле «Toolchain/IDE» выберите «MDK-ARM V5», так как для дальнейшей работы мы используем программу KEIL Uvision 5.

5) Если вы внесли все необходимые настройки в ваш проект, можете нажат кнопку «GENERATE CODE». Затем нажмите кнопку «Open Project».

Далее откроется программа KEIL Uvision 5, с вашим проектом «WI_FI».
Добавьте необходимые переменные (рисунок 12.5).

```
/* USER CODE BEGIN PV */
  uint8_t uart3_symbol_buffer[200];
  uint8_t uart3_buffer[1];
  uint8_t uart1_symbol_buffer[200];
  uint8_t uart1_buffer[1];
  int i, n = 0;
/* USER CODE END PV */
```

Рисунок 12.5 – Переменные для программы

При настройке проекта мы подключили модуль по схеме, которая показана на рисунке 12.6.

Рисунок 12.6 – Блок-схема подключения модуля ISM43362-M3G-L44

Для наглядной работы пользователя с модулем ISM43362-M3G-L44 требуется передавать АТ-команды с PC в модуль ISM43362-M3G-L44 и обратно. Поэтому нужно написать программу, которая будет передавать все данные из «USART1» в «USART3» и обратно.

Но слать напрямую по одному символу нельзя. Программное обеспечение модуля ISM43362-M3G-L44 требует для входящих пакетов данных специальной структуры.
То есть нужно отправлять строку с необходимой командой. Если при отправке Вы добавите лишний символ к пакету, то модуль определит это как ошибку. Откройте руководство модуля ISM43362-M3G-L44 [11]. На первой странице ознакомьтесь с пунктом «Command Formats».

Исходящие пакеты от модуля ISM43362-M3G-L44 также являются строкой, которая заканчивается символом «>» [11]. Поэтому для приема данных по «USART3» нужно сохранять символы в массив и, когда придет символ «>» (0x3e), отправить эту строку на компьютер.

Пример кода показан на рисунке 12.7.

```
  /* USER CODE BEGIN 2 */
HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_8, GPIO_PIN_SET);                    //ISM43362-on

HAL_UART_Receive_DMA(&huart3,uart3_buffer,1);                          //FIRST READ UART PORT
  /* USER CODE END 2 */

  /* Infinite loop */
  /* USER CODE BEGIN WHILE */
  while (1)
  {
       if(.....................)                                       //IF GET 1 BYTE FROM WIFI
                {
                uart3_symbol_buffer[i] = uart3_buffer[0];              //FILL BUFFER
                i++;                                                   //NEXT BUFFER POSITION
                if (.....................)                            // IF GET SYMBOL IS '>'
                {
                  HAL_UART_Transmit(&huart1,uart3_symbol_buffer,i,100); // TRANSMITT BUFFER TO PC
                  i=0;                                                 //0 BUFFER POSITIN
                }
                HAL_UART_Receive_DMA(&huart3,uart3_buffer,1);              // READ NEXT SYMBOL FROM WIFI
                }

    /* USER CODE END WHILE */

    /* USER CODE BEGIN 3 */
  }
  /* USER CODE END 3 */
```

Рисунок 12.7 – Прием пакета из модуля ISM43362-M3G-L44

На этом рисунке видно, что при включении платы мы подаем высокий уровень напряжения на PE8, тем самым запуская модуль.
Сгенерируйте полученный код, загрузите его в плату. Затем запустите программу PuTTY, подключитесь к плате. После этого нажмите на плате кнопку RESET, если Вы настроили все верно, то вы должны увидеть логотип и приветственное сообщение от модуля ISM43362-M3G-L44. Сохраните изображение в отчет. Если в консоли ничего не появляется, повторите предыдущие шаги и исправьте ошибку.

Далее нужно принимать данные с компьютера. Аналогично настройке и считыванию данных UART3 настройте UART1 так, чтобы символы накапливались в массив «uart1_symbol_buffer» и при нажатии на клавишу «ENTER» данный массив отправлялся в UART3. Внимательно проследите какие именно символы отправляются в UART3, так как если Вы отправите лишний символ в UART3 модуль считает это ошибкой.

```
/* USER CODE BEGIN WHILE */
while (1)
{
     if(.............................)
               {
               uart3_symbol_buffer[i] = uart3_buffer[0];
               i++;
               if (.....................)
               {
                 HAL_UART_Transmit(&huart1,.................);
                 i=0;
               }
               HAL_UART_Receive_DMA(&huart3,uart3_buffer,1);
               }
        if(.............................)
               {
               uart1_symbol_buffer[n] = uart1_buffer[0];
               n++;
               HAL_UART_Transmit(&huart1,uart1_buffer,1,1);
               if (uart1_symbol_buffer[n-1] == ..............)
               {
                 HAL_UART_Transmit(&huart3,.....................);
                 HAL_UART_Transmit(&huart1,(uint8_t*)"\n\n",3,100);
                 n=0;
               }
               if (.....................)
               {
                 HAL_UART_Transmit(&huart1,(uint8_t*)"*CLEAR\r\n>",9,100);
                 n=0;
               }
               HAL_UART_Receive_DMA(&huart1,uart1_buffer,1);
               }

 /* USER CODE END WHILE */
```

Рисунок 12.8 – Прием и передача пакета UART

На основе предыдущей практической работы, сделайте так, чтобы при нажатии на клавишу Backspace массив «uart1_symbol_buffer» очищался и на экран выводилась надпись «CLEAR»

Скомпилируйте полученный код, подключите плату. Запустите программу PuTTY, подключитесь к плате. Нажмите на плате кнопку RESET. После приветственного сообщения введите первую AT команду. Для этого откройте краткое руководство по AT командам для

модуля ISM43362-M3G-L44 [11]. На странице 3 найдите пункт «Information Commands», там вы увидите команду «I?». Когда вы даете эту команду модулю, он отправляет информацию о ревизии.

Введите в консоли команду «I?». Вы должны получить подобную информацию как на рисунке 12.9.

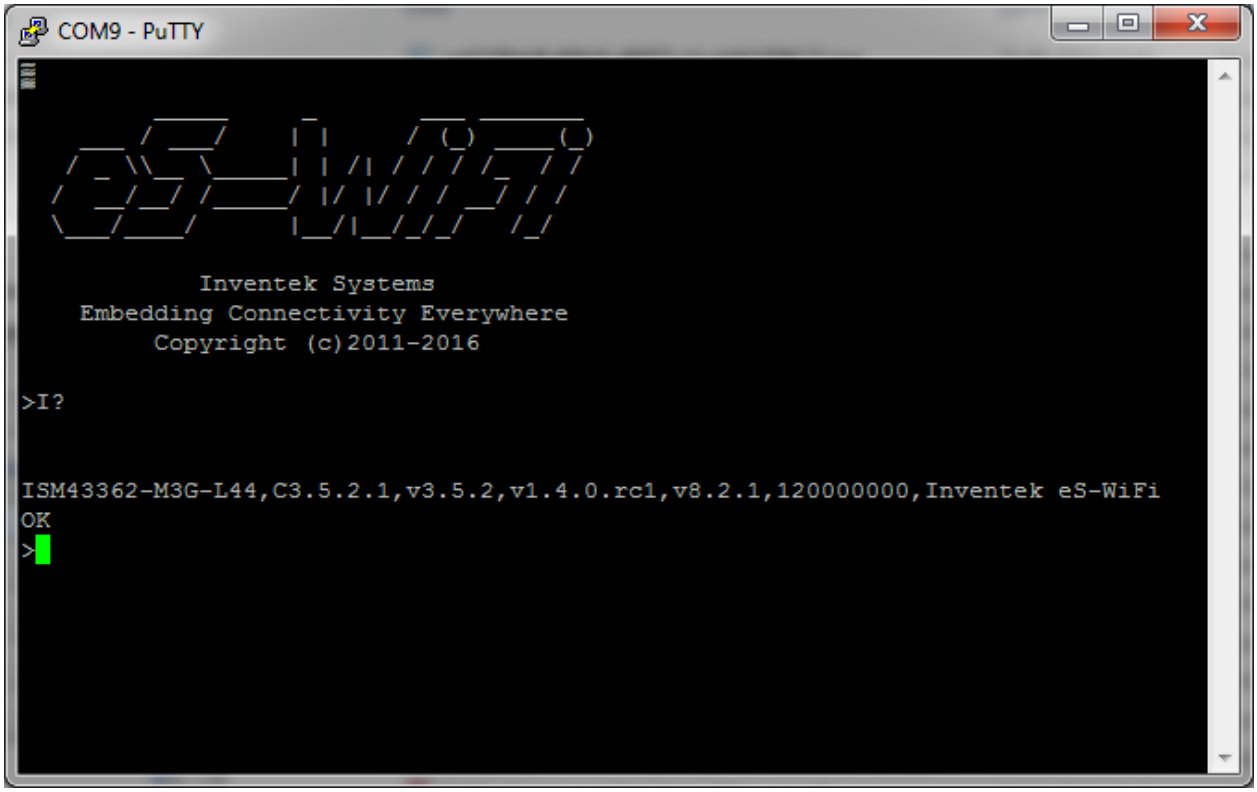


Рисунок 12.9 – Revision Information

На первой странице руководства [11] имеется таблица «Status Commands». При помощи таблицы определите и опишите, какие данные отправил Вам модуль. Объясните, что они означают. Запишите эти характеристики в отчет.

Далее найдите в руководстве команду «A?», изучите формат ответа на нее. Отправьте ее в консоль. Запишите в отчет характеристики точки доступа.

Далее найдите в руководстве команду, которая выполняет функцию «Activate Access Point». Отправьте ее в консоль. Данной командой Вы настроили модуль как активную точку доступа.

Далее возьмите свой смартфон и найдите в списке сетей Wi-Fi сеть с определенным в предыдущем пункте SSID.

После подключения модуль должен отправить в консоль MAC-адрес и IP-адрес вашего смартфона.

Как Вы видите, модуль так же написал, что запустил WEB – сервер. Откройте его. Для этого запустите в Вашем смартфоне браузер и в поле адреса введите IP-адрес точки доступа, который Вы считывали командой «A?». И откройте данную ссылку.

Если все запущено верно, то Вы увидете WEB-сервер модуля ISM43362-M3G-L44.

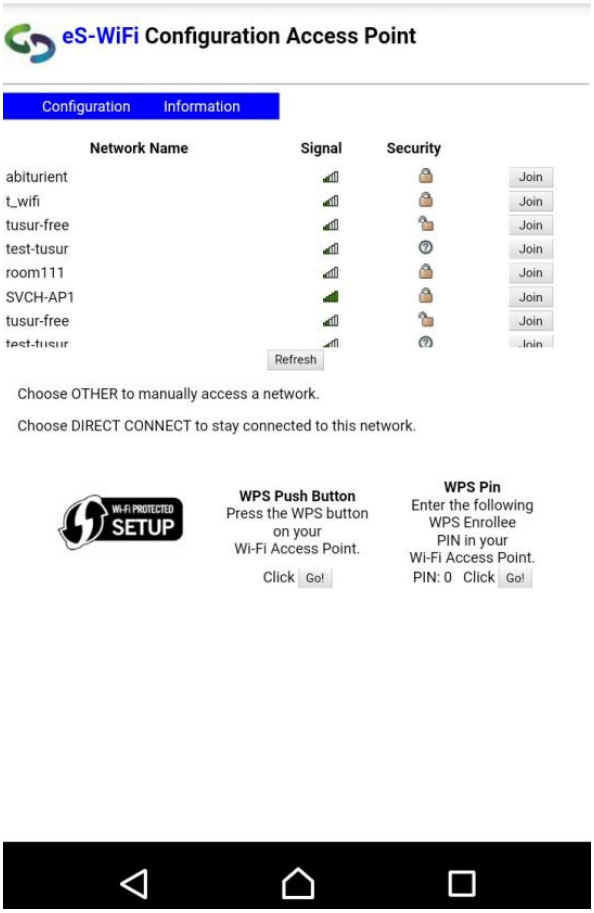


Рисунок 12.10 – Сервер

Данный сервер предназначен для удобного подключения к доступным сетям Wi-Fi. Таким образом, плата может быть подключена к интернету и отправлять данные с датчиков в любую точку мира. Также из любого места Вы можете управлять данным устройством Интернета Вещей.

Теперь отключите свой смартфон от данной сети. Нажмите на плате кнопку RESET, чтобы перезагрузить модуль. Откройте более подробный мануал [12 - 4.4 Access Point] и при помощи информации в нем настройте точку доступа:

Установите SSID – Ваша фамилия, установите шифрование – WPA, установите пароль – Ваше имя, выключите DHCP, установите IP-адрес – «192.168.?.?» (вместо знака ? вставьте ваш день рождения и месяц рождения), НЕ сохраняйте настройки во FLASH.
После настройки включите точку доступа и подключитесь к сети со смартфона, введите логин и пароль и зайдите на WEB-сервер.

На плате так же можно включать режим своего сервера, но это не будет рассмотрено в практической работе. По желанию Вы можете прочитать об этом в [12]. Подключаться к удаленному серверу и передавать данные, или передавать данные между платами.

Контрольные вопросы

1) Для чего нужны беспроводные модули для интернета вещей?
2) Какими характеристиками должны обладать беспроводные модули в устройствах интернета вещей?
3) В чем плюсы и минусы установки модуля Wi-Fi на устройство интернета вещей?
4) В чем плюсы и минусы модуля Inventek ISM43362-M3G-L44?
5) Зачем используют AT команды?
6) Для передачи каких данных предназначены модули под управление AT команд?

Содержание отчета

1) Цель работы.
2) Подробное описание всех этапов проделанной работы.
3) Ответы на вопросы, представленные в тексте практической работы.
4) Важные части вашего кода с пояснениями.
5) Графики и формулы, полученные в процессе выполнения практической работы.
6) Анализ проделанной работы.

13 Передача данных между устройствами интернета вещей. Передача данных с датчика по беспроводной сети

Цель работы: реализовать интерфейс пользователя для управления Wi-Fi module Inventek ISM43362-M3G-L44 при помощи консоли ввода-вывода. Подключиться к удаленному серверу и передать данные с датчика HTS221.

Задачи практической работы:

1) Настроить интерфейс UART между модулем и микроконтроллером.
2) Настроить интерфейс UART между ПК и микроконтроллером.
3) Подключиться к удаленному серверу.
4) Настроить датчик HTS221.
5) Передать показания датчика на удаленный сервер

Оборудование и программное обеспечение: плата B-L475E-IOT01A, кабель USB, среда разработки Keil Uvusuion 5, CubeMX, PuTTY.

Теоретический материал

Облачные вычисления – это концепция обработки данных, когда вычислительные службы (сервер, хранилище, баз данных) предоставляется через Интернет ("облако"). Такие службы ускоряют внедрение инноваций и обеспечивают экономию благодаря высокой масштабируемости. Вы обычно платите только за облачные службы, которые позволяют сократить эксплуатационные расходы и использовать менее дорогое оборудование.

Inventek ISM43362-M3G-L44 – это встроенный последовательный беспроводной интерфейс WiFi (eS-WiFiTM). Аппаратное обеспечение модуля Wi-Fi состоит из хост-процессора STM M3 Cortex, встроенной антенны (или дополнительной внешней антенны) и устройства Cypress Wi-Fi. Модуль предоставляет интерфейсы UART, USB и SPI. Модуль Wi-Fi не требует операционной системы и имеет полностью интегрированный стек TCP / IP, который требует только IWIN (Inventek Wireless Interoperability Network) Inventek, AT-команды для установления соединения для вашего беспроводного продукта, минимизации времени разработки, тестирования процедур и сертификации. Низкая стоимость, малый размер (14,5 мм x 30 мм) и простота конструкции делают его идеальным для ряда встроенных приложений. Аппаратное обеспечение модуля может использоваться с набором команд Inventek IWIN AT или с Cypress WICEDTM SDK. [11]

Для модуля Inventek ISM43362-M3G-L44 существует свой набор команд. Их краткий список представлен в [12].

Ход работы

1) Запустите программу CubeMX. Для этого на панели задач откройте меню «Пуск», «Все программы», «STMicroelectronics», «STM32Cube», «STM32CubeMX», «STM32CubeMX.exe».

Нажмите на кнопку «ACCESS TO MCU SELECTOR». Далее откроется окно для выбора микроконтроллера, в списке «MCUs list» выберите микроконтроллер STM32L475VGTx и нажмите на кнопку «Start Project».

В окне «Pinout view» левой кнопкой мыши нажмите на PB6, в открывшемся меню выберите «USART1_TX», после этого нажмите на PB7, в открывшемся меню выберите «USART1_RX». Затем в окне «Options» откройте вкладку «Categories» и выберите пункт «USART1». В окне «USART1 Mode and Configuration» выберите тип «Mode»-«Asynchronous». Так вы включите USART1. Проверьте, чтобы показания были как на рисунке 13.1.

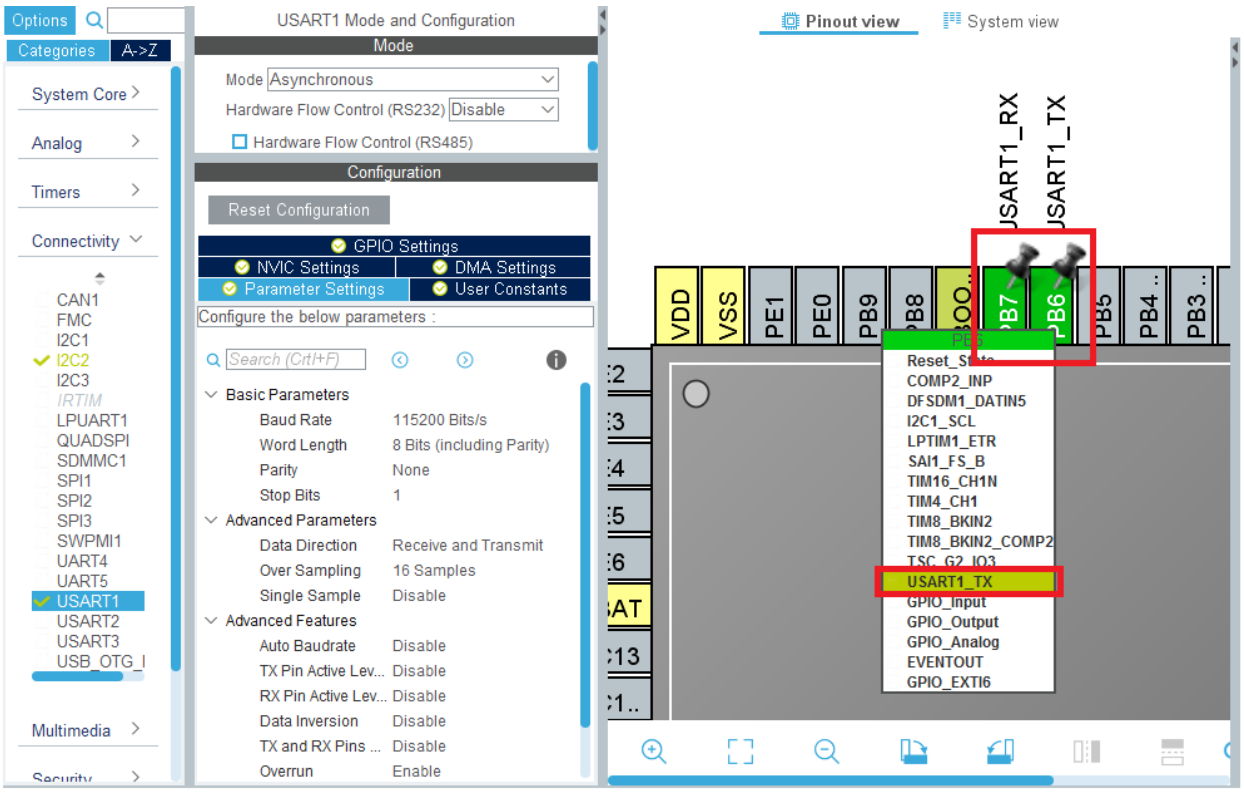


Рисунок 13.1 – Настройки USART

Аналогично пины PD8 и PD9 настройте как «USART3_TX» и «USART3_RX». Настройте «USART3» аналогично «USART1».

2) Затем в «Configuration» для «USART1» и для «USART3» выберите вкладку «DMA Settings». В ней нажмите кнопку «Add», затем нажмите на Select и выберите USART1_RX (USART3_RX для «USART3»). Это показано на рисунке 13.2. Так вы включили режим DMA для «USART1» и «USART3».

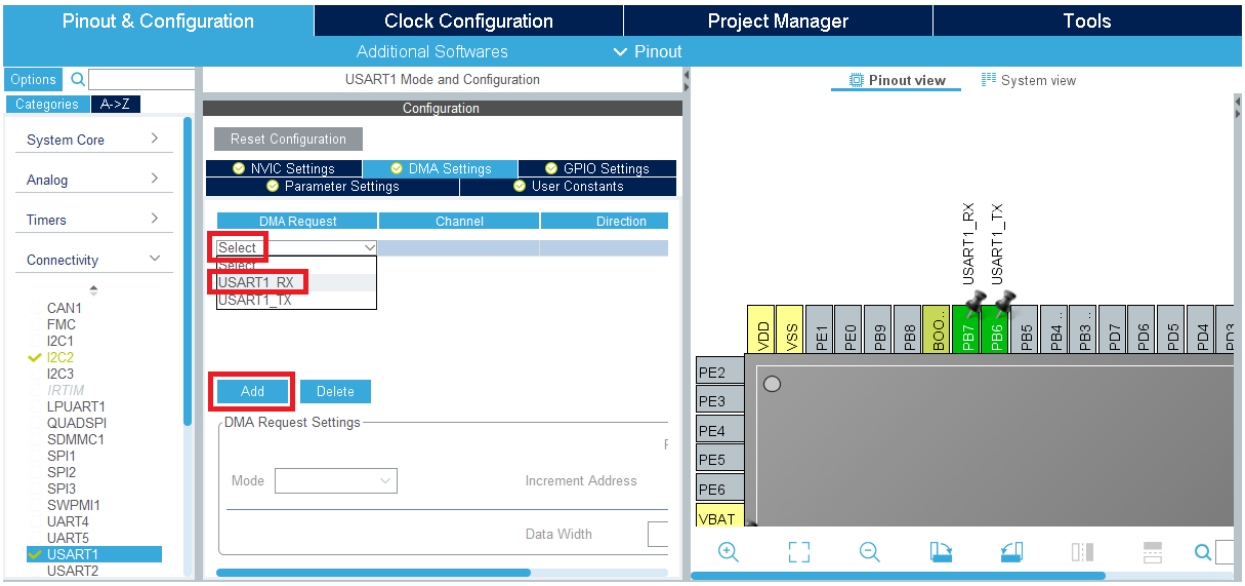


Рисунок 13.2 – USART1 DMA

Затем настройте PE8, как GPIO_OUTPUT, No pull-up and no pull-down. Этот пин будет подключен к контакту RESET на модуле ISM43362-M3G-L44.

Далее настройте I2C2 как показано на рисунке ниже.

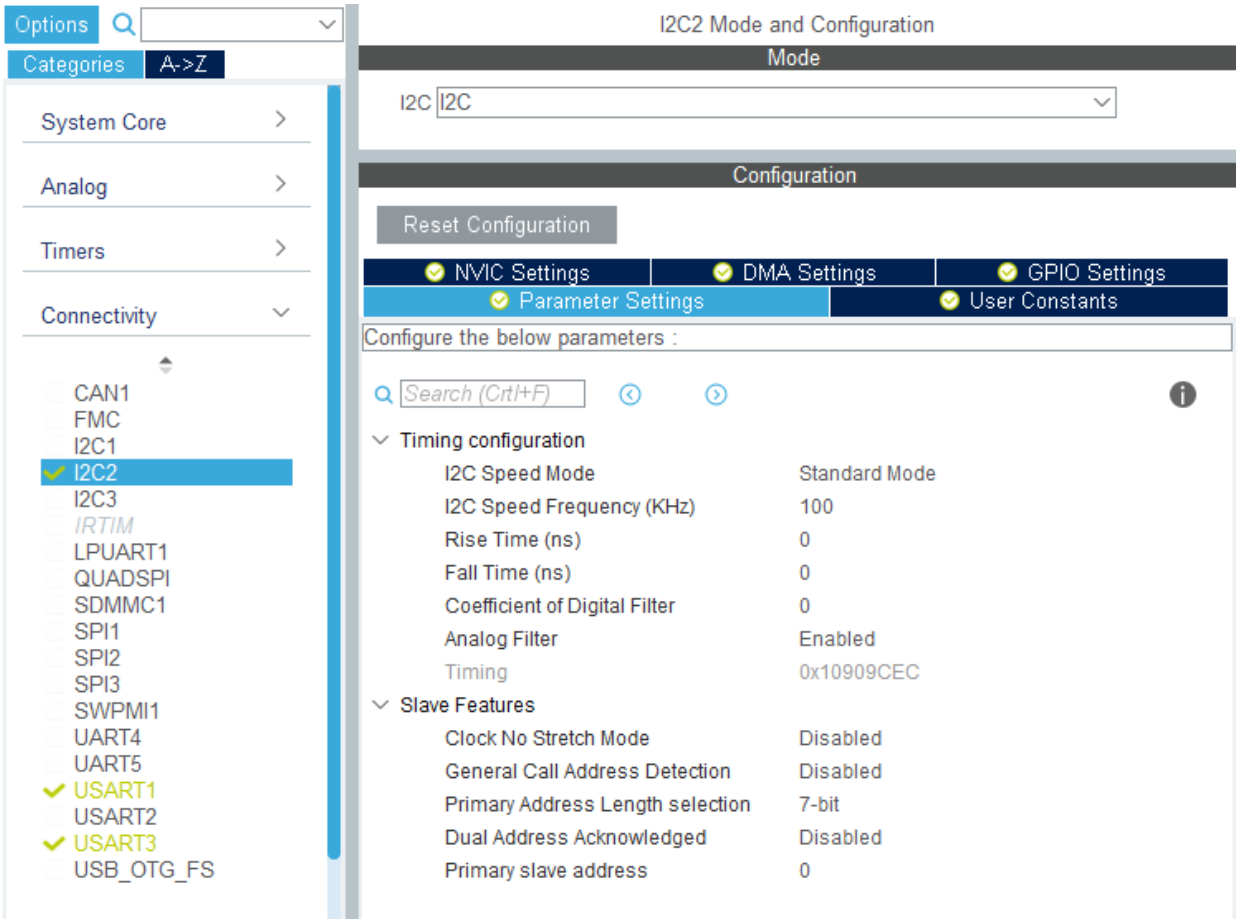


Рисунок 13.3 – Настройка I2C2

Далее откройте вкладку «Clock Configuration» и настройте тактирование микроконтроллера, как показано на рисунке 13.4.

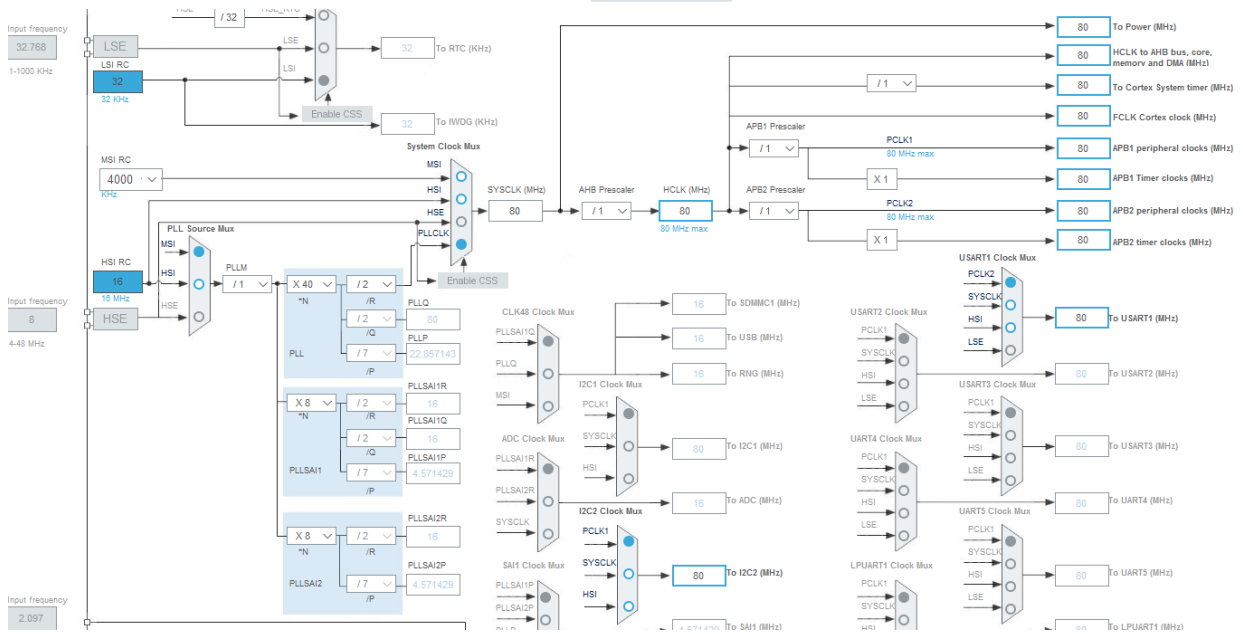


Рисунок 13.4 – Настройка тактирования

Далее откройте вкладку «Project Manager», вы увидите окно настройки вашего проекта. В поле «Project Name» введите название проекта «SERVER». В поле «Project Location» укажите путь для сохранения проекта на жестком диске вашего компьютера. В

поле «Toolchain/IDE» выберите «MDK-ARM V5», так как для дальнейшей работы мы используем программу KEIL Uvision 5.

5) Если вы внесли все необходимые настройки в ваш проект, можете нажат кнопку «GENERATE CODE». Затем нажмите кнопку «Open Project».

Далее откроется программа KEIL Uvision 5, с вашим проектом «SERVER». Добавьте необходимые переменные (рисунок 13.5).

```
/* USER CODE BEGIN PV */
  uint8_t uart3_symbol_buffer[200];
  uint8_t uart3_buffer[1];
  uint8_t uart1_symbol_buffer[200];
  uint8_t uart1_buffer[1];
  int i, n = 0;
  uint8_t i2c_receive_buf[2], buffer[4], tmp;
  int16_t T0_degC, T1_degC, T0_out, T1_out, T_out, T0_degC_x8_u16, T1_degC_x8_u16;
  float Temperature;
  int16_t H0_T0_out, H1_T0_out, H_T_out, H0_rh, H1_rh;
  float humidity;
  char STR[100];
/* USER CODE END PV */
```

Рисунок 13.5 – Переменные для программы

Так как мы будем работать с датчиком, то добавьте код работы с I2C.

```
/* USER CODE BEGIN 0 */
void write_register(uint16_t DevAddress, uint8_t register_pointer, uint8_t register_value)
{
    uint8_t data[2];
    data[0] = register_pointer;
    data[1] = register_value;
    HAL_I2C_Master_Transmit(&hi2c2, DevAddress, data, 2, 100);
}

void read_register(uint16_t DevAddress, uint8_t register_pointer, uint8_t* receive_buffer)
{
    HAL_I2C_Master_Transmit(&hi2c2, DevAddress, &register_pointer, 1, 100);
    HAL_I2C_Master_Receive(&hi2c2, DevAddress, receive_buffer, 1, 100);
}
/* USER CODE END 0 */
```

Рисунок 13.6 – Функции для работы с I2C

При настройке проекта мы подключили модуль по схеме, которая показана на рисунке 13.7.

Рисунок 13.7 – Блок-схема подключения модуля ISM43362-M3G-L44

На основе предыдущей работы напишите код для работы с модулем ISM43362-M3G-L44 через консоль.

Если при перезагрузке платы Вы в программе PuTTY видите приветственное сообщение от модуля ISM43362-M3G-L44 и на команду «I?» модуль отправляет свои данные, то Вы настроили верно. Если это не так внимательно изучите предыдущую практическую работу и повторите этот шаг.

Далее нужно подключиться к сети Wi-Fi данного практического класса. Для этого узнайте у преподавателя SSID and Password данной сети. (По умолчанию: DIR-615 passwd:123456789). Для подключения модуля нужно выполнить действия:

1. Set Access Point SSID
2. Set Access Point Password
3. Set Access Point Security Mode
4. Use DHCP
5. Join Network

Для этого откройте руководство [11], на первой странице написаны краткие примеры для настройки модуля. Найдите пункт «How to join a network» и найдите AT команды, которые выполняют эти действия, введите их в консоль.

Если все настроено верно, Вы увидите сообщение, которое похоже на это:

[JOIN] DIR-615,192.168.0.60,0,0

В этом сообщении Вы увидите SSID, IP вашей сети.

Далее необходимо присоединиться к удаленному TCP серверу. Для этого нужно выполнить действия:

1. Set Protocol to TCP
2. Set Remote Host IP Address
3. Set Remote Port
4. Start TCP Client

Для этого откройте руководство [11], на первой странице написаны краткие примеры для настройки модуля. Найдите пункт «How to setup a TCP Client» и найдите AT команды, которые выполняют эти действия, введите их в консоль. Host IP Address and Remote Port узнайте у преподавателя.

Если все настроено верно, Вы увидите сообщение, которое похоже на это:

[TCP RC] Connecting to 192.168.0.121

Но в сообщении будет указан IP адрес вашего сервера.

После того как Вы присоединились к серверу Вы можете отправить на сервер сообщение. Для этого нужно ввести следующую AT команду:

$$S3=8$$

Где вместо «8» Вы должны ввести количество символов, которые будете передавать. Если Вы передадите не, то количество, которое указали в данной команде, данные не передадутся.

Введите в консоль следующие AT команды:

$S3=N$ (где N – это количество букв вашей фамилии), нажмите ENTER

Затем в течении 10 секунд нужно ввести необходимую информацию:

Ivanov (Ваша фамилия), нажмите ENTER

Если Вы все сделали верно, то на сервер придет сообщение с Вашей фамилией. Посмотрите эту информацию на компьютере с сервером (будет предоставлен преподавателем). Важным моментом для дальнейшей разработки является то, что после ввода команды $S3=N$ модуль принимает данные в определенном временном окне. После нажатия ENTER нужно сделать паузу не менее 5 секунд и не более 10 секунд, а затем отправить сообщение. Если Вы отправили данные ранее или позднее вы получите ответ:

0

OK

>

То есть модуль принял 0 байт, вместо N.

Далее нужно передать на сервер показания датчика температуры. Но при этом возникает проблема. Данные нужно передать строкой, а не переменной. А также перед этим ввести команду «$S3=N$». Для этого используем команду «printf» из библиотеки stdio.h.

Добавьте в раздел /* USER CODE BEGIN Includes */ /* USER CODE END Includes */ код, как показано на рисунке 13.8.

```
/* USER CODE BEGIN Includes */
#include "stdio.h"
/* USER CODE END Includes */
```

Рисунок 13.8 – Includes

Произведите инициализацию датчика HTS221, и при вводе в консоль команды «TMP» отправьте показания датчика на сервер в формате:

Ваше имя и фамилия, Temp = 28.12342

Код данной операции приведен на рисунке 3.

```
  /* USER CODE BEGIN 2 */
HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_8, GPIO_PIN_SET); //ISM43362-on
HAL_UART_Receive_DMA(&huart1,uart1_buffer,1);  //FIRST READ UART PORT
HAL_UART_Receive_DMA(&huart3,uart3_buffer,1);   //FIRST READ UART PORT

.....Your code...........//Initialization HTS221 Sensor

  /* USER CODE END 2 */

  /* Infinite loop */
  /* USER CODE BEGIN WHILE */
  while (1)
  {
       if(hdma_usart3_rx.State == HAL_DMA_STATE_READY) //Accept lines from Module and send to PC
                {
.......Your code...........
                HAL_UART_Receive_DMA(&huart3,uart3_buffer,1);
                }
          if(hdma_usart1_rx.State == HAL_DMA_STATE_READY)  //Accept lines from PC and send to Module
                {
.......Your code...........
                HAL_UART_Receive_DMA(&huart1,uart1_buffer,1);
                }
                if((uart1_symbol_buffer[n-3] == 0x54) && (uart1_symbol_buffer[n-2] == 0x4D) && (uart1_symbol_buffer[n-1] == 0x50)) // IF COMMAND IS 'TMP'
                {

.......Your code...........//Read the temperature data from the HTS221 sensor and convert it to FLOAT type.

                  Temperature = .......Your code...........;
                  sprintf(STR, "%f", Temperature);
                  char uint[6] = "S3=8/r";
                  HAL_UART_Transmit(&huart3,(uint8_t*)"S3=19\r",5,100);
                  HAL_Delay(2000);
                  HAL_UART_Transmit(&huart3,(uint8_t*)"Ivan Ivanov, Temp=\r",19,100);
                  HAL_Delay(2000);
                  HAL_UART_Transmit(&huart3,(uint8_t*)"S3=8\r",5,100);
                  HAL_Delay(2000);
                  HAL_UART_Transmit(&huart3,(uint8_t*)STR,8,100);
                  HAL_UART_Transmit(&huart3,(uint8_t*)"\r",1,100);
                  n=0;
                }
    /* USER CODE END WHILE */
```

Рисунок 13.9 – Инициализация датчика

Скомпилируйте код и загрузите его в плату. Откройте PuTTY и нажмите на плате RESET. Откроется приветственное сообщение. С помощью AT команд заново подключитесь к сети Wi-Fi, затем заново подключитесь к серверу. Только после этого наберите команду TMP. Если все настроено верно, то на сервер отправится необходимое сообщение. Покажите данное сообщение преподавателю.

Таким образом Вы можете передавать показания любых датчиков на удаленный сервер и обрабатывать их.

Аналогичным образом проинициализируйте сенсор для считывания данных о влажности, и отправьте на сервер показания относительной влажности в кабинете.

Контрольные вопросы

1) Для чего нужны облачные вычисления в интернете вещей?
2) Как производится передача данных на сервер?
3) Какие беспроводные интерфейсы (кроме Wi-fi) актуальны для интернета вещей? Почему?

Содержание отчета

1) Цель работы;
2) Подробное описание всех этапов проделанной работы;
3) Ответы на вопросы, представленные в тексте практической работы;
4) Важные части вашего кода с пояснениями;
5) Графики и формулы, полученные в процессе выполнения практической работы;
6) Анализ проделанной работы;
7) Выводы по данной практической работе.

Список использованных источников

1. B-L475E-IOT01A // Официальный сайт STMicroelectronics URL: https://www.st.com/resource/en/user_manual/dm00347848.pdf (дата обращения: 16.10.2023)

2. STM32CubeMX // Официальный сайт STMicroelectronics URL: https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubemx.html (дата обращения: 13.10.2023)

3. µVision User's Guide // Официальный сайт ARM URL: https://developer.arm.com/documentation/101407/0539/User-Interface/uVision-GUI (дата обращения: 16.10.2023)

4. Reference manual – STM32L4x5 and STM32L4x6 advanced Arm-based 32-bit MCUs // Официальный сайт STMicroelectronics URL: https://www.st.com/resource/en/reference_manual/dm00083560. (дата обращения: 13.10.2023)

5. LPS22HB // Официальный сайт STMicroelectronics URL: https://www.st.com/en/mems -and-sensors/lps22hb.html (дата обращения: 16.10.2023)

6. HTS221 – Datasheet // Официальный сайт STMicroelectronics URL: https://www.st.com/resource/en/datasheet/hts221.pdf (дата обращения: 07.10.2023)

7. MEMS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ru.wikibedia.ru/wiki/MEMS

8. I2C [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://old.symmetron.ru/suppliers/nxp/HCS08_11_h-1-2.shtml (дата обращения: 16.10.2023)

9. LSM6DSL // Официальный сайт STMicroelectronics URL: https://www.st.com/resource/en/datasheet/lsm6dsl.pdf (дата обращения: 04.10.2023)

10. Datasheet - LIS3MDL // Официальный сайт STMicroelectronics URL: https://www.st.com/resource/en/datasheet/lis3mdl.pdf (дата обращения: 16.10.2023)

11. User’s Manual eS-WiFi Module AT Command Set [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.inventeksys.com/iwin/wp-content/uploads/IWIN_Command_Set_Users_Manual.pdf (дата обращения: 10.10.2023)

12. AT Command Quick reference Guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.inventeksys.com/iwin/wp-content/uploads/Inventek_Systems_WiFi_AT_Command-_Set.pdf (дата обращения: 16.10.2023)