Лекция 2

Портируемость проекта

Для того, чтобы ваш проект мог хорошо портироваться на другие типы микроконтроллеров мы должны принять некоторые меры.

- Применять одни и те же типы данных, имеющие один и тот же размер
- Разделять часть, которая отвечает за аппаратуру и аппаратные модули, зависящую от микроконтроллера и бизнес логику, которая не зависит от аппаратуры
- Использовать разделение реализации и интерфейсов

Сейчас нам важны типы данных.

Типы данных

Одно из главных правил портируемости состоит в том, что для разных ядер микроконтроллеров один и тот же тип переменной имел одинаковый размер. Для этого давайте разберемся, что такое тип и почему он может иметь разную длину? Для нашего микроконтроллера компилятор поддерживает следующие типы, см [Встроенные типа C++].

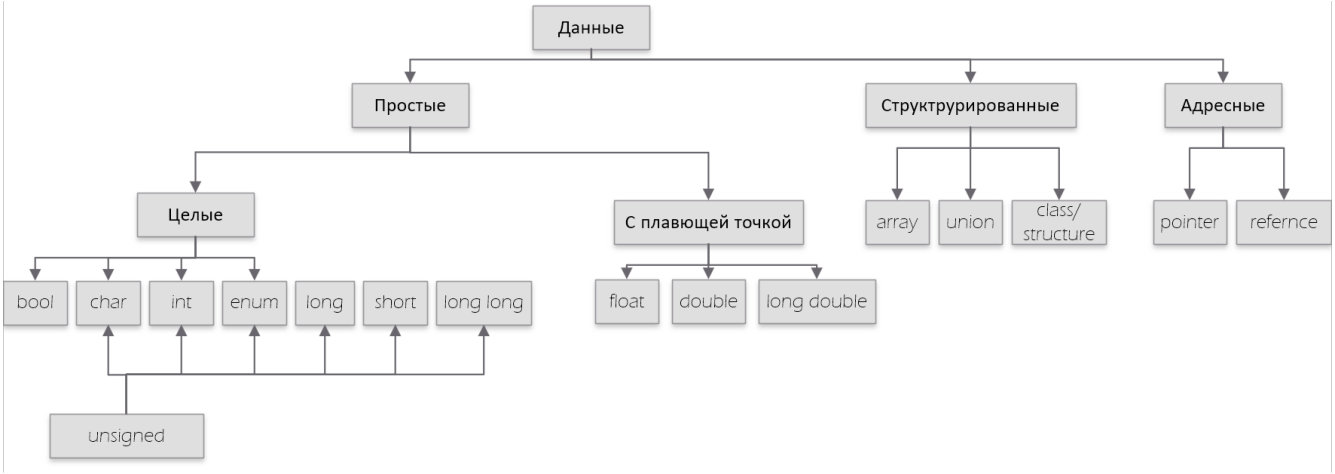


Figure 1. Типы данных в C++

Встроенные типы

Table 1. Встроенные типы C++

Тип	Длина	Комментарий
bool	1	Представляет значения, которые могут быть или **true**, или **false**.
char	1	Используется для символов ASCII в старых строках в стиле C или в объектах std::string, которые никогда не будут преобразовываться в Юникод.

Тип	Длина	Комментарий
unsigned char	1	Аналог байта. В C++17 стандарте появился тип std::byte
int	4	Целочисленное значение. Выбор по умолчанию для целых чисел
unsigned int	4	Беззнаковое целое число
float	4	Число с плавающей точкой, поддерживается аппаратно некоторыми микроконтроллерами
double	8	Число с плавающей запятой двойной точности. Выбор по умолчанию для значений с плавающей точкой

Модификаторы типов данных

Table 2. Встроенные типа C++ модификаторы

Тип	Длина	Комментарий
short int	2	Целочисленное знаковое значение укороченной длины
unsigned short int	2	Целочисленное беззнаковое значение укороченной длины
long int	8	Выбор по умолчанию для целочисленных значений. На платформах на которых int равен по длине unsigned short int может быть длиннее int
unsigned long int	8	Целое число двойной длины. На платформах на которых int равен по длине unsigned short int может быть длиннее int
long double	8	Число с плавающей точкой двойной точности с двойной точностью

Размеры типов данных

Размеры типов не четко определены и могут отличаться для различных микроконтроллеров. Для размеров типов существует правило:

```
1            <= sizeof(char)     <= sizeof(short) <= sizeof(int) <= sizeof(long)
1            <= sizeof(bool)     <= sizeof(long)
sizeof(char) <= sizeof(long)
sizeof(float) <= sizeof(double)   <= sizeof(long double)
sizeof(T)    == sizeof(signed T) == sizeof(unsigned T)
```

Поэтому вместо прямых типов типа int, используйте псевдонимы, например:

std::uint32_t целое беззнаковое длиной 32 бита

std::int64_t целое знаковое длинной 64 бита

std::uint8_t целое знаковое длинной 8 бит

Пользовательские типы

Вы можете определить свой тип сами, либо сделать псевдоним типа. Любой класс или структура, определенная вами, будет являться вашим типом. Например:

```
template<typename T>
struct Complex
{
  Complex(T r, T im): real{r}, imaginary{im} {} ;
  operator T { return sqrt(real*real + imaginary* imaginary) ;}
  Complex operator +(Complex value)
  {
    return Complex(real+ value.real, imaginary + value.imaginary) ;
  }
  private:
  T real; //вещественная часть
  T imaginary //мнимая часть
} ;

int main()
{
  Complex<float> value1(3.0f, 4.0f) ;
  Complex<float> value1(1.0f, 2.0f) ;
  value1 += value2 ;
  return 0;
}
```

Псевдонимы типов

Для того, чтобы было было понятнее работать с типом можно вводить их псевдонимы (alias). С помощью ключевого слова **using** ;

```
auto t = std::make_tuple(10, "Test", 3.14, 2U);  ①
using tMytype = decltype(t) ;  ②
using tShortType = std::tuple<int, string, double, tU32> ; ③

void myfunction(tMyType & value) {    ④
  ...
}


int main() {
  using tU32 = unsigned int ;  ⑤
  tU32 i = 10U ;               ⑥

  myfunction(t) ;              ⑦
```

```
}
```

① Определяем кортеж из 4 элементов разного типа

② Объявляем псевдоним типа, который имеет кортеж (тип выводится компилятором)

③ Тоже самое что и (2) за исключением того, что указываем тип напрямую

④ Объявляем функцию, принимающую аргумент типа, который имеет кортеж

⑤ Объявляем псевдоним типа unsigned int

⑥ Определяем переменную типа unsigned int

Неявное преобразование типов

Базовые/простые типы неявно можно привести друг к другу. Т.е

```
int a = 0; ①

char a = 512; ②

int a = 3.14;  ③

bool a = -4;  ④

bool a  = 0;  ⑤
```

① Присваимаем знаковое целое(int) число переменной целого типа

② Присваиваем знаковое целое(int) число переменной типа char. Результат в а 0 ;

③ Присваиваем число с плавающей точкой(double) к переменной типа int. Результат в а 3

④ Присваиваем знаковое целое(int) к переменной типа bool. Результат в а true

⑤ Присваиваем знаковое целое(int) к переменной типа bool. Результат в а false

Явное преобразование типов

Так как компилятор может сделать за вас, то, что вы вообще не ожидаете, не нужно использовать неявное преобразование типа.

Вместо этого, лучше указать компилятору явное преобразование из одного типа в другой. В этом случае, вы говорите компилятору, что я понимаю, что я делаю, это именно так и задумано

Для преобразований из одного типа используют 4 вариантов преобразования:

- static_cast
- const_cast
- reinterpret_cast

- dynamic_cast

static_cast

static_cast позволяет сделать приведение близких типов (целые, пользовательских типов которые могут создаваться из типов который приводится, и указатель на void* к указателю на любой тип).

Проверка производится на уровне компиляции, так что в случае ошибки сообщение будет получено в момент сборки приложения или библиотеки.

```
int a = static_cast<int>(0); ①

int a = static_cast<int>(3.14);  ②

bool a = static_cast<bool>(-4);  ③

bool a  = static_cast<bool>(0);  ④

float f = 3.14f ;     ⑤

float f = static_cast<float>(3.14) ;  ⑥

Complex f = static_cast<3.14> ⑦
```

① Явно говорим, что 0 должен восприниматься как тип (int), хотя он и так является литералом типа int. Но все ли помнят об этом?

② Явно говорим, что 3.14 воспринимать как int, т.е взять только целую часть.

③ Явно говорим, -4 нужно воспринять как bool тип, в данном случае true.

④ Явно говорим, 0 нужно воспринять как bool тип, в данном случае false.

⑤ Явно говорим, что 3.14 это float

⑥ Явно говорим, что 3.14 это float

⑦ Комплексное число может создаться из double, поэтому тут будет работать static_cast.

reinterpret_cast

reinterpret_cast преобразует типы, несовместимыми друг с другом, и используется для:

- В свой собственный тип
- Указателя в интегральный тип
- Интегрального типа в указатель
- Указателя одного типа в указатель другого типа
- Указателя на функцию одного типа в указатель на функцию другого типа

```
auto ptr = reinterpret_cast<volatile uint32_t *>(0x40010000) ; ①
auto value = *ptr ; ②
```

① Преобразует адрес 0x40010000 в указатель типа volatile uint32_t

② Записывает в переменную value (типа) значение лежащее по указателю ptr, указывающего на адрес 0x40010000

Память

Как говорилось в первой лекции, ARM имеет общее адресное пространство для данных и команд.

Ядро ARM имеет 4 Гбайт последовательной памяти с адресов 0x00000000 до 0xFFFFFFFF.

Различные типы памяти могут быть расположены по эти адресам. Обычно микроконтроллер имеет постоянную память, из которой можно только читать (ПЗУ) и оперативную память, из которой можно читать и в которую можно писать (ОЗУ).

Также часть адресов этой памяти отведены под регистры управления и регистры периферии.

Память микроконтроллера CortexM4

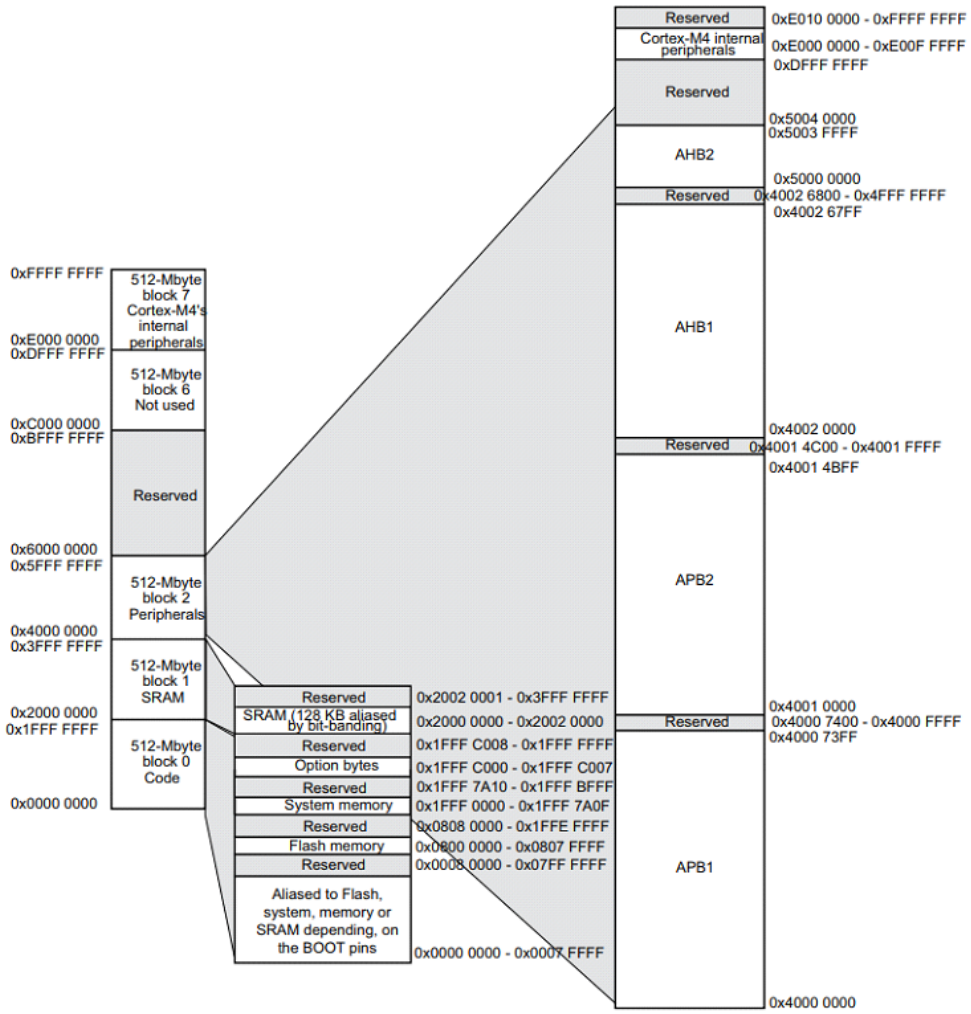


Figure 2. Карта памяти микропроцессора

Микроконтроллер на ядре Cortex M4 выполнен по Гарвардской архитектуре, память здесь разделена на три типа:

- ПЗУ (FLASH память в которой храниться программа)
- ОЗУ память для хранения временных данных (туда же можно по необходимости переместить программу и выполнить её из ОЗУ), память в которой находятся регистры отвечающие за настройку и работу с периферией и
- Память для хранения постоянных данных EEPROM.

Адресное пространство памяти программы (ПЗУ) находится по адресам **0x00000000** по **0x1FFFFFFF**

Адресное пространство ОЗУ находится по адресам **0x20000000** по **0x3FFFFFFF**

Адресное пространство для регистров периферии находится по адресам с **0x40000000** по **0x5FFFFFFF**

Памяти EEPROM микропроцессора Stm32F411RE не содержит, см [Карта памяти микропроцессора]. Более подробно вы можете изучить адресное пространство

микропроцессора в спецификации на микропроцессор [12].

Память для расположения данных

Данные в памяти могут быть расположены 3 различными способами:

- Авто(локальные) переменные, которые являются локальными в функции располагаются в регистрах или в стеке.

Такие переменные "существуют" только внутри функции, как только функция закончится и вернется к вызывающему объекту, эти переменные становятся не валидными.

- Глобальные переменные или статические переменные. В этом случае они инициализируются единожды.

Static означает, что та память, которая была выделена под эту переменную не будет изменяться и закрепляется за этой переменной до конца работы приложения.

- Динамически размещаемые данные. Данные создаваемые на Куче(Heap)

Если заранее не известно, сколько объектов нужно создать, и сколько памяти они будут отнимать, то придется создавать их динамически, например с помощью оператора new, в таком случае, объекты будут создаваться в куче.

Память под функции(команды)

Для расположения функций используется та же самая память с границами от **0x00000000 - 0xFFFFFFFF**.

По умолчанию весь код будет лежать в сегменте .text, который расположен в readonly памяти (обычно в ROM), но можно разместить функции и в ОЗУ.

Указатели

Как мы уже поняли, данные могут находится в ОЗУ или ПЗУ. Каждой переменной содержащей данные соответствует некий адрес памяти. К переменной можно обратиться непосредственно обращаясь к самой переменной, тогда мы можем напрямую писать или читать значение с адреса переменной, либо можно обратиться косвенно, через указатель или ссылку.

Указатель это переменная, которая хранит адрес какой-то другой переменной:

```
int main() {
  int  c = 463 ;   ①
  int* ptr = &c ;  ②
  return 0;
}
```

① Объявляем переменную **c** типа **int**

② объявляем указатель **ptr** на переменную **c** типа **int**

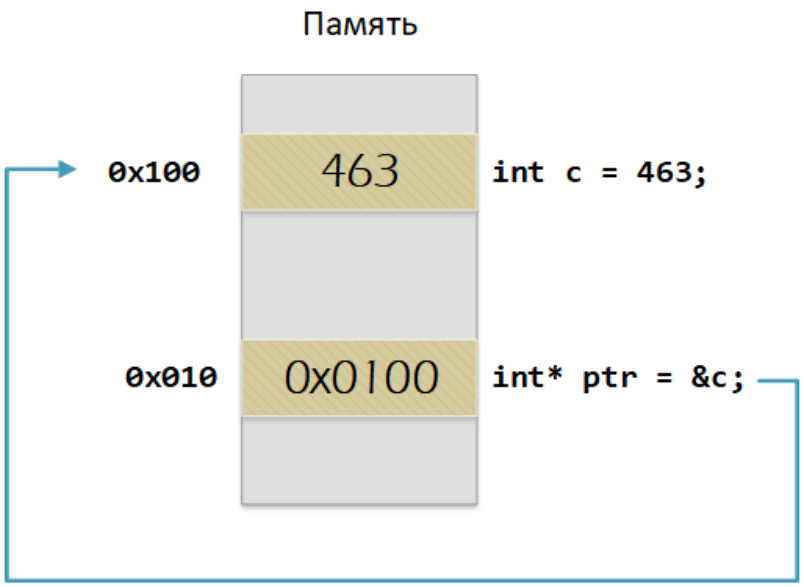


Figure 3. Указатель

Размер указателя для нашего микроконтроллера 4 байта (32 бита).

Взятие адреса и разыменование указателя.

```
int main() {
  int  c = 463 ;              ①
  int* ptr = &c ;             ②
  cout << &c ;                ③
  cout << c ;                 ④

  *ptr = 5;                   ⑤
  cout << c << ": " << *ptr;  ⑥
}
```

① Объявление переменной

② Оператор & - оператор взятия адреса.

③ Выведется адрес переменной **c** (0x100)

④ Выведется значение переменной c (463)

⑤ Операция разыменование указателя, записываем в переменную по адресу, который лежит в ptr, число 5

⑥ Вывод значения переменной c и значения лежащего по адресу, на который указывает указатель (5: 5) По сути c и *ptr это одно и то же.

Операции над указателями

Указатели можно складывать, вычитать, сравнивать. Но указатели должны быть одного типа. Т.е. не нужно например складывать укатель типа **char** * и **int** *

```
int main() {
  int  arr[] = {1,2,3,4,5} ;    ①
  int* ptr = arr ;              ②

  ptr ++ ;                      ③
  int a = *(ptr + 4) ;          ④
  if(ptr != nullptr)            ⑤
    cout << a << ": " << *ptr;  ⑥
}
```

① Объявление массива **arr** из 5 элементов. В целом можно считать, что массив **arr** это указатель на первый элемент массива.

② Обявления указателя на массив типа **int** ;

③ Увеличиваем указатель на 1. На самом деле мы смещаемся по адресам на размер равный **size_of(int)**, т.е. на 4 байта. Т.е в данном случае указатель **ptr** стал указывать на элемент массива **arr[1]**.

④ Объявляем переменную **a** типа **int** и присваиваем ей значение **arr[4]**.

⑤ Сравнение указателя с nullptr указателем.

⑥ Вывод значения **a** и значения по адресу в указателе **ptr**. Вывод (5: 2)

Сложение указателей

```
int main() {
  int  arr[] = {1,2,3,4,5} ;    ①
  int* ptr = arr ;              ②

  ptr ++ ;                      ③
  int a = *(ptr + 3) ;          ④
}
```

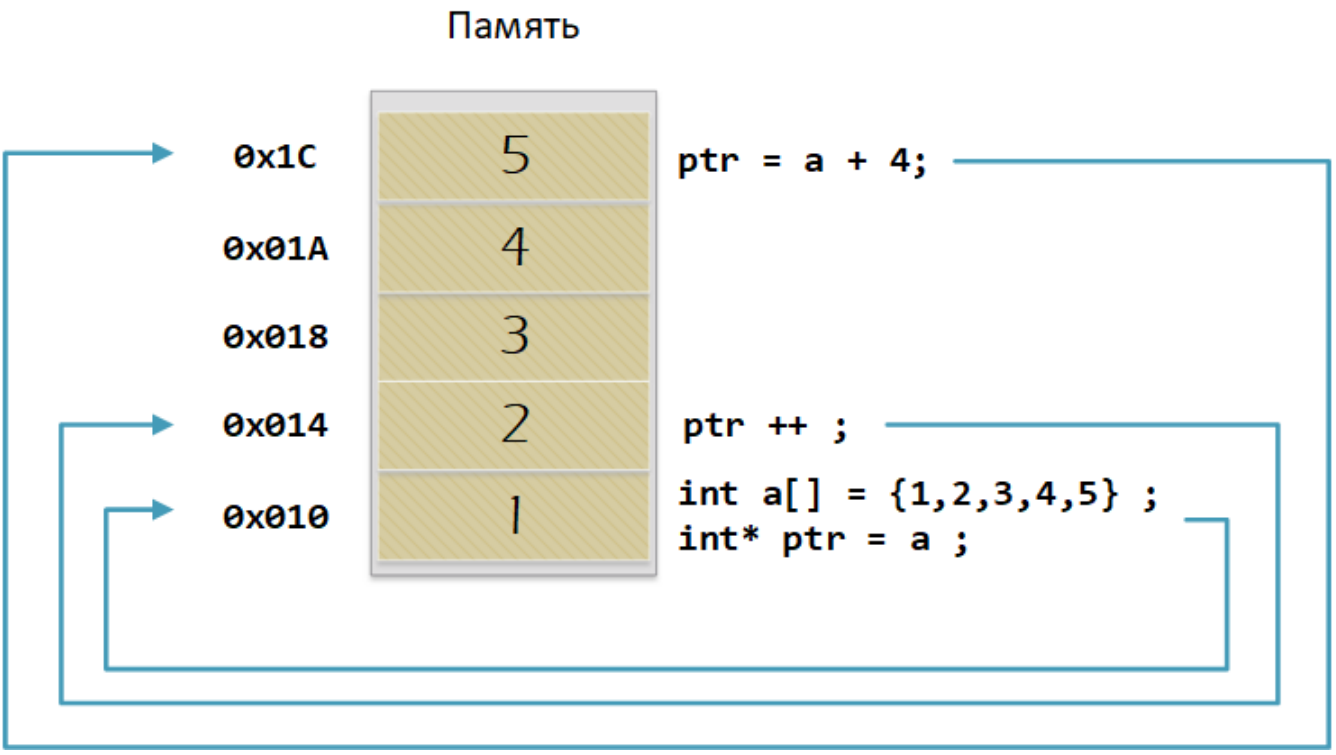


Figure 4. Сложение указателей

① Объявление массива **arr** из 5 элементов. В целом можно считать, что массив **arr** это указатель на первый элемент массива.

② Обявления указателя на массив типа **int** ;

③ Увеличиваем указатель на 1. На самом деле мы смещаемся по адресам на размер равный **size_of(int)**, т.е. на 4 байта. Т.е в данном случае указатель **ptr** стал указывать на элемент массива **arr[1]**.

④ Записываем в переменную a типа int данные, находящиеся по адресу, хранящиеся в указателе ptr, смещенном на 3.

Константный указатель и указатель на константу

```
int main() {
  const auto pi[] = {3.14, 3.14159} ;
  const double *ptr = pi ;
  *ptr = 3.14159 ;                    ①
  ptr++ ;                             ②
  count << *ptr ;                     ③
  const double * const ptr1 = pi ;    ④
  ptr1++  ;                           ⑤
  retrun 0 ;
}
```

① Пытаемся поменять значение по указателю **ptr** (pi[0]). Ошибка, указатель на константу, нельзя поменять значение константы

② Увеличиваем указатель на 1 (теперь указатель указывает на p[1]).

③ Вывод значения по указателю (3.14159)

④ Объявляем константный указатель на константу

⑤ Нельзя изменить указатель, он константный

Ссылка

```
int main(){
  int a = 0;
  int &ref = a ;                ①
  ref = 10;                     ②
  cout << &ref << ": " << ref ; ③
  return 0 ;
}
```

① Объявляем ссылку на переменную **a**

② Записываем в переменную **a** число 10

③ Выводим адрес перменной **a** и значение переменной **a**

Ссылка это псевдоним переменной.

- У ссылки нельзя взять адрес. Если применить оператор взятия адреса к ней, то будет выведен адрес переменной, на которую она ссылается
- Ссылка ведет себя почти также как константный указатель. Её нельзя изменять, складывать, вычитать
- Ссылки нельзя сравнивать
- Ссылка не может быть не проинициализирована.

Регистр

- Существуют регистры общего назначения и специальные регистры. Регистры общего назначения расположены внутри ядра микроконтроллера(сверхбыстрая память).
- Регистры общего назначения - это сверхбыстрая память внутри процессора, предназначенная для хранения адресов и промежуточных результатов вычислений (регистр общего назначения/регистр данных) или данных, необходимых для работы самого процессора.
- Регистры специального назначения расположены в ОЗУ микроконтроллера и используются для управления процессором и периферийными устройствами.
- Каждый регистр в архитектуре ARM представляет собой ресурс памяти и имеет длину в 32 бита, где каждый бит можно представить в виде выключателя с помощью которого осуществляется управление тем или иным параметром микроконтроллера [10].

Регистры общего назначения

С точки зрения прикладного программиста, процессор располагает 16-ю 32-разрядными регистрами общего назначения (РОН, GPR), из которых три на деле имеют специальные функции:

- Оперативные регистры
- Вспомогательные регистры
- Специальные регистры

Оперативные регистры

Регистры **R0-R3**, **R12** являются оперативными(sratch) регистрами. Любая функция может использовать эти регистры по своему усмотрению и уничтожать содержимое этих регистров.

Если функции нужны значения этих регистров после вызова другой функции, она должна сохранить их на стеке, а после вызова восстановить.

Вспомогательные регистры

Регистры от **R4-R11** являются вспомогательными. Любая функция должна сохранить их на входе, а при выходе восстановить их значение.

Специальные регистры

- Регистр указателя на стек **R13/SP**, должен всегда указывать на последний элемент стека или ниже него.
- Регистр **R15/PC** есть программный счетчик.
- Регистр **R14/LR**, содержит адрес возврата функции.

Регистр специального назначения

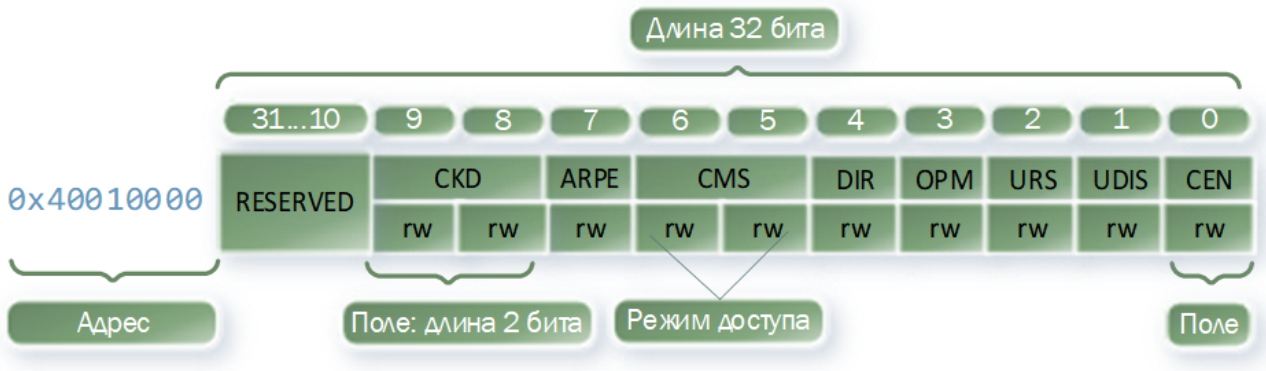


Figure 5. Схематичное изображение регистра

- Название регистра
- Адрес регистра обозначается 32-битным шестнадцатеричным числом.
- Тип доступа к ячейкам регистра.
- Длина - количество ячеек в одном регистре. Мы будем работать с 32-битными регистрами.
- Поле - набор ячеек регистра, отвечающих за работу одной из функции микроконтроллера
- Значение поля - есть пространство всех возможных величин, которые может принимать поле

Значение поля зависит от длины поля. Т.е. если поле имеет длину 2, то существует 4 возможные значения поля (0,1,2,3). Так же как у регистра, у полей и значений полей есть режим доступа (чтение, записать, чтение и запись)

Пример регистра специального назначения

Как было сказано выше регистры используются для управления микроконтроллером и его периферией. Например, чтобы запустить таймер 1 на счет, необходимо в Таймере1, в регистре **CR1(Control Register1)** в поле **CEN(Counter Enable)** установить значение 1 (Enable).

Figure 6. Регистр CR1 Таймера 1

```
Бит 0 CEN: Включить счетчик
    0: Счетчик включен: Disable
    1: Счетчик выключен: Enable
```

Здесь, например, CEN — это поле размером 1 бит имеющее смещение 0 относительно начала регистра. A Enable(1) и Disable(0) это его возможные значения.

Доступ к регистру специального назначения

Так как регистр специального назначения - это просто адресуемая ячейка памяти, то в коде это может мы можем обратиться к данным по этому адресу, разыменовывая указатель, указывающий на этот адрес:

```
int main()
{
```

```
  *reinterpret_cast<uint32_t *>(0x40010000) |= 1 << 0 ; ①
  TIM1::CR1::CEN::Enable::Set() ;                      ②
}
```

① Записываем 1 в нулевой бит ячейки памяти (регистра) по адресу 0x40010000

② Тоже самое, но с использованием специального класса на C++

Работа с регистрами периферии через обертку на C++

Для того, чтобы настроить определенное периферийное устройство процессора, необходимо изменить значение поля соответствующем регистре.

Для более удобной работы с регистрами можно использовать C++ обертку. Эта обертка позволяет обращаться к регистрам в форме очень похоже с тем, как эти регистры описаны в документации.

Так, например, для запуска внешнего источника частоты, необходимо обратиться к регистру “CR” периферии “RCC”, полю "HSEON" и установить в нем значение Enable. Операция обращения к регистру выглядит следующим образом:

```
---
int main()
{
  RCC::CR::HSEON::Enable::Set() ;
}
---
```

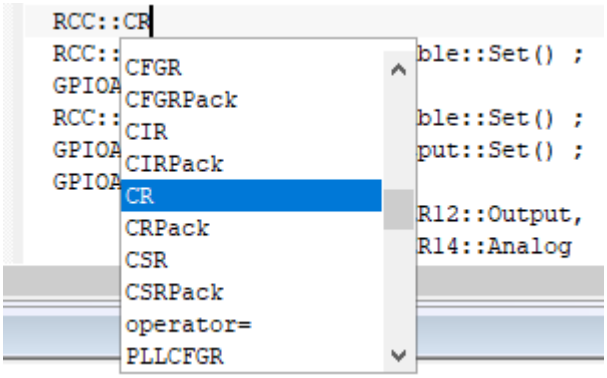


Figure 7. Подсказка для регистра CR модуля периферии RCC

Некоторые моменты при работе с оберткой C++ для регистров

Код для регистров был сгенерирован автоматически, см [13]. Поэтому по умолчанию все значения полей называются в формате ValueX, где X-само значение. Поэтому тот момент когда нужно их использовать, нужно заглянуть в документацию и поменять слова Value, на

что-то более внятное.

Для того, чтобы найти место где объявляется значение поля, необходимо правой мышкой нажать на значении и найти все его объявления.

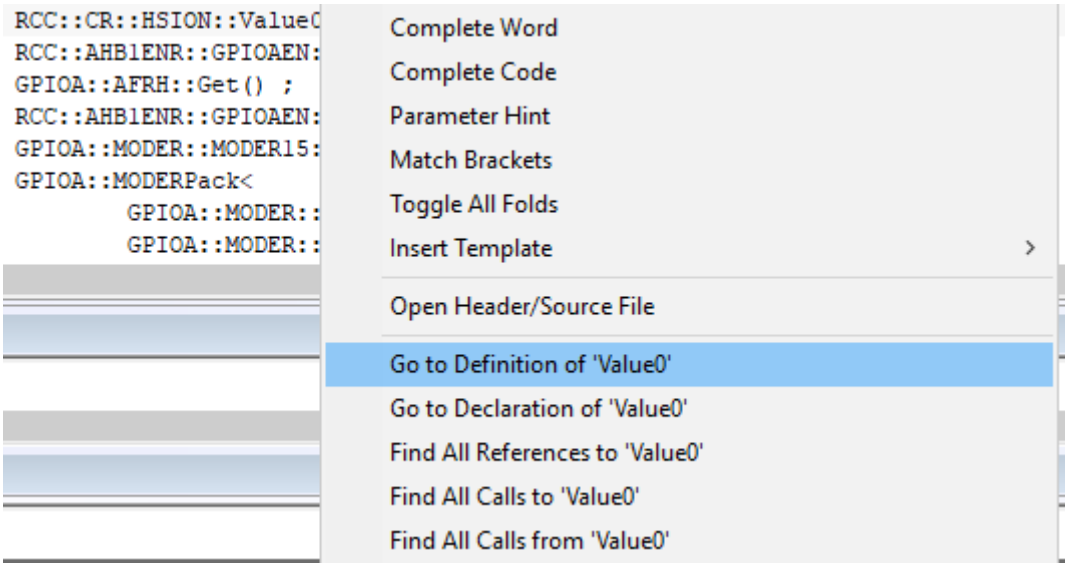


Figure 8. Поиск места объявления значения

На самом деле, все значения полей определены в файлах, которые лежат в папке: AbstractHardware\Registers\STM32F411\FieldValues

Можно открыть файл с именем [имя периферии]filedvalues.hpp и найти там структуру названием ИМЯ ПЕРИФЕРИ_ИМЯ РЕГИСТРА_ИМЯ ПОЛЯ_Values.

Например, для значений поля HSEON модуля периферии RCC, регистра CR, необходимо:

1. открыть файл AbstractHardware\Registers\STM32F411\FieldValues\rccfieldvalues.hpp,
2. найти структуру struct RCC_CR_HSEON_Values
3. поменять в этой структуре **Value0** на **Disable**, а **Value1** на **Enable**.

Соглашение об вызовах

Соглашение об вызовах включает в себя:

- Объявление функции
- Компоновка C и C++ кода
- Последовательность использования оперативных регистров и вспомогательные регистров
- Вход в функцию
- Выход из функции
- Обработка адреса возврата

Объявление функции

Функция должна быть объявлена в таком порядке, чтобы компилятор мог узнать как её вызвать. Объявление функции может выглядеть следующим образом:

```
int MyFunction(int first, char * second);
```

Все что знает об этой функции компилятор, это то, что она принимает два параметра: целое и указатель на символ. И функция должна вернуть целое значение. Этого достаточно для компилятора, чтобы понять как вызвать эту функцию.

Компоновка C и C++ кода

В C+ , функция может компоноваться либо как C +, либо как C функция. Пример объявления функции с Си компоновкой:

```
extern "C" {
  int F(int);
}
```

Если вы хотите вызвать функции ассемблера из C++, то лучше объявить эту функцию, как имеющую тип компоновки Си

Вход в функцию

Параметры передающие в функцию могут использовать два метода:

- Через регистры
- Через стек

Для большей эффективности параметры передаются через регистры, но их число ограничено, поэтому если регистров не хватает, то используется стек. Для передачи параметров используются оперативные регистры **R0:R3**

Выход из функции

Функция может вернуть значение. Для возврата значения используются регистры **R0:R1**. Если значение больше 64 бит, то в регистр R0 записывается адрес где лежат данные.

Вызывающая функция обязана очистить стек, после того, как вызываемая функция вернула значение.

Операторы

- Арифметические операторы

- Операторы сравнения
- Логические операторы
- Побитовые операторы
- Составное присваивание
- Операторы работы с указателями и членами класса
- Функторы, тернарные операции, sizeof(), запятая, приведение типа, new

Все операторы можно переопределить

Арифметические операторы

Арифметические операторы предоставляют базовые арифметические действия над типами, такие как сложение, вычитание, деление, умножение, остаток от деления, присваивание. Любой оператор может быть определен для множества пользовательского типа. Т.е. вы можете создать свой тип и определить арифметические операторы для вашего типа. Например, можно определить арифметические операторы для множества комплексных чисел, которые могут быть представлены в виде вашего собственного пользовательского типа.

Table 3. Арифметические операторы

Операция	**Оператор**	**Комментарий**
Присваивание	=	a = b
Сложение	+	a + b
Вычитание	-	a - b
Унарный плюс	+	+a
Унарный минус	-	-a
Умножение	*	a * b
Деление	/	a / b
Остаток от деления	%	a % b
Инкремет (пост и предфиксный)	++	++a и a++
Декремент (пост и предфиксный)	- -	--a и a--

Логические операторы

Логические операторы предоставляют действия над булевым типов. Результат действия этих операторов может быть только **true** или **false**

Table 4. Логические операторы

Операция	Оператор	Комментарий	Пример
Логическое отрицание, НЕ	!	!a	!true ⇒ false
Логическое умножение, И	&&	a &&	true && false ⇒ false
Логическое сложение, ИЛИ	||	a | | b	true | | false ⇒ true

Побитовые операторы

Побитовые операторы предоставляют действия с битами.

Table 5. Побитовые операторы

Операция	Оператор	Комментарий	Пример
Побитовая инверсия	~	~a	unsigned char a = 0; ~a ⇒ 0xFF
Побитовое И	&	a & b	unsigned char a = 1, b = 3; a & b ⇒ 1
Побитовое ИЛИ	|	a | b	unsigned char a = 1, b = 3; a | b ⇒ 3
Побитовое исключающее ИЛИ	^	a ^ b	unsigned char a = 1, b = 3; a ^ b ⇒ 2
Побитовый сдвиг влево	<<	a << b	unsigned char a = 1, b = 3; a << b ⇒ 8
Побитовый сдвиг вправо	>>	a >> b	unsigned char a = 8, b = 3; a >> b ⇒ 1

Отладочная плата

• **STM32F411RET6 ядро:** ARM® 32-bit Cortex™-M4	• **CP2102:** USB - UART преобразователь
• **Arduino разъем:** для подключения Arduino шилдов	• **ICSP interface:** Arduino ICSP
• **USB разъем:** USB коммуникационный интерфейс	• **SWD interface:** для программирования и отладки
• **ST Morpho разъемы:** для упрощения расширения	• **6-12 V DC вход питания**
• **Пользовательская кнопка**	***Кнопка Сброса**
• **Индикатор питания**	• **Пользовательские светодиоды**

• **Индикаторы последовательного порта Rx/Tx**	**8 MHz кварцевый резонатор**
• **32.768 KHz кварцевый резонатор**	http://www.waveshare.com/xnucleo-F411RE.htm

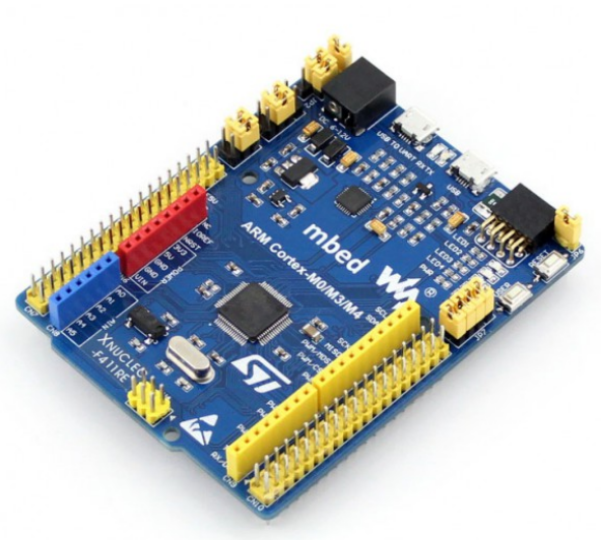


Figure 9. Отладочная плата

Микроконтроллер ST32F411RE

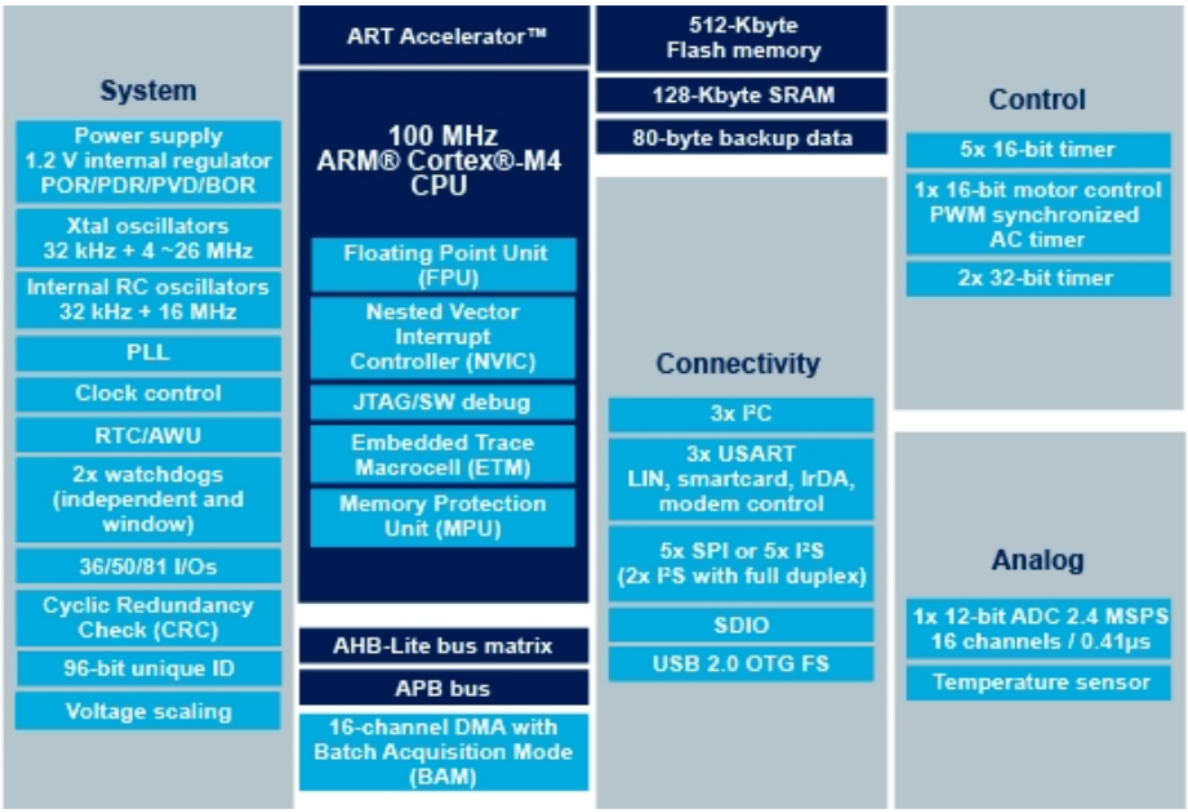


Figure 10. Функциональные блоки микроконтроллера STM32F411

Ядро CortexM4

OPERATION	INSTRUCTIONS	CM3	CM4
16 x 16 = 32	SMULBB, SMULBT, SMULTB, SMULTT	n/a	1
16 x 16 + 32 = 32	SMLABB, SMLABT, SMLATB, SMLATT	n/a	1
16 x 16 + 64 = 64	SMLALBB, SMLALBT, SMLALTB, SMLALTT	n/a	1
16 x 32 = 32	SMULWB, SMULWT	n/a	1
(16 x 32) + 32 = 32	SMLAWB, SMLAWT	n/a	1
(16 x 16) ± (16 x 16) = 32	SMUAD, SMUADX, SMUSD, SMUSDX	n/a	1
(16 x 16) ± (16 x 16) + 32 = 32	SMLAD, SMLADX, SMLSD, SMLSDX	n/a	1
(16 x 16) ± (16 x 16) + 64 = 64	SMLALD, SMLALDX, SMLSLD, SMLSLDX	n/a	1
32 x 32 = 32	MUL	1	1
32 ± (32 x 32) = 32	MLA, MLS	2	1
32 x 32 = 64	SMULL, UMULL	5-7	1
(32 x 32) + 64 = 64	SMLAL, UMLAL	5-7	1
(32 x 32) + 32 + 32 = 64	UMAAL	n/a	1
32 ± (32 x 32) = 32 (upper)	SMMLA, SMMLAR, SMMLS, SMMLSR	n/a	1
(32 x 32) = 32 (upper)	SMMUL, SMMULR	n/a	1

Figure 11. Ядро CortexM4

- Ядро Cortex построено по гарвардской архитектуре с разделением шины данных и кода.
- Ядро Cortex-M4 поддерживает 8/16/32-разрядные операции умножения, которые выполняются за 1 цикл (деление со знаком (SDIV) или без (UDIV) занимает от 2 до 12 тактов в зависимости от размера операндов
- Ядро Cortex-M4 поддерживает 8/16/32-разрядные операции умножения со сложением

Характеристики ядра CortexM4

Параметр	ARM7TDMI	ARM Cortex-M3	ARM Cortex-M4
Архитектура	ARMv4T (Фон Неймана)	ARMv7 (Гарвардская)	ARMv7 (Гарвардская)
Набор инструкций	Thumb/ARM	Thumb/Thumb-2	Thumb/Thumb-2, DSP, SIMD, FP
Конвейер	3 уровня	3 уровня + предсказание ветвлений	3 уровня + предсказание ветвлений
Прерывания	FIQ/IRQ	NMI (немаскируемые) + от 1 до 240 физических источников прерываний	NMI (немаскируемые) + от 1 до 240 физических источников прерываний
Длительность входа в обработчик прерывания	24-42 цикла	12 циклов	12 циклов
Длительность переключения между обработчиками прерываний	24 цикла	6 циклов	6 циклов

Режимы пониженного энергопотребления	Нет	Встроены	Встроены
Защита памяти	Нет	Блок защиты памяти с 8 областями	Блок защиты памяти с 8 областями
Производительность по тесту Dhrystone	0,95 DMIPS/МГц	1,25 DMIPS/МГц	1,25 DMIPS/МГц
Энергопотребление ядра	0,28 мВт/МГц	0,19 мВт/МГц	0,19 мВт/МГц
Аппаратный модуль работы с плавающей точкой	нет	нет	есть

Характеристики микроконтроллера

Микроконтроллер имеет следующие характеристики:

• 32 разрядное ядро ARM Cortex-M4	• Блок работы с числами с плавающей точкой FPU
• 512 кБайт памяти программ	• 128 кБайт ОЗУ
• Встроенный 12 битный 16 канальный АЦП	• DMA контроллер на 16 каналов
• USB 2.0	• 3x USART
• 5 x SPI/I2S	• 3x I2C
• SDIO интерфейс для карт SD/MMC/eMMC	• Аппаратный подсчет контрольной суммы памяти программ CRC
• 6 - 16 разрядных и 2 - 32 разрядных Таймера	• 1 - 16 битный для управления двигателями
• 2 сторожевых таймера	• 1 системный таймер
• Работа на частотах до 100Мгц	• 81 портов ввода вывода
• Питание от 1.7 до 3.6 Вольт	• Потребление 100 мкА/Мгц

Блок диаграмма микроконтроллера

Блок схема микроконтроллера схематично изображена на рисунке Блок диаграмма микроконтроллера.

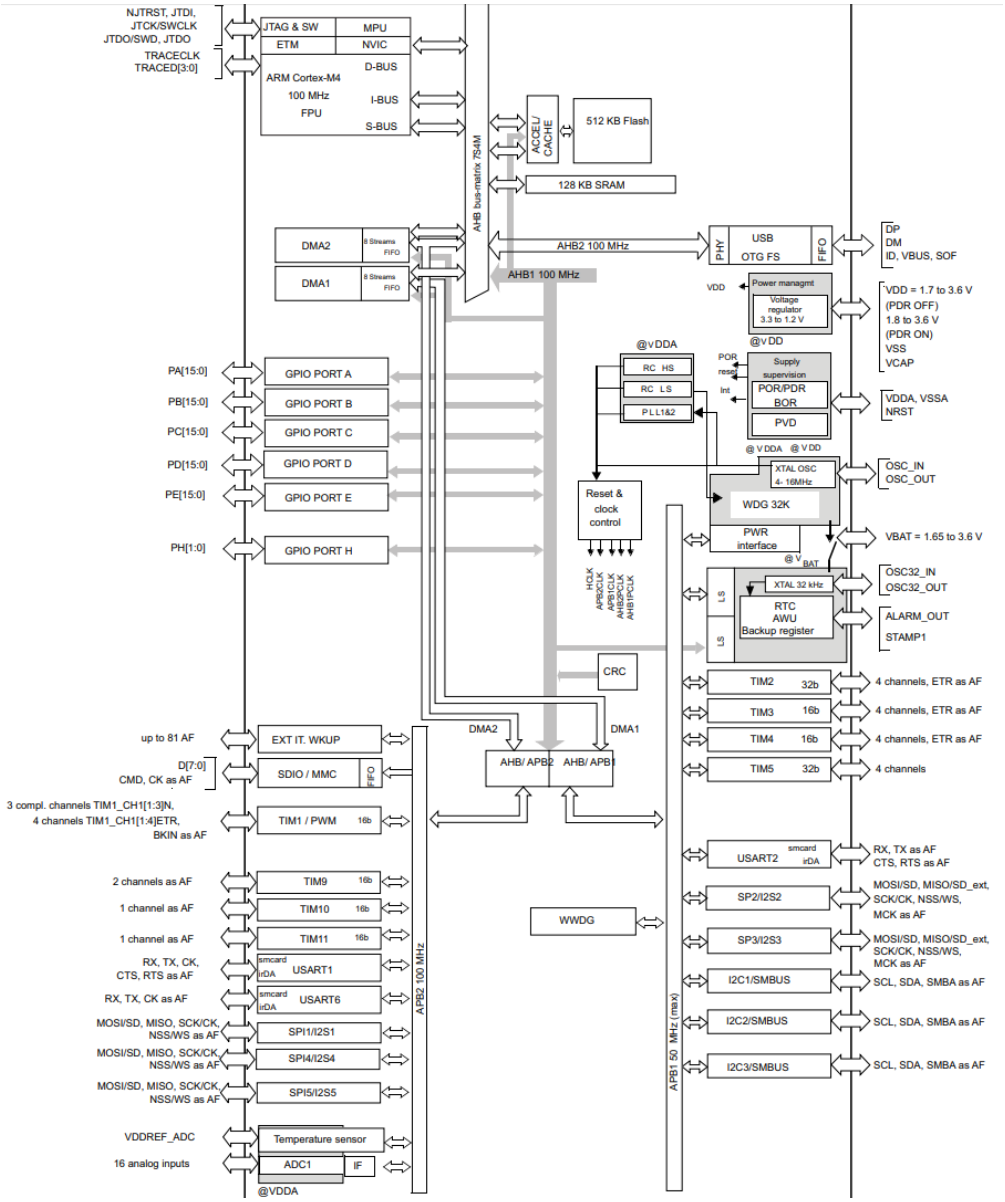


Figure 12. Блок диаграмма микроконтроллера

Дополнительные особенности микроконтроллера

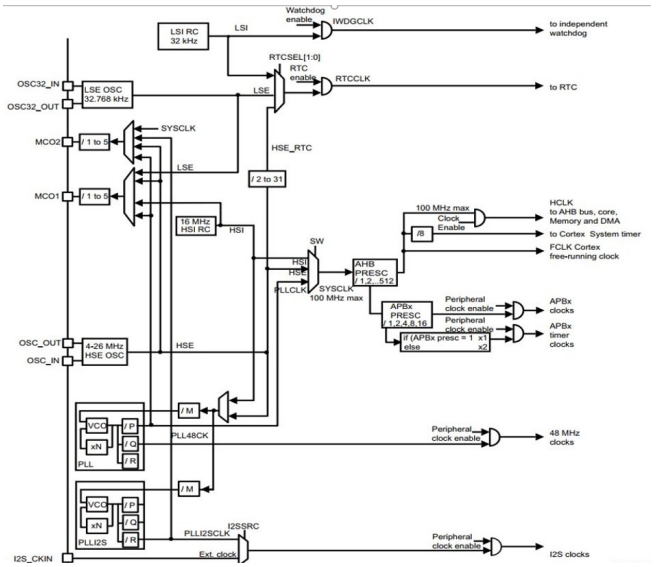
Из дополнительных особенностей, которые понадобятся для лабораторных работ следует выделить:

- Настраиваемые источники тактовой частоты
- Настраиваемые на различные функции порты
- Внутренний температурный сенсор
- Таймеры с настраиваемым модулем ШИМ
- DMA для работы с модулями (SPI, UART, ADC…)
- 12 разрядный ADC последовательного приближения
- Часы реального времени
- Системный таймер и спец. прерывания для облегчения и ускорения работы ОСРВ

Система тактирования

Блок диаграмма системы тактирования

Table 6. Система тактирования микроконтроллера STM32F411



- Для формирования системной тактовой частоты SYSCLK могут использоваться 4 основных источника:
  - HSI (high-speed internal) — внутренний высокочастотный RC-генератор.
  - HSE (high-speed external) — внешний высокочастотный генератор.
  - PLL — система ФАПЧ. Точнее сказать, это вовсе и не генератор, а набор из умножителей и делителей, исходный сигнал он получает от HSI или HSE, а на выходе у него уже другая частота.
- Также имеются 2 вторичных источника тактового сигнала:
  - LSI (low-speed internal) — низкочастотный внутренний RC-генератор на 37 кГц
  - LSE (low-speed external) — низкочастотный внешний источник на 32,768 кГц

Модуль тактирования.

Модуль тактирования (Reset and Clock Control) RCC

- Для формирования системной тактовой частоты SYSCLK могут использоваться 4 основных источника:
  - HSI (high-speed internal) — внутренний высокочастотный RC-генератор.
  - HSE (high-speed external) — внешний высокочастотный генератор.
  - PLL — система ФАПЧ. Точнее сказать, это вовсе и не генератор, а набор из умножителей и делителей, исходный сигнал он получает от HSI или HSE, а на выходе у него уже другая частота.
- Также имеются 2 вторичных источника тактового сигнала:
  - LSI (low-speed internal) — низкочастотный внутренний RC-генератор на 37 кГц
  - LSE (low-speed external) — низкочастотный внешний источник на 32,768 кГц

Фазовая подстройка частоты PLL

- PLL Внутренний источник PLL тактируется от внешнего или внутреннего высокочастотных генераторов (HSE либо HSI).
  - С помощью регистров PLLM, PLLN,PLLP можно подобрать любую частоту до 100 Мгц включительно по формуле:

```
f = f(PLL clock input) x (PLLN / PLLM) /PLLP
```

- Кроме системной тактовой частоты SYSCLK, PLL также выдает частоту 48 МГц для интерфейса USB. При использовании USB входная частота для PLL должна быть в диапазоне от 2 МГц до 24 МГц.

```
f(USB) = f(PLL clock input) x (PLLN / PLLM) / PLLQ
```

Дополнительные генераторы тактовой частоты

- LSE. Низкочастотный внешний генератор частоты.
  - Применение внешнего кварцевого/керамического резонатора на 32,768 кГц на входах OSC32_IN, OSC32_OUT. Высокостабильный источник, формирует тактовые сигналы для часов реального времени RTC, модуля ЖКИ, а также для таймеров TIM9/TIM10/TIM11.
  - Использование внешнего источника тактовой частоты (режим LSE bypass). Формируются тактовые сигналы для часов реального времени и ЖКИ. В этом режиме исходный сигнал поступает с генератора HSE. Входная частота может быть до 1 МГц, затем сигнал проходит через делитель с коэффициентом деления 2, 4, 8 или 16. Входной сигнал может быть прямоугольной, треугольной формы или синусоидой с 50% скважностью.
- LSI. Внутренний RC-генератор частотой около 37 кГц.
  - Как и LSE, позволяет тактировать часы реального времени и модуль ЖКИ. Кроме этого, поддерживает работоспособность независимого сторожевого таймера IWDG в режимах Stop и Standby.

Регистр управления частотой.

Clock Control register (CR) Как уже упоминалось, системная тактовая частота для серии "STM32F411" может быть до 100 МГц. Для ее формирования используются 3 основных источника — HSI, HSE, PLL. Включение и выключение основных генераторов производится через регистр RCC_CR — Clock Control register.

Значение по умолчанию: 0x0000 XX81:

Bit 24 PLLON Включить PLL. Этот бит устанавливается и скидывается программно, чтобы включить PLL. Бит не может быть скинут, если PLL уже используется как системная частота.

- **0**: ОТКЛЮЧИТЬ PLL **1**: ВКЛЮЧИТЬ PLL

Bit 16: HSEON Включить HSE. Этот бит устанавливается и скидывается программно. Бит не может быть скинут, если HSE уже используется как системная частота.

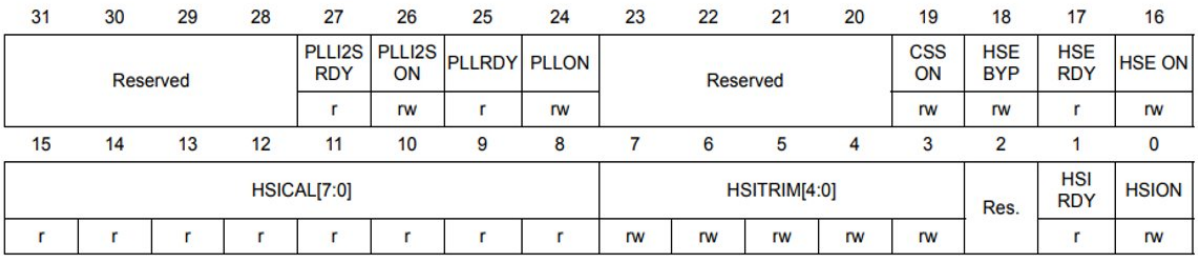
- **0**: ОТЛЮЧИТЬ HSE **1**: ВКЛЮЧИТЬ HSE

Bit 0: HSION Включить HSI. Этот бит устанавливается и скидывается программно. Очищается аппаратно при входе в режим Stop или Standby. Бит не может быть скинут, если HSI уже используется как системная частота.

- **0**: ВЫКЛЮЧИТЬ HSI **1**: ВКЛЮЧИТЬ HSI

Регистр управления частотой. Контроль

Сразу после установки частоты, нужно проверить, что частота с нового источника стабилизировалась. Для этого используются те же поля того же регистра CR, оканчивающиеся на RDY (Ready)



Bit 25 PLLRDY Флаг готовности частоты PLL. Этот бит устанавливается аппаратно

- **0**: PLL НЕ ЗАПУЩЕН И НЕ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ **1**: PLL ИСПОЛЬЗУЕТСЯ

Bit 17: HSERDY Флаг готовности частоты HSE. Этот бит устанавливается аппаратно.

- **0**: HSE НЕ ГОТОВ **1**: HSE ГОТОВ

Bit 1: HSIRDY Флаг готовности частоты HSI. Этот бит устанавливается аппаратно

- **0**: HSI НЕ ГОТОВ **1**: HSI ГОТОВ

Регистр конфигурации частоты. Выбор источника

После включения генераторов частоты, необходимо выбрать один из них в качестве источника для системной частоты SYSCLK. Выбор осуществляется через регистр RCC_CFGR — Clock Configuration Register. Значение по умолчанию: 0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved				PLLI2S RDY	PLLI2S ON	PLLRDY	PLLON	Reserved				CSS ON	HSE BYP	HSE RDY	HSE ON
				r	rw	r	rw					rw	rw	r	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
HSICAL[7:0]								HSITRIM[4:0]					Res.	HSI RDY	HSION
r	r	r	r	r	r	r	r	rw	rw	rw	rw	rw		r	rw

Bits 3:2 SWS[1:0] Статус частоты SYSCLK.

- **00**: ИСТОЧНИК ЧАСТОТЫ HSI **01**: ИСТОЧНИК ЧАСТОТЫ HSE
- **10**: ИСТОЧНИК ЧАСТОТЫ PLL **11**: РЕЗЕРВ

Bits 1:0 SW[1:0] Выбор источника частоты SYSCLK.

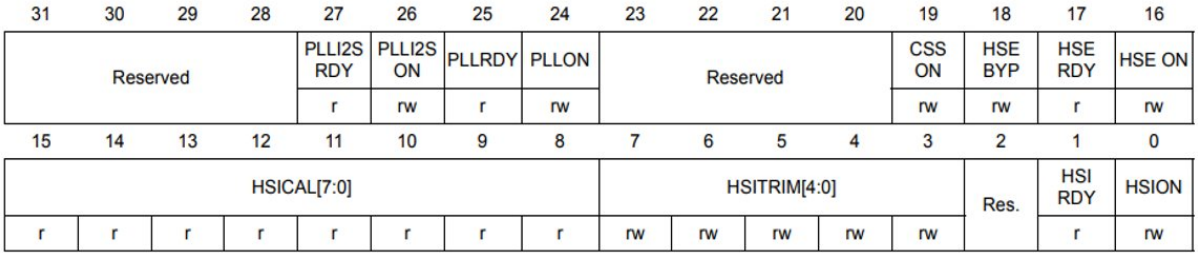
- **00**: HSI **01**: HSE
- **10**: PLL **11**: НЕ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ

Регистр конфигурации частоты. Делители

Следующие секции регистра HPRE (AHB prescaler), PPRE1 (APB1 prescaler), PPRE2 (APB2 prescaler) — задают коэффициенты деления системной частоты SYSCLK, которая после предделителей поступает на матрицы шин.

AHB (Advanced High Speed Busses) матрица высокоскоростных шин. Она "доставляет" сигналы тактирования к ядру микроконтроллера, памяти (это как FLASH, так EEPROM и RAM) и модулю DMA Direct Memory Access — модуль прямого доступа к памяти), системному таймеру. Также, в семействе STM32F4 на эту шину "посажены" и все порты ввода/вывода GPIO .

APB1, APB2 (Advanced Peripheral Bussess) матрицы шин периферии. Соотвественно, к остальным периферийным модулям тактовая частота распределяется уже через эти шины.



Bits 13:11 PPRE2[2:0] Делитель частоты шины APB2. Это устанавливается и очищается программно.

- **0xx**: AHB **100**: AHB/2 **101**: AHB/4 **110**: AHB/8 **111**: AHB/16

Bits 10:8 PPRE1[2:0] Делитель частоты шины APB1 Это устанавливается и очищается программно.

- **0xx**: AHB **100**: AHB/2 **101**: AHB/4 **110**: AHB/8 **111**: AHB/16

Bits 7:4 HPRE[3:0] Делитель частоты шины AHB.

- **0xxx**: SYSCLK **1000**: SYSCLK/2 **1001**: SYSCLK/4 **1010**: SYSCLK/8 **1011**: SYSCLK/16 **1100**: SYSCLK/64 **1101**: SYSCLK/128 **1110**: SYSCLK/256 **1111**: SYSCLK/512

Алгоритм настройки частоты

- Определить какие источники частоты нужны
  - Например, PLL нужен для USB
- Включить нужный источник
  - Используя Clock Control register (RCC::CR)
- Дождаться стабилизации источника
  - Используя соответствующие биты (..RDY) Clock Control register (RCC::CR)
- Назначить нужный источник на системную частоту
  - Используя Clock Configuration Register (RCC::CFGR)
- Дождаться пока источник не переключиться на системную частоту
  - Используя Clock Configuration Register (RCC::CFGR)

Контрольные вопросы

1. Что такое POD типы данных?
2. Назовите все виды типов в языке C++
3. Что такое пользовательский тип?
4. Назовите модификаторы типов.
5. Назовите правило установки размеров типов

6. Что делает оператор sizeof()?
7. Что характеризует тип std::size_t
8. Назовите фиксированные типы целых в библиотеке std
9. Что такое псевдоним типа?
10. Что такое явное и неявное преобразование типа?
11. Какие явные преобразования типов вы знаете?
12. Что делает reinterpret_cast?
13. Чем static_cast отличается от reinterpret_cast?
14. Что такое ОЗУ и ПЗУ?
15. Каков размер памяти ARM Cortex микроконтроллеров.
16. По какой архитектуре разработан ARM Cortex микроконтроллер?
17. В чем отличие Гарвардской архитектуры от Архитектура ФонНеймана?
18. Где располагаются локальные переменные?
19. Где располагаются статические переменные?
20. Где располагаются глобальные переменные?
21. Что такое стек?
22. Что такое указатель?
23. Что такое разыменовывание указателя?
24. Что означает взятие адреса?
25. Какие операции можно выполнять над указателями?
26. Что такое константный указатель?
27. Что такое указатель на константу?
28. Что такое ссылка? В чем её отличие от указателя?
29. Что такое регистр?
30. Что такое регистры общего назначения?
31. Что такое регистры специального назначения?
32. Как можно установить бит в регистре специального назначения?
33. Объясните как вызывается функция.
34. Что такое трансляция?
35. Что такое компоновка?
36. Как лучше организовывать структуру проекта и почему?
37. Что такое операторы?
38. Какие арифметические операторы вы знаете?
39. Какие логические операторы вы знаете?
40. Какие побитовые операторы вы знаете?

41. Приведите пример переопределения оператора
42. Какие еще операторы вы знаете?
43. Как сбросить бит с помощью битовых операторов?
44. Как установить бит с помощью битовых операторов?
45. Как поменять значение бита с помощью битовых операторов?
46. Какой микроконтроллер на отладочной плате XNUCLE ST32F411?
47. Какие блоки входят в состав микроконтроллера STM32F411?
48. В чем отличие ядра CortexM4 от CortexM3?
49. Назовите основные характеристики микроконтроллера STM32F411.
50. Назовите дополнительные характеристики микроконтроллера STM32F411.
51. Какие источники тактирования есть у микроконтроллера STM32F411
52. Назовите алгоритм подключения системной частоты к источнику тактирования микроконтроллера STM32F411.
53. Что такое ФАПЧ?
54. Что делает следующий код?

```
int main()
{
  int StudentUdacha = 10;
  int PrepodUdachca = 0 ;

  StudentUdacha =  StudentUdacha ^ PrepodUdachca ;
  PrepodUdachca =  StudentUdacha ^ PrepodUdachca ;
  StudentUdacha ^= PrepodUdachca ;
}
```

Порты общего назначения

Основные характеристики

- 5 портов общего назначения
- 16 линий ввода вывода
- Режимы входа:
  - цифровой с подтяжкой к 1 и к 0
  - аналоговый
- Возможность работы в альтернативном режиме

Различные режимы работы портов

- Плавющий цифровой вход (Input floating)
- Цифровой вход с подтяжкой к 1 (Input pull-up)
- Цифровой вход с подтяжкой к 0 (Input-pull-down)
- Аналоговый (Analog)
- Цифровой выход с открытым коллектором с подтяжкой к 1 или к 0 (Output open-drain with pull-up or pull-down capability)
- Цифровой двухтактный выход с подтяжкой к 1 или к 0 (Output push-pull with pull-up or pull-down capability)
- Альтернативная функция с открытым коллектором с подтяжкой к 1 или к 0 (Alternate function push-pull with pull-up or pull-down capability)
- Альтернативная функция двухтактный выход с подтяжкой к 1 или к 0 ()Alternate function open-drain with pull-up or pull-down capability)

Цифровой режим

Когда мы говорим, что порт работает в цифровом режиме, то обычно подразумеваем, что порт имеет два состояния 1(**true**) и 0(**false**) или говоря на языке электроники **Hihg** и **Low**. Эти сигналы соотвествуют уровню питания микроконтроллера, для нашего микроконтроллера обычно **High** соотвествует 3-3.3В, а **Low** - 0 В.

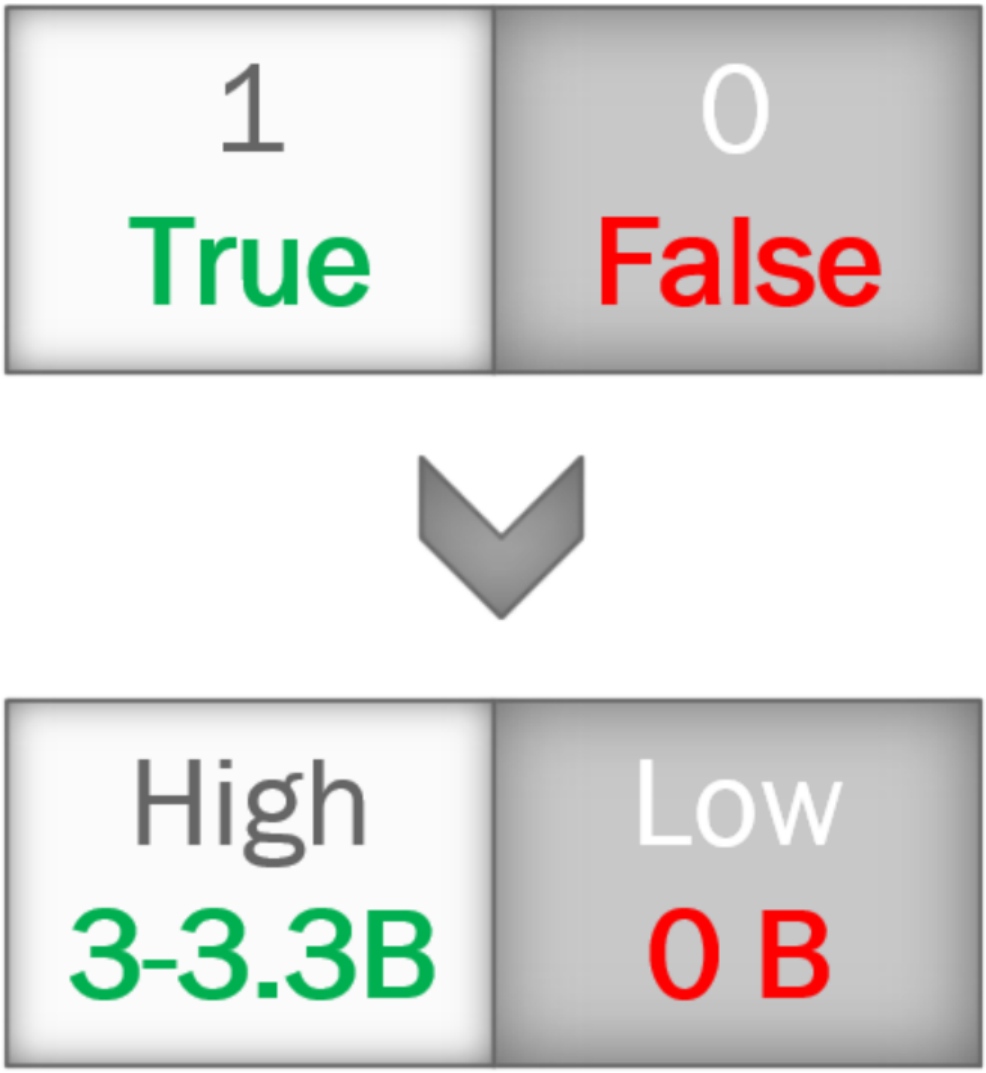


Figure 13. Цифровой режим

Работа в цифровом режиме

С помощью портов можно управлять работой других устройств.

Например, можно управлять режимом работы светодиода. На рисунке [Работа в цифровой режиме] показан источник питания, резистор, который ограничивает ток и определяет яркость светодиода. Светодиод подключен к питанию, а микроконтроллер подключают вторую часть к земеле в итоге ток течет от + к - и светодиод горит.

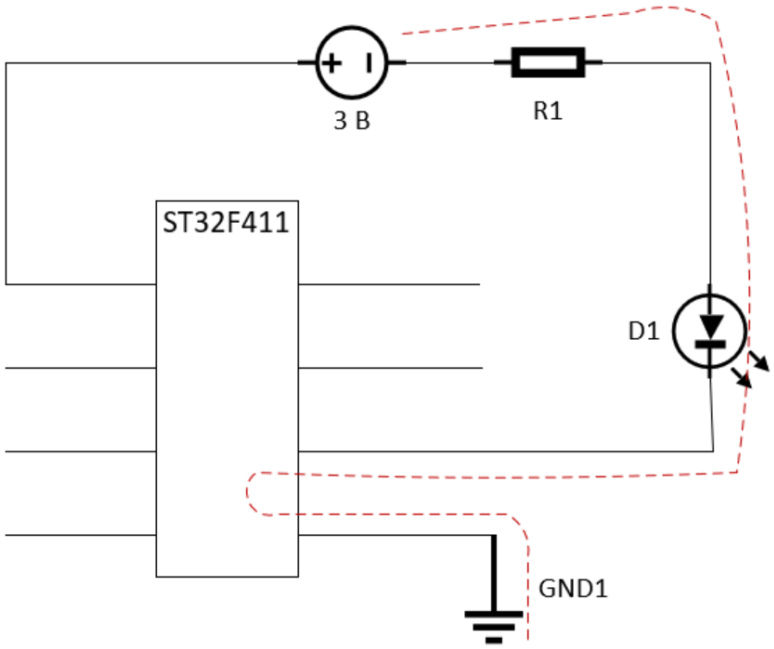


Figure 14. Работа в цифровой режиме

Цифровой выход

Когда порт настроен как цифровой выход им можно управлять. Например, если вы задали состояние порта High, то порт подключается к питнию, в итоге на ножке порта появляется высокий уровень напряжения. В случае, если вы задали Low, на ножке порта появляется низкий уровень напряжения или 0.

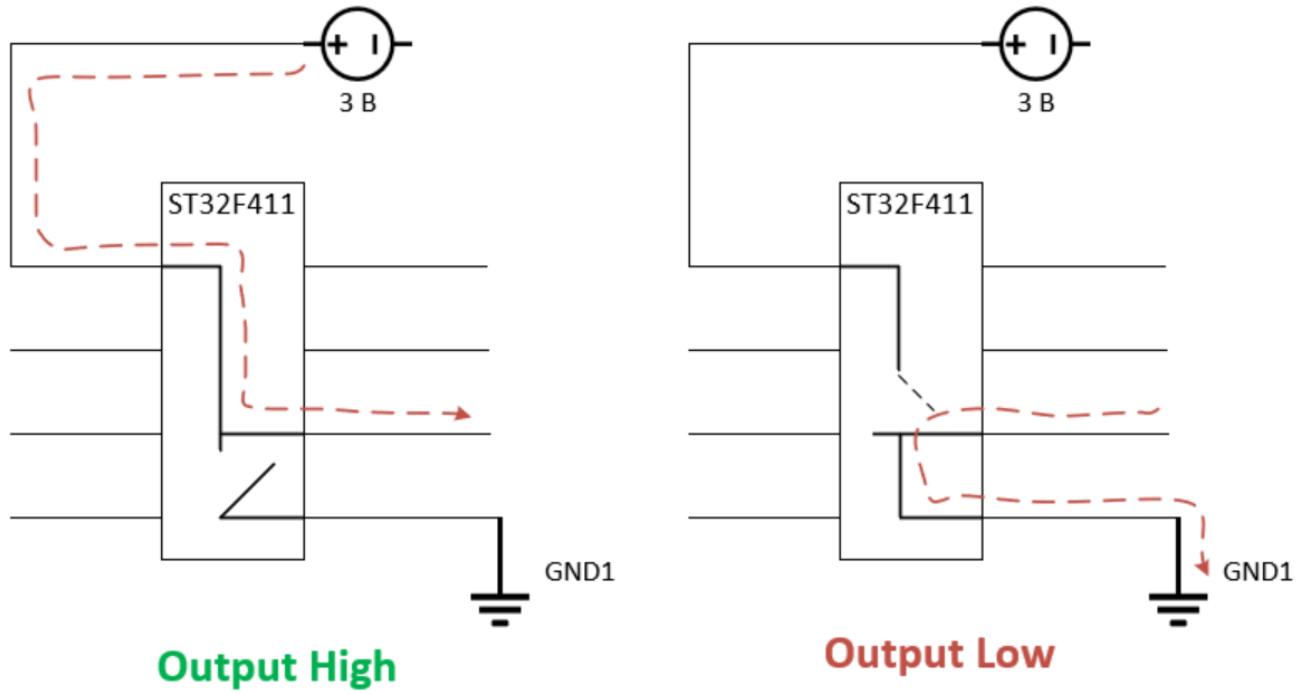


Figure 15. Цифровой выход

Цифровой вход

Когда порт настроен как цифровой вход его сопротивление бесконечно, контакт никуда не

подключен ни к земле ни к питанию, поэтому ток никуда не течет. Любое напряжение на такой ножке будет интерпретирована как 1 или 0, в зависимости от уровня напряжения высокого или низкого. В таком случае это называется "подвешенная" или плавающая ножка и наводка или шум на этой ножке может быть интерпретирован как 1 или 0 в зависимости от уровня шума. Таким образом такая плавающая "ножка" не очень хорошо, так как могут генерироваться ложные переходы

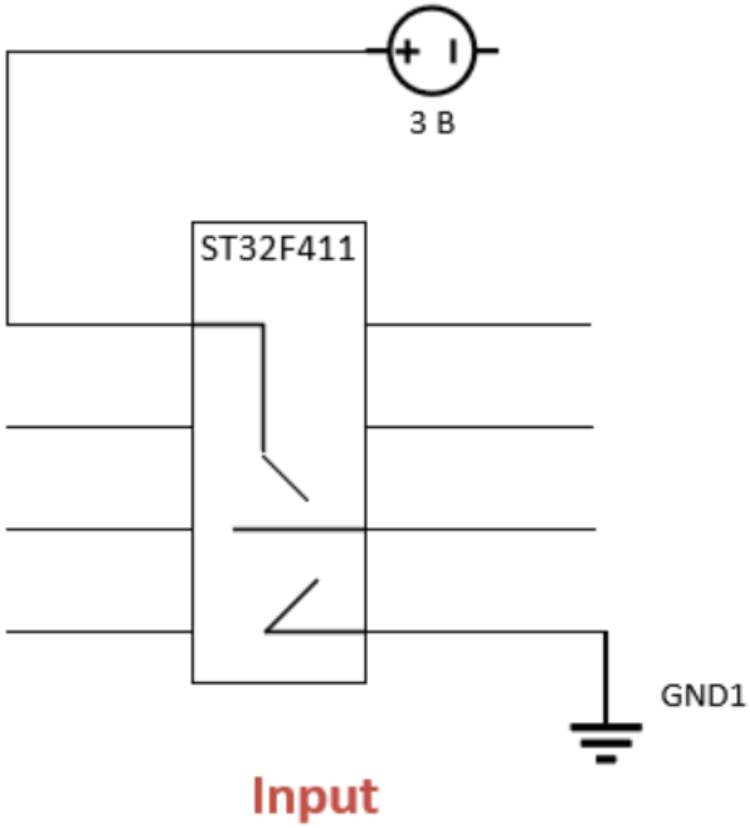


Figure 16. Цифровой вход

Цифровой вход с подтяжкой

Плавающий сигнал на подвешенной ножке может быть причиной следующих проблем

- Разное значение при считывании (1 или 0) в разные моменты времени
- Ложные переходы (если настроено прерывание, то вы псотоянно будет входить в обработчик)
- Повышенно потребление из-за того, что схема входного буфера для ножки потребляет ток когда сигнал на ножке не полностью High или Low

Чтобы избавиться от плавющего сигнала на ножке обычно её подтягивают к 0 или 1. Обычно эта опция уже есть внутри микроконтроллера и может быть настроена

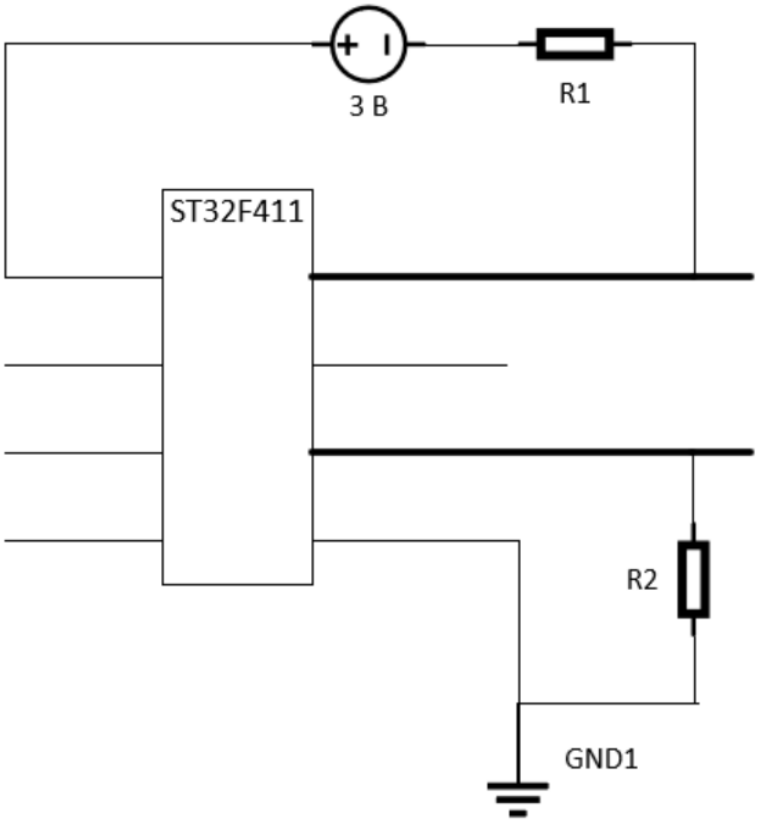


Figure 17. Цифровой вход с подтяжкой

Цифровой вход с подтяжкой к 1

Вход с подтяжкой к 1.

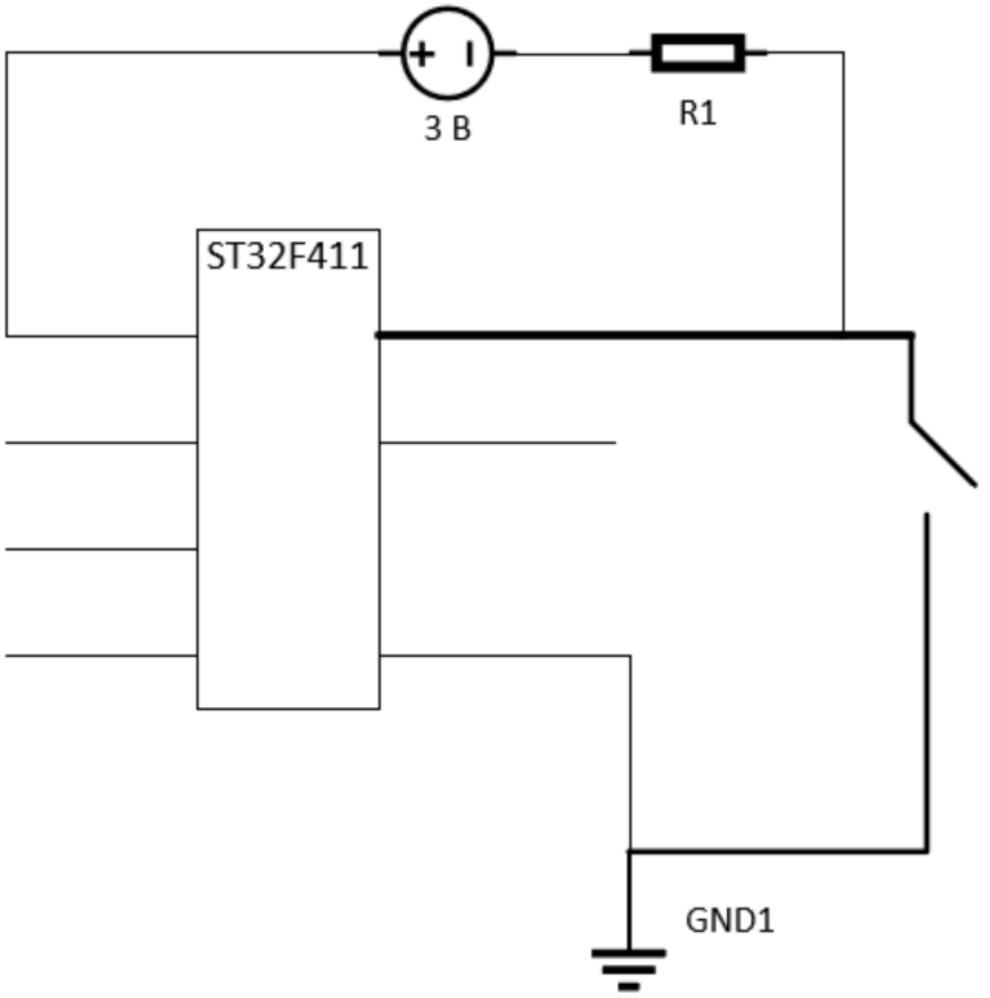


Figure 18. Цифровой вход с подтяжкой к 1

Регистры портов общего назначения

- **GPIOx_MODER (port mode register)**. Задает режимы работы индивидуально каждого из вывода порта.
  - Каждый из выводов GPIO может быть настроен как вход, выход, работать в аналоговом режиме, или подключен к одной из альтернативных функций.
- **GPIOx_OSPEEDR (port output speed register)**. Задает скорость работы порта:
  - 400кГц, 2МГц, 10МГц и 40Мгц.
- **GPIOx_PUPDR (port pull-up/pull-down register)**. Задает подключение подтягивающих резисторов
  - Без подтягивающего резистора, с подтяжкой к «+» питания, с подтяжкой к «gnd» земле.
- **GPIOx_IDR (input data register)**. регистр входных данных, из которого считывается состояние входов порта.
- **GPIOx_ODR (output data register)**. регистр выходных данных. Запись числа в младшие 16 бит, приводит к появлению соответствующих уровней на выводах порта.
- **GPIOx_OTYPER (port output type register)**. В режиме выхода или альтернативной функции, соответствующий бит регистра устанавливает тип выхода.

    - Push-Pull (двухтактный) или Open Drain (выход с открытым коллектором).

Регистры портов общего назначения

- **GPIOx_BSRR (port bit set/reset register)**. Это регистр побитовой установки/сброса данных на выходных линиях порта.

Этот регистр дает возможность выполнения «атомарных» операций побитового управления выходными линиями порта. При этом нет риска возникновения прерывания между операциями чтения и модификации при записи числа в выходной регистр **GPIOx_ODR**. Атомарные операции с регистром **GPIOx_BSRR** выполняются за один цикл записи. При этом операции установки/сброса имеют однократный эффект. Предыдущее состояние модифицируемого бита регистра **GPIOx_BSRR** совершенно неважно, можно сколько угодно «пихать» туда единицы и каждый раз регистр **GPIOx_ODR** будет реагировать соответствующим образом.

- 32 разряда этого регистра позволяют индивидуально установить или сбросить каждый из 16 младших разрядов регистра **GPIOx_ODR**.
- Младшие 16 разрядов регистра **GPIOx_BSRR** отвечают за установку соответствующего бита регистра **GPIOx_ODR** в «1», старшие 16 разрядов сбрасывают этот бит. Установка/сброс осуществляются записью «1» в соответствующий разряд. Запись «0» никак не воздействует на состояние соответствующего бита выходного регистра данных. При одновременной записи двух единиц в биты установки и сброса, приоритет имеет операция установки бита.
    - **GPIOxLCKR (port configuration lock register)**. Позволяет «заморозить», то есть защитить от изменения текущую настройку конфигурации. Можно запретить модификацию следующих регистров управления: **GPIOx_MODER**, **GPIOx_OTYPER**, **GPIOx_OSPEEDR**, **GPIOx_PUPDR**, **GPIOx_AFRL**, **GPIOx_AFRH**.

Работа с портами в режиме общего назначения

- Определить какой порт нужно использовать
- Подключить нужный порт к источнику частоты
    - Через регистр **RCC→AHB1ENR**
- Определить нужна ли какая-то специфическая скорость для конктретного порта и если да, настроить её
    - Через регистр **GPIOx_OSPEEDR**
- Определить нужна ли подтяжка и какой ти выводов надо использовать
    - **GPIOx_PUPDR** и **GPIOx_OTYPER**
- Определить какие выводы портов нужно использовать как выход, а какие как вход
- Настроить нужные вывода порта на вход или выход
    - Через регистр **GPIOE→MODER**

Задания

3 Задания, кто не успеет в лабораторной, завершить дома.

Содержание отчета

- Описать процесс записи в регистр по его адресу
- Описать полученный результат записи в регистры MODER и ODR
- Описать процесс вызова функции в IAR
- Описать регистры общего назначения для семейства Cortex-m4
- Описать все виды источников тактирования параметры их настройки
- Описать процесс получения заданной по варианту частоты тактирования
- Описать ошибки, сделанные при выполнении работы
- Ответить на контрольные вопросы
- Сделать выводы

Задание 1

1. Создать проект в соответствии с Заданием 1 Лекции 1
2. Написать программу в main.cpp

```
#include "rccregisters.hpp"   //for RCC
int main() {
  RCC::AHB1ENR::GPIOCEN::Enable::Set() ;
  for(;;) {
    //код лабораторной здесь.
  }
  return 0 ;
}
```

1. Открыть спецификацию на микроконтроллер STM32F411 на странице
   - На странице 38 узнать на каком адресе расположен модуль **GPIOC**
   - На странице 157, узнать смещение регистра **GPIOC_MODER** относительно адреса **GPIOC** и вычислить адрес регистра **GPIOC_MODER**
2. Записать по адресу регистра **GPIOC_MODER** биты 10,16,18 в 1, а биты 11,17,19 в 0.
3. Открыть спецификацию на микроконтроллер STM32F411.
   - На странице 159, узнать смещение регистра **GPIOC_ODR** относительно адреса **GPIOC** и вычислить адрес регистра **GPIOC_ODR**
4. Записать по адресу регистра **GPIOC_ODR** биты 5,8,9 в 1
5. Написать функцию задержки используя цикл **void Delay()**. И вызвать ей после

установки битов

6. После задержки Записать по адресу регистра **GPIOC_ODR** биты 5,8,9 в 0
7. Вызвать функцию сброса битов
8. Запустить программу, в пошаговой отладке в окне Register, посмотреть, что происходит с регистрами **GPIOC_MODER** и **GPIOC_ODR**.
9. Посмотреть видео https://www.youtube.com/watch?v=hukr8ZqS5Ys

Задание 2

1. Создать указатель типа **volatile int***, которая будет содержать адрес регистра GPIOC_MODER
2. Создать переменную типа **int** и записать туда значение, которое содержится по этому адресу
3. Запустить отладку, запустить окно Memory и проверить, что по этому адресу лежит это значение
4. В отладке открыть окно регистры и проверить, что значение регистра GPIOC_MODER, совпадает со значением в переменной типа **int**
5. Проделать тоже самое с произвольным адресом в ОЗУ.
6. Посмотреть видео https://www.youtube.com/watch?v=M53lJlcFOZQ

Задание 3

1. Ознакомиться с техническим описанием регистров тактирования микропроцессора
2. Произвести настройку тактирования микропроцессора по варианту см. [Варианты для системы тактирования]
3. Выполнить пошаговую отладку

Table 7. Варианты для системы тактирования

Номер варианта	Источник тактирования	Частота тактирования
0	HSI	1 Мгц
1	HSE	
2	PLL	
3	HSI	2 Мгц
4	HSE	
5	PLL	
6	HSI	4 Мгц
7	HSE	
8	PLL	