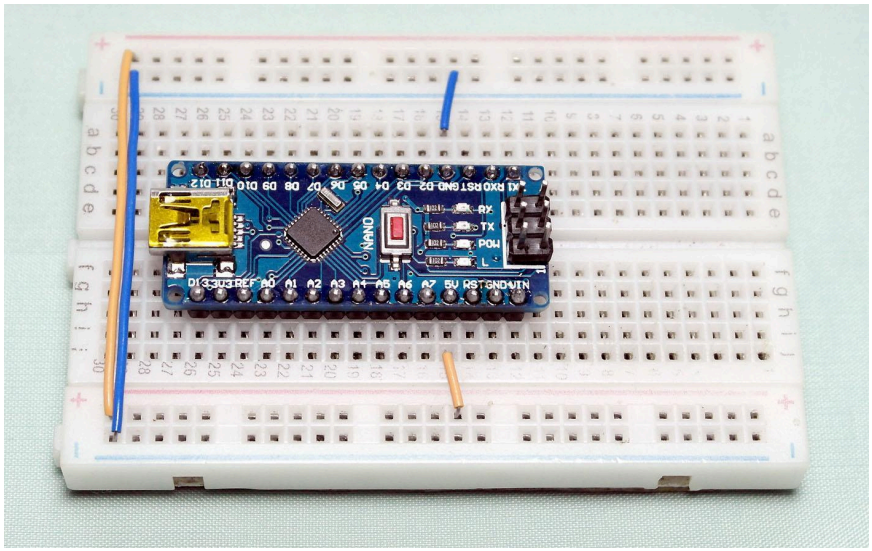
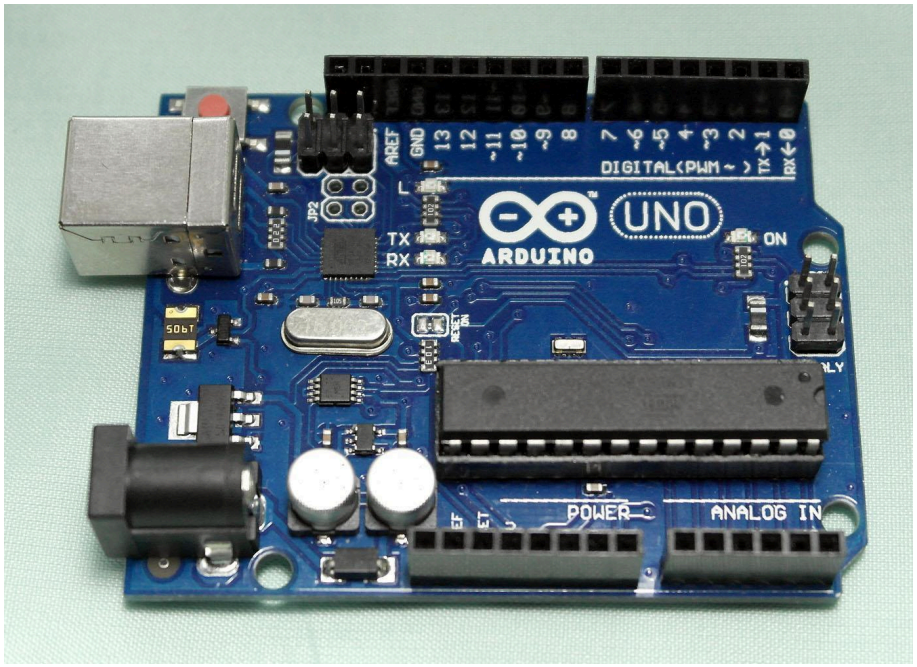
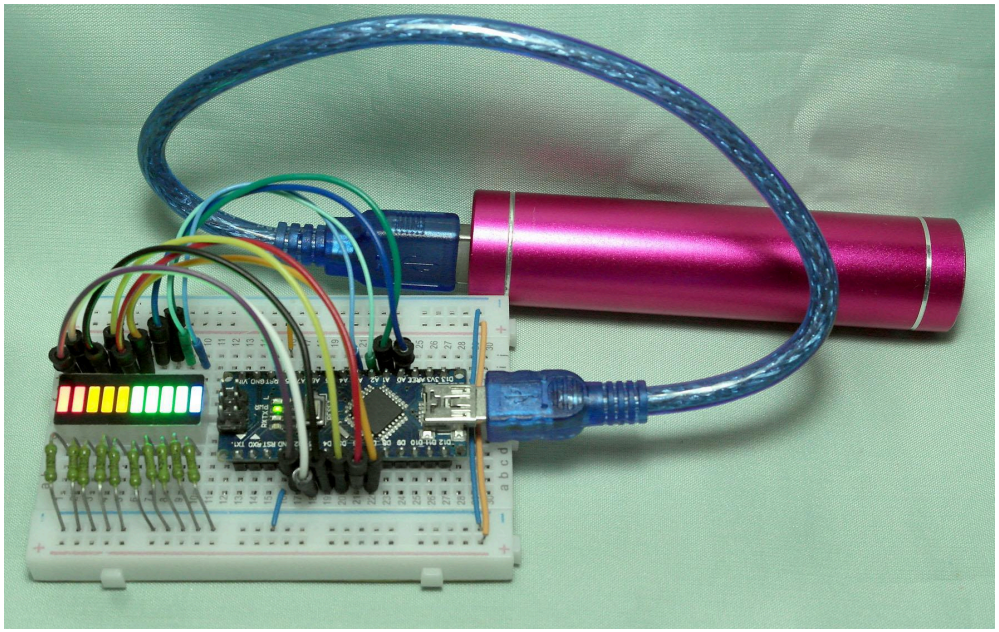
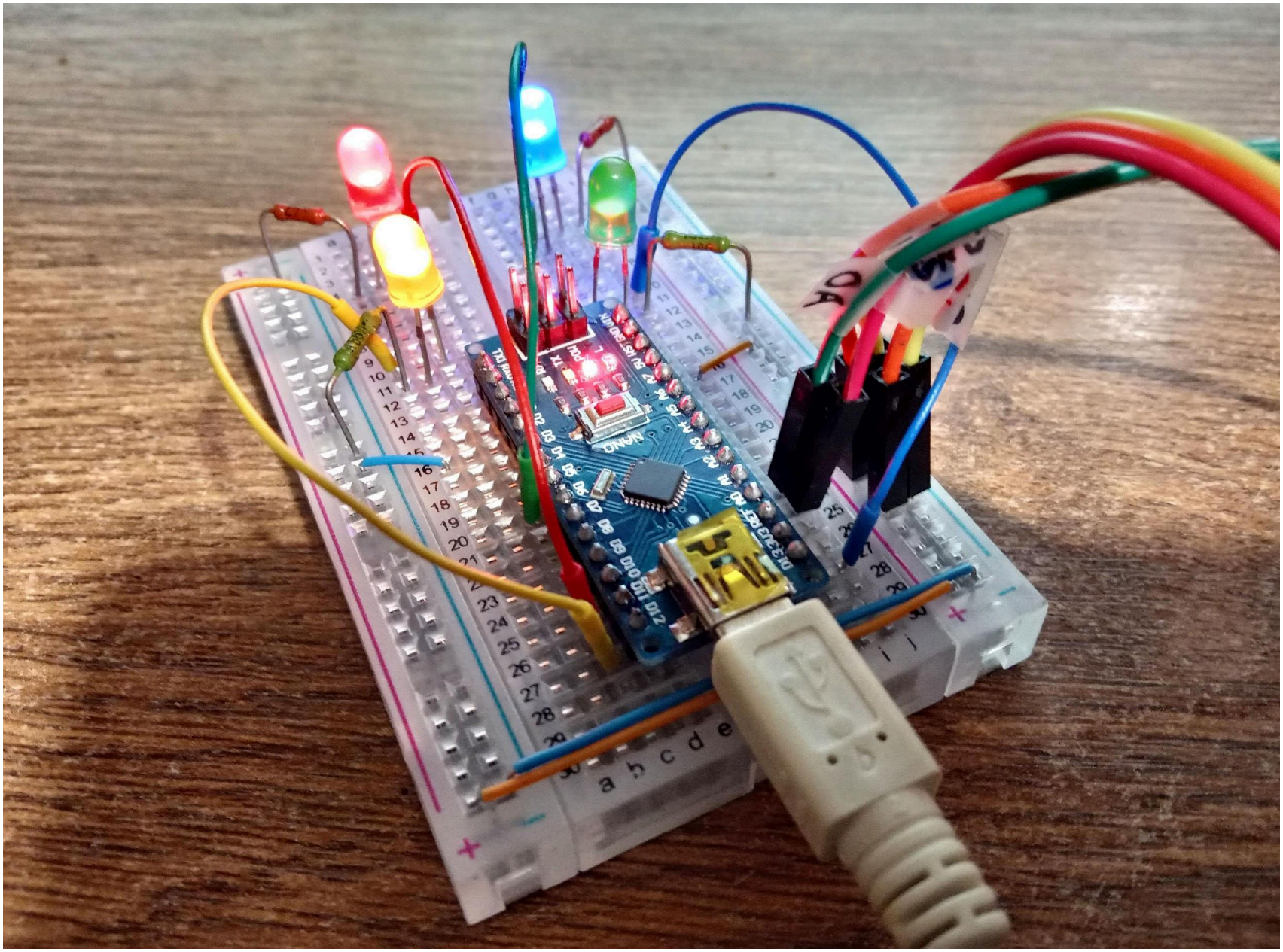
ПЛАТЫ «ARDUINO» (НА ОСНОВЕ МК ATMEGA328P)

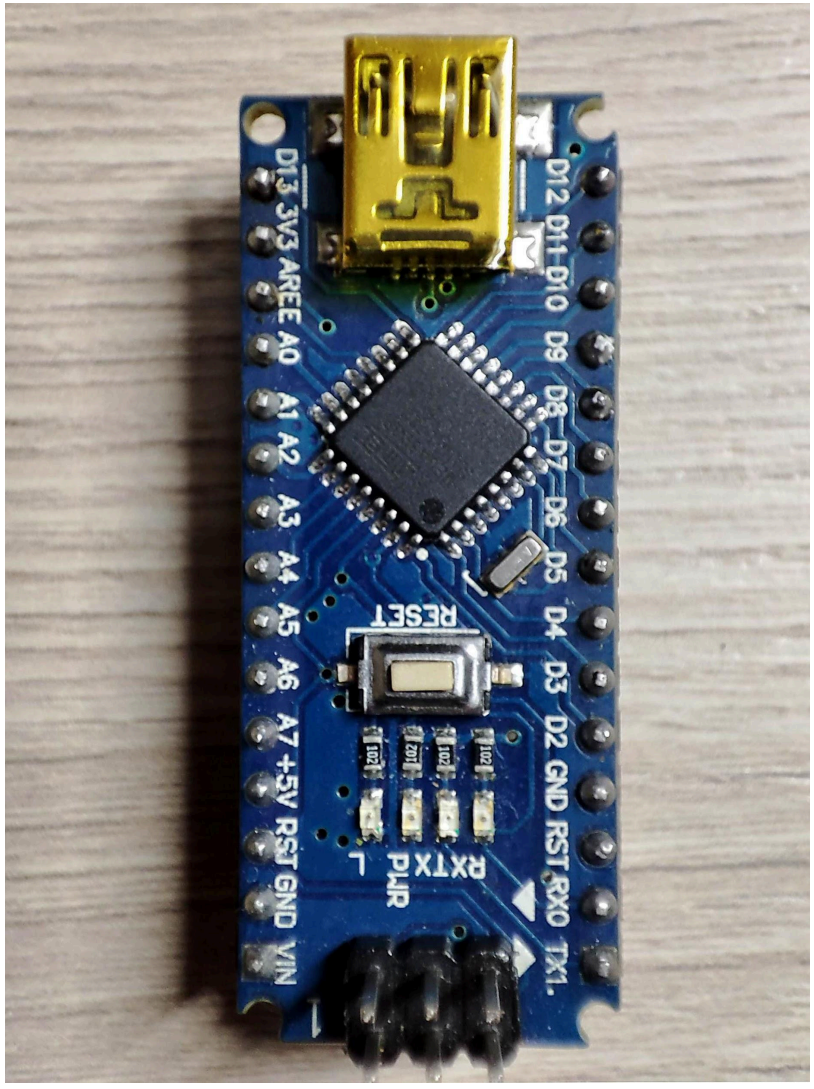


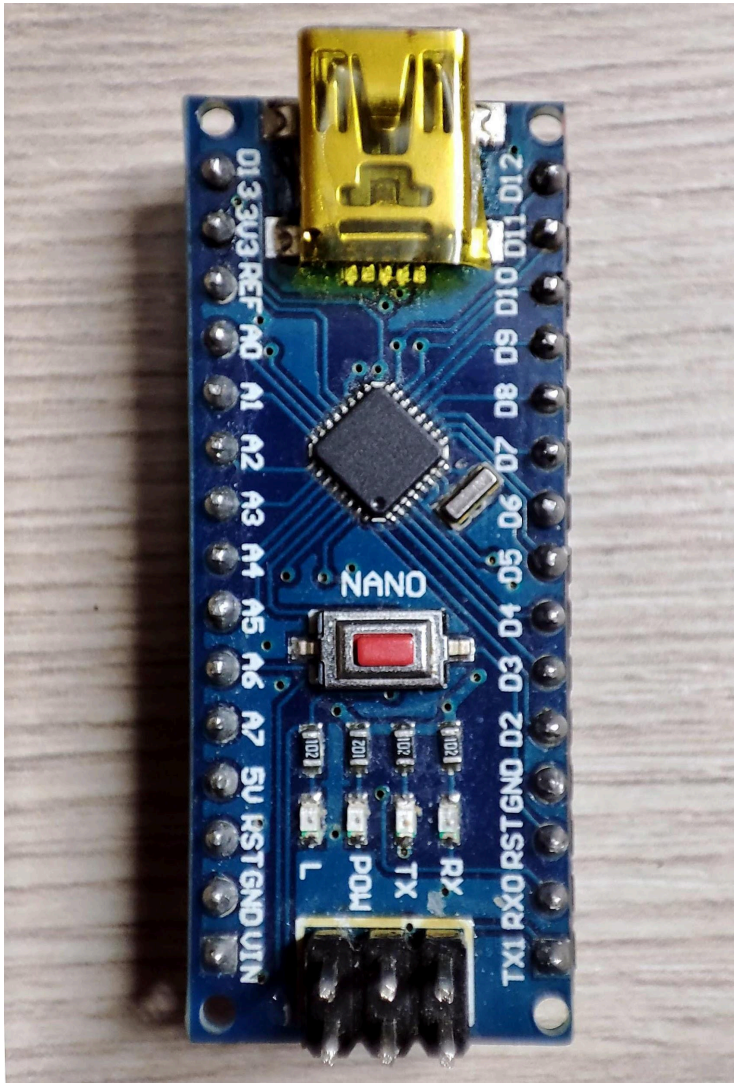




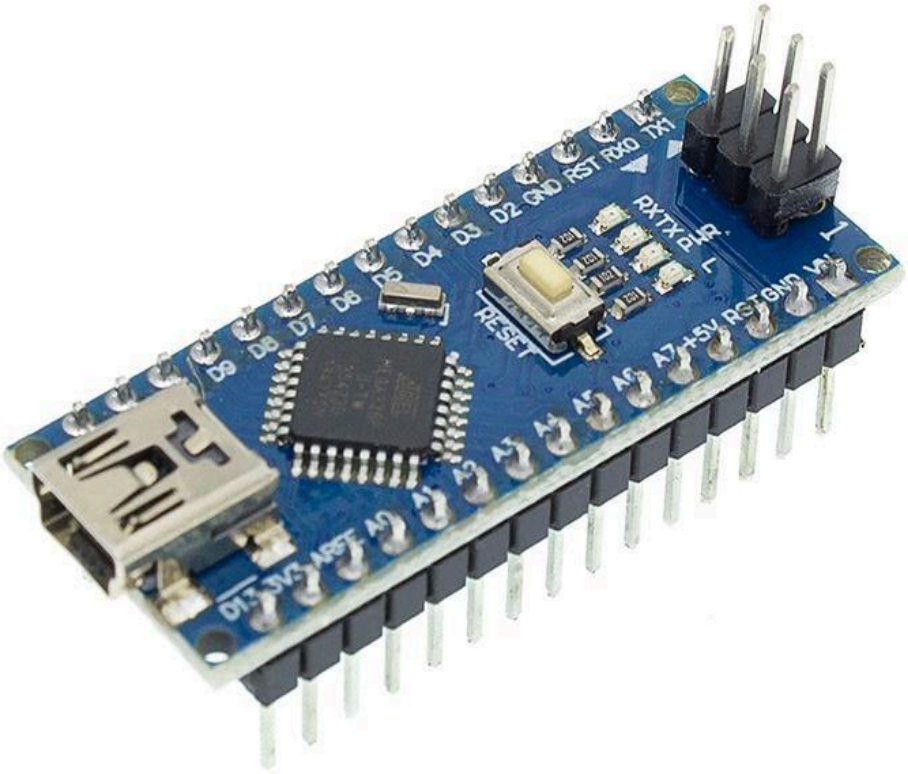


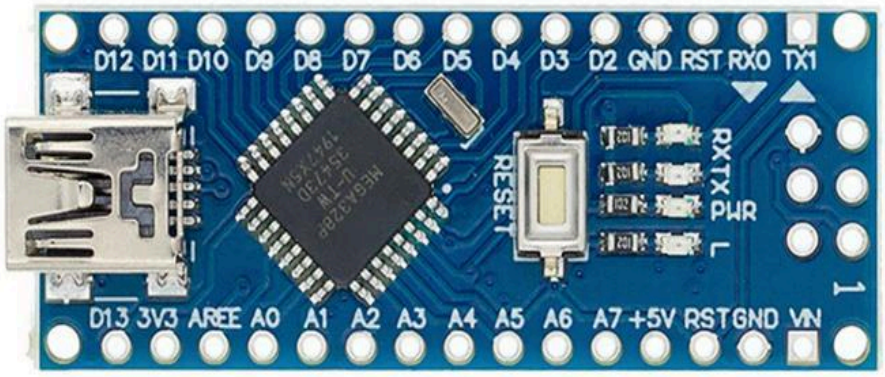
Arduino Nano (Arduino IDE, Code Vision AVR, Proteus)

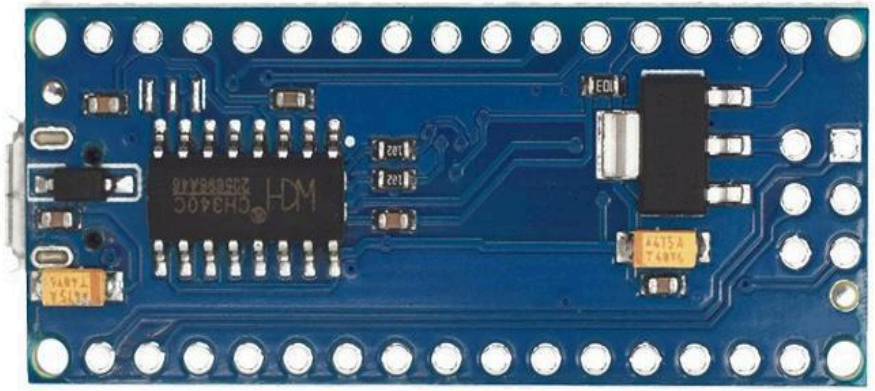




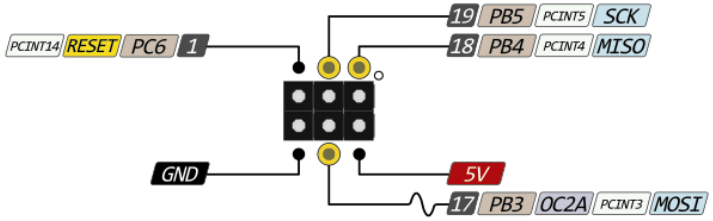
IDE — Integrated Development Environment

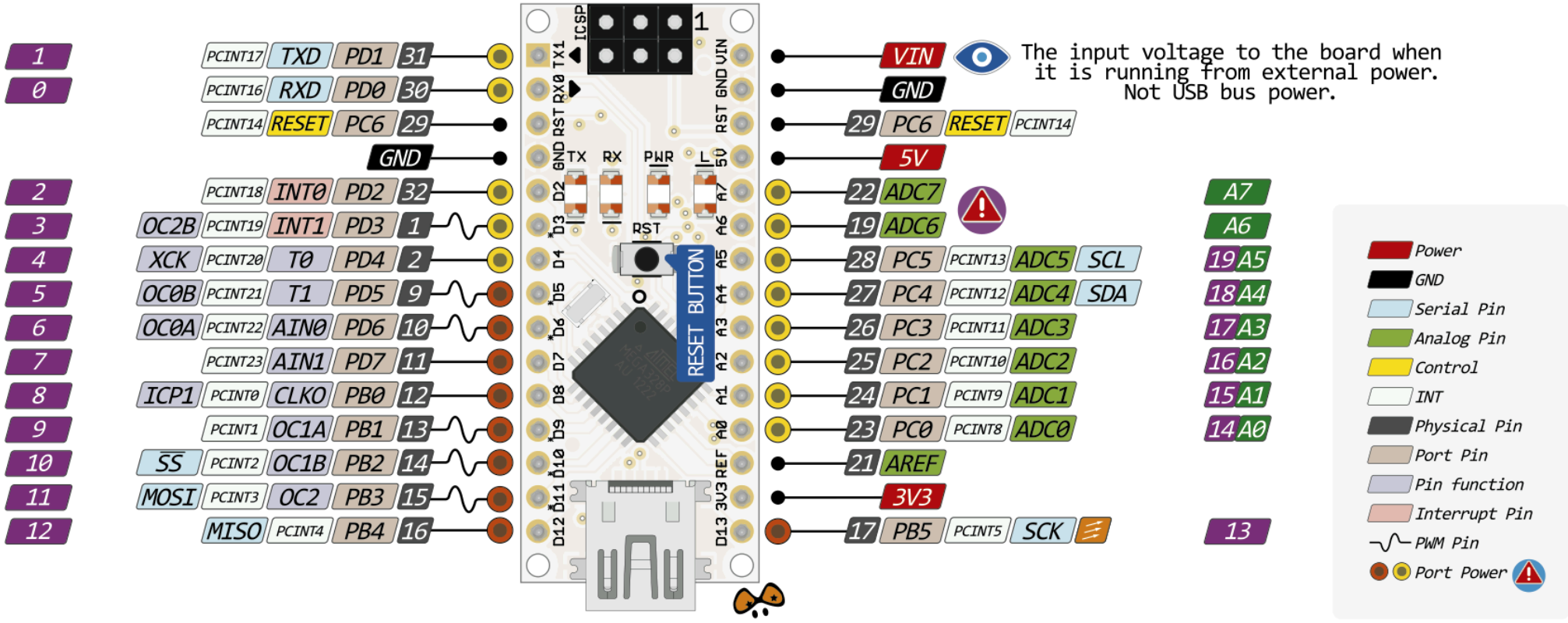

D12 D11 D10 D9 D8 D7 D6 D5 D4 D3 D2 GND RST RX0 TX1
RXTX PWR L
RESET
D13 3V3 AREF A0 A1 A2 A3 A4 A5 A6 A7 +5V RST GND VIN


D12 D11 D10 D9 D8 D7 D6 D5 D4 D3 D2 GND RST RX0 TX1
RXTX PWR L
RESET
D13 3V3 AREF A0 A1 A2 A3 A4 A5 A6 A7 +5V RST GND VIN



NANO PINOUT





The input voltage to the board when it is running from external power. Not USB bus power.

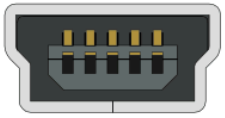
- Power
- GND
- Serial Pin
- Analog Pin
- Control
- INT
- Physical Pin
- Port Pin
- Pin function
- Interrupt Pin
- PWM Pin
- Port Power

The power sum for each pin's group should not exceed 100mA

Absolute MAX per pin 40mA
recommended 20mA

Absolute MAX 200mA
for entire package

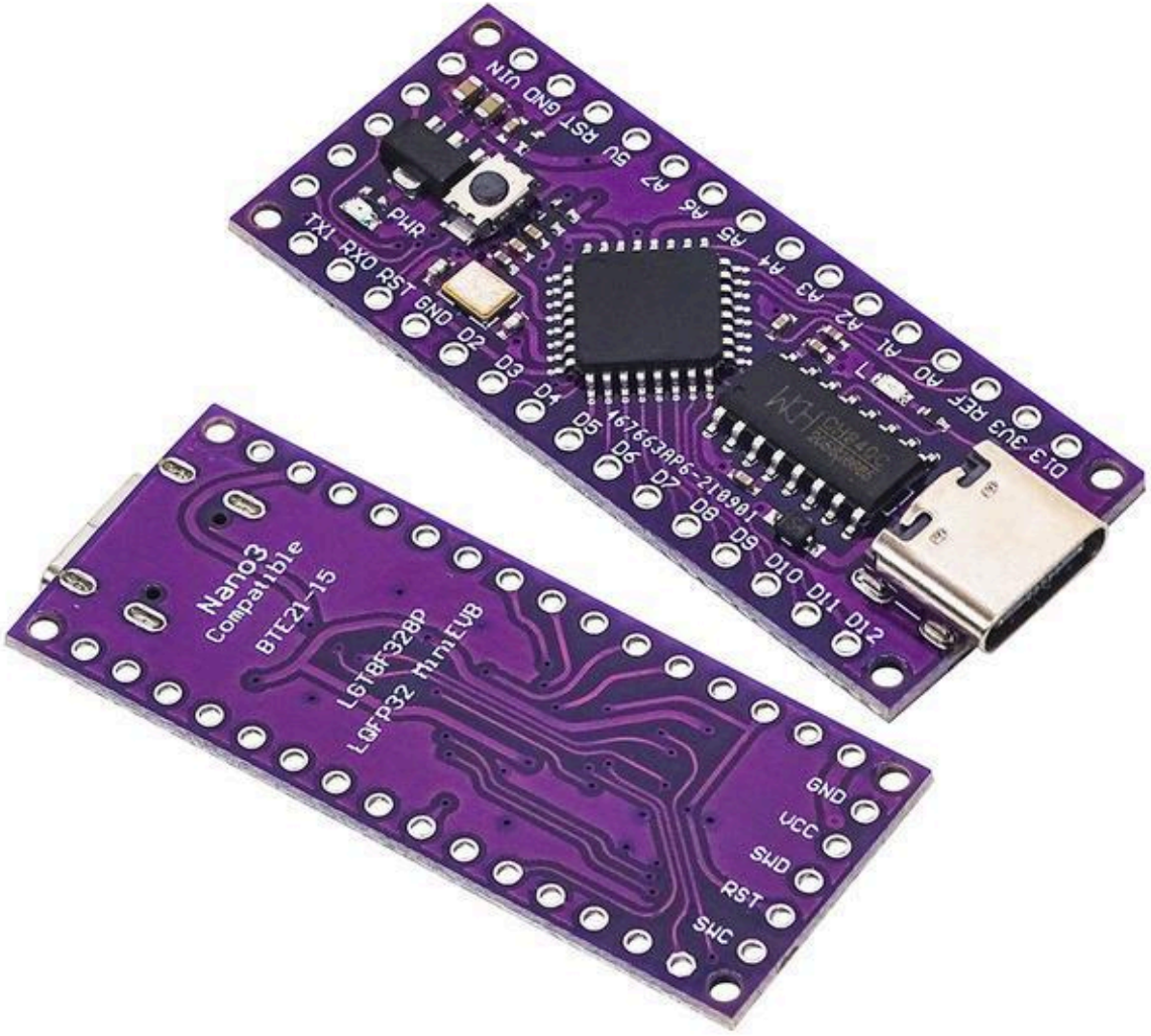
USB JACK
Mini Type B



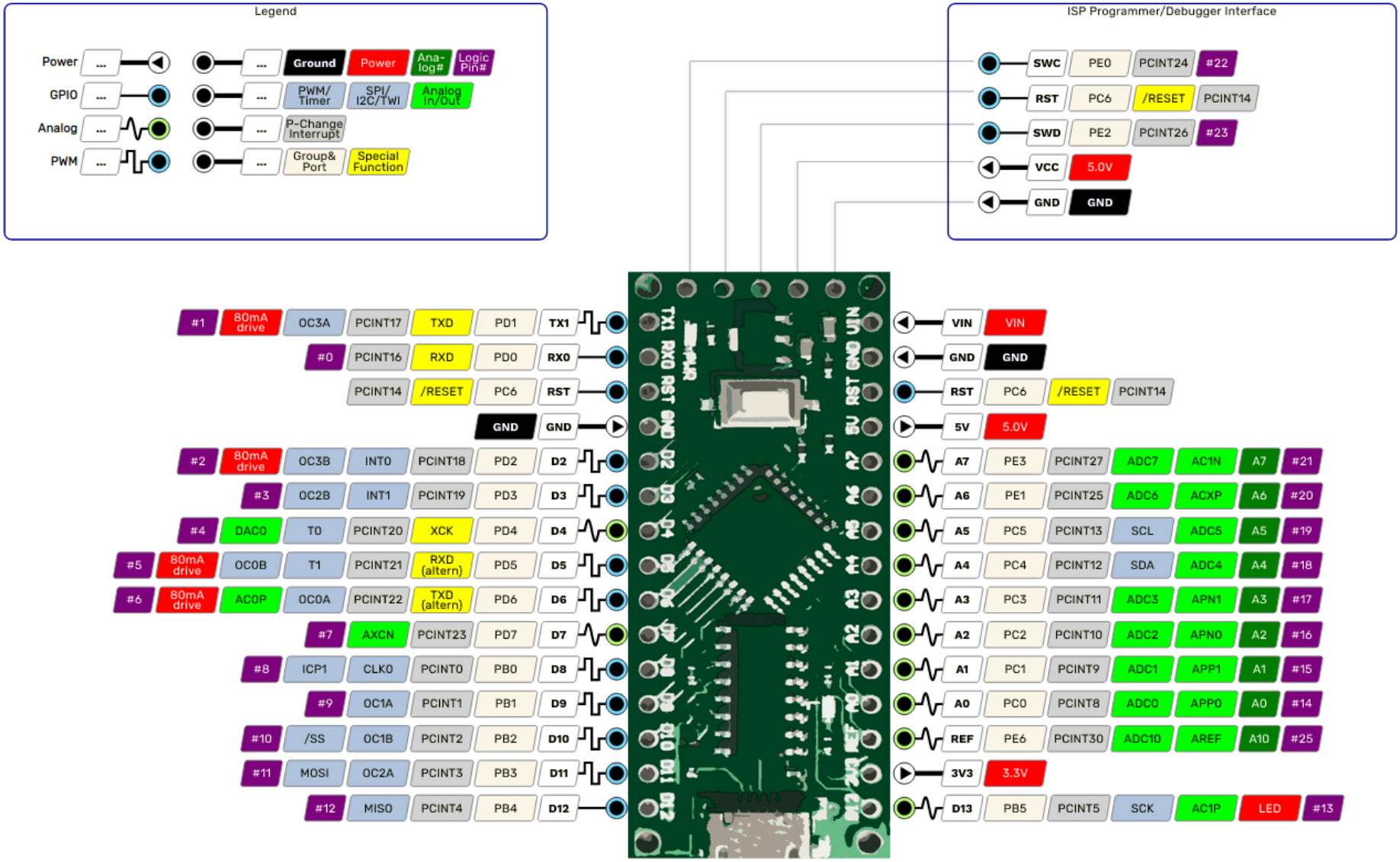
Analog exclusively Pins

bq

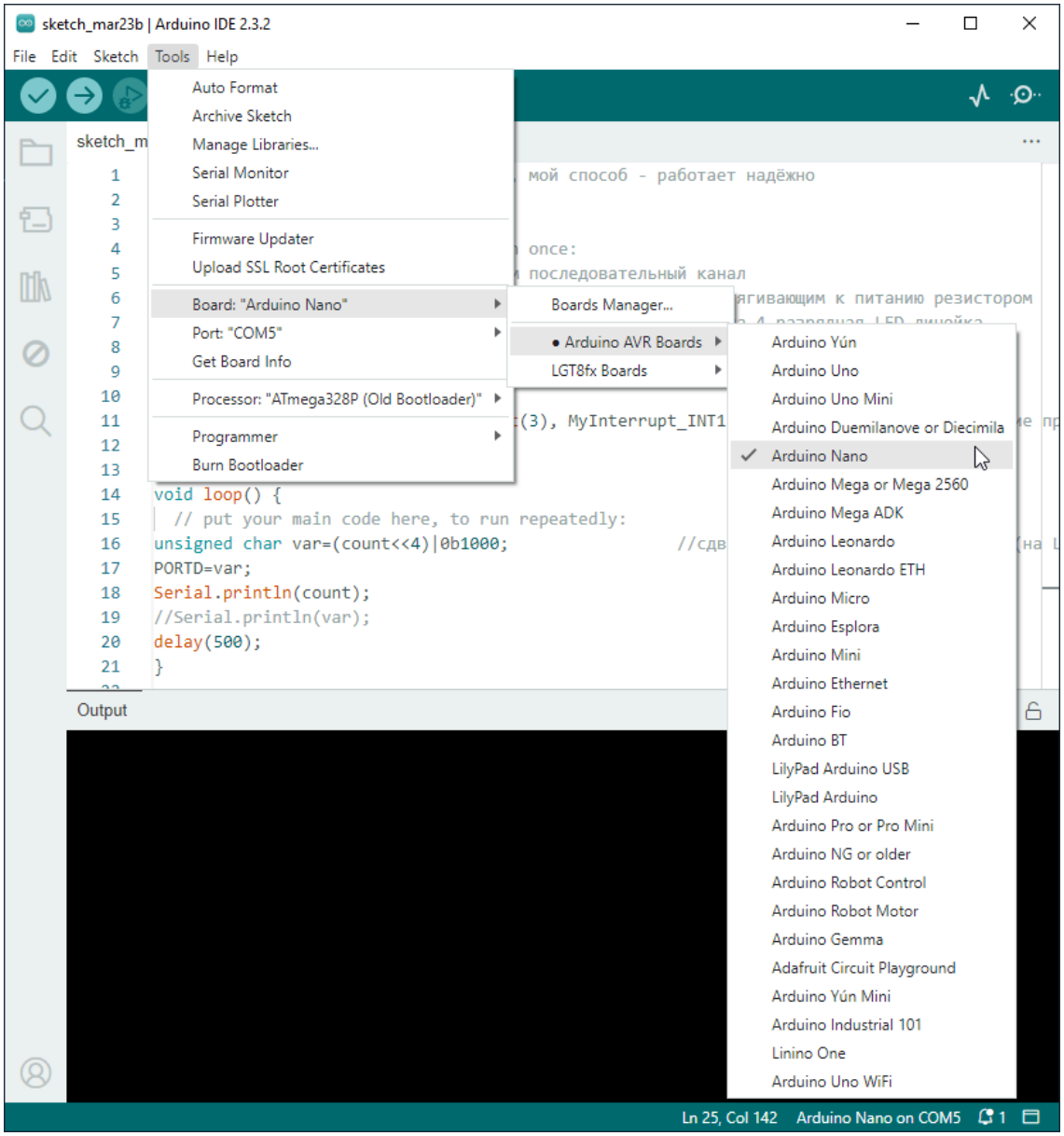
LGT8F328P (только Arduino IDE)

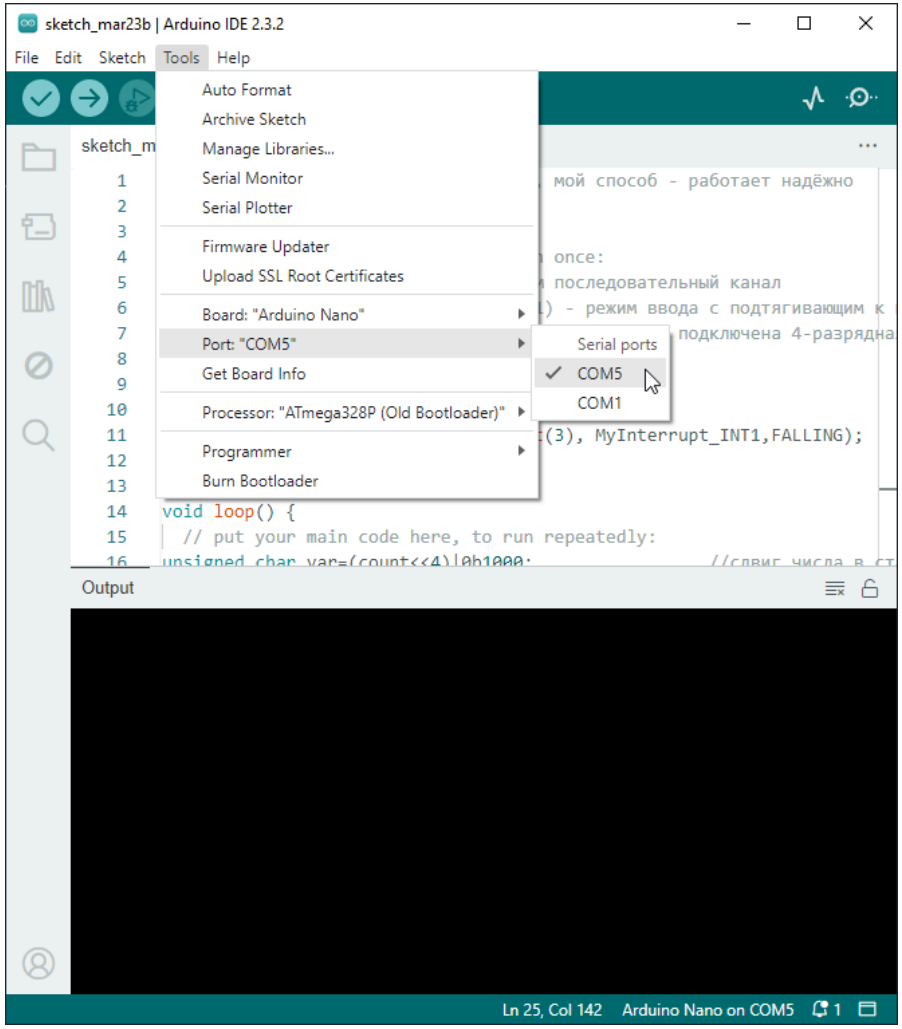


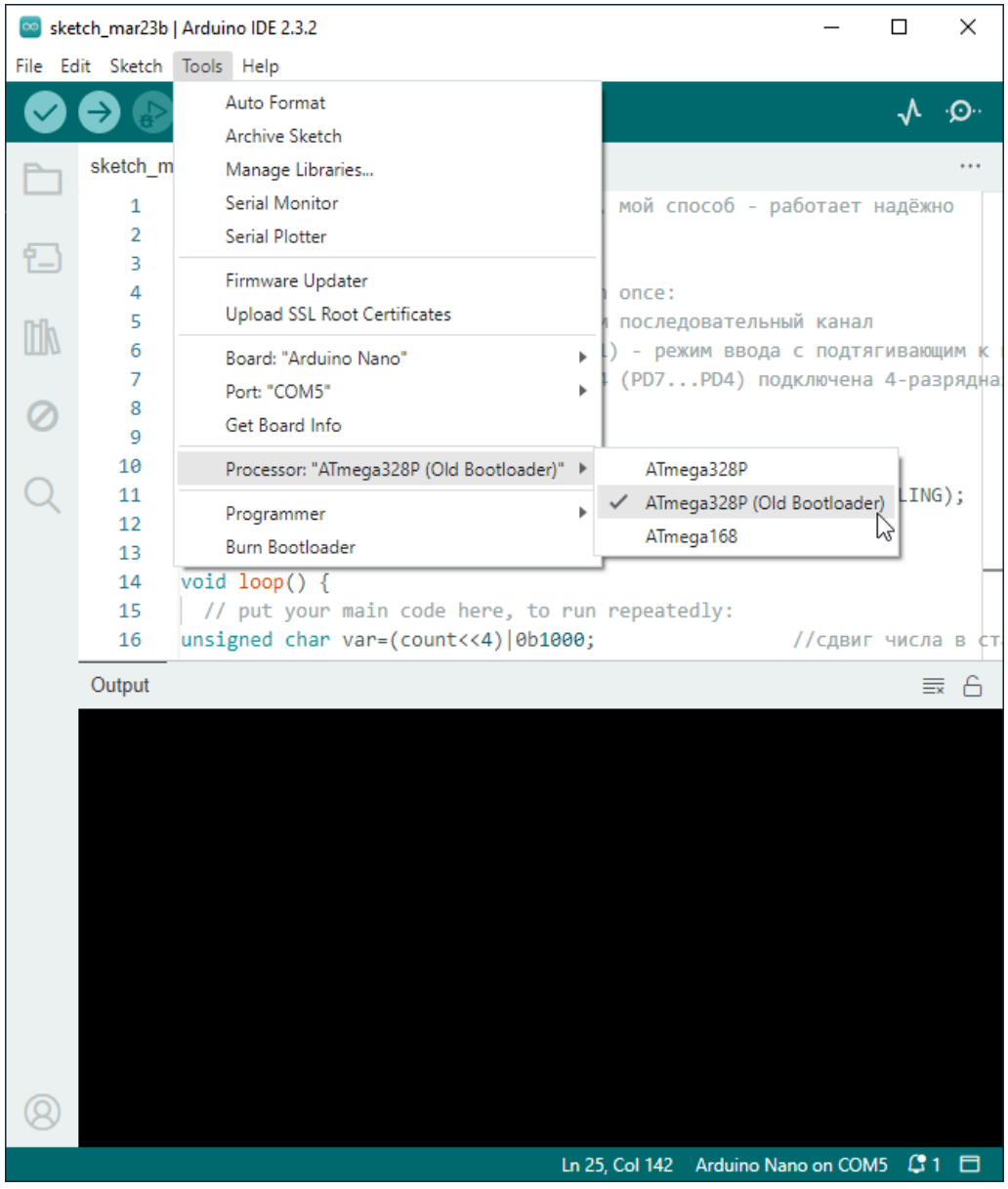
LGT8F328P Nano

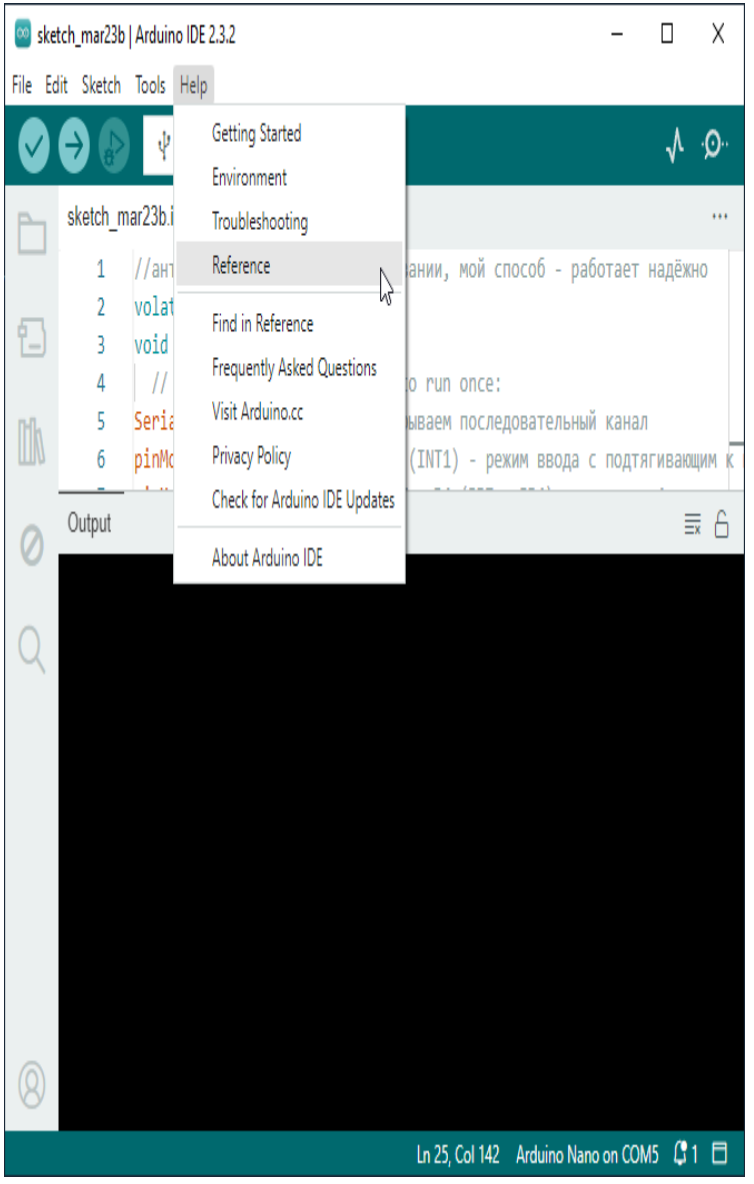


Arduino IDE https://www.arduino.cc/en/software
Arduino IDE 1.8.19 и старее для Windows 7 (русифицированные)
Arduino IDE 2.3.2 и новее для Windows 10 (англоязычная)


sketch_mar23b | Arduino IDE 2.3.2
File Edit Sketch Tools Help
Auto Format
Archive Sketch
Manage Libraries...
Serial Monitor
Serial Plotter
Firmware Updater
Upload SSL Root Certificates
Board: "Arduino Nano"
Port: "COM5"
Get Board Info
Processor: "ATmega328P (Old Bootloader)"
Programmer
Burn Bootloader
Boards Manager...
• Arduino AVR Boards
LGT8fx Boards
Arduino Yún
Arduino Uno
Arduino Uno Mini
Arduino Duemilanove or Diecimila
Arduino Nano
Arduino Mega or Mega 2560
Arduino Mega ADK
Arduino Leonardo
Arduino Leonardo ETH
Arduino Micro
Arduino Esplora
Arduino Mini
Arduino Ethernet
Arduino Fio
Arduino BT
LilyPad Arduino USB
LilyPad Arduino
Arduino Pro or Pro Mini
Arduino NG or older
Arduino Robot Control
Arduino Robot Motor
Arduino Gemma
Adafruit Circuit Playground
Arduino Yún Mini
Arduino Industrial 101
Linino One
Arduino Uno WiFi
мой способ - работает надёжно
once:
последовательный канал
(3), MyInterrupt_INT1
void loop() {
// put your main code here, to run repeatedly:
unsigned char var=(count<<4)|0b1000;
PORTD=var;
Serial.println(count);
//Serial.println(var);
delay(500);
}
Output
Ln 25, Col 142 Arduino Nano on COM5


sketch_mar23b | Arduino IDE 2.3.2
File Edit Sketch Tools Help
Auto Format
Archive Sketch
Manage Libraries...
Serial Monitor
Serial Plotter
Firmware Updater
Upload SSL Root Certificates
Board: "Arduino Nano"
Port: "COM5"
Get Board Info
Processor: "ATmega328P (Old Bootloader)"
Programmer
Burn Bootloader
Serial ports
COM5
COM1
мой способ - работает надёжно
once:
последовательный канал
подключена 4-разрядна
(3), MyInterrupt_INT1,FALLING);
void loop() {
// put your main code here, to run repeatedly:
Output
Ln 25, Col 142 Arduino Nano on COM5


sketch_mar23b | Arduino IDE 2.3.2
File Edit Sketch Tools Help
Auto Format
Archive Sketch
Manage Libraries...
Serial Monitor
Serial Plotter
Firmware Updater
Upload SSL Root Certificates
Board: "Arduino Nano"
Port: "COM5"
Get Board Info
Processor: "ATmega328P (Old Bootloader)"
Programmer
Burn Bootloader
ATmega328P
ATmega328P (Old Bootloader)
ATmega168
void loop() {
// put your main code here, to run repeatedly:
unsigned char var=(count<<4)|0b1000;
Output
Ln 25, Col 142 Arduino Nano on COM5


sketch_mar23b | Arduino IDE 2.3.2
File Edit Sketch Tools Help
Getting Started
Environment
Troubleshooting
Reference
Find in Reference
Frequently Asked Questions
Visit Arduino.cc
Privacy Policy
Check for Arduino IDE Updates
About Arduino IDE
Output
Ln 25, Col 142 Arduino Nano on COM5

Новые платы *Nano* как правило поступают с новым загрузчиком (*Bootloader*). Используется плата со старым загрузчиком (*Old Bootloader*) для возможности прошивки МК и из среды полнофункциональной CodeVisionAVR V3.12. Работа в среде *CodeVisionAVR V3.12* подробно описана здесь «Методические рекомендации по РГР по предмету «Основы микропроцессорной техники» (приложение А).

Работа в *Proteus 7.10* (система моделирования электронных устройств) описана здесь «Краткие сведения о модуле ISIS пакета программ PROTEUS».

Кроме того, есть ***видеолекции*** (работа в Proteus 7, 8; программирование МК AVR в среде AVRstudio на ассемблере и в среде Code Vision AVR V3.12), ссылки на playlists:
Часть 1 «Основы микропроцессорной техники»
Часть 2 «Аппаратные средства микроконтроллеров»

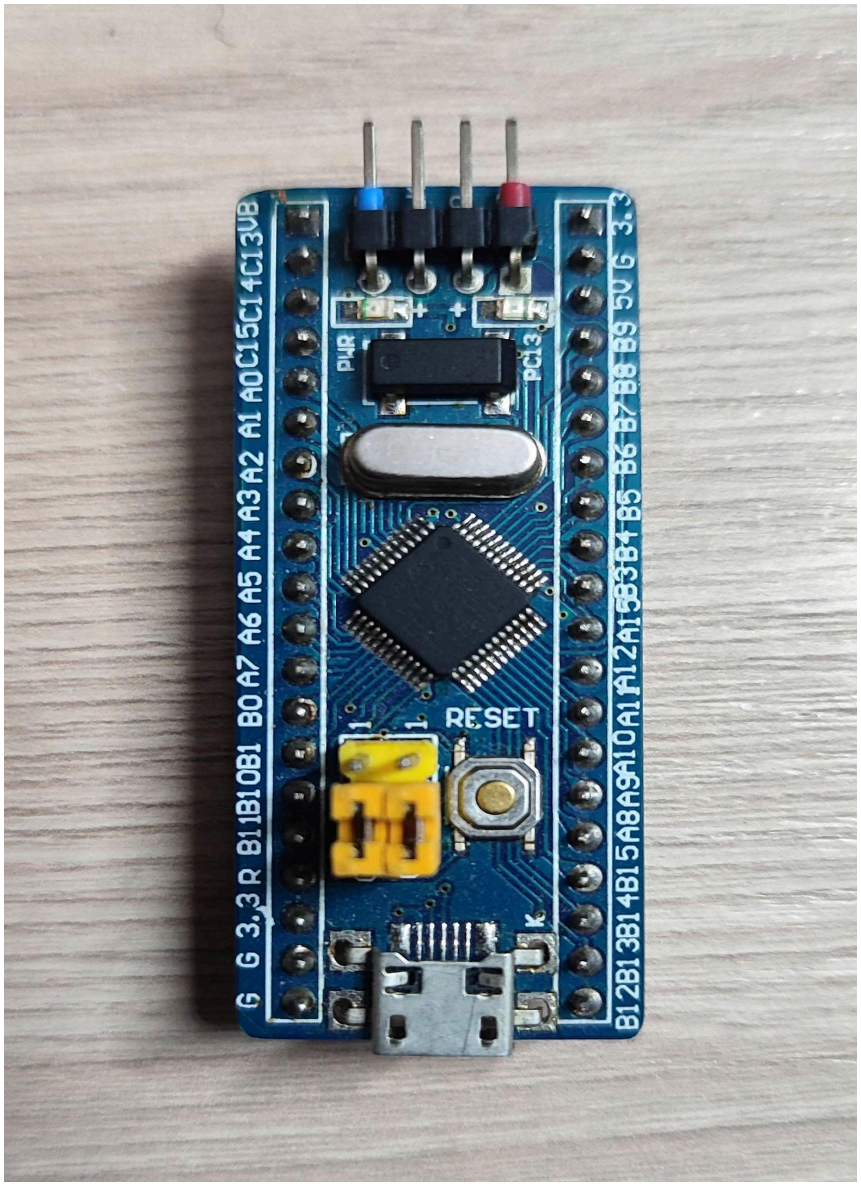
Дистрибутивы:

Code Vision AVR V3.12 (полнофункциональная)

Proteus 7.10, Proteus 8.15, Proteus 8.9.

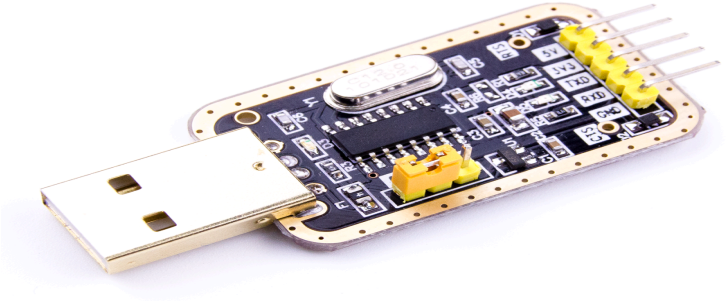
Пароль архива (при необходимости) – **ЭиМТ**

STM32F103C8T6 (ARDUINO IDE, KEIL + CUBEMX)

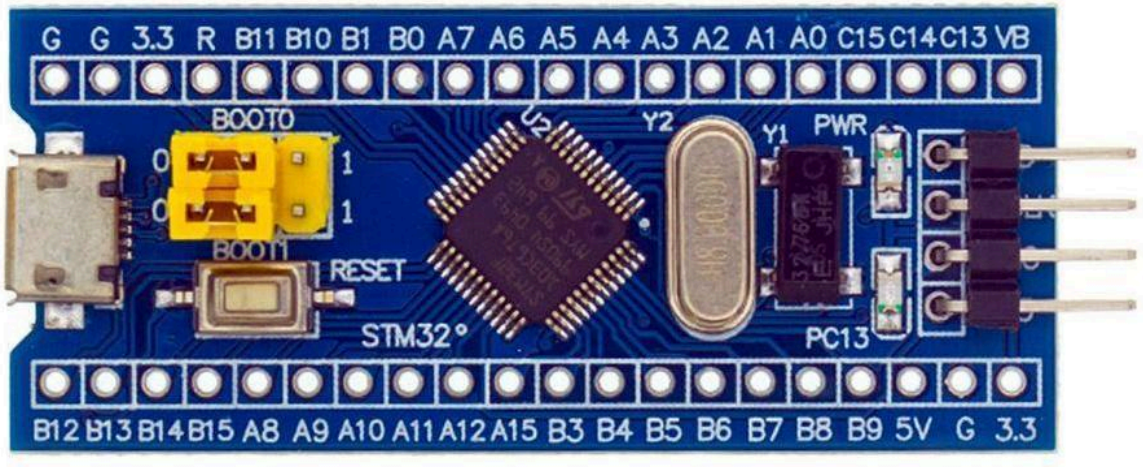


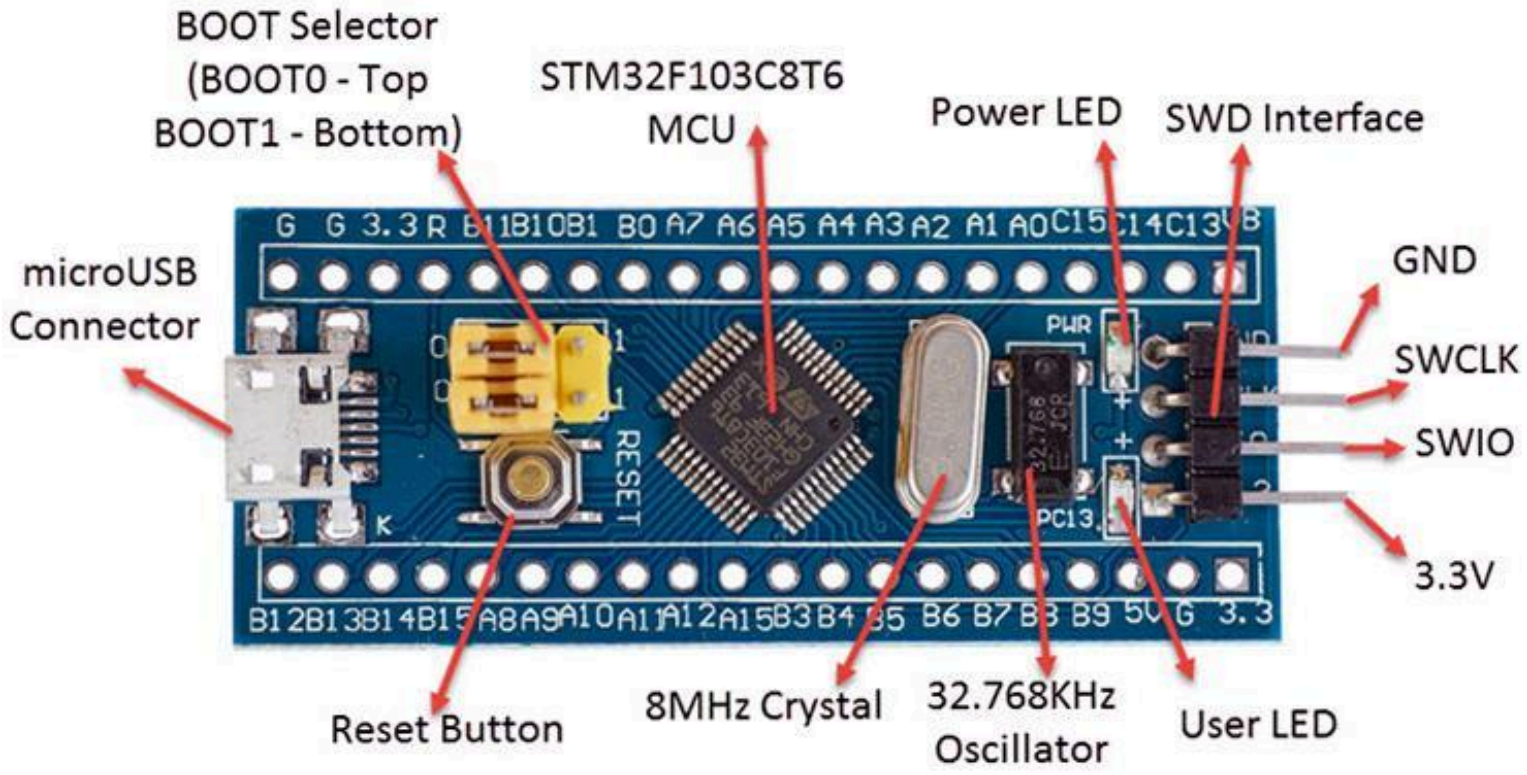
Программатор с отладочным интерфейсом

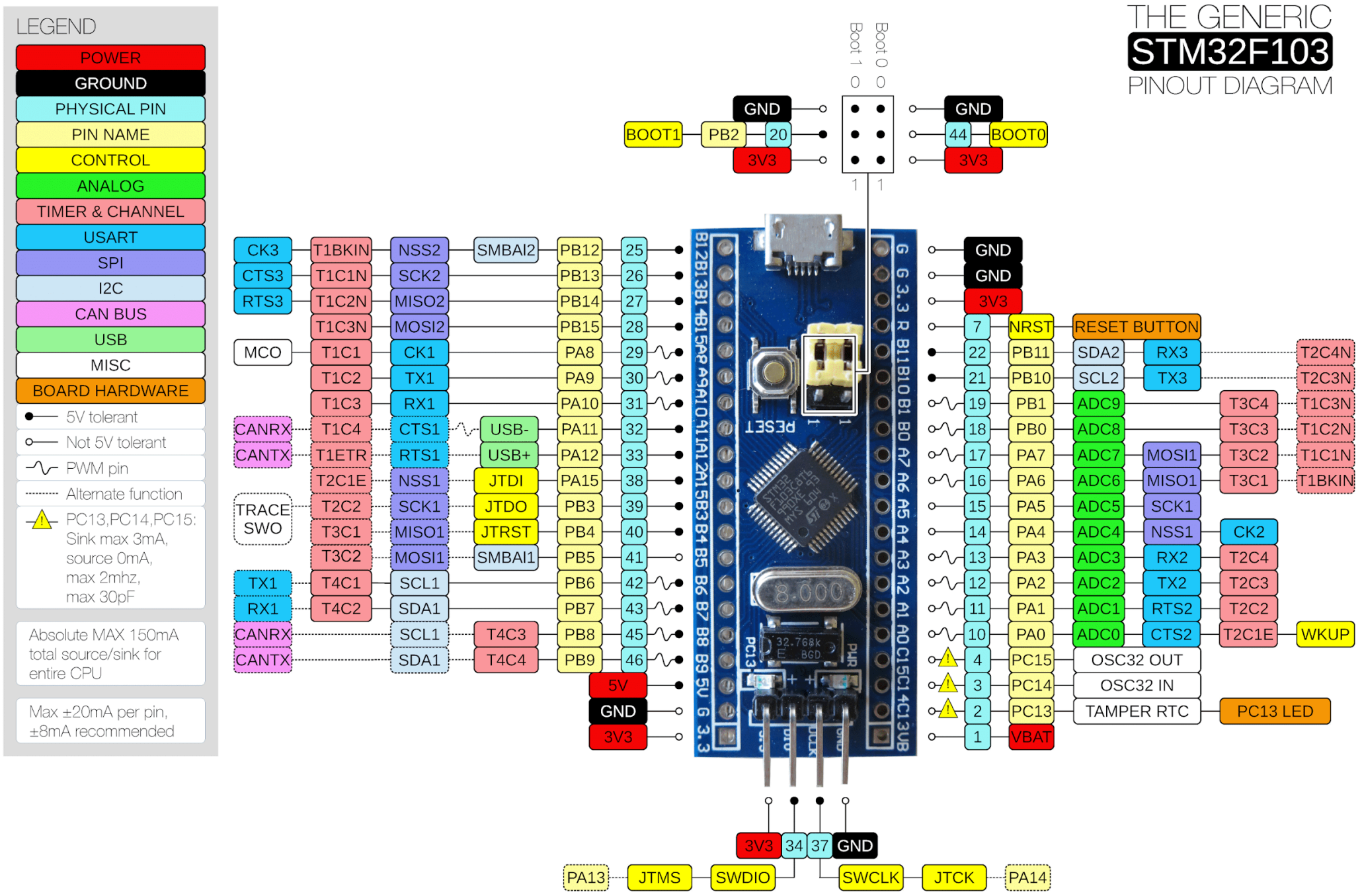
Переходник USB-UART

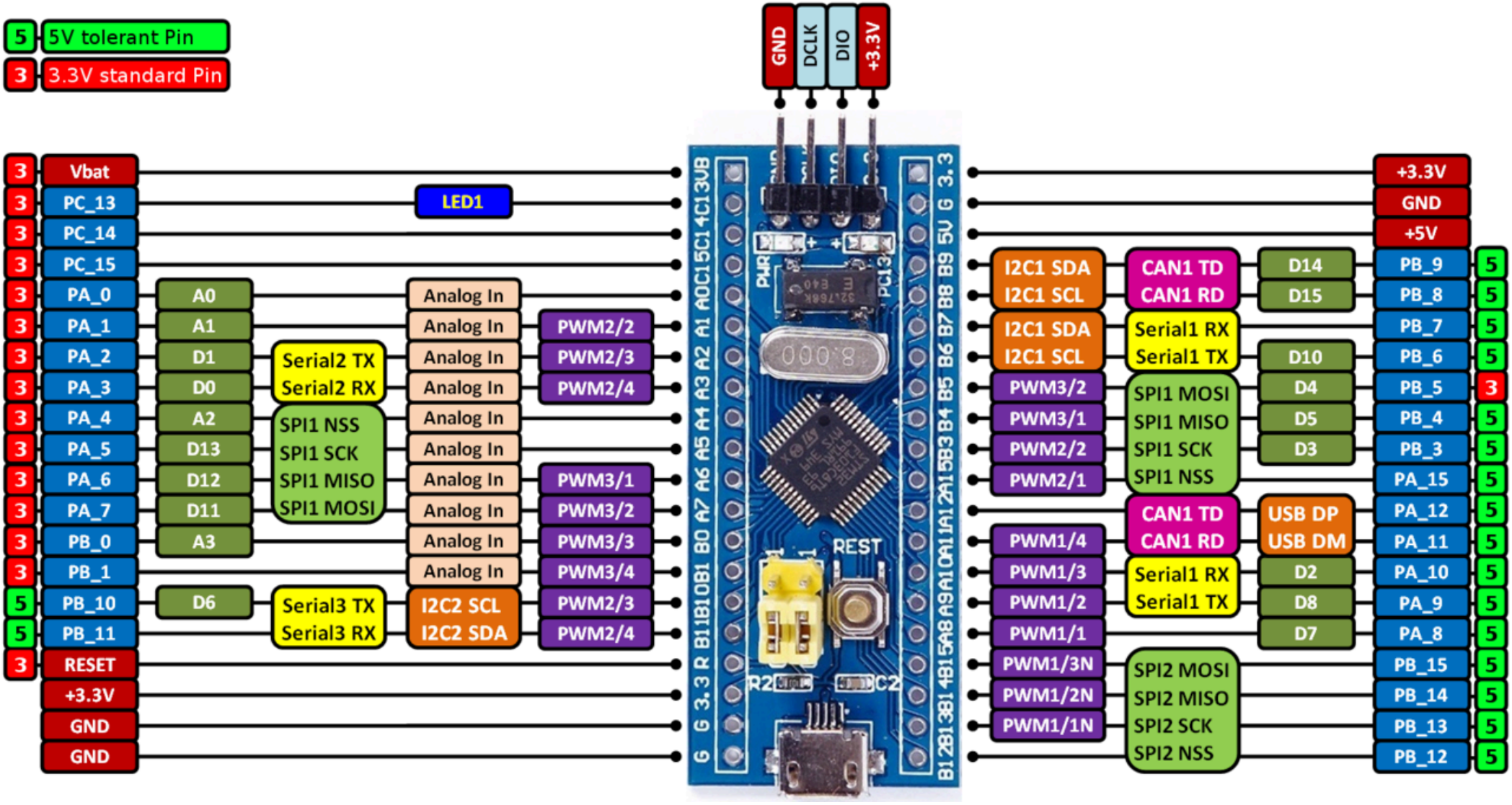


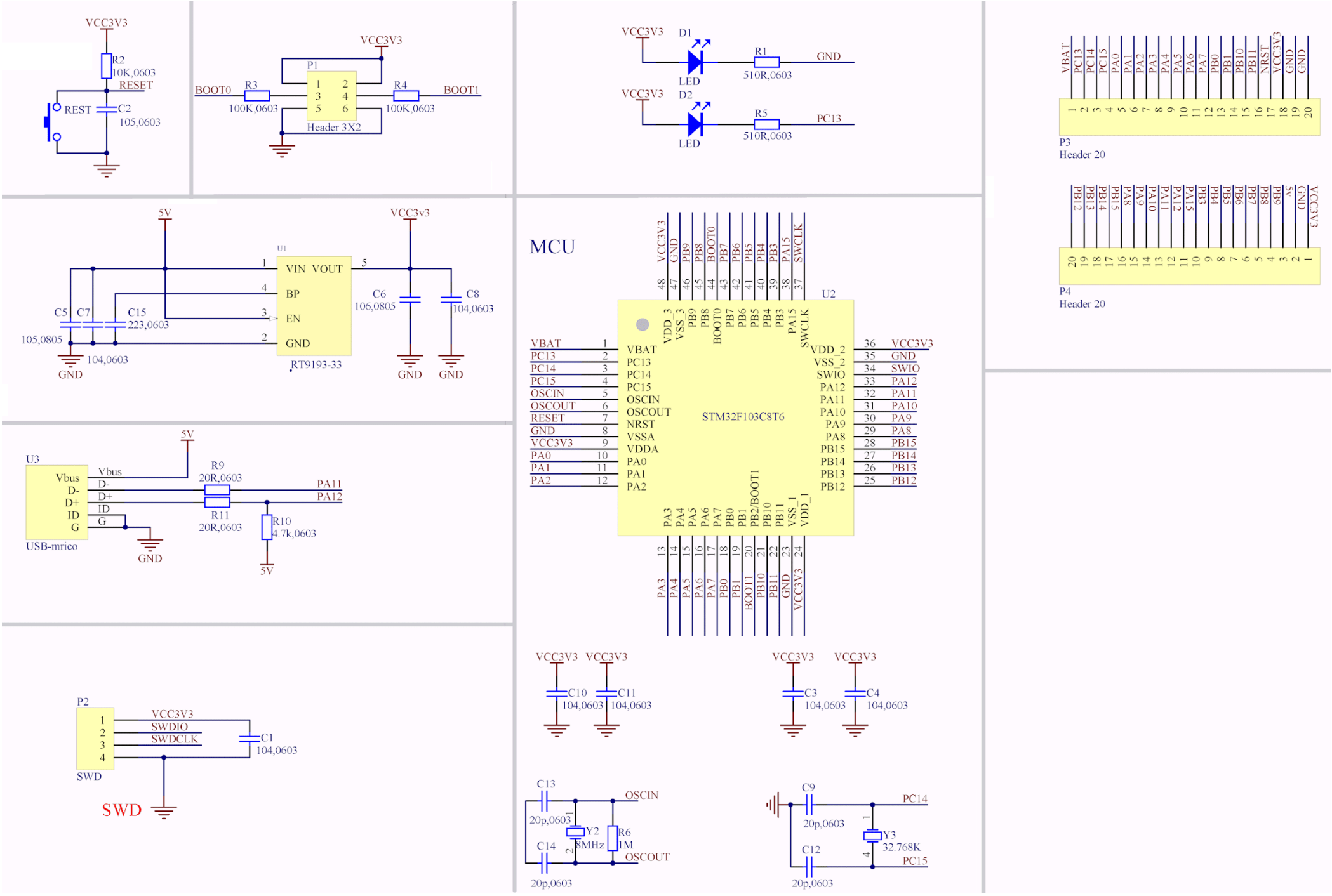
iarduino.ru




BOOT Selector
(BOOT0 - Top
BOOT1 - Bottom)
STM32F103C8T6
MCU
Power LED
SWD Interface
microUSB
Connector
GND
SWCLK
SWIO
3.3V
Reset Button
8MHz Crystal
32.768KHz
Oscillator
User LED
RESET
PWR
PC13

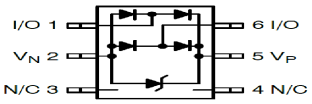

LEGEND
POWER
GROUND
PHYSICAL PIN
PIN NAME
CONTROL
ANALOG
TIMER & CHANNEL
USART
SPI
I2C
CAN BUS
USB
MISC
BOARD HARDWARE
5V tolerant
Not 5V tolerant
PWM pin
Alternate function
PC13,PC14,PC15: Sink max 3mA, source 0mA, max 2mhz, max 30pF
Absolute MAX 150mA total source/sink for entire CPU
Max ±20mA per pin, ±8mA recommended
THE GENERIC
STM32F103
PINOUT DIAGRAM
Boot 1
Boot 0
BOOT1
PB2
20
GND
3V3
44
BOOT0
CK3
CTS3
RTS3
MCO
CANRX
CANTX
TRACE SWO
TX1
RX1
CANRX
CANTX
T1BKIN
T1C1N
T1C2N
T1C3N
T1C1
T1C2
T1C3
T1C4
T1ETR
T2C1E
T2C2
T3C1
T3C2
T4C1
T4C2
NSS2
SCK2
MISO2
MOSI2
CK1
TX1
RX1
CTS1
RTS1
NSS1
SCK1
MISO1
MOSI1
SCL1
SDA1
SCL1
SDA1
SMBAI2
USB-
USB+
JTDI
JTDO
JTRST
SMBAI1
T4C3
T4C4
PB12
PB13
PB14
PB15
PA8
PA9
PA10
PA11
PA12
PA15
PB3
PB4
PB5
PB6
PB7
PB8
PB9
25
26
27
28
29
30
31
32
33
38
39
40
41
42
43
45
46
5V
GND
3V3
GND
GND
3V3
7
22
21
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
4
3
2
1
NRST
PB11
PB10
PB1
PB0
PA7
PA6
PA5
PA4
PA3
PA2
PA1
PA0
PC15
PC14
PC13
VBAT
RESET BUTTON
SDA2
SCL2
ADC9
ADC8
ADC7
ADC6
ADC5
ADC4
ADC3
ADC2
ADC1
ADC0
OSC32 OUT
OSC32 IN
TAMPER RTC
RX3
TX3
MOSI1
MISO1
SCK1
NSS1
RX2
TX2
RTS2
CTS2
T3C4
T3C3
T3C2
T3C1
CK2
T2C4
T2C3
T2C2
T2C1E
T2C4N
T2C3N
T1C3N
T1C2N
T1C1N
T1BKIN
WKUP
PC13 LED
3V3
34
37
GND
PA13
JTMS
SWDIO
SWCLK
JTCK
PA14


5 5V tolerant Pin
3 3.3V standard Pin
GND
DCLK
DIO
+3.3V
3 Vbat
3 PC_13
3 PC_14
3 PC_15
3 PA_0
3 PA_1
3 PA_2
3 PA_3
3 PA_4
3 PA_5
3 PA_6
3 PA_7
3 PB_0
3 PB_1
5 PB_10
5 PB_11
3 RESET
+3.3V
GND
GND
LED1
A0
A1
D1
D0
A2
D13
D12
D11
A3
D6
Serial2 TX
Serial2 RX
SPI1 NSS
SPI1 SCK
SPI1 MISO
SPI1 MOSI
Serial3 TX
Serial3 RX
Analog In
Analog In
Analog In
Analog In
Analog In
Analog In
Analog In
Analog In
Analog In
Analog In
I2C2 SCL
I2C2 SDA
PWM2/2
PWM2/3
PWM2/4
PWM3/1
PWM3/2
PWM3/3
PWM3/4
PWM2/3
PWM2/4
REST
I2C1 SDA
I2C1 SCL
PWM3/2
PWM3/1
PWM2/2
PWM2/1
PWM1/4
PWM1/3
PWM1/2
PWM1/1
PWM1/3N
PWM1/2N
PWM1/1N
CAN1 TD
CAN1 RD
Serial1 RX
Serial1 TX
SPI1 MOSI
SPI1 MISO
SPI1 SCK
SPI1 NSS
CAN1 TD
CAN1 RD
Serial1 RX
Serial1 TX
SPI2 MOSI
SPI2 MISO
SPI2 SCK
SPI2 NSS
D14
D15
D10
D4
D5
D3
USB DP
USB DM
D2
D8
D7
+3.3V
GND
+5V
PB_9 5
PB_8 5
PB_7 5
PB_6 5
PB_5 3
PB_4 5
PB_3 5
PA_15 5
PA_12 5
PA_11 5
PA_10 5
PA_9 5
PA_8 5
PB_15 5
PB_14 5
PB_13 5
PB_12 5


VCC3V3
R2
10K,0603
RESET
REST
C2
105,0603
P1
BOOT0
R3
100K,0603
R4
100K,0603
BOOT1
Header 3X2
VCC3V3
D1
LED
R1
510R,0603
GND
VCC3V3
D2
LED
R5
510R,0603
PC13
VBAT
PC13
PC14
PC15
PA0
PA1
PA2
PA3
PA4
PA5
PA6
PA7
PB0
PB1
PB10
PB11
NRST
VCC3V3
GND
GND
P3
Header 20
PB12
PB13
PB14
PB15
PA8
PA9
PA10
PA11
PA12
PA15
PB3
PB4
PB5
PB6
PB7
PB8
PB9
5v
GND
VCC3V3
P4
Header 20
5V
U1
VIN
VOUT
BP
EN
GND
RT9193-33
C5
C7
C15
223,0603
105,0805
104,0603
C6
106,0805
C8
104,0603
VCC3v3
GND
GND
MCU
U2
STM32F103C8T6
VBAT
PC13
PC14
PC15
OSCIN
OSCOUT
NRST
VSSA
VDDA
PA0
PA1
PA2
VDD_2
VSS_2
SWIO
PA12
PA11
PA10
PA9
PA8
PB15
PB14
PB13
PB12
U3
Vbus
D-
D+
ID
G
USB-mrico
5V
R9
20R,0603
R11
20R,0603
R10
4.7k,0603
PA11
PA12
GND
5V
P2
SWDIO
SWDCLK
C1
104,0603
SWD
SWD
VCC3V3
VCC3V3
C10
104,0603
C11
104,0603
VCC3V3
VCC3V3
C3
104,0603
C4
104,0603
C13
20p,0603
OSCIN
Y2
8MHz
R6
1M
C14
20p,0603
OSCOUT
C9
20p,0603
PC14
Y3
32.768K
C12
20p,0603
PC15

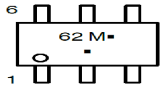
Доработка китайского ST-LINK (Предотвращение пробоя статическим электричеством с помощью саппрессора NUP2201MR6)

PIN CONFIGURATION AND SCHEMATIC



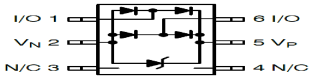
TSOP–6
CASE 318G

MARKING DIAGRAM



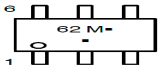
62 = Specific Device Code
M = Date Code
▪ = Pb–Free Package
(Note: Microdot may be in either location)

PIN CONFIGURATION AND SCHEMATIC



TSOP–6
CASE 318G

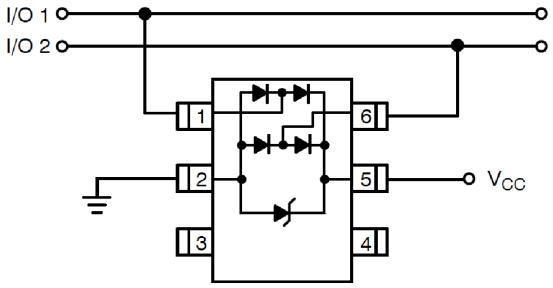
MARKING DIAGRAM

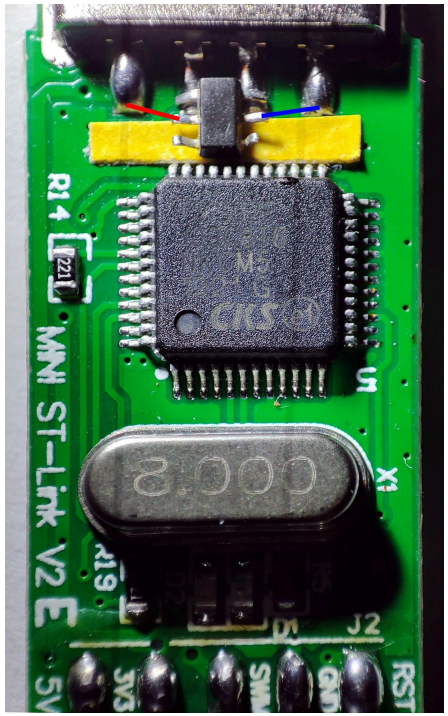


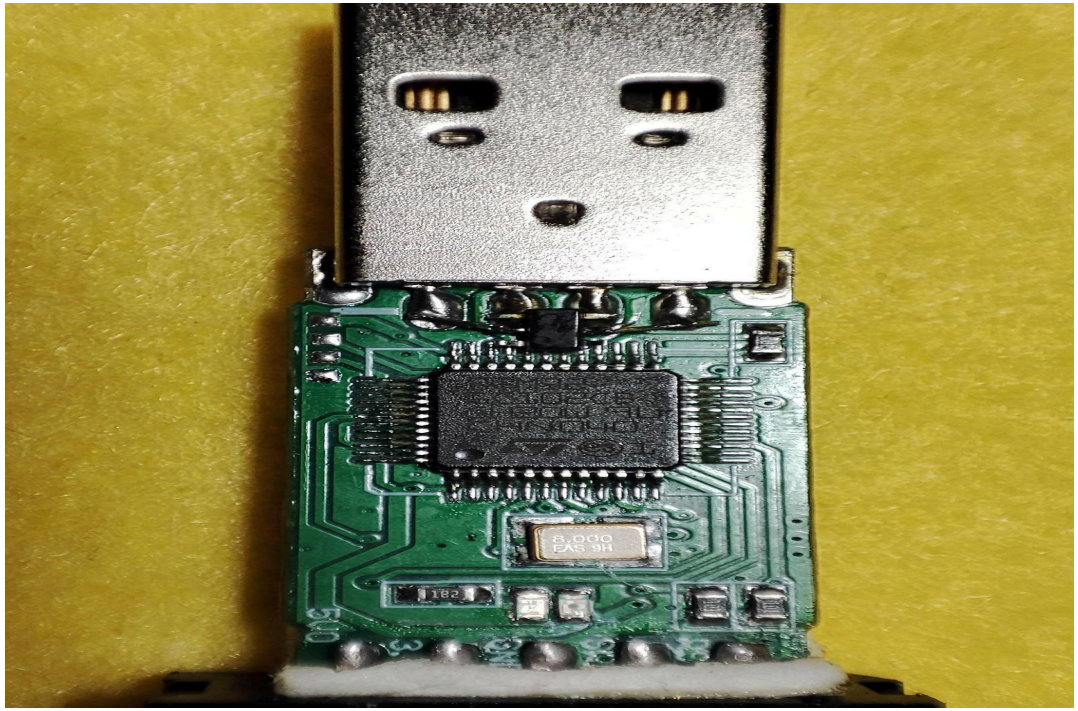
62 = Specific Device Code
M = Date Code
▪ = Pb–Free Package
(Note: Microdot may be in either location)

Option 1

Protection of two data lines and the power supply using V_{CC} as reference.







Программное обеспечение для работы с MCU STM32

Ссылка для скачивания генератора предварительного кода ***Cube MX***:
https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubemx.html

Ссылка для скачивания генератора предварительного кода *Cube MX V6.9.2*:
https://cloud.mail.ru/public/Jhvx/kpokQhPVw

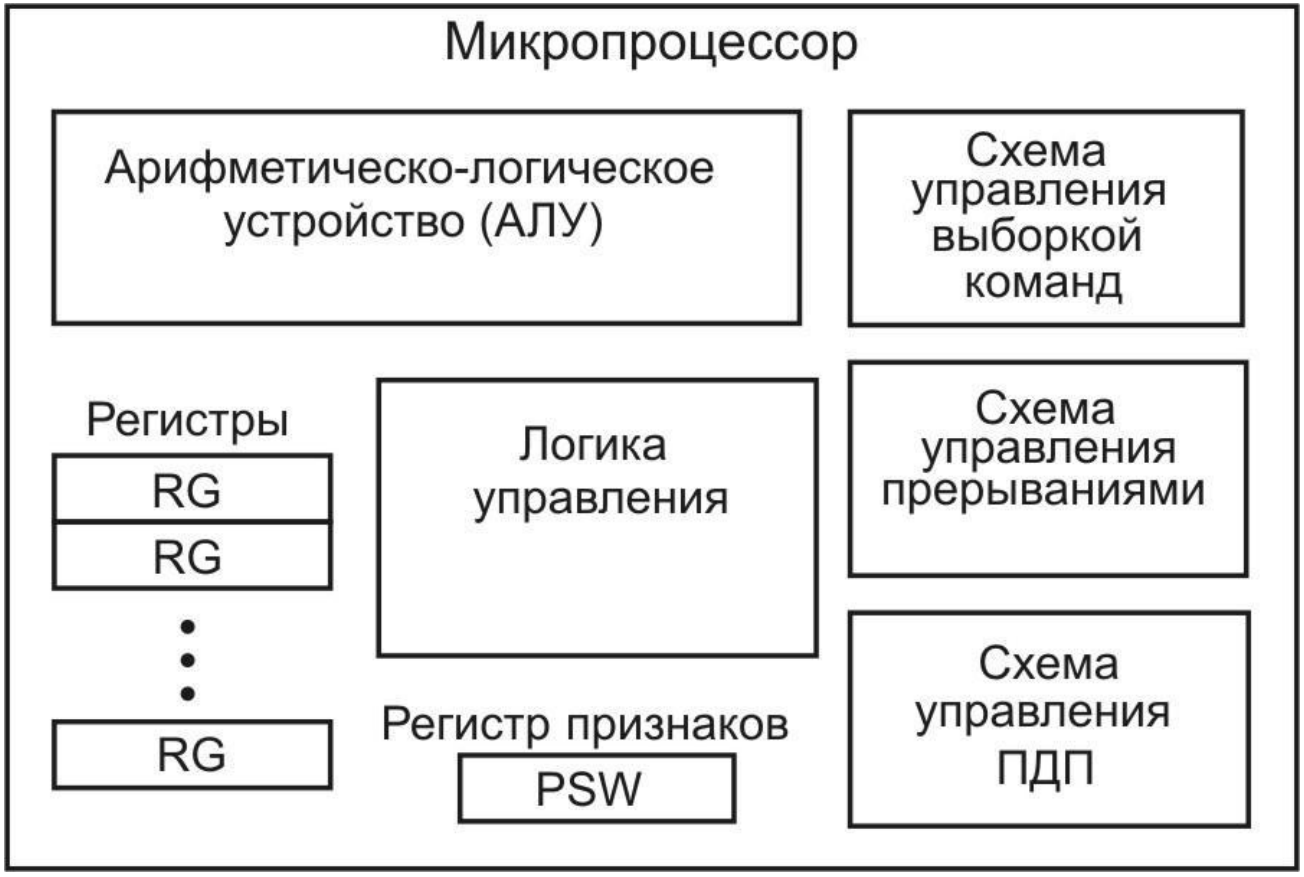
Ссылка для скачивания последней *evaluation version* среды разработки (IDE) программ на языке С для микроконтроллеров с ядром ARM ***Keil MDK***:
https://www.keil.com/demo/eval/arm.htm

Ссылка на ***MDK538a*** (Keil 5.38 – предыдущая версия, поддерживает китайский STlink):
https://cloud.mail.ru/public/J3Fr/bA3wczkRK

Программа для ST-LINK:
https://cloud.mail.ru/public/m3qb/sA41rYePX

Ссылки на *Flash Loader* – прошивка flash-памяти МК через переходник USB-UART
https://www.st.com/en/development-tools/flasher-stm32.html
https://cloud.mail.ru/public/m3qb/sA41rYePX

УПРОЩЕННАЯ СТРУКТУРА ПРОЦЕССОРА

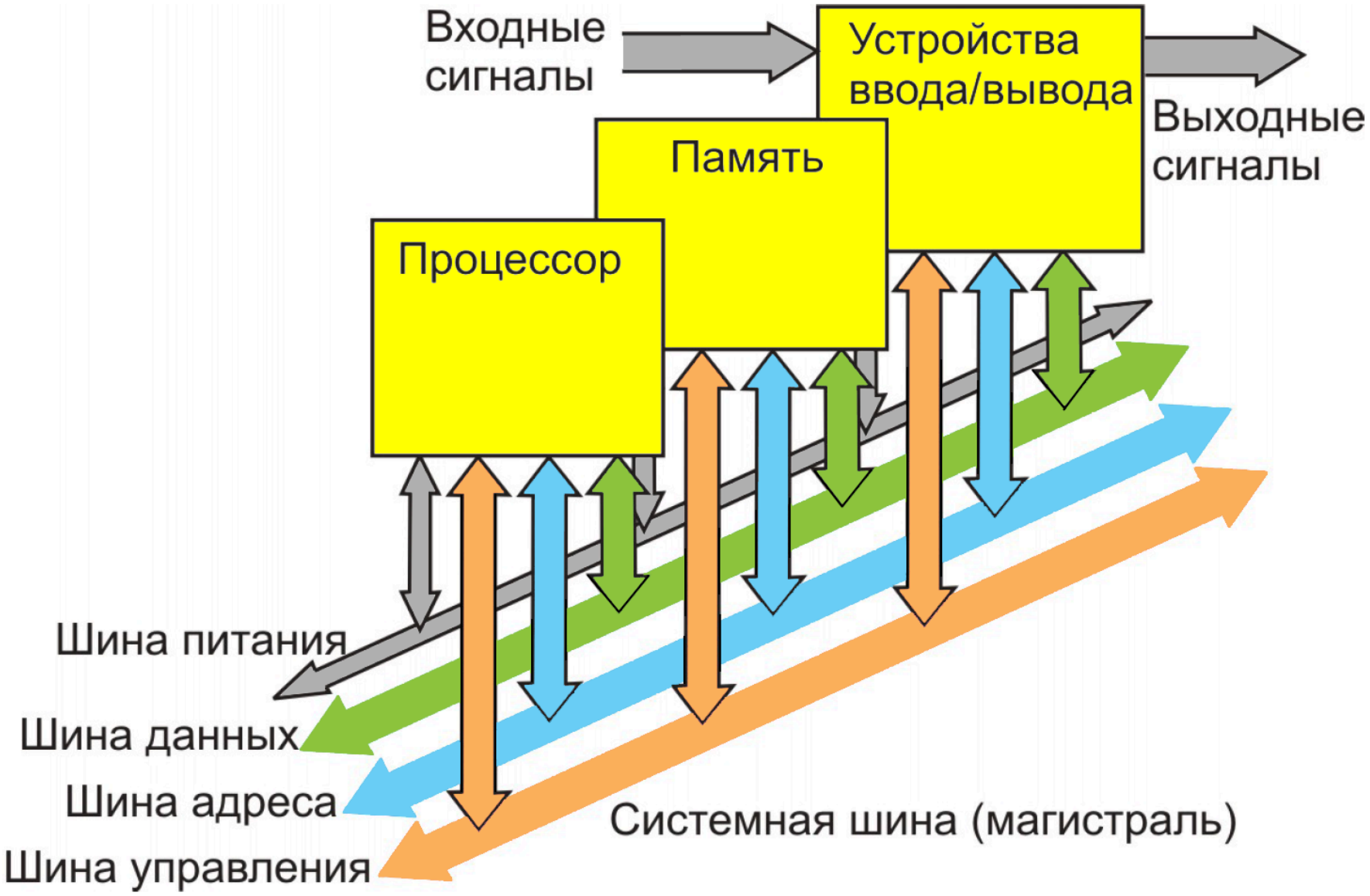


Основные функции ЦП, реализуемые при выполнении программы:

1) перенос данных (наиболее часто)
2) арифметические и логические операции над данными

3) управление последовательностью выполнения программы в зависимости от условий

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ



Работает микропроцессорная система следующим образом. После подачи питания или сигнала сброса RESET, процессор начинает последовательно

читать *программную память*, выполняя записанные в ней команды (коды операций). Это достигается с помощью специального устройства — *счетчика команд* (*Program Counter* — ***PC***), получающего в каждом новом машинном цикле приращение на 1. Начинается все после сброса с нуля (PC 000). Таким образом, через программный счетчик PC (именно его содержимое выставляется на *шину адреса* в соответствующей фазе цикла) читается содержимое последовательных ячеек *программной памяти* (на *шину данных* в соответствующей фазе цикла выставляется их содержимое). После попадания через *шину данных* кода операции в процессор, машинная инструкция декодируется и выполняется. Машинные инструкции, которые выполняет процессор, предельно просты, например: прочитать ЯП с заданным адресом в регистр МП, записать содержимое регистра МП в ЯП с заданным адресом, прочитать данные из устройства ввода в регистр МП, записать данные из регистра МП в устройство вывода, элементарные арифметические, логические операции, операции сдвига над *операндами в регистрах МП*.

Часто в зависимости от результата операции при обработке данных, нарушается последовательное чтение программной памяти и происходит «прыжок» вперед или назад (условный переход). Т.е. реализуются две различные ветви алгоритма в зависимости от результата обработки. Создается иллюзия, что процессор принимает решение. При этом

программный счетчик нарушает свой привычный алгоритм работы (инкремент) и *загружается адресом перехода*. Нарушение обычного алгоритма работы *программного счетчика* происходит и при выполнении команд безусловных переходов, вызовов подпрограмм и возвратов из них, а также при реакции на аппаратные *запросы прерывания*.
Таким образом выполняется программа из элементарных машинных инструкций процессора, которые как правило помещаются в 1-2 слова программной памяти. В процессе выполнения такой программы процессор также обменивается данными с *внешними устройствами*: читает данные из устройства ввода, записывает данные в устройства вывода.
То есть процессор под управлением программы реализует функции управления системой — получает сигналы и коды из внешнего мира (с помощью устройств ввода), обрабатывает их (используя арифметико-логические функции) и выводит воздействия в исполнительные устройства, а обработанные данные в устройства отображения (устройства вывода).

Функции составных частей микропроцессорной системы

- **Процессор** — обработчик, выполняет пересылку данных и их обработку (арифметические и логические операции) в соответствии с программой; управляет выборкой команд, изменяет последовательность выполнения команд программы;
- **Память** — оперативная (RAM, ОЗУ) и постоянная (ПЗУ, ROM, FLASHROM,) хранит данные и программы. *Оперативная* — для временного хранения данных, *постоянная* — для постоянного хранения программ и реже данных (констант), главное — для программы начального запуска при включении питания;
- **Устройства ввода/вывода** (УВВ, I/O — Input/Output) — служат для обеспечения связи микропроцессорной системы с внешними устройствами и с пользователем (внешние интерфейсы и пользовательский интерфейс). Они же помогают процессору в пересылке данных и в реагировании на внешние события.

Функции шин микропроцессорной системы

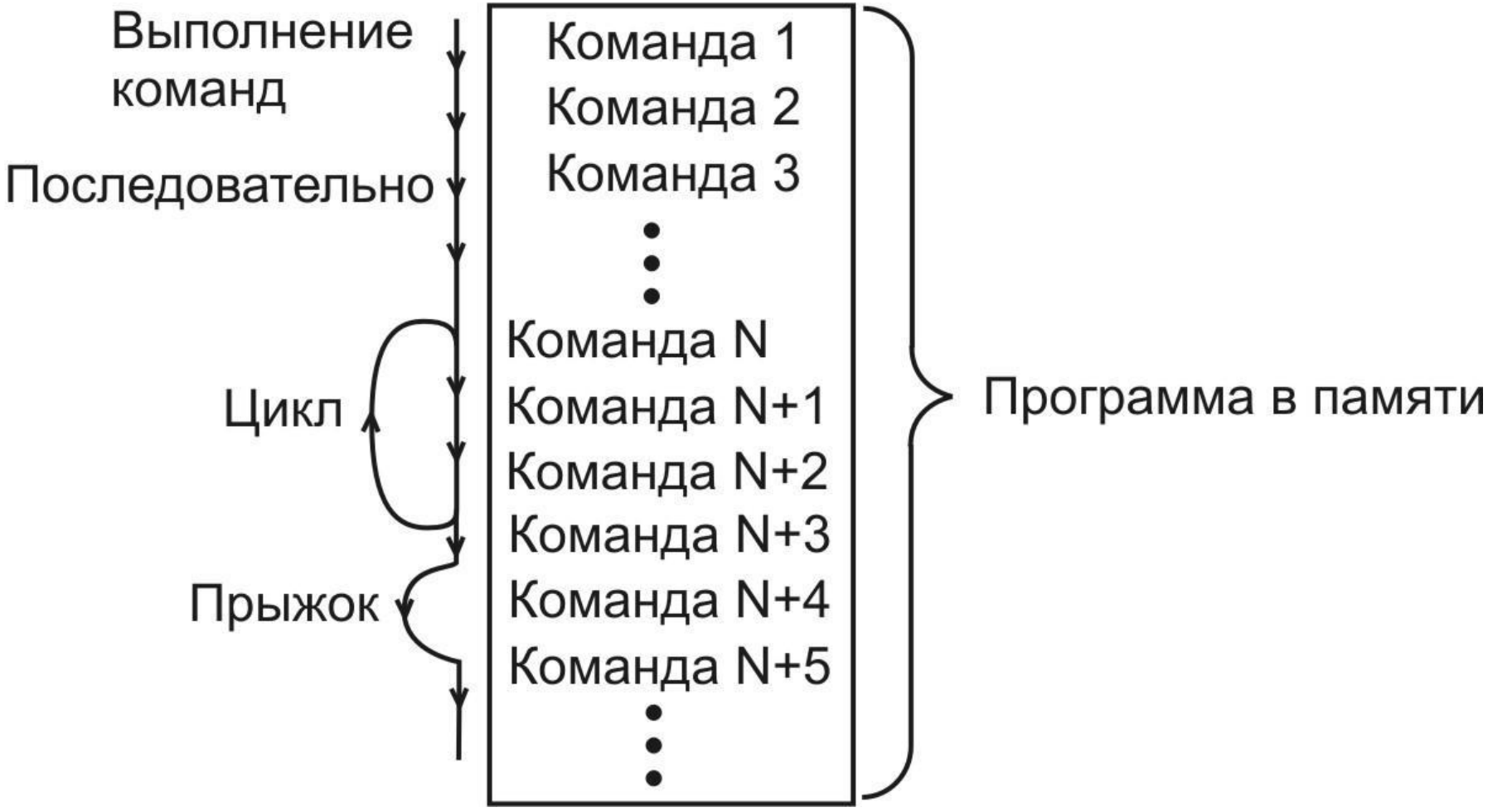
- **Шина адреса** (*Address Bus, AB, ША*) — для пересылки кода адреса (индивидуального номера устройства или ячейки памяти, участвующего в обмене в данный момент). Её разрядность определяет допустимый объем памяти и, следовательно, максимально возможный размер программы и максимально возможный объем запоминаемых данных. Количество адресов, обеспечиваемых шиной адреса, определяется как $\mathbf{2^k}$, где **k** — количество разрядов шины адреса.
- **Шина данных** (*Data Bus, DB, ШД*) — для пересылки данных между устройствами. Двунаправленная шина, так как предполагает передачу информации в обоих направлениях, состоит из нескольких байтов (1, 2, 4, 8) в зависимости от разрядности системы 8, 16, 32, 64. Разрядность ШД (количество линий связи) определяет скорость и эффективность информационного обмена, а также максимально возможное количество команд процессора. Тип *выходного* каскада для линий этой шины — выход с тремя состояниями.
- **Шина управления** (*Control Bus, CB, ШУ*) — для пересылки отдельных управляющих сигналов: тактовых, стробирующих, подтверждающих, инициирующих (сигнал считывания $\overline{RD}$; сигнал записи $\overline{WR}$, и др. сигналы специфичные для конкретного типа МП, МК).

- **Шина питания** (*Power Bus*) — для подведения к устройствам напряжений питания (положительных, отрицательных, общего провода).

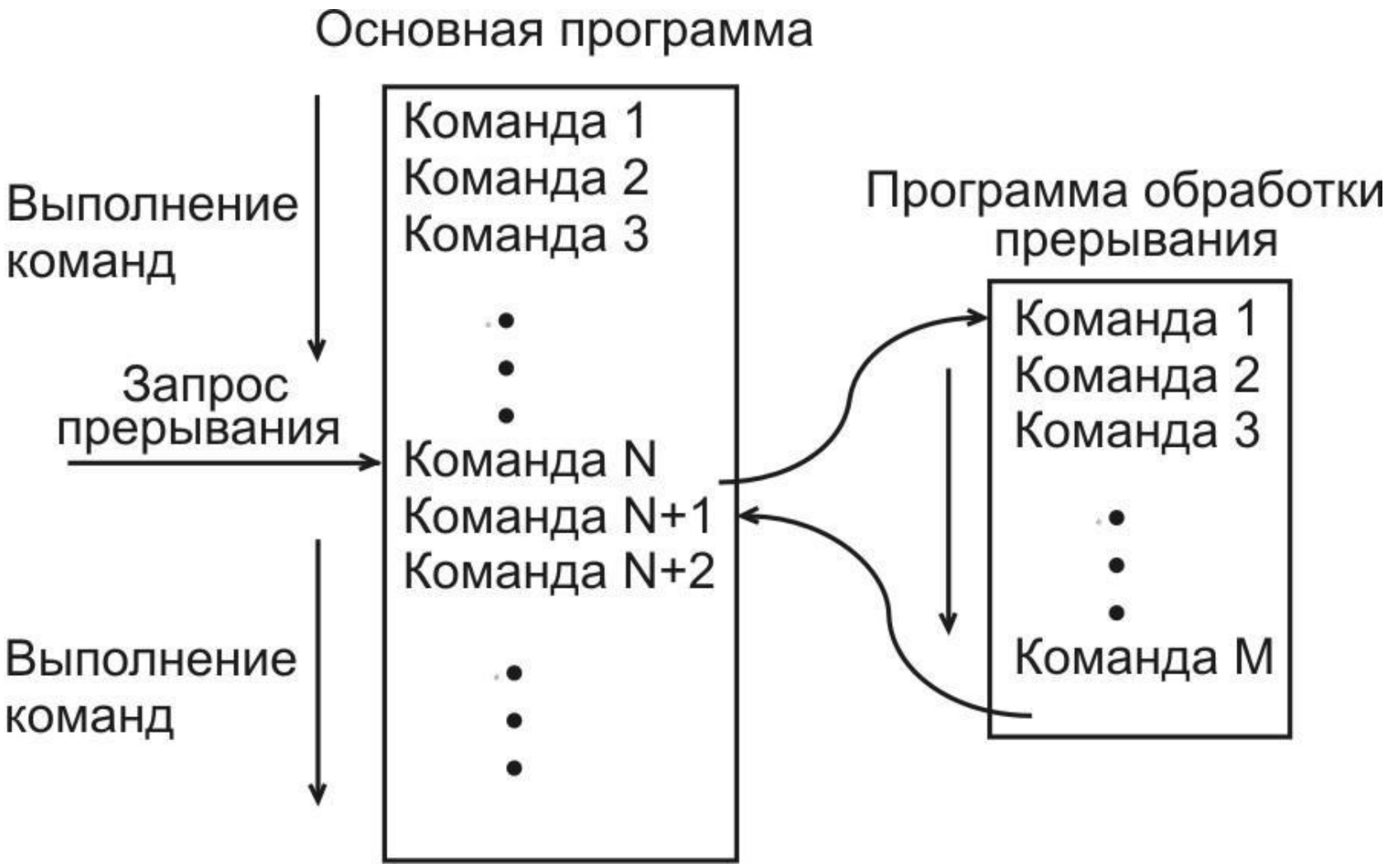
Циклы обмена в микропроцессорной системе

- **Программные** циклы обмена:
  - выборка команды из памяти (чтение, ввод);
  - чтение данных из памяти (чтение, ввод);
  - запись данных в память (запись, вывод);
  - приём данных из устройства ввода/вывода (чтение, ввод);
  - передача данных в устройство ввода/вывода (запись, вывод);
- Циклы обмена по **прерываниям** (*Interrupts*);
- Циклы обмена по **прямому доступу к памяти** (ПДП, DMA – *Direct Memory Access*).

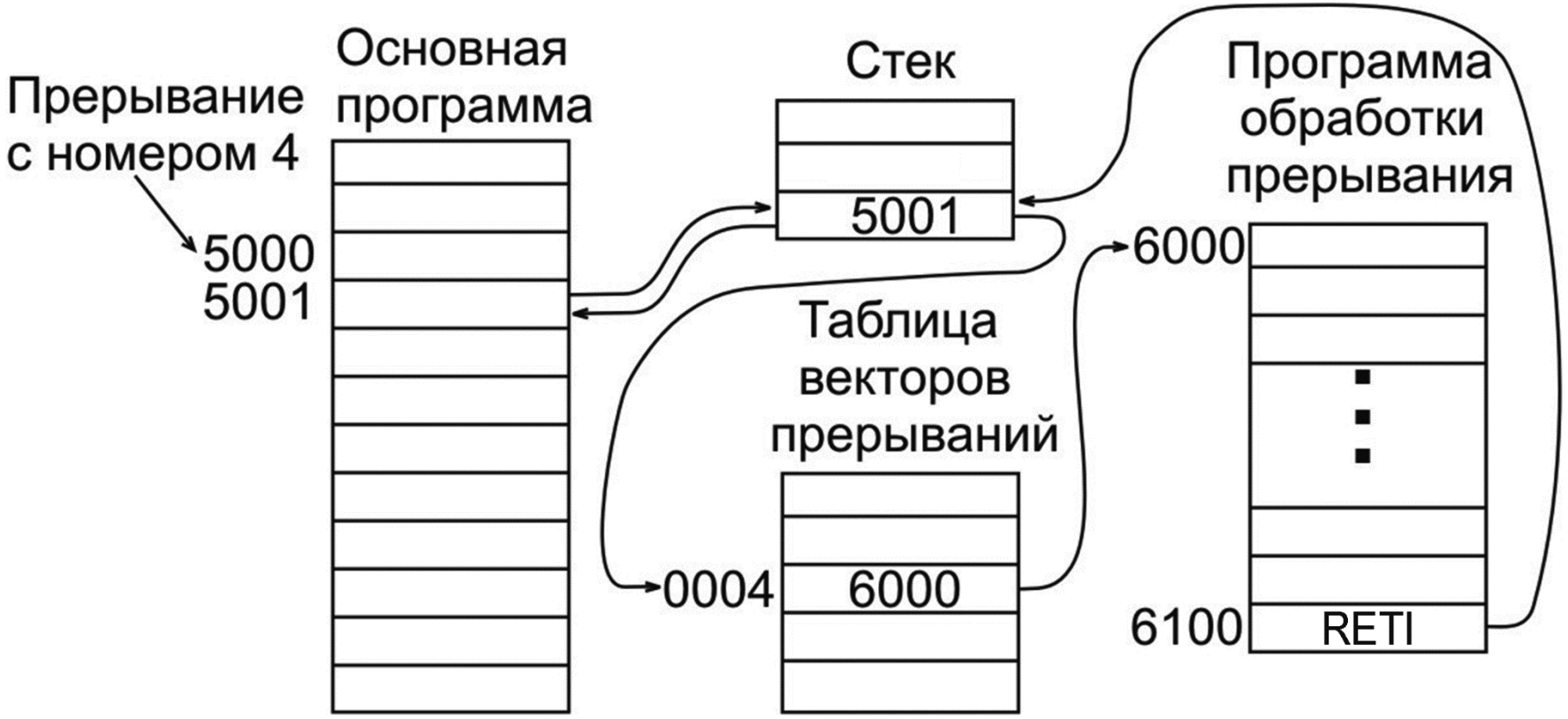
Выборка команд — выполнение программы (иллюстрация программного цикла)



Обслуживание прерывания (Interrupt)



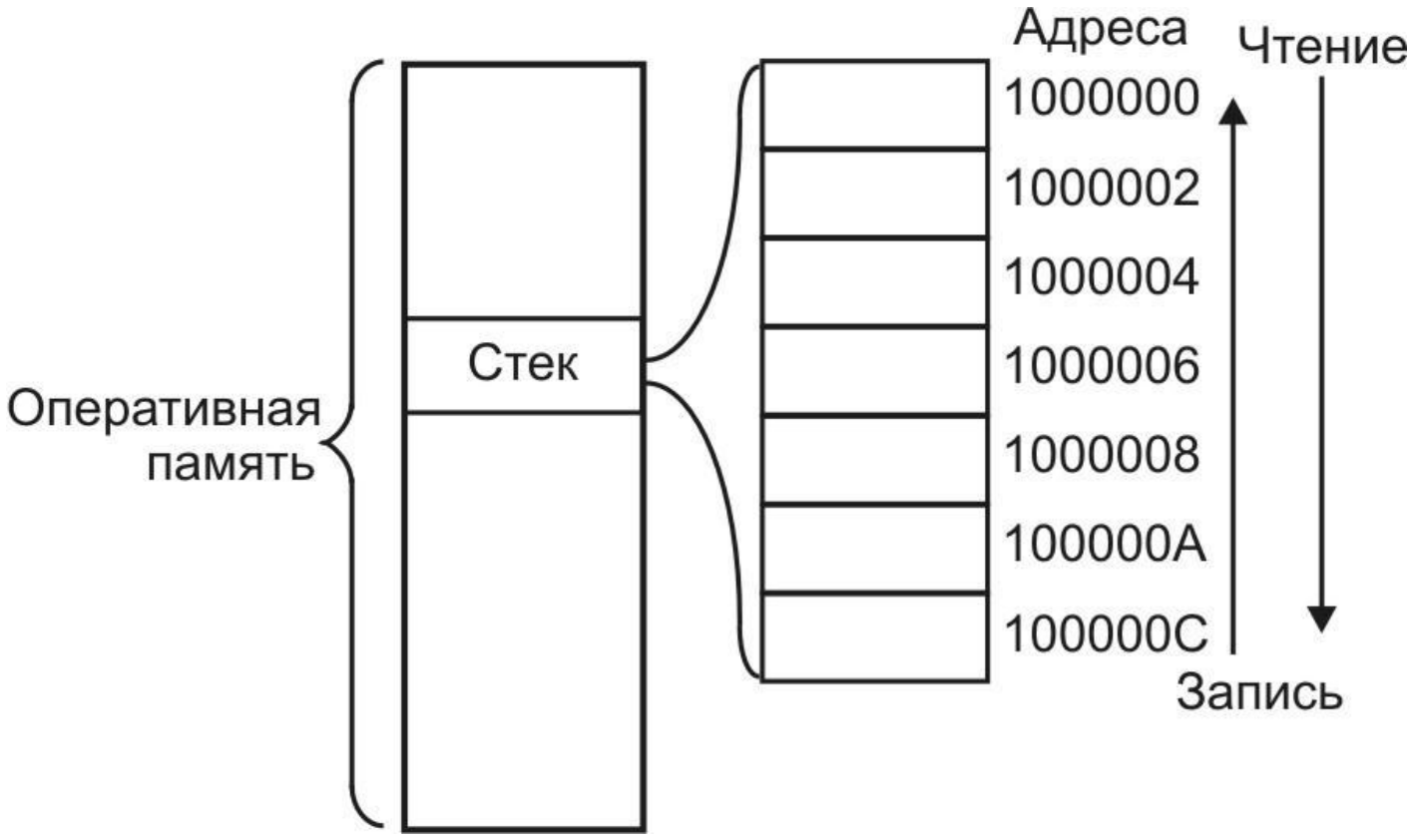
Механизм обработки прерывания (более подробно)



Часто при переходе к подпрограмме обработки прерывания (или просто подпрограмме) дополнительно программистом предусматривается сохранение в стеке слова состояния процессора PSW и важных РОН. При этом следует помнить, что перед возвратом восстановление регистров должно идти в порядке, обратном сохранению из-за принципа работы стека.

За счет использования стека реализуется и механизм вложенности подпрограмм (в том числе и прерываний).

Принцип работы стековой памяти (STACK)

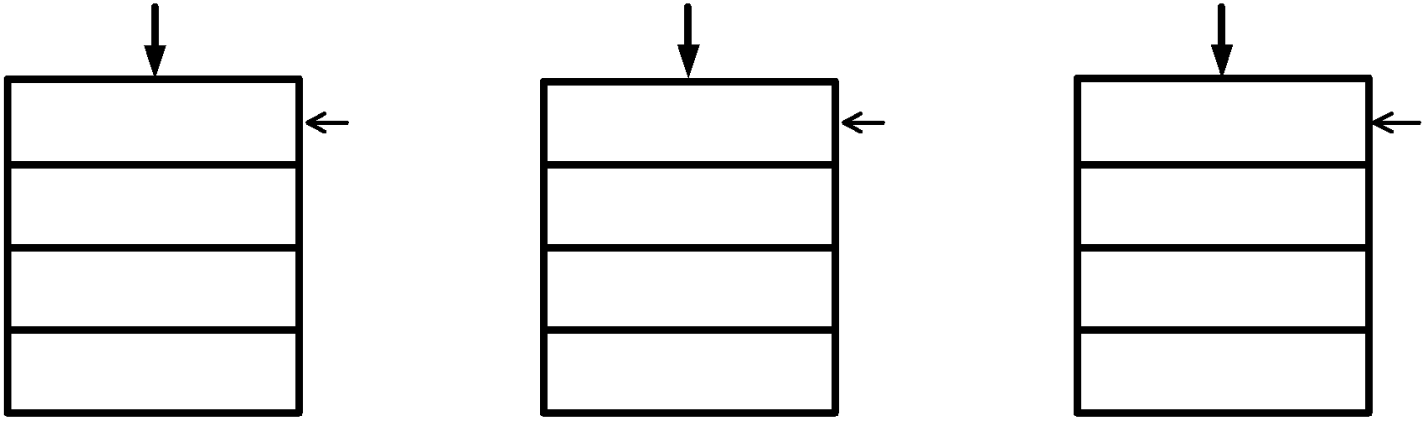


Основной принцип: последним вошел — первым вышел (**Last In First Out — LIFO**. Он реализуется с помощью специального устройства — указателя стека

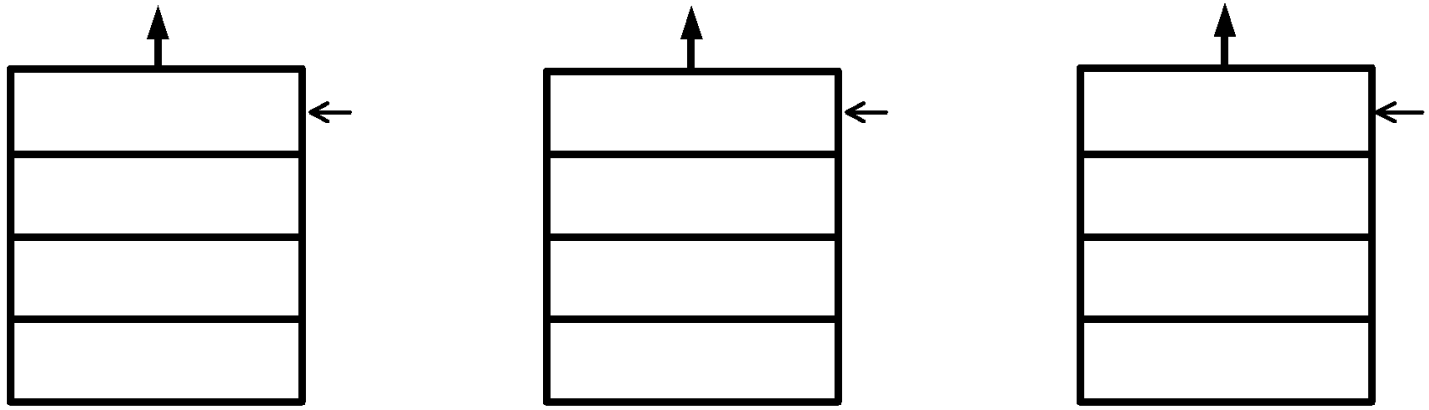
(SP). Основная функция этого устройства — формирование адресов ОЗУ при операциях записи и чтения. Здесь при записи адрес уменьшается SP↓, при чтении адрес увеличивается SP↑.

СТЕК при операциях записи и чтения

ЗАПИСЬ ПРОИЗВОДИТСЯ С *ПОСТДЕКРЕМЕНТОМ* УКАЗАТЕЛЯ СТЕКА SP

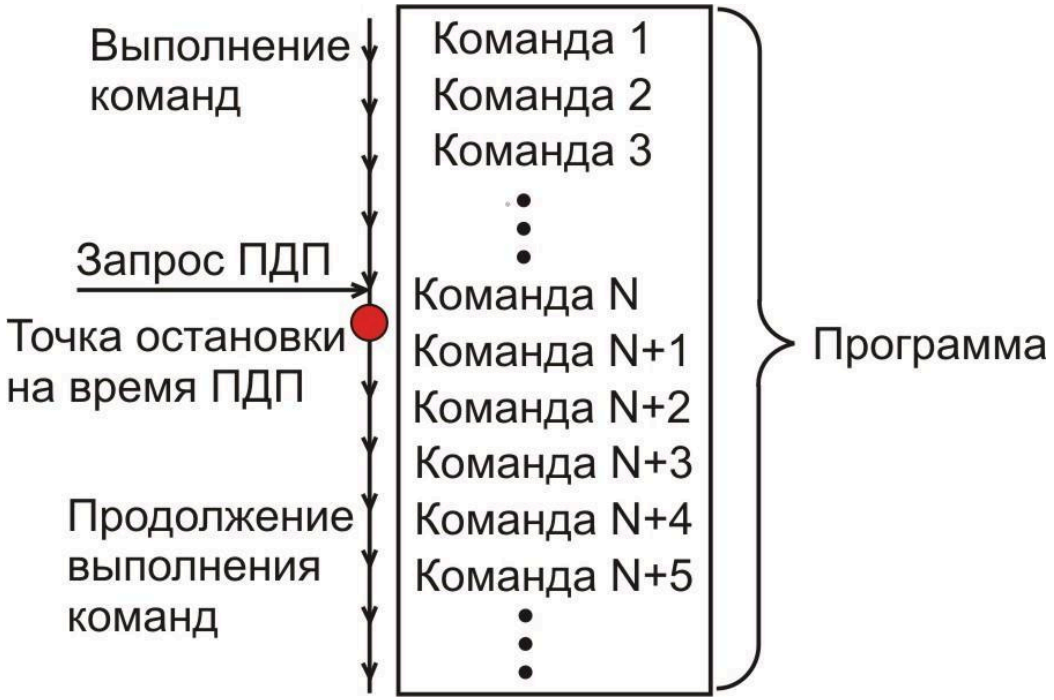


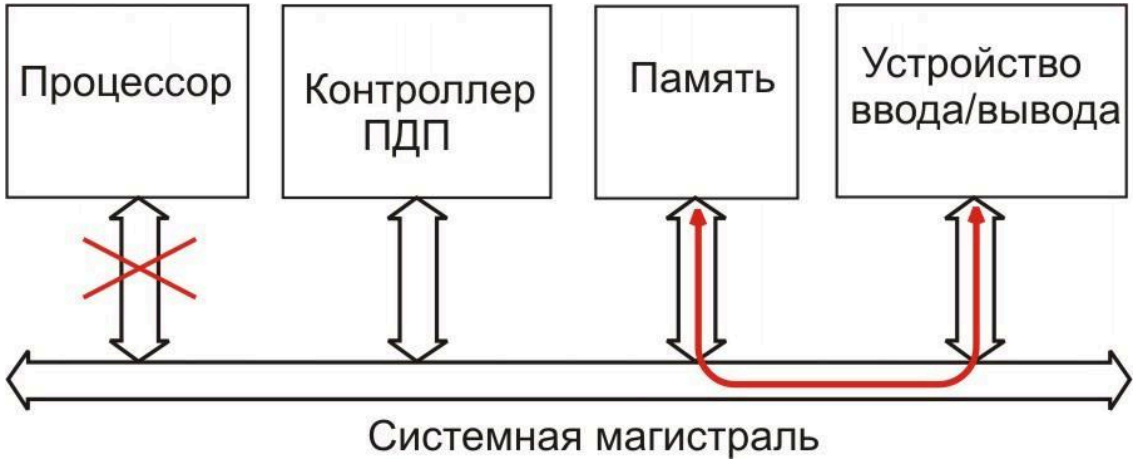
ЧТЕНИЕ ПРОИЗВОДИТСЯ С *ПРЕДИНКРЕМЕНТОМ* УКАЗАТЕЛЯ СТЕКА SP



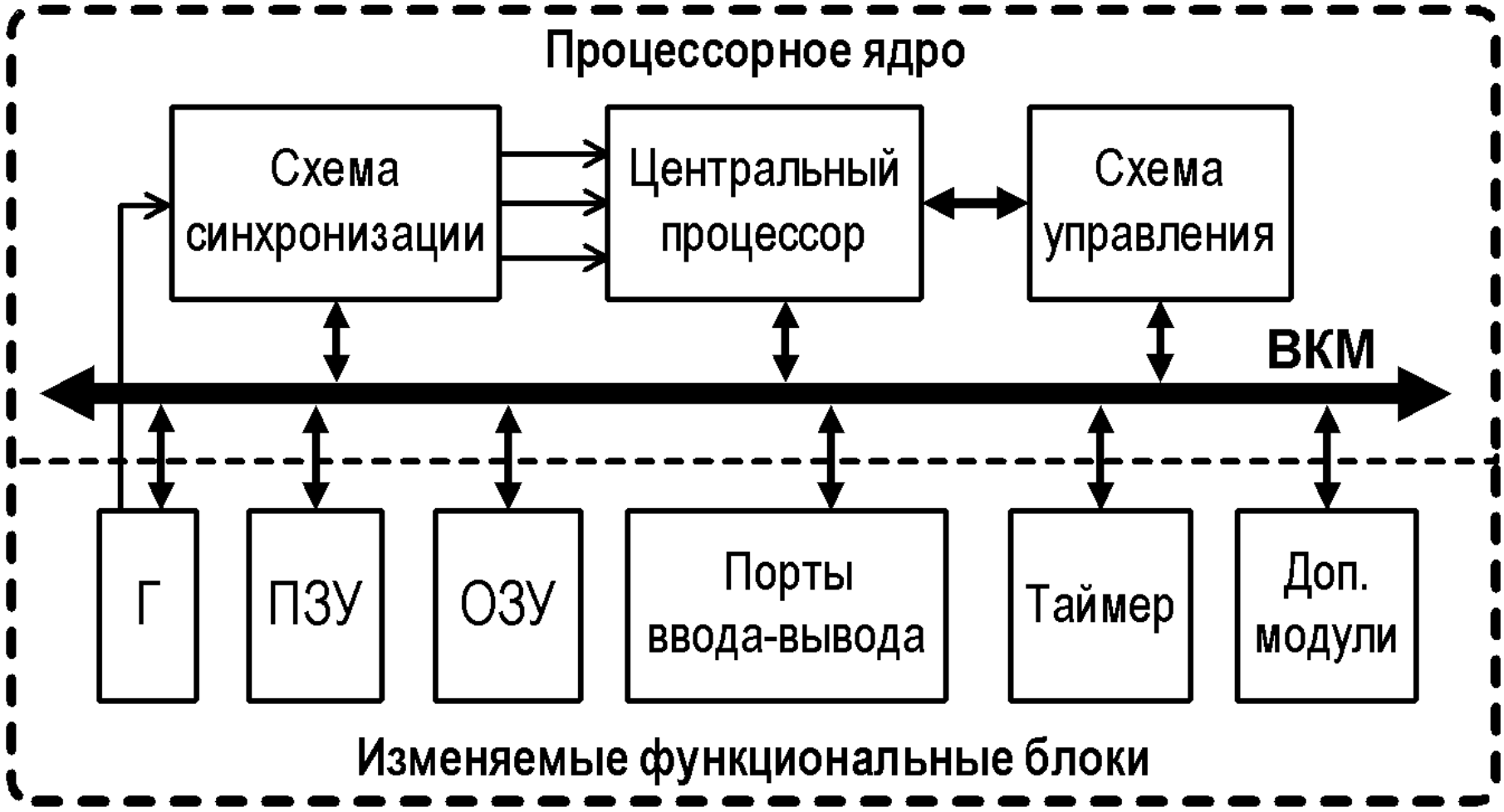
Результат работы со стеком не изменится, если запись будет происходить с *преддекрементом*, а чтение — с *постинкрементом*.

Прямой доступ к памяти – ПДП (Direct Memory Access – DMA)


Выполнение команд
Запрос ПДП
Точка остановки на время ПДП
Продолжение выполнения команд
Команда 1
Команда 2
Команда 3
Команда N
Команда N+1
Команда N+2
Команда N+3
Команда N+4
Команда N+5
Программа

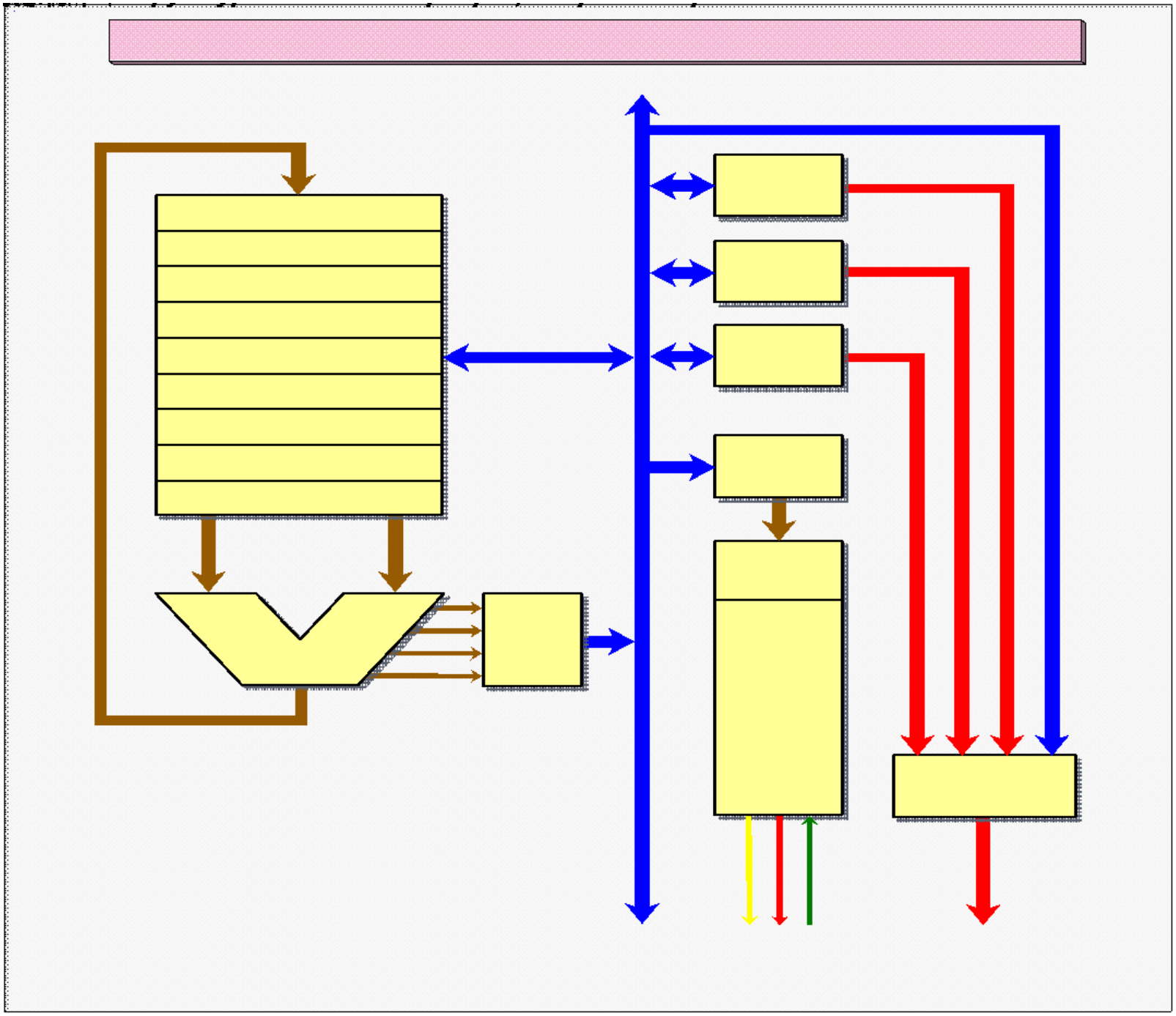

Процессор
Контроллер ПДП
Память
Устройство ввода/вывода
Системная магистраль

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

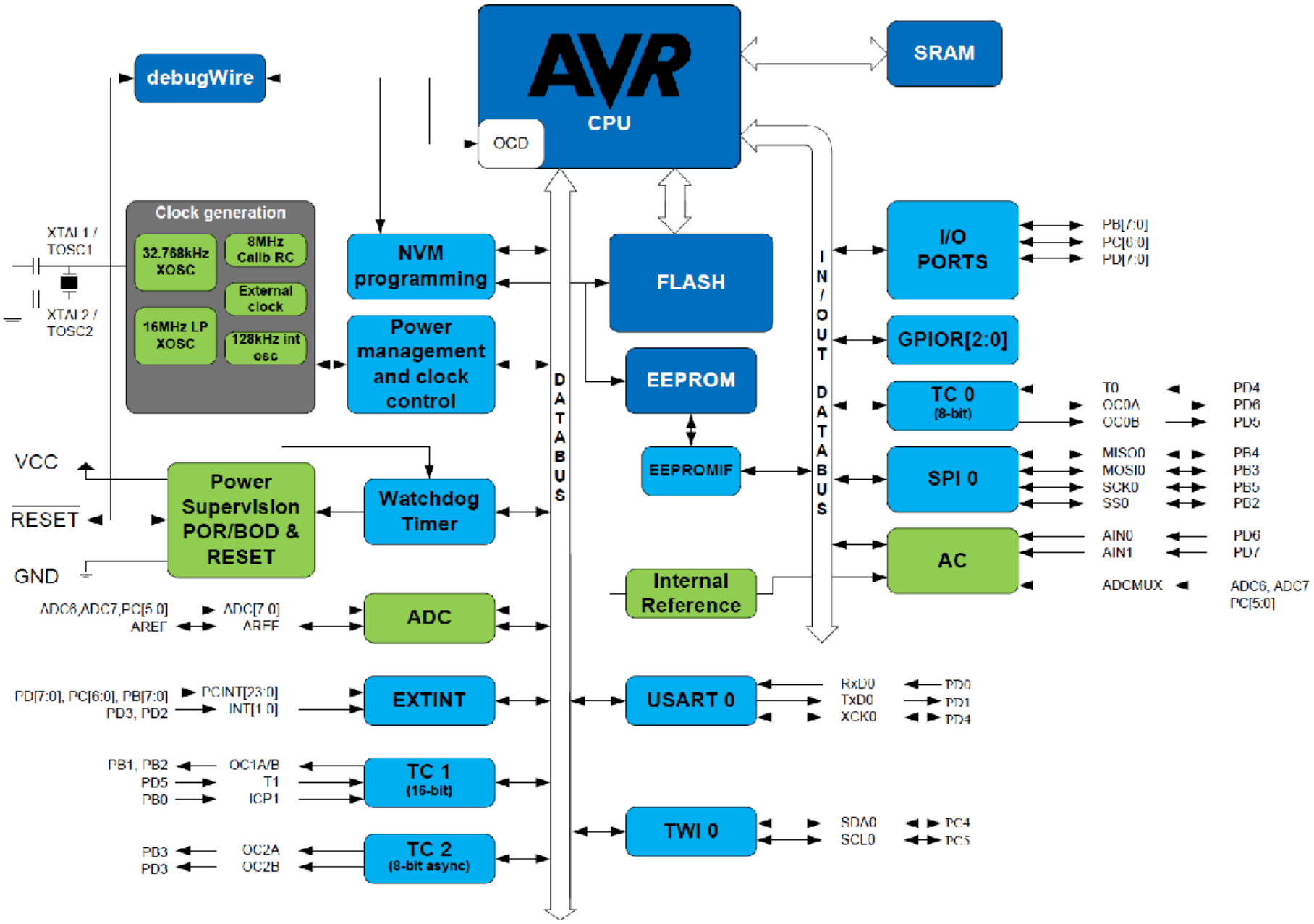


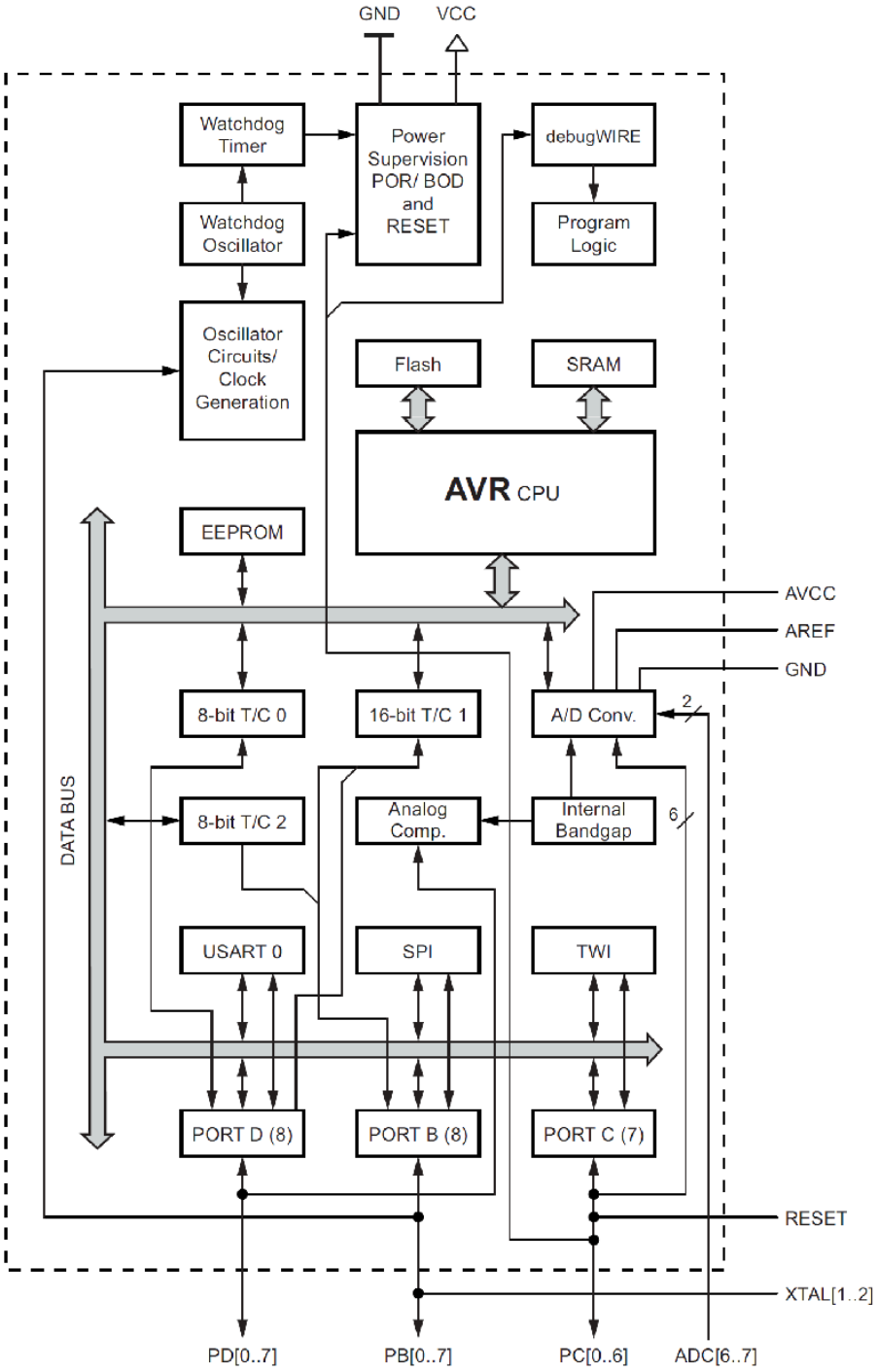
ВКМ — внутренняя контроллерная магистраль
Г – тактовый генератор
ПЗУ – постоянное запоминающее устройство (для хранения программ и констант)

ОЗУ – оперативное запоминающее устройство (для хранения переменных – изменяемых данных)



Микроконтроллер AVR (Atmega328p)


AVR
CPU
OCD
SRAM
debugWire
Clock generation
32.768kHz XOSC
8MHz Calib RC
External clock
16MHz LP XOSC
128kHz int osc
XTAL1 / TOSC1
XTAL2 / TOSC2
NVM programming
Power management and clock control
FLASH
EEPROM
EEPROMIF
DATABUS
I/O PORTS
GPIOR[2:0]
TC 0 (8-bit)
SPI 0
AC
Internal Reference
IN/OUT DATABUS
PB[7:0]
PC[6:0]
PD[7:0]
T0
OC0A
OC0B
MISO0
MOSI0
SCK0
SS0
AIN0
AIN1
ADCMUX
ADC6, ADC7
PC[5:0]
VCC
RESET
GND
Power Supervision POR/BOD & RESET
Watchdog Timer
ADC
ADC8,ADC7,PC[5:0]
AREF
ADC[7:0]
AREF
EXTINT
PCINT[23:0]
INT[1:0]
USART 0
RxD0
TxD0
XCK0
TC 1 (16-bit)
OC1A/B
T1
ICP1
TC 2 (8-bit async)
OC2A
OC2B
TWI 0
SDA0
SCL0


GND
VCC
Watchdog Timer
Power Supervision POR/ BOD and RESET
debugWIRE
Watchdog Oscillator
Program Logic
Oscillator Circuits/ Clock Generation
Flash
SRAM
AVR CPU
EEPROM
AVCC
AREF
GND
8-bit T/C 0
16-bit T/C 1
A/D Conv.
2
DATA BUS
8-bit T/C 2
Analog Comp.
Internal Bandgap
6
USART 0
SPI
TWI
PORT D (8)
PORT B (8)
PORT C (7)
RESET
XTAL[1..2]
PD[0..7]
PB[0..7]
PC[0..6]
ADC[6..7]

Конфигурация параллельных портов ввода/вывода (ATmega328p)

Состояние разряда *DDRX.n* определяет направление передачи бита через вывод порта *PX.n*. При *DDRX.n*=0 вывод МК *PX.n* работает в режиме входа, при *DDRX.n*=1 – в режиме выхода.

В режиме входа состояние разряда *PORTX.n* определяет состояние вывода *PX.n*. При *PORTX.n*=0 вывод находится в высокоимпедансном состоянии (Zсостояние). При *PORTX.n*=1 к нему подключается внутренний резистор, соединенный с шиной питания.

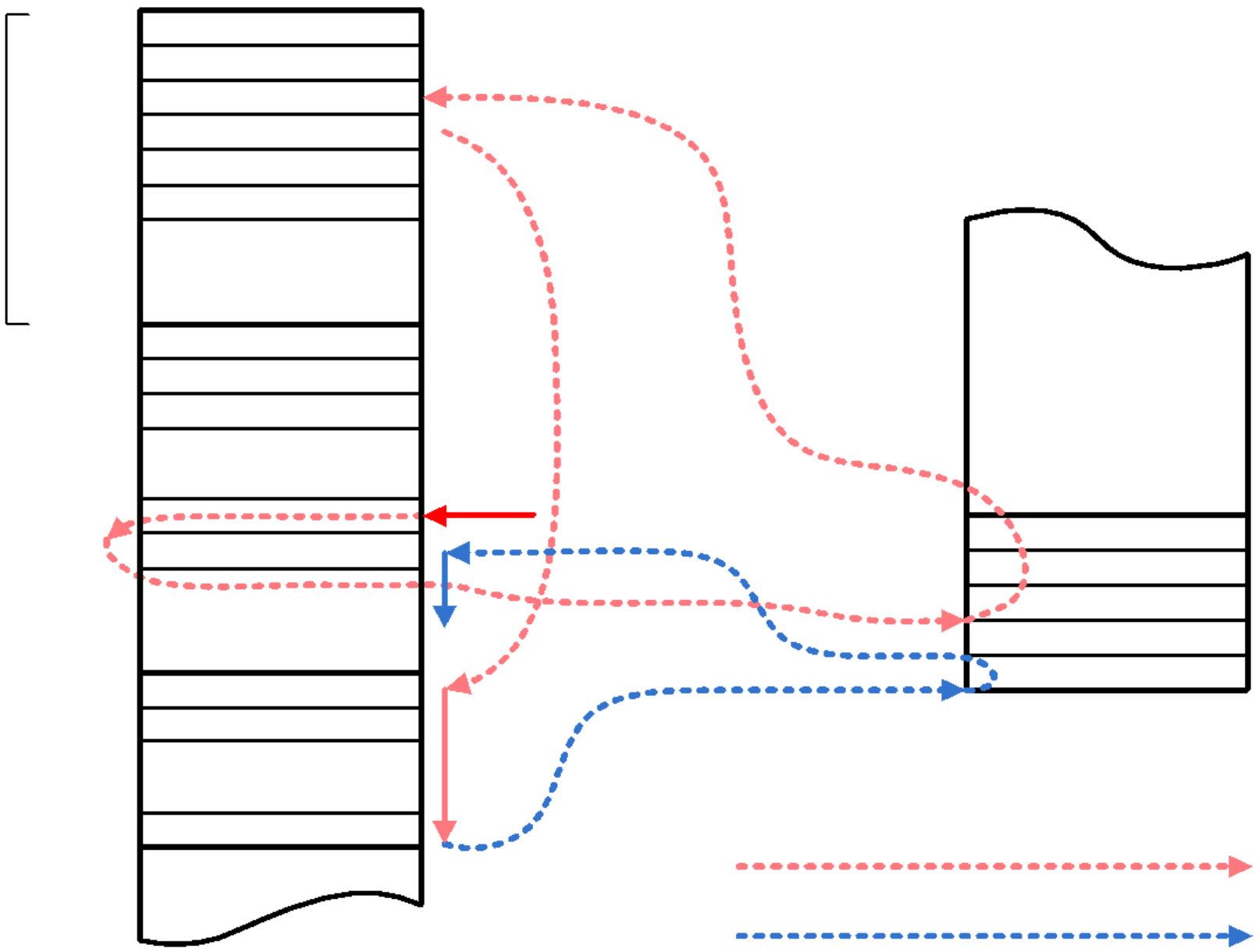
В режиме выхода разряд *PORTX.n* определяет значение выходного сигнала на выводе *PX.n*. При *PORTX.n*=0 выходной сигнал имеет низкий уровень напряжения (U_{OL}), при *PORTX.n*=1 – высокий уровень напряжения (U_{OH}).

В таблице указано состояние вывода *PX.n* при различных комбинациях состояний разрядов *DDRX.n* и *PORTX.n*.

DDRX.n	PORTX.n	Вывод МК PX.n
0	0	Вход, (Z)
0	1	Вход, (Rpullup)

1	0	Выход, (U_{OL})
1	1	Выход, (U_{OH})

Обработка аппаратного прерывания и возврат из него (ATmega328p)



Битовые операции в языке С

Запись логической «1» в выбранные разряды (4, 2, 1) без изменения остальных разрядов:

```
n|=(1<<4)|(1<<2)|(1<<1);
```

Запись логического «0» в выбранные разряды (5, 3, 2) без изменения остальных разрядов:

```
n&=~((1<<5)|(1<<3)|(1<<2)); или n&=~(1<<5)&~(1<<3)&~(1<<2);
```

Инверсия значений выбранных разрядов (7, 4, 0) без изменения остальных разрядов:

```
n^=(1<<7)|(1<<4)|(1<<0);
```

Ожидание появления логической 1 в заданном разряде (7) байта *n*:

```
while (~n&(1<<7)); while ((n&(1<<7))==0); while (!(n&(1<<7)));
```

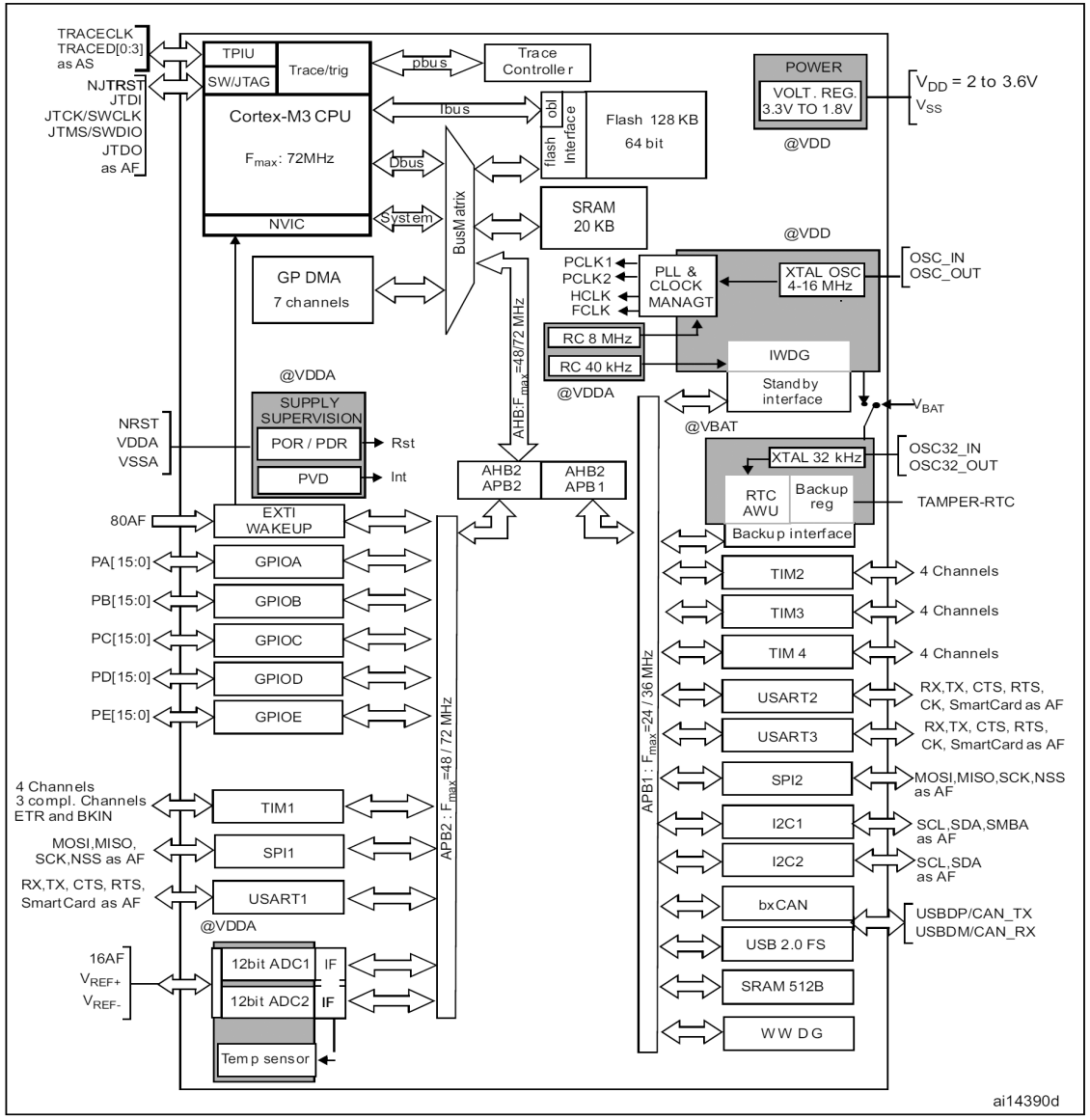
Ожидание появления логического 0 в заданном разряде (3):

```
while (n&(1<<3));
```

```
while ((n&(1<<3))!=0);
```

Микроконтроллер STM32F103XX

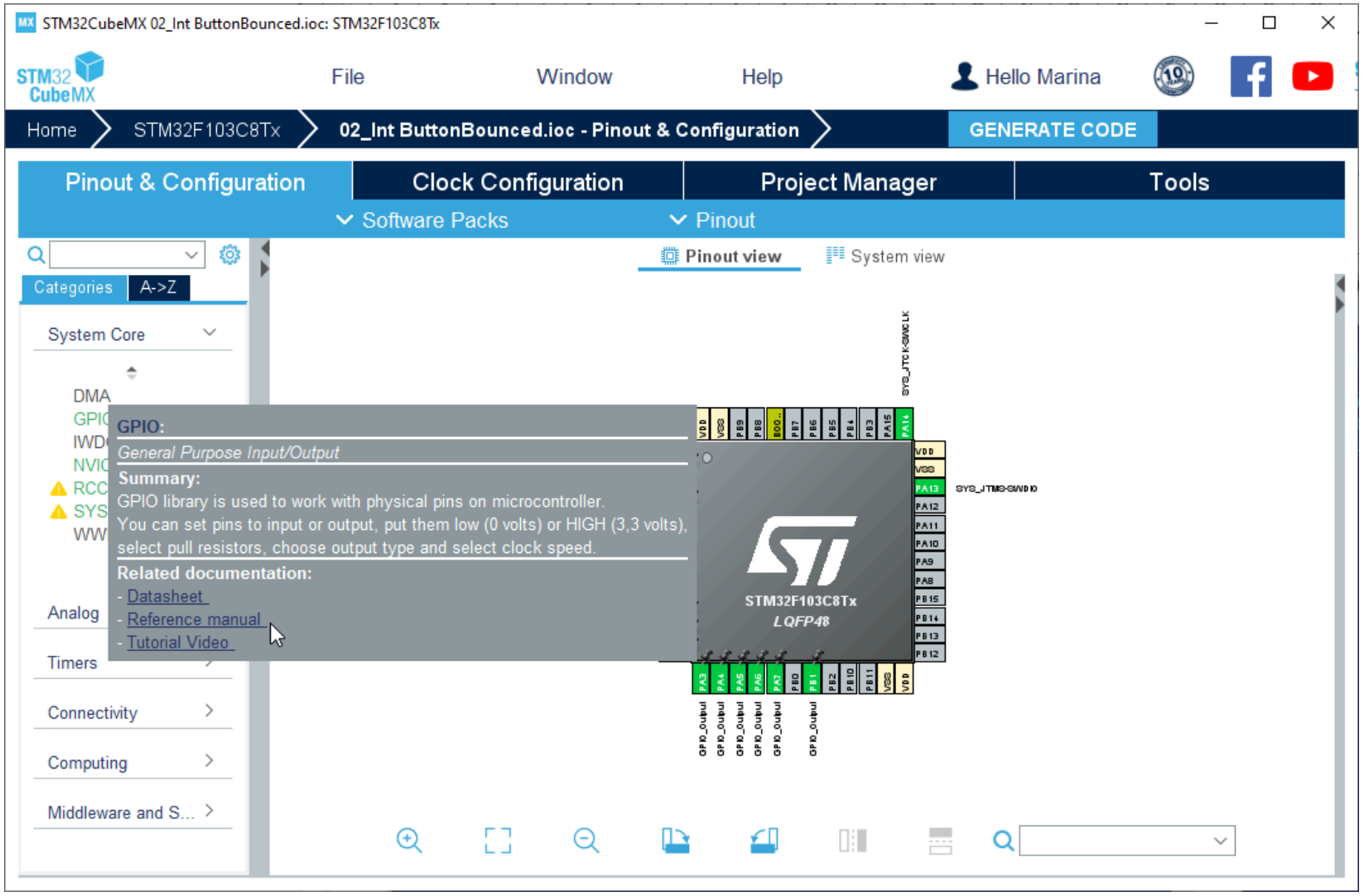
Figure 1. STM32F103xx performance line block diagram



1. T_A = –40°C to +105°C (junction temperature up to 125°C).
2. AF = alternate function on I/O port pin.

AF – альтернативная функция линии ввода-вывода

Информация по MCU STM32F103C8T6



RM0008 – руководство по микроконтроллерам серии 10X

UM1850 – Description of STM32F1 HAL and low-layer drivers. Описание функций HAL и LL библиотек.

Ввод-вывод в STM32 и некоторые функции библиотеки HAL

Вывод

```
/*РАБОТА С ФУНКЦИЕЙ HAL_GPIO_WritePin*/
HAL_GPIO_WritePin (GPIOB, GPIO_PIN_All, GPIO_PIN_SET);   //установка всех бит порта B
HAL_GPIO_WritePin (GPIOB, GPIO_PIN_All, GPIO_PIN_RESET); //сброс всех бит порта B
HAL_GPIO_WritePin (GPIOB, GPIO_PIN_15|GPIO_PIN_13|GPIO_PIN_11, GPIO_PIN_RESET); //сброс выбранных бит порта B – PB15, PB13, PB11
HAL_GPIO_WritePin (GPIOB, GPIO_PIN_13|GPIO_PIN_11|GPIO_PIN_9, GPIO_PIN_SET);   //установка выбранных бит порта B – PB13, PB11, PB9

/*РАБОТА С РЕГИСТРОМ ПОБИТОВОЙ УСТАНОВКИ-СБРОСА BSRR (ст. 16 бит - сброс бит, мл. 16 бит - установка бит)*/
GPIOA->BSRR=0xCC000000;    //сброс 15,14,11,10 бит порта A
GPIOA->BSRR=0x0000CC00;    //установка 15,14,11,10 бит порта A
```

```
/*РАБОТА С РЕГИСТРОМ ПИНОВЫХ ДАННЫХ ODR (Output Data Register), запись параллельно */
GPIOB->ODR=0xE305;      //запись 0b1110001100000101 в порт B
GPIOA->ODR=0x0007;      //запись 0b0000000000000111 в порт A
```

Ввод

```
//ЧТЕНИЕ ЧЕРЕЗ РЕГИСТР IDR (Input Data Register)
GPIOB->ODR=(GPIOA->IDR&0x000F)<<8;   //чт. 4 мл. бит PA и запись их в 4 мл. бита старшего байта PB

//ЧТЕНИЕ ЧЕРЕЗ функцию HAL_GPIO_ReadPin
a=HAL_GPIO_ReadPin(GPIOA,GPIO_PIN_3)<<3 |
HAL_GPIO_ReadPin(GPIOA,GPIO_PIN_2)<<2 |
HAL_GPIO_ReadPin(GPIOA,GPIO_PIN_1)<<1 |
HAL_GPIO_ReadPin(GPIOA,GPIO_PIN_0)<<0;  //a <- число в 4-х мл. битах PA
a<<=8;          //сдвиг a на 8 бит влево
GPIOB->ODR=a;//чтение 4 мл. бит порта A и запись их в 4 мл. бита старшего байта порта B
```

Callback-функция для обработчика внешнего прерывания на выводе МК GPIO_PIN

```
void HAL_GPIO_EXTI_Callback(uint16_t GPIO_Pin)
{
.....//обработчик внешнего прерывания
}
```

АЦП

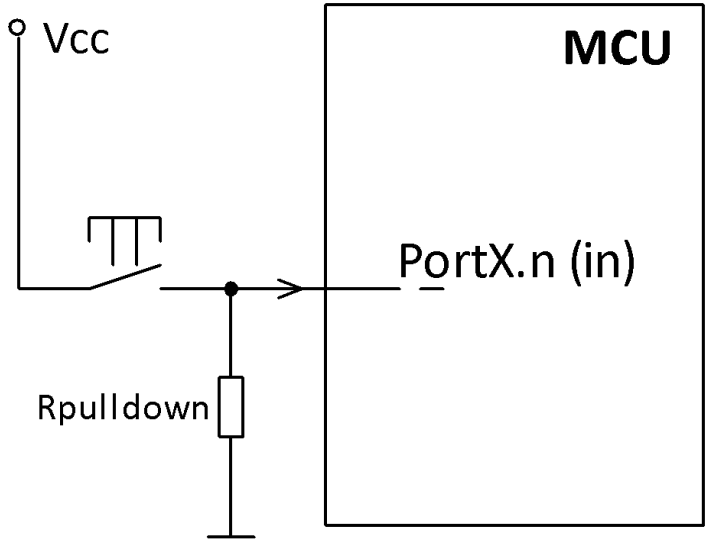
```
HAL_ADCEx_Calibration_Start(&hadc1);    //калибровка АЦП1
HAL_ADC_Start(&hadc1); //запуск АЦП1 на преобразование
HAL_ADC_Start_IT(&hadc1);  //запуск АЦП1 на преобразование с прерываниями
HAL_ADC_Start_DMA(&hadc1,(uint32_t*)&adc,10);  //старт АЦП1 в режиме DMA
с передачей в массив adc[10] 10 слов данных с АЦП
HAL_ADC_PollForConversion(&hadc1, 100); //ожидание готовности выходных
данных АЦП1
adc = HAL_ADC_GetValue(&hadc1);   //чтение преобразованных данных АЦП1 в
переменную adc
HAL_ADC_Stop(&hadc1);      //останов АЦП1

/*Callback-функция для обработчика прерывания от АЦП*/
void HAL_ADC_ConvCpltCallback(ADC_HandleTypeDef* hadc) {.....}
```

UART

```
HAL_UART_Transmit(&huart1, (uint8_t*)uart_str, strlen(uart_str), 1000);
//вывод сформированной строки массива uart_str[] в UART1
```

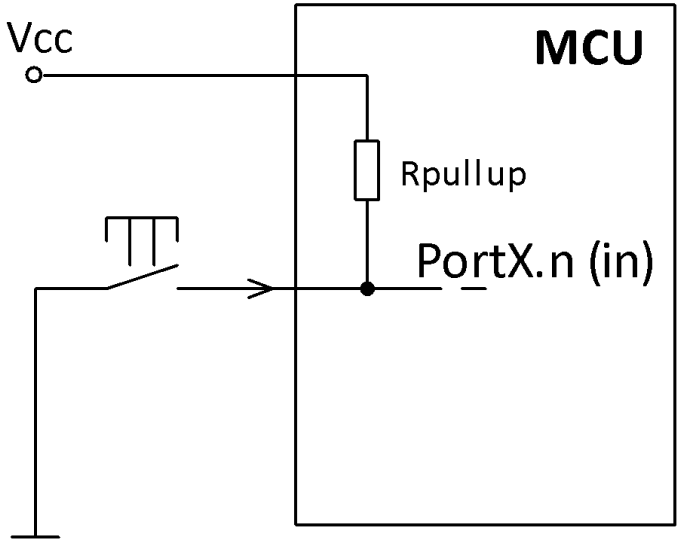
ПОДКЛЮЧЕНИЕ КНОПОК К ПОРТАМ ВВОДА

Клик кнопки формирует короткий импульс высокого уровня



Для формирования низкого уровня при отпущенной кнопке используется внешний подтягивающий к низкому уровню резистор ***Rpulldown***.

Клик кнопки формирует короткий импульс низкого уровня

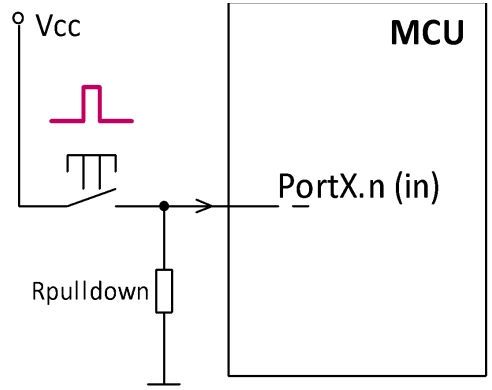


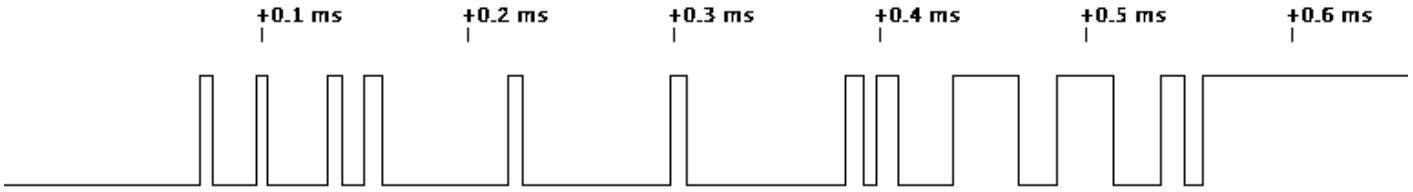
Для формирования высокого уровня при отпущенной кнопке используется подтягивающий к высокому уровню резистор ***Rpullup***, в качестве которого может выступать

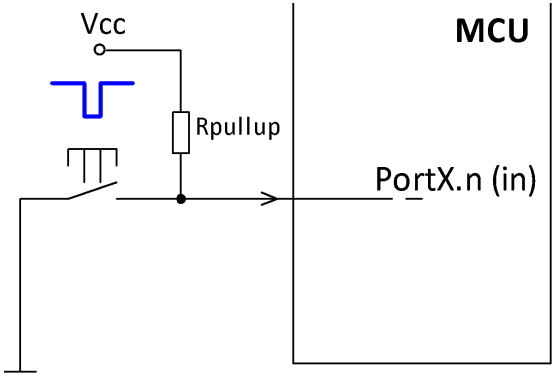
	и внутренний подтягивающий резистор линии порта ввода.

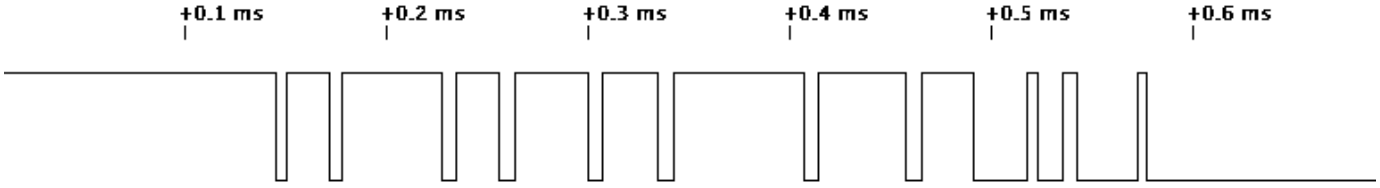
В микроконтроллерах **Atmega** (в том числе и Atmega328p) для портов ввода существует возможность подключения внутреннего подтягивающего к питанию резистора *Rpullup* (см. , справа).
В микроконтроллерах **STM32** для портов в режиме ввода существует возможность подключения внутренних подтягивающего как к + питания *Rpullup*, так и к выводу «общий» (земля) *Rpulldown*.
Схемотехническую реализацию различных вариантов подтягивающих резисторов см. на слайдах , .
Таким образом в **МК STM32** при подключении кнопок к портам ввода всегда можно использовать внутренние подтягивающие (к земле или питанию) резисторы. В **МК Atmega** можно использовать только внутренний подтягивающий к питанию резистор.

Дребезг контактов при замыкании кнопки



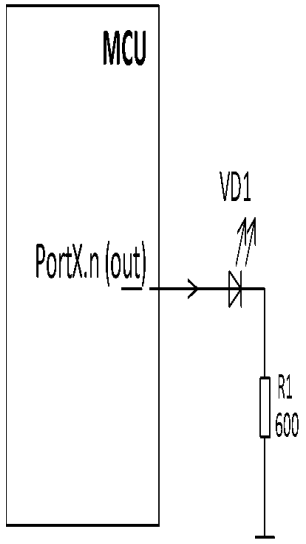




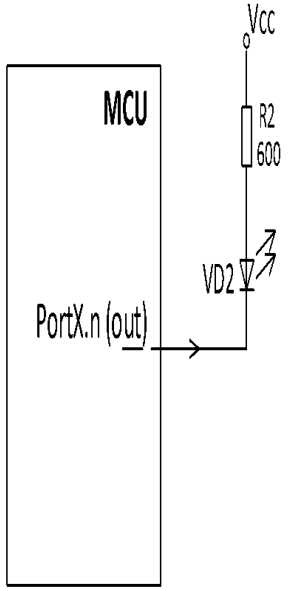


ПОДКЛЮЧЕНИЕ СВЕТОДИОДОВ К ПОРТАМ ВЫВОДА

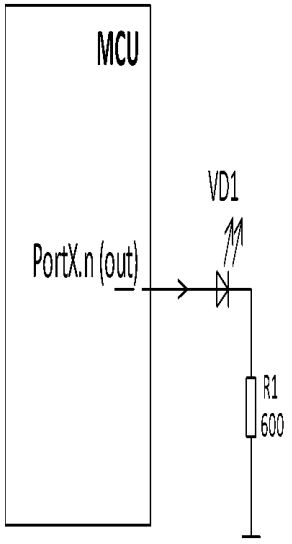
Светодиод светится
при лог. "1" на выходе



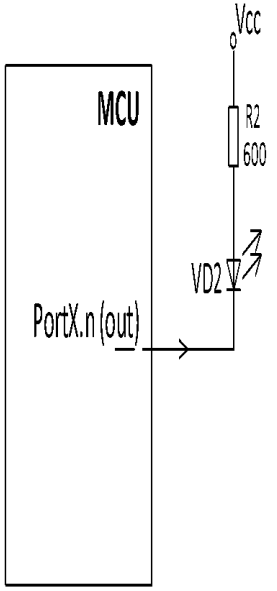
Светодиод светится
при лог. "0" на выходе



Светодиод светится
при лог. "1" на выходе



Светодиод светится
при лог. "0" на выходе



Внутри МК есть токоограничивающий резистор, однако добавочно включают внешний резистор R1 для задания тока:

$$I_{LED} \approx \frac{V_{\log 1} - V_{LED}}{R_1}$$

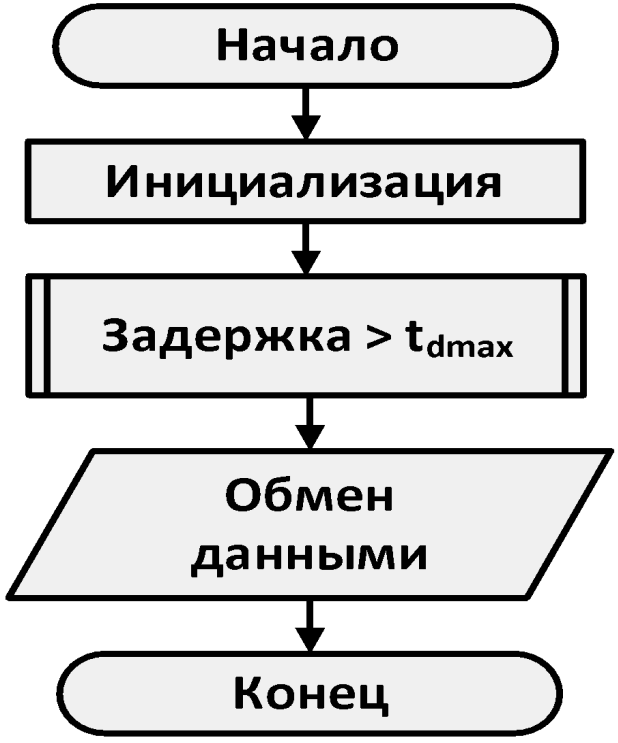
Резистор R2 задает ток через светящийся светодиод:

$$I_{LED} \approx \frac{V_{CC} - V_{LED} - V_{\log 0}}{R_2}.$$

СПОСОБЫ ОБМЕНА ЦП С МЕДЛЕННЫМ УВВ

Синхронный способ обмена

В этом случае программа регулирует синхронный обмен с внешним устройством.



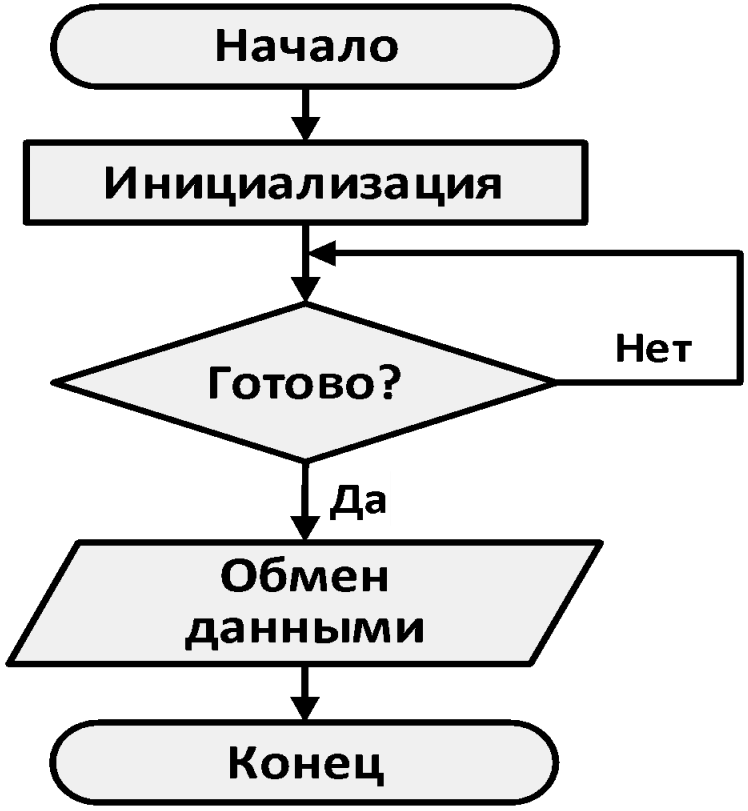
Недостатки:

- Привязка к паспортным данным периферийного устройства

- Потеря времени на создание задержек

Асинхронный способ обмена

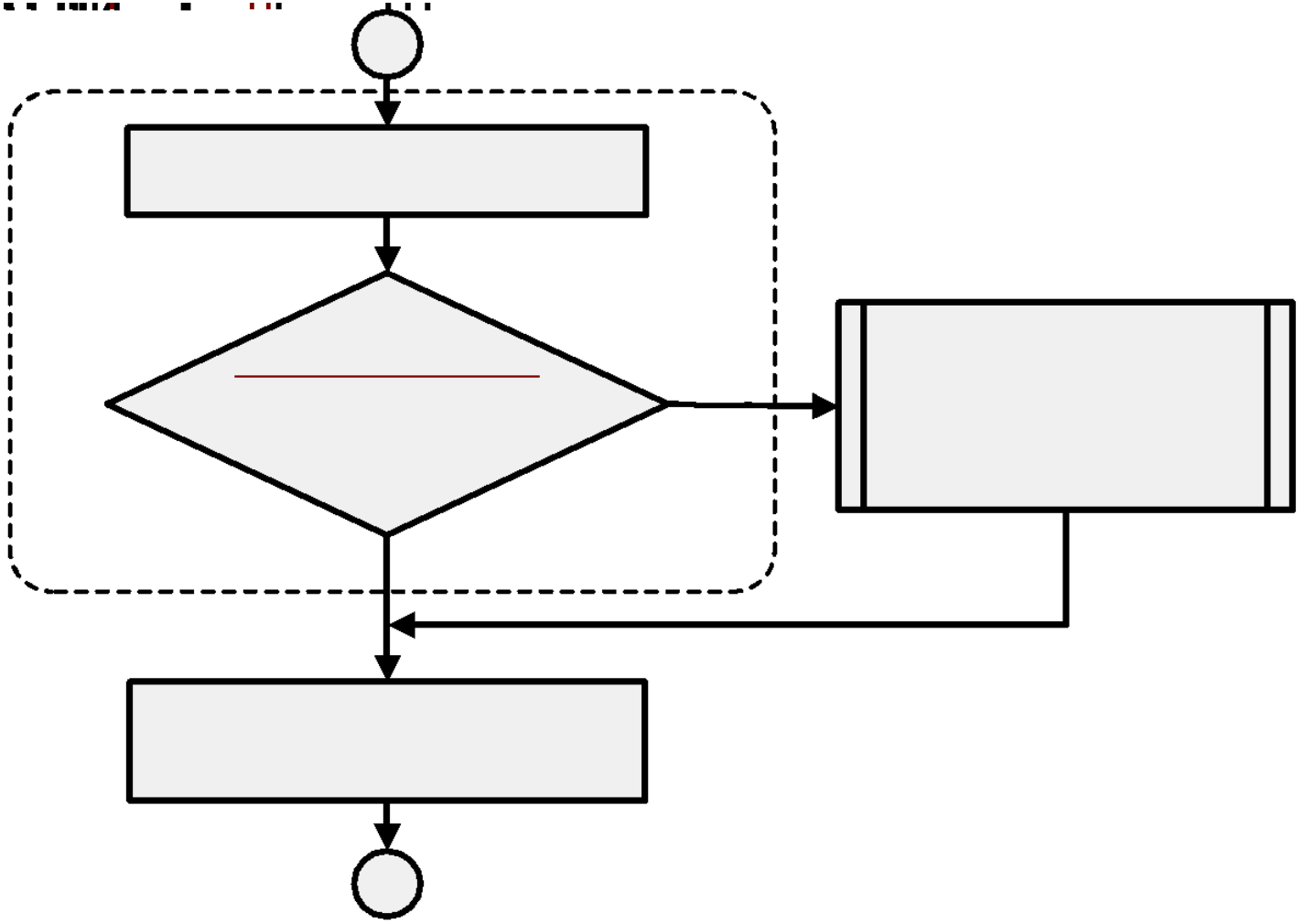
В этом случае ВУ формирует сигнал готовности, а процессор опрашивает наличие этого сигнала (программный поллинг).



Недостаток:

- В ожидании сигнала готовности процессор не может выполнять другие операции.

Обмен по прерыванию



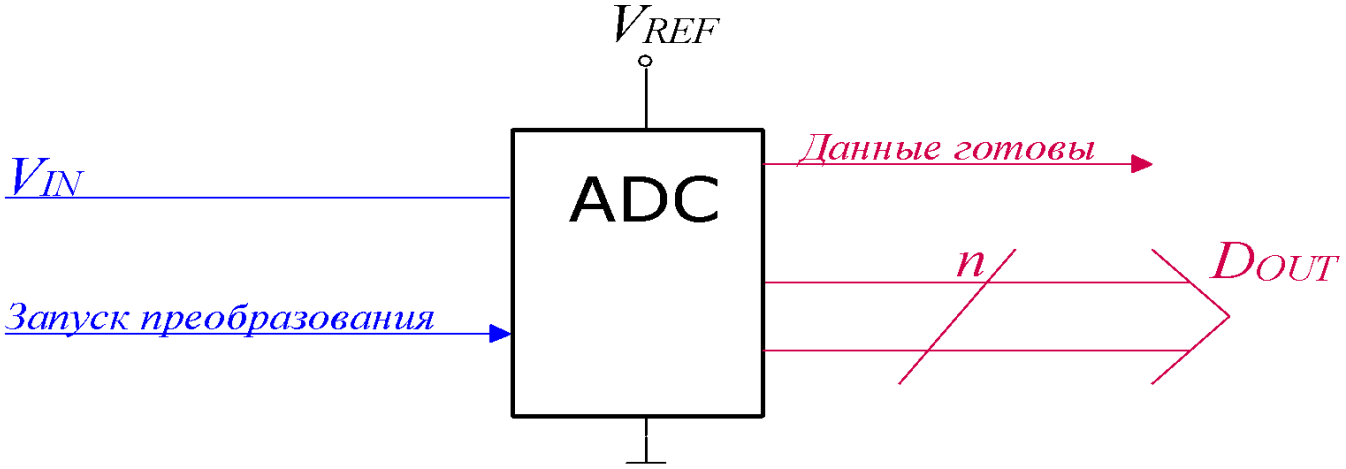
- При отсутствии запроса прерывания процессор выполняет основной алгоритм;

- При наличии запроса переходит на подпрограмму обслуживания прерывания, выполняет ее и возвращается к прерванной программе.

Достоинство: процессор не тратит время на создание необходимых временных задержек и на ожидание готовности внешнего устройства.

АНАЛОГО-ЦИФРОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ (АЦП, ADC)

АЦП – устройство, осуществляющее автоматическое преобразование (измерение и кодирование) непрерывно изменяющихся во времени аналоговых значений (например, напряжения) в эквивалентные значения числовых кодов (как правило двоичных).



Преобразование обеспечивает соответствие дискретного отсчета $V_{IN}(t_i)$ значению выходного двоичного кода $D_{OUT\,ti}$. Количественная связь для любого момента времени t_i, определяется соотношением:

$$D_{OUT} \approx \left\lfloor \frac{V_{IN}}{\Delta V} \right\rfloor = \left\lfloor 2^n \frac{V_{IN}}{V_{REF}} \right\rfloor$$

где n – количество выходных двоичных разрядов АЦП; V_{REF} – опорное напряжение АЦП; $\Delta V = V_{REF}/2^n$ – шаг квантования (или аналоговый эквивалент единицы младшего значащего разряда ЕМР).
АЦП часто входит в состав микроконтроллеров. Так ATmega328p имеет в своем составе 10-разрядный АЦП, а МК STM32F103C8T6 – два 12-разрядных АЦП.

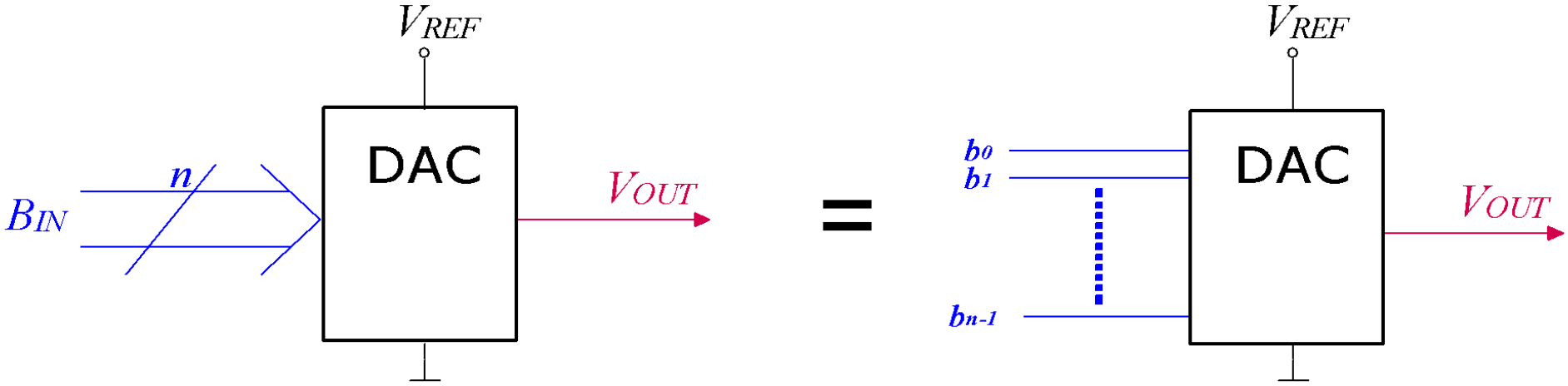
Взаимодействовать с АЦП программа микроконтроллера может двумя способами:

1. Поллингом. В этом случае после запуска АЦП периодически осуществляется опрос флага готовности, и при его появлении производится считывание результата преобразования — двоичного цифрового эквивалента (см.).

2. По прерыванию. В этом случае после запуска АЦП программа занимается другой задачей. При поступлении запроса прерывания от АЦП (данные готовы) задача прерывается и происходит переход к обработчику прерывания от АЦП, в котором считываются готовые данные (см.).

ЦИФРО-АНАЛОГОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ (ЦАП, DAC)

Устройство, осуществляющее автоматическое преобразование входных значений, представленных числовыми кодами, в эквивалентные им значения какой-нибудь физической величины (напряжения, тока и др.), называют цифроаналоговым преобразователем (ЦАП, DAC).



$$V_{OUT} = \Delta V \times B_{IN} = \frac{V_{REF} \cdot \left(b_{n-1} \cdot 2^{n-1} + b_{n-2} \cdot 2^{n-2} + \ldots + b_1 \cdot 2 + b_0\right)}{2^n},$$

где:

B_{IN} – входной n-разрядный двоичный код;

$b_0, b_1 \ldots b_{n-1}$ – разряды (биты) двоичного кода, принимающие значение «0» или «1»

V_{REF} – опорное напряжение ЦАП.

ЦАП иногда входят в состав микроконтроллеров. Однако в МК ATmega328p и STM32F103C8T6 они отсутствуют.

Имеются они, например, в составе МК LGT8F328p (8-разрядный ЦАП на резистивной матрице R2R), STM32F407 (12-разрядный).

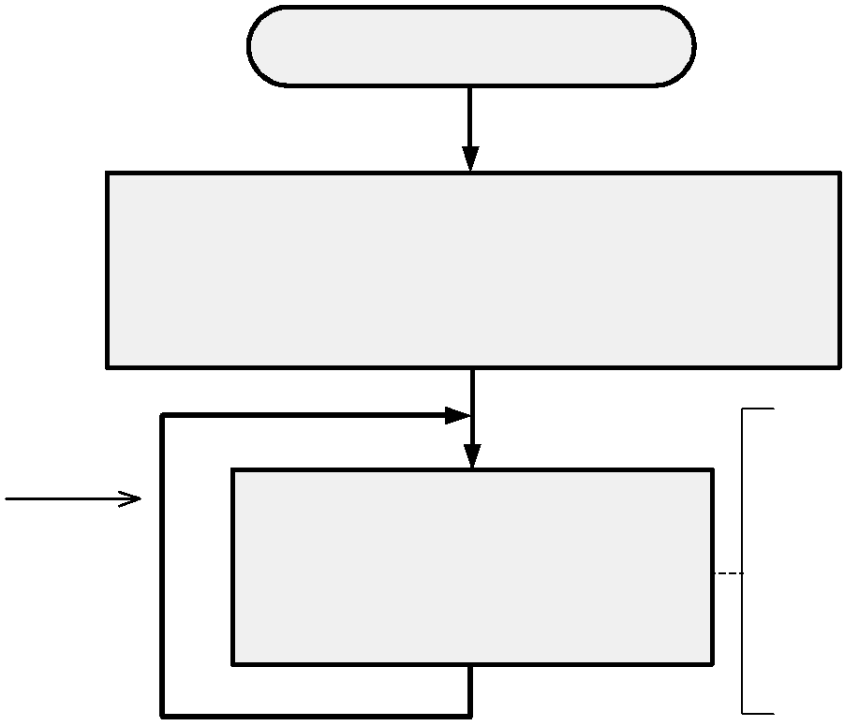
В случае необходимости подключаются внешние ЦАП, как, например, MCP4921 (12-разрядный ЦАП с SPI-интерфейсом), MCP4725 (12-разрядный ЦАП с I^2Cинтерфейсом) и пр.

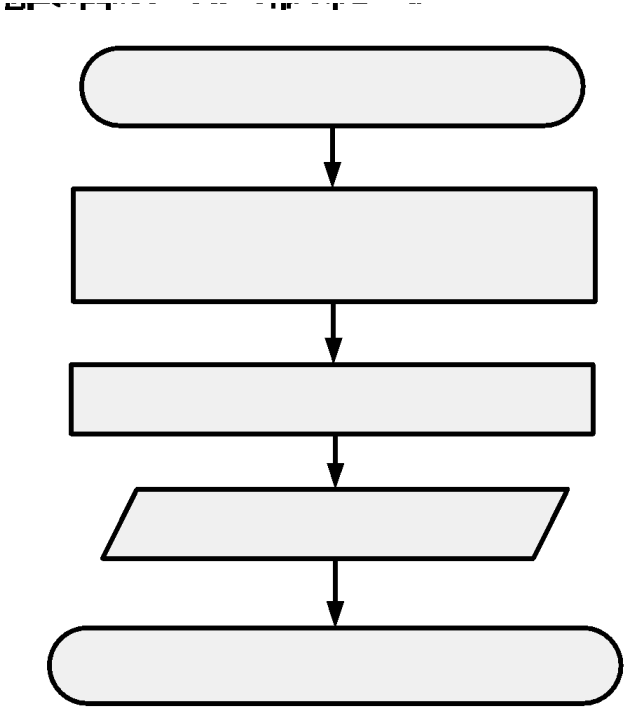
Кроме того можно самостоятельно собрать ЦАП невысокой разрядности (не более 8) на резистивной матрица R2R с резисторами с 1% допуском номиналами, например 5кОм-10кОм или 10кОм-20кОм. Такой ЦАП, являясь параллельным и по принципу действия и по интерфейсу связи обладает максимально возможным быстродействием. Принцип действия такого ЦАП рассмотрен здесь на стр. 33-35. Такой принцип действия имеет 8-разрядныйЦАП, встроенный в МК LGT8F328p. Ниже будут рассмотрены проекты цифрового синтеза периодических сигналов с использованием подобного ЦАП.

УЧЕБНЫЕ ПРОЕКТЫ ДЛЯ STM32F103C8T6, ATMEGA328P

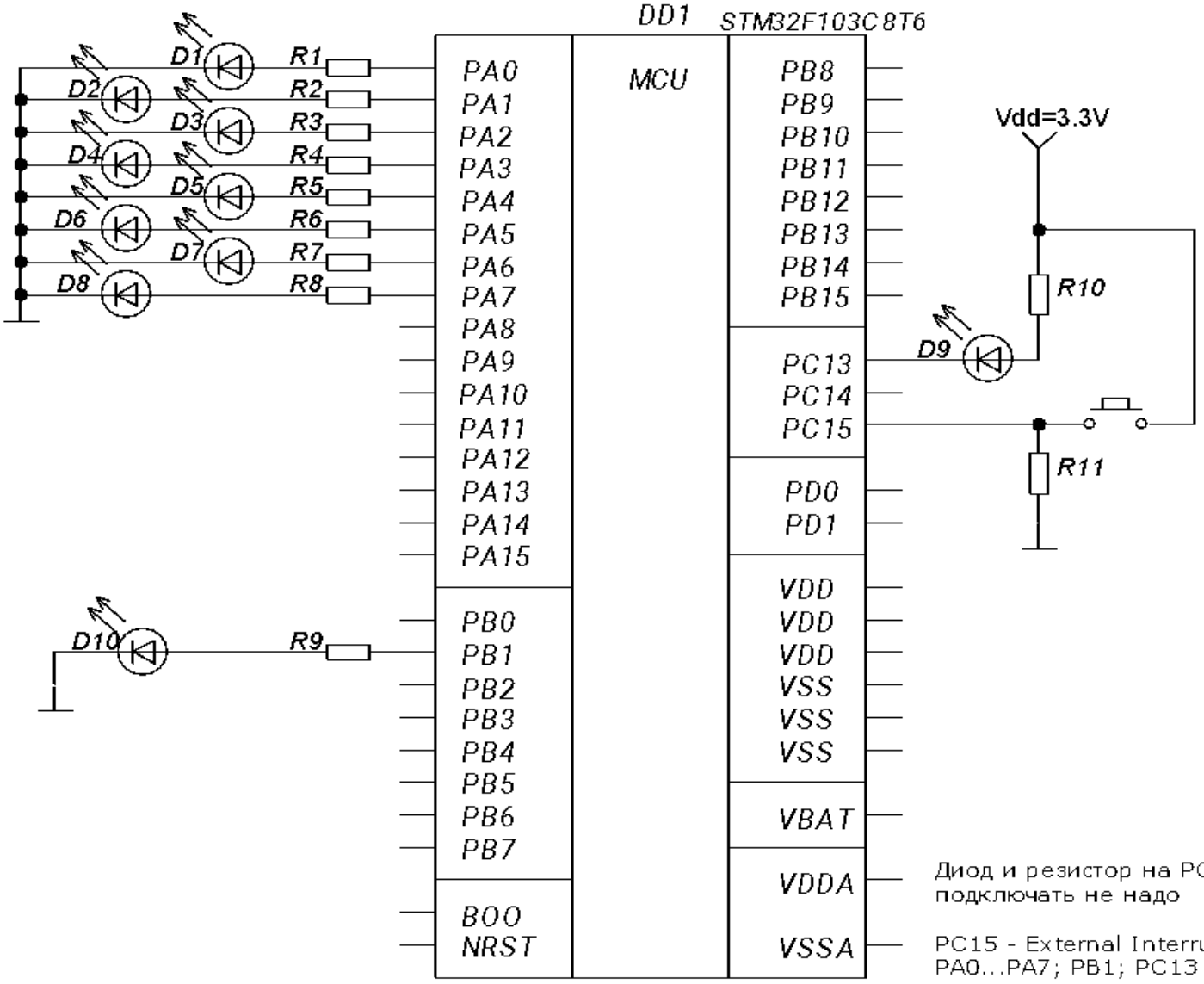
Задача 1. Мигалка с подсчетом кликов кнопки с дребезгом

Организовать перемигивание светодиодов на выводах PC13 (светодиод на отладочной плате, включенный по схеме с общим анодом, см. , справа) и PB1 (включен по схеме с общим катодом, см. , слева) с периодом 0.5 с. Одновременно должен работать счетчик внешних событий от 0 до 255 (кликов кнопки на порте ввода PC16) и происходить вывод кликов кнопки в двоичном коде на светодиодную линейку, подключенную к младшему байту порта A (PA0…PA7). Светодиодная линейка включена по схеме с общим катодом.





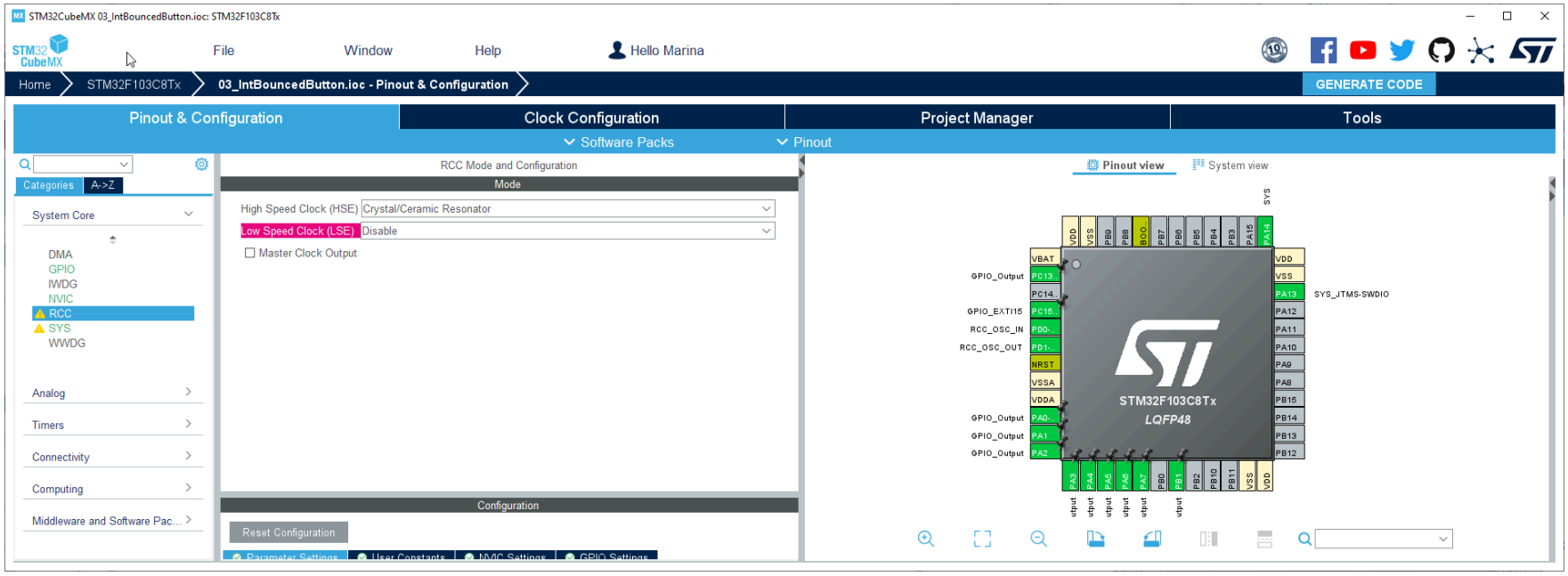
Принципиальная схема проекта

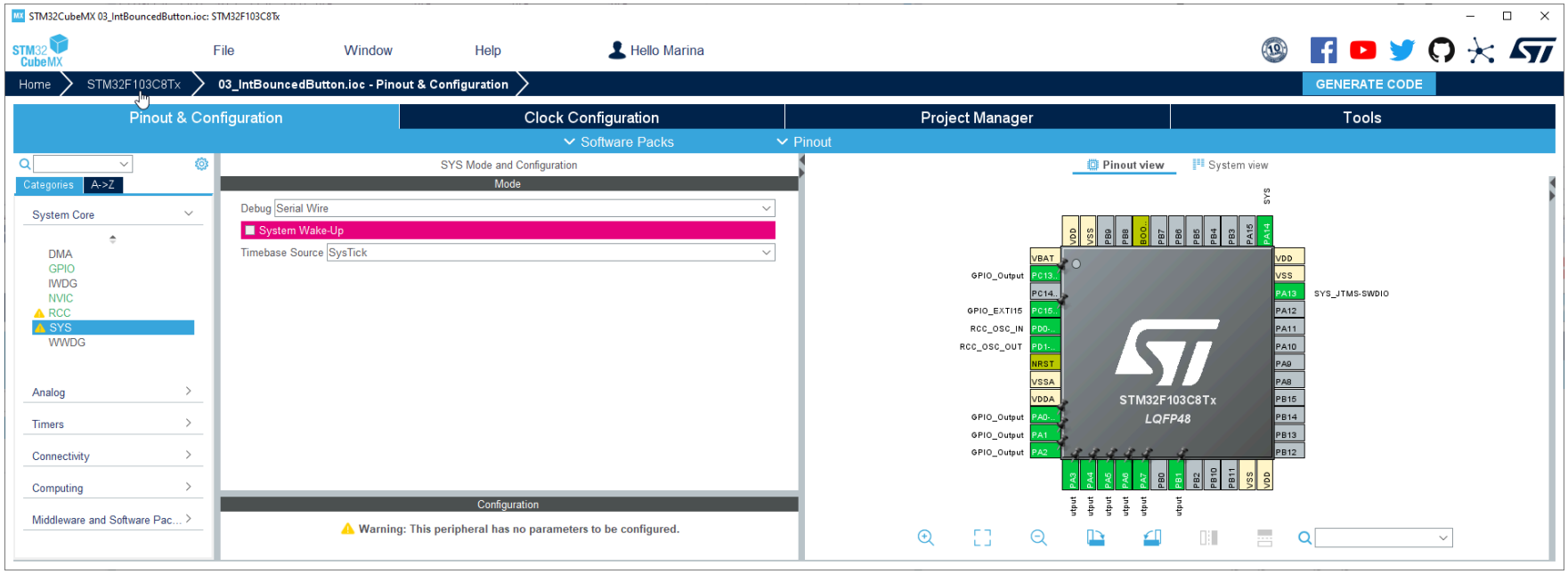


Диод и резистор на PC13 находятся на отладочной плате, подключать не надо

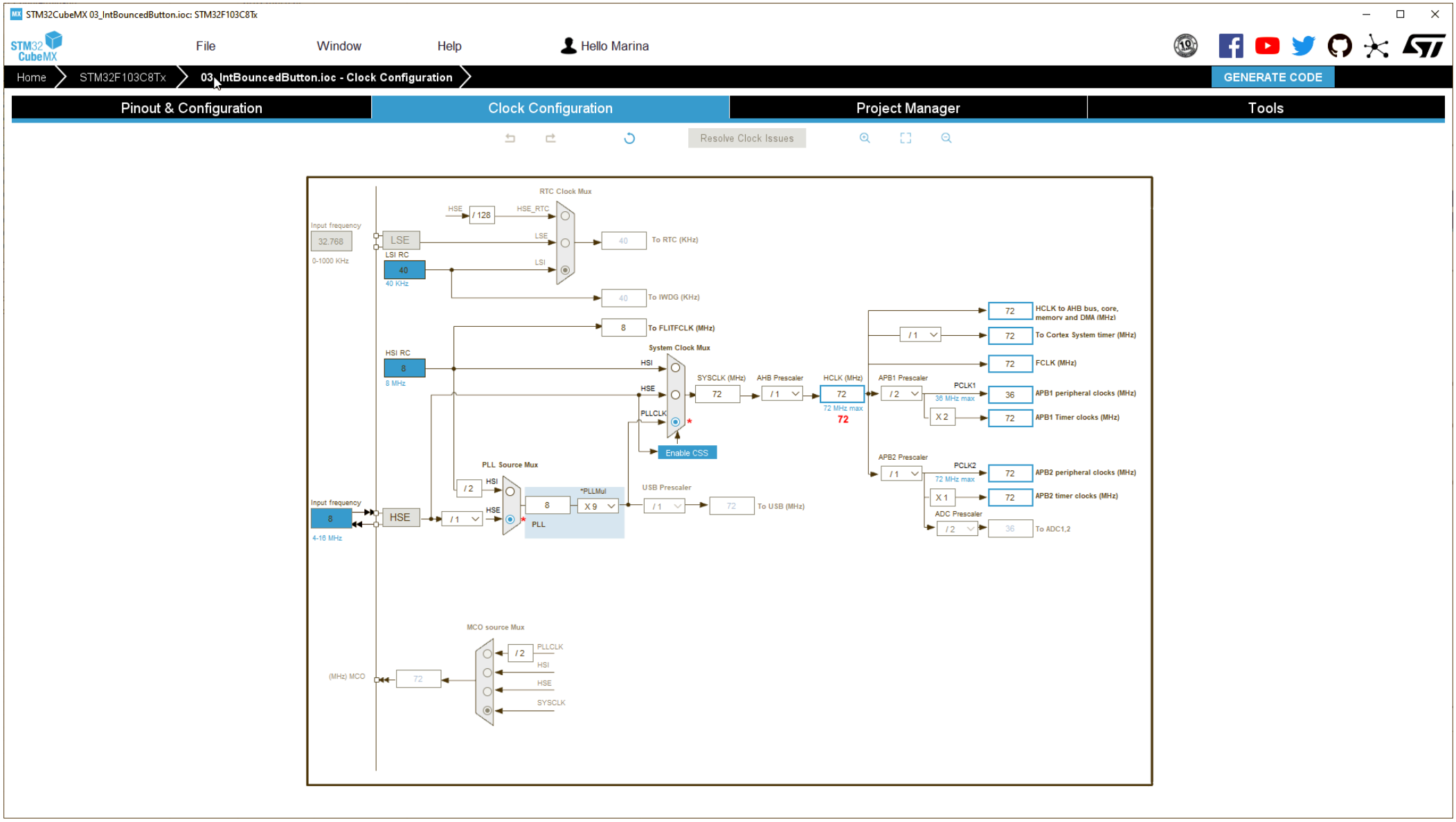
PC15 - External Interrupt Mode; No Pull-up no Pull-down
PA0...PA7; PB1; PC13 - Output Push-Pull; No pull-up, No pul

Настройка проекта в Cube MX

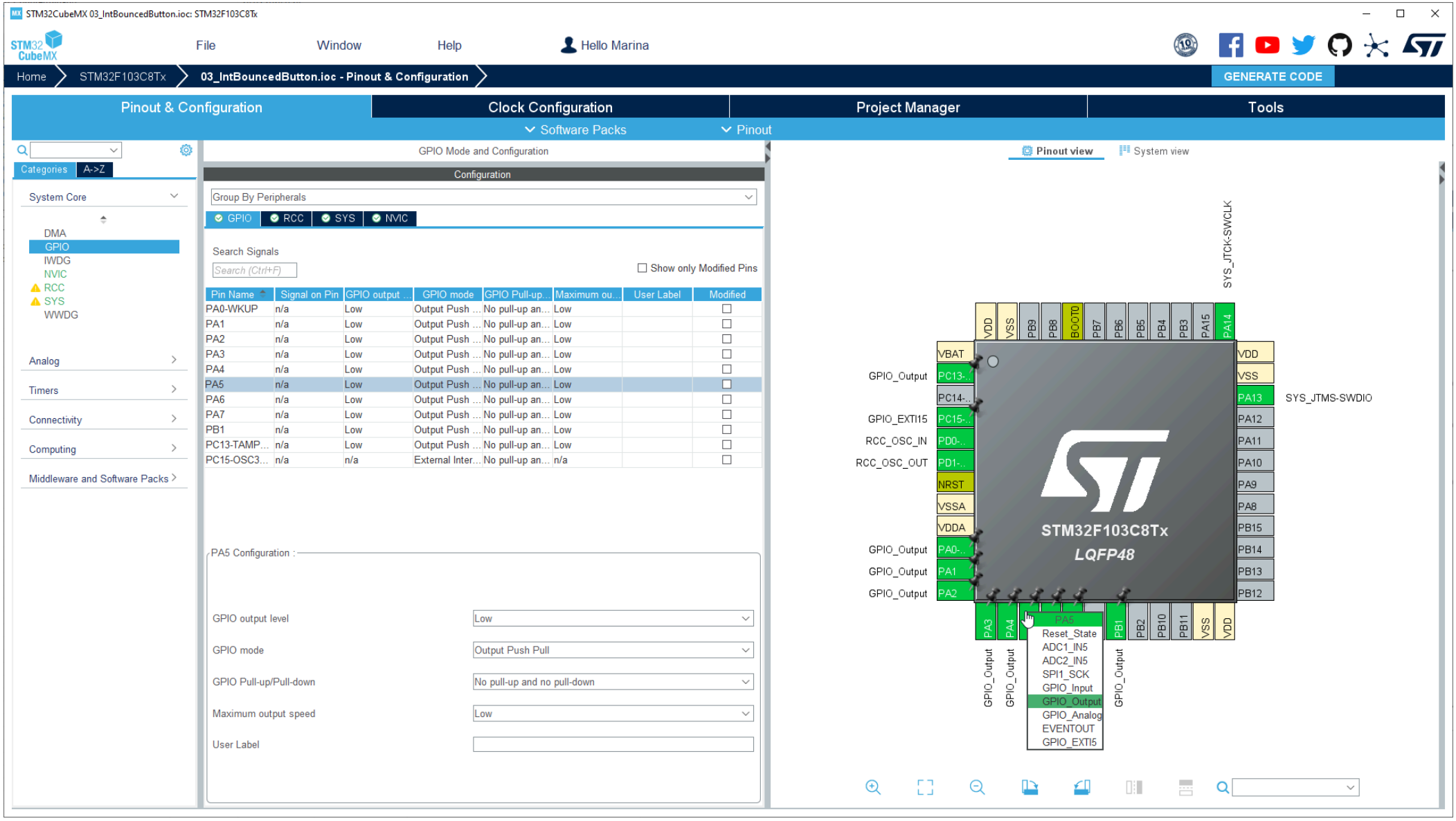



STM32CubeMX 03_IntBouncedButton.ioc: STM32F103C8Tx
File
Window
Help
Hello Marina
Home
STM32F103C8Tx
03_IntBouncedButton.ioc - Pinout & Configuration
GENERATE CODE
Pinout & Configuration
Clock Configuration
Project Manager
Tools
Software Packs
Pinout
Categories
A->Z
System Core
DMA
GPIO
IWDG
NVIC
RCC
SYS
WWDG
Analog
Timers
Connectivity
Computing
Middleware and Software Pac...
SYS Mode and Configuration
Mode
Debug
Serial Wire
System Wake-Up
Timebase Source
SysTick
Configuration
Warning: This peripheral has no parameters to be configured.
Pinout view
System view
STM32F103C8Tx
LQFP48
GPIO_Output
GPIO_EXTI15
RCC_OSC_IN
RCC_OSC_OUT
SYS_JTMS-SWDIO

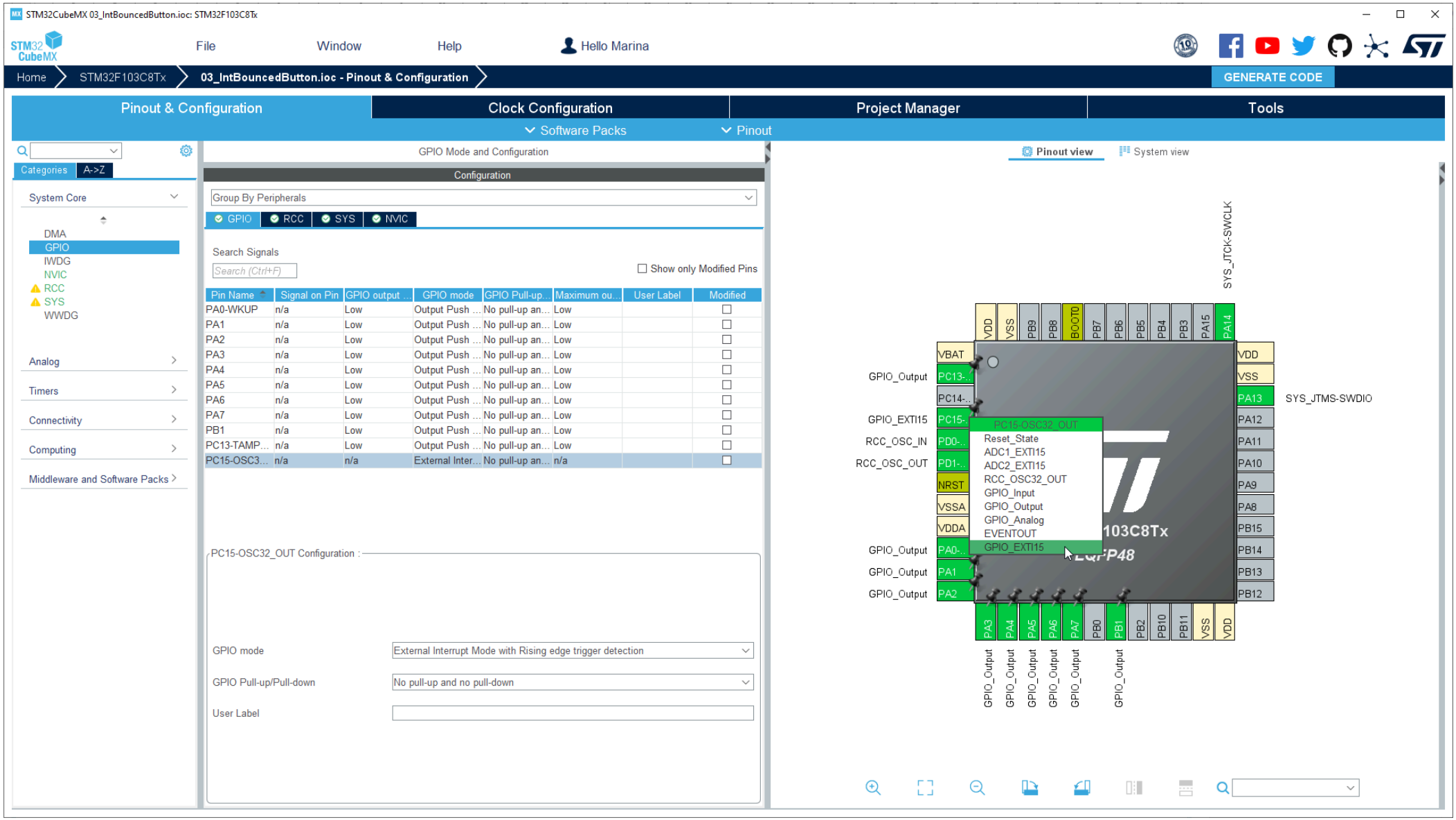
Настройка внутренней конфигурации МК



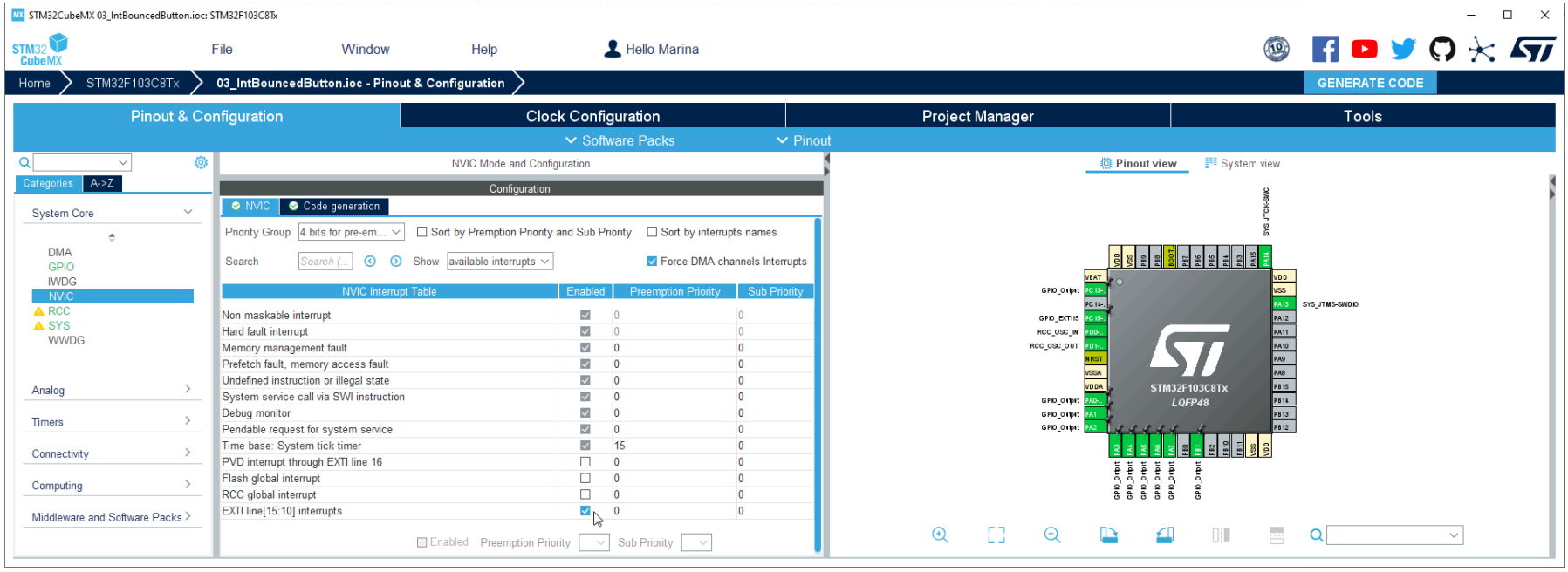
Настройка линий ввода-вывода

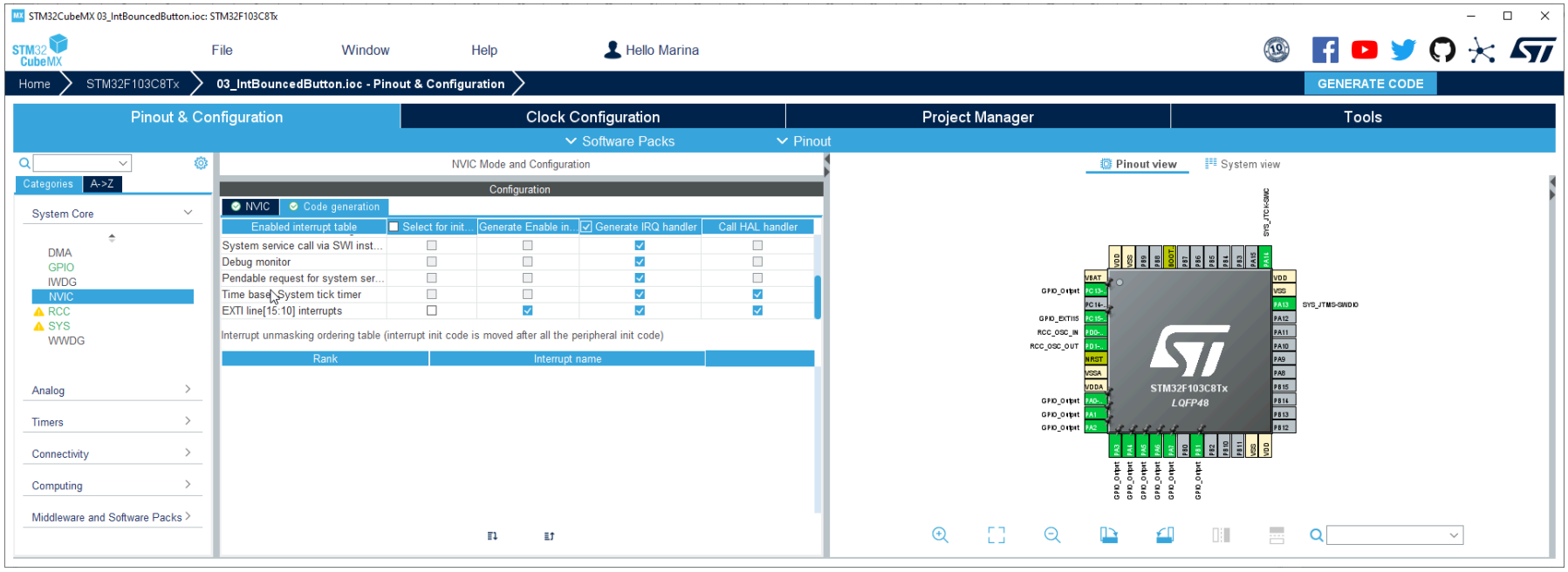


Настройка внешних прерываний (1)

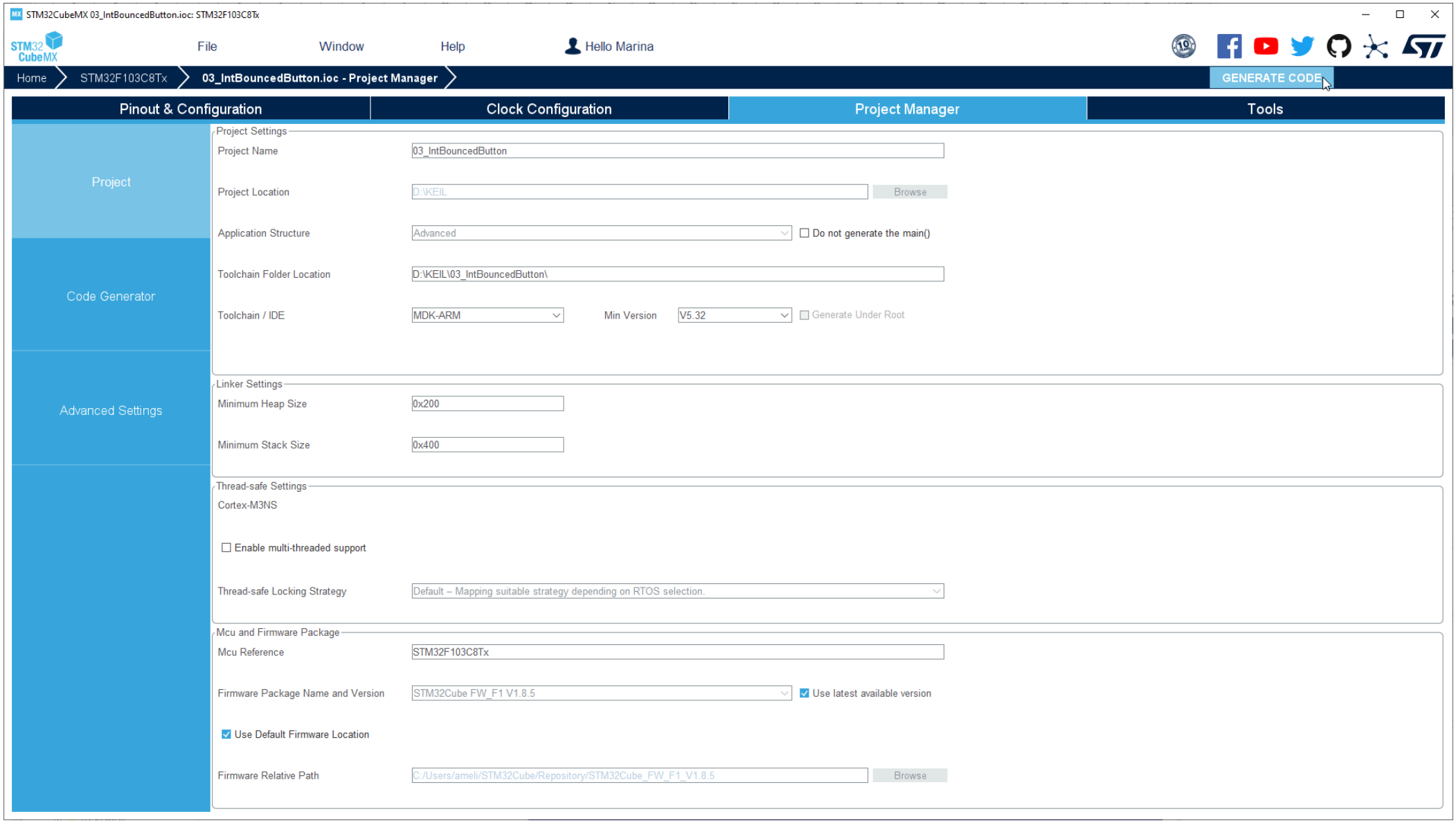


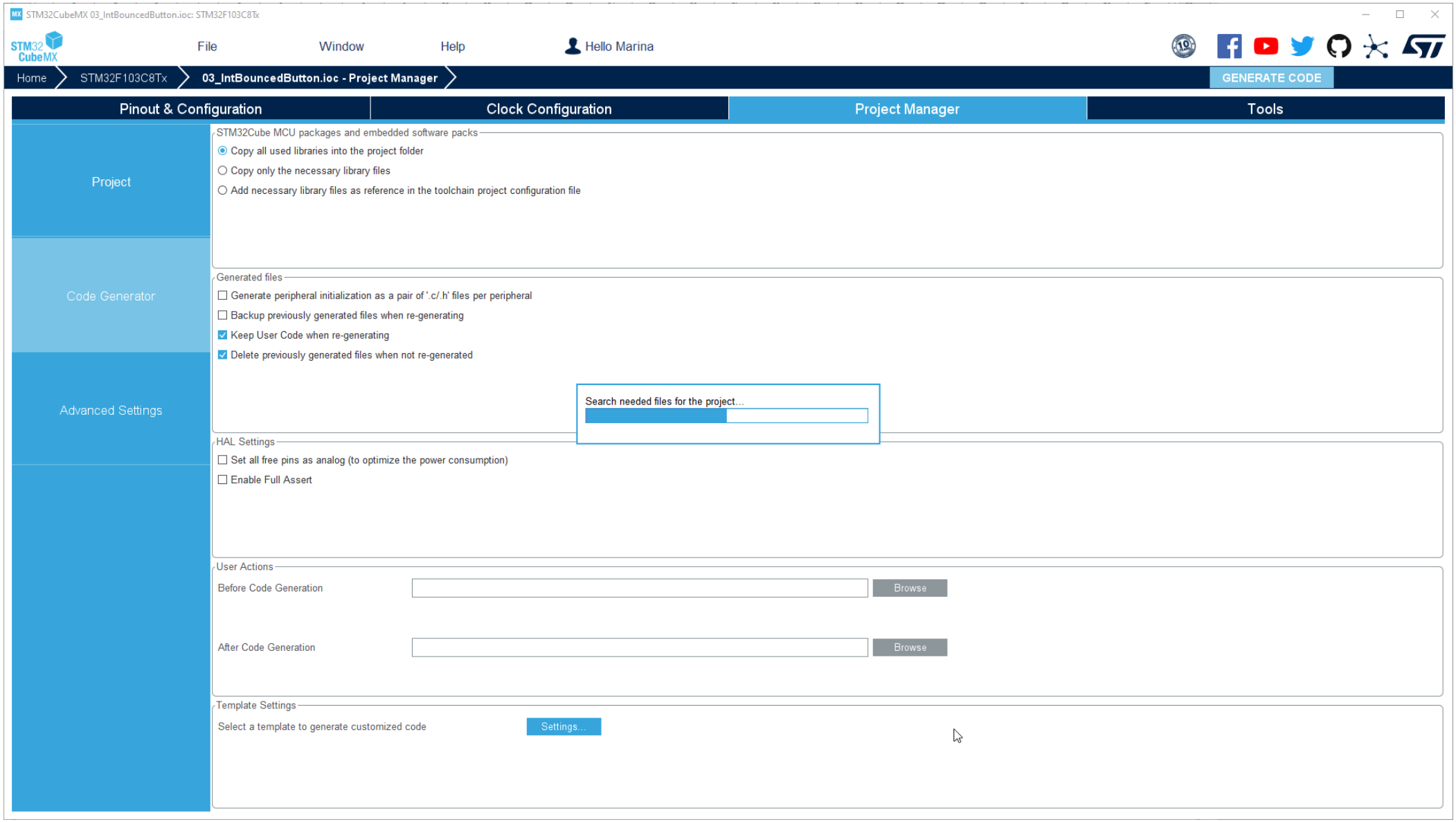
Настройка внешних прерываний (2)

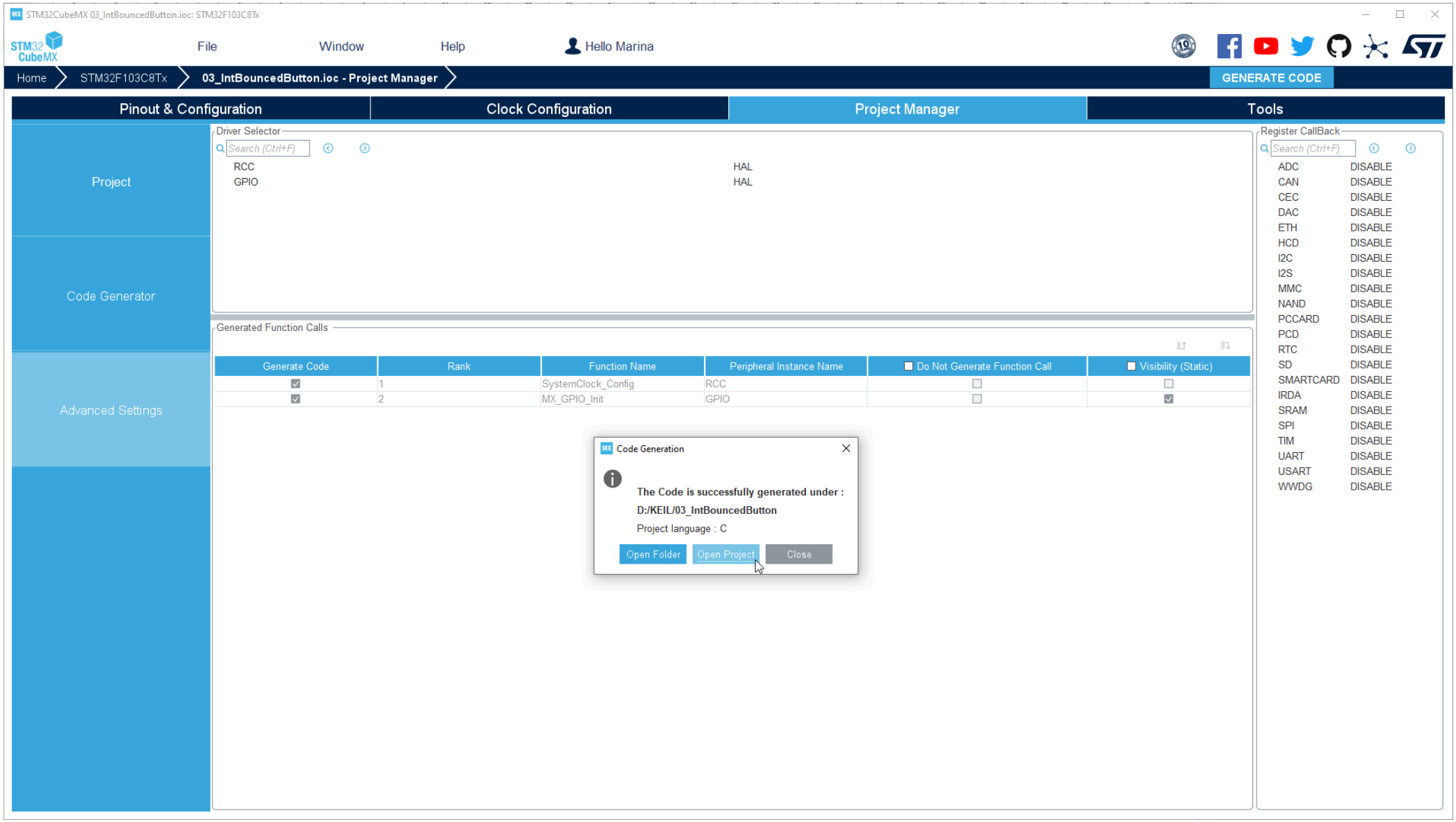



STM32CubeMX 03_IntBouncedButton.ioc: STM32F103C8Tx
File
Window
Help
Hello Marina
Home
STM32F103C8Tx
03_IntBouncedButton.ioc - Pinout & Configuration
GENERATE CODE
Pinout & Configuration
Clock Configuration
Project Manager
Tools
Software Packs
Pinout
Categories
A->Z
System Core
DMA
GPIO
IWDG
NVIC
RCC
SYS
WWDG
Analog
Timers
Connectivity
Computing
Middleware and Software Packs
NVIC Mode and Configuration
Configuration
NVIC
Code generation
Enabled interrupt table
Select for init...
Generate Enable in...
Generate IRQ handler
Call HAL handler
System service call via SWI inst...
Debug monitor
Pendable request for system ser...
Time base: System tick timer
EXTI line[15:10] interrupts
Interrupt unmasking ordering table (interrupt init code is moved after all the peripheral init code)
Rank
Interrupt name
Pinout view
System view
STM32F103C8Tx
LQFP48

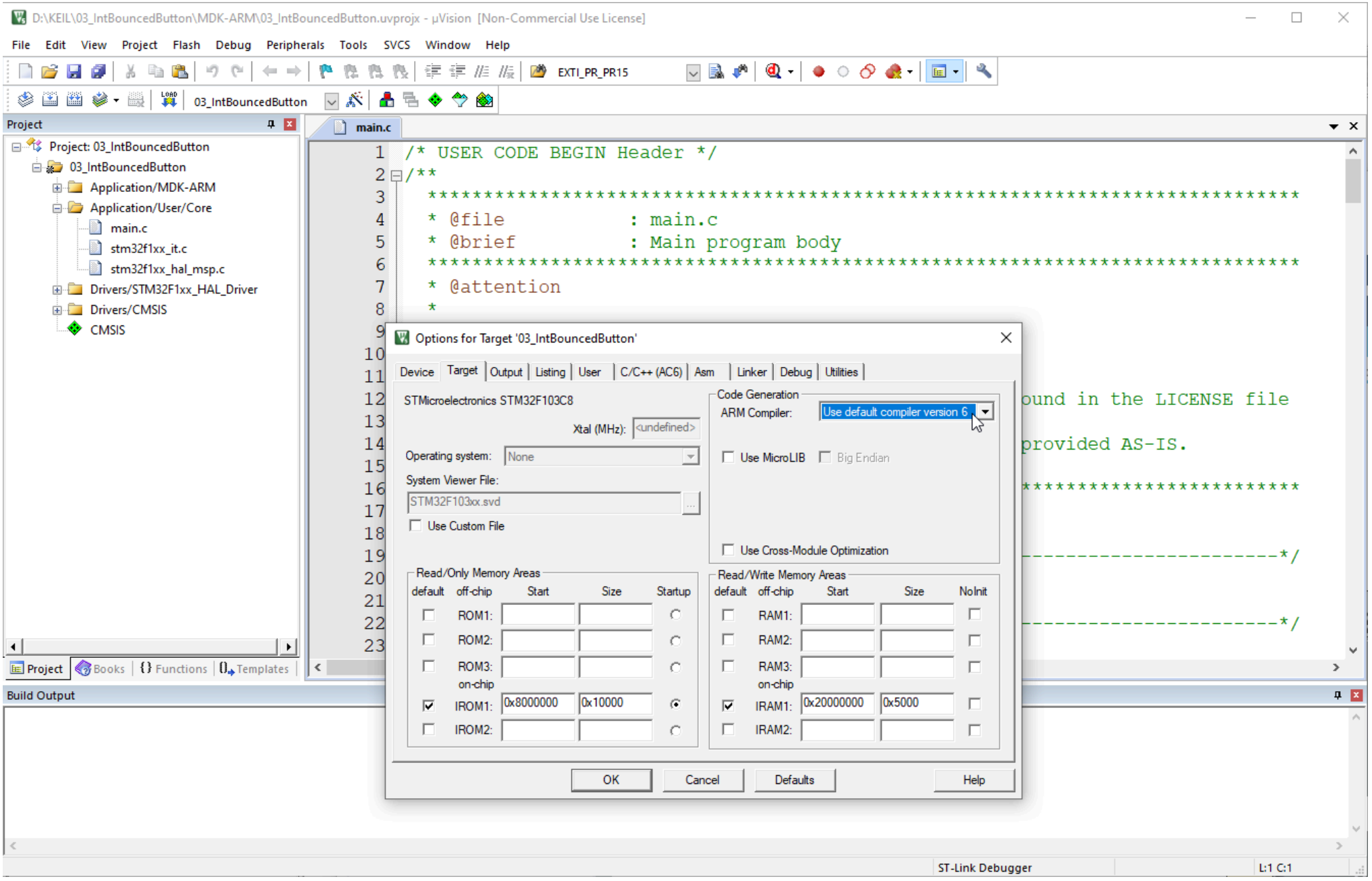
Настройки программного проекта и генерация кода




STM32CubeMX 03_IntBouncedButton.ioc: STM32F103C8Tx
File
Window
Help
Hello Marina
Home
STM32F103C8Tx
03_IntBouncedButton.ioc - Project Manager
GENERATE CODE
Pinout & Configuration
Clock Configuration
Project Manager
Tools
Project
Code Generator
Advanced Settings
STM32Cube MCU packages and embedded software packs
Copy all used libraries into the project folder
Copy only the necessary library files
Add necessary library files as reference in the toolchain project configuration file
Generated files
Generate peripheral initialization as a pair of '.c/.h' files per peripheral
Backup previously generated files when re-generating
Keep User Code when re-generating
Delete previously generated files when not re-generated
Search needed files for the project...
HAL Settings
Set all free pins as analog (to optimize the power consumption)
Enable Full Assert
User Actions
Before Code Generation
Browse
After Code Generation
Browse
Template Settings
Select a template to generate customized code
Settings...


STM32CubeMX 03_IntBouncedButton.ioc: STM32F103C8Tx
File
Window
Help
Hello Marina
Home
STM32F103C8Tx
03_IntBouncedButton.ioc - Project Manager
GENERATE CODE
Pinout & Configuration
Clock Configuration
Project Manager
Tools
Project
Code Generator
Advanced Settings
Driver Selector
Search (Ctrl+F)
RCC HAL
GPIO HAL
Register CallBack
Search (Ctrl+F)
ADC DISABLE
CAN DISABLE
CEC DISABLE
DAC DISABLE
ETH DISABLE
HCD DISABLE
I2C DISABLE
I2S DISABLE
MMC DISABLE
NAND DISABLE
PCCARD DISABLE
PCD DISABLE
RTC DISABLE
SD DISABLE
SMARTCARD DISABLE
IRDA DISABLE
SRAM DISABLE
SPI DISABLE
TIM DISABLE
UART DISABLE
USART DISABLE
WWDG DISABLE
Generated Function Calls
Generate Code
Rank
Function Name
Peripheral Instance Name
Do Not Generate Function Call
Visibility (Static)
1 SystemClock_Config RCC
2 MX_GPIO_Init GPIO
Code Generation
The Code is successfully generated under :
D:/KEIL/03_IntBouncedButton
Project language : C
Open Folder
Open Project
Close

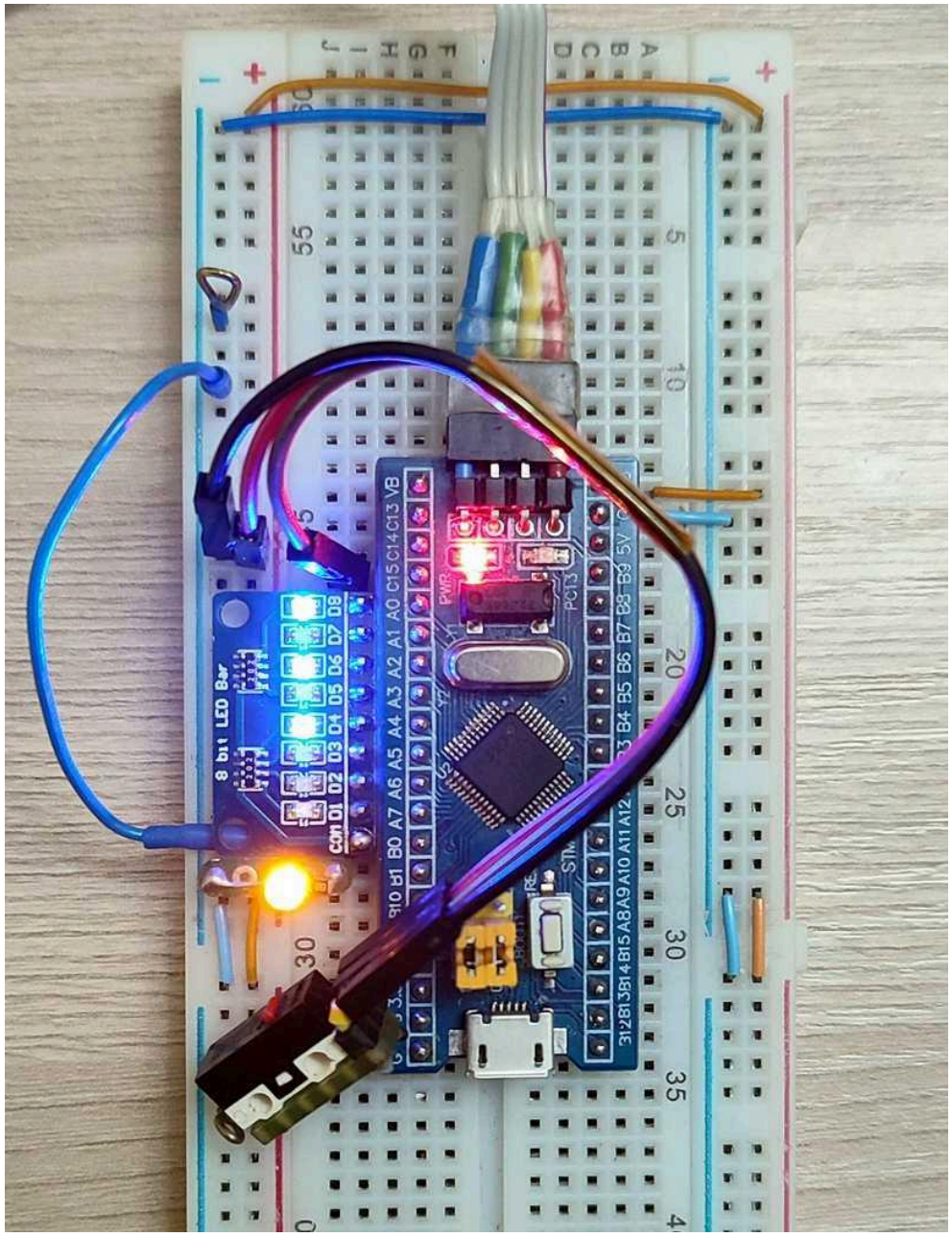
Программный проект в Keil µ vision


D:\KEIL\03_IntBouncedButton\MDK-ARM\03_IntBouncedButton.uvprojx - µVision [Non-Commercial Use License]
File Edit View Project Flash Debug Peripherals Tools SVCS Window Help
EXTI_PR_PR15
03_IntBouncedButton
Project
Project: 03_IntBouncedButton
03_IntBouncedButton
Application/MDK-ARM
Application/User/Core
main.c
stm32f1xx_it.c
stm32f1xx_hal_msp.c
Drivers/STM32F1xx_HAL_Driver
Drivers/CMSIS
CMSIS
main.c
/* USER CODE BEGIN Header */
/**
* @file : main.c
* @brief : Main program body
* @attention
*
ound in the LICENSE file
provided AS-IS.
Options for Target '03_IntBouncedButton'
Device Target Output Listing User C/C++ (AC6) Asm Linker Debug Utilities
STMicroelectronics STM32F103C8
Xtal (MHz): <undefined>
Operating system: None
System Viewer File:
STM32F103xx.svd
Use Custom File
Code Generation
ARM Compiler: Use default compiler version 6
Use MicroLIB
Big Endian
Use Cross-Module Optimization
Read/Only Memory Areas
default off-chip Start Size Startup
ROM1:
ROM2:
ROM3:
on-chip
IROM1: 0x8000000 0x10000
IROM2:
Read/Write Memory Areas
default off-chip Start Size NoInit
RAM1:
RAM2:
RAM3:
on-chip
IRAM1: 0x20000000 0x5000
IRAM2:
OK
Cancel
Defaults
Help
Project
Books
Functions
Templates
Build Output
ST-Link Debugger
L:1 C:1

Фрагменты файла *main.c*

```
/* USER CODE BEGIN PV */
unsigned char counter=0;       //переменная для счета событий
/* USER CODE END PV */
//.....................................
/* Private user code ---------------------------------------------------------*/
/* USER CODE BEGIN 0 */
void HAL_GPIO_EXTI_Callback(uint16_t GPIO_Pin) //вызывается в обработчике прерывания
                                               //EXTI15_10_IRQHandler(void)
{
    if(GPIO_Pin==GPIO_PIN_15)                 //если это используемое прерывание на линии PC15
        for (uint32_t i=0; i<=72000; i++) __NOP(); //делаем антидребезговую задержку
                                                   //примерно 2 мс
    if (HAL_GPIO_ReadPin(GPIOC, GPIO_PIN_15)==1)    //если это не помеха-иголка,
                                                    //выполняем необходимые действия
        {counter++; GPIOA->ODR=counter;};      //инкремент счётчика событий и
                                               //его вывод на LED-линейку
    EXTI->PR|=1<<15;      //Сброс флага прерывания, который из-за дребезга установится
                          //повторно и прерывание возникнет вновь
}
/* USER CODE END 0 */
int main(void)
{
//.....................................
  /* Infinite loop */
  /* USER CODE BEGIN WHILE */
  while (1)             //перемигивание светодиодами PC13, PB1 (фоновая программа)
  {
        HAL_GPIO_TogglePin(GPIOC, GPIO_PIN_13);    //Изменение состояния PC13 на противопол.
        HAL_GPIO_TogglePin(GPIOB, GPIO_PIN_1); //Изменение состояния PB1 на противопол.
        HAL_Delay(250);                            //Задержка 250 мс
  /* USER CODE END WHILE */
  }
}
```

Макет программно-аппаратного проекта

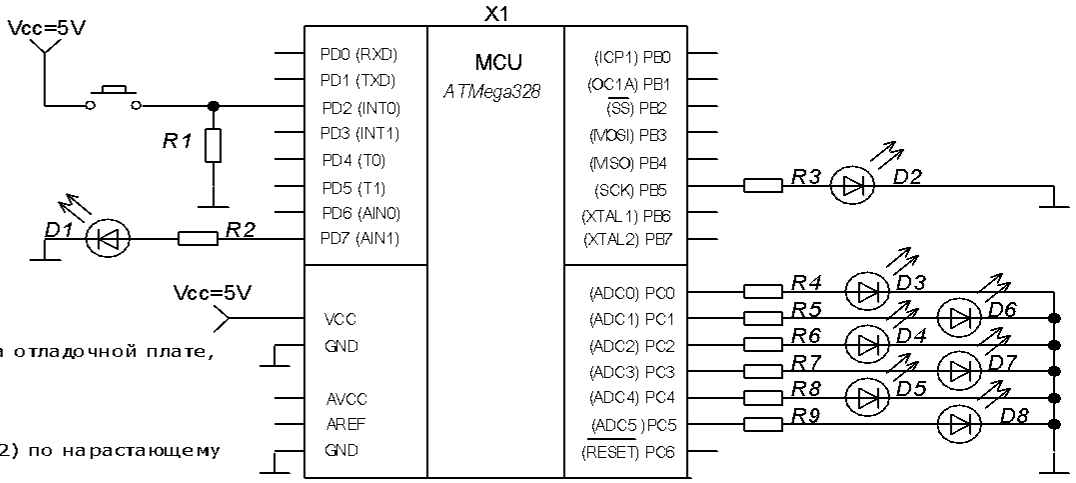

8 bit LED Bar
com D1 D2 D3 D4 D5 D6 D7 D8
PWR
PC13
A0 A1 A2 A3 A4 A5 A6 A7 B0 B1 B10
B3 B4 B5 B6 B7 B8 B9 5V
A8 A9 A10 A11 A12 B15 B14 B13 B12
A C D F G H I J
5 10 15 20 25 30 35 40
55 50 45 30

Та же задача (счетчик кликов с мигалкой) в среде Arduino для платы Arduino Nano

```
volatile unsigned char count=0;
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
pinMode(2, INPUT);          //IO2 (INT0) - режим ввода с высокоимпедансным входом
pinMode(13, OUTPUT);        //IO13 (PB5) в режиме вывода, к нему подключен светодиод на плате
digitalWrite(13,LOW);       //гашение светодиода на плате
pinMode(7, OUTPUT);         //IO7 (PD7) в режиме вывода, к нему подключен внешний светодиод
digitalWrite(13,HIGH);      //включение светодиода на PD.7, чтобы LEDs работали в противофазе

DDRC=0b00111111;             //6 младших разрядов порта C - на вывод данных, на них LED-линейка
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), MyInterrupt_INT0,RISING); //Подключение прерывания INT0 (IO2) -
срабатывание по нарастающему фронту
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
PORTB^=(0b00100000);         //изменение состояния светодиода на IO13=PB5 на противоположное
PORTD^=(0b10000000);         //изменение состояния светодиода на IO7=PD7 на противоположное
delay(250);
}

void MyInterrupt_INT0 () {
for(unsigned int i=0; i<=32000; i++) {asm volatile ("NOP\n");}; //антидребезговая задержка на 2 мс, в прерывании
функция delay() не работает
if (digitalRead(2)==HIGH) {                  //если это не помеха-иголка, а нажатие кнопки - выполняем действие:
  count++;                  //инкрементируем счетчик
  if (count>63) count=0;    //если счетчик вышел за пределы диапазона индикации, обнуляем его
  PORTC=count;              //выводим переменную counter в порт C
  };
EIFR|=0b01;                 //Сброс флага прерывания INT0, который, возможно установится повторно из-за дребезга
```

```
};
```

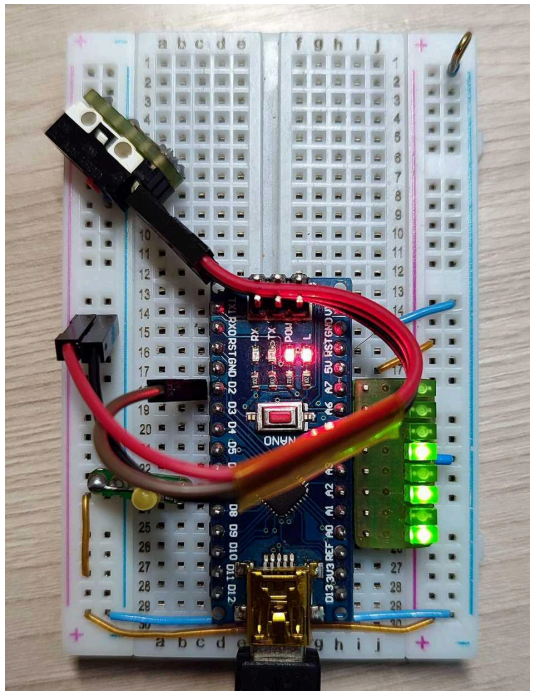
Принципиальная схема и макет проекта

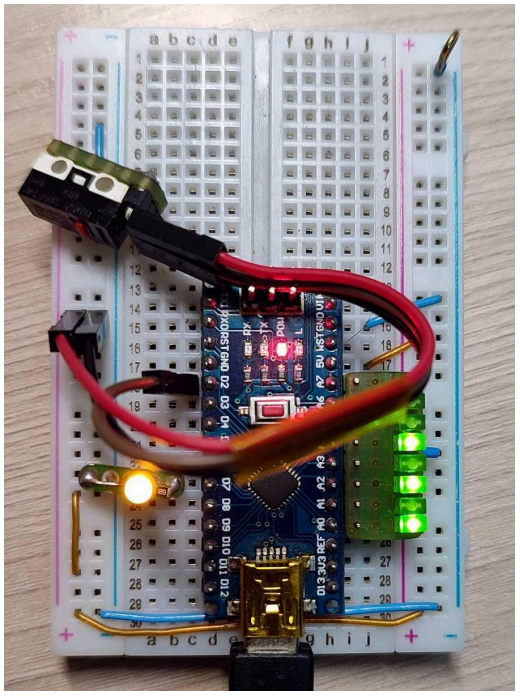


Диод и резистор на PB5 (PIN13) находятся на отладочной плате, подключать не надо

PC0 - PC5 - на вывод данных

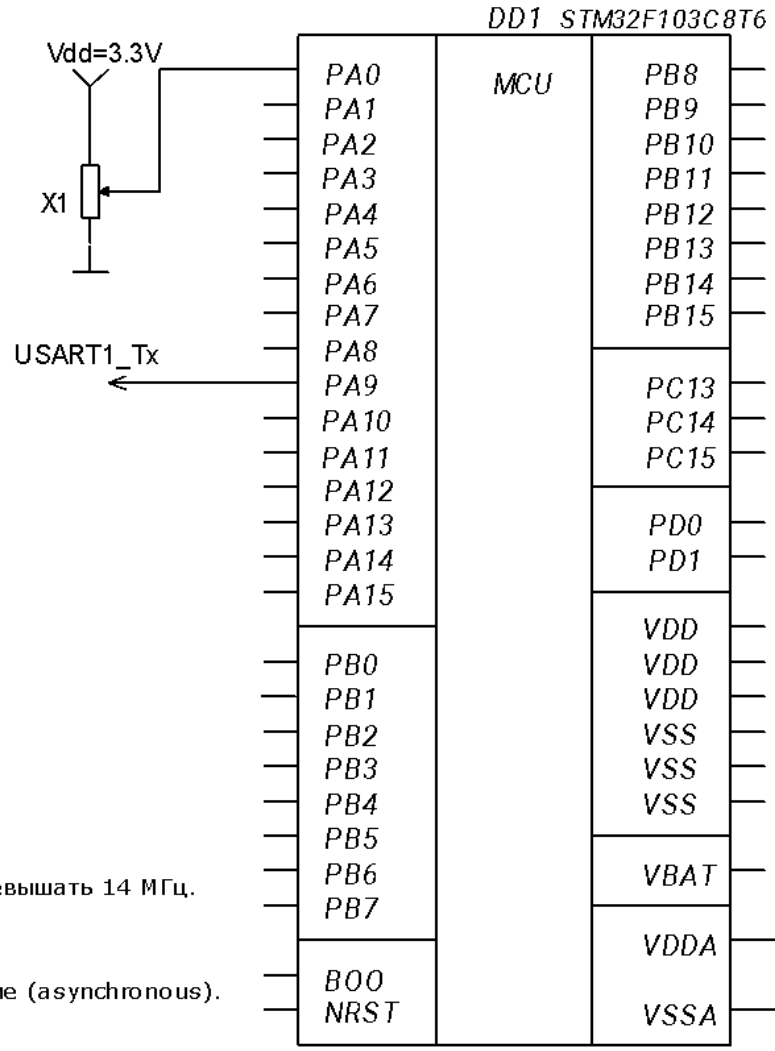
Используется внешнее прерывание INT0 (PD2) по нарастающему фронту





Задача 2(а). АЦП с обменом по поллингу

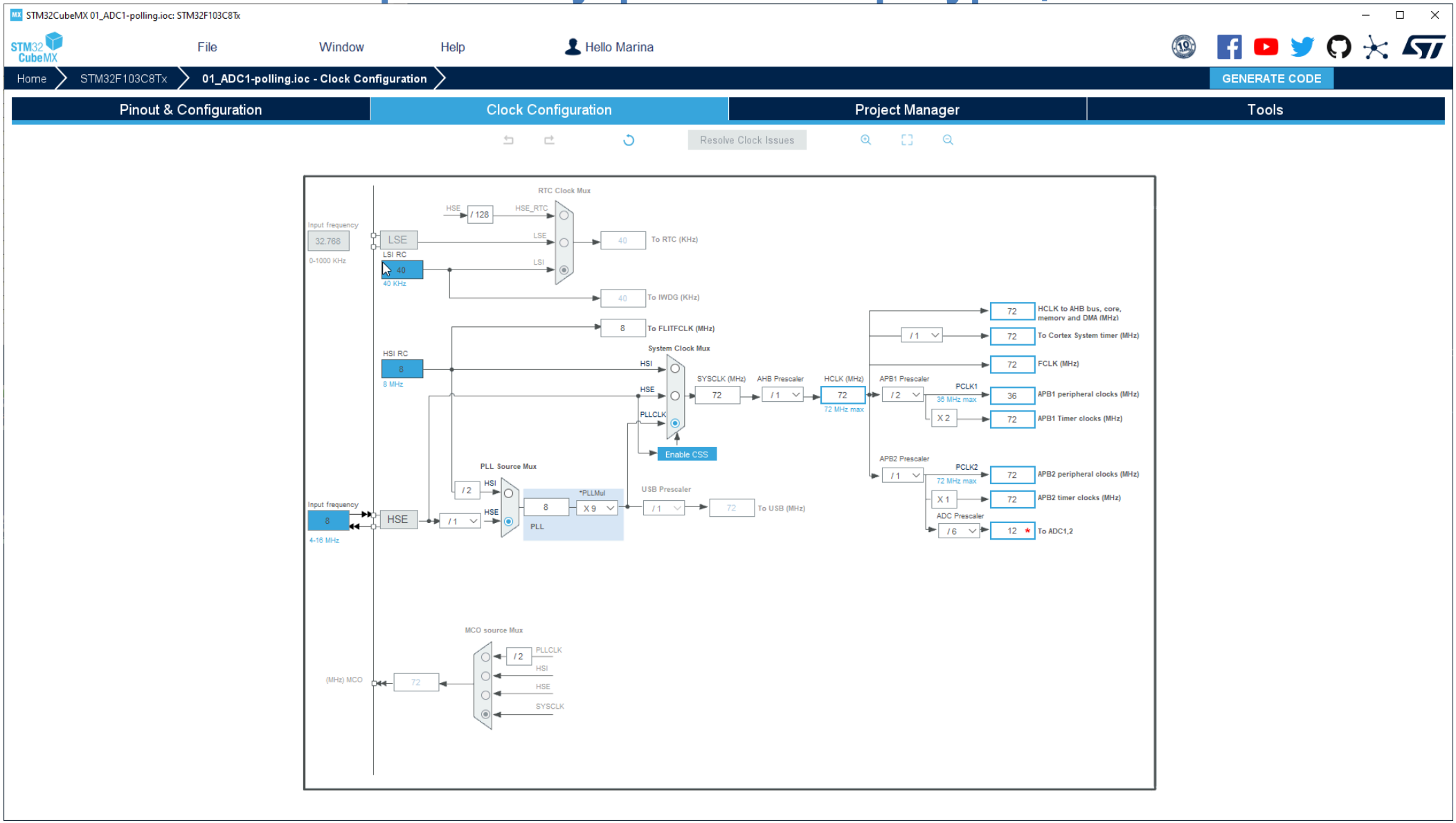
Организовать аналого-цифровое преобразование напряжения на движке потенциометра. Выполнить циклический вывод результата в виде целого десятичного числа на последовательный терминал через интерфейс UART с интервалом в 1 с. Для определения момента готовности преобразованных данных АЦП использовать *поллинг*.



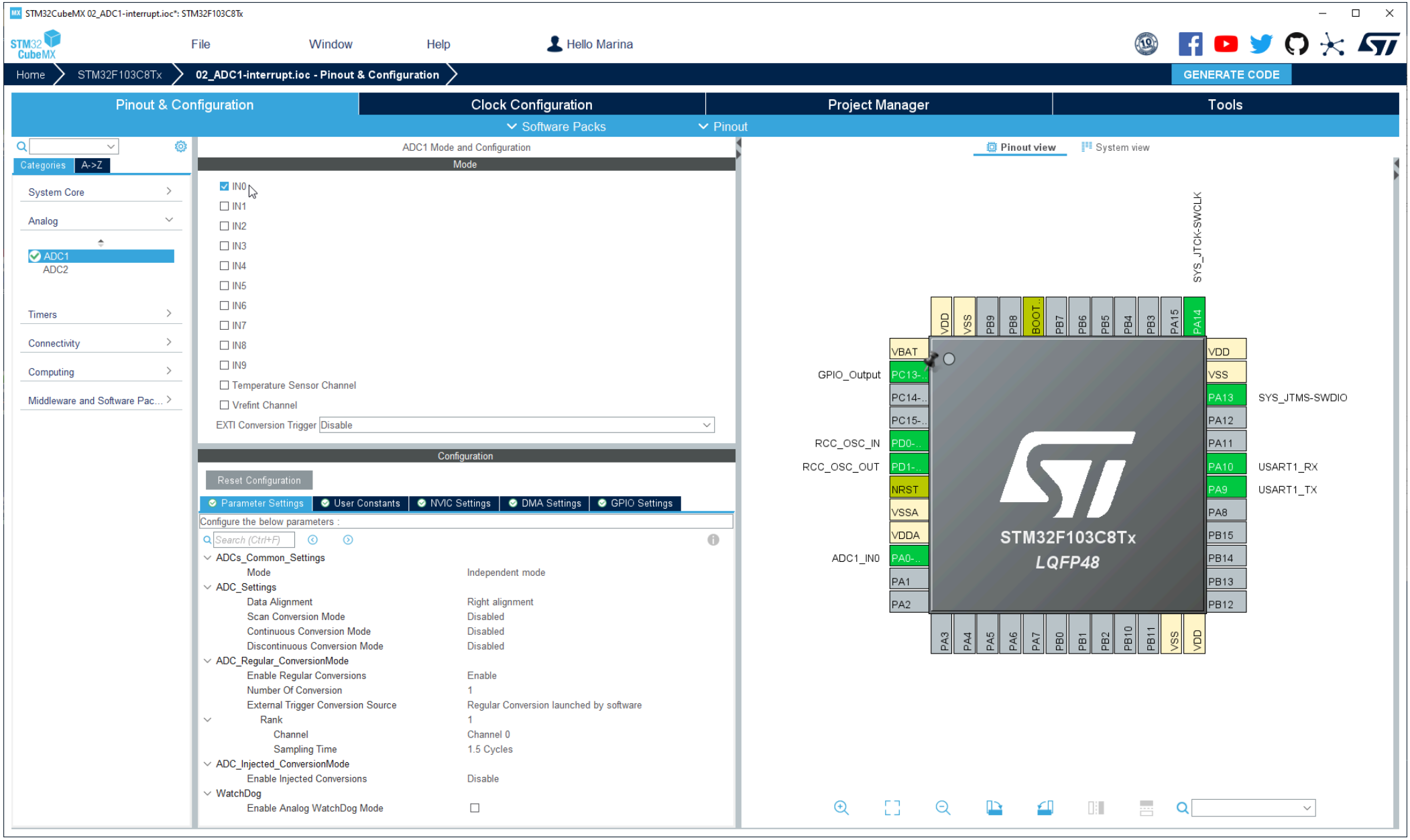
Частота тактирования АЦП не должна превышать 14 МГц.
Включается ADC1.

Включается USART1 в асинхронном режиме (asynchronous).
data direction - transmitt only

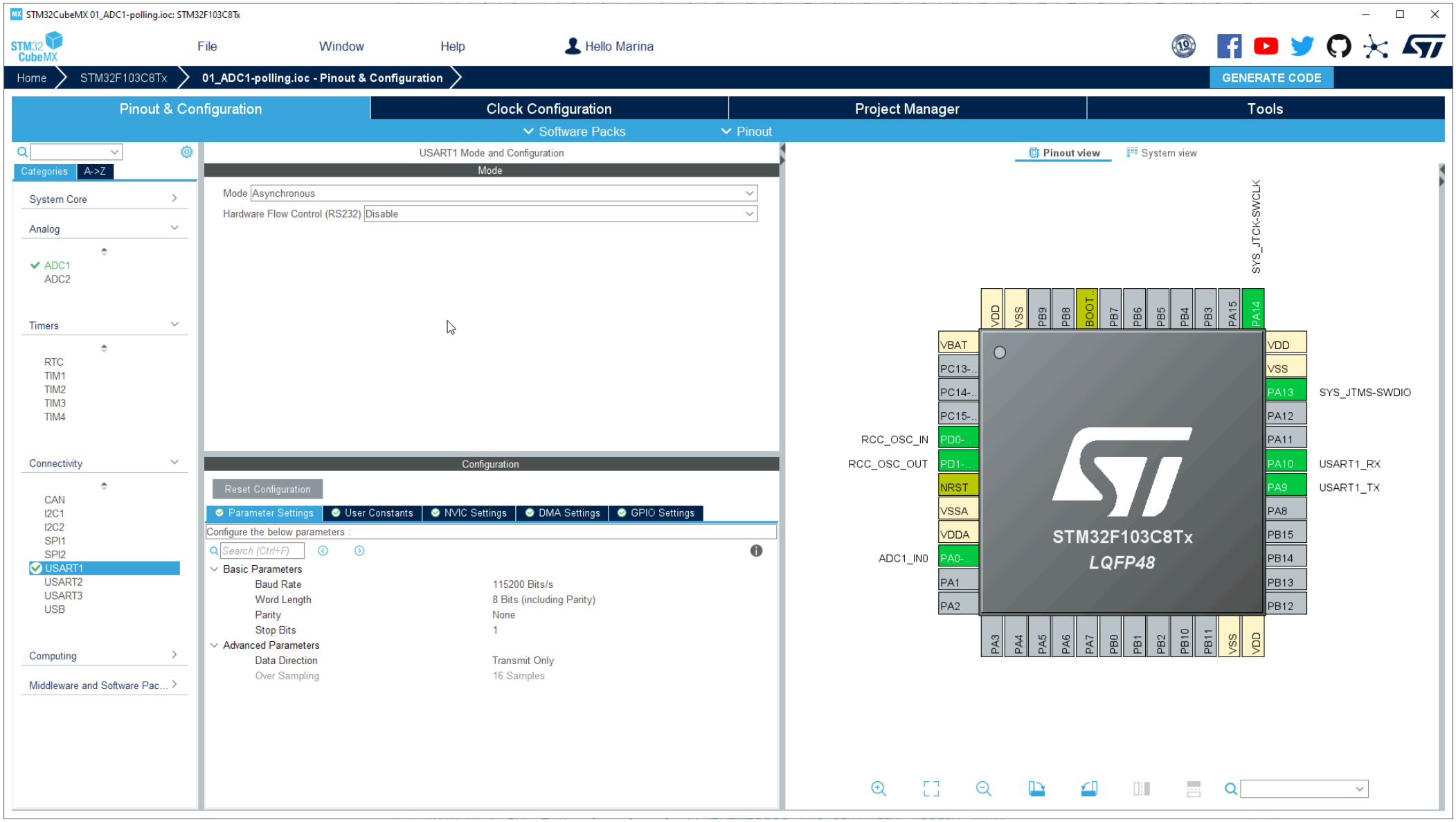
Настройка проекта в CubeMX
Настройка внутренней конфигурации МК



Настройка ADC1



Настройка USART1



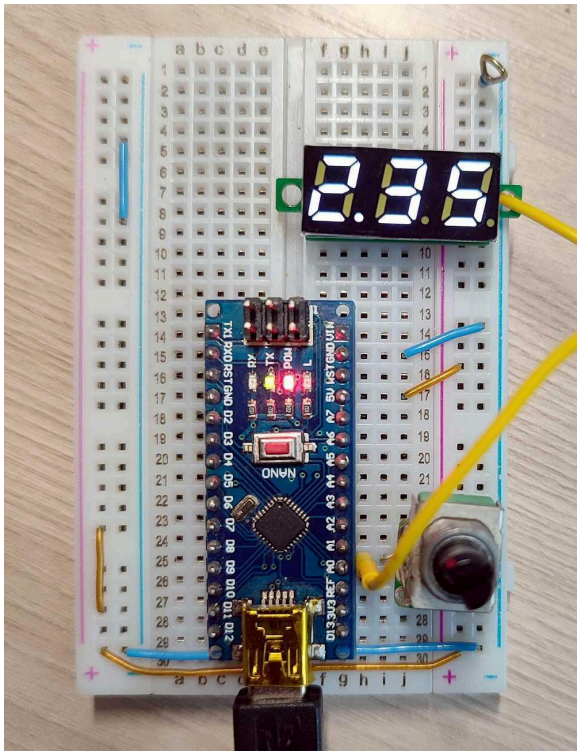
Фрагменты файла *main.c*

```
/* Private includes ----------------------------------------------------------*/
/* USER CODE BEGIN Includes */
#include "string.h"       //заголовочный файл для строковых функций, напр. strlen()
#include "stdio.h"        //заголовочный файл для функций вв-выв на std
/* USER CODE END Includes */
//.....................................................................
..
/* USER CODE BEGIN PV */
char uart_str[64] = {0,};     //массив для строки, выводимой на терминал
uint16_t adc = 0;         //переменная для выходных данных АЦП
/* USER CODE END PV */
int main(void)
{
.....................................................................
/* USER CODE BEGIN 2 */
HAL_ADCEx_Calibration_Start(&hadc1);       //калибровка АЦП1
/* USER CODE END 2 */
/* Infinite loop */
/* USER CODE BEGIN WHILE */
while (1)
 {
  HAL_ADC_Start(&hadc1);                    //запуск АЦП1 на преобразование
  HAL_ADC_PollForConversion(&hadc1, 100); //ожидание готовности выходных данных АЦП
  adc = HAL_ADC_GetValue(&hadc1);           //чтение преобразованных данных в переменную adc
  HAL_ADC_Stop(&hadc1);                     //останов АЦП (не обязательно)
  snprintf(uart_str, 63,"ADC=%d\n\r",adc); //формирование строки вывода на терминал
  HAL_UART_Transmit(&huart1,(uint8_t*)uart_str, strlen(uart_str),1000);  //вывод сформ.строки
  HAL_Delay(1000);                          //задержка между циклами вывода
 /* USER CODE END WHILE */
```

```
  }
}                                                    //конец модуля main
```

Та же задача (АЦП с обменом по поллингу) в среде Arduino для платы Arduino Nano

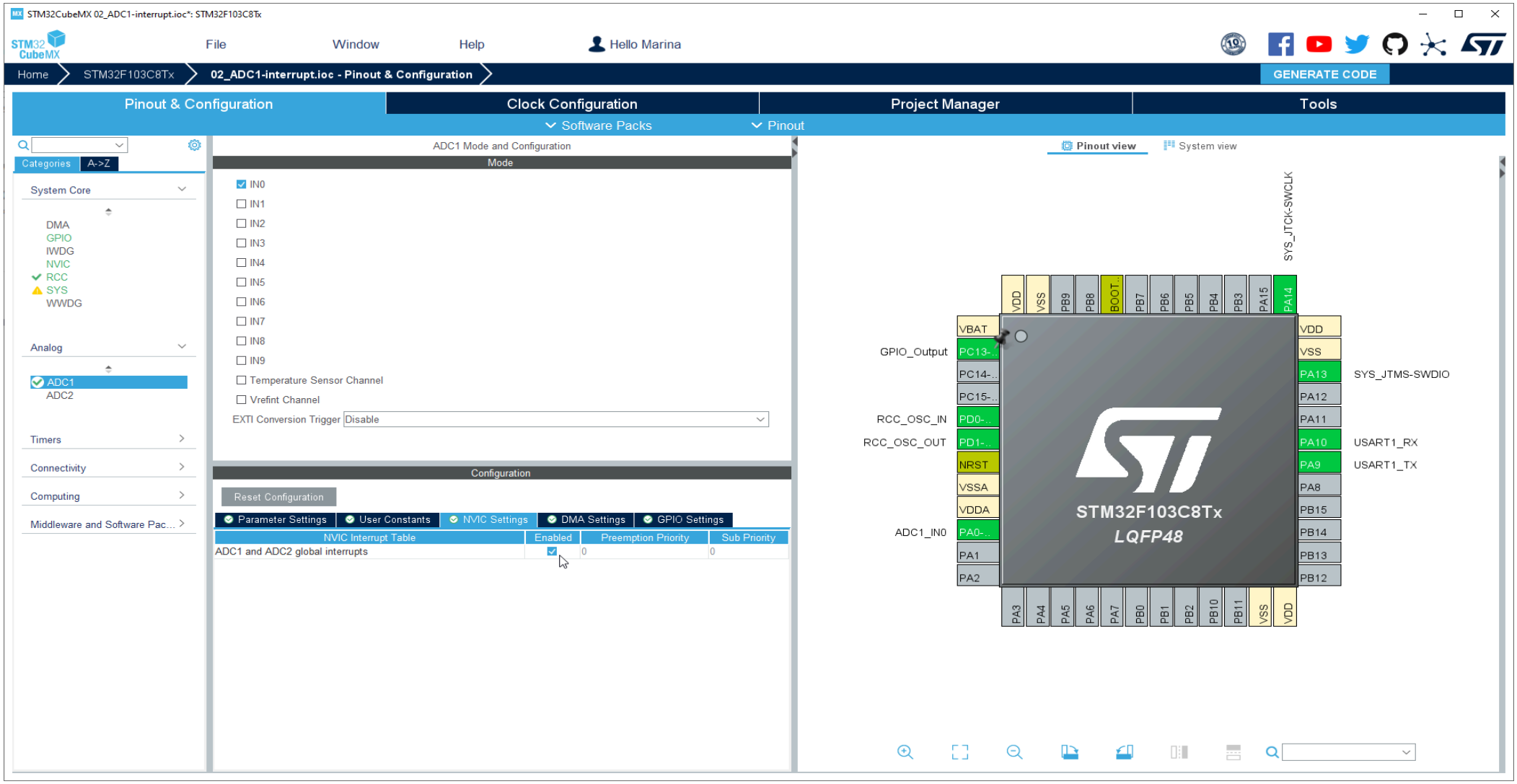
```
/*Чтение напряжения на движке потенциометра на A0 (PC0), включенного между +питания и землей
и посылка его на терминал*/
int PotPin=0;     //выбираем аналоговый вход 0 (PC0)

void setup()  {
  analogReference(DEFAULT);   //фактически устанавливается само (опорное напряжение по умолчанию - напряжение питания МК, здесь 4,67В)
  Serial.begin(9600);         //установка скорости обмена с терминалом
}

void loop()   {
  Serial.print(F("Voltage on A0="));  //Печать заголовка
  Serial.print(analogRead(PotPin));   //печать цифрового эквивалента напряжения на делителе
  Serial.println();                   //ВК, ПС - CR, LF. Переход в начало следующей строки
  delay(500);
}
```




Output
Serial Monitor
Message (Enter to send message to 'Arduino Nano' on 'COM5')
No Line Ending
9600 baud
Voltage on A0=513
Voltage on A0=513
Voltage on A0=513
Voltage on A0=513
Voltage on A0=513
Voltage on A0=513
Voltage on A0=513
Voltage on A0=513
Voltage on A0=513
Voltage on A0=513
Ln 16, Col 1
Arduino Nano on COM5
2

Задача 2(б). АЦП с обменом по прерыванию

Организовать аналого-цифровое преобразование напряжения на движке потенциометра. Выполнить циклический вывод результата в виде целого десятичного числа на последовательный терминал через интерфейс UART с интервалом в 1 с. Для определения момента готовности преобразованных данных АЦП использовать *прерывание*.

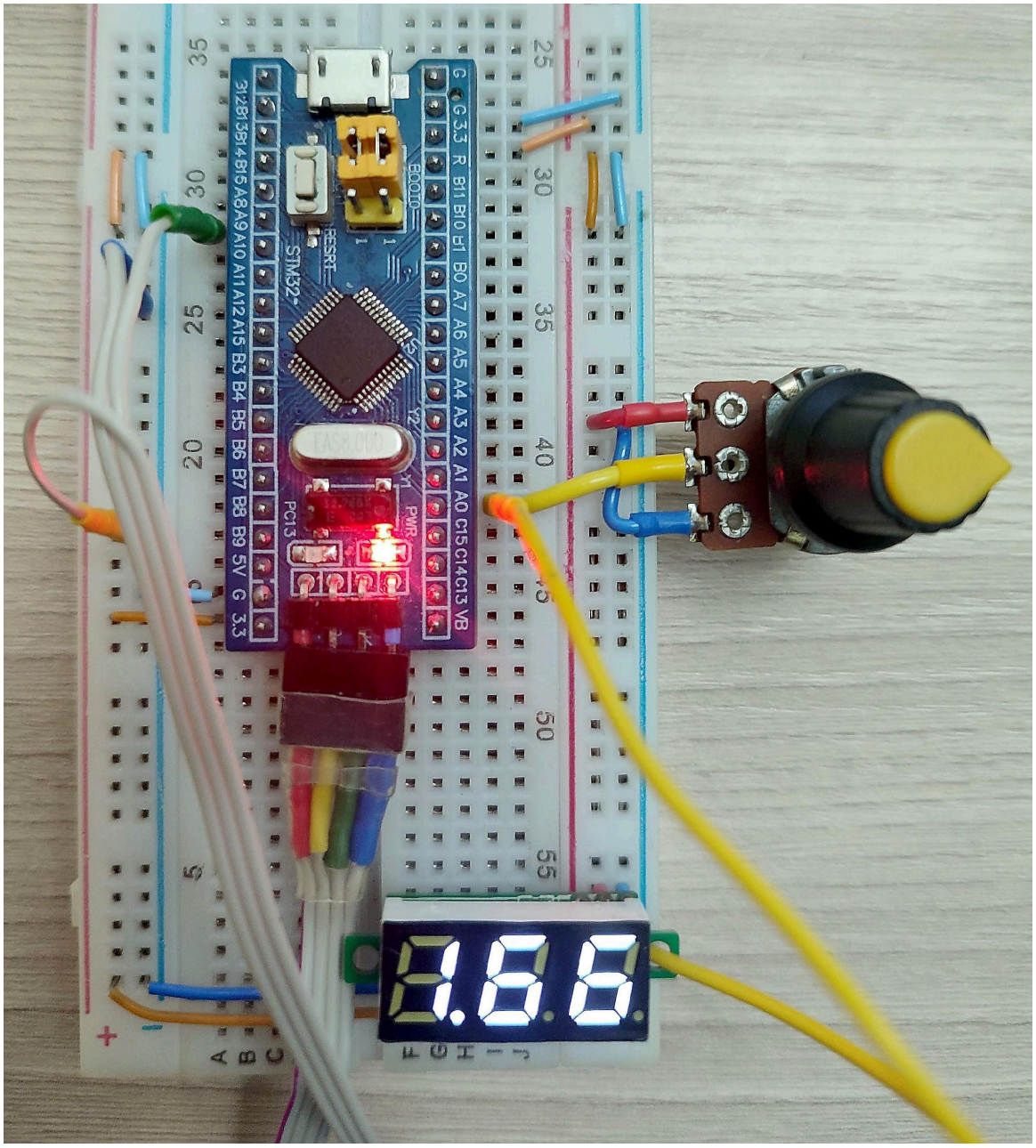

STM32CubeMX 02_ADC1-interrupt.ioc*: STM32F103C8Tx
File
Window
Help
Hello Marina
Home
STM32F103C8Tx
02_ADC1-interrupt.ioc - Pinout & Configuration
GENERATE CODE
Pinout & Configuration
Clock Configuration
Project Manager
Tools
Software Packs
Pinout
Categories
A->Z
System Core
DMA
GPIO
IWDG
NVIC
RCC
SYS
WWDG
Analog
ADC1
ADC2
Timers
Connectivity
Computing
Middleware and Software Pac...
ADC1 Mode and Configuration
Mode
IN0
IN1
IN2
IN3
IN4
IN5
IN6
IN7
IN8
IN9
Temperature Sensor Channel
Vrefint Channel
EXTI Conversion Trigger
Disable
Configuration
Reset Configuration
Parameter Settings
User Constants
NVIC Settings
DMA Settings
GPIO Settings
NVIC Interrupt Table
Enabled
Preemption Priority
Sub Priority
ADC1 and ADC2 global interrupts
0
0
Pinout view
System view
SYS_JTCK-SWCLK
VDD
VSS
PB9
PB8
BOOT
PB7
PB6
PB5
PB4
PB3
PA15
PA14
VBAT
PC13-..
PC14-..
PC15-..
PD0-..
PD1-..
NRST
VSSA
VDDA
PA0-..
PA1
PA2
GPIO_Output
RCC_OSC_IN
RCC_OSC_OUT
ADC1_IN0
STM32F103C8Tx
LQFP48
VDD
VSS
PA13
PA12
PA11
PA10
PA9
PA8
PB15
PB14
PB13
PB12
SYS_JTMS-SWDIO
USART1_RX
USART1_TX
PA3
PA4
PA5
PA6
PA7
PB0
PB1
PB2
PB10
PB11
VSS
VDD

Фрагменты файла *main.c*

```
/* Private user code ---------------------------------------------------------*/
/* USER CODE BEGIN 0 */
void HAL_ADC_ConvCpltCallback(ADC_HandleTypeDef* hadc)    //фрагмент обработчика прерывания ADC1
{
  if(hadc->Instance == ADC1)                              //проверка прихода прерывания от ACD1
   {
     adc = HAL_ADC_GetValue(&hadc1);                      //чтение результата в переменную adc
     HAL_GPIO_TogglePin(GPIOC, GPIO_PIN_13);//изменение состояния PC13 на противоположное
   }
}
/* USER CODE END 0 */
//.....................................................................................
int main(void)
{
.....................................................................................
/* USER CODE BEGIN 2 */
HAL_ADCEx_Calibration_Start(&hadc1);          //калибровка АЦП1
HAL_ADC_Start_IT(&hadc1);                     //запуск АЦП1 в режиме с прерываниями
/* USER CODE END 2 */
  /* Infinite loop */
  /* USER CODE BEGIN WHILE */
  while (1)
  {
   snprintf(uart_str,63,"ADC=%d\n\r",adc);   //формирование строки вывода на терминал
   HAL_UART_Transmit(&huart1,(uint8_t*)uart_str, strlen(uart_str),1000);//вывод сформ. строки
   HAL_Delay(1000);                           //задержка между циклами вывода
   HAL_ADC_Start_IT(&hadc1);                  //очередной запуск АЦП1 на преобразование
  /* USER CODE END WHILE */
  }
```

```
}
```

Макет проекта с АЦП



Терминал при медленном вращении ручки потенциометра по и против часовой стрелки

Terminal v1.93b - 20141030Я - by Br@y++

Disconnect
ReScan
Help
About..
Quit

COM Port: COM6
COMs

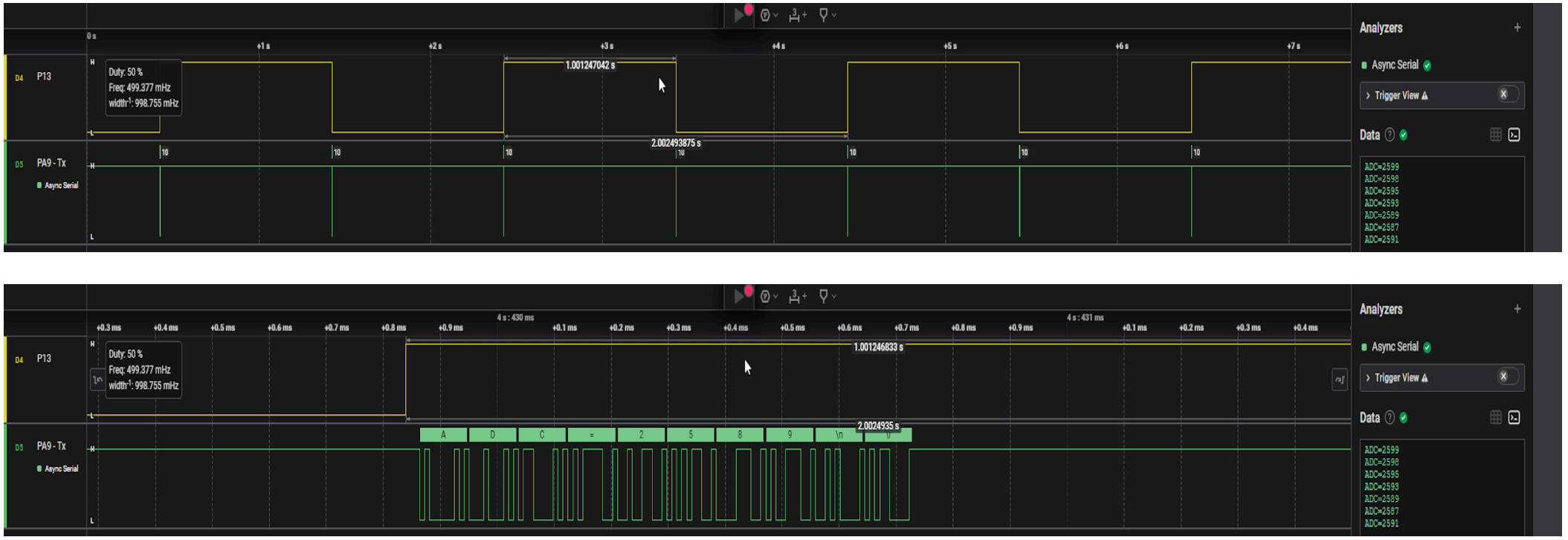
Baud rate: 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800, 38400, 56000, 57600, 115200, 128000, 256000, custom

Settings
Set font
Auto Dis/Connect
AutoStart Script
Time
CR=LF
Stream log
Stay on Top

Receive
Clear
AutoScroll
Reset Cnt
13
Cnt = 1070

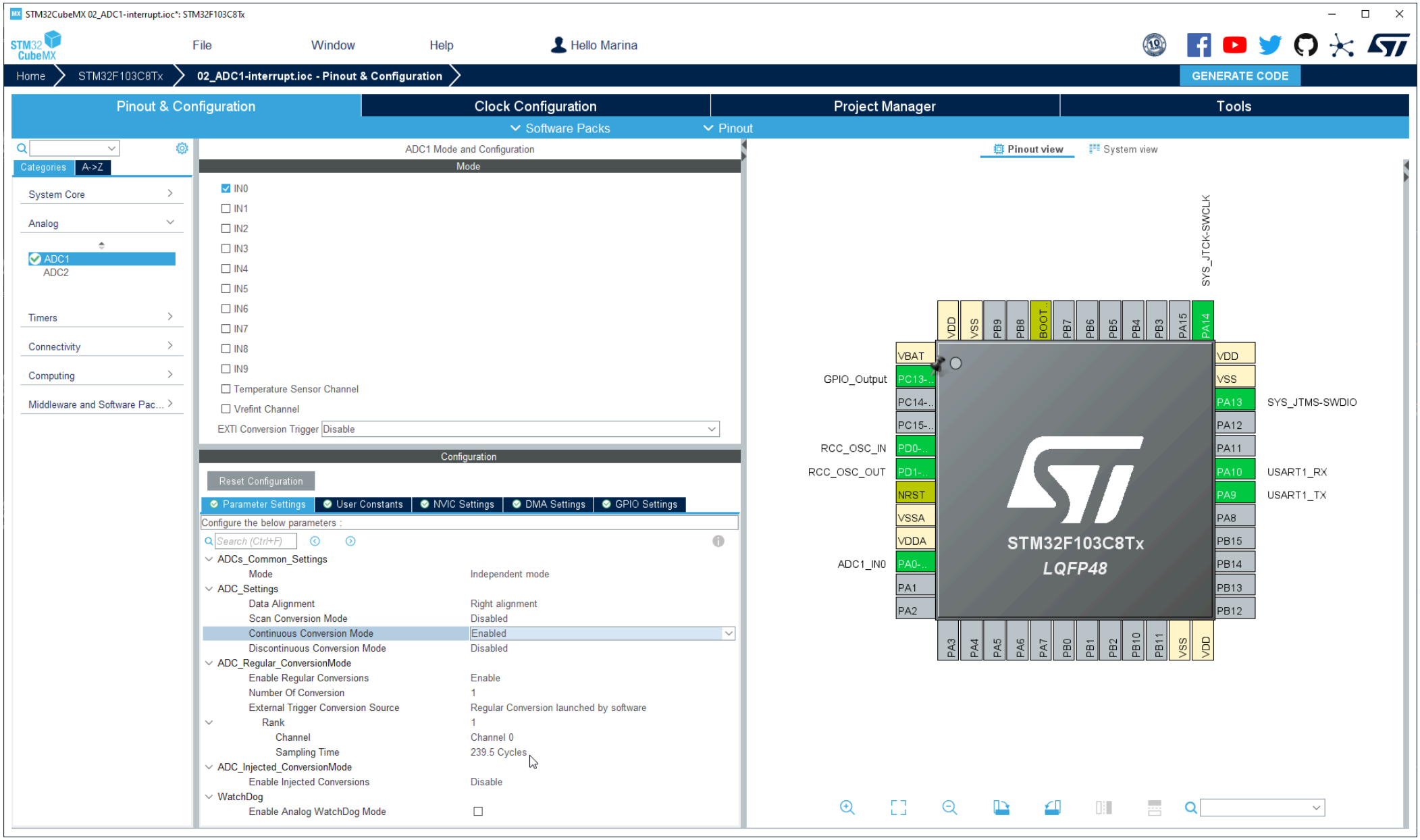
```
ADC=0
ADC=10
ADC=377
ADC=900
ADC=1537
ADC=2189
ADC=2845
ADC=3474
ADC=4094
ADC=4095
ADC=3984
ADC=3320
ADC=2640
ADC=1895
ADC=1046
ADC=288
ADC=13
ADC=12
```

Сигналограммы логического анализатора



Светодиод на PC13 мигает с частотой 0.5 Гц (1 секунда светится, 1 секунда погашен). Смена состояний светодиода происходит в обработчике прерывания от АЦП.

АЦП в непрерывном режиме (не надо программно перезапускать)

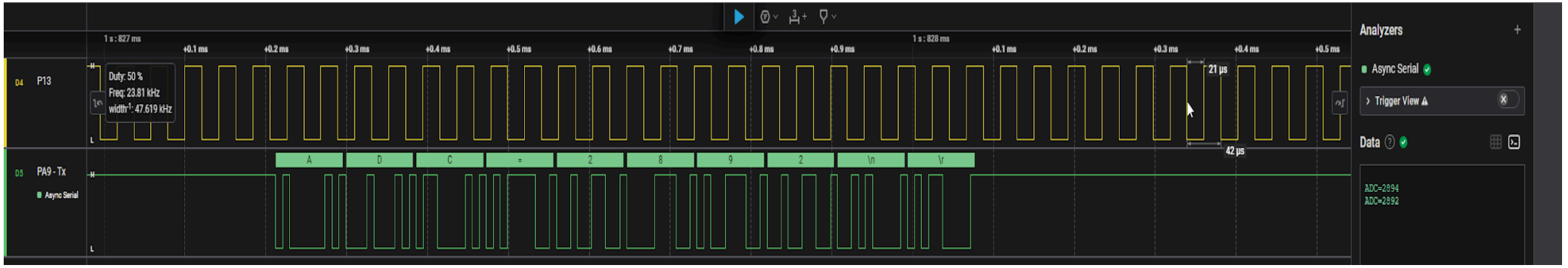

STM32CubeMX 02_ADC1-interrupt.ioc*: STM32F103C8Tx
File
Window
Help
Hello Marina
Home
STM32F103C8Tx
02_ADC1-interrupt.ioc - Pinout & Configuration
GENERATE CODE
Pinout & Configuration
Clock Configuration
Project Manager
Tools
Software Packs
Pinout
Categories
A->Z
System Core
Analog
ADC1
ADC2
Timers
Connectivity
Computing
Middleware and Software Pac...
ADC1 Mode and Configuration
Mode
IN0
IN1
IN2
IN3
IN4
IN5
IN6
IN7
IN8
IN9
Temperature Sensor Channel
Vrefint Channel
EXTI Conversion Trigger
Disable
Configuration
Reset Configuration
Parameter Settings
User Constants
NVIC Settings
DMA Settings
GPIO Settings
Configure the below parameters :
Search (Ctrl+F)
ADCs_Common_Settings
Mode
Independent mode
ADC_Settings
Data Alignment
Right alignment
Scan Conversion Mode
Disabled
Continuous Conversion Mode
Enabled
Discontinuous Conversion Mode
Disabled
ADC_Regular_ConversionMode
Enable Regular Conversions
Enable
Number Of Conversion
1
External Trigger Conversion Source
Regular Conversion launched by software
Rank
1
Channel
Channel 0
Sampling Time
239.5 Cycles
ADC_Injected_ConversionMode
Enable Injected Conversions
Disable
WatchDog
Enable Analog WatchDog Mode
Pinout view
System view
SYS_JTCK-SWCLK
VDD
VSS
PB9
PB8
BOOT
PB7
PB6
PB5
PB4
PB3
PA15
PA14
VBAT
PC13-..
PC14-..
PC15-..
PD0-..
PD1-..
NRST
VSSA
VDDA
PA0-..
PA1
PA2
GPIO_Output
RCC_OSC_IN
RCC_OSC_OUT
ADC1_IN0
STM32F103C8Tx
LQFP48
PA13
PA12
PA11
PA10
PA9
PA8
PB15
PB14
PB13
PB12
SYS_JTMS-SWDIO
USART1_RX
USART1_TX
PA3
PA4
PA5
PA6
PA7
PB0
PB1
PB2
PB10
PB11
VSS
VDD

Фрагменты файла *main.c*

```
/* Private user code ---------------------------------------------------------*/
/* USER CODE BEGIN 0 */
void HAL_ADC_ConvCpltCallback(ADC_HandleTypeDef* hadc)    //фрагмент обработчика прерывания ADC1
{
  if(hadc->Instance == ADC1)                          //проверка прихода прерывания от ACD1
   {
     adc = HAL_ADC_GetValue(&hadc1);                  //чтение результата в переменную adc
     HAL_GPIO_TogglePin(GPIOC, GPIO_PIN_13);//изменение состояния PC13 на противоположное
   }
}
/* USER CODE END 0 */
//.....................................................................................
int main(void)
{
.....................................................................................
/* USER CODE BEGIN 2 */
HAL_ADCEx_Calibration_Start(&hadc1);          //калибровка АЦП1
HAL_ADC_Start_IT(&hadc1);                     //запуск АЦП1 в режиме с прерываниями
/* USER CODE END 2 */
  /* Infinite loop */
  /* USER CODE BEGIN WHILE */
  while (1)
  {
   snprintf(uart_str,63,"ADC=%d\n\r", adc);  //формирование строки вывода на терминал
   HAL_UART_Transmit(&huart1,(uint8_t*)uart_str, strlen(uart_str),1000);//вывод сформ. строки
   HAL_Delay(1000);                           //задержка между циклами вывода
   //HAL_ADC_Start_IT(&hadc1);           //АЦП перезапускать не надо, он перезапустится сам
  /* USER CODE END WHILE */
  }
```

```
}
```

Сигналограммы логического анализатора



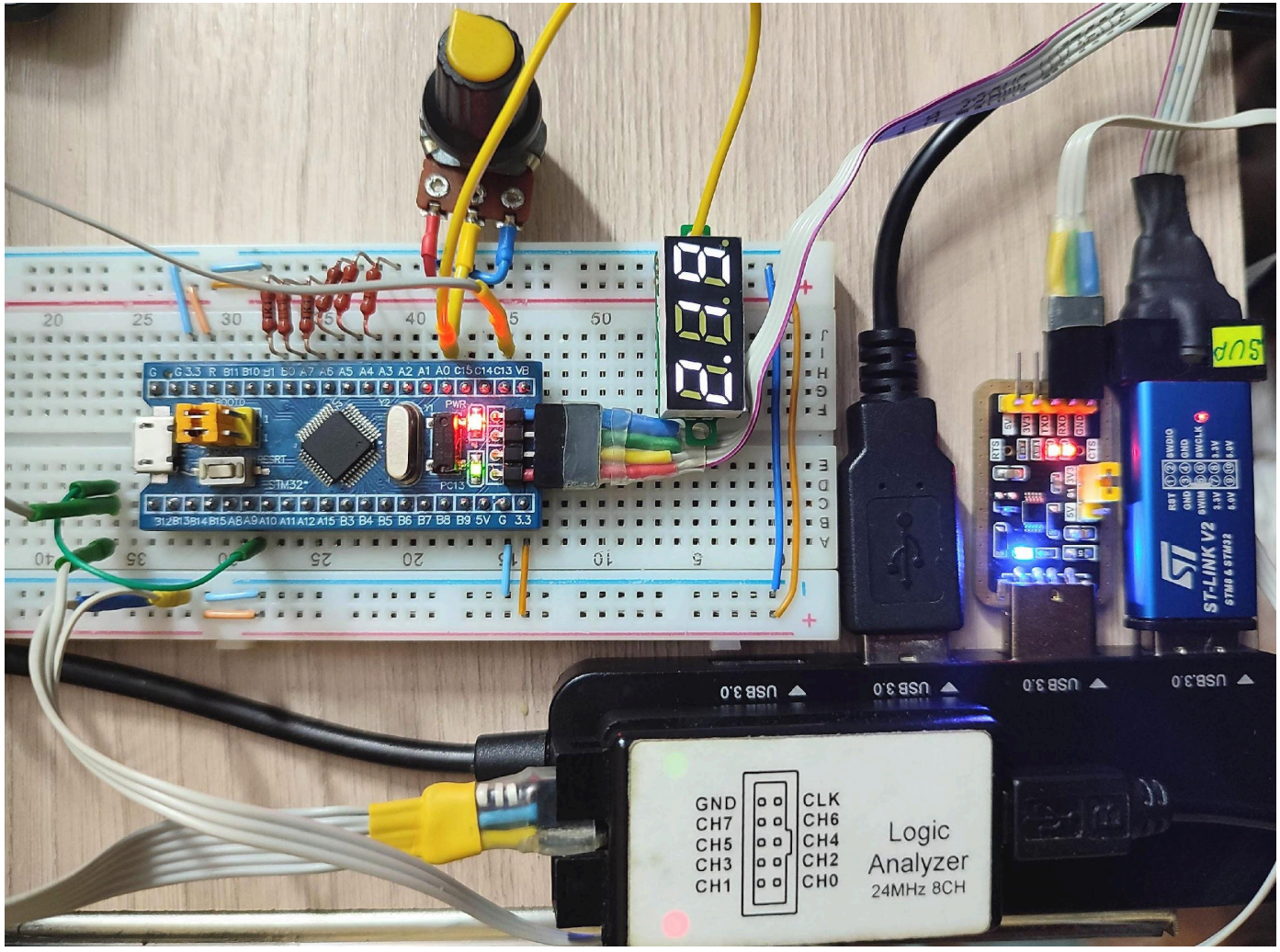
Светодиод на PC13 (на отладочной плате) светится в полнакала из-за 50% коэффициента заполнения ШИМ-сигнала на нём.

Время преобразования АЦП в тактах:
Tconv=SamplingTime+12.5=239.5+12.5=252 такта.

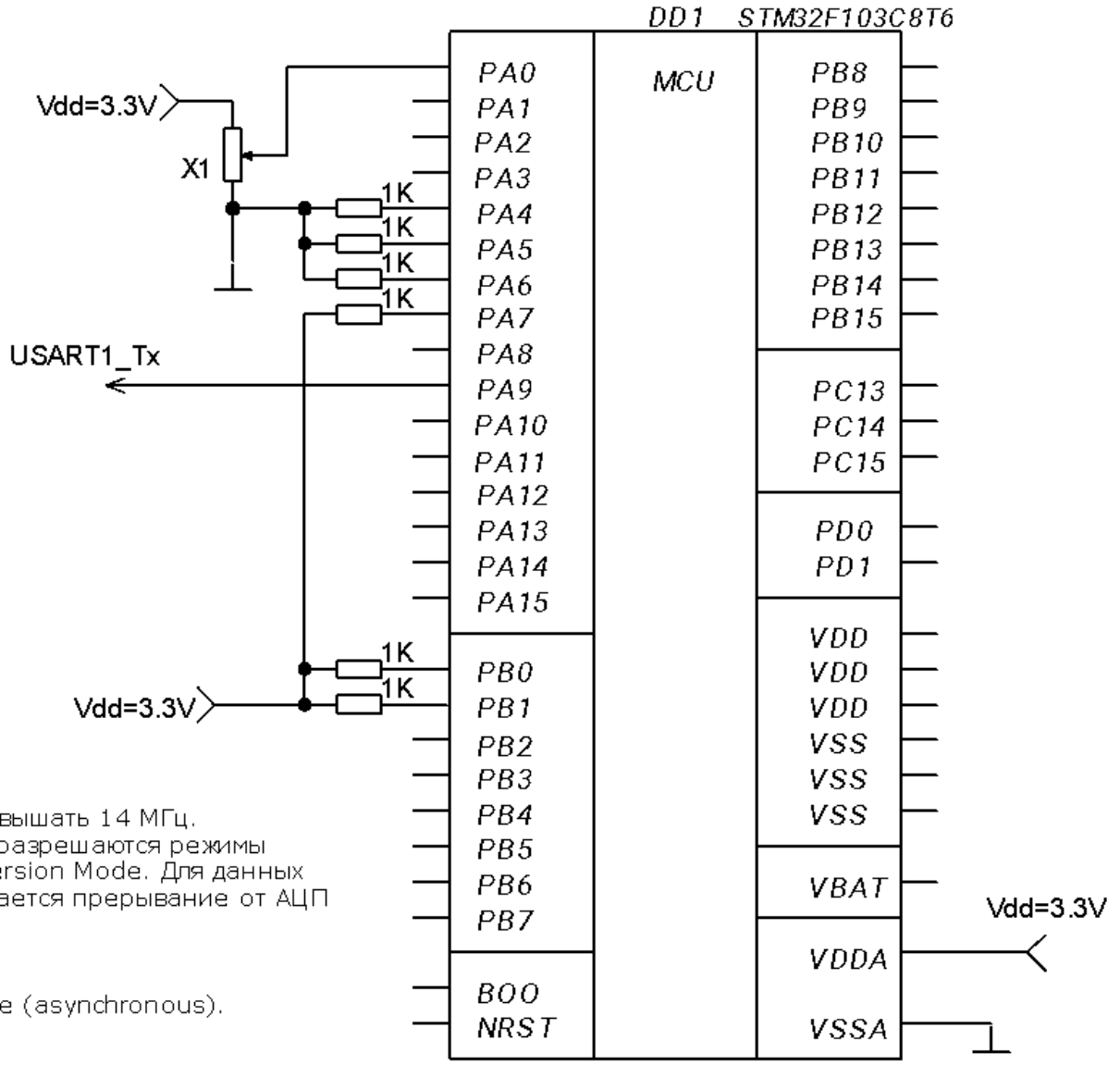
Время преобразования АЦП здесь в секундах: 252*(1/12E6)=21E-6 с =21 мкс — длительность интервала неизменного состояния светодиода на PC13 (см. нижнюю сигналограмму).

Задача 2(в). АЦП с обменом по DMA

Организовать циклическое аналого-цифровое преобразование напряжений на 10 аналоговых входах МК (PA0-PA7, PB0, PB1) с циклической записью в массив из 10 слов ***uint_16t adc[10]***. Вывод PA0 подключен к движку потенциометра, выводы PA1PA3 висят неподключенные, PA4-PA6 подключены к «земле», PA7, PB0, PB1 подключены к питанию. Выполнить циклический вывод массива результатов на последовательный терминал через интерфейс UART. Для формирования массива в памяти использовать *DMA*, для определения момента готовности массива преобразованных данных АЦП использовать *прерывание*.


GND
CH7
CH5
CH3
CH1
CLK
CH6
CH4
CH2
CH0
Logic
Analyzer
24MHz 8CH
ST-LINK V2
USB 3.0

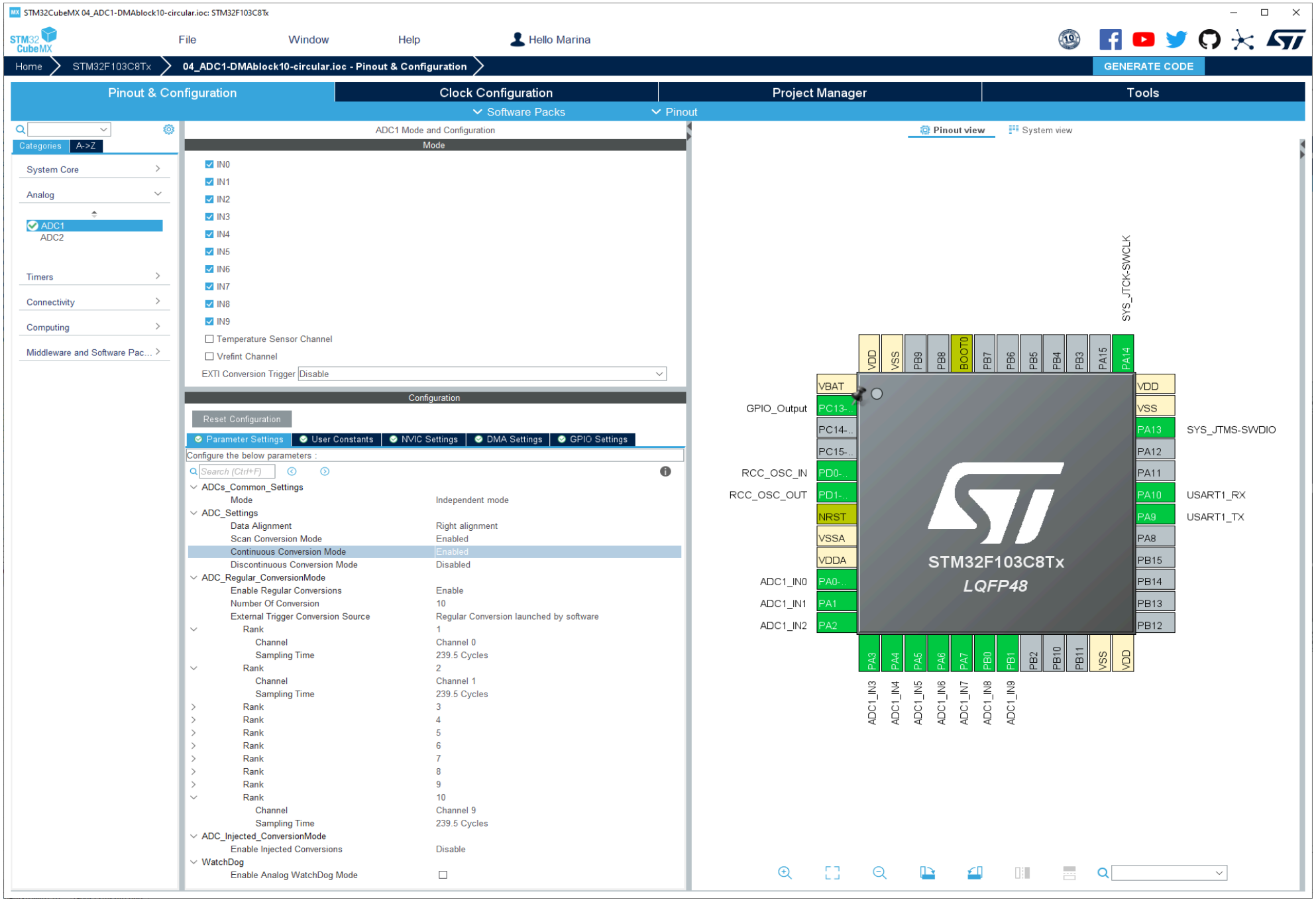
Принципиальная схема проекта

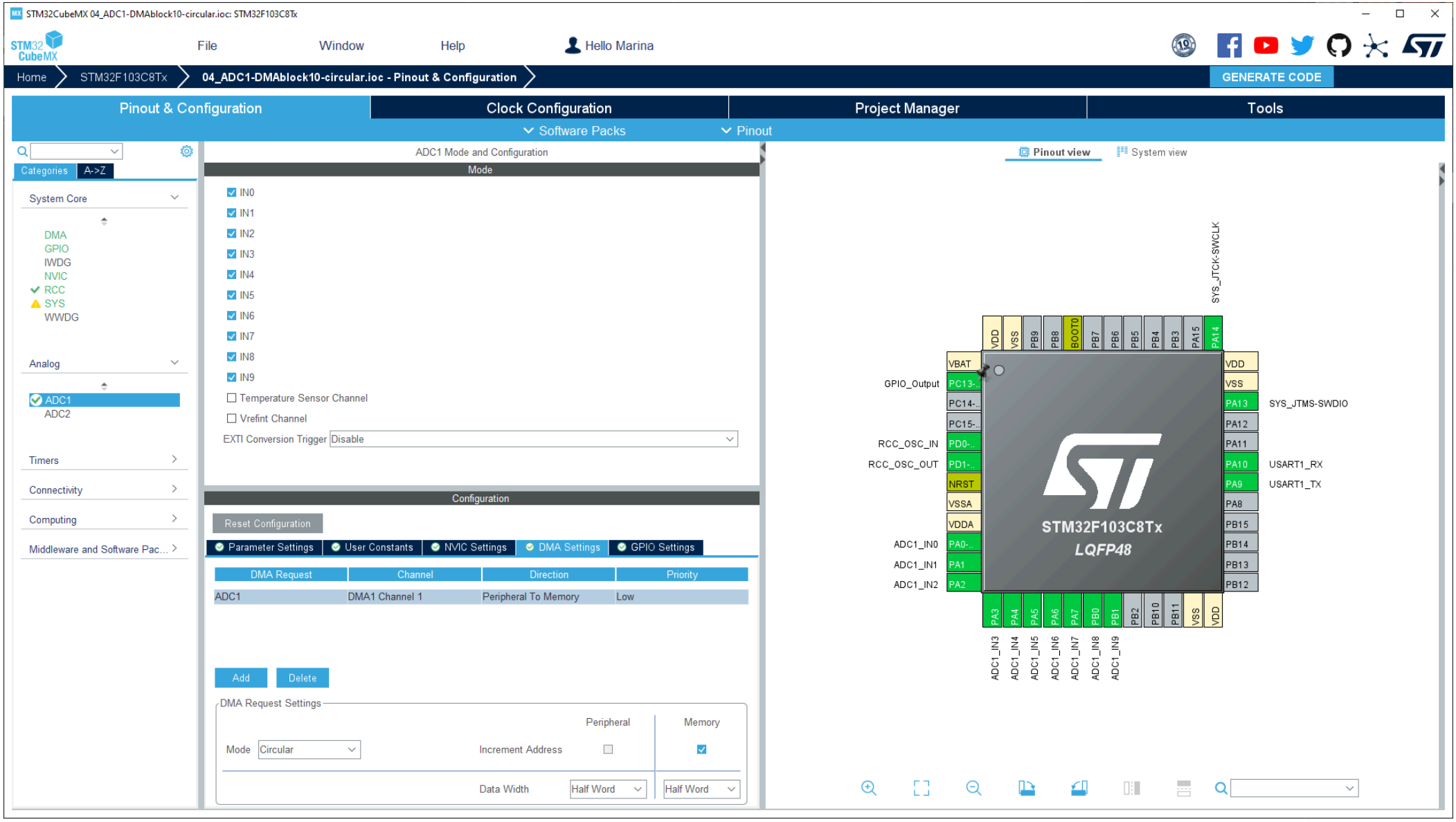


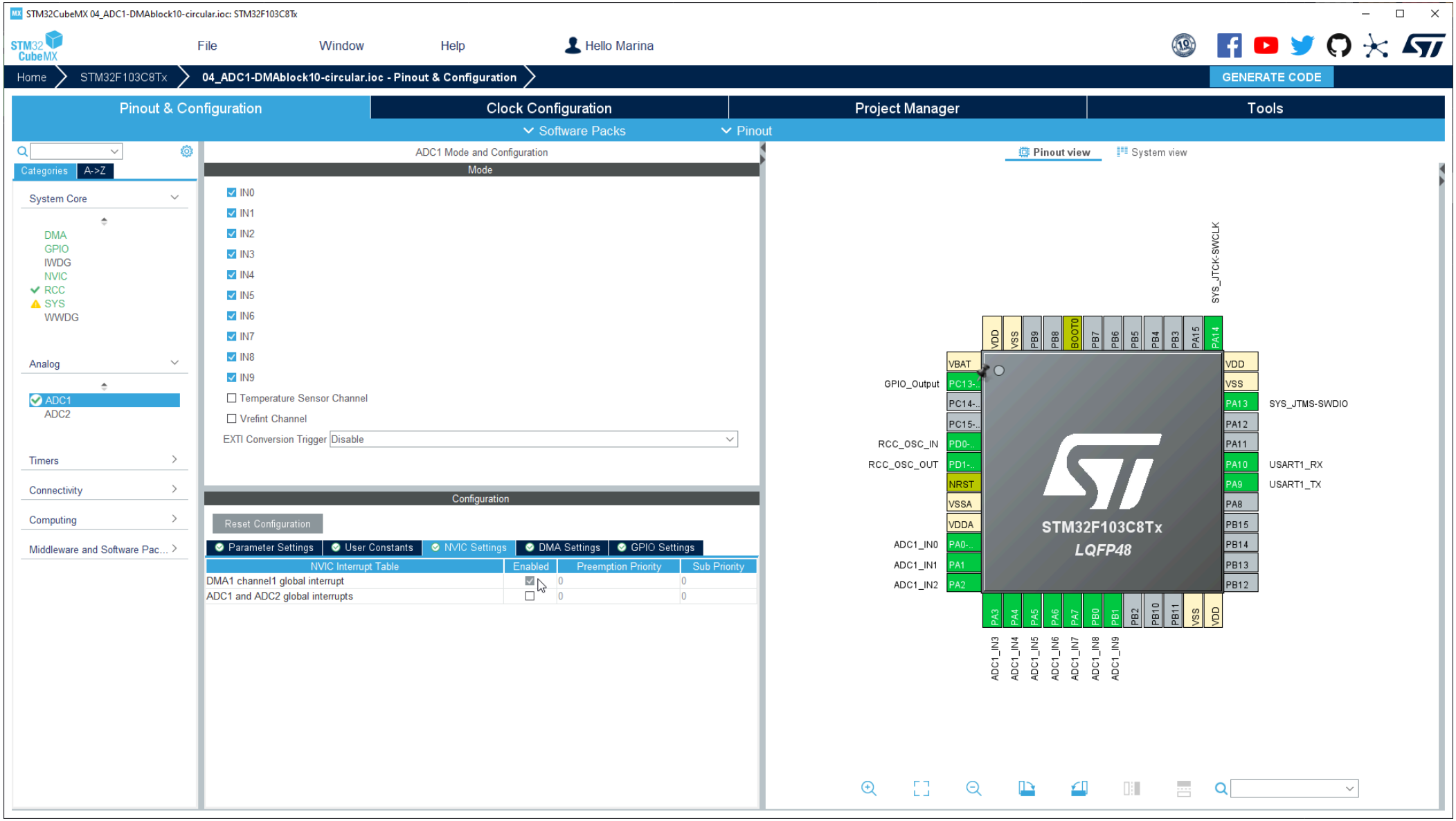
Частота тактирования АЦП не должна превышать 14 МГц. Включается ADC1 с 10 каналами In0-In9, разрешаются режимы Scan Conversion Mode и Continuous Conversion Mode. Для данных с АЦП используется DMA Circular и разрешается прерывание от АЦП в этом режиме.

Включается USART1 в асинхронном режиме (asynchronous). data direction - transmitt only

Настройка проекта в CubeMX


STM32CubeMX 04_ADC1-DMAblock10-circular.ioc: STM32F103C8Tx
File
Window
Help
Hello Marina
Home
STM32F103C8Tx
04_ADC1-DMAblock10-circular.ioc - Pinout & Configuration
GENERATE CODE
Pinout & Configuration
Clock Configuration
Project Manager
Tools
Software Packs
Pinout
Categories
A->Z
System Core
Analog
ADC1
ADC2
Timers
Connectivity
Computing
Middleware and Software Pac...
ADC1 Mode and Configuration
Mode
IN0
IN1
IN2
IN3
IN4
IN5
IN6
IN7
IN8
IN9
Temperature Sensor Channel
Vrefint Channel
EXTI Conversion Trigger
Disable
Configuration
Reset Configuration
Parameter Settings
User Constants
NVIC Settings
DMA Settings
GPIO Settings
Configure the below parameters :
Search (Ctrl+F)
ADCs_Common_Settings
Mode
Independent mode
ADC_Settings
Data Alignment
Right alignment
Scan Conversion Mode
Enabled
Continuous Conversion Mode
Enabled
Discontinuous Conversion Mode
Disabled
ADC_Regular_ConversionMode
Enable Regular Conversions
Enable
Number Of Conversion
10
External Trigger Conversion Source
Regular Conversion launched by software
Rank
1
Channel
Channel 0
Sampling Time
239.5 Cycles
Rank
2
Channel
Channel 1
Sampling Time
239.5 Cycles
Rank
3
Rank
4
Rank
5
Rank
6
Rank
7
Rank
8
Rank
9
Rank
10
Channel
Channel 9
Sampling Time
239.5 Cycles
ADC_Injected_ConversionMode
Enable Injected Conversions
Disable
WatchDog
Enable Analog WatchDog Mode
Pinout view
System view
SYS_JTCK-SWCLK
VDD
VSS
PB9
PB8
BOOT0
PB7
PB6
PB5
PB4
PB3
PA15
PA14
VBAT
PC13-..
PC14-..
PC15-..
PD0-..
PD1-..
NRST
VSSA
VDDA
PA0-..
PA1
PA2
GPIO_Output
RCC_OSC_IN
RCC_OSC_OUT
ADC1_IN0
ADC1_IN1
ADC1_IN2
STM32F103C8Tx
LQFP48
VDD
VSS
PA13
PA12
PA11
PA10
PA9
PA8
PB15
PB14
PB13
PB12
SYS_JTMS-SWDIO
USART1_RX
USART1_TX
PA3
PA4
PA5
PA6
PA7
PB0
PB1
PB2
PB10
PB11
VSS
VDD
ADC1_IN3
ADC1_IN4
ADC1_IN5
ADC1_IN6
ADC1_IN7
ADC1_IN8
ADC1_IN9


STM32CubeMX 04_ADC1-DMAblock10-circular.ioc: STM32F103C8Tx
File
Window
Help
Hello Marina
Home
STM32F103C8Tx
04_ADC1-DMAblock10-circular.ioc - Pinout & Configuration
GENERATE CODE
Pinout & Configuration
Clock Configuration
Project Manager
Tools
Software Packs
Pinout
Categories
A->Z
System Core
DMA
GPIO
IWDG
NVIC
RCC
SYS
WWDG
Analog
ADC1
ADC2
Timers
Connectivity
Computing
Middleware and Software Pac...
ADC1 Mode and Configuration
Mode
IN0
IN1
IN2
IN3
IN4
IN5
IN6
IN7
IN8
IN9
Temperature Sensor Channel
Vrefint Channel
EXTI Conversion Trigger
Disable
Configuration
Reset Configuration
Parameter Settings
User Constants
NVIC Settings
DMA Settings
GPIO Settings
DMA Request
Channel
Direction
Priority
ADC1
DMA1 Channel 1
Peripheral To Memory
Low
Add
Delete
DMA Request Settings
Peripheral
Memory
Mode
Circular
Increment Address
Data Width
Half Word
Half Word
Pinout view
System view
SYS_JTCK-SWCLK
SYS_JTMS-SWDIO
USART1_RX
USART1_TX
GPIO_Output
RCC_OSC_IN
RCC_OSC_OUT
ADC1_IN0
ADC1_IN1
ADC1_IN2
ADC1_IN3
ADC1_IN4
ADC1_IN5
ADC1_IN6
ADC1_IN7
ADC1_IN8
ADC1_IN9
STM32F103C8Tx
LQFP48


STM32CubeMX 04_ADC1-DMAblock10-circular.ioc: STM32F103C8Tx
File
Window
Help
Hello Marina
Home
STM32F103C8Tx
04_ADC1-DMAblock10-circular.ioc - Pinout & Configuration
GENERATE CODE
Pinout & Configuration
Clock Configuration
Project Manager
Tools
Software Packs
Pinout
Categories
A->Z
System Core
DMA
GPIO
IWDG
NVIC
RCC
SYS
WWDG
Analog
ADC1
ADC2
Timers
Connectivity
Computing
Middleware and Software Pac...
ADC1 Mode and Configuration
Mode
IN0
IN1
IN2
IN3
IN4
IN5
IN6
IN7
IN8
IN9
Temperature Sensor Channel
Vrefint Channel
EXTI Conversion Trigger
Disable
Configuration
Reset Configuration
Parameter Settings
User Constants
NVIC Settings
DMA Settings
GPIO Settings
NVIC Interrupt Table
Enabled
Preemption Priority
Sub Priority
DMA1 channel1 global interrupt
ADC1 and ADC2 global interrupts
Pinout view
System view
SYS_JTCK-SWCLK
SYS_JTMS-SWDIO
USART1_RX
USART1_TX
GPIO_Output
RCC_OSC_IN
RCC_OSC_OUT
ADC1_IN0
ADC1_IN1
ADC1_IN2
ADC1_IN3
ADC1_IN4
ADC1_IN5
ADC1_IN6
ADC1_IN7
ADC1_IN8
ADC1_IN9
STM32F103C8Tx
LQFP48

Фрагменты файла *main.c*

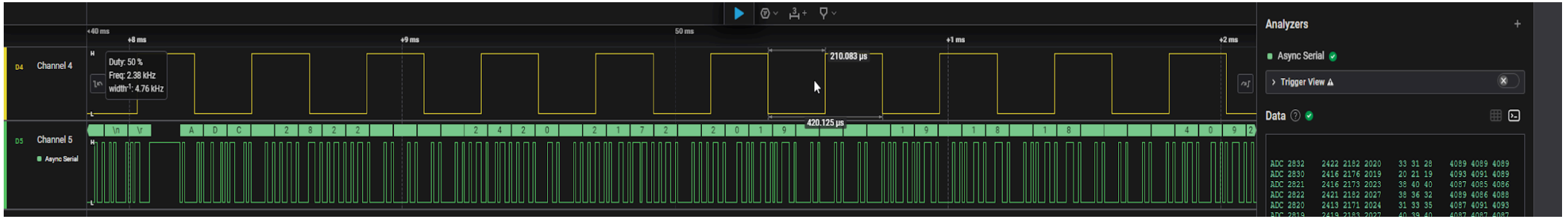
```
/* Private includes ----------------------------------------------------------*/
/* USER CODE BEGIN Includes */
#include "stdio.h"
#include "string.h"
/* USER CODE END Includes */
//.....................................................................
..
/* USER CODE BEGIN PV */
char trans_str[64] = {0,};          //массив для строки, выводимой на терминал
uint16_t adc[10] = {0,};            //у нас 10 каналов, массив для DMA - для 1 набора данных
volatile uint8_t flag = 0;          //флаг, изменяемый в разных модулях
/* USER CODE END PV */
/* Private user code ---------------------------------------------------------*/
/* USER CODE BEGIN 0 */
void HAL_ADC_ConvCpltCallback(ADC_HandleTypeDef* hadc)
{
  if(hadc->Instance == ADC1)
    {flag = 1;                                  //установка флага
     HAL_GPIO_TogglePin(GPIOC,GPIO_PIN_13);}    //Изменение состояния PC13 на противоположное
/* USER CODE END 0
//.....................................................................
..
int main(void)
{
.....................................................................
/* USER CODE BEGIN 2 */
HAL_ADCEx_Calibration_Start(&hadc1);            //калибровка АЦП
```

```
HAL_ADC_Start_DMA(&hadc1,(uint32_t*)&adc,10);  //старт АЦП в режиме DMA с передачей в память
                                               //10 слов данных с АЦП
/* USER CODE END 2 */
```

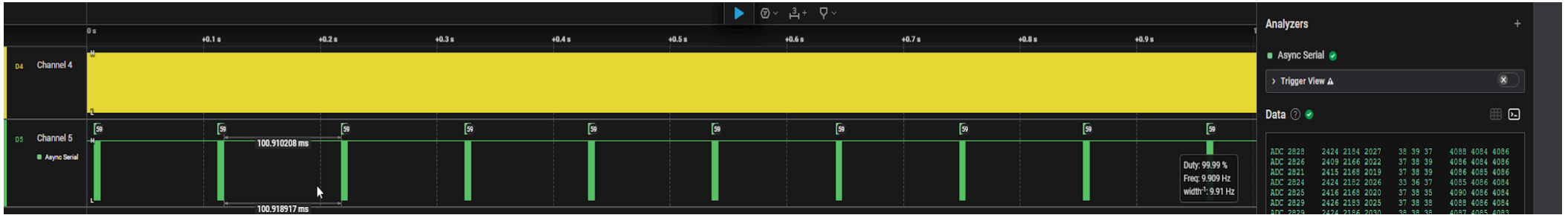
```
  /* Infinite loop */
  /* USER CODE BEGIN WHILE */
  while (1)
  {
    if(flag)
      {
        flag = 0;     //сброс флага
        //формирование строки вывода на терминал для 10 слов данных с АЦП1 (для каналов
0-9)
        snprintf(trans_str, 63, "ADC %d    %d %d %d    %d %d %d    %d %d %d \n\r",
                 adc[0],adc[1],adc[2],adc[3],adc[4],adc[5],adc[6],adc[7],adc[8],adc[9]);
        HAL_UART_Transmit(&huart1, (uint8_t*)trans_str, strlen(trans_str), 1000);
        //т.к. DMA циклический, то его перезапускать не надо
        //HAL_Delay(100);     //задержка между циклами вывода на терминал
      }                       // конец if
  /* USER CODE END WHILE */
  }
  /* USER CODE END 3 */
}                             //конец main
```

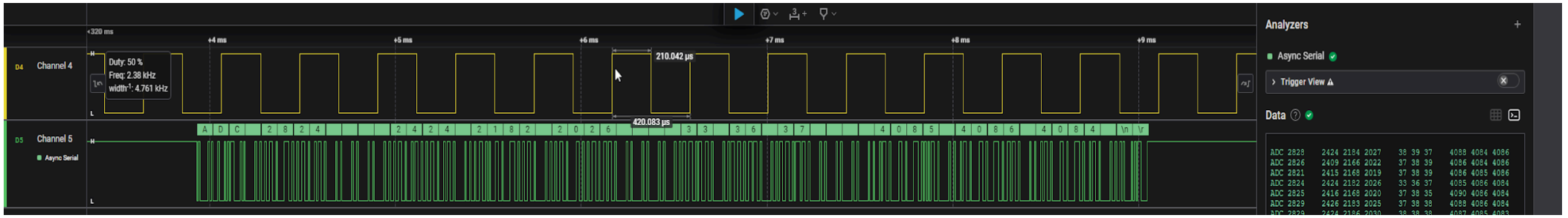
Сигналограммы логического анализатора

Без временной задержки между пакетами вывода



С временной задержкой между пакетами вывода





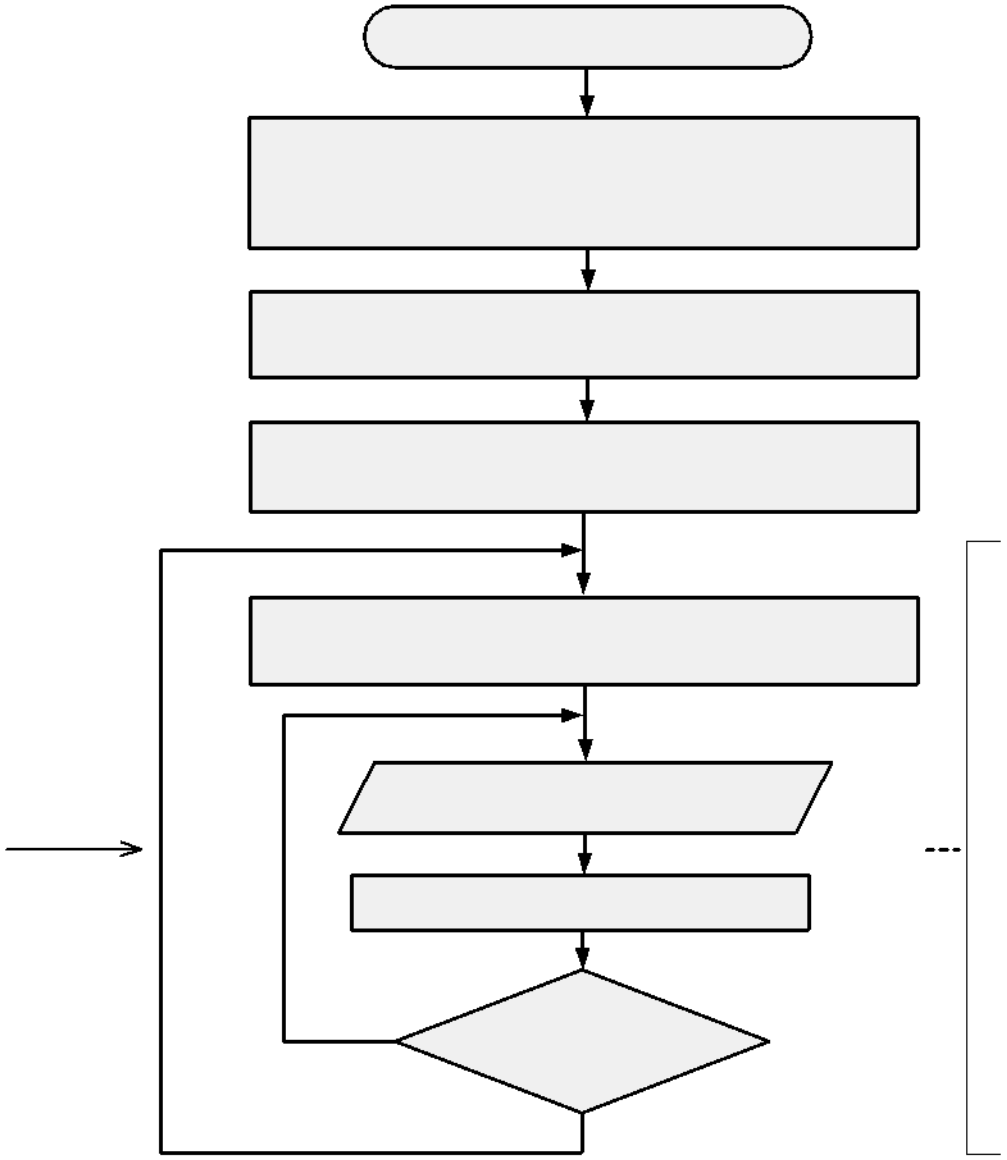
Задача 3. Генератор синуса на основе ЦАП

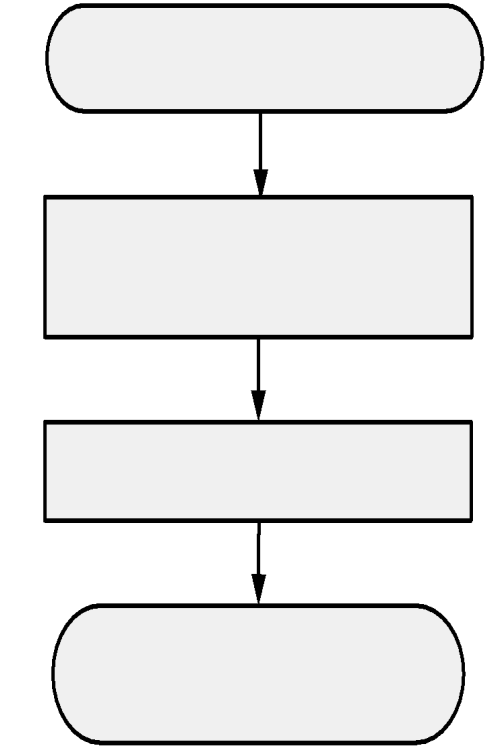
Построить генератор периодического синусоидального сигнала, частота которого увеличивается в 2 раза по каждому клику кнопки. После достижения максимальной частоты (при минимальном количестве отсчетов сигнала за период) клик кнопки приводит к установке минимальной частоты (при максимальном количестве отсчетов за период).

При решении задачи используется принцип циклического считывания цифровых отсчётов синуса за период и посылки их на ЦАП. При этом для формирования минимальной частоты используется максимальное количество отсчётов за период (например, *SAMPLES*=1024=2^{10}). Для формирования максимальной частоты используется минимальное количество отсчетов за период, при котором с помощью фильтра еще можно восстановить непрерывный синус, например, 8. Цифровые отсчеты посылаются на ЦАП, в качестве которого в ATmega328p выступает резистивная матрица R2R, подключенная к 6 младшим разрядам порта C, а в LGT8F328p – внутренний регистр ЦАП DAC0.

После клика кнопки для увеличения частоты в 2 раза, в 2 раза увеличивается шаг считывания табличных данных *step*, т.е. *step* *step*2*. Для этого сигнальный вывод кнопки заводится на линию внешнего запроса прерывания INT0, внешнее прерывание INT0 разрешается и настраивается, а в его обработчике осуществляется увеличение в 2 раза шага считывания данных *step* из таблицы отсчётов периодической функции *table[SAMPLES]*.

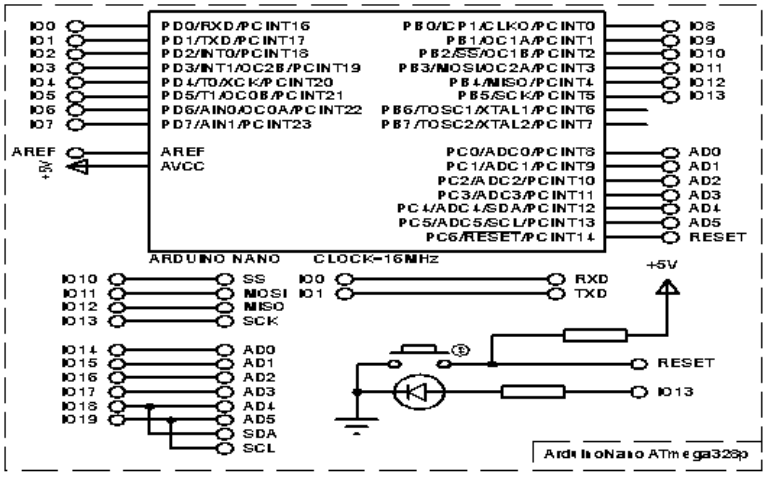
Блок-схема алгоритма

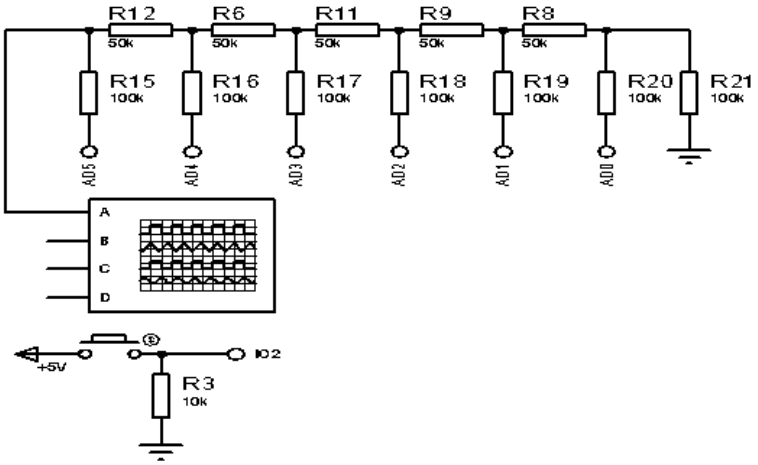




Принципиальные схемы проектов с DAC, программы, макеты

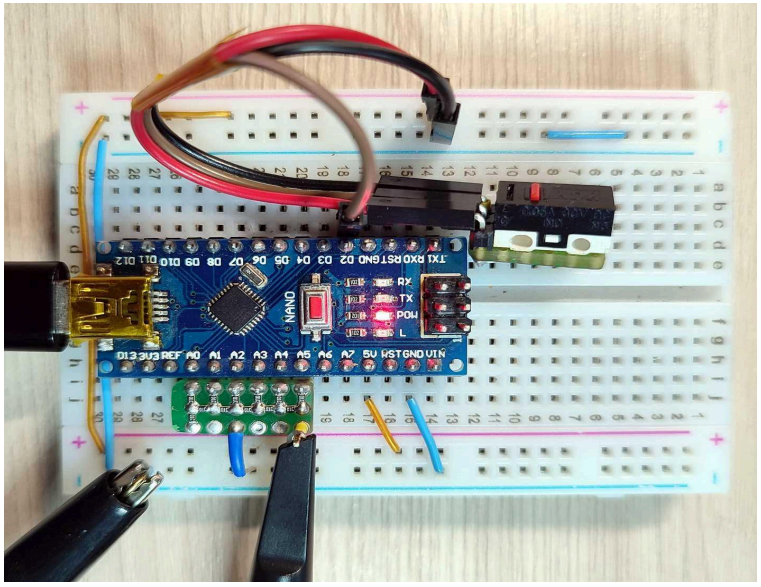
На Arduino nano

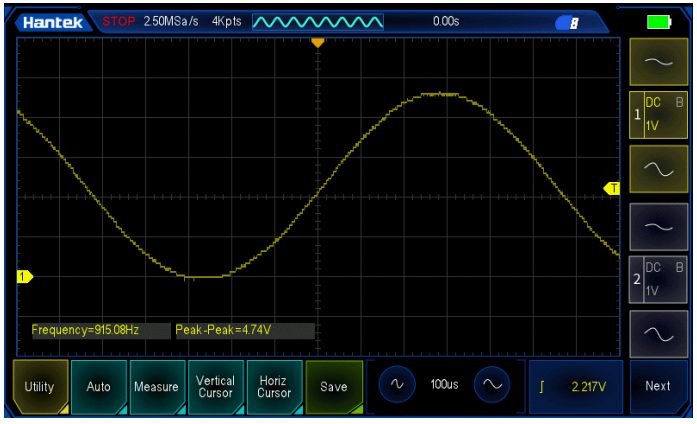


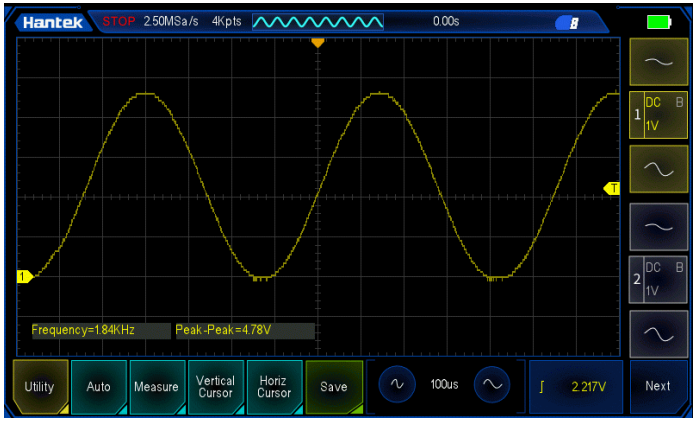


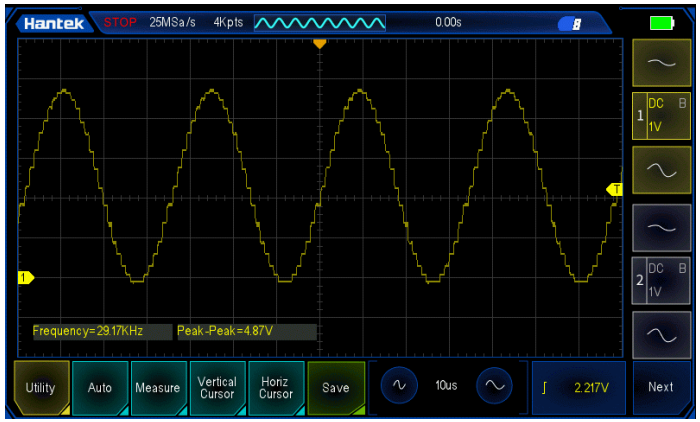
```
#define SAMPLES 1024  //количество отсчётов функции за период
#define nDAC 6        //разрядность используемого внешнего ЦАП на резистивной матрице R-2R
#define TWO_PI 6.28318530717959864769252867665559

unsigned char table[SAMPLES];   //массив отсчётов периодической функции, тип зависит от разрядности ЦАП
unsigned int dig_max;           //максимальный входной цифровой код для ЦАП
unsigned int step=1;            //начальный шаг считывания данных в таблице отсчетов

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  dig_max=(unsigned int)(pow(2,nDAC))-1;  //расчёт максимального входного кода для ЦАП
  for (int i = 0; i < SAMPLES; i++) {
    table[i] = (1 + sin((float)i * TWO_PI / SAMPLES))/2*dig_max;  //заполнение массива table[SAMPLES] отсчетами синуса за период
  }
DDRC=0x3F;  //6 младших бит порта C - на вывод, к нему подключен ЦАП на резистивной матрице R2R
PORTC=0x00;
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), ButtonInterrupt_INT0,RISING); //Подключение прерывания INT0 (IO2) - срабатывание по
нарастающему фронту
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  for (unsigned int i = 0; i < SAMPLES; i=i+step) PORTC=table[i];       //вывод очередного цифрового отсчета на ЦАП
}

void ButtonInterrupt_INT0 () {
for(unsigned int i=0; i<=32000; i++) {asm volatile ("NOP\n");}; //антидребезговая задержка на 2 мс, в прерывании функция delay()
не работает
if (digitalRead(2)==HIGH) {            //если это не помеха-иголка, а нажатие кнопки - выполняем действие:
  step=step*2;                         //увеличиваем шаг считывания таблицы отсчетов в 2 раза, частота увеличивается в 2 раза
```

```
  if (step>(SAMPLES/8)) step=1;    //если менее 8 отсчётов за период, возвращаемся к исходному шагу для минимальной частоты
  };
EIFR|=0b01;                        //Сброс флага прерывания INT0, который, возможно установится повторно из-за дребезга
}
```

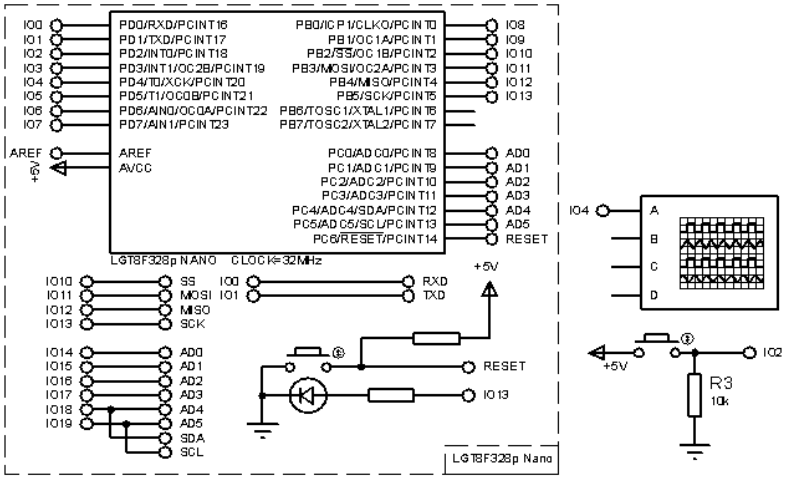






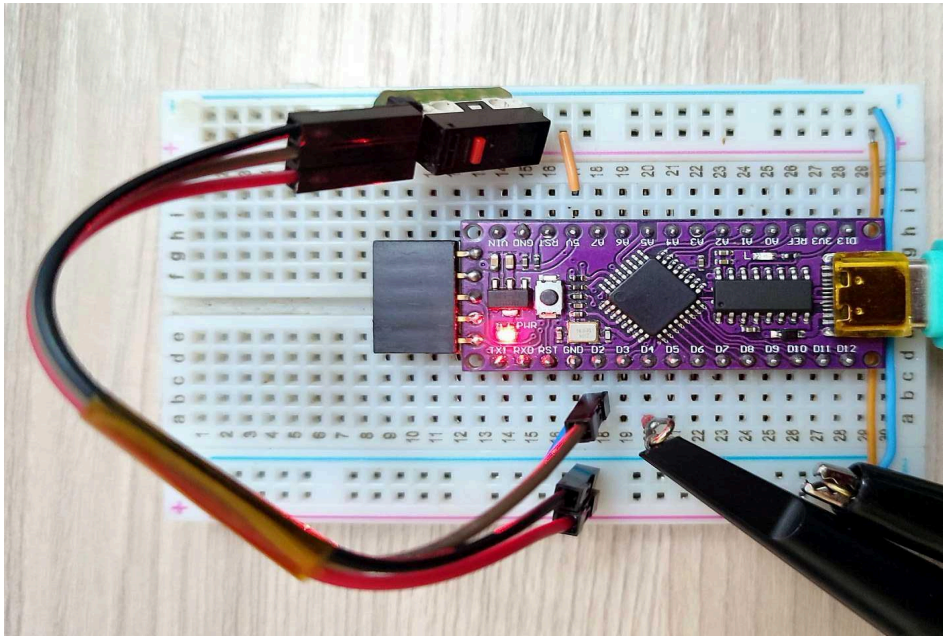

Hantek
STOP
25MSa/s
4Kpts
0.00s
1
DC B
1V
2
DC B
1V
Frequency=29.17KHz
Peak-Peak=4.87V
Utility
Auto
Measure
Vertical Cursor
Horiz Cursor
Save
10us
2.217V
Next

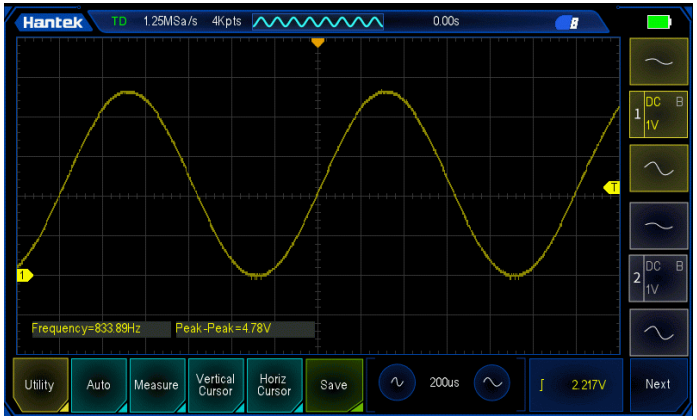
На LGT8F328p nano

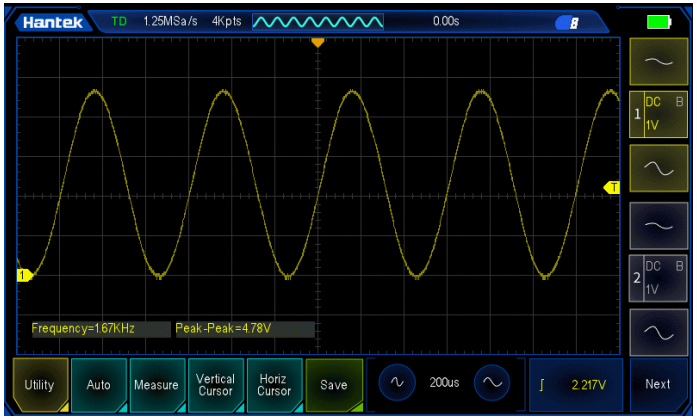


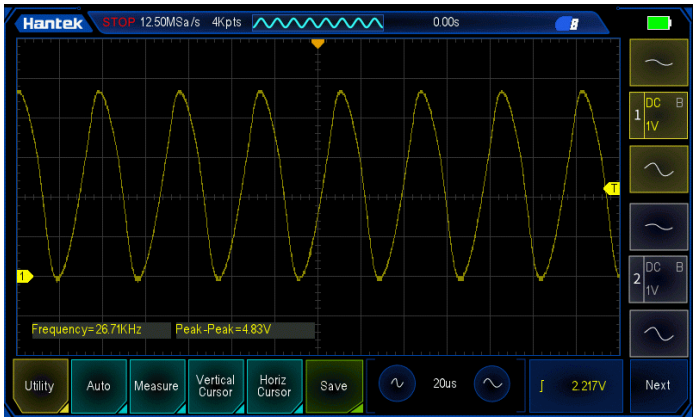
```
#define SAMPLES 1024  //количество отсчётов функции за период
#define nDAC 8        //разрядность внутреннего ЦАП LGT8F328
#define TWO_PI 6.28318530717958647692528676655900

unsigned char table[SAMPLES];   //массив отсчётов периодической функции, тип зависит от разрядности ЦАП
unsigned int dig_max;           //максимальный входной цифровой код для ЦАП
unsigned int step=1;            //исходный шаг считывания данных в таблице отсчетов (для минимальной частоты)

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  dig_max=(unsigned int)(pow(2,nDAC))-1;  //расчёт максимального входного кода для ЦАП
  for (int i = 0; i < SAMPLES; i++) {
    table[i] = (1 + sin((float)i * TWO_PI / SAMPLES))/2*dig_max;  //заполнение массива table[SAMPLES] отсчетами синуса за период
  }
  analogReference(DEFAULT);  // 5v Установка опорного напряжения ЦАП равного напряжению питания платы
  // analogReference(EXTERNAL);      // REF PIN Voltage
  // analogReference(INTERNAL4V096); // 4.096V
  // analogReference(INTERNAL2V048); // 2.048v
  // analogReference(INTERNAL1V024); // 1.024v
  pinMode(DAC0, ANALOG);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), ButtonInterrupt_INT0,RISING); //Подключение прерывания INT0 (IO2) - срабатывание по
нарастающему фронту
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  for (unsigned int i = 0; i < SAMPLES; i=i+step) analogWrite(DAC0, table[i]);  // вывод очередного цифрового отсчета на ЦАП
}

void ButtonInterrupt_INT0 () {
for(unsigned int i=0; i<=32000; i++) {asm volatile ("NOP\n");}; //антидребезговая задержка на 2 мс, в прерывании функция delay() не
работает
if (digitalRead(2)==HIGH) {                                    //если это не помеха-иголка, а нажатие кнопки - выполняем действие:
  step=step*2;            //увеличиваем шаг прореживания таблицы отсчетов в 2 раза, частота увеличивается в 2 раза
  if (step>(SAMPLES/8)) step=1;  //если менее 8 отсчётов за период, возвращаемся к исходному шагу для минимальной частоты
  };
```

```
EIFR|=0b01;                 //Сброс флага прерывания INT0, который, возможно установится повторно из-за дребезга
}
```








Hantek
STOP 12.50MSa/s 4Kpts
0.00s
1
DC B
1V
2
DC B
1V
Frequency=26.71KHz
Peak-Peak=4.83V
Utility
Auto
Measure
Vertical Cursor
Horiz Cursor
Save
20us
2.217V
Next

ПОЛЕЗНЫЕ ССЫЛКИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МК STM32

Таймеры_часть 1

Таймеры_часть 2

АЦП

DMA_часть 1

DMA_часть 2

Уроки STM32 (narod)

Уроки STM32 (narod)_YOUTUBE

А. Рожков – Уроки по STM32

Уроки STM32

DIMoonElectronics-блог STM32F1