

Тема:

**Порты ввода\вывода микроконтроллеров
серии AVR. Внешние прерывания**

**к.т.н., доцент каф.501
Мазуренко А.В.**

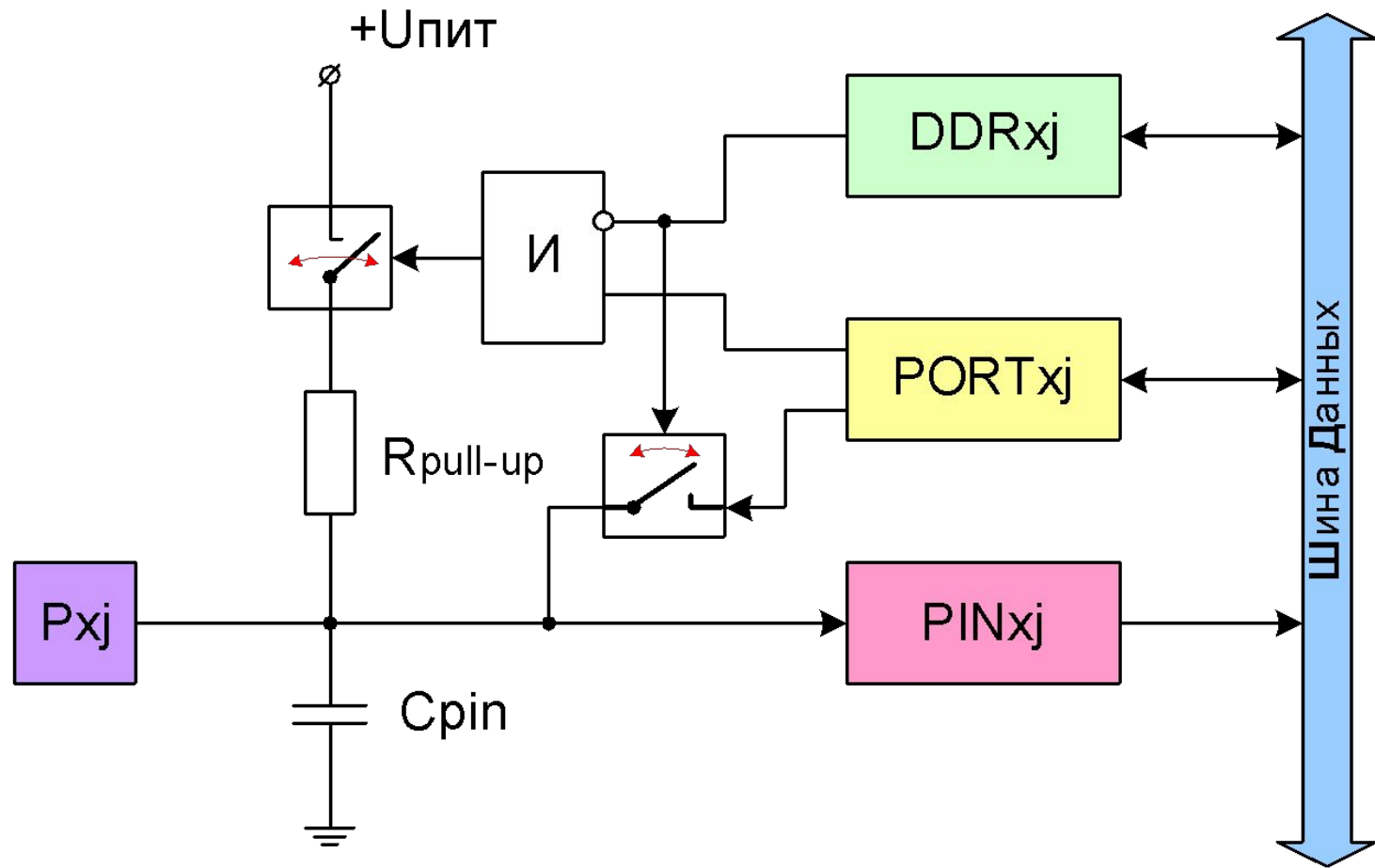


Рис.1. Упрощенная логическая схема линии ввода\вывода порта AVR-МК:

$x \in [A, B, C, D]$ – имя порта ввода\вывода, $j = 0 \dots 7$ – номер линии порта.

PORT x Data Direction Register

Биты		7	6	5	4	3	2	1	0	
Порт А	\$1A (\$3A)	DDRA7	DDRA6	DDRA5	DDRA4	DDRA3	DDRA2	DDRA1	DDRA0	DDRA
Порт В	\$17 (\$37)	DDRB7	DDRB6	DDRB5	DDRB4	DDRB3	DDRB2	DDRB1	DDRB0	DDRB
Порт С	\$14 (\$34)	DDRC7	DDRC6	DDRC5	DDRC4	DDRC3	DDRC2	DDRC1	DDRC0	DDRC
Порт D	\$11 (\$31)	DDRD7	DDRD6	DDRD5	DDRD4	DDRD3	DDRD2	DDRD1	DDRD0	DDRD
Чтение/Запись		R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Нач. состояние		0	0	0	0	0	0	0	0	

•Bits 7...0 – DDRx7...0 – Биты направление передачи данных порта x

PORT x Output Data Register

Биты		7	6	5	4	3	2	1	0	
Порт А	\$1B (\$3B)	PORTA7	PORTA6	PORTA5	PORTA4	PORTA3	PORTA2	PORTA1	PORTA0	PORTA
Порт В	\$18 (\$38)	PORTB7	PORTB6	PORTB5	PORTB4	PORTB3	PORTB2	PORTB1	PORTB0	PORTB
Порт С	\$15 (\$35)	PORTC7	PORTC6	PORTC5	PORTC4	PORTC3	PORTC2	PORTC1	PORTC0	PORTC
Порт D	\$12 (\$32)	PORTD7	PORTD6	PORTD5	PORTD4	PORTD3	PORTD2	PORTD1	PORTD0	PORTD
Чтение/Запись		R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Нач. состояние		0	0	0	0	0	0	0	0	

•Bits 7...0 – PORTx7...0 – Биты выходных данных порта x

PORT x Input Pins Data Register

Биты		7	6	5	4	3	2	1	0	
Порт А	\$19 (\$39)	PINA7	PINA6	PINA5	PINA4	PINA3	PINA2	PINA1	PINA0	PINA
Порт В	\$16 (\$36)	PINB7	PINB6	PINB5	PINB4	PINB3	PINB2	PINB1	PINB0	PINB
Порт С	\$13 (\$33)	PINC7	PINC6	PINC5	PINC4	PINC3	PINC2	PINC1	PINC0	PINC
Порт D	\$10 (\$30)	PIND7	PIND6	PIND5	PIND4	PIND3	PIND2	PIND1	PIND0	PIND
Чтение/Запись		R	R	R	R	R	R	R	R	
Нач. состояние		Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	

•Bits 7...0 – PINx7...0 – Биты входных данных порта x

IN - Load an I/O Location to Register – Загрузка данных из регистра пространства вводы\вывода в регистр общего назначения

Операция: $Rd \leftarrow I/O(AdrIO)$

Синтаксис:	Операнды:	Счетчик команд:
in Rd, AdrIO	$0 \leq d \leq 31, 0 \leq AdrIO \leq 63$	$PC \leftarrow PC+1$

Флаги на которые воздействует команда: не воздействует

Количество тактов выполнения операции: 1.

OUT - Store Register to I/O Location – Загрузить данные из регистра общего назначения в регистр вводы\вывода

Операция: $I/O(AdrIO) \leftarrow Rr$

Синтаксис:	Операнды:	Счетчик команд:
out AdrIO,Rr	$0 \leq r \leq 31, 0 \leq AdrIO \leq 63$	$PC \leftarrow PC+1$

Флаги на которые воздействует команда: не воздействует

Количество тактов выполнения операции: 1.

Пример: Объявление входов\выходов, установка\сброс линий портов ввода\вывода

SBI – Set bit to I/O Register – Установить бит в регистре пространства ввода\вывода

Операция: $I/O(AdrIO, b) \leftarrow 1$

Синтаксис:	Операнды:	Счетчик команд:
sbi AdrIO, b	$0 \leq AdrIO \leq 31, 0 \leq b \leq 7$	$PC \leftarrow PC + 1$

Флаги на которые воздействует команда: не воздействует

Количество тактов выполнения операции: 2.

CBI – Clear bit in I/O Register – Очистить бит в регистре пространства ввода\вывода

Операция: $I/O(AdrIO, b) \leftarrow 0$

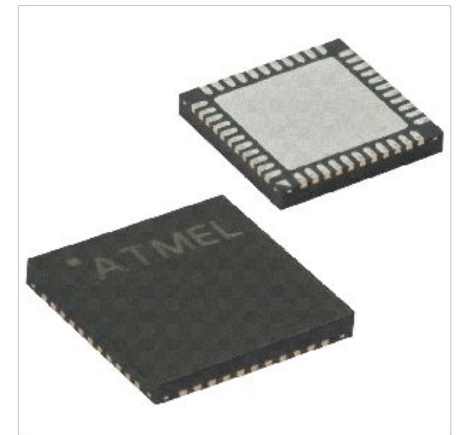
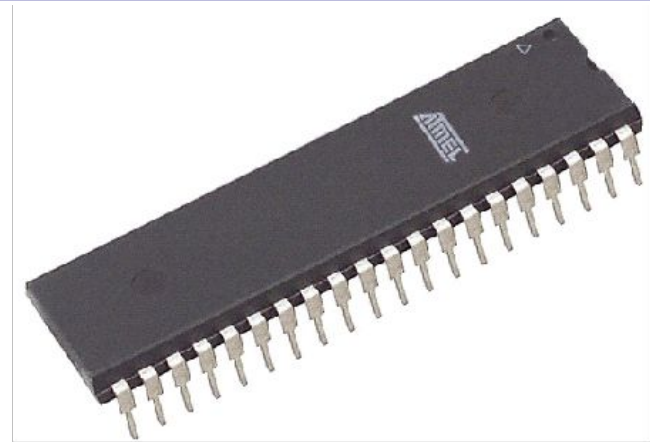
Синтаксис:	Операнды:	Счетчик команд:
cbi AdrIO, b	$0 \leq AdrIO \leq 31, 0 \leq b \leq 7$	$PC \leftarrow PC + 1$

Флаги на которые воздействует команда: не воздействует

Количество тактов выполнения операции: 2.

PDIP

(XCK/T0) PB0	1	40	PA0 (ADC0)
(T1) PB1	2	39	PA1 (ADC1)
(INT2/AIN0) PB2	3	38	PA2 (ADC2)
(OC0/AIN1) PB3	4	37	PA3 (ADC3)
(SS) PB4	5	36	PA4 (ADC4)
(MOSI) PB5	6	35	PA5 (ADC5)
(MISO) PB6	7	34	PA6 (ADC6)
(SCK) PB7	8	33	PA7 (ADC7)
RESET	9	32	AREF
VCC	10	31	GND AGND
GND	11	30	AVCC
XTAL2	12	29	PC7 (TOSC2)
XTAL1	13	28	PC6 (TOSC1)
(RXD) PD0	14	27	PC5 (TDI)
(TXD) PD1	15	26	PC4 (TDO)
(INT0) PD2	16	25	PC3 (TMS)
(INT1) PD3	17	24	PC2 (TCK)
(OC1B) PD4	18	23	PC1 (SDA)
(OC1A) PD5	19	22	PC0 (SCL)
(ICP) PD6	20	21	PD7 (OC2)



a)

б)

г)

Рис.2. Назначение выводов (а) и корпуса МК ATmega16:

(б) – PDIP-40 (Plastic Dual Inline Package);

(в) – TQFP-44 (Thin profile plastic Quad Flat Package);

(г) – MLF-44 (Micro Lead Frame Package)

Альтернативные функции порта А

Выводы порта А	Описание альтернативной функции
РА7	ADC7 – вход 7-го канала АЦП
РА6	ADC6 – вход 6-го канала АЦП
РА5	ADC5 – вход 5-го канала АЦП
РА4	ADC4 – вход 4-го канала АЦП
РА3	ADC3 – вход 3-го канала АЦП
РА2	ADC2 – вход 2-го канала АЦП
РА1	ADC1 – вход 1-го канала АЦП
РА0	ADC0 – вход 0-го канала АЦП

Альтернативные функции порта В

Выводы порта В	Описание альтернативной функции
PB7	SCK (SPI Bus Serial Clock) – вход тактовых импульсов последовательного интерфейса связи с периферией
PB6	MISO (SPI Bus Master Input/Slave Output) – вход данных ведущего \ выход данных ведомого последовательного интерфейса связи с периферией
PB5	MOSI (SPI Bus Master Output/Slave Input) – выход данных ведущего \ вход данных ведомого последовательного интерфейса связи с периферией
PB4	\overline{SS} (SPI Slave Select Input) – вход выбора режима ведомого
PB3	AIN1 (Analog Comparator Negative Input) – отрицательный вывод аналогового компаратора
	OC0 (Timer/Counter0 Output Compare Match Output) – выход совпадения таймера \ счетчика 0
PB2	AIN0 (Analog Comparator Positive Input) – положительный вывод аналогового компаратора
	INT2 (External Interrupt 2 Input) – вход внешнего прерывания 2
PB1	T1 (Timer/Counter1 External Counter Input) – внешний вход таймера \ счетчика 1
PB0	T0 (Timer/Counter0 External Counter Input) – внешний вход таймера \ счетчика 0
	XCK (USART External Clock Input/Output) – внешний вход \ выход тактовых импульсов УАПЧ

Альтернативные функции порта C

Выводы порта C	Описание альтернативной функции
PC7	TOSC2 (Timer Oscillator Pin 2) – вывод 2 тактового генератора системы реального времени
PC6	TOSC1 (Timer Oscillator Pin 1) – вывод 1 тактового генератора системы реального времени
PC5	TDI (JTAG Test Data In) – вход команд и данных от внутрисхемного эмулятора
PC4	TDO (JTAG Test Data Out) – выход данных на внутрисхемный эмулятор
PC3	TMS (JTAG Test Mode Select) – вход выбора режима работы внутренней схемы эмуляции
PC2	TCK (JTAG Test Clock) – вход тактовых импульсов интерфейса JTAG
PC1	SDA (Two-wire Serial Bus Data Input/Output Line) – шина данных двухпроводного последовательного интерфейса связи
PC0	SCL (Two-wire Serial Bus Clock Line) – вход тактовых импульсов двухпроводного последовательного интерфейса связи

Альтернативные функции порта D

Выводы порта D	Описание альтернативной функции
PD7	OC2 (Timer/Counter2 Output Compare Match Output) – выход совпадения таймера\счетчика 2
PD6	ICP (Timer/Counter1 Input Capture Pin) – вход захвата таймера\счетчика 1
PD5	OC1A (Timer/Counter1 Output Compare A Match Output) – выход совпадения А таймера\счетчика 1
PD4	OC1B (Timer/Counter1 Output Compare B Match Output) – выход совпадения В таймера\счетчика 1
PD3	INT1 (External Interrupt 1 Input) – вход внешнего прерывания 1
PD2	INT0 (External Interrupt 0 Input) – вход внешнего прерывания 0
PD1	TXD (USART Output Pin) – выход УАПП
PD0	RXD (USART Input Pin) – вход УАПП

№ вектора	Адрес вектора	Источник	Описание
1	\$0000	RESET	Сброс МК
2	\$0002	INT0	Внешнее прерывание 0 (External Interrupt Request 0)
3	\$0004	INT1	Внешнее прерывание 1 (External Interrupt Request 1)
4	\$0006	TIMER2 COMP	Совпадение при сравнении таймера/счетчика 2 (Timer/Counter2 Compare Match)
5	\$0008	TIMER2 OVF	Переполнение таймера/счетчика 2 (Timer/Counter2 Overflow)
6	\$000A	TIMER1 CAPT	Захват таймера/счетчика 1 (Timer/Counter1 Capture Event)
7	\$000C	TIMER1 COMPA	Совпадение А при сравнении таймера/счетчика 1 (Timer/Counter1 Compare Match A)
8	\$000E	TIMER1 COMPB	Совпадение В при сравнении таймера/счетчика 1 (Timer/Counter1 Compare Match B)
9	\$0010	TIMER1 OVF	Переполнение таймера/счетчика 1 (Timer/Counter1 Overflow)
10	\$0012	TIMER0 OVF	Совпадение при сравнении таймера/счетчика 0 (Timer/Counter0 Compare Match)
11	\$0014	SPI, STC	Завершение пересылки по ПИСП (Serial Transfer Complete)
12	\$0016	USART, RXC	Завершение приема с помощью УАПП (UART, Rx Complete)
13	\$0018	USART, UDRE	Регистр данных УАПП пуст (UART Data Register Empty)
14	\$001A	USART, TXC	Завершение передачи с помощью УАПП (UART, Tx Complete)
15	\$001C	ADC	Завершение АЦ-преобразования (ADC Conversion Complete)
16	\$001E	EE_RDY	Готовность к следующему сеансу обмена ЭСПЗУ (EEPROM Ready)
17	\$0020	ANA_COMP	Срабатывание аналогового компаратора (Analog Comparator)
18	\$0022	TWI	Прием данных по двухпроводному интерфейсу I ² C
19	\$0024	INT2	Внешнее прерывание 2 (External Interrupt Request 2)
20	\$0026	TIMER0 COMP	Совпадение при сравнении таймера/счетчика 0 (Timer/Counter0 Compare Match)
21	\$0028	SPM_RDY	Готовность загрузочного сектора

Общий регистр управления прерываниями (GICR - General Interrupt Control Register)

Биты	7	6	5	4	3	2	1	0
\$3B (\$5B) GICR	INT1	INT0	INT2	-	-	-	IVSEL	IVCE
Чтение/Запись	R/W	R/W	R/W	R	R	R	R/W	R/W
Начальное состояние	0	0	0	0	0	0	0	0

- Bits 0 - IVCE: Interrupt Vector Change Enable – Бит разрешения изменения таблицы прерываний
- Bits 1 - IVSEL: Interrupt Vector Select – Бит выбора таблицы прерываний
- Bits 5... 7 - INT1/0/2: External Interrupt Request 1/0/2 Enable – Бит разрешения запроса внешнего прерывания 1/0/2

Регистр флагов внешних прерываний (GIFR - General Interrupt Flag Register)

Биты	7	6	5	4	3	2	1	0
\$38 (\$58) GIFR	INTF1	INTF0	INTF2	-	-	-	-	-
Чтение/Запись	R/W	R/W	R/W	R	R	R	R	R
Начальное состояние	0	0	0	0	0	0	0	0

- Bits 7... 5 – INTF1 – INTF2: External Interrupt 1 - 2 Flags - Флаги внешних прерываний 1... 2
- Bits 4...0 - Res: Reserved Bits - Резервированные биты

Регистр управления микроконтроллером (MCUCR – MCU Control Register)

Биты	7	6	5	4	3	2	1	0
\$35 (\$55) MCUCR	SM2	SE	SM1	SM0	ISC11	ISC10	ISC01	ISC00
Чтение/Запись	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
Начальное состояние	0	0	0	0	0	0	0	0

- Bits 7... 4 – Биты выбора энергосберегающего режима работы МК
- Bit 3, 2 – ISC11, ISC10: Interuppt Sense Control 1 Bit1 and Bit0 – Биты управления срабатыванием внешнего прерывания 1.

Выбор вида сигнала, который приводит к возникновению внешнего прерывания 1, определяется комбинациями битов:

ISC11	ISC10	Описание
0	0	Прерывание по уровню лог. 0 на INT1
0	1	Прерывание по переключению логического уровня
1	0	Прерывание по спадающему фронту на INT1
1	1	Прерывание по нарастающему фронту на INT1

- Bit 1, 0 – ISC01, ISC00: Interuppt Sense Control 0 Bit1 and Bit0 – Биты управления срабатыванием внешнего прерывания 0.

Выбор вида сигнала, который приводит к возникновению внешнего прерывания 0, определяется комбинациями битов:

ISC01	ISC00	Описание
0	0	Прерывание по уровню лог. 0 на INTO
0	1	Прерывание по переключению логического уровня
1	0	Прерывание по спадающему фронту на INTO
1	1	Прерывание по нарастающему фронту на INTO

Регистр статуса микроконтроллера

Биты	7	6	5	4	3	2	1	0
\$34 (\$54) MCUSR	JTD	ISC2	-	JTRF	WDRF	BORF	EXTRF	PORF
Чтение/Запись	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
Начальное состояние	0	0	0	0	0	0	0	0

- Bit 7 – JTD: JTAG Disable – Бит запрета работы внутрисхемного эмулятора
- **Bit 6 – ISC2: Interuppt Sense Control 2 – Бит выбора формы активного сигнала внешнего прерывания 2**
- Bits 5 - Res: Reserved Bit – Зарезервированный бит
- Bit 4 – JTRF: JTAG Reset Flag – Флаг сброса МК от внутрисхемного эмулятора
- Bit 3 – WDRF: Watchdog Reset Flag – Флаг сброса МК по сторожевому таймеру
- Bit 2 – BORF: Brown-out Reset Flag – Флаг сброса МК по снижению питания
- Bit 1 - EXTRF: External Reset Flag – Флаг внешнего сброса МК
- Bit 0 - PORF: Power On Reset Flag – Флаг сброса МК при включении питания

Если бит **ISC2** = 0 – внешнее прерывание 2 возникает по спадающему фронту сигнала на выводе с альтернативной функцией INT2.

Если бит **ISC2** = 1 – внешнее прерывание 2 возникает по нарастающему фронту сигнала на выводе с альтернативной функцией INT2.

Внешнее прерывание 2 фиксируется асинхронно. Нарастающий или спадающий фронт импульса длительностью больше 50 нс приводит к возникновению внешнего прерывания 2.

SEI – Set Global Interuppt Flag – Установить флаг глобального разрешения прерываний

Операция: $SREG(I) \leftarrow 1$

Синтаксис:	Операнды:	Счетчик команд:
sei	-	PC ← PC+1

Флаги на которые воздействует команда: I←1

Количество тактов выполнения операции: 1.

CLI – Clear Global Interuppt Flag – Очистить флаг глобального разрешения прерываний

Операция: $SREG(I) \leftarrow 0$

Синтаксис:	Операнды:	Счетчик команд:
cli	-	PC ← PC+1

Флаги на которые воздействует команда: I←0

Количество тактов выполнения операции: 1.

Примечание. При возникновении прерывания, в момент перехода на начало вектора прерывания (в таблице векторов прерываний) происходит автоматический сброс флага возникшего прерывания и бита (I) глобального разрешения прерываний в регистре статуса!

Задание:

Написать программу МК ATmega16, которая бы выполняла такие действия:

- 1) постоянно считывала однобайтное беззнаковое число A с выводов порта A;
- 2) суммировала число A с беззнаковой константой K1;
- 3) выводила старший байт результата на выводы порта C, а младший байт – на выводы порта B;
- 4) в любой момент времени по сигналу, в виде перехода из состояния лог. 1 в состояние лог. 0 на выводе PD2, инвертировала состояние вывода PD0.

Пункты задания 2 – 3 задания оформить в виде вызова подпрограммы. Программу выполнять для константы $K1=100$.