

# Лекция 5

## Система прерываний микроконтроллера

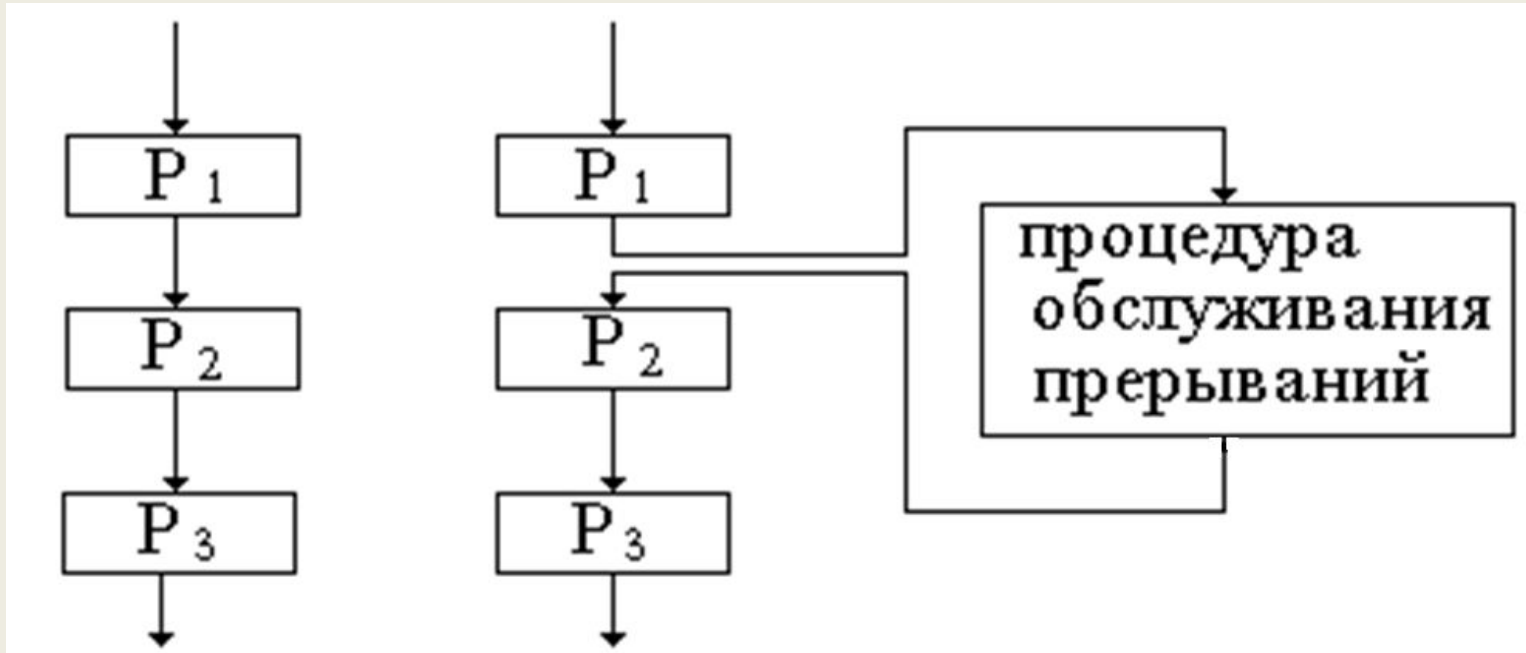


Рис. 1 – Прерывание останавливает выполнение основной программы

# Система прерываний микроконтроллера

Vector No.	Program Address	Source	Interrupt Definition
1	0x0000	RESET	External Pin, Power-on Reset, Brown-out Reset, and Watchdog Reset
2	0x0001	INT0	External Interrupt Request 0
3	0x0002	INT1	External Interrupt Request 1
4	0x0003	TIMER1 CAPT	Timer/Counter1 Capture Event
5	0x0004	TIMER1 COMPA	Timer/Counter1 Compare Match A
6	0x0005	TIMER1 OVF	Timer/Counter1 Overflow
7	0x0006	TIMER0 OVF	Timer/Counter0 Overflow
8	0x0007	USART0, RX	USART0, Rx Complete
9	0x0008	USART0, UDRE	USART0 Data Register Empty
10	0x0009	USART0, TX	USART0, Tx Complete
11	0x000A	ANALOG COMP	Analog Comparator
12	0x000B	PCINT	Pin Change Interrupt
13	0x000C	TIMER1 COMPB	Timer/Counter1 Compare Match B
14	0x000D	TIMER0 COMPA	Timer/Counter0 Compare Match A
15	0x000E	TIMER0 COMPB	Timer/Counter0 Compare Match B
16	0x000F	USI START	USI Start Condition
17	0x0010	USI OVERFLOW	USI Overflow
18	0x0011	EE READY	EEPROM Ready
19	0x0012	WDT OVERFLOW	Watchdog Timer Overflow

Рис. 2 – Таблица векторов прерываний

# Система прерываний микроконтроллера

```
0x0000    rjmp    RESET          ; Reset Handler
0x0001    rjmp    INTO          ; External Interrupt0 Handler
0x0002    rjmp    INT1         ; External Interrupt1 Handler
0x0003    rjmp    TIM1_CAPT    ; Timer1 Capture Handler
0x0004    rjmp    TIM1_COMPA   ; Timer1 CompareA Handler
0x0005    rjmp    TIM1_OVF    ; Timer1 Overflow Handler
0x0006    rjmp    TIM0_OVF    ; Timer0 Overflow Handler
0x0007    rjmp    USART0_RXC   ; USART0 RX Complete Handler
0x0008    rjmp    USART0_DRE   ; USART0,UDR Empty Handler
0x0009    rjmp    USART0_TXC   ; USART0 TX Complete Handler
0x000A    rjmp    ANA_COMP     ; Analog Comparator Handler
0x000B    rjmp    PCINT       ; Pin Change Interrupt
0x000C    rjmp    TIMER1_COMPB ; Timer1 Compare B Handler
0x000D    rjmp    TIMER0_COMPA ; Timer0 Compare A Handler
0x000E    rjmp    TIMER0_COMPB ; Timer0 Compare B Handler
0x000F    rjmp    USI_START    ; USI Start Handler
0x0010    rjmp    USI_OVERFLOW ; USI Overflow Handler
0x0011    rjmp    EE_READY     ; EEPROM Ready Handler
0x0012    rjmp    WDT_OVERFLOW ; Watchdog Overflow Handler

;
0x0013    RESET: ldi    r16, low(RAMEND); Main program start
0x0014    out    SPL,r16        Set Stack Pointer to top of
RAM
0x0015    sei                    ; Enable interrupts
0x0016    <instr> xxx
...     ...     ...     ...
```

Рис. 3 – Начальный код для микроконтроллера AVR tiny2313

# Внешние прерывания

Источники внешних прерываний:

PD2 – прерывание INT0;

PD3 – прерывание INT1

Все вывода Port B, объединенные по ИЛИ – прерывание PCINT

Номер бита	7	6	5	4	3	2	1	0	
	PUD	SM1	SE	SM0	ISC11	ISC10	ISC01	ISC00	MCUCR
Чтение(R)/Запись(W)	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Начальное значение	0	0	0	0	0	0	0	0	

**Бит 7 — PUD:** Отключение резисторов внутренней нагрузки. Если значение этого бита равно единице, нагрузочные резисторы всех разрядов всех портов отключены, даже если биты DDxn и PORTxn какого-либо регистра сконфигурированы на включение нагрузочного резистора.

**Биты 6, 4 — SM1...0:** Первый и второй разряды выбора режимов сна. Эти биты позволяют выбрать один из четырех режимов сна, как показано в таблице A.3.

**Бит 5 — SE:** Разрешение спящих режимов. Бит SE должен быть установлен в единицу для того, чтобы по команде SLEEP микроконтроллер перешел в спящий режим. Чтобы избежать случайного перехода в спящий режим, рекомендуется устанавливать бит SE в единичное состояние непосредственно перед вызовом команды SLEEP и сбрасывать его сразу после пробуждения.

**Бит 3, 2 — ISC11, ISC10:** Биты выбора режима вызова внешнего прерывания INT1. Внешнее прерывание 1 вызывается при помощи внешнего входа INT1 в том случае, если установлен флаг I регистра SREG, а также установлен соответствующий бит регистра маски. Возможные варианты вызова прерывания INT1 приведены в таблице A.5.

**Бит 1,0 — ISC01, ISC00:** Биты выбора режима вызова внешнего прерывания INT0. Внешнее прерывание 0 вызывается при помощи внешнего входа INT0 в том случае, если установлен флаг I регистра SREG, а также установлен соответствующий бит регистра маски. Возможные варианты вызова прерывания INT0 приведены в таблице A.6.

Рис. 4 – Регистр управления микроконтроллером

# Внешние прерывания

ISCx1	ISCx0	Описание
0	0	Низкий уровень на входе INTx генерирует запрос на прерывание
0	1	Любое изменение логического уровня на входе INTx генерирует запрос на прерывание
1	0	Задний фронт входного сигнала INTx вызывает запрос на прерывание
1	1	Передний фронт входного сигнала INTx вызывает запрос на прерывание

Рис. 5 – Конфигурирование режима внешних прерываний INT0 и INT1

Прерывание PCINT формируется при изменении уровня на любом выбранном выводе PORT B

# Регистры для управления внешними прерываниями

Номер бита	7	6	5	4	3	2	1	0	
	INT1	INT0	PCIE	—	—	—	—	—	GIMSK
Чтение(R)/Запись(W)	R/W	R/W	R/W	R	R	R	R	R	
Начальное значение	0	0	0	0	0	0	0	0	

**Бит 7— INT1:** Разрешение внешнего прерывания INT1. Внешнее прерывание INT1 разрешается, когда бит INT1 установлен в единицу, а также установлен флаг I регистра SREG,. Условия возникновения прерывания определяются битами ISC11 и ISO0 регистра MCUCR. Прерывание будет вызвано даже в том случае, если контакт INT1 сконфигурирован как выход. При вызове прерывания выполняется процедура, определяемая соответствующим вектором прерывания.

**Бит 6— INT0:** Разрешение внешнего прерывания INT0. Когда бит INT0 установлен в единицу, а также установлен флаг I регистра SREG, внешнее прерывание INT0 разрешается. Условия возникновения прерывания определяются битами ISC01 и ISC00 регистра MCUCR. Прерывание будет вызвано даже в том случае, если контакт INT0 сконфигурирован как выход. При вызове прерывания выполняется процедура, определяемая соответствующим вектором прерывания.

**Бит 5 — PCIE:** Разрешение прерывания по изменению состояния выводов. Если бит PCIE установлен в единицу, и при этом установлен флаг I регистра SREG, прерывание по изменению состояния любого контакта разрешено. Запрос на прерывание по изменению состояния на любом из контактов вызывает процедуру обработки прерывания, определяемую соответствующим вектором прерывания. Какие именно контакты будут вызвать прерывание, определяется индивидуально, установкой одного из битов PCINT7 – 0 регистра PCMSK.

Рис. 6 – Регистр маски внешних прерываний GIMSK

# Регистры для управления внешними

## ПРОЦЕДУРЫ

Номер бита	7	6	5	4	3	2	1	0	
	INTF1	INTF0	PCIF	—	—	—	—	—	EIFR
Чтение(R)/Запись(W)	R/W	R/W	R/W	R	R	R	R	R	
Начальное значение	0	0	0	0	0	0	0	0	

**Бит 7 — INTF1:** Флаг внешнего прерывания 1. Когда изменение логического уровня сигнала на входе INT1 вызывает запрос на прерывание, устанавливается флаг INTF1. Если при этом флаг I регистра SREG и бит INT1 регистра GIMSK установлены в единицу, микроконтроллер перейдет к выполнению процедуры обработки прерывания по соответствующему вектору.

При запуске процедуры обработки прерывания флаг автоматически очищается. Флаг может быть также очищен программно, путем записи в него логической единицы. Если прерывание INT1 сконфигурировано как прерывание по уровню, данный флаг всегда очищен.

**Бит 6 — INTF0:** Флаг внешнего прерывания 0. Когда изменение логического уровня сигнала на входе INT0 вызывает запрос на прерывание, устанавливается флаг INTF0. Если при этом флаг I регистра SREG и бит INT0 регистра GIMSK установлены в единицу, микроконтроллер перейдет к выполнению процедуры обработки прерывания по соответствующему вектору.

При запуске процедуры обработки прерывания флаг автоматически очищается. Флаг может быть также очищен программно, путем записи в него логической единицы. Если прерывание INT0 сконфигурировано как прерывание по уровню, данный флаг всегда очищен.

**Бит 5 — PCIF:** Флаг прерывания по изменению состояния одного из выводов. Изменение логического уровня на одном из входов PCINT7 – 0 вызывает генерацию запроса на прерывание, благодаря чему устанавливается флаг PCIF. Если при этом флаг 1 регистра SREG и бит PCIE регистра GIMSK установлены в единицу, микроконтроллер перейдет к выполнению процедуры обработки прерывания по соответствующему вектору.

При запуске процедуры обработки прерывания флаг автоматически очищается. Флаг может быть также очищен программно, путем записи в него логической единицы.

Рис. 7 – Регистр флагов внешних прерываний EIFR

# Регистры для управления внешними прерываниями

Номер бита	7	6	5	4	3	2	1	0	
	PCINT7	PCINT6	PCINT5	PCINT4	PCINT3	PCINT2	PCINT1	PCINT0	PCMSK
Чтение(R)/Запись(W)	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Начальное значение	0	0	0	0	0	0	0	0	

**Бит 7..0 — PCINT7..0:** Маска разрешения входов. Каждый из битов PCINT7 – 0 определяет, разрешается ли прерывание по изменению уровня на соответствующем входе. Если бит и флаг PCIE регистра GIMSK установлены в единицу, прерывание по изменению сигнала на соответствующем входе разрешается. Если бит сброшен, то прерывание по изменению сигнала на соответствующем входе запрещено.

Рис. 8 – Регистр маски вывода выводов Port B для прерывания PCINT



# Порты ввода/вывода

Типы портов в микроконтроллерах:

- только вход;
- только выход;
- двунаправленный вывод;
- вывод с альтернативными функциями

Регистры для управления портами микроконтроллера:

- DDRx – регистр направления передачи данных порта;
- PORTx – регистр данных порта;
- PINx – регистр значения порта

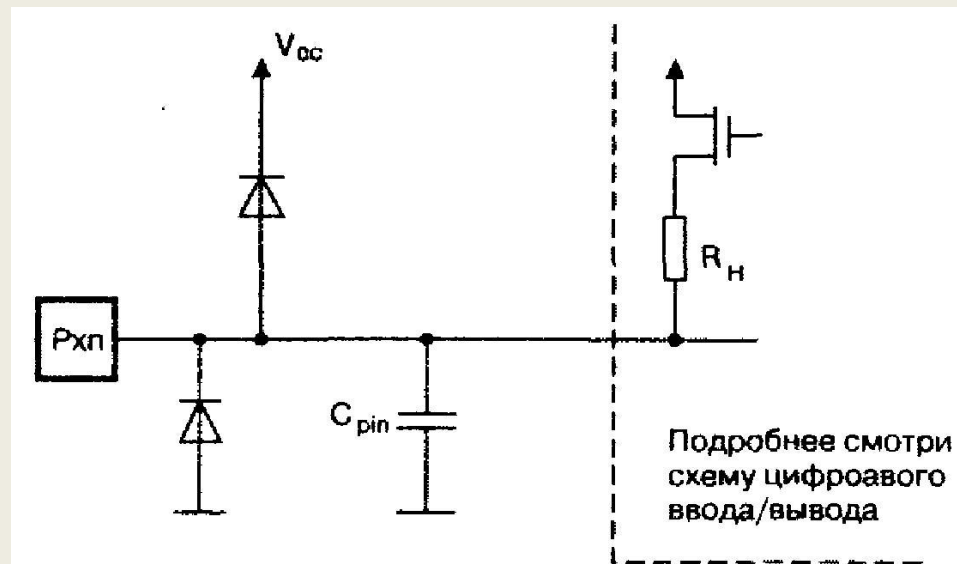


Рис. 9 – Эквивалентная схема одного вывода микроконтроллера AVR

# Порты ввода/вывода

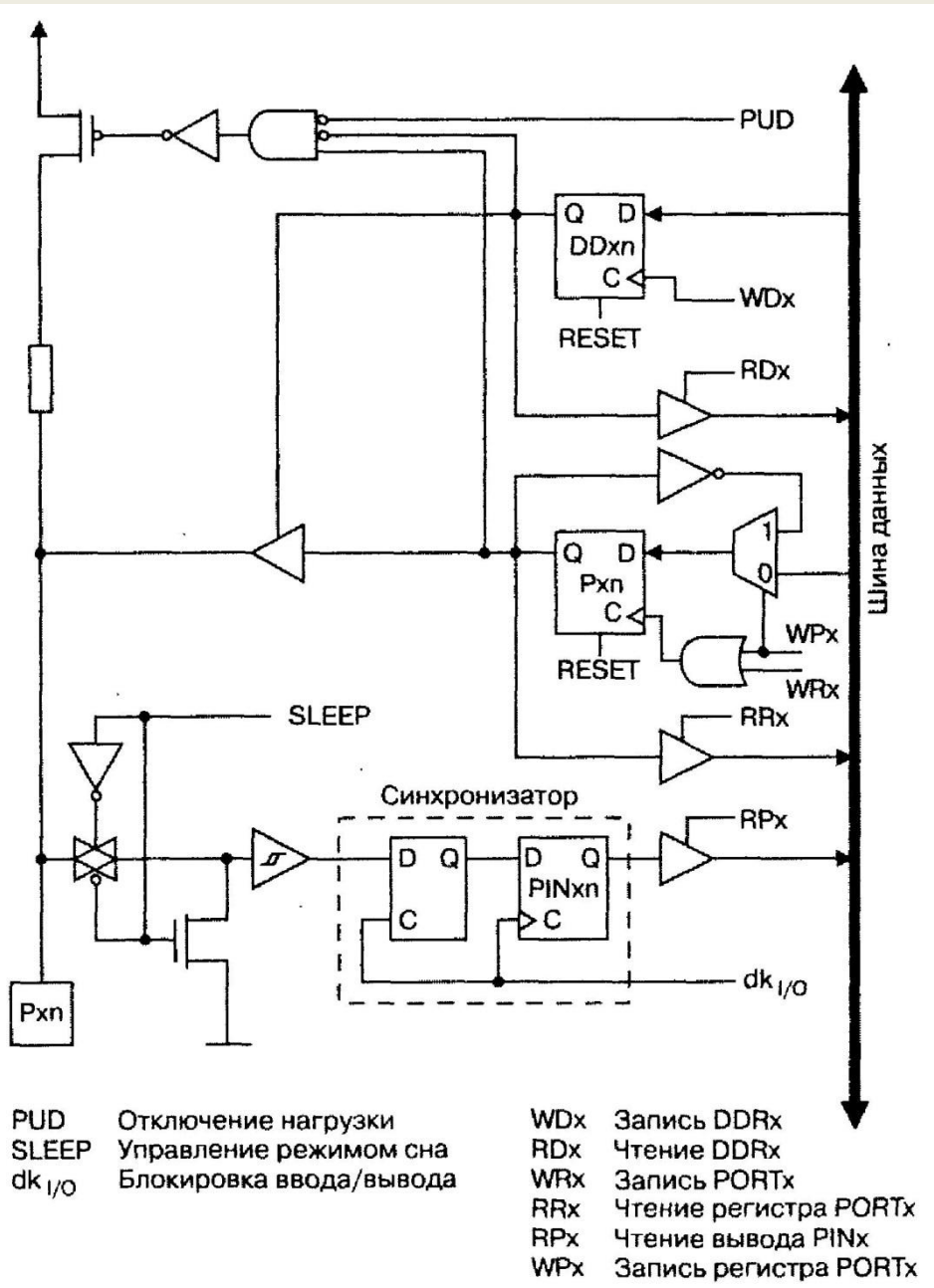


Рис. 10 – Функциональная схема вывода порта без учета альтернативных функций

# Порты ввода/вывода

DDxn	PORTxn	PUD (in MCUCR)	Ввод/вывод	Нагрузка	Комментарий
0	0	X	Ввод	Выкл.	Третье состояние (Z — состояние)
0	1	0	Ввод	Вкл.	Rxn создает выходящий ток, если внешняя цепь замкнута на общий провод
0	1	1	Ввод	Выкл.	Третье состояние (Z — состояние)
1	0	x	Вывод	Выкл.	Вывод низкого уровня (Приемник тока)
1	1	x	Вывод	Выкл.	Вывод высокого уровня (Источник тока)

Рис. 11 – Конфигурирование портов ввода/вывода

Электрические характеристики портов:

Входной ток – не более 1 мкА

Выходной ток – не более 20 мА (при 5 В), 10 мА (при 3В)

Суммарный ток на всех выводах – не более 200 мА