

1. Прерывания
2. Таймер/счетчик 1
3. Аналого-цифровой преобразователь
4. Аналоговый компаратор

1. Прерывания (Interrupt)

Определение. Внешние и внутренние прерывания.

Векторы прерываний. Приоритеты фиксированы порядком в списке.

Обработка прерываний. Вложенные прерывания.

	Address	Name	Interrupt Definition
1	\$0000	RESET	LOW на входе RESET, включение питания
2	\$0001	INT0	Запрос прерывания по входу INT0 (PD2)
3	\$0002	INT1	Запрос прерывания по входу INT1 (PD3)
4	\$0003	TIMER2_COMP	Достижение порога в таймере 2
5	\$0004	TIMER2_OVF	Переполнение в таймере 2
6	\$0005	TIMER1_CAPT	Фиксация содержимого таймера 1 в ICR1
7	\$0006	TIMER1_COMPA	Достижение порога А в таймере 1
8	\$0007	TIMER1_COMPB	Достижение порога В в таймере 1
9	\$0008	TIMER1_OVF	Переполнение в таймере 1
10	\$0009	TIMER0_OVF	Переполнение в таймере 0
11	\$000A	SPI, STC	Окончание передачи по SPI
12	\$000B	USART, RxC	USART прием закончил
13	\$000C	USART, UDRE	Регистр данных USART пуст
14	\$000D	USART, TxC	USART передачу закончил
15	\$000E	ADC	АЦП закончено
16	\$000F	EE_RDY	EEPROM готов к новой записи
17	\$0010	ANA_COMP	Срабатывание аналогового компаратора
18	\$0011	TWI	Прерывание двухпроводного интерфейса
19	\$0012	INT2	Запрос прерывания по входу INT2 (PB2)
20	\$0013	TIMER0_COMP	Достижение порога в таймере 0
21	\$0014	SPM_RDY	Память программ готова к записи

Реакция на прерывание

Управление: 7-й разряд (I) в SREG, маски, флаги

STACK \leftarrow PC, I \leftarrow 0, сброс флага

10-разрядный Stack Pointer (SP): SP9 и SP8 в 1-м и 0-м разрядах SPH (\$3E), SP7:SP0 в SPL (\$3D); дно стека \$025F, (SP) \geq \$0060

PC \leftarrow адрес соответствующего вектора прерывания

Переход к программе обработки прерывания (jmp, rjmp) по адресу, указанному в векторе данного прерывания

Запоминание в самом начале программы обработки прерываний содержимого SREG и других регистров, используемых в основной программе

Собственно обработка прерывания

Восстановление SREG и других регистров, используемых в основной программе

Последняя команда в программе обработки прерывания – reti (return from interrupt): PC \leftarrow STACK, I \leftarrow 1

Управление на примере внешних прерываний INT0 / PD2 / [16], INT1 / PD3 / [17] и INT2 / AIN0 / PB2 / [3]

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	
\$3F	SREG	I	T	H	S	V	N	Z	C	Status Register
		I – Global Interrupt Enable								
\$3B	GICR	INT1	INT0	INT2	–	–	–	–	–	General Interrupt Control Register
		INT1 – External Interrupt 1 (PD3 / [17]) Enable...								
\$3A	GIFR	INTF1	INTF0	INTF2	–	–	–	–	–	General Interrupt Flag Register
		INTF1 – External Interrupt Flag 1...								
\$35	MCUCR					ISC11	ISC10	ISC01	ISC00	MicroController Unit (MCU) Control Register
		ISC – (External) Interrupt Sense Control								

ISC11	ISC10	Условие прерывания
0	0	LOW на входе INT1 / PD3 / [17]
0	1	Любое изменение на входе INT1 / PD3 / [17]
1	0	Переход из 1 в 0 на входе INT1 / PD3 / [17]
1	1	Переход из 0 в 1 на входе INT1 / PD3 / [17]

То же самое в отношении прерываний по входу **INT0** / PD2 / [16] согласно ISC01, ISC00

2. Таймер/счетчик 1

\$2F, \$2E	TCCR1A, TCCR1B	– управление таймером 1 (TCCR – Timer/Counter Control Register)
\$2D, \$2C	TCNT1H, TCNT1L	– сам счетчик: старший и младший байты (TCNT – Timer/Counter; H – High, L – Low)
\$2B, \$2A	OCR1AH, OCR1AL	– порог А (OCR – Output Compare Register; H – High, L – Low)
\$29, \$28	OCR1BH, OCR1BL	– порог В (OCR – Output Compare Register; H – High, L – Low)
\$27, \$26	ICR1AH, ICR1AL	– значение в счетчике в момент захвата (ICR – Input Capture Register; Input Capture Pin: ICP / PD6 / [20])

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	
\$2F	TCCR1A	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0			WGM11	WGM10	COM – Compare Output Mode
\$2E	TCCR1B	ICNC1	ICES1	–	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10	WGM – Waveform Generation Mode
										ICNC – Input Capture Noise Canceller
										ICES – Input Capture Edge Select
										CS – Clock Select

CS12	CS11	CS10	Выбор тактового сигнала
0	0	0	Нет счета (останов)
0	0	1	clk (I/O Clock)
0	1	0	clk/8
0	1	1	clk/64
1	0	0	clk/256
1	0	1	clk/1024
1	1	0	От T1 / PB1 / [2] Negative Edge
1	1	1	От T1 / PB1 / [2] Positive Edge

For non-PWM mode:

COM1A1	COM1A0	Сигнал на выводе OC1A / PD5 / [19]
0	0	Нормальный вывод порта D, OC1A отключен
0	1	Переключение в момент совпадения с порогом А
1	0	Уст. LOW в в момент совпадения с порогом А
1	1	Уст. HIGH в в момент совпадения с порогом А

PWM – Pulse Width Modulation
OC – Output Compare

То же самое в отношении вывода OC1B / PD4 / [18]
согласно COM1B1, COM1B0

WGM13	WGM12	WGM11	WGM10	Waveform Generation Mode	TOP	Upd.OCR	TOV1
0	0	0	0	Normal (счёт)	\$FFFF	Immediate	MAX
0	0	0	1		\$00FF	TOP	BOTTOM
0	0	1	0		\$01FF	TOP	BOTTOM
0	0	1	1		\$03FF	TOP	BOTTOM
0	1	0	0	Clear Timer on Compare (CTC)	OCR1A	Immediate	MAX
0	1	0	1		\$00FF	TOP	TOP
0	1	1	0		\$01FF	TOP	TOP
0	1	1	1		\$03FF	TOP	TOP
1	0	0	0		ICR1	BOTTOM	BOTTOM
1	0	0	1		OCR1A	BOTTOM	BOTTOM
1	0	1	0		ICR1	TOP	BOTTOM
1	0	1	1		OCR1A	TOP	BOTTOM
1	1	0	0	Clear Timer on Compare (CTC)	ICR1	Immediate	MAX
1	1	0	1	–	–	–	–
1	1	1	0		ICR1	TOP	TOP
1	1	1	1		OCR1A	TOP	TOP

BOTTOM – счетчик достигает дна, когда его содержимое становится равным \$0000
MAX – счетчик достигает максимума, когда его содержимое становится равным \$FFFF
TOP – счетчик достигает заданного наибольшего значения, когда его содержимое становится равным \$00FF, \$01FF или \$03FF или тому, что запомнено в OCR1A или в ICR1 в зависимости от режима работы

Upd.OCR (Update OCR1x at...)

TOV1 (TOV1 Flag Set on...); TOV1 – Timer/Counter 1 Overflow Flag

Чтение и запись 16-разрядных слов **TCNT1**, **OCR1A**, **OCR1B**, **ICR1** по 8-разрядной шине без остановки счета

read:	in r18, SREG ;	write:	in r18, SREG ;
	cli ; I ← 0		cli ; I ← 0
	in r16, TCNT1L ; TEMP ← TCNT1H		out TCNT1H, r17 ; TEMP ← TCNT1H
	in r17, TCNT1H ; r17 ← TEMP		out TCNT1L, r16 ; TCNT1H ← TEMP
	out SREG, r18 ;		out SREG, r18 ;

Прерывания, связанные с таймером/счетчиком 1

Внешнее прерывание

\$0005 TIMER1_CAPT Фиксация в ICR1AH, ICR1AI значения TCNT1H, TCNT1L
 в момент поступления требования захвата на входе **ICP** / PD6 / [20]

Внутренние прерывания

\$0006 TIMER1_COMPA Достижение порога A
 \$0007 TIMER1_COMPB Достижение порога B
 \$0008 TIMER1_OVF Переполнение Timer/Counter1, Overflow Interrupt Enable

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	
\$39	TIMSK			TICIE1	OCIE1A	OCIE1B	TOIE1			Timer/Counter Interrupt Mask Register
TICIE1 – Timer/Counter1, Input Capture Interrupt Enable OCIE1A – Timer/Counter1, Output Compare A Match Interrupt Enable OCIE1B – Timer/Counter1, Output Compare B Match Interrupt Enable TOIE1 – Timer/Counter1, Overflow Enable										
\$38	TIFR			ICF1	OCF1A	OCF1B	TOV1			Timer/Counter Interrupt Flag Register
ICF1 – Timer/Counter1, Interrupt Capture Flag OCF1A – Timer/Counter1, Output Compare A Match Flag OCF1B – Timer/Counter1, Output Compare B Match Flag TOV1 – Timer/Counter1, Overflow Flag										

3. Аналого-цифровой преобразователь (ADC)

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	
\$30	SFIOR	ADTS2	ADTS1	ADTS0	—	ACME	PUD	PSR2	PSR10	Special Function I/O Register
		ADTS – ADC Auto Trigger Source ACME – Analog Comparator Multiplexer Enable; при ACME = 1 и ADEN = 0 мультиплексор MUX2:0 используется аналоговым компаратором ⁽²⁾ PUD – Pull-Up Disable PSR – Timer/Counter Prescaler Reset (сброс делителя частоты на входе таймера/счетчика)								
\$07	ADMUX	REFS1	REFS0	ADLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	ADC Multiplexer Selection Register
		REFS – Voltage Reference Selection ADLAR – ADC Left Adjust Result MUX4:0 – ADC Analog Channel and Gain Selection								
\$06	ADCSRA	ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	ADC Control and Status Register A
		ADEN – ADC Enable; запись 1 в ADEN запускает преобразование ADSC – ADC Start Conversion ADATE – ADC Auto Trigger Enable; при ADATE = 1 запуск ADC положительным фронтом от ADTS2:0 в регистре SFIOR ⁽¹⁾ ADIF – ADC Interrupt Flag ADIE – ADC Interrupt Enable ADPS – ADC Prescaler Select								
\$05, \$04	ADCH, ADCL	– ADC Data Registers: High, Low (старший и младший байты преобразования в АЦП)								

ADPS2	ADPS1	ADPS0	Clock Frequency
0	0	0	clk/2
0	0	1	clk/2
0	1	0	clk/4
0	1	1	clk/8
1	0	0	clk/16
1	0	1	clk/32
1	1	0	clk/64
1	1	1	clk/128

MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	Выбор входа АЦП
0	0	0	0	0	PA0 / ADC0 / [40]
0	0	0	0	1	PA1 / ADC1 / [39]
0	0	0	1	0	PA2 / ADC2 / [38]
0	0	0	1	1	PA3 / ADC3 / [37]
0	0	1	0	0	PA4 / ADC4 / [36]
0	0	1	0	1	PA5 / ADC5 / [35]
0	0	1	1	0	PA6 / ADC6 / [34]
0	0	1	1	1	PA7 / ADC7 / [33]

REFS1	REFS0	Выбор опорного напряжения
0	0	AREF / [32], внутреннее V _{ref} отключено
0	1	AVCC / [30] с конденсатором на выводе AREF / [32]
1	0	—
1	1	Внутр. V _{ref} = 2.56 В с конд. на выводе AREF / [32]

ADLAR = 0 – сдвиг содержимого ADCH:ADCL вправо:

\$05	ADCH	—	—	—	—	—	—	ADC9	ADC8
\$04	ADCL	ADC7	ADC6	ADC5	ADC4	ADC3	ADC2	ADC1	ADC0

ADLAR = 1 – сдвиг содержимого ADCH:ADCL влево:

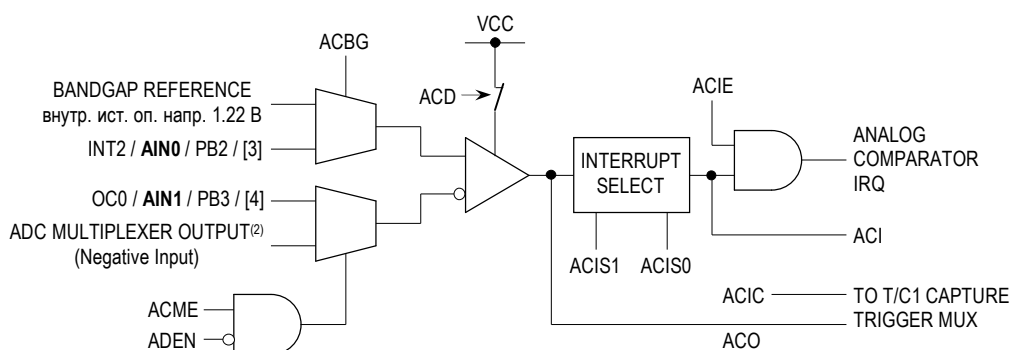
\$05	ADCH	ADC9	ADC8	ADC7	ADC6	ADC5	ADC4	ADC3	ADC2
\$04	ADCL	ADC1	ADC0	—	—	—	—	—	—

ADTS2	ADTS1	ADTS0	ADC Auto Trigger Source
0	0	0	Free Running Mode
0	0	1	Analog Comparator
0	1	0	External Interrupt Request 0
0	1	1	Timer/Counter 0 Compare Match
1	0	0	Timer/Counter 0 Overflow
1	0	1	Timer/Counter 1 Compare Match B
1	1	0	Timer/Counter 1 Overflow
1	1	1	Timer/Counter 1 Capture Event

⁽¹⁾ При ADATE = 0 значения SFIOR7:5 игнорируются.

При ADATE = 1 выбор источника запуска ADC согласно SFIOR7:5; запуск ADC происходит в момент возникновения единичного значения флага соответствующего прерывания (при SFIOR7:5 = 0 0 0 – Free Running Mode).

4. Аналоговый компаратор



Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	
\$30	SFIOR				–	ACME				Special Function I/O Register
						ACME – Analog Comparator Multiplexer Enable ⁽²⁾				
\$07	ADMUX						MUX2	MUX1	MUX0	ADC Multiplexer Selection Register
							MUX2:0 – Analog Comparator Negative Input при ASME = 1 и ADEN = 0 ⁽²⁾			
\$08	ACSR	ACD	ACBG	ACO	ACI	ACIE	ACIC	ACIS1	ACIS0	Analog Comparator Control and Status Register
		ACD – Analog Comparator Disable								
		ACBG – Analog Comparator Bandgap Select								
		ACO – Analog Comparator Output								
		ACI – Analog Comparator Interrupt Flag								
		ACIE – Analog Comparator Interrupt Enable								
		ACIC – Analog Comparator Input Capture Enable								
		ACIS1:0 – Analog Comparator Interrupt Mode Select								

При ACIC = 1 аналоговый компаратор запускает функцию захвата таймера/счетчика 1 (по входу ICP / PD6 / [20]); выход аналогового компаратора напрямую подключен к входу логики, вырабатывающей сигнал прерывания Timer/Counter1 Input Capture Interrupt с учетом полярности запускающего сигнала (edge select) и осуществляя или не осуществляя подавление шума (noise cancelation); прерывание происходит, если TICIE = 1 в регистре TIMSK.

При ACIC = 0 выход аналогового компаратора не подключен к входу логики Timer/Counter1 Input Capture Interrupt.

ACIS1	ACIS0	Условие возникновения прерывания по выходу ACO
0	0	При переключении (любом изменении) сигнала ACO
0	1	–
1	0	По спадающему фронту сигнала ACO
1	1	По нарастающему фронту сигнала ACO

⁽²⁾ Analog Comparator Multiplexed Input

[бит ACME – в регистре SFIOR (\$30), бит ADEN – в регистре ADCSRA (\$06)]:

ACME	ADEN	MUX2:0	Analog Comparator Negative Input
0	x	xxx	OC0 / AIN1 / PB3 / [4]
1	1	xxx	OC0 / AIN1 / PB3 / [4]
1	0	000	PA0 / ADC0 / [40]
1	0	001	PA1 / ADC1 / [39]
1	0	010	PA2 / ADC2 / [38]
1	0	011	PA3 / ADC3 / [37]
1	0	100	PA4 / ADC4 / [36]
1	0	101	PA5 / ADC5 / [35]
1	0	110	PA6 / ADC6 / [34]
1	0	111	PA7 / ADC7 / [33]