

15. Внешние прерывания

Внешние прерывания запускаются выводом INT7:0 или любым из выводов PCINT23:0. Обратите внимание, что если эта функция включена, прерывания будут срабатывать, даже если выводы INT7:0 или PCINT23:0 сконфигурированы как выходы. Эта функция позволяет генерировать программное прерывание.

Прерывание смены контакта PCI2 сработает, если переключится какой-либо включенный контакт PCINT23:16, прерывание смены контакта PCI1, если переключится какой-либо включенный контакт PCINT15:8, а прерывание смены контакта PCI0 сработает, если переключится любой включенный контакт PCINT7:0. Регистры PCMSK2, PCMSK1 и PCMSK0 определяют, какие выводы вносят вклад в прерывания смены контактов. Прерывания смены контакта на PCINT23:0 обнаруживаются асинхронно. Это означает, что эти прерывания можно использовать для пробуждения части также из режимов сна, отличных от режима ожидания.

Внешние прерывания могут быть вызваны падающим или нарастающим фронтом или низким уровнем. Это установлено, как указано в спецификации для внешних регистров управления прерываниями — EICRA (INT3:0) и EICRB (INT7:4). Когда внешнее прерывание включено и настроено как срабатывание по уровню, прерывание будет срабатывать до тех пор, пока на выводе удерживается низкий уровень.

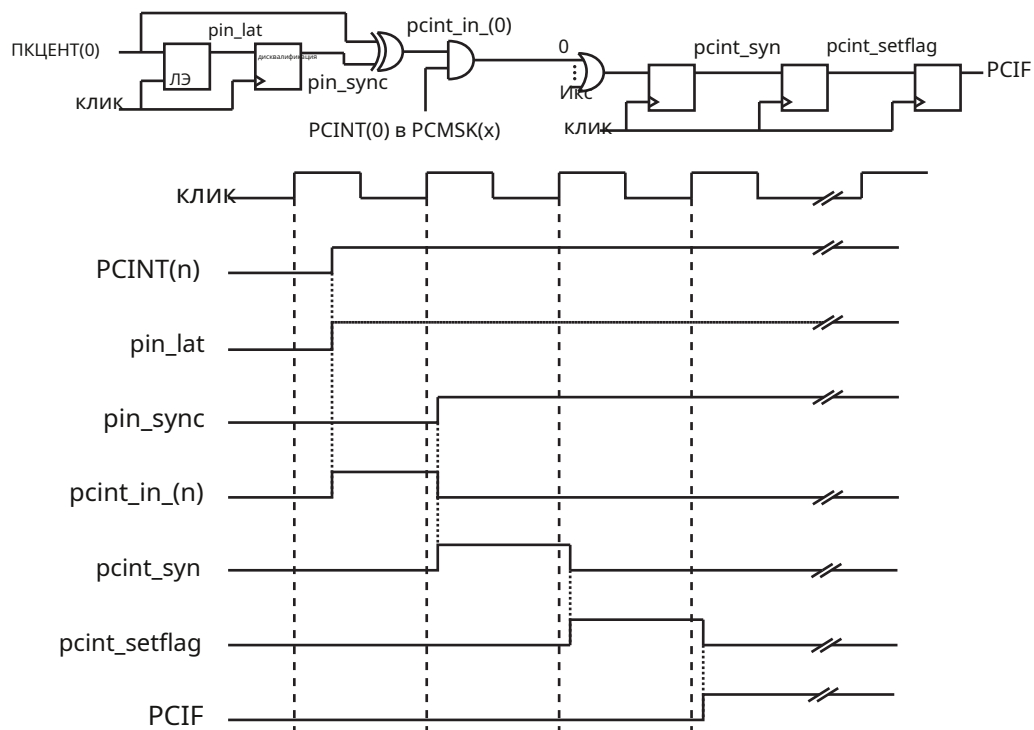
Прерывания низкого уровня и прерывания по фронту на INT3:0 обнаруживаются асинхронно. Это означает, что эти прерывания можно использовать для пробуждения части также из режимов сна, отличных от режима ожидания. Часы ввода-вывода останавливаются во всех спящих режимах, кроме режима ожидания.

Обратите внимание, что если прерывание, запускаемое по уровню, используется для пробуждения из отключения питания, требуемый уровень должен удерживаться достаточно долго, чтобы MCU завершил пробуждение, чтобы вызвать прерывание по уровню. Если уровень исчезнет до истечения времени запуска, MCU все равно проснется, но прерывание не будет сгенерировано. Время запуска определяется предохранителями SUT и CKSEL, как описано в «Системные часы и параметры часов» на стр. 39.

15.1 Время прерывания смены контакта

Пример синхронизации прерывания смены контакта показан на [Рисунок 15-1](#).

Рисунок 15-1. Обычное прерывание смены контакта.



15.2 Описание регистра

15.2.1 EICRA — внешний регистр управления прерываниями A

Внешний регистр управления прерываниями A содержит управляющие биты для контроля прерывания.

Кусочек	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x69)	ISC31	ISC30	ISC21	ISC20	ISC11	ISC10	ISC01	ISC00	ЭИКРА
Читай пиши	Ч/З	Ч/З	Ч/З	Ч/З	Ч/З	Ч/З	Ч/З	Ч/З	
Начальное значение	0	0	0	0	0	0	0	0	

• Биты 7:0 – ISC31, ISC30 – ISC00, ISC00: внешнее прерывание 3 – биты управления считыванием 0

Внешние прерывания 3–0 активируются внешними контактами INT3:0, если установлен I-флаг SREG и соответствующая маска прерывания в EIMSK. Уровень и фронты на внешних контактах, которые активируют прерывания, определяются в Таблица 15-1. Ребра на INT3:0 регистрируются асинхронно. Импульсы на выводах INT3:0 шире, чем минимальная ширина импульса, указанная в Таблица 15-2 вызовет прерывание. Не гарантируется, что более короткие импульсы вызовут прерывание. Если выбрано прерывание низкого уровня, низкий уровень должен поддерживаться до завершения текущей выполняемой команды, чтобы сгенерировать прерывание. Если включено, прерывание, запускаемое уровнем, будет генерировать запрос на прерывание, пока на выводе удерживается низкий уровень. При изменении бита ISCn может произойти прерывание. Поэтому рекомендуется сначала отключить INTn, очистив его бит разрешения прерывания в регистре EIMSK. Затем можно изменить бит ISCn. Наконец, флаг прерывания INTn должен быть очищен путем записи логической единицы в его бит флага прерывания (INTFn) в регистре EIFR перед повторным разрешением прерывания.

Таблица 15-1. Контроль прерывания(1)

ISCn1	ISCn0	Описание
0	0	Низкий уровень INTn генерирует запрос на прерывание
0	1	Любой фронт INTn генерирует асинхронно запрос на прерывание
1	0	Спадающий фронт INTn генерирует асинхронно запрос на прерывание
1	1	Нарастающий фронт INTn генерирует асинхронно запрос на прерывание

Примечание: 1. n = 3, 2, 1 или 0.
При изменении битов ISCn1/ISCn0 прерывание должно быть отключено путем очистки его бита разрешения прерывания в регистре EIMSK. В противном случае может произойти прерывание при изменении битов.

Таблица 15-2. Характеристики асинхронного внешнего прерывания

Символ	Параметр	Условие	Мин.	тип.	Максимум.	Единицы
TINT	Минимальная длительность импульса для асинхронного внешнего прерывания			50		нс

15.2.2 EICRB — внешний регистр управления прерываниями В

Кусочек	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x6A)	ISC71	ISC70	ISC61	ISC60	ISC51	ISC50	ISC41	ISC40	EICRB
Читай пиши	Ч/З	Ч/З	Ч/З	Ч/З	Ч/З	Ч/З	Ч/З	Ч/З	
Начальное значение	0	0	0	0	0	0	0	0	

• Биты 7:0 – ISC71, ISC70 – ISC41, ISC40: внешнее прерывание 7 – 4 бита управления считыванием

Внешние прерывания 7–4 активируются внешними контактами INT7:4, если установлен I-флаг SREG и соответствующая маска прерывания в EIMSK. Уровень и фронты на внешних контактах, которые активируют прерывания, определяются в Таблица 15-3. Значение на выводах INT7:4 замеряется перед обнаружением фронтов. Если выбрано прерывание по фронту или переключению, импульсы длительностью более одного тактового периода будут генерировать прерывание. Не гарантируется, что более короткие импульсы вызовут прерывание. Обратите внимание, что тактовая частота процессора может быть ниже частоты XTAL, если делитель XTAL включен. Если выбрано прерывание низкого уровня, низкий уровень должен поддерживаться до завершения текущей выполняемой команды, чтобы сгенерировать прерывание. Если включено, прерывание, запускаемое уровнем, будет генерировать запрос на прерывание, пока на выводе удерживается низкий уровень.

Таблица 15-3. Контроль прерывания⁽¹⁾

ISCn1	ISCn0	Описание
0	0	Низкий уровень INTn генерирует запрос на прерывание
0	1	Любое логическое изменение в INTn генерирует запрос на прерывание.
1	0	Спадающий фронт между двумя выборками INTn генерирует запрос на прерывание.
1	1	Нарастающий фронт между двумя выборками INTn генерирует запрос на прерывание.

Примечание: 1. n = 7, 6, 5 или 4.

При изменении битов ISCn1/ISCn0 прерывание должно быть отключено путем очистки его бита разрешения прерывания в регистре EIMSK. В противном случае может произойти прерывание при изменении битов.

15.2.3 EIMSK — внешний регистр маски прерывания

Кусочек	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x1D (0x3D)	INT7	INT6	INT5	INT4	INT3	INT2	INT1	INT0	EIMSK
Читай пиши	Ч/З	Ч/З	Ч/З	Ч/З	Ч/З	Ч/З	Ч/З	Ч/З	
Начальное значение	0	0	0	0	0	0	0	0	

• Биты 7:0 – INT7:0: Запрос на внешнее прерывание 7–0 Разрешить

Когда бит INT7:0 записывается в единицу, а бит I в регистре состояния (SREG) установлен (единица), разрешается соответствующее внешнее прерывание вывода. Биты управления прерыванием во внешних регистрах управления прерываниями — EICRA и EICRB — определяют, активируется ли внешнее прерывание по восходящему или падающему фронту или уровню. Активность на любом из этих контактов вызовет запрос на прерывание, даже если контакт включен в качестве выхода. Это обеспечивает способ генерации программного прерывания.

15.2.4 EIFR — внешний регистр флагов прерывания

Кусочек	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x1C (0x3C)	INTF7	INTF6	INTF5	INTF4	INTF3	INTF2	INTF1	INTF0	ЭИФР
Читай пиши	Ч/З	Ч/З	Ч/З	Ч/З	Ч/З	Ч/З	Ч/З	Ч/З	
Начальное значение	0	0	0	0	0	0	0	0	

• Биты 7:0 – INTF7:0: Флаги внешнего прерывания 7–0

Когда фронт или логическое изменение на выводе INT7:0 запускает запрос на прерывание, INTF7:0 устанавливается (единица). Если бит I в SREG и соответствующий бит разрешения прерывания INT7:0 в EIMSK установлены (единица), MCU перейдет к вектору прерывания. Флаг сбрасывается при выполнении процедуры обработки прерывания. В качестве альтернативы флаг можно очистить, записав в него логическую единицу. Эти флаги всегда сбрасываются, когда INT7:0 настроен как прерывание по уровню. Обратите внимание, что при входе в спящий режим с отключенными прерываниями INT3:0 входные буферы на этих выводах будут отключены. Это может вызвать логическое изменение внутренних сигналов, которое установит флаги INTF3:0. Видеть [«Включение цифрового входа и спящий режим» на стр. 71](#) Чтобы получить больше информации.

15.2.5 PCICR — Регистр управления прерыванием смены контакта

Кусочек	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x68)	–	–	–	–	–	PCIE2	PCIE1	PCIE0	ПИКРР
Читай пиши	р	р	р	р	р	Ч/З	Ч/З	Ч/З	
Начальное значение	0	0	0	0	0	0	0	0	

• Бит 2 — PCIE2: разрешение прерывания смены контакта 1

Когда бит PCIE2 установлен (один) и I-бит в регистре состояния (SREG) установлен (один), разрешено прерывание 2 смены контакта. Любое изменение на любом включенном выводе PCINT23:16 вызовет прерывание. Соответствующее прерывание запроса прерывания смены контакта выполняется из вектора прерывания PC12. Выводы PCINT23:16 активируются индивидуально регистром PCMSK2.

• Бит 1 — PCIE1: разрешение прерывания смены контакта 1

Когда бит PCIE1 установлен (один) и бит I в регистре состояния (SREG) установлен (один), прерывание 1 по смене контакта разрешено. Любое изменение на любом включенном выводе PCINT15:8 вызовет прерывание. Соответствующее прерывание запроса прерывания смены контакта выполняется из вектора прерывания PC11. Выводы PCINT15:8 активируются индивидуально регистром PCMSK1.

• Бит 0 — PCIE0: разрешение прерывания смены контакта 0

Когда бит PCIE0 установлен (единица) и бит I в регистре состояния (SREG) установлен (единица), прерывание смены контакта 0 разрешено. Любое изменение на любом включенном выводе PCINT7:0 вызовет прерывание. Соответствующее прерывание запроса прерывания смены контакта выполняется из вектора прерывания PC10. Выводы PCINT7:0 активируются индивидуально регистром PCMSK0.

15.2.6 PCIFR — регистр флага прерывания смены контакта

Кусочек	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x1B (0x3B)	–	–	–	–	–	PCIF2	PCIF1	PCIF0	PCIFR
Читай пиши	р	р	р	р	р	ч/з	ч/з	ч/з	
Начальное значение	0	0	0	0	0	0	0	0	

• Бит 2 – PCIF2: Флаг прерывания смены контакта 1

Когда логическое изменение на любом выводе PCINT23:16 вызывает запрос на прерывание, PCIF2 устанавливается (единица). Если бит I в SREG и бит PCIE2 в PCICR установлены (единица), MCU перейдет к соответствующему вектору прерывания. Флаг сбрасывается при выполнении процедуры обработки прерывания. В качестве альтернативы флаг можно очистить, записав в него логическую единицу.

• Бит 1 – PCIF1: Флаг прерывания смены контакта 1

Когда логическое изменение на любом выводе PCINT15:8 вызывает запрос на прерывание, PCIF1 устанавливается (единица). Если бит I в SREG и бит PCIE1 в PCICR установлены (единица), MCU перейдет к соответствующему вектору прерывания. Флаг сбрасывается при выполнении процедуры обработки прерывания. В качестве альтернативы флаг можно очистить, записав в него логическую единицу.

• Бит 0 — PCIF0: Флаг прерывания смены контакта 0

Когда логическое изменение на любом выводе PCINT7:0 вызывает запрос на прерывание, PCIF0 устанавливается (единица). Если бит I в SREG и бит PCIE0 в PCICR установлены (единица), MCU перейдет к соответствующему вектору прерывания. Флаг сбрасывается при выполнении процедуры обработки прерывания. В качестве альтернативы флаг можно очистить, записав в него логическую единицу.

15.2.7 PCMSK2 — Регистр маски изменения контакта 2

Кусочек	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x6D)	PCINT23	PCINT22	PCINT21	PCINT20	PCINT19	PCINT18	PCINT17	PCINT16	ПКМСК2
Читай пиши	ч/з	ч/з	ч/з	ч/з	ч/з	ч/з	ч/з	ч/з	
Начальное значение	0	0	0	0	0	0	0	0	

• Бит 7:0 – PCINT23:16: Маска разрешения смены контакта 23:16

Каждый бит PCINT23:16 определяет, разрешено ли прерывание смены контакта на соответствующем выводе ввода-вывода. Если установлено значение PCINT23:16 и установлен бит PCIE2 в PCICR, прерывание смены контакта разрешено на соответствующем контакте ввода/вывода. Если PCINT23:16 сброшен, прерывание смены контакта на соответствующем контакте ввода-вывода отключено.

15.2.8 PCMSK1 — Регистр маски изменения контакта 1

Кусочек	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x6C)	PCINT15	PCINT14	PCINT13	PCINT12	PCINT11	PCINT10	PCINT9	PCINT8	ПКМСК1
Читай пиши	ч/з	ч/з	ч/з	ч/з	ч/з	ч/з	ч/з	ч/з	
Начальное значение	0	0	0	0	0	0	0	0	

• Бит 7:0 – PCINT15:8: Маска разрешения смены контакта 15:8

Каждый бит PCINT15:8 определяет, разрешено ли прерывание смены контакта на соответствующем выводе ввода/вывода. Если установлено значение PCINT15:8 и установлен бит PCIE1 в PCICR, прерывание смены контакта разрешено на соответствующем контакте ввода/вывода. Если PCINT15:8 сброшен, прерывание смены контакта на соответствующем выводе ввода-вывода отключено.

15.2.9 PCMSK0 — Регистр маски смены контакта 0

Кусочек	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x6В)	PCINT7	PCINT6	PCINT5	PCINT4	PCINT3	PCINT2	PCINT1	PCINT0	PCMSK0
Читай пиши	Ч/З	Ч/З	Ч/З	Ч/З	Ч/З	Ч/З	Ч/З	Ч/З	
Начальное значение	0	0	0	0	0	0	0	0	

• Бит 7:0 – PCINT7:0: Маска разрешения смены контакта 7:0

Каждый бит PCINT7:0 определяет, разрешено ли прерывание смены контакта на соответствующем выводе ввода/вывода. Если установлен PCINT7:0 и установлен бит PCIE0 в PCICR, прерывание смены контакта разрешено на соответствующем контакте ввода/вывода. Если PCINT7:0 сброшен, прерывание смены контакта на соответствующем выводе ввода-вывода отключено.