



**Программа для микроконтроллера MDR1215LGI
для реализации функции SPD (Serial Presence Detect)**

**Описание программы
ТСКЯ.431296.033СП1**

Содержание

1	Общее описание и область применения	3
2	Описание выводов SPD	4
2.1	SA0, SA1, SA2.....	4
2.2	SDA	5
2.3	SCL.....	5
2.4	EVENT_n (для ПО ревизии 5).....	5
2.5	V _{DDSPD}	6
3	Функции работы с EEPROM	7
3.1	Установка защиты от записи.....	8
3.1.1	Установка и снятие защиты от записи (SWPn, CWP).....	9
3.1.2	Чтение статуса защиты (RPSn).....	9
3.2	Установка адреса страницы (SPAn)	9
3.2.1	Чтение адреса страницы (RPA)	9
3.3	Операции записи	9
3.3.1	Запись байта	10
3.3.2	Запись страницы	10
3.3.3	Опрос состояния процесса записи данных	10
3.4	Операции чтения	12
3.4.1	Чтение по заданному адресу.....	12
3.4.2	Чтение по текущему адресу.....	12
3.4.3	Последовательное чтение	13
3.4.4	Бит Ask при использовании различных команд.....	13
4	Термодатчик (для ПО ревизии 5).....	14
4.1	Команда записи.....	14
4.2	Команда чтения	15
4.3	Описание регистров термодатчика.....	16
4.3.1	Регистр Capabilities	16
4.3.2	Регистр Configuration.....	17
4.3.3	Формат хранения температуры в температурных регистрах	20
4.3.4	Регистр High Limit	20
4.3.5	Регистр Low Limit.....	21
4.3.6	Регистр TCRIT Limit.....	21
4.3.7	Регистр Ambient Temperature	21
4.3.8	Регистр Manufacturer ID	22
4.3.9	Регистр Device/Revision.....	22
4.3.10	Регистр дополнительной информации о ПО	22
5	Функции обновления ПО	24
5.1	Предъявление пароля	24
5.2	Обновление ПО	24
5.3	Определение ревизии ПО	24
6	Обновление конфигурации в памяти EEPROM	26
7	Справочные данные	27

1 Общее описание и область применения

Микросхемы MDR1215LGI поставляются с записанным программным обеспечением для функционирования микросхем как схемы последовательного детектирования (SPD – Serial Presence Detect).

Микросхемы MDR1215LGI с функцией SPD (далее – SPD) предназначены для модулей памяти DDR4 DIMM (Dual Inline Memory Modules) для персональных компьютеров, серверов и мобильных платформ.

SPD представляет собой память EEPROM, которая содержит конфигурационную информацию для модулей памяти DRAM, такую, как скорость доступа, размер и организация.

Память EEPROM организована как две страницы по 256 байт каждая, всего 512 байт общей памяти. Каждая страница поделена на два блока по 128 байт. SPD предоставляет возможность блокировки данных в любом из четырех таких блоков. Блокировка данных осуществляется программным способом при любом состоянии на выводе SA0. Подавать повышенное напряжение (более U_{IH}) на вывод SA0 не допускается.

SPD также может поддерживать функцию термодатчика (TS), который позволяет измерять температуру и сигнализировать о перегреве или переохлаждении. Данная функция доступна для SPD с записанным пользовательским программным обеспечением (далее – ПО) ревизии 5. Функция термодатчика предназначена для серверных модулей памяти DDR4.

При поставке начальное состояние всех байт памяти EEPROM – 0xFF, установлена защита от записи всех блоков памяти EEPROM.

SPD может подключаться к шине данных с несколькими устройствами, и каждое устройство при этом имеет свои уникальные адреса на шине.

2 Описание выводов SPD

Таблица 1 – Описание выводов SPD

Номер вывода	Обозначение вывода MDR1215LGI без SPD	Выводы SPD		
		Обозначение	Тип	Функциональное назначение
1	PA8/TMS	SA0	I	Адрес SPD, бит 0
2	PA6/TCK	SA1	I	Адрес SPD, бит 1
3	PA9/TDI	SA2	I	Адрес SPD, бит 2
4	GND	V _{SSSPD}	GND	Общий
5	PD7	SDA	IO	Последовательные данные (Serial data)
6	PD5	SCL	I	Тактовый сигнал (Serial clock)
7	PA7/TDO	—	—	Для пользовательского ПО ревизий 1 – 4: Не используется
		EVENT_n	O	Для пользовательского ПО ревизии 5: Сигнал от термодатчика
8	V _{CC}	V _{DDSPD}	POW	Питание
9 (металлизация обратной стороны корпуса)	GND	V _{SSSPD}	GND	Общий

2.1 SA0, SA1, SA2

Выводы SA0, SA1, SA2 используются для задания адреса, который сравнивается со значением трех младших значащих бит 7-битного кода-идентификатора типа устройства.

Для того, чтобы задать адрес подчиненного устройства SPD, каждый вывод сигнала адреса SA_i (i – 0-2) должен быть подключен к выводам V_{DDSPD} или V_{SSSPD}, как показано на рисунке 1. Адрес с выводов SA_i однократно считывается устройством SPD после подачи питания в течение времени t_{INIT} (см. таблицу 20). В дальнейшем при обмене по шине I2C используется ранее считанный адрес, изменение состояния на выводах SA_i не оказывает влияния.

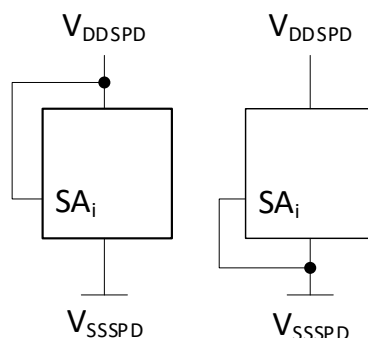


Рисунок 1 – Выбор адреса SPD

Выходы SA_i имеют встроенные резисторы подтяжки до «GND» порядка 76 кОм (установлены программно). Если выходы SA_i не подключены, то они находятся в состоянии логического нуля.

Команды SWPn и CWP доступны при любом состоянии на выводе SA0. Подавать повышенное напряжение (более U_{IH}) на вывод SA0 не допускается.

2.2 SDA

Вывод последовательных данных SDA используется для двунаправленной передачи данных. Рекомендуется подключать вывод SDA к любому другому устройству по принципу «монтажного или», через резистор к V_{SSPD} . Вывод SDA имеет встроенную подтяжку до питания порядка 76 кОм (установлена программно).

2.3 SCL

Вывод SCL – тактовый сигнал, имеет встроенную подтяжку до питания порядка 76 кОм (установлена программно).

2.4 EVENT_n (для ПО ревизии 5)

Вывод EVENT_n предназначен для вывода сигнала от термодатчика о нарушении текущей температурой установленных пределов, то есть перегреве или переохлаждении устройства. Вывод позволяет получить сигнал о нарушении температурных пределов без команд чтения.

Вывод имеет встроенную подтяжку до питания порядка 76 кОм (установлена программно).

Вывод используется, если записанное пользовательское ПО поддерживает функции термодатчика и вывода сигнала на EVENT_n (реализовано в ПО ревизии 5), а также если напряжение питания достаточно для работы термодатчика. В противном случае вывод не используется и не имеет подтяжки до питания.

Вывод EVENT_n имеет три режима работы, зависящие от настроек конфигурации и текущих условий выхода за заданные температурные пределы:

1 Режим прерывания – вывод EVENT_n остаётся активным, пока не будет сброшен записью «1» в бит CLEAR регистра Configuration. Значение для записи не зависит от бита EVENT_POL регистра Configuration.

2 Режим компаратора – вывод EVENT_n автоматически сбрасывается, когда исчезает условие, вызвавшее его активацию. При сравнении температуры с критическим пределом всегда используется этот режим.

3 Режим только TCRIT – вывод EVENT_n активируется только при превышении измеренной температурой критического предела. После активации он остаётся активным, пока температура не опустится ниже значения критического предела минус гистерезис.

На рисунке 2 приведена диаграмма работы этих режимов в зависимости от времени и температуры.

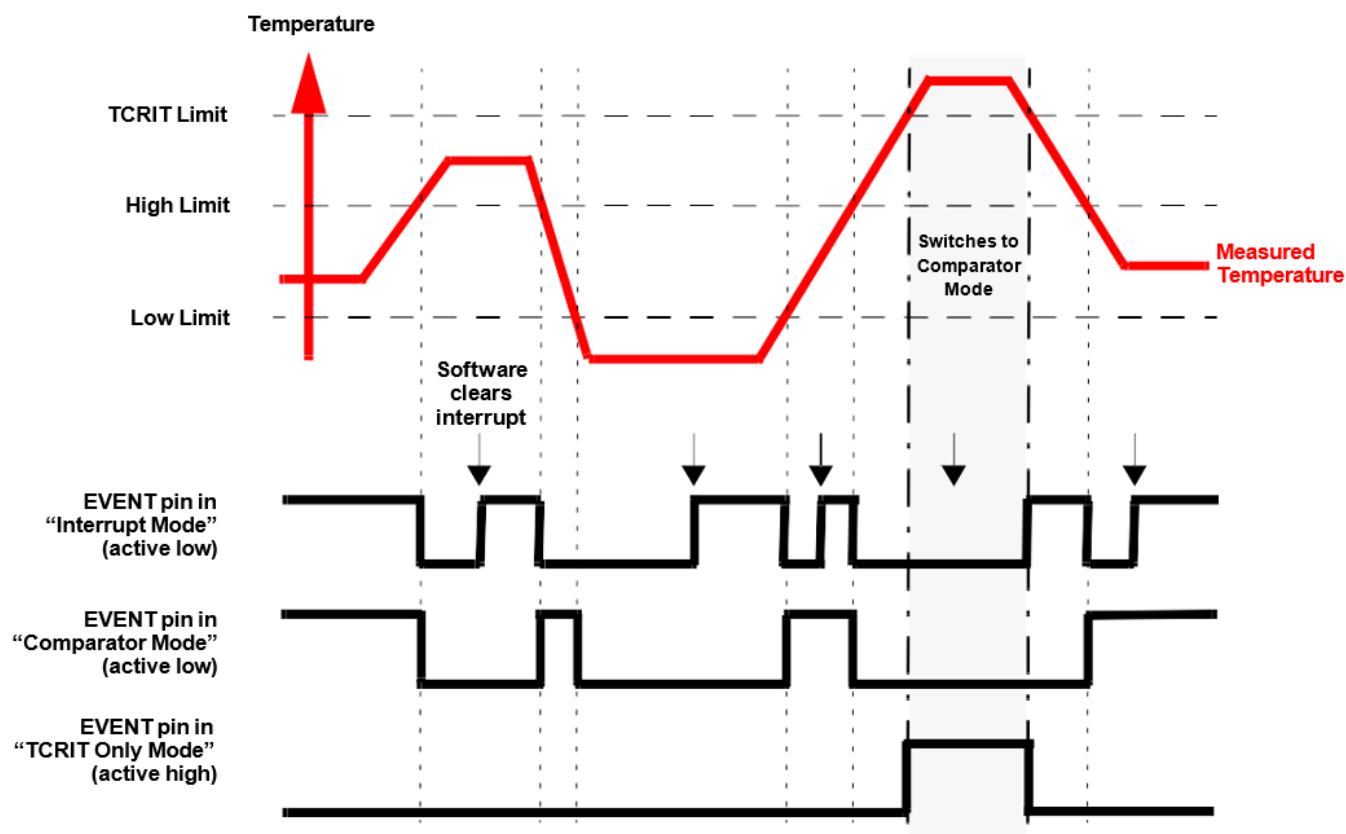


Рисунок 2 – Функционирование режимов вывода EVENT_n

2.5 V_{DDSPD}

Вывод V_{DDSPD} используется для подачи напряжения питания. Значение напряжения питания задается в соответствии с ТСКЯ.431296.033СП для микросхем MDR1215LGI. Рекомендуется устанавливать конденсатор номиналом 0,1 мкФ между выводами V_{DDSPD} или V_{SSSPD} как можно ближе к корпусу микросхемы для обеспечения стабильной работы микросхемы. Фронт подачи напряжения питания не должен превышать 5 мс.

3 Функции работы с EEPROM

SPD имеет простой двухпроводной интерфейс I2C, который позволяет пользователю обращаться к данным памяти EEPROM, а также выполнять обновление пользовательского программного обеспечения.

Согласно протоколу I2C SPD выполняет роль ведомого устройства на шине, все операции синхронизированы с помощью тактового сигнала. Операции чтения и записи инициируются состоянием START на линии, которое генерирует управляющее устройство (мастер). Далее следует адрес устройства SPD, бит R/nW и бит подтверждения.

При записи в память SPD выставляет бит подтверждения Ack на 9-ый тактовый импульс после передачи мастером 8-ми битов данных. При чтении данных мастер выставляет бит подтверждения аналогичным образом. Передача данных завершается состоянием STOP на линии, которое генерирует мастер после бита Ack при записи данных или бита NoAck при чтении.

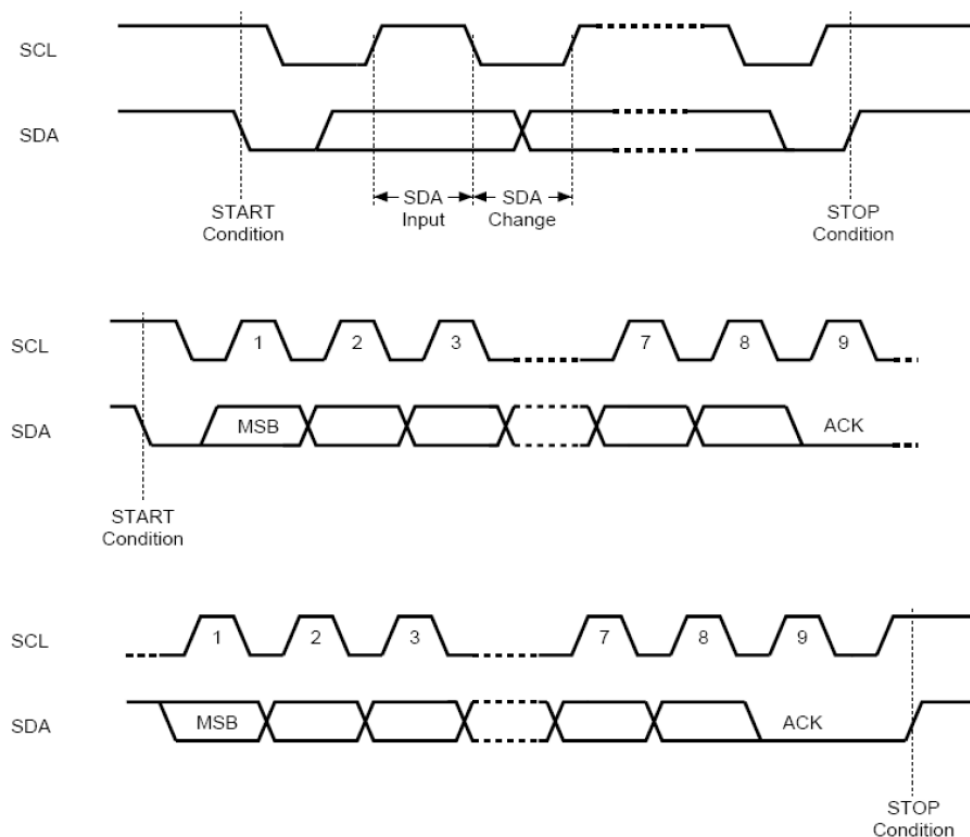


Рисунок 3 – Протокол I2C

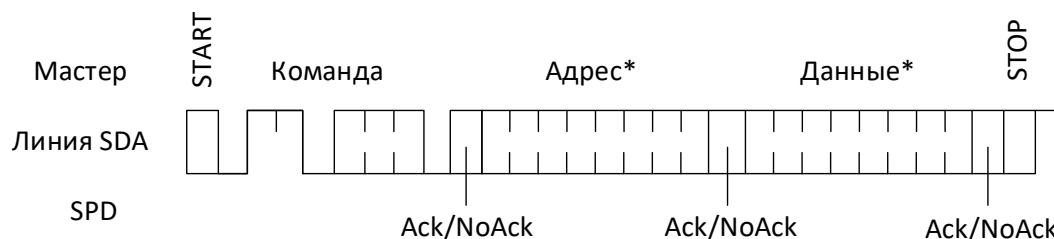
Адрес на шине формируется согласно таблице 2.

Таблица 2 – Формирование адреса

Описание	Команда	Идентификатор типа устройства				Адрес устройства SPD			R/nW
		b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
Чтение памяти	RSPD	1	0	1	0	SA2	SA1	SA0	1
Запись в память	WSPD								0
Установка защиты от записи, блок 0	SWP0	0	1	1	0	0	0	1	0
Установка защиты от записи, блок 1	SWP1					1	0	0	0
Установка защиты от записи, блок 2	SWP2					1	0	1	0
Установка защиты от записи, блок 3	SWP3					0	0	0	0
Снятие защиты от записи всех блоков	CWP					0	1	1	0
Чтение статуса защиты от записи, блок 0	RPS0					0	0	1	1
Чтение статуса защиты от записи, блок 1	RPS1					1	0	0	1
Чтение статуса защиты от записи, блок 2	RPS2					1	0	1	1
Чтение статуса защиты от записи, блок 3	RPS3					0	0	0	1
Установка адреса страницы в 0	SPA0					1	1	0	0
Установка адреса страницы в 1	SPA1					1	1	1	0
Чтение адреса страницы	RPA					1	1	0	1
Зарезервировано	—					Все другие значения			

Полная совместимость со стандартом SMBus 2.0 не реализована. Сброс интерфейса I2C и освобождение шины при удержании низкого уровня на линии SCL более 35 мс (далее – SCL timeout) по умолчанию не поддерживается. Поддержка SCL timeout может быть включена в специальной версии ПО по запросу потребителя. В случае необходимости обратитесь в АО «ПКК Миландр».

3.1 Установка защиты от записи



* Значение адреса и данных может быть любым (не имеет значение)

Рисунок 4 – Диаграмма команд SWPn, CWP, RPSn, SPAn, RPA

SPD содержит четыре независимых блока памяти, каждый может быть защищен от записи независимо от других блоков:

Блок 0 = адреса с 0x00 по 0x7F (0 по 127), адрес страницы = 0;

Блок 1 = адреса с 0x80 по 0xFF (128 по 255), адрес страницы = 0;

Блок 2 = адреса с 0x00 по 0x7F (0 по 127), адрес страницы = 1;

Блок 3 = адреса с 0x80 по 0xFF (128 по 255), адрес страницы = 1.

SPD можно передать три различные команды для установки, сброса и чтения статуса блокировки блока:

- SWPn: установить защиту от записи для блока n;
- CWP: отключить защиту от записи для всех блоков;
- RPSn: считать статус защиты от записи для блока n.

Состояние защиты от записи, определенное с помощью команд выше, сохраняется независимо от питания.

3.1.1 Установка и снятие защиты от записи (SWPn, CWP)

Защита от записи, установленная командой SWPn, может быть снята снова командой CWP. Команда SWPn применяется к одному конкретному блоку памяти, но команда CWP снимает защиту всех блоков.

Команды SWPn и CWP доступны при любом состоянии на выводе SA0. Подавать повышенное напряжение (более U_{IH}) на вывод SA0 не допускается.

3.1.2 Чтение статуса защиты (RPSn)

Если защита от записи не установлена, SPD отвечает байтом данных с Ack, в противном случае – с NoAck.

3.2 Установка адреса страницы (SPAn)

Командой SPA0 выбираются младшие 256 байт памяти, командой SPA1 – старшие. После подачи питания по умолчанию адрес страницы SPD всегда 0.

3.2.1 Чтение адреса страницы (RPA)

Если адрес страницы SPD 0, то ответ с Ack, иначе – с NoAck.

3.3 Операции записи

После передачи состояния START на линии мастер передает адрес устройства SPD с битом R/nW, установленным в 0. SPD подтверждает это и ждет байт адреса памяти для записи, после приема снова передает бит подтверждения и ждет байт данных.

Когда мастер передает состояние STOP на линии сразу после бита Ack для байта данных в операции записи байта или в операции записи страницы, активизируется процесс записи во внутреннюю память. Во всех остальных случаях состояние STOP не запускает этот процесс.

Пока идет процесс записи во внутреннюю память сигналы шины игнорируются, SPD не отвечает на команды.

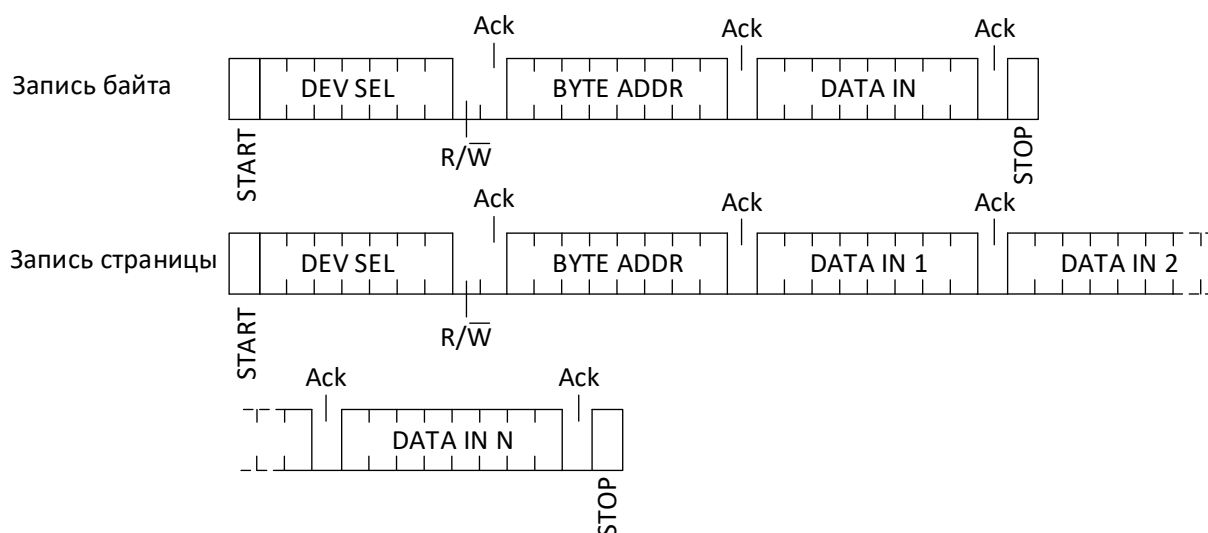


Рисунок 5 – Диаграмма команд записи

3.3.1 Запись байта

После передачи байта адреса устройства SPD и байта адреса памяти для записи мастер передает байт данных. Если адресуемое пространство защищено от записи, SPD отвечает NoAck, запись не выполняется, иначе – отвечает Ack. Мастер останавливает обмен, генерируя состояние STOP.

После выполнения очередной команды записи внутренний адрес для записи инкрементируется, если адресуемое пространство не защищено от записи.

3.3.2 Запись страницы

Режим записи страницы позволяет записывать до 16 байт за один цикл в том случае, если все данные расположены на одной странице. Следует избегать переполнения страницы, иначе предыдущие данные будут перезаписаны.

Мастер передает от 1 до 16 байт данных, каждый из которых подтверждается устройством SPD. Если адресуемое пространство защищено от записи, то SPD ответит с NoAck, запись не будет произведена. После передачи каждого байта внутренний счетчик адреса инкрементируется, если адресуемое пространство не защищено от записи. Процесс обмена останавливается, когда мастер генерирует состояние STOP.

3.3.3 Опрос состояния процесса записи данных

На время выполнения процесса записи полученных данных во внутреннюю память устройство SPD отключается от шины и не отвечает на команды. Информация о длительности цикла записи t_w приведена в разделе 7. Чтобы отследить завершение процесса записи данных, мастер может использовать следующий алгоритм опроса, как показано на рисунке 6:

- начальное состояние: устройство SPD находится в состоянии процесса записи данных;

– шаг 1: мастер передает состояние START на линии, после чего передает адрес SPD с битом R/nW, установленным в 0;

– шаг 2: если SPD находится в состоянии процесса записи данных, то передается бит подтверждения NoAck, и мастер переходит к шагу 1. Если процесс записи данных завершен, то SPD передает бит подтверждения Ack, указывая на готовность принять байт адреса для записи.

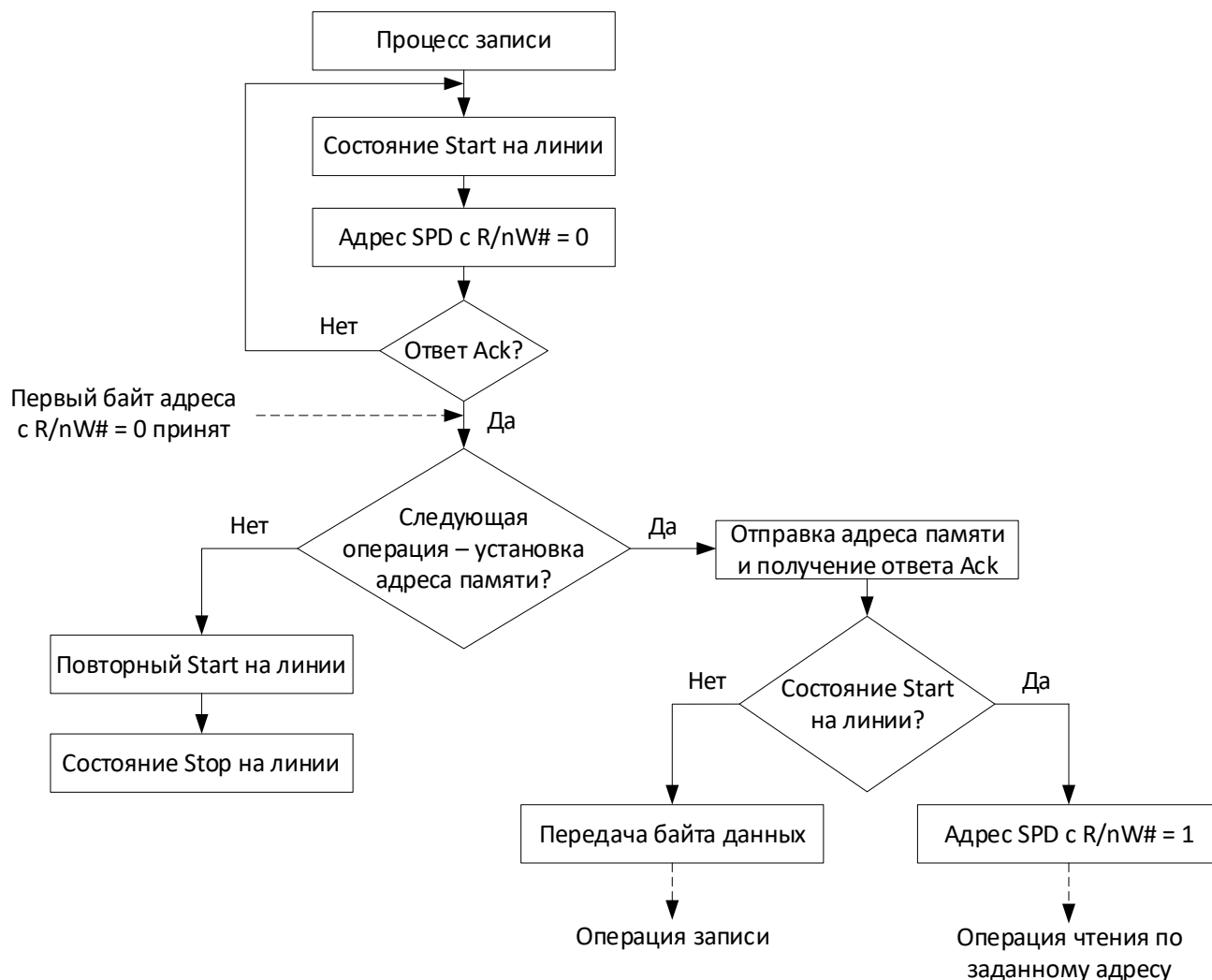


Рисунок 6 – Алгоритм опроса состояния процесса записи данных

3.4 Операции чтения

Операции чтения выполняются независимо от того, установлена ли защита от записи или нет. SPD имеет внутренний счетчик адреса, который инкрементируется после каждого чтения байта.

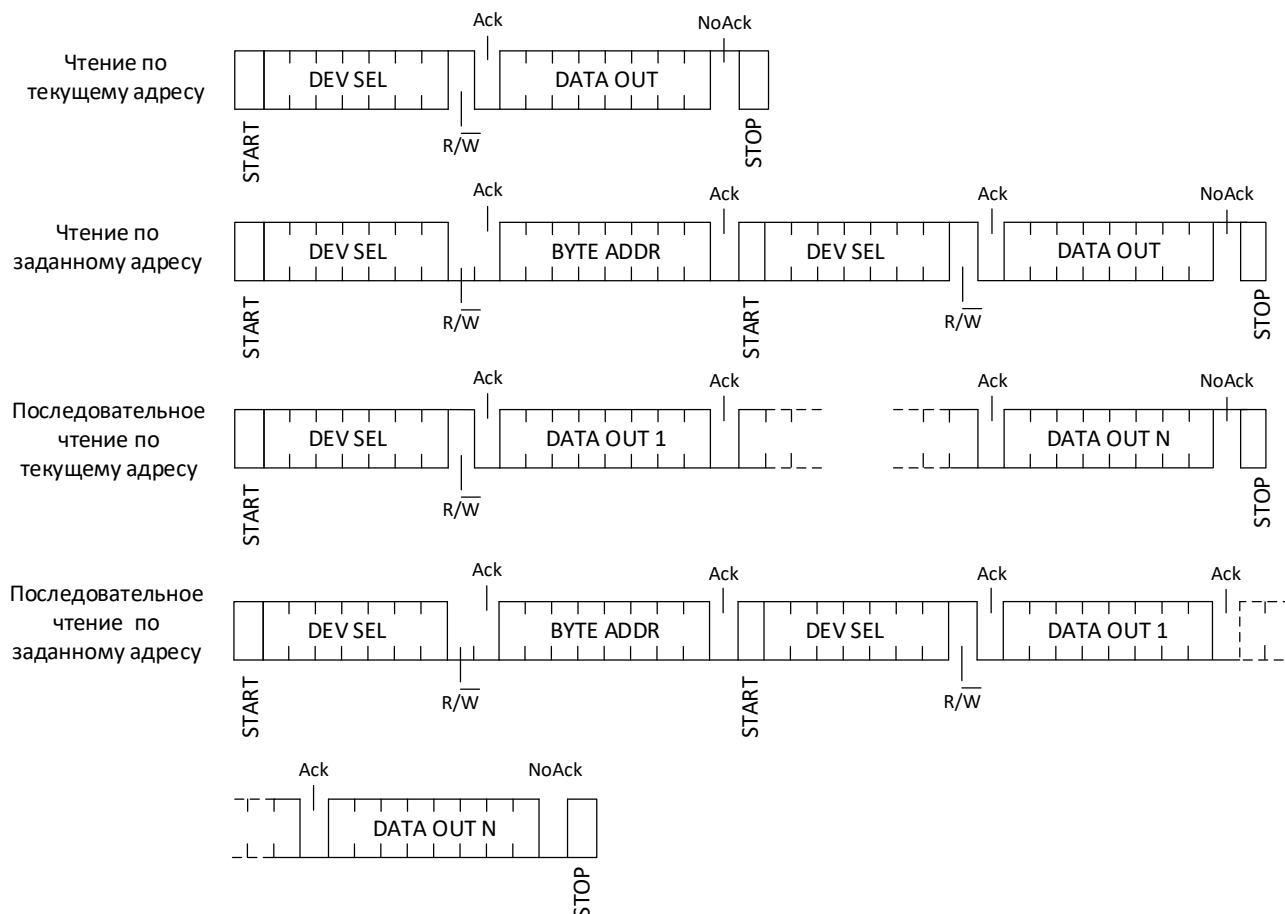


Рисунок 7 – Операции чтения данных

3.4.1 Чтение по заданному адресу

Сначала производится пустая запись для того, чтобы зафиксировать адрес, откуда начнется чтение, мастер при этом не заканчивает обмен и не генерирует состояние STOP. Затем мастер генерирует новое состояние START, повторяет передачу адреса SPD с битом R/nW, установленным в 1. SPD подтверждает это и передает данные по указанному адресу. После приема байта данных мастер завершает обмен – передает бит подтверждения NoAck и генерирует состояние STOP.

3.4.2 Чтение по текущему адресу

Для чтения по текущему адресу после передачи состояния START мастер только передает адрес SPD с битом R/nW, установленным в 1. SPD подтверждает это и передает данные по адресу, на который указывает внутренний счетчик. Затем счетчик

инкрементируется. После приема байта данных мастер завершает обмен – передает бит подтверждения NoAck и генерирует состояние STOP.

3.4.3 Последовательное чтение

Операция последовательного чтения может быть использована после чтения по текущему или заданному адресу.

Мастер подтверждает первый принятый байт и посылает дополнительные тактовые импульсы на линию SCL, таким образом SPD может продолжать передавать следующий байт в последовательности. После передачи каждого байта внутренний счетчик адреса инкрементируется. После чтения последнего адреса в памяти внутренний счетчик адреса «переполняется», и SPD продолжает передавать данные с адреса памяти 0x00.

Чтобы остановить прием последовательности байтов, мастер должен не подтвердить последний байт и сгенерировать состояние STOP.

3.4.4 Бит Ack при использовании различных команд

Для всех команд чтения после прочитанного байта SPD ждет бит подтверждения Ack от мастера. Если мастер отвечает NoAck, SPD прерывает передачу данных и переходит в режим ожидания до следующего состояния START на линии.

Таблица 3 – Бит Ack при записи данных или инструкциях установки защиты от записи

Статус	Инструкция	Ack	Адрес	Ack	Байт данных	Ack	Цикл записи
Защита от записи, установленная командой SWPn	SWPn	NoAck	Не имеет значения	NoAck	Не имеет значения	NoAck	Нет
	CWPn	Ack	Не имеет значения	Ack	Не имеет значения	Ack	Да
	Запись страницы или байта в защищенный блок памяти	Ack	Адрес	Ack	Данные	NoAck	Нет
Нет защиты	SWPn или CWPn	Ack	Не имеет значения	Ack	Не имеет значения	Ack	Да
	Запись страницы или байта	Ack	Адрес	Ack	Данные	Ack	Да

Таблица 4 – Бит Ack при чтении статуса защиты

Статус защиты SWPn	Инструкция	Ack	Адрес	Ack	Байт данных	Ack
Установлена	RPSn	NoAck	Не имеет значения	NoAck	Не имеет значения	NoAck
Не установлена	RPSn	Ack	Не имеет значения	NoAck	Не имеет значения	NoAck

4 Термодатчик (для ПО ревизии 5)

Термодатчик (Thermal Sensor, TS) измеряет температуру микросхемы, записывает полученные данные в собственный регистр, выполняет сравнение температуры с тремя пределами, устанавливает флаги статусов нарушения данных пределов, а также может сигнализировать о нарушении пределов на вывод EVENT_n.

Термодатчик содержит набор регистров, который хранит данные о температуре, значения пределов и конфигурационные параметры. Основные регистры в адресном пространстве от 0x00 до 0x07 являются 16-битными (подробнее см. подраздел 4.3) и доступны через команды чтения и записи по шине I2C. Адрес термодатчика на шине формируется согласно таблице 5.

Таблица 5 – Формирование адреса

Описание	Команда	Идентификатор типа устройства				Адрес устройства SPD			R/nW
		b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	
Чтение регистров термодатчика	RTR	0	0	1	1	SA2	SA1	SA0	1
Запись регистров термодатчика	WTR								0

Записываемые регистры (конфигурация и три предела) хранятся в ОЗУ и сбрасываются на значения по умолчанию при включении устройства.

Термодатчик осуществляет измерение текущей температуры и запись в регистр первый раз при подаче питания (в конце времени t_{INIT}), далее 2 секунды не производит измерений, после чего измеряет температуру с интервалом 125 мс (то есть 8 раз в секунду).

Для работы термодатчика необходимо напряжение питания V_{DDSPD} не менее 2,45 В. При меньшем напряжении питания термодатчик будет неработоспособен и скрыт на шине I2C.

4.1 Команда записи

Запись в набор регистров термодатчика выполняется с помощью команды записи двух байтов данных. Для совместимости с шиной I2C доступ к разным 16-битным регистрам осуществляется через регистр-указатель, поэтому команда записи включает адрес регистра в дополнение к адресу термодатчика. Таким образом указывается место хранения для последующих двух байтов данных. Далее в команде идёт старший байт данных (MSB), затем младший (LSB). На рисунке 8 показана полная последовательность команды на шине.

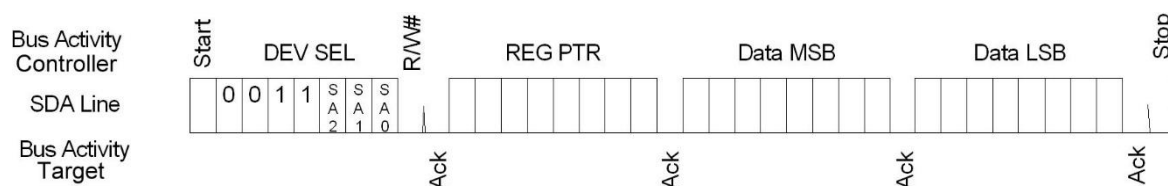


Рисунок 8 – Операция записи в регистр термодатчика

4.2 Команда чтения

Чтение данных из регистров термодатчика может быть выполнено одним из двух способов:

1 Если адрес, установленный в регистре-указателе, корректен (при нормальной работе ожидается, что будет читаться один и тот же регистр температуры), последовательность чтения может состоять из адреса устройства, за которым следуют чтение двух байт данных от устройства, см. рисунок 10;

2 В регистр-указатель загружается адрес регистра, далее считываются данные. Последовательность для установки регистра-указателя приведена на рисунке 9, а чтение с предустановленным указателем – на рисунке 10. Если требуется часто считывать разные адреса, полная последовательность «Запись указателя, Чтение слова» приведена на рисунке 11.

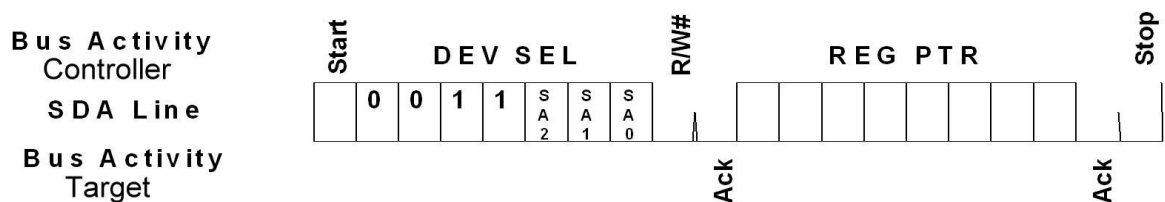


Рисунок 9 – Запись в регистр-указатель на шине I2C

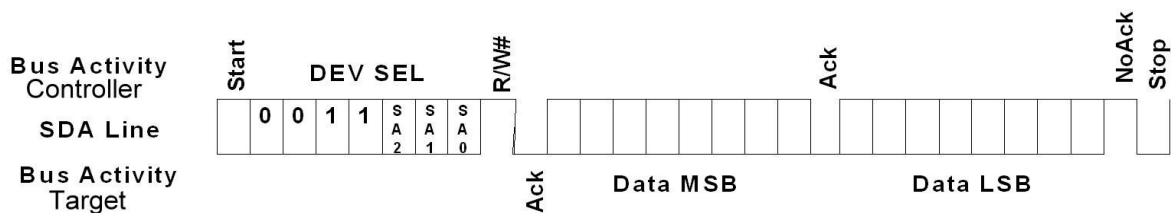


Рисунок 10 – Чтение регистра по предустановленному указателю на шине I2C

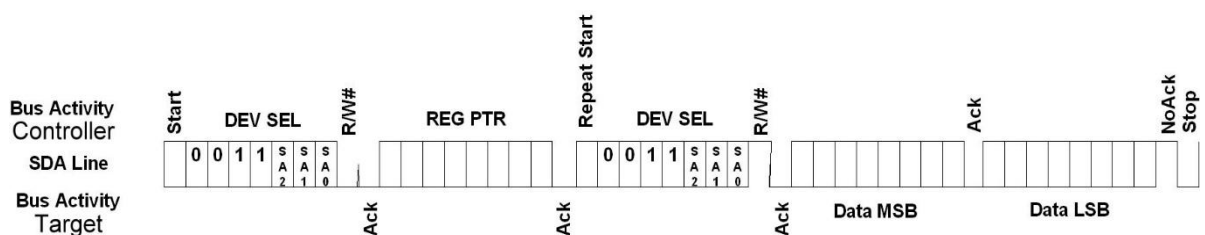


Рисунок 11 – Запись регистра-указателя и чтение регистра на шине I2C

Каждый байт данных передается старшим битом вперед. В конце чтения устройство может принимать как подтверждение (Ack), так и отсутствие подтверждения (NoAck) от контроллера. NoAck обычно используется как сигнал для устройства, что контроллер прочитал последний байт.

4.3 Описание регистров термодатчика

Адреса регистров термодатчика приведены в таблице 6. Адрес регистра обозначен как «REG PTR» на рисунках 8 – 11.

Таблица 6 – Адреса регистров термодатчика

Адрес	Доступ	Название	Описание	По умолчанию
--	W	Address Pointer	Регистр-указатель адреса для последующих операций	Не определено
00	R	Capabilities	Указывает функции и возможности датчика температуры	Не определено
01	R/W	Configuration	Управляет работой датчика температуры	0000
02	R/W	High Limit	Верхний температурный предел	0000
03	R/W	Low Limit	Нижний температурный предел	0000
04	R/W	TCRIT Limit	Критический температурный предел	0000
05	R	Ambient Temperature	Текущая температура окружающей среды	Не определено
06	R	Manufacturer ID	Идентификатор производителя	Не определено
07	R	Device/Revision	Идентификатор устройства и номер ревизии	22xx
08	W	Vendor-defined	Обновление ПО	Не определено
0A	W	Vendor-defined	Завершение обновления ПО	Не определено
0D	R	Vendor-defined	Дополнительная информация о ПО	Не определено

При попытках доступа к недопустимым адресам регистров устройство может возвращать Ack или NoAck.

4.3.1 Регистр Capabilities

Регистр Capabilities указывает на поддерживаемые функции термодатчика. Этот регистр доступен только для чтения.

Таблица 7 – Регистр Capabilities

Адрес	Доступ	Биты регистра								По умолчанию
		15 – 8	7	6	5	4	3	2	1	
00	R	RFU	EVSD	TMOUT	VHV	TRES[1:0]	RANGE	ACC	EVENT	00FF

Биты 15 – 8 – RFU (Reserved for Future Use). Зарезервировано для будущего использования. Всегда читаются как «0».

Бит 7 – EVSD (EVENT_n with Shutdown action). Управление выводом EVENT_n при отключении:

- 0 – не используется;
- 1 – выход EVENT_n переходит в неактивное состояние (не управляется) при входе в режим отключения и остается в этом состоянии после выхода из него до следующего измерения температуры или раньше, если EVENT_n настроен в режиме

компаратора. В режиме прерывания EVENT_n может быть активирован после выхода из отключения, если есть неподтвержденное прерывание.

Бит 6 – TMOUТ (Bus Timeout). Таймаут по удержанию SCL:

- 0 – не используется;
- 1 – задано для совместимости с другими устройствами.

Бит 5 – VHV (High Voltage Compatibility). Совместимость с высоким напряжением:

- 0 – не используется;
- 1 – задано для совместимости с другими устройствами.

Биты 4, 3 – TRES[1:0] (Temperature Resolution). Разрешение датчика температуры (см. таблицу 8). Термодатчик имеет разрешение 12 бит, что указывается значением «11» в TRES.

Таблица 8 – Декодирование бита TRES

TRES[1:0]		Разрешение
1	0	
0	0	0,5 °C (9 бит)
0	1	0,25 °C (10 бит)
1	0	0,125 °C (11 бит)
1	1	0,0625 °C (12 бит)

Бит 2 – RANGE (Temperature Range). Поддерживаемый диапазон температур:

- 0 – не используется;
- 1 – датчик поддерживает отрицательные температуры (ниже 0 °C), устанавливая знаковый бит.

Бит 1 – ACC (Accuracy). Точность измерения температуры:

- 0 – не используется;
- 1 – точность ± 1 °C в рабочем диапазоне от 75 °C до 85 °C и ± 2 °C в мониторинговом диапазоне от 40 °C до 85 °C.

Бит 0 – EVENT (Interrupt Support). Поддержка прерываний:

- 0 – не используется;
- 1 – устройство поддерживает прерывания.

4.3.2 Регистр Configuration

Регистр Configuration – регистр конфигурации – содержит управляющие и статусные биты вывода EVENT_n, а также гистерезис для всех температурных пределов. Во избежание неопределённости на выводе EVENT_n пользователи должны отключать функции EVENT или TCRIT перед программированием или изменением других настроек устройства.

Таблица 9 – Регистр Configuration

Адрес	Доступ	Биты регистра								По умолчанию
01	R/W	15	14	13	12	11	10	9	8	0000
		RFU					HYST[1:0]		SHDN	
		7	6	5	4	3	2	1	0	
		TCRIT_LOCK	EVENT_LOCK	CLEAR	EVENT_STS	EVENT_CTRL	TCRIT_ONLY	EVENT_POL	EVENT_MODE	

Биты 15 – 11 – RFU (Reserved for Future Use). Зарезервировано для будущего использования. Эти биты всегда читаются как «0», и запись в них ничего не делает.

Биты 10, 9 – HYST[1:0]. Задают гистерезис, применяемый ко всем пределам (см. таблицу 10). Гистерезис действует при снижении температуры ниже порога: если температура превысила заданный предел, она должна опуститься ниже значения «порог минус гистерезис» для возникновения события прерывания. Гистерезис также применяется к функциональности вывода EVENT_n. Если установлен любой из битов блокировки (бит 7 или бит 6), то гистерезис нельзя изменить.

Таблица 10 – Декодировка битов HYST

HYST[1:0]		Гистерезис
1	0	
0	0	отключено (по умолчанию)
0	1	1,5 °C
1	0	3 °C
1	1	6 °C

Бит 8 – SHDN (Shutdown). Отключение. Датчик температуры и АЦП отключаются для уменьшения потребления энергии, события не генерируются. Если установлен любой из битов блокировки (бит 7 или бит 6), этот бит нельзя установить, но можно сбросить. В режиме отключения термодатчик продолжает отвечать на команды.

- 0 (по умолчанию) – термодатчик активен и обновляет значение температуры;
- 1 – термодатчик отключен и не генерирует прерывания или обновления данных о температуре.

Бит 7 – TCRIT_LOCK. Блокировка регистра критического предела от изменений:

- 0 (по умолчанию) – регистр критического предела можно записывать;
- 1 – регистр критического предела заблокирован. После установки этот бит нельзя сбросить до отключения питания.

Бит 6 – EVENT_LOCK. Блокирует регистры верхнего и нижнего предела от изменений:

- 0 (по умолчанию) – регистры верхнего и нижнего предела можно записывать;

– 1 – регистры верхнего и нижнего предела заблокированы от записи. После установки этот бит нельзя сбросить до отключения питания.

Бит 5 – CLEAR. Этот бит доступен только для записи и всегда читается как «0». Сбрасывает вывод EVENT_n в неактивное состояние:

- 0 – не выполняет никаких действий;
- 1 – вывод EVENT_n сбрасывается и не будет активирован до возникновения нового условия прерывания. Этот бит игнорируется, если устройство работает в режиме компаратора.

Бит 4 – EVENT_STS. Этот бит доступен только для чтения. Указывает, активирован ли вывод EVENT_n:

- 0 (по умолчанию) – вывод EVENT_n неактивен;
- 1 – вывод EVENT_n активен.

Бит 3 – EVENT_CTRL. Маскирует вывод EVENT_n от генерации прерывания. Если установлен любой из битов блокировки (бит 7 или бит 6), этот бит нельзя изменить.

- 0 (по умолчанию) – вывод EVENT_n отключен и не будет генерировать прерывания;
- 1 – вывод EVENT_n включен.

Бит 2 – TCRIT_ONLY. Управляет тем, будет ли вывод EVENT_n активирован при выходе температуры за верхний и нижний пределы. Если установлен бит EVENT_LOCK, этот бит нельзя изменить.

- 0 (по умолчанию) – вывод EVENT_n будет активирован, если измеренная температура выше верхнего или ниже нижнего предела, а также если температура превышает критический предел;
- 1 – вывод EVENT_n будет активирован, только если измеренная температура превышает критический предел.

Бит 1 – EVENT_POL. Задаёт, какое состояние вывода EVENT_n является активным. Вывод EVENT_n переводится в это состояние при активации. Если установлен любой из битов блокировки (бит 7 или бит 6), этот бит нельзя изменить.

- 0 (по умолчанию) – «активное» состояние вывода EVENT_n соответствует логическому «0»;
- 1 – «активное» состояние вывода EVENT_n соответствует логической «1».

Бит 0 – EVENT_MODE. Управляет основным режимом работы вывода EVENT_n. Если установлен любой из битов блокировки (бит 7 или бит 6), этот бит нельзя изменить.

- 0 (по умолчанию) – вывод EVENT_n работает в режиме компаратора;
- 1 – вывод EVENT_n работает в режиме прерывания.

4.3.3 Формат хранения температуры в температурных регистрах

Температуры в температурных регистрах High Limit, Low Limit, TCRIT Limit и Ambient Temperature представлены в формате дополнительного кода. Биты 12 – 2 определены в каждом из этих регистров, таким образом поддерживается шаг 0,25 °C. Примеры допустимых настроек и интерпретации битов температурных регистров приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Примеры кодировки температур

Биты 15 – 0	Значение, °C
xxx0 0001 1011 10xx	+27,50
xxx0 0000 0010 11xx	+2,75
xxx0 0000 0001 00xx	+1,00
xxx0 0000 0000 01xx	+0,25
xxx0 0000 0000 00xx	0
xxx1 1111 1111 11xx	-0,25
xxx1 1111 1111 00xx	-1,00
xxx1 1111 1101 01xx	-2,75

Поле TRES в регистре Capabilities, показывающее высокое разрешение термодатчика, влияет только на регистр Ambient Temperature, но не затрагивает регистры High Limit, Low Limit, TCRIT Limit.

Регистры температурных пределов (High Limit, Low Limit, TCRIT Limit) определяют температуры, используемые устройством для определения статусов нарушения температурных пределов и генерации событий EVENT. Для совместимости неиспользуемые биты, отмеченные символом «–», должны быть заданы как «0».

4.3.4 Регистр High Limit

Таблица 12 – Регистр High Limit

Адрес	Доступ	Биты регистра																По умолчанию
		15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
02	R/W	—	—	—	Знак	128	64	32	16	8	4	2	1	0,5	0,25	—	—	0000

Регистр High Limit содержит значение верхнего предела нормального рабочего диапазона. Когда температура превышает верхний предел или опускается до него или ниже с учётом гистерезиса, вывод EVENT_n активируется, если эта функция включена. Если в регистре Configuration установлен бит EVENT_LOCK (см. таблицу 9), данный регистр находится в режиме только для чтения.

4.3.5 Регистр Low Limit

Таблица 13 – Регистр Low Limit

Адрес	Доступ	Биты регистра																По умолчанию
		15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
03	R/W	-	-	-	Знак	128	64	32	16	8	4	2	1	0,5	0,25	-	-	0000

Регистр Low Limit содержит значение нижнего предела нормального рабочего диапазона. Когда температура опускается ниже данного предела с учётом гистерезиса или поднимается до этого предела, вывод EVENT_n активируется, если включен. Если в регистре Configuration установлен бит EVENT_LOCK, данный регистр находится в режиме только для чтения.

4.3.6 Регистр TCRIT Limit

Таблица 14 – Регистр TCRIT Limit

Адрес	Доступ	Биты регистра																По умолчанию
		15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
04	R/W	-	-	-	Знак	128	64	32	16	8	4	2	1	0,5	0,25	-	-	0000

Регистр TCRIT Limit содержит критический температурный предел. При превышении этого предела вывод EVENT_n будет активирован, если включен, и останется в этом состоянии, пока температура не опустится ниже предела за вычетом гистерезиса. Если в регистре конфигурации установлен бит TCRIT_LOCK, данный регистр находится в режиме только для чтения.

4.3.7 Регистр Ambient Temperature

Таблица 15 – Регистр Ambient Temperature

Адрес	Доступ	Биты регистра								По умолчанию
05	R	15	14	13	12	11	10	9	8	Не определено
		TCRIT	HIGH	LOW	Знак	128	64	32	16	
		7	6	5	4	3	2	1	0	
		8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,0625	

Регистр Ambient Temperature содержит 12-битные данные (со знаком) внутреннего измерения температуры, а также флаги, указывающие статус нарушения температурных пределов:

- бит 15 – TCRIT: установлен, когда температура превышает критический предел;
- бит 14 – HIGH: установлен при превышении верхнего предела;
- бит 13 – LOW: установлен при падении температуры ниже нижнего предела.

4.3.8 Регистр Manufacturer ID

Таблица 16 – Регистр Manufacturer ID

Адрес	Доступ	Биты регистра																Расшифровка
		15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
06	R	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0xAA00
		1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0xEE00 – ошибка

Регистр Manufacturer ID содержит идентификатор производителя 0xAA00. Также может отображать статус ошибки обновления программного обеспечения (значение 0xEE00).

4.3.9 Регистр Device/Revision

Таблица 17 – Регистр Device/Revision

Адрес	Доступ	Биты регистра																Расшифровка
		15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
07	R	0	0	1	0	0	0	1	0									0x22
										*	*							Служебная информация, 2 бита
												*	*	*	*	*	*	Номер ревизии ПО, 6 бит

Регистр Device/Revision содержит идентификаторы устройства и ревизии (Device ID/Revision Register). Старший байт регистра содержит 0x22. Младший байт содержит номер ревизии и служебную информацию.

4.3.10 Регистр дополнительной информации о ПО

Таблица 18 – Регистр дополнительной информации о ПО

Адрес	Доступ	Биты регистра																Расшифровка
		15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
0D	R																1	Поддержка термодатчика
																1		Поддержка вывода сигнала на EVENT_n
															1			Поддержка SCL timeout
		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				Зарезервировано

16-битный регистр содержит дополнительную информацию о ПО:

- бит 0 – поддержка термодатчика. Значение «0» в данном бите означает, что термодатчик не измеряет температуру, то есть всё время находится в режиме Shutdown и не может быть оттуда выведен. По умолчанию может быть скрыт на шине I2C и предназначен только для определения версии и обновления ПО;
- бит 1 – поддержка вывода сигнала на вывод EVENT_n. Значение «0» в данном бите означает, что термодатчик не сигнализирует о событиях на вывод EVENT_n;
- бит 2 – поддержка SCL timeout – сброса интерфейса I2C и освобождение шины при удержании низкого уровня на линии SCL. Значение «0» в данном бите означает, что термодатчик и SPD не поддерживают SCL timeout.

5 Функции обновления ПО

Для обновления ПО используется термодатчик.

Обновление ПО необходимо делать после подачи питания, не подавая другие команды записи. После обновления ПО рекомендуется снять питание и подать заново.

Внимание! После обновления ПО может потребоваться перезапись данных SPD.

5.1 Предъявление пароля

Термодатчик может быть скрыт по умолчанию на шине I2C после подачи питания, если ПО не поддерживает функцию термодатчика или напряжение питания недостаточно для работы термодатчика. Для его отображения необходимо предъявить пароль устройству SPD. Процедура предъявления пароля заключается в подаче 8 команд чтения по заданному адресу (см. п. 3.4.1) по 1 байту без подачи других команд между ними.

Пароль представляет собой последовательность адресов, по которым необходимо выполнить чтение 1 байта. Текущий пароль: 0xFB, 0xD, 0xDE, 0x39, 0x1B, 0x64, 0x35, 0xC5. Текущий адрес страницы значения не имеет.

Ошибка в адресе сбрасывает прогресс предъявления пароля и необходимо начать заново.

После предъявления пароля термодатчик остаётся доступным до снятия питания или до перезаписи основного программного обеспечения.

5.2 Обновление ПО

Обновление ПО представляет собой запись массива байт бинарного кода ПО с помощью команд записи в регистр 0x08 термодатчика. Допускается запись по 16 байт за одну команду. Последними передаются 4 байта, представляющие собой значение CRC32 для всего массива байт бинарного кода ПО.

Переданные устройству данные записываются им в память ОЗУ. Для активации перезаписи ПО во внутренней Flash-памяти необходимо записать 1 байт в регистр 0x0A термодатчика:

- 0xAA – для перезаписи основного ПО;
- 0xBB – для перезаписи бутовой программы.

После чего необходимо дождаться завершения цикла записи (см. п. 3.3.3), который может быть дольше обычного при записи данных в SPD.

В случае ошибки обновления ПО в регистре 0x06 (регистр Manufacturer ID) будет содержаться код ошибки (см. п. 4.3.8).

5.3 Определение ревизии ПО

Для определения ревизии ПО используются регистры 0x07 и 0xD термодатчика.

Регистр 0x07 (регистр Device/Revision) в младших 6 битах содержит номер ревизии загруженного ПО (см. п. 4.3.9).

Регистр 0x0D (регистр дополнительной информации о ПО) содержит информацию о поддержке различных функций загруженной ревизии ПО (см. п. 4.3.10).

Таблица 19 – Номера ревизий и поддержка функций ПО

Ревизия	Номер ревизии в регистре Device/Revision	Возможные значения регистра дополнительной информации о ПО
Initial	0x01	0x0000
v.2	0x02	0x0000
v.3	0x03	0x0000
v.4	0x04	0x0000
v.5	0x05	0x0000 0x0001 (по умолчанию) 0x0003

6 Обновление конфигурации в памяти EEPROM

Чтение и запись конфигурации осуществляется выше описанными функциями чтения и записи EEPROM. При этом, если запись осуществляется в составе и средствами ПК, необходимо иметь доступ на запись по соответствующему адресу EEPROM. Вне состава ПК микросхема ведет себя как обычное устройство I2C и может быть считана и записана посредством программатора, например, CH341.

7 Справочные данные

Таблица 20 – Временные параметры SPD и термодатчика

Наименование параметра, единица измерения	Буквенное обозначение параметра	Норма параметра			Приме- чание
		не менее	типовое	не более	
Тактовая частота, кГц, – для команд чтения	f _{SCL}	10	–	810	1, 2
– для команд записи		10	–	740	
– для команд чтения при поддержке SCL timeout		10	–	760	
– для команд записи при поддержке SCL timeout		10	–	710	
Длительность высокого уровня тактового сигнала, нс	t _{HIGH}	260	–	–	1
Длительность низкого уровня тактового сигнала, нс, – для команд чтения	t _{LOW}	900	–	–	1
– для команд записи		1020	–	–	
Время удержания низкого уровня тактового сигнала при поддержке SCL timeout, мс	t _{TIMEOUT}	25	–	35	1
Время установки принимаемых данных, нс	t _{SU:DAT}	50	–	–	1
Время удержания принимаемых данных, нс	t _{HD:DI}	0	–	–	1
Время удержания передаваемых данных, нс – при поддержке SCL timeout	t _{HD:DAT}	340	–	870	1
		340	–	950	
Время установки повторного состояния START, нс – при поддержке SCL timeout	t _{SU:STA}	260	–	–	1
		280	–	–	
Время удержания состояния START, нс – при работающем термодатчике	t _{HD:STA}	260	–	–	1
		4800	–	–	1, 3
Время установки состояния STOP, нс	t _{SU:STO}	260	–	–	1
Время между состоянием STOP и следующим START, нс – при поддержке SCL timeout	t _{BUF}	980	–	–	1
		1100	–	–	
Длительность цикла записи, мс	t _w	–	3	600	
Время готовности принять первую команду по интерфейсу I2C после подачи питания, мс, для ревизии ПО: – Initial, v.2	t _{INIT}	–	200	–	4
– v.3		–	90	–	
– v.4		–	9	–	
– v.5		–	9	–	
Примечания 1 Для ПО ревизии v.5. 2 Частота при равномерном тактовом сигнале. Контроллеры шины I2C могут делать паузы при переключении направления передачи по SDA и т.п., за счёт этого может сохраняться работоспособность на более высоких частотах. 3 При меньших значениях возможен ответ Nack на команду, если состояние START было подано во время работы АЦП. 4 Измеряется в соответствии с рисунком 12					

Рисунок 12 – Время готовности принять первую команду, t_{INIT}

Таблица 21 – Параметры работы термодатчика

Наименование параметра, единица измерения	Норма параметра			Примечания
	не менее	типичное	не более	
Точность измерения температуры, °C	—	—	$\pm 1,0$	от 75 °C до 85 °C
	—	—	$\pm 2,0$	от 40 °C до 85 °C
	—	—	$\pm 3,0$	от 0 °C до 85 °C
Разрешение, °C	—	0,0625	—	
Интервал обновления, мс	—	125	—	Через 2 секунды после включения
