

DS18B20

Цифровой термометр 1-Wire с программируемым разрешением

Техническое описание • 19-7487 • Редакция 6, июль 2019 г.

Перевод на русский язык по предоставленному даташиту Maxim Integrated.

Общее описание

Цифровой термометр DS18B20 измеряет температуру в градусах Цельсия с разрешением от 9 до 12 бит. Он поддерживает сигнализацию выхода температуры за верхний и нижний пороги, которые задаются пользователем и хранятся в энергонезависимой памяти. Для обмена с центральным микропроцессором используется шина 1-Wire: требуется одна линия данных и общий провод. DS18B20 также может получать питание непосредственно от линии данных в режиме «паразитного питания», что позволяет обойтись без внешнего источника питания датчика.

Каждый DS18B20 имеет уникальный 64-битный серийный код. Поэтому несколько датчиков могут работать на одной шине 1-Wire, а один микропроцессор может управлять большим числом DS18B20, распределённых на значительной площади. Это удобно для систем отопления, вентиляции и кондиционирования (HVAC), контроля температуры в зданиях, оборудовании и машинах, а также для контроля и управления технологическими процессами.

Преимущества и особенности

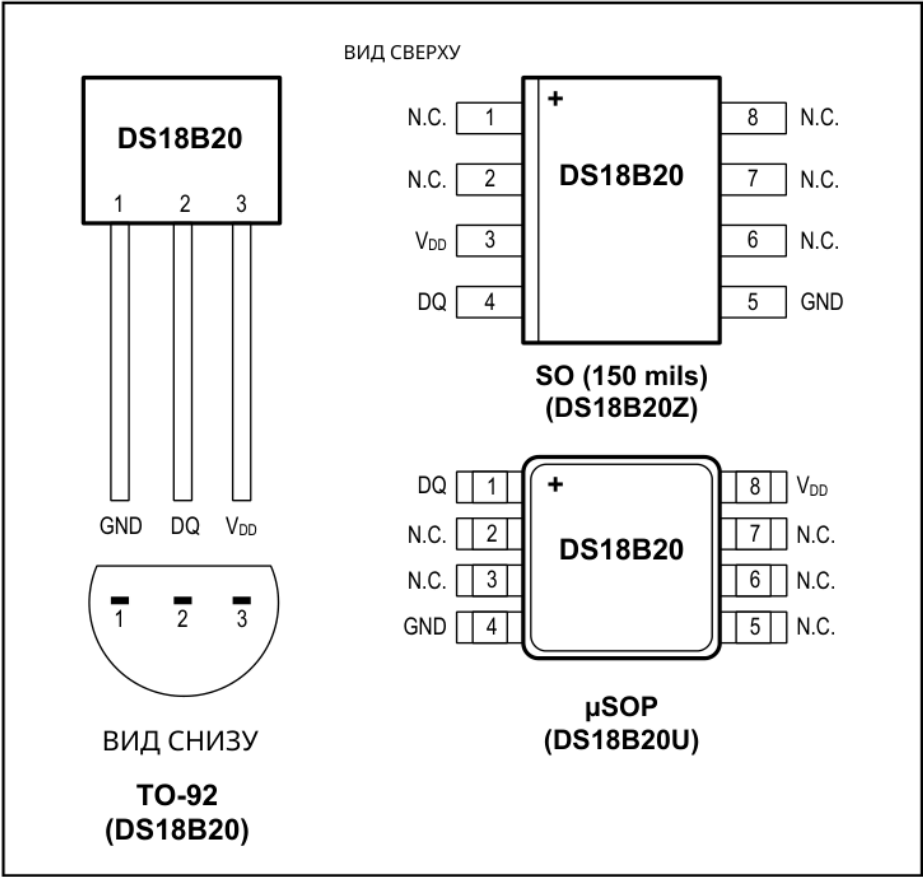
- Интерфейс 1-Wire[®]: для обмена данными нужен только один вывод порта.
- Встроенные датчик температуры и EEPROM уменьшают число компонентов: диапазон от -55 до +125 °C (от -67 до +257 °F), погрешность $\pm 0,5$ °C в диапазоне от -10 до +85 °C, программируемое разрешение 9-12 бит. Внешние компоненты для измерения температуры не требуются.
- В режиме паразитного питания для работы используются только два вывода: DQ и GND.
- Подключение нескольких устройств к одной шине упрощает распределённые системы измерения. Уникальный 64-битный код каждого устройства хранится во встроенном ПЗУ.
- Энергонезависимые пороги сигнализации задаются пользователем. Команда Alarm Search определяет датчики, у которых температура вышла за заданные границы.
- Корпуса: 8-выводной SO шириной 150 mil, 8-выводной μ SOP и 3-выводной TO-92.

Области применения

Термостатическое регулирование; промышленные системы; бытовая электроника; термометры; системы, чувствительные к температуре.

Информация для заказа приведена в конце документа. Статус производства конкретного исполнения следует проверять на странице производителя. 1-Wire - зарегистрированный товарный знак Maxim Integrated Products, Inc.

Расположение и назначение выводов



Расположение выводов. Для SO и μSOP показан вид сверху; для TO-92 также приведён вид снизу. Обозначения выводов сохранены по оригиналу.

SO	μSOP	TO-92	Вывод	Назначение
1, 2, 6, 7, 8	2, 3, 5, 6, 7	-	N.C.	Не подключён.
3	8	3	VDD	Вход внешнего питания. В режиме паразитного питания VDD необходимо соединить с GND.
4	1	2	DQ	Вход/выход данных. Вывод интерфейса 1-Wire с открытым стоком. В режиме паразитного питания также обеспечивает питание устройства; см. раздел «Питание DS18B20».
5	4	1	GND	Общий провод.

В тексте: ведущий (master) - контроллер шины; ведомый (slave) - DS18B20. Scratchpad - оперативная буферная память датчика. В обозначениях рисунков Tx означает передачу, Rx - приём, MSB/LSB - старший/младший бит либо байт в зависимости от контекста. Названия команд и обозначения сигналов сохранены.

Предельно допустимые значения и характеристики постоянного тока

Параметр	Значение
Напряжение на любом выводе относительно GND	от -0,5 до +6,0 В
Рабочая температура	от -55 до +125 °C
Температура хранения	от -55 до +125 °C
Температура пайки	См. спецификацию IPC/JEDEC J-STD-020.

Это только предельные значения воздействия. Работа устройства при этих условиях или при условиях, превышающих указанные в рабочих разделах спецификации, не подразумевается. Длительное воздействие предельно допустимых условий может снижать надёжность.

Характеристики постоянного тока (DC)

Условия: температура от -55 до +125 °C; VDD = 3,0-5,5 В. Прочерк означает, что значение в оригинале не нормировано. Номера примечаний соответствуют оригиналу.

Параметр / символ	Условия	Мин.	Тип.	Макс.	Ед.
Напряжение питания VDD	Внешнее питание (1)	+3,0	-	+5,5	В
Напряжение подтяжки VPU	Паразитное питание (1, 2)	+3,0	-	+5,5	В
Напряжение подтяжки VPU	Внешнее питание (1, 2)	+3,0	-	VDD	В
Погрешность tERR	-10...+85 °C (3)	-	-	±0,5	°C
Погрешность tERR	-30...+100 °C (3)	-	-	±1	°C
Погрешность tERR	-55...+125 °C (3)	-	-	±2	°C
Низкий входной уровень VIL	(1, 4, 5)	-0,3	-	+0,8	В
Высокий входной уровень VIH	Внешнее питание (1, 6)	+2,2	-	min(5,5; VDD + 0,3)	В
Высокий входной уровень VIH	Паразитное питание (1, 6)	+3,0	-	min(5,5; VDD + 0,3)	В
Втекающий ток IL	VI/O = 0,4 В	4,0	-	-	мА
Ток ожидания IDDS	(7, 8)	-	750	1000	нА
Рабочий ток IDD	VDD = 5 В (9)	-	1	1,5	мА
Входной ток DQ, IDQ	(10)	-	5	-	мкА
Дрейф	(11)	-	±0,2	-	°C

Примечания к DC-характеристикам

1. Все напряжения указаны относительно общего провода.
2. При нормировании напряжения подтяжки предполагается идеальный элемент подтяжки, поэтому высокий уровень равен VPU. Для выполнения требования VIH фактическое напряжение питания транзистора сильной подтяжки должно учитывать падение напряжения на открытом транзисторе:
 $VPU_ACTUAL = VPU_IDEAL + VTRANSISTOR$.
3. См. типичную характеристику на рисунке 1. Пределы погрешности термометра соответствуют значениям 3σ .
4. Напряжения низкого логического уровня заданы при втекающем токе 4 мА.
5. Для гарантированного формирования импульса присутствия при низком напряжении паразитного питания может потребоваться уменьшить максимальное напряжение низкого уровня VILMAX вплоть до 0,5 В.
6. Напряжения высокого логического уровня заданы при вытекающем токе 1 мА.
7. Ток ожидания нормирован для температур до +70 °C. При +125 °C его типичное значение составляет 3 мкА.
8. Для минимизации IDDS напряжение DQ должно находиться в одном из диапазонов: GND DQ GND + 0,3 В либо VDD - 0,3 В DQ VDD.
9. Рабочий ток - ток питания во время преобразования температуры или записи в EEPROM.
10. Линия DQ находится в высоком состоянии (состояние высокого импеданса, high-Z).
11. Данные по дрейфу получены после 1000-часового испытания при +125 °C и VDD = 5,5 В.

Динамические характеристики энергонезависимой памяти

Условия: температура от -55 до +125 °C; VDD = 3,0-5,5 В.

Параметр / символ	Условия	Мин.	Тип.	Макс.	Ед.
Время цикла записи, tWR	-	-	2	10	мс
Число записей EEPROM, NEEWR	-55...+55 °C	50 000	-	-	записей
Хранение данных EEPROM, tEEDR	-55...+55 °C	10	-	-	лет

Динамические характеристики

Условия: температура от -55 до +125 °C; VDD = 3,0-5,5 В.

Параметр / символ	Условия	Мин.	Тип.	Макс.	Ед.
Время преобразования tCONV	9 бит (12)	-	-	93,75	мс
Время преобразования tCONV	10 бит (12)	-	-	187,5	мс
Время преобразования tCONV	11 бит (12)	-	-	375	мс
Время преобразования tCONV	12 бит (12)	-	-	750	мс
Время включения сильной подтяжки tSPON	После команды Convert T	-	-	10	мкс
Длительность слота tSLOT	(12)	60	-	120	мкс
Время восстановления tREC	(12)	1	-	-	мкс
Низкий уровень при записи 0, tLOW0	(12)	60	-	120	мкс
Низкий уровень при записи 1, tLOW1	(12)	1	-	15	мкс
Достоверность данных чтения tRDV	(12)	-	-	15	мкс
Высокий уровень при сбросе tRSTH	(12)	480	-	-	мкс
Низкий уровень при сбросе tRSTL	(12, 13)	480	-	-	мкс
Высокий уровень перед присутствием tPDHIGH	(12)	15	-	60	мкс
Низкий уровень присутствия tPDLOW	(12)	60	-	240	мкс
Ёмкость CIN/OUT	-	-	-	25	пФ

12. См. временные диаграммы на рисунке 2.
13. В режиме паразитного питания при tRSTL > 960 мкс может произойти сброс по включению питания.

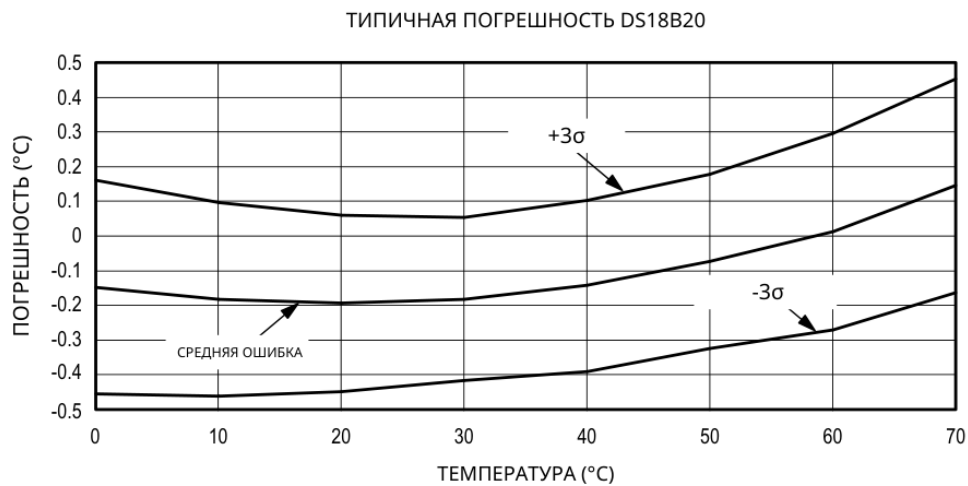


Рисунок 1. Типичная характеристика погрешности: средняя ошибка и границы $\pm 3\sigma$.

Временные диаграммы

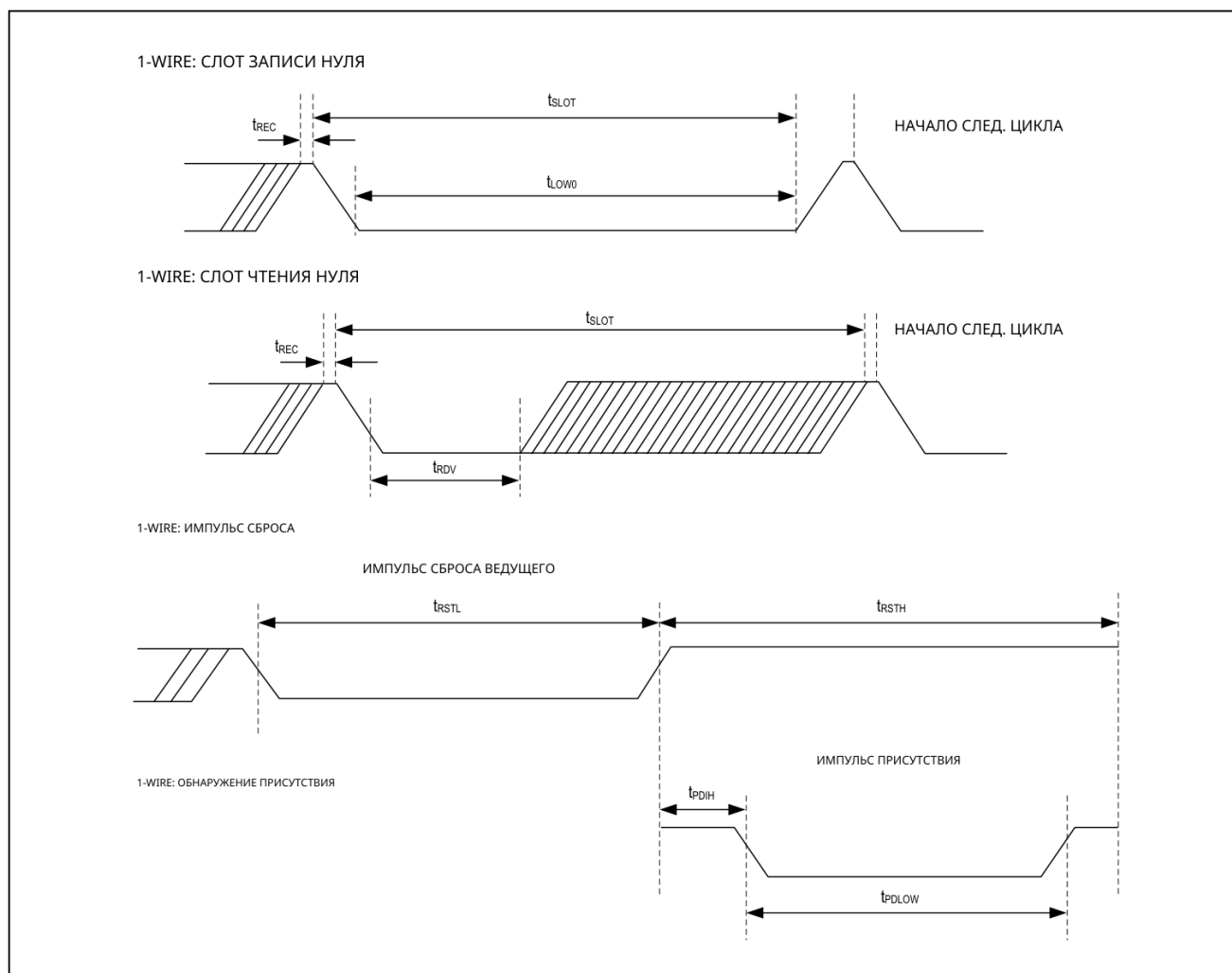


Рисунок 2. Основные временные диаграммы 1-Wire: запись нуля, чтение нуля, сброс и обнаружение присутствия.

Обозначения интервалов сохранены по оригиналу. t_{SLOT} - длительность слота; t_{REC} - восстановление; t_{LOW0} - низкий уровень при записи нуля; t_{RDV} - интервал достоверности данных чтения; t_{RSTL}/t_{RSTH} - низкий/высокий уровень сброса; t_{PDLOW} - низкий уровень импульса присутствия. Интервал ожидания перед импульсом присутствия на рисунке обозначен t_{PDIH} , а в таблице - t_{PDHIGH} .

Обзор устройства

Структурная схема DS18B20 показана на рисунке 3; назначение выводов приведено в соответствующей таблице. В 64-битном ПЗУ хранится уникальный серийный код. Буферная память scratchpad содержит двухбайтовый регистр температуры с цифровым результатом измерения, а также обеспечивает доступ к однобайтовым регистрам верхнего и нижнего порогов сигнализации TH и TL и однобайтовому регистру конфигурации.

Регистр конфигурации позволяет выбрать разрешение преобразования температуры: 9, 10, 11 или 12 бит. Регистры TH, TL и конфигурации имеют энергонезависимое хранение в EEPROM, поэтому данные сохраняются после отключения питания.

DS18B20 использует фирменный протокол Maxim 1-Wire, реализующий обмен по одной управляющей линии. Поскольку все устройства подключаются через выход с тремя состояниями или открытым стоком (у DS18B20 это вывод DQ), для линии нужен резистор слабой подтяжки. Микропроцессор, то есть ведущее устройство, идентифицирует и адресует ведомые по уникальному 64-битному коду. Благодаря уникальности кодов число адресуемых устройств на одной шине практически не ограничено. Протокол, команды и временные слоты подробно рассмотрены в разделе «Шина 1-Wire».

Ещё одна особенность DS18B20 - работа без внешнего источника питания. Когда шина имеет высокий уровень, питание поступает через резистор подтяжки 1-Wire на вывод DQ. При этом заряжается внутренний конденсатор CPP, который питает устройство, когда шина переходит в низкое состояние. Такой способ получения энергии от шины называется паразитным питанием. Альтернативный вариант - внешнее питание через VDD.

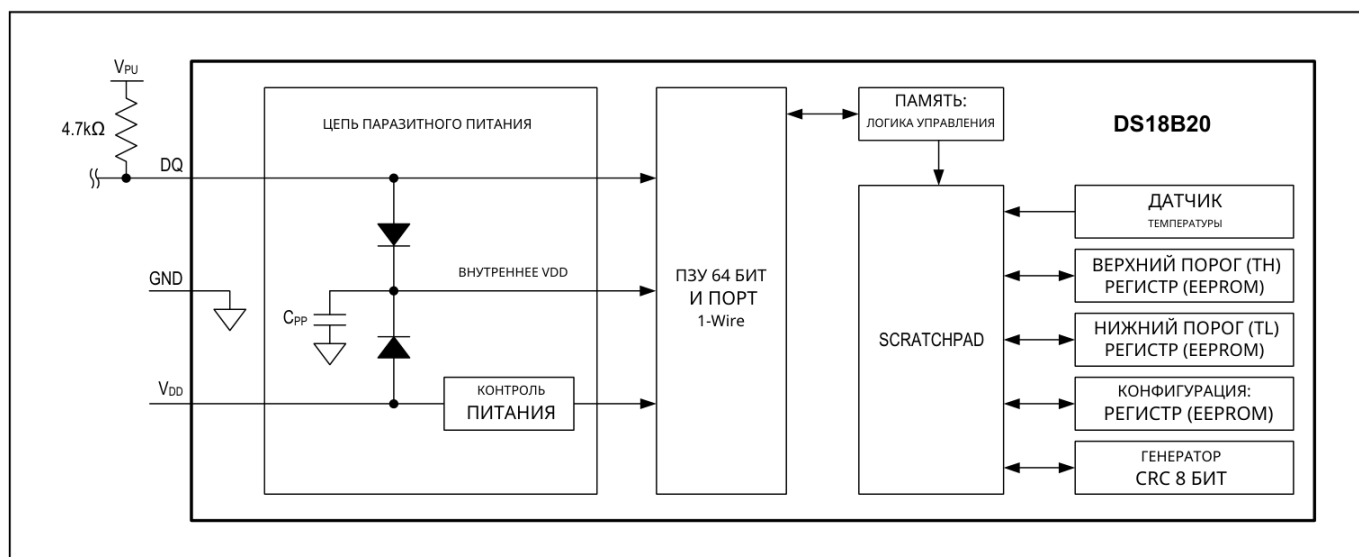


Рисунок 3. Структурная схема DS18B20. Scratchpad - оперативная буферная память; CPP - накопительный конденсатор паразитного питания.

Работа устройства: измерение температуры

Основная функция DS18B20 - прямое преобразование температуры в цифровой код. Пользователь выбирает разрешение 9, 10, 11 или 12 бит, что соответствует шагу 0,5; 0,25; 0,125 или 0,0625 °C. По умолчанию после включения установлено разрешение 12 бит. После подачи питания DS18B20 находится в режиме ожидания с низким потреблением.

Для запуска измерения и аналого-цифрового преобразования ведущий выдаёт команду Convert T [44h]. Результат записывается в двухбайтовый регистр температуры в scratchpad, после чего DS18B20 возвращается в режим ожидания. При внешнем питании ведущий может после Convert T формировать слоты чтения: DS18B20 передаёт 0, пока преобразование идёт, и 1 после его завершения. При паразитном питании этот способ опроса недоступен, поскольку в течение всего преобразования шина должна удерживаться на высоком уровне сильной подтяжкой. Требования рассмотрены в разделе «Питание DS18B20».

Выходные данные откалиброваны в градусах Цельсия. Для работы в градусах Фаренгейта нужна таблица пересчёта или программное преобразование. Температура хранится в виде 16-битного числа в дополнительном коде со знаковым расширением (рисунок 4). Знаковые биты S равны 0 для положительных чисел и 1 для отрицательных.

При разрешении 12 бит действительны все биты регистра. При 11 битах бит 0 не определён; при 10 битах не определены биты 1 и 0; при 9 битах - биты 2, 1 и 0. В таблице 1 приведены примеры для 12-битного преобразования.

	БИТ 7	БИТ 6	БИТ 5	БИТ 4	БИТ 3	БИТ 2	БИТ 1	БИТ 0
МЛ. БАЙТ	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰	2 ⁻¹	2 ⁻²	2 ⁻³	2 ⁻⁴
	БИТ 15	БИТ 14	БИТ 13	БИТ 12	БИТ 11	БИТ 10	БИТ 9	БИТ 8
СТ. БАЙТ	S	S	S	S	S	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴

S = ЗНАК

Рисунок 4. Формат регистра температуры. Младший байт содержит биты 7-0, старший - биты 15-8. S - знак.

Коды температуры и сигнализация

Таблица 1. Соответствие температуры и выходных данных

Температура, °C	Двоичный код	Шестнадцатеричный код
+125	0000 0111 1101 0000	07D0h
+85*	0000 0101 0101 0000	0550h
+25,0625	0000 0001 1001 0001	0191h
+10,125	0000 0000 1010 0010	00A2h
+0,5	0000 0000 0000 1000	0008h
0	0000 0000 0000 0000	0000h
-0,5	1111 1111 1111 1000	FFF8h
-10,125	1111 1111 0101 1110	FF5Eh
-25,0625	1111 1110 0110 1111	FE6Fh
-55	1111 1100 1001 0000	FC90h

* После сброса по включению питания регистр температуры содержит +85 °C.

Работа устройства: сигнализация выхода за пороги

После каждого преобразования DS18B20 сравнивает измеренную температуру с заданными пользователем порогоми, хранящимися в однобайтовых регистрах TH и TL в дополнительном коде (рисунок 5). Знаковый бит S равен 0 для положительных значений и 1 для отрицательных. TH и TL хранятся в энергонезависимой EEPROM и сохраняются без питания. Доступ к ним осуществляется через байты 2 и 3 scratchpad; см. раздел «Память».

Поскольку TH и TL являются 8-битными регистрами, при сравнении используются только биты 11-4 регистра температуры. Если температура меньше или равна TL либо больше или равна TH, возникает условие тревоги и внутри DS18B20 устанавливается соответствующий флаг. Флаг обновляется после каждого измерения: когда условие тревоги исчезает, он сбрасывается после следующего преобразования.

Команда Alarm Search [ECh] позволяет ведущему проверить флаги всех DS18B20 на шине. Отвечают только датчики с установленным флагом, поэтому ведущий может точно определить устройства с выходом температуры за пороги. Если при действующей тревоге были изменены TH или TL, для проверки нового состояния требуется ещё одно преобразование температуры.

БИТ 7	БИТ 6	БИТ 5	БИТ 4	БИТ 3	БИТ 2	БИТ 1	БИТ 0
S	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰

Рисунок 5. Формат регистров TH и TL. Бит 7 - знак S; биты 6-0 задают значение порога.

Питание DS18B20

DS18B20 можно питать от внешнего источника через VDD либо использовать паразитное питание без локального внешнего источника. Паразитное питание особенно удобно для удалённых измерений и устройств с жёсткими ограничениями по габаритам. На рисунке 3 показана внутренняя цепь, которая отбирает энергию с шины 1-Wire через DQ при высоком уровне. Часть заряда сразу питает DS18B20, а часть накапливается на конденсаторе CPP и используется при низком уровне шины. **В режиме паразитного питания вывод VDD обязательно соединяют с GND.**

Для большинства операций шина 1-Wire и CPP обеспечивают достаточный ток при соблюдении требований к напряжению и временным параметрам, приведённых в таблицах DC и AC. Однако во время преобразования температуры и копирования данных из scratchpad в EEPROM ток может достигать 1,5 мА. Такой ток вызывает недопустимое падение напряжения на резисторе слабой подтяжки и превышает возможности CPP.

Поэтому во время преобразования температуры и записи EEPROM на шине необходима **сильная подтяжка**. Её можно реализовать MOSFET-транзистором, подключающим шину непосредственно к шине питания, как показано на рисунке 6. Сильную подтяжку нужно включить не позднее чем через 10 мкс после команды Convert T [44h] или Copy Scratchpad [48h] и удерживать высокий уровень в течение всего преобразования tCONV либо переноса данных tWR = 10 мс. Пока сильная подтяжка включена, никакой другой обмен по шине 1-Wire невозможен.

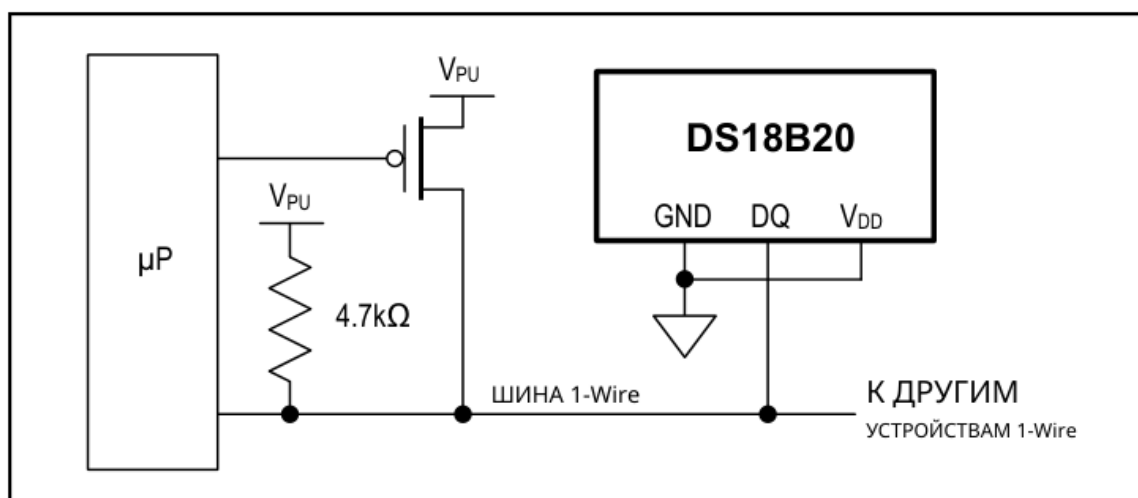


Рисунок 6. Питание DS18B20 с паразитным питанием во время преобразования температуры. MOSFET обеспечивает сильную подтяжку линии DQ.

При обычном способе питания внешний источник подключают к VDD (рисунок 7). Преимущество: MOSFET сильной подтяжки не нужен, а во время преобразования температуры шину можно использовать для другого обмена.

Паразитное питание не рекомендуется при температурах выше +100 °C: возросшие токи утечки могут нарушить связь с DS18B20. Если такие температуры возможны, настоятельно рекомендуется внешний источник питания.

Определение питания и 64-битный код ПЗУ

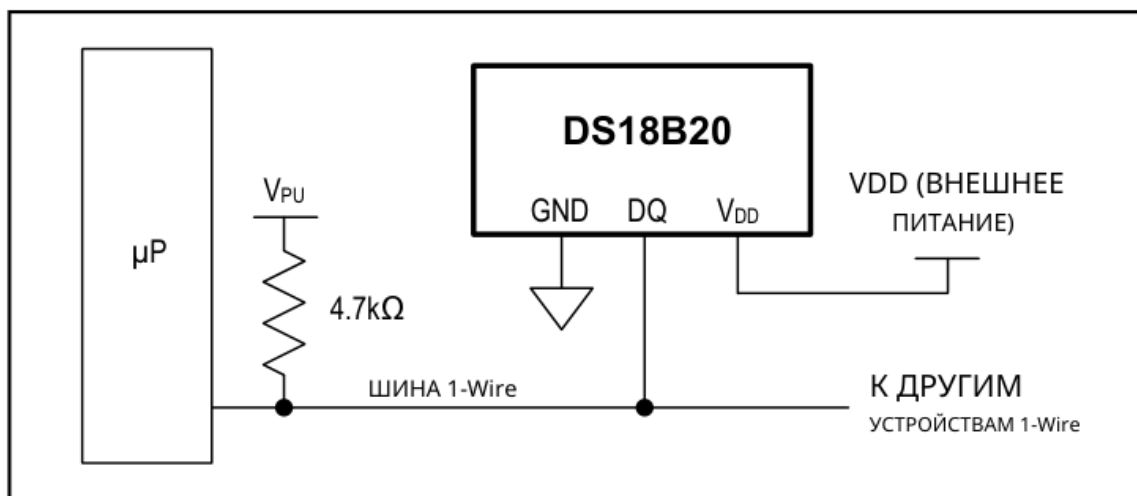


Рисунок 7. Питание DS18B20 от внешнего источника через VDD.

Ведущий не всегда заранее знает, питаются ли подключённые DS18B20 паразитно или от внешних источников. Эта информация нужна, чтобы определить необходимость сильной подтяжки во время преобразования. Для проверки ведущий передаёт Skip ROM [CCh], затем Read Power Supply [B4h] и формирует слот чтения. Датчики с паразитным питанием устанавливают низкий уровень, а датчики с внешним питанием оставляют шину в высоком состоянии. Если считывается низкий уровень, ведущий должен обеспечивать сильную подтяжку во время преобразования температуры.

64-битный код ПЗУ, записанный лазером

Каждый DS18B20 имеет уникальный 64-битный код, хранящийся в ПЗУ (рисунок 8). Младшие 8 бит содержат код семейства 1-Wire для DS18B20 - 28h. Следующие 48 бит составляют уникальный серийный номер. Старшие 8 бит - циклическая контрольная сумма CRC, вычисленная по первым 56 битам кода ПЗУ. Подробности приведены в разделе «Формирование CRC».

64-битный код и связанная с ним логика управления командами ПЗУ обеспечивают работу DS18B20 как устройства 1-Wire в соответствии с протоколом, описанным в разделе «Шина 1-Wire».

8-БИТ CRC		48-БИТ СЕРИЙНЫЙ НОМЕР		8-БИТ КОД СЕМЕЙСТВА (28h)	
MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB

Рисунок 8. Структура 64-битного кода ПЗУ: CRC (8 бит), серийный номер (48 бит), код семейства 28h (8 бит). Передача начинается с младшего бита кода семейства.

Память

Организация памяти DS18B20 показана на рисунке 9. Память включает оперативный буфер SRAM (scratchpad) и энергонезависимую EEPROM для верхнего и нижнего порогов сигнализации TH, TL и регистра конфигурации. Если функция сигнализации не используется, TH и TL могут служить памятью общего назначения. Команды памяти подробно описаны в разделе функциональных команд DS18B20.

Байты 0 и 1 scratchpad содержат соответственно младший и старший байты регистра температуры и доступны только для чтения. Байты 2 и 3 обеспечивают доступ к TH и TL. Байт 4 содержит регистр конфигурации. Байты 5, 6 и 7 зарезервированы для внутренних целей и не могут быть перезаписаны.

Байт 8 доступен только для чтения и содержит CRC байтов 0-7 scratchpad. DS18B20 вычисляет её способом, описанным в разделе «Формирование CRC».

Команда Write Scratchpad [4Eh] записывает байты 2, 3 и 4. Передача начинается с младшего бита байта 2. Для проверки целостности записанные данные можно прочитать командой Read Scratchpad [BEh]. При чтении передача по 1-Wire начинается с младшего бита байта 0. Для переноса TH, TL и конфигурации из scratchpad в EEPROM ведущий должен выдать Copy Scratchpad [48h].

Данные EEPROM сохраняются после отключения питания. При включении они загружаются обратно в соответствующие байты scratchpad. Такую загрузку можно выполнить в любое время командой Recall E2 [B8h]. После неё ведущий может формировать слоты чтения: DS18B20 передаёт 0 во время загрузки и 1 после её завершения.

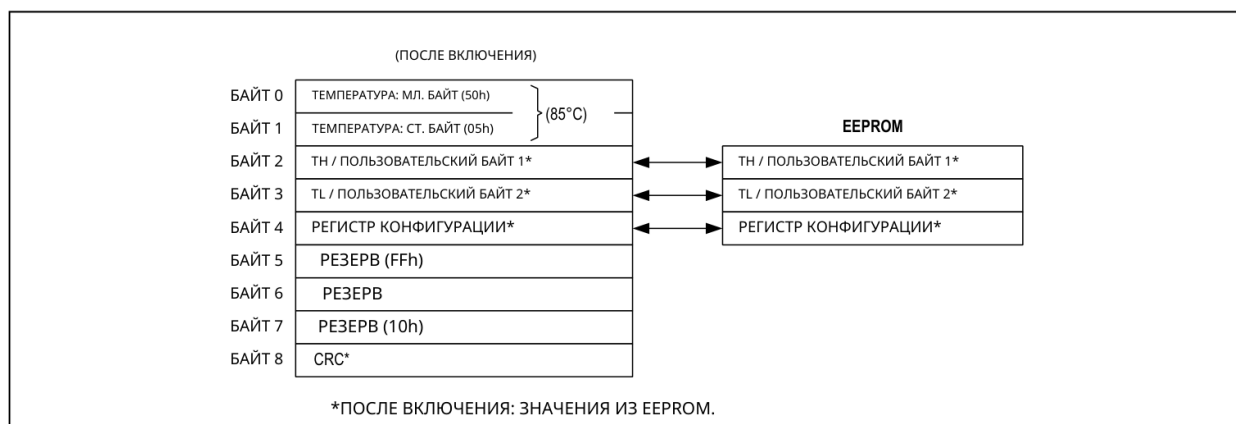


Рисунок 9. Карта памяти DS18B20. Звёздочкой отмечены значения, зависящие от содержимого EEPROM. Температура после включения: 0550h, то есть +85 °C.

Регистр конфигурации

Байт 4 scratchpad содержит регистр конфигурации, показанный на рисунке 10. Биты R0 и R1 определяют разрешение преобразования DS18B20 (таблица 2). Значения по умолчанию после включения: R0 = 1 и R1 = 1, что соответствует 12 битам. Разрешение непосредственно связано с временем преобразования. Бит 7 и биты 0-4 зарезервированы для внутренних целей и не могут быть перезаписаны.

БИТ 7	БИТ 6	БИТ 5	БИТ 4	БИТ 3	БИТ 2	БИТ 1	БИТ 0
0	R1	R0	1	1	1	1	1

Рисунок 10. Регистр конфигурации: 0, R1, R0, 1, 1, 1, 1 от бита 7 к биту 0.

Таблица 2. Настройка разрешения термометра

R1	R0	Разрешение, бит	Максимальное время преобразования
0	0	9	93,75 мс (tCONV/8)
0	1	10	187,5 мс (tCONV/4)
1	0	11	375 мс (tCONV/2)
1	1	12	750 мс (tCONV)

Формирование CRC

Контрольные байты CRC входят в 64-битный код ПЗУ DS18B20 и в девятый байт scratchpad. CRC кода ПЗУ рассчитывается по первым 56 битам и находится в старшем байте ПЗУ. CRC scratchpad рассчитывается по хранящимся в нём данным и изменяется вместе с ними.

CRC позволяет ведущему проверять достоверность данных, прочитанных из DS18B20. Ведущий заново вычисляет CRC по принятым данным и сравнивает её с CRC ПЗУ либо scratchpad. Совпадение означает, что при передаче не обнаружено ошибки. Сравнение и решение о продолжении операции полностью возлагаются на ведущего. DS18B20 не содержит схемы, которая прекращала бы последовательность команд при несовпадении его CRC с CRC, вычисленной ведущим.

Эквивалентный полином CRC для ПЗУ и scratchpad:

$$\text{CRC} = X^8 + X^5 + X^4 + 1$$

Формирование CRC и шина 1-Wire

Ведущий может пересчитать CRC с помощью генератора на рисунке 11. Он состоит из сдвигового регистра и элементов исключающего ИЛИ (XOR). Все биты регистра первоначально устанавливаются в 0. Данные вводятся по одному биту, начиная с младшего бита кода ПЗУ либо младшего бита байта 0 scratchpad. После ввода 56-го бита ПЗУ либо старшего бита байта 7 scratchpad регистр содержит рассчитанную CRC.

Затем через генератор пропускают 8-битную CRC ПЗУ или scratchpad, полученную от DS18B20. Если расчёт верен, все биты регистра становятся нулевыми. Дополнительные сведения приведены в AN27 «Принципы работы и применение циклических контрольных сумм в устройствах Maxim iButton».

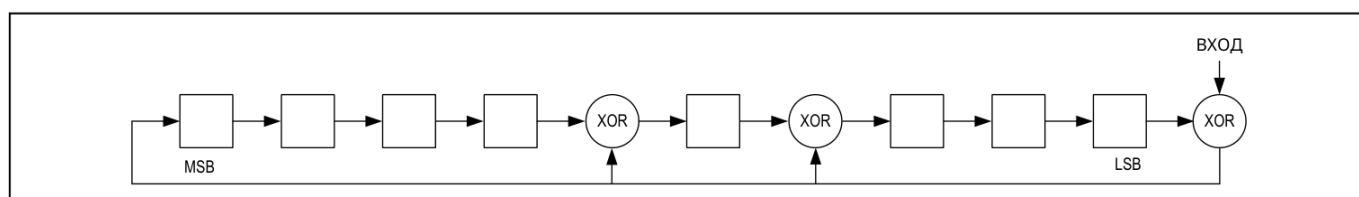


Рисунок 11. Генератор CRC. XOR - исключающее ИЛИ; MSB/LSB - старший/младший бит.

Шина 1-Wire

На шине 1-Wire одно ведущее устройство управляет одним или несколькими ведомыми. DS18B20 всегда является ведомым. Система с одним ведомым называется single-drop, с несколькими - multidrop. Все данные и команды передаются младшим битом вперёд. Далее рассматриваются аппаратная конфигурация, последовательность обмена и сигналы 1-Wire, включая их временные параметры.

Аппаратная конфигурация

Шина имеет одну линию данных. Каждое устройство подключается к ней через порт с открытым стоком или тремя состояниями. Благодаря этому устройство может освободить линию, когда не передаёт данные, предоставив её другим. Порт DQ DS18B20 имеет открытый сток; эквивалентная схема показана на рисунке 12.

Необходим внешний резистор подтяжки примерно 5 кОм, поэтому в состоянии покоя шина имеет высокий уровень. Если обмен нужно приостановить с возможностью последующего продолжения, шину **обязательно** оставляют в состоянии покоя. Интервал восстановления между битами может быть сколь угодно долгим, пока на шине сохраняется высокий уровень. Удержание шины в низком состоянии более 480 мкс сбрасывает все подключённые компоненты.

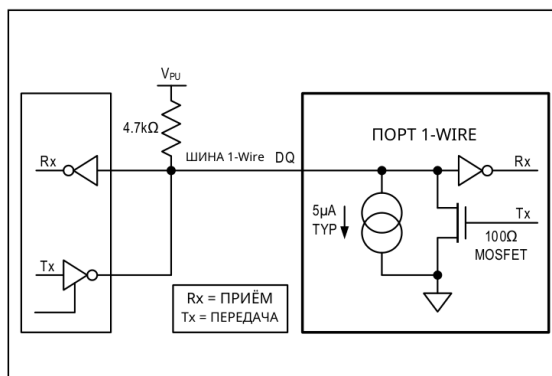


Рисунок 12. Аппаратная конфигурация интерфейса 1-Wire. На схеме указаны типичный ток 5 мкА и MOSFET 100 Ом; подтяжка 4,7 кОм.

Последовательность обмена и команды ROM

Последовательность обращения к DS18B20

1. Инициализация.
2. Команда ROM, затем необходимый обмен данными.
3. Функциональная команда DS18B20, затем необходимый обмен данными.

Эту последовательность нужно соблюдать при каждом обращении: если шаг пропущен или порядок нарушен, DS18B20 не ответит. Исключения - Search ROM [F0h] и Alarm Search [ECh]: после любой из этих команд ведущий должен вернуться к шагу 1.

Инициализация

Любой обмен начинается с импульса сброса от ведущего, за которым следуют импульсы присутствия от ведомых. Импульс присутствия сообщает ведущему, что на шине есть устройства, например DS18B20, готовые к работе. Временные параметры приведены в разделе «Сигналы 1-Wire».

Команды ROM

Обнаружив присутствие, ведущий может выдать команду ROM. Эти команды работают с уникальными 64-битными кодами и позволяют выбрать определённое устройство, определить число и типы подключённых устройств либо выявить датчики с тревогой. Предусмотрено пять 8-битных команд ROM. Перед функциональной командой DS18B20 ведущий должен выдать подходящую команду ROM. Алгоритм показан на рисунке 13.

Search ROM [F0h] - поиск кодов ПЗУ

После включения ведущий должен определить коды всех ведомых, чтобы узнать их число и типы. Поиск осуществляется методом последовательного исключения: ведущий повторяет цикл Search ROM, то есть команду и последующий обмен, столько раз, сколько нужно для идентификации всех устройств. Если ведомое одно, можно использовать более простую Read ROM [33h]. Подробности процедуры приведены в AN937 «Сборник стандартов iButton». После каждого цикла Search ROM ведущий возвращается к инициализации.

Read ROM [33h] - чтение кода ПЗУ

Применяется только при одном ведомом на шине. Позволяет прочитать его 64-битный код без процедуры поиска. Если ведомых несколько, их одновременные ответы вызовут конфликт данных.

Команды ROM: адресация и поиск тревог

Match ROM [55h] - выбор по коду ПЗУ

За командой передают 64-битный код, чтобы адресовать конкретное ведомое на шине с одним или несколькими устройствами. На следующую функциональную команду ответит только устройство с точно совпавшим кодом. Остальные будут ожидать импульса сброса.

Skip ROM [CCh] - пропуск адресации по ПЗУ

Позволяет обратиться ко всем устройствам одновременно, не передавая код ПЗУ. Например, последовательность Skip ROM и Convert T [44h] запускает одновременное преобразование температуры у всех DS18B20 на шине.

Команда Read Scratchpad [BEh] может следовать за Skip ROM только при одном ведомом. Это экономит время, поскольку не нужно передавать 64-битный код. Если ведомых несколько, Skip ROM с последующей Read Scratchpad вызовет конфликт: несколько устройств попытаются одновременно передавать данные.

Alarm Search [ECh] - поиск устройств с тревогой

Работает так же, как Search ROM, но отвечают только устройства с установленным флагом тревоги. Ведущий определяет, у каких DS18B20 при последнем преобразовании температура вышла за пороги. После каждого цикла Alarm Search, то есть команды и последующего обмена, ведущий должен вернуться к шагу 1 - инициализации. Работа флага описана в разделе сигнализации.

Функциональные команды DS18B20

Выбрав DS18B20 командой ROM, ведущий может выдать функциональную команду. Эти команды позволяют читать и записывать scratchpad, запускать преобразование температуры и определять режим питания. Сводка дана в таблице 3, алгоритмы - на рисунке 14.

Convert T [44h] - преобразование температуры

Запускает однократное преобразование. Результат записывается в двухбайтовый регистр температуры scratchpad, затем устройство возвращается в режим ожидания с низким потреблением. При паразитном питании ведущий должен не позднее чем через 10 мкс после команды включить сильную подтяжку на весь интервал tCONV.

При внешнем питании ведущий может формировать слоты чтения после команды: 0 означает, что преобразование продолжается, 1 - что оно завершено. При паразитном питании этот способ недоступен, поскольку во время преобразования шина удерживается на высоком уровне сильной подтяжкой.

Функциональные команды памяти и питания

Write Scratchpad [4Eh] - запись буферной памяти

Позволяет записать три байта: первый - в TH (байт 2 scratchpad), второй - в TL (байт 3), третий - в регистр конфигурации (байт 4). Данные передаются младшим битом вперёд. До выдачи сброса **обязательно** должны быть записаны все три байта, иначе данные могут быть повреждены.

Read Scratchpad [BEh] - чтение буферной памяти

Позволяет прочесть содержимое scratchpad. Передача начинается с младшего бита байта 0 и продолжается до девятого байта, то есть байта 8 с CRC. Если нужна только часть данных, ведущий может в любой момент завершить чтение импульсом сброса.

Copy Scratchpad [48h] - копирование в EEPROM

Копирует TH, TL и конфигурацию (байты 2, 3 и 4 scratchpad) в EEPROM. При паразитном питании ведущий должен не позднее чем через 10 мкс после команды включить сильную подтяжку шины минимум на 10 мс; см. раздел питания.

Recall E2 [B8h] - загрузка из EEPROM

Загружает пороги TH, TL и конфигурацию из EEPROM соответственно в байты 2, 3 и 4 scratchpad. После команды ведущий может формировать слоты чтения: DS18B20 передаёт 0, пока загрузка идёт, и 1 после её завершения. При включении питания загрузка выполняется автоматически, поэтому действительные данные доступны в scratchpad после подачи питания.

Read Power Supply [B4h] - определение режима питания

Ведущий выдаёт команду и затем формирует слот чтения, чтобы узнать, есть ли на шине DS18B20 с паразитным питанием. Такие устройства устанавливают низкий уровень, а устройства с внешним питанием оставляют шину в высоком состоянии. Подробности применения приведены в разделе питания.

Сводка функциональных команд

Таблица 3. Набор функциональных команд DS18B20

Команда	Назначение	Код	Обмен после команды	Прим .
Convert T	Запуск преобразования температуры.	44h	DS18B20 передаёт ведущему состояние преобразования; неприменимо при паразитном питании.	1
Read Scratchpad	Чтение всего scratchpad, включая CRC.	BEh	DS18B20 передаёт ведущему до 9 байт данных.	2
Write Scratchpad	Запись байтов 2, 3 и 4: TH, TL и конфигурации.	4Eh	Ведущий передаёт DS18B20 три байта данных.	3
Copy Scratchpad	Копирование TH, TL и конфигурации из scratchpad в EEPROM.	48h	Отсутствует.	1
Recall E2	Загрузка TH, TL и конфигурации из EEPROM в scratchpad.	B8h	DS18B20 передаёт ведущему состояние загрузки.	-
Read Power Supply	Сообщение ведущему о режиме питания DS18B20.	B4h	DS18B20 передаёт признак режима питания.	-

1. Для DS18B20 с паразитным питанием ведущий должен включать сильную подтяжку на время преобразования температуры и копирования scratchpad в EEPROM. В это время другие операции на шине невозможны.
2. Ведущий может в любой момент прервать передачу данных импульсом сброса.
3. До выдачи сброса необходимо записать все три байта.

Обозначения на блок-схемах

На рисунках 13 и 14 сохранены имена команд и сокращения интерфейса. MASTER - ведущее устройство; DS18B20 - ведомое; Tx - передача; Rx - приём; BIT - бит. «Д» означает «да», «Н» - «нет». Черта над номером бита обозначает его инверсию. При поиске DS18B20 последовательно передаёт бит и его инверсию, затем принимает от ведущего значение для выбора ветви поиска.

Русские пояснения внутри рисунков добавлены при переводе. Связи, стрелки, условные обозначения и порядок действий сохранены по исходным схемам.

Алгоритм выполнения команд ROM

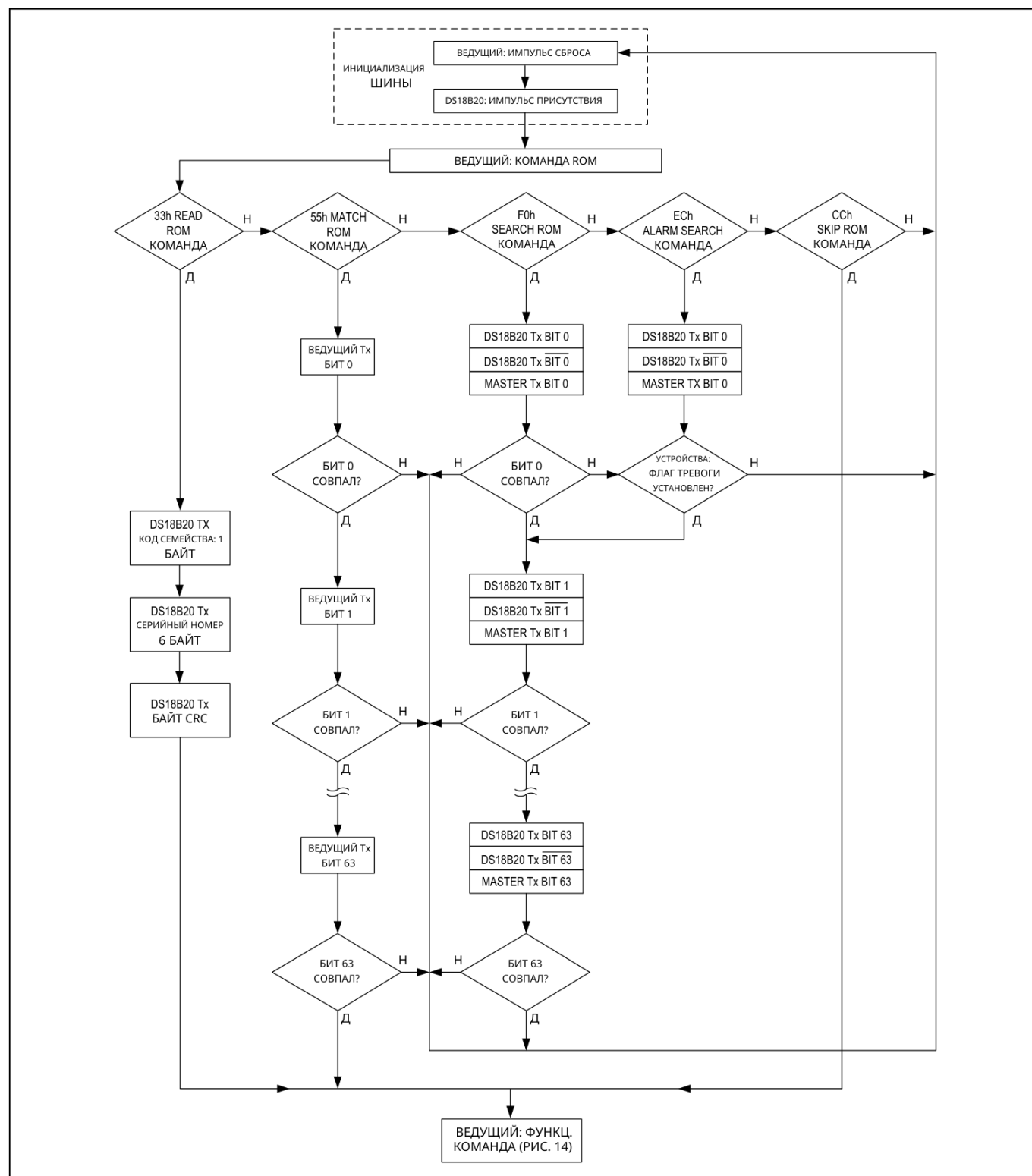


Рисунок 13. Блок-схема команд ROM. Обозначения: Д - да; Н - нет; Tx - передача; Rx - приём; MASTER - ведущий. После выбора устройства выполняется функциональная команда (рисунок 14).

Алгоритм функциональных команд

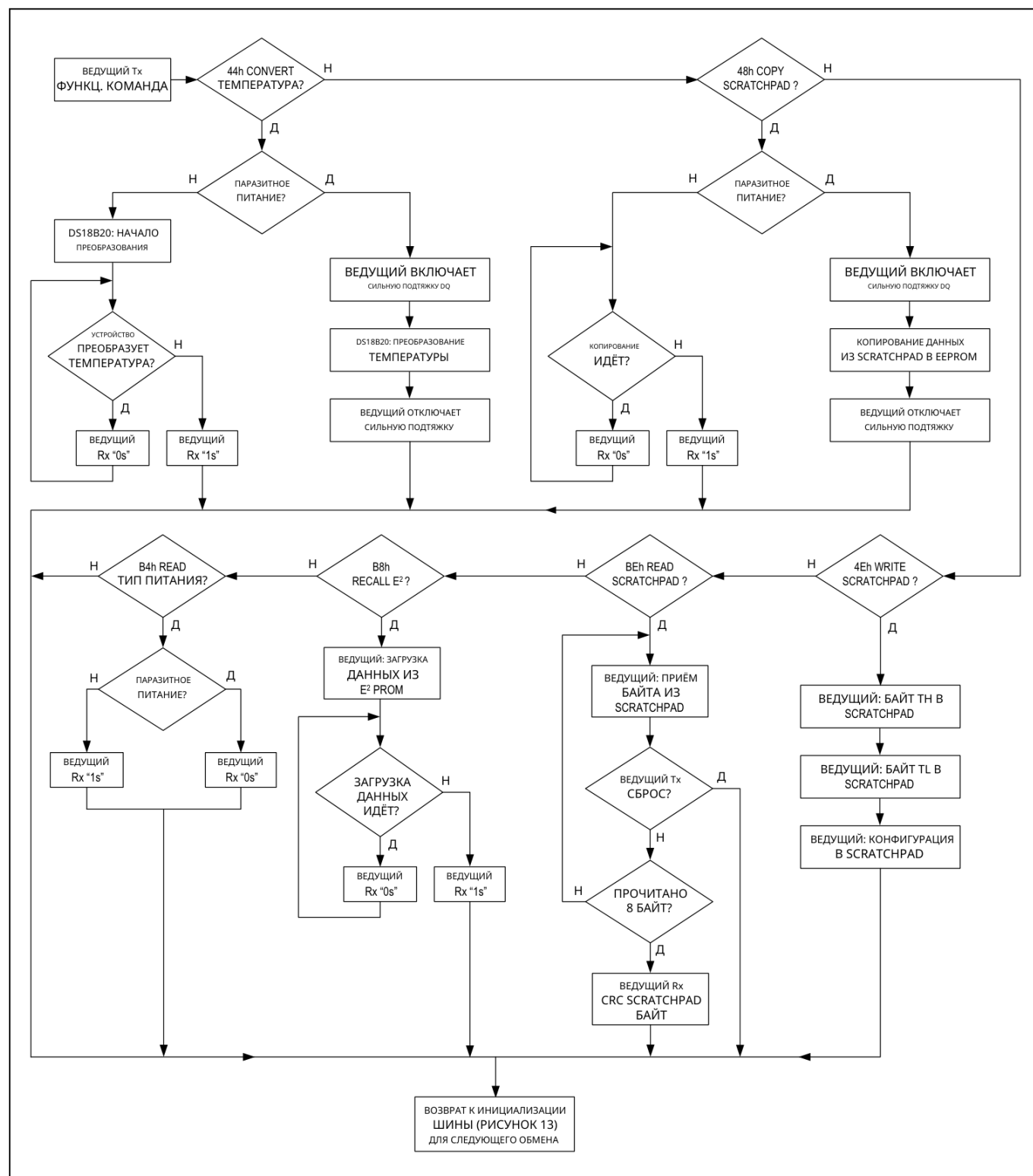


Рисунок 14. Блок-схема функциональных команд DS18B20. Д - да; Н - нет. После завершения обмена следует вернуться к инициализации (рисунок 13).

Сигналы 1-Wire: инициализация и запись

DS18B20 использует строго заданный протокол обмена 1-Wire для обеспечения целостности данных. Определены сигналы сброса, присутствия, записи 0, записи 1, чтения 0 и чтения 1. Все сигналы, кроме импульса присутствия, инициирует ведущее устройство.

Инициализация: сброс и присутствие

Обмен с DS18B20 начинается с импульса сброса от ведущего и следующего за ним импульса присутствия от DS18B20 (рисунок 15). Ответ присутствия сообщает, что устройство подключено к шине и готово работать.

Ведущий передаёт (Tx) сброс, удерживая шину в низком состоянии не менее 480 мкс. Затем он освобождает шину и переходит к приёму (Rx). Резистор подтяжки 5 кОм возвращает высокий уровень. Обнаружив нарастающий фронт, DS18B20 ожидает 15-60 мкс, а затем формирует импульс присутствия: удерживает шину в низком состоянии в течение 60-240 мкс.

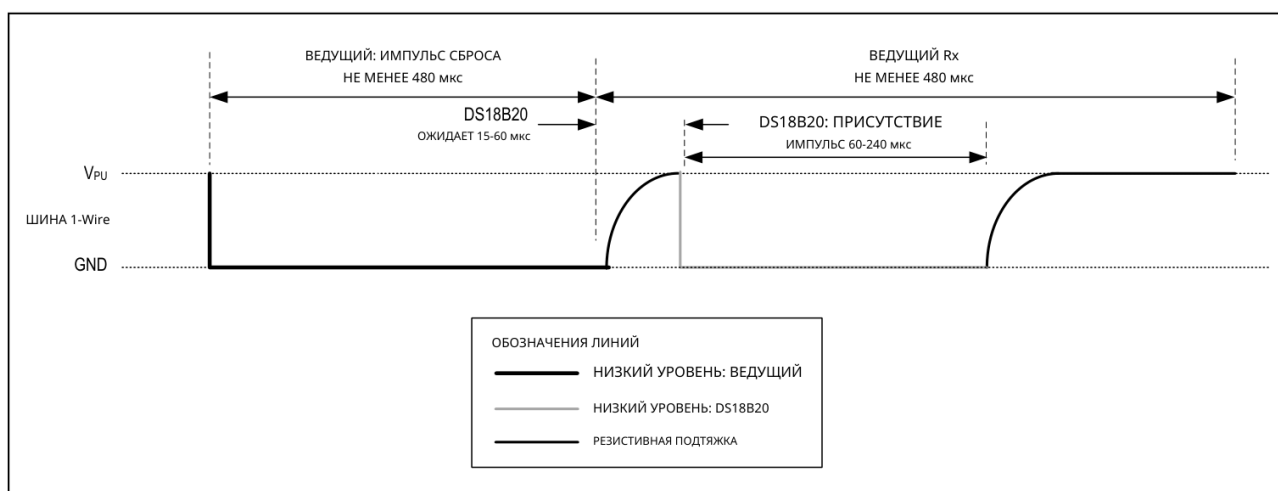


Рисунок 15. Временная диаграмма инициализации. Показаны импульс сброса, ожидание ведомого и импульс присутствия.

Временные слоты чтения и записи

Ведущий записывает данные в DS18B20 в слотах записи и принимает данные в слотах чтения. За один слот по шине передаётся один бит.

Слоты записи

Слот записи 1 записывает логическую единицу, слот записи 0 - логический ноль. Длительность любого слота записи должна быть не менее 60 мкс, а интервал восстановления между слотами - не менее 1 мкс. Оба типа слотов начинаются с перевода шины ведущим в низкое состояние.

Для записи 1 ведущий должен освободить шину в пределах 15 мкс после начала слота. После этого резистор 5 кОм поднимает её напряжение. Для записи 0 ведущий удерживает низкий уровень в течение всего слота, то есть не менее 60 мкс.

DS18B20 считывает шину в окне от 15 до 60 мкс после начала слота. Высокий уровень в окне выборки записывается как 1, низкий - как 0. Диаграммы приведены на рисунке 16.

Примечание перевода: в абзаце о начале слотов записи исходный текст ссылается на рисунок 14; соответствующие временные диаграммы находятся на рисунке 16.

Временные слоты чтения и записи

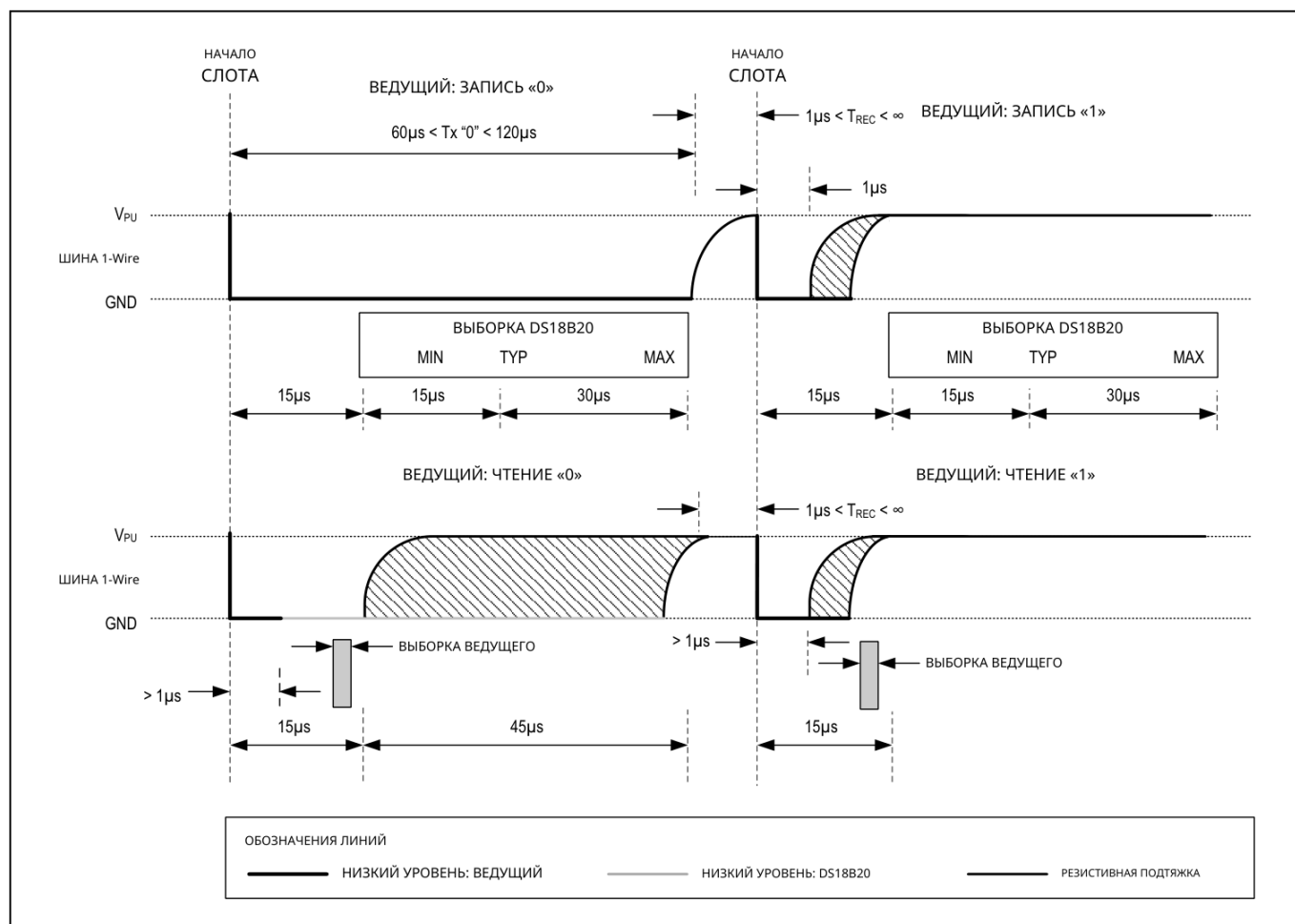


Рисунок 16. Временные диаграммы записи и чтения 0 и 1. MIN/TYP/MAX - минимальный, типичный и максимальные моменты выборки; μs - микросекунды.

Слоты чтения

DS18B20 передаёт данные только в ответ на слоты чтения, формируемые ведущим. Поэтому сразу после Read Scratchpad [BEh] или Read Power Supply [B4h] ведущий должен сформировать такие слоты, чтобы датчик мог выдать запрошенные данные. После Convert T [44h] и Recall E2 [B8h] слоты чтения также используются для определения состояния операции, как описано в разделе функциональных команд.

Каждый слот чтения длится не менее 60 мкс; восстановление между слотами - не менее 1 мкс. Для начала ведущий устанавливает низкий уровень минимум на 1 мкс, затем освобождает шину. После начала слота DS18B20 передаёт 1, оставляя шину в высоком состоянии, либо 0, удерживая её в низком состоянии. При передаче 0 датчик освобождает шину к концу слота, и резистор подтяжки возвращает высокий уровень покоя.

Данные DS18B20 действительны в пределах 15 мкс после спадающего фронта, запускающего слот. Поэтому ведущий должен освободить шину и считать её состояние в течение первых 15 мкс от начала слота.

Выбор момента считывания

Рисунок 17 показывает, что сумма T_{INIT} , T_{RC} и T_{SAMPLE} для слота чтения должна быть меньше 15 мкс. На рисунке 18 показано, как увеличить временной запас: T_{INIT} и T_{RC} делают как можно короче, а момент выборки ведущего располагают ближе к концу 15-микросекундного интервала.

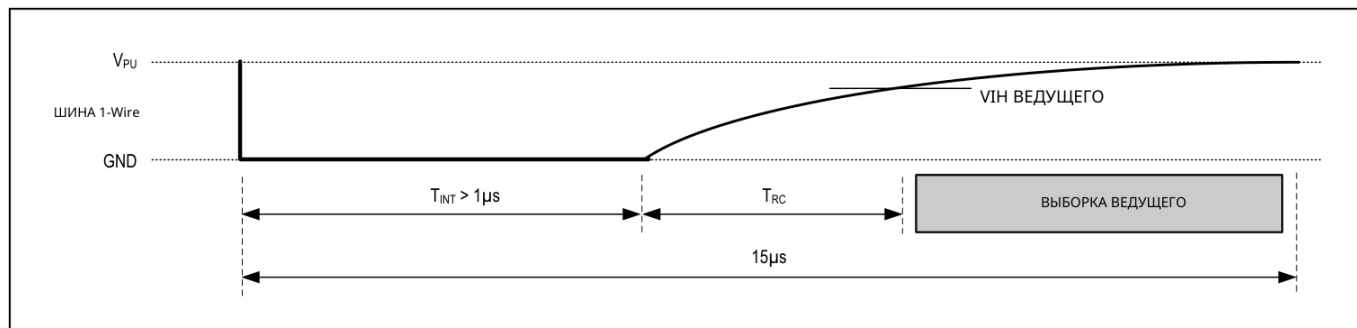


Рисунок 17. Подробная временная диаграмма чтения единицы ведущим. V_{IN} - порог высокого логического уровня ведущего; T_{RC} - время нарастания напряжения. На рисунке начальный импульс обозначен T_{INIT} , в тексте оригинала - T_{INIT} .

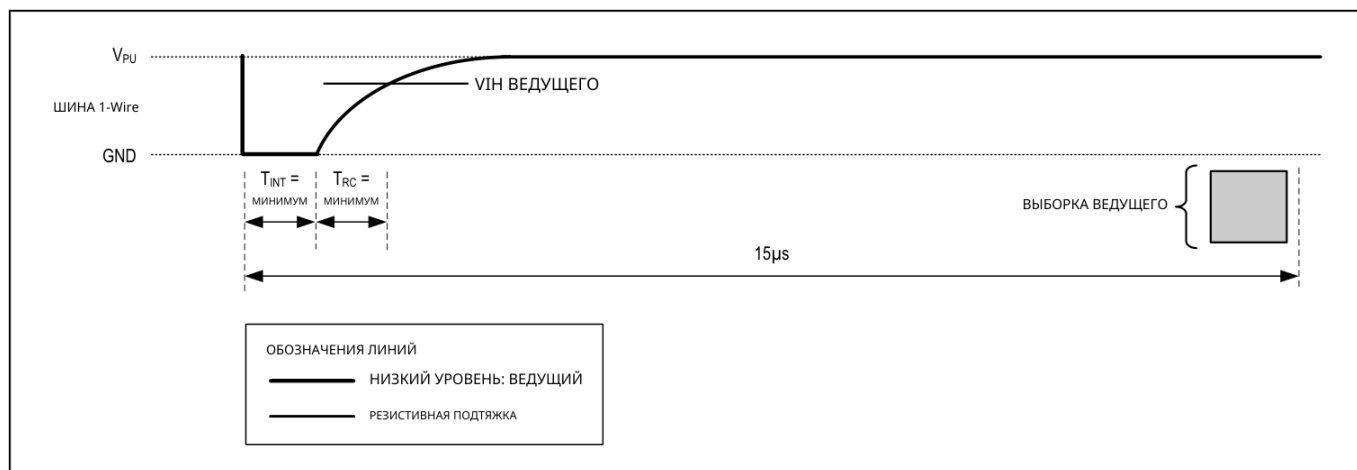


Рисунок 18. Рекомендуемый выбор временных параметров чтения единицы: короткий начальный импульс, быстрое нарастание и выборка ближе к концу интервала 15 мкс.

Порог V_{IN} , временные интервалы и виды линий показаны так же, как в оригинале. Символ на рисунке 16 означает отсутствие верхней границы времени восстановления при высоком уровне шины.

Пример 1: измерение выбранным датчиком

На шине подключено несколько DS18B20 с паразитным питанием. Ведущий запускает преобразование температуры у конкретного датчика, затем читает его scratchpad и пересчитывает CRC для проверки данных.

Режим ведущего	Данные (младшим битом вперёд)	Действие
Tx	Сброс	Ведущий выдаёт импульс сброса.
Rx	Присутствие	DS18B20 отвечают импульсом присутствия.
Tx	55h	Ведущий выдаёт Match ROM.
Tx	64-битный код ПЗУ	Ведущий передаёт код выбранного DS18B20.
Tx	44h	Ведущий выдаёт Convert T.
Tx	Сильная подтяжка DQ	Ведущий удерживает DQ на высоком уровне сильной подтяжкой в течение всего преобразования tCONV.
Tx	Сброс	Ведущий выдаёт импульс сброса.
Rx	Присутствие	DS18B20 отвечают импульсом присутствия.
Tx	55h	Ведущий выдаёт Match ROM.
Tx	64-битный код ПЗУ	Ведущий передаёт код выбранного DS18B20.
Tx	BEh	Ведущий выдаёт Read Scratchpad.
Rx	9 байт данных	Ведущий читает весь scratchpad, включая CRC. Затем вычисляет CRC первых восьми байтов и сравнивает с девятым прочитанным байтом. При совпадении работа продолжается; при несовпадении чтение повторяется.

Пример 2: запись настроек в EEPROM

На шине один DS18B20 с паразитным питанием. Ведущий записывает TH, TL и конфигурацию в scratchpad, затем читает scratchpad и пересчитывает CRC. После проверки данные копируются в EEPROM.

Режим ведущего	Данные (младшим битом вперёд)	Действие
Tx	Сброс	Ведущий выдаёт импульс сброса.
Rx	Присутствие	DS18B20 отвечает импульсом присутствия.
Tx	CCh	Ведущий выдаёт Skip ROM.
Tx	4Eh	Ведущий выдаёт Write Scratchpad.
Tx	3 байта данных	Ведущий передаёт TH, TL и конфигурацию в scratchpad.
Tx	Сброс	Ведущий выдаёт импульс сброса.
Rx	Присутствие	DS18B20 отвечает импульсом присутствия.
Tx	CCh	Ведущий выдаёт Skip ROM.
Tx	BEh	Ведущий выдаёт Read Scratchpad.
Rx	9 байт данных	Ведущий читает весь scratchpad с CRC, вычисляет CRC первых восьми байтов и сравнивает с девятым. При совпадении продолжает работу; при несовпадении повторяет чтение.
Tx	Сброс	Ведущий выдаёт импульс сброса.
Rx	Присутствие	DS18B20 отвечает импульсом присутствия.
Tx	CCh	Ведущий выдаёт Skip ROM.
Tx	48h	Ведущий выдаёт Copy Scratchpad.
Tx	Сильная подтяжка DQ	Ведущий удерживает DQ на высоком уровне сильной подтяжкой не менее 10 мс, пока выполняется копирование.

Информация для заказа

Обозначение	Диапазон, °C	Выводы / корпус / упаковка	Маркировка
DS18B20	-55...+125	3 / TO-92	18B20
DS18B20+	-55...+125	3 / TO-92	18B20
DS18B20/T&R	-55...+125	3 / TO-92 / 2000 шт.	18B20
DS18B20+T&R	-55...+125	3 / TO-92 / 2000 шт.	18B20
DS18B20-SL/T&R	-55...+125	3 / TO-92 / 2000 шт.*	18B20
DS18B20-SL+T&R	-55...+125	3 / TO-92 / 2000 шт.*	18B20
DS18B20U	-55...+125	8 / FSOP	18B20
DS18B20U+	-55...+125	8 / FSOP	18B20
DS18B20U/T&R	-55...+125	8 / FSOP / 3000 шт.	18B20
DS18B20U+T&R	-55...+125	8 / FSOP / 3000 шт.	18B20
DS18B20Z	-55...+125	8 / SO	DS18B20
DS18B20Z+	-55...+125	8 / SO	DS18B20
DS18B20Z/T&R	-55...+125	8 / SO / 2500 шт.	DS18B20
DS18B20Z+T&R	-55...+125	8 / SO / 2500 шт.	DS18B20

Знак «+» обозначает бессвинцовый корпус. Он также присутствует в маркировке бессвинцовых исполнений. T&R - поставка в ленте на катушке.

* Корпуса TO-92 в ленте на катушке доступны с прямыми или формованными выводами. Для прямых выводов выбирают исполнение «SL». При поставке TO-92 россыпью доступны только прямые выводы.

Названия корпусов воспроизведены по исходному документу: в таблице заказа для DS18B20U указано FSOP, а в разделе расположения выводов - μ SOP. Исполнения и маркировка приведены по редакции 6 от июля 2019 г.

Дополнительные материалы

В исходном даташите перечислены следующие рекомендации по применению, относящиеся к DS18B20 и опубликованные на сайте Maxim Integrated:

- **AN27.** Принципы работы и применение циклических контрольных сумм в устройствах Maxim iButton (Understanding and Using Cyclic Redundancy Checks with Maxim iButton Products).
- **AN122.** Применение микросхем Dallas 1-Wire в одноэлементных литий-ионных аккумуляторных блоках с N-канальными защитными MOSFET в отрицательной цепи питания (Using Dallas' 1-Wire ICs in 1-Cell Li-Ion Battery Packs with Low-Side N-Channel Safety FETs Master).
- **AN126.** Программная реализация обмена по 1-Wire (1-Wire Communication Through Software).
- **AN162.** Подключение датчиков температуры DS18x20/DS1822 с интерфейсом 1-Wire к микроконтроллеру (Interfacing the DS18x20/DS1822 1-Wire Temperature Sensor in a Microcontroller Environment).
- **AN208.** Аппроксимация погрешности цифрового датчика температуры на основе ширины запрещённой зоны (Curve Fitting the Error of a Bandgap-Based Digital Temperature Sensor).
- **AN2420.** Обмен по 1-Wire с микроконтроллером Microchip PICmicro (1-Wire Communication with a Microchip PICmicro Microcontroller).
- **AN3754.** Передача гальванически развязанных питания и данных по однопроводной последовательной шине (Single-Wire Serial Bus Carries Isolated Power and Data).

Примеры подпрограмм 1-Wire для совместного использования с **AN74** «Чтение и запись iButton через последовательные интерфейсы» (Reading and Writing iButtons via Serial Interfaces) в оригинале предлагается загрузить с сайта Maxim.

Дополнительно в тексте упоминается AN937 «Сборник стандартов iButton» (Book of iButton Standards). Названия документов сохранены на английском для поиска.

История изменений и сведения об оригинале

Дата	Изменение	Страницы оригинала
01.03.2007	Из предельно допустимых значений удалена температура печи оплавления +220 °С. Ссылка на спецификацию JEDEC по оплавлению сохранена.	19
12.10.2007	В описание условия тревоги по ТН добавлено «или равно».	5
12.10.2007	Из раздела памяти удалено неверное описание.	7
12.10.2007	Из раздела регистра конфигурации удалено неверное описание.	8
22.04.2008	В таблицу заказа добавлены ТО-92 с прямыми выводами и примечание о прямых либо формованных выводах при поставке в ленте.	2
01.2015	Обновлён раздел преимуществ и особенностей.	1
09.2018	Обновлена таблица характеристик постоянного тока.	2
07.2019	Обновлён рисунок 12.	10

Номера страниц истории изменений относятся к исходным редакциям производителя, а не к русской вёрстке.

Уведомление производителя

Информацию о ценах, сроках поставки и заказе оригинал предлагает получать в интернет-магазине Maxim Integrated: <https://www.maximintegrated.com/en/storefront/storefront.html>.

Maxim Integrated не принимает на себя ответственность за применение схем, кроме схем, полностью реализованных внутри изделия Maxim Integrated. Лицензии на патенты в отношении схем не подразумеваются. Maxim Integrated оставляет за собой право в любое время изменять схемы и спецификации без предварительного уведомления. Параметры, указанные как минимальные и максимальные пределы в таблицах электрических характеристик, гарантируются. Остальные значения в даташите приведены для ориентировки.

Maxim Integrated и логотип Maxim Integrated являются товарными знаками Maxim Integrated Products, Inc. 1-Wire и iButton - зарегистрированные товарные знаки Maxim Integrated Products, Inc.

© 2019 Maxim Integrated Products, Inc. Исходный документ: DS18B20 - Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer, 19-7487, Rev 6, 7/19; предоставленный файл ds18b20.pdf, 20 страниц.

Русский перевод с новой вёрсткой. Сохранены технические данные, коды команд, нумерация таблиц 1-3 и рисунков 1-18. Поясняющие надписи на рисунках переведены; имена команд, сокращения и обозначения сигналов сохранены. Добавленные пояснения переводчика выделены отдельно. Это перевод указанной редакции, а не новая спецификация производителя.