

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
Высшего профессионального образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

КАФЕДРА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ОСНОВ РАДИОТЕХНИКИ

ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ,
(ОПИКС)

Часть 1

Исследование Интерфейса I2C

Руководство к лабораторной работе для студентов
по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Разработчик:
Зав лаб. кафедры ТОР
В. С. Степной

1. Цель работы

- 1.1 Ознакомиться с принципами построения и алгоритмом работы интерфейса I2C.
- 1.2 Освоить методику обмена данными по интерфейсу I2C.
- 1.3 Экспериментально ввести данные температуры с датчика ADT 7410.

2. Принцип работы интерфейса I2C.

2.1. Общее описание шины

Шина InterIC, или ИС (I2C) шина использует две двунаправленные линии, подтянутые к напряжению питания и управляемые через открытый коллектор или открытый сток — последовательная линия данных (SDA, англ. *Serial Data*) и последовательная линия тактирования (SCL, англ. *Serial Clock*). Стандартные напряжения +5 В или +3,3 В, однако допускаются и другие. Схема подключения устройства - монтажное "И".

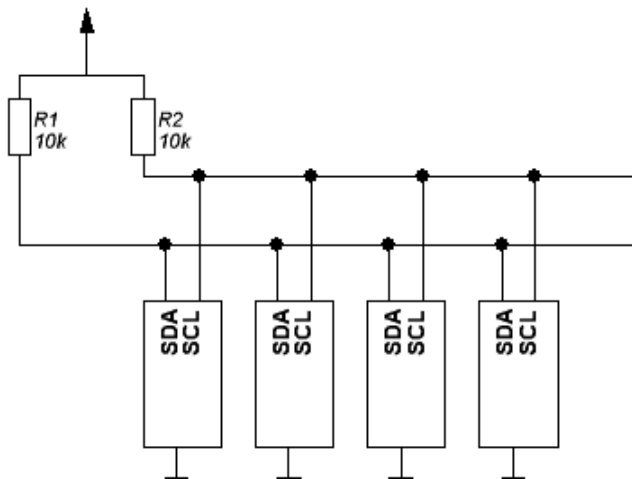


Рисунок 2.1. Подключение устройств по правилу монтажного "И"

Монтажное "И" - соединение нескольких выходов с открытым коллектором/стоком и резистора подтяжки к питанию. При таком соединении доминантным состоянием является логический 0, а логическая 1 - рецессивным. Т.е. логическая 1 может получиться только в том случае, если оба выхода выдают логическую 1, а логический 0 может получиться в случае, если любой из выходов выдает логический 0.

В стандартном режиме обеспечивается передача последовательных 8-битных данных со скоростью до 100 кбит/с, до 400 кбит/с в "быстром" режиме и - 10 кбит/с в режиме работы с пониженной скоростью.

Каждое устройство распознается по уникальному адресу и может работать как передатчик или приёмник, в зависимости от назначения устройства.

Кроме того, устройства могут быть классифицированы как ведущие и ведомые при передаче данных. Ведущий - это устройство, которое инициирует передачу данных и вырабатывает сигналы синхронизации. При этом любое адресуемое устройство считается ведомым по отношению к ведущему.

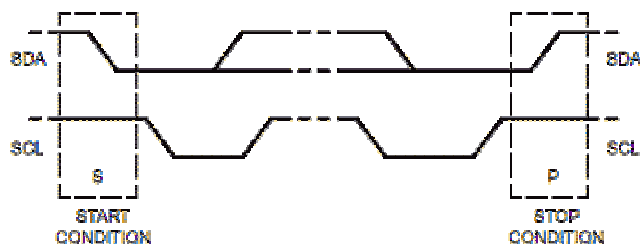
Исходя из спецификации работы шины, в каждый отдельный момент времени в шине может быть только один ведущий, а именно то устройство, которое обеспечивает формирование сигнала SCL шины. Ведущий может выступать как в роли ведущего-передатчика, так и ведущего-приемника. Тем не менее - шина позволяет иметь несколько ведущих, накладывая определенные особенности их

поведения в формировании сигналов управления и контроля состояния шины. Возможность подключения более одного ведущего к шине означает, что более чем один ведущий может попытаться начать пересылку в один и тот же момент времени. Для устранения "столкновений", которые могут возникнуть в данном случае, разработана процедура арбитража - поведения ведущего при обнаружении "захвата" шины другим ведущим.

2.2. Процедура обмена данными

Состояния Старт/Стоп

Процедура обмена начинается с того, что ведущий формирует состояние СТАРТ - ведущий генерирует переход сигнала линии SDA из ВЫСОКОГО состояния в НИЗКОЕ при ВЫСОКОМ уровне на линии SCL. Этот переход воспринимается всеми устройствами, подключенными к шине, как признак начала процедуры обмена.



Генерация синхросигнала - это всегда обязанность ведущего. Каждый ведущий генерирует свой собственный сигнал синхронизации при пересылке данных по шине.

Процедура обмена завершается тем, что ведущий формирует состояние СТОП - переход состояния линии SDA из низкого состояния в ВЫСОКОЕ при ВЫСОКОМ состоянии линии SCL.

Состояния СТАРТ и СТОП всегда вырабатываются ведущим. Считается, что шина занята после фиксации состояния СТАРТ. Шина считается освободившейся через некоторое время после фиксации состояния СТОП.

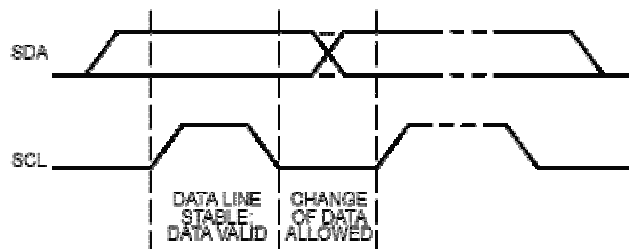


Рис. 2.2. Передача данных

При передаче данных по шине I2C каждый ведущий генерирует свой синхросигнал на линии SCL.

После формирования состояния СТАРТ ведущий опускает состояние линии SCL в НИЗКОЕ состояние и выставляет на линию SDA старший бит первого байта сообщения. Количество байт в сообщении не ограничено.

Спецификация шины I2C разрешает изменения на линии SDA только при НИЗКОМ уровне сигнала на линии SCL.

Данные действительны и должны оставаться стабильными только во время ВЫСОКОГО состояния синхроимпульса.

Для подтверждения приема байта от ведущего - передатчика ведомым - приемником в спецификации протокола обмена по шине I2C вводится специальный бит подтверждения, выставляемый на шину SDA после приема 8 бита данных.

Таким образом, передача 8 бит данных от передатчика к приемнику завершаются дополнительным циклом (формированием 9-го тактового импульса линии SCL), при котором приемник выставляет низкий уровень сигнала на линии SDA, как признак успешного приема байта.

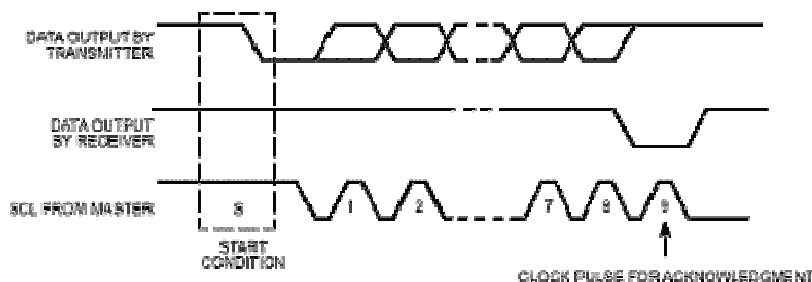


Рис. 2.3. Бит подтверждения данных

Подтверждение при передаче данных обязательно. Соответствующий импульс синхронизации генерируется ведущим. Передатчик опускает высокое состояние линии SDA на время синхроимпульса подтверждения. Приёмник должен удерживать линию SDA в течение ВЫСОКОГО состояния синхроимпульса подтверждения в стабильном НИЗКОМ состоянии.

В том случае, когда ведомый-приёмник не может подтвердить свой адрес (например, когда он выполняет в данный момент какие-либо функции реального времени), линия данных должна быть оставлена в ВЫСОКОМ состоянии. После этого ведущий может выдать сигнал СТОП для прерывания пересылки данных.

Если в пересылке участвует ведущий-приёмник, то он должен сообщить об окончании передачи ведомому-передатчику путем неподтверждения последнего байта. Ведомый-передатчик должен освободить линию данных для того, чтобы позволить ведущему выдать сигнал СТОП или повторить сигнал СТАРТ.

Синхронизация выполняется с использованием подключения к линии SCL по правилу монтажного И.

Это означает, что ведущий не имеет монопольного права на управление переходом линии SCL из НИЗКОГО состояния ВЫСОКОГО. В том случае, когда ведомому необходимо дополнительное время на обработку принятого бита, он имеет возможность удерживать линию SCL в низком состоянии до момента готовности к приему следующего бита. Таким образом, линия SCL будет находиться в НИЗКОМ состоянии на протяжении самого длинного НИЗКОГО периода синхросигналов.

Устройства с более коротким НИЗКИМ периодом будут входить в состояние ожидания на время, пока не кончится длинный период. Когда у всех задействованных устройств закончится НИЗКИЙ период синхросигнала, линия SCL перейдет в ВЫСОКОЕ состояние. Таким образом, синхросигналы всех устройств установятся в ВЫСОКОЕ состояние. Первое устройство, у которого закончится этот период, снова установит линию SCL в НИЗКОЕ состояние. Таким образом, НИЗКИЙ период синхролинии SCL определяется наидлиннейшим периодом синхронизации из всех задействованных

устройств, а ВЫСОКИЙ период определяется самым коротким периодом синхронизации устройств.

Механизм синхронизации может быть использован приемниками как средство управления пересылкой данных на байтовом и битовом уровнях.

На уровне байта, если устройство может принимать байты данных с большой скоростью, но требует определенное время для сохранения принятого байта или подготовки к приему следующего, то оно может удерживать линию SCL в НИЗКОМ состоянии после приема и подтверждения байта, переводя, таким образом, передатчик в состояние ожидания.

На уровне битов, устройство, такое как микроконтроллер без встроенных аппаратных цепей I2C или с ограниченными цепями, может замедлить частоту синхроимпульсов путем продления их НИЗКОГО периода. Таким образом, скорость передачи любого ведущего адаптируется к скорости медленного устройства.

Адресация в шине I2C

Каждое устройство, подключённое к шине, может быть программно адресовано по уникальному адресу.

Для выбора приемника сообщения ведущий использует уникальную адресную компоненту в формате посылки. При использовании однотипных устройств, они могут иметь дополнительный селектор адреса, который может быть реализован как в виде дополнительных цифровых входов селектора адреса, так и в виде аналогового входа. При этом адреса таких однотипных устройств оказываются разнесенными в адресном пространстве устройств, подключенных к шине.

В обычном режиме используется 7-битная адресация.

Процедура адресации на шине I2C заключается в том, что первый байт после сигнала СТАРТ определяет, какой ведомый адресуется ведущим для проведения цикла обмена. Исключение составляет адрес "Общего вызова", который адресует все устройства на шине. Когда используется этот адрес, все устройства в теории должны послать сигнал подтверждения.

Первые семь битов первого байта образуют адрес ведомого. Восьмой, младший бит, определяет направление пересылки данных. "Ноль" означает, что ведущий будет передавать информацию выбранному ведомому. "Единица" означает, что ведущий будет считывать информацию из ведомого.

После того, как адрес послан, каждое устройство в системе сравнивает первые семь бит после сигнала СТАРТ со своим адресом. При совпадении адреса устройство полагает себя выбранным как ведомый-приёмник или как ведомый-передатчик, в зависимости от бита направления.

Адрес ведомого может состоять из фиксированной и программируемой части.

В общем виде процесс обмена по шине от момента формирования состояния СТАРТ до состояния СТОП можно проиллюстрировать следующим рисунком:

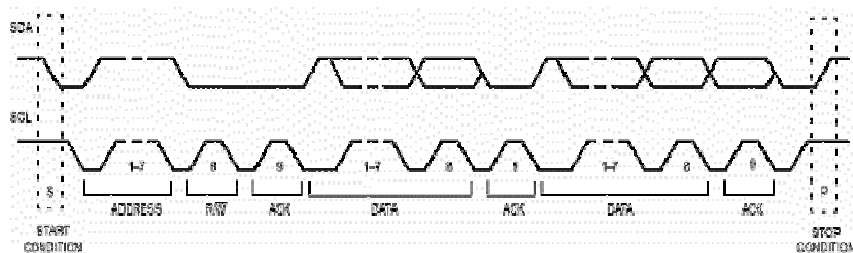


Рис. 2.4. Обмен данными от СТАРТ до СТОП

Как следует из спецификации шины, допускаются как простые форматы обмена, так и комбинированные, когда в промежутке от состояния СТАРТ до состояния СТОП, ведущий и ведомый могут выступать и как приемник и как передатчик данных. Комбинированные форматы могут быть использованы, например, для управления последовательной памятью. Во время первого байта данных можно передавать адрес в памяти, который записывается во внутренний регистр-защелку. После повторения сигнала СТАРТа и адреса ведомого выдаются данные из памяти.

Алгоритм протокола обмена I2C:

Оба состояния SDA и SCL устанавливаем в высокое состояние и проверяем, установились наши уровни или нет. Если они в состоянии ВЫСОКОЕ, то можно приступить к дальнейшим действиям, а если хоть один из уровней не установился, то нужно отключить схему, тщательно всё проверить и исправить недочеты.

Ведущий должен сформировать состояние СТАРТ, т.е. сгенерировать переход линии SDA из высокого состояния в низкое при высоком состоянии SCL. Это воспринимается всеми устройствами, подключенными к шине, как признак начала процедуры обмена. После состояния СТАРТ шина остается занятой.

Ведущий при передаче генерирует свой синхросигнал.

После формирования состояния СТАРТ ведущий опускает состояние линии SCL в низкое состояние и выставляет на линию SDA старший бит первого байта. Количество байт в сообщении не ограничено.

Необходимо записать данные, а затем уже считывать их.

Запись данных проходит следующим образом. Сначала необходимо передать адрес последовательной шины, состоящий из 7 битов и имеющий структуру:

1	0	0	1	0	A1	A0
---	---	---	---	---	----	----

После 7-битного адреса шины идёт бит чтения/записи (R/W). Чтобы ведущий записал в ведомое устройство данные, необходимо переместить состояние линии SDA в низкое положение при высоком положении линии SCL. После этого бита идёт бит подтверждения (9-ый тактовый бит SCL). Подтверждение при передаче обязательно. Соответствующий импульс синхронизации генерируется ведущим. Передатчик опускает линию SDA из ВЫСОКОГО состояния в НИЗКОЕ в течение всего ВЫСОКОГО состояния линии SCL. Когда ведомый не может подтвердить свой адрес, линия данных должна быть оставлена в высоком состоянии. После этого ведущий может выдать сигнал СТОП, чтобы прервать передачу данных. Для формирования сигнала СТОП, ведущий устанавливает состояние линии SDA из низкого в высокое при высоком состоянии SCL. После фиксации состояния СТОП шина считается освободившейся через некоторое время.

После бита подтверждения начинается передача адреса регистра данных, который записывается в регистр указателя адреса. Адрес регистра указателя составляет 8 бит. За ним следует бит подтверждения.

После того, как подтвердился адрес регистра данных, начинается передача данных размером в 8 бит. За этими битами следует бит подтверждения, затем устанавливается состояние СТОП(линия SDA переходит из высокого состояния в низкое при высоком состоянии SCL).

Для того, чтобы записать 2 байта данных, необходимо регистр адреса данных старшего байта записать в регистр указателя адреса в качестве автоматического приращения указателя адреса к значению адреса температуры младшего байта.

Считывание данных требует однобайтовые операции записи в регистр указателя адреса, чтоб настроить адрес регистра, с которого собираемся считывать. Сначала передается адрес шины (7бит), 8-ой бит чтения/записи (R/W, SDA в низком состоянии) и затем 9-й бит подтверждения(SDA в низком состоянии). Формируется повторный СТАРТ и происходит считывание с датчика (передается адрес шины 7 бит и бит R/W=1),бит подтверждения, старший байт, бит подтверждения, младший байт. Последний бит – бит неподтверждения. В пересылке участвует ведущий-приемник, который должен сообщить об окончании передачи ведомому путем неподтверждения последнего бита. При этом ведомый-передатчик должен освободить линию данных для того, чтоб позволить ведущему выдать сигнал СТОП или повторный сигнал СТАРТ. Чтоб сформировать сигнал СТОП, нужно изменить состояние линии SDA из низкого в высокое при высоком состоянии SCL.

3. Температурный датчик ADT7410

3.1. Общие сведения

В качестве исследуемого объекта в лабораторной работе используется температурный датчик ADT7410.

ADT7410 – точные датчики температуры с цифровым выходом сочетают в себе температурный датчик и сигма-дельта АЦП.

- Измеряют температуру в пределах $-55^{\circ}\text{C} \dots +150^{\circ}\text{C}$;
 - По умолчанию разрешение АЦП составляет 13 разр. (0.06°C по температуре), может быть переключено на 16 разрядов (0.0078°C по температуре);
 - Точность составляет $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ в диапазоне $-40^{\circ}\text{C} \dots +105^{\circ}\text{C}$ или $\pm 0.7^{\circ}\text{C}$ в диапазоне $-55^{\circ}\text{C} \dots +150^{\circ}\text{C}$;
 - Выходы с открытым стоком CT и INT, могут работать в режиме компаратора или как источник прерывания. CT активируется, когда температура превышает заданный порог, INT активируется, когда температура выходит за заданные пределы;
 - Обмен данными и управление осуществляется посредством интерфейса I²C;
 - Напряжение питания 2.7...5.5 В;
 - В рабочем режиме потребляет 210мкА, и 2 мкА в «спящем» режиме;
- Рассмотрим функциональную блок-схему датчика.

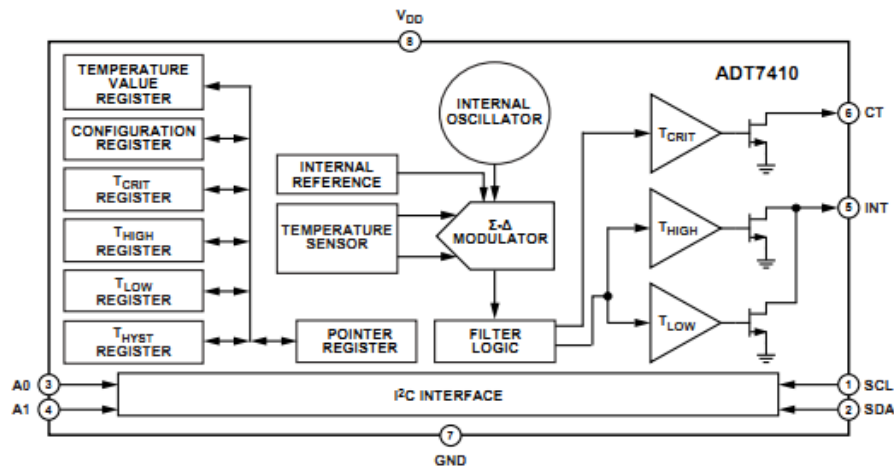


Рис. 3. 1. Функциональная блок-схема.

- Temperature Register Value – регистр значения температуры;
- Configuration Register – регистр конфигурации;
- T_{CRIT}Register – регистр критического значения температуры;
- T_{HIGH}Register – регистр значения высокой температуры;
- T_{LOW}Register – регистр низкого значения температуры;
- Temperaturesensor – датчик температуры;
- Filterlogic – логический фильтр;
- PointerRegister – регистр указателя;
- Σ-Δ Modulator – Сигма-дельта модулятор;

SMBus/ I²C Interface – Шина данных I²C интерфейса

Выводы A0 и A1 предназначены для выбора адресов. У датчиков ADT7410 есть четыре возможных адреса I²C. Контактный СТ - открытым сток, который становится активным, когда температура превышает критический предел программируемой температуры. По умолчанию критический предел температуры 147 °С. INT также контактный выход с открытым стоком, который активируется, когда температура превышает программируемый предел.

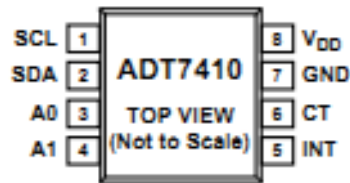


Рис. 3.2. Конфигурация выводов

Таблица 3.1.

№ Порта	Обозначение	Описание
1	SCL	I ² C последовательный входной счетчик. Он регистрирует время ввода и вывода данных в любом регистре ADT7410
2	SDA	I ² C последовательный ввод/вывод данных.
3	A ₀	Логический порт выбора адреса. Чтобы установить адрес необходимо соединится GND или V _{DD}
4	A ₁	Логический порт выбора адреса. Чтобы установить адрес необходимо соединится GND или V _{DD}
5	INT	Индикатор низкой и высокой температуры (10 кОм)
6	CT	Индикатор критической температуры. Логический вывод (Сопротивление 10 кОм)

7	GND	Заземление
8	V _{DD}	Напряжение питания

3.2. Описание схемы устройства

На плате температурный датчик генерирует напряжение пропорциональное абсолютной температуре, которая сравнивается с внутренним напряжением и поступает на цифровой модулятор.

Плата температурного датчика обладает хорошей точностью, обеспечивает линейность характеристик во всем температурном диапазоне, без необходимости калибровки датчика пользователем.

Выходной сигнал датчика переводится в цифровую форму с помощью сигма-дельта модулятора, так же известного как АЦП. Этот тип преобразователя использует дискретизацию временных интервалов и высокоточный компаратор, предоставляющий 16-битное разрешение в очень компактной схеме.

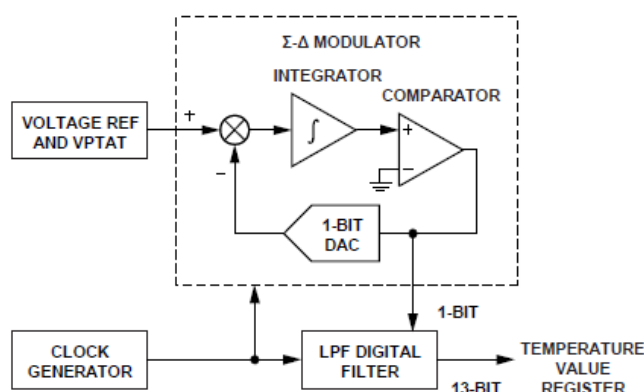


Рис. 3.3. Σ-Δ модулятор

3.3. Измерение температуры

В обычном режиме ADT 7410 автоматически управляет преобразовательной последовательностью. Процесс преобразования занимает 240 мс. Это означает, что как только одно температурное преобразование закончено, начинается другое. Каждый результат преобразований сохраняется в регистре значения температуры.

В режиме повышенного потребления энергии (вкл. электропитание) первое преобразование происходит быстрее всех, занимая при этом 6 мс.

Если температура превышает критическое значение +147°C, тогда порт СТ устанавливает низкий уровень температуры.

Если температура выше +64°C, то порт INT устанавливает низкий уровень температуры.

Измеренное значение температуры сравнивают с предельным значением (сохраненным в 16-битном регистре T_{CRIT}), со значением высокой температуры (сохраненным в 16-битном регистре T_{HIGH}) и со значением низкой температуры (сохраненным в 16-битном регистре T_{LOW}).

Если измеряемое значение превышает данные ограничения, активизируется INT порт. Если значение превышает T_{CRIT}

Порты CT и INT спрограммированы для перехода к режиму прерывания.

Одноразовый режим работы ADT7410

При использовании одноразового режима ИМС ADT7410 закончив преобразование, переходит в режим завершения работы. Данный режим используется, когда одним из приоритетов проектирования схемы – это уменьшение энергопотребления.

Чтобы перейти в одноразовый режим преобразования необходимо установить [6:5] биты из регистра конфигурации (адрес регистра 0x03) к 01.

После включения одноразового режима необходимо подождать по крайней мере 240 мс, прежде чем считывать температуры с регистра значений температуры.

Для получения обновленного преобразования температуры необходимо обнулить биты [6:5] конфигурационного регистра (Адрес регистра 0x03) на 01.

1-SPS режим

В этом режиме происходит одно измерение в секунду. Преобразование занимает всего 60 мс, и оно остается в нерабочем состоянии в течение 940 мс. Этот режим позволяет записать от 1 по 6 бит и от 0 по 5 бит в регистре конфигурации (адрес регистра 0x03).

3.4. Регистры

ADT7410 содержит 14 регистров:

- девять регистров температуры
- регистр состояния
- ID(идентификационный) регистр
- регистр конфигурации
- регистр адресного указателя
- программный сброс

Все регистры восемь бит. Значение температуры регистров, регистр состояния и регистр ID доступны только для чтения. Программный сброс только для записи реги

стра. При включении питания регистр указателя адреса загружается с 0x00 и указывает на температурное значение регистра MSB(старшего бита).

Таблица 3.2. ADT7410 регистры

Адрес регистра	Цифровой выход (двоичный) биты [15:03]	Цифровой выход (Hex)
0x00	Старший байт значение температуры	0x00
0x01	Значение температуры младший байт	0x00
0x02	Статус	0x00
0x03	Конфигурация	0x00
0x04	старший байт заданного значения THIGH	0x20 (64 ° C)
0x05	младший байт заданного значения THIGH	0x00 (64 ° C)
0x06	старший байт заданного значения TLOW	0x05 (10 ° C)
0x07	младший байт заданного значения TLOW	0x00 (10 ° C)
0x08	старший байт заданного значения TCRIT	0x49 (147 ° C)
0x09	младший байт TCRIT	0x80 (147 ° C)
0x0A	заданное значение THYST	0x05 (5 ° C)
0x0B	ID(идентификационный регистр)	0xCX
0x2F	Программный сброс	0xFF

Регистр адресного указателя

Этот регистр всегда является первым регистром, записываемым во время записи в ADT7410. Он должен быть установлен в адрес регистра, которому предназначается транзакция чтения или записи. В таблице 3.2. показаны адреса регистра каждого регистра на ADT7410. По умолчанию значение регистра указателя адреса 0x00

Таблица 3.2.

P7	P6	P5	P4	P3	P2	P1	P0
ADD7	ADD6	ADD5	ADD4	ADD3	ADD2	ADD1	ADD0

Значение температуры РЕГИСТРОВ

Регистры температурных значений наиболее значимого байта (MSB) и значения температуры наименее значимого байта (LSB) сохраняют температуру, измеренную встроенным температурным датчиком. Температура сохраняется в формате дополнительного кода с MSB, являющимся знаковым температурным битом. При чтении из этих регистров, восемь старших битов (биты от 7 до 15 бит) считываются первым с адресного регистра 0x00, а затем восемь младших разрядов (биты с 0 по 7) считываются из 0x01 Регистр адреса. Только значение температуры наиболее значимого байта (Адресного регистра 0x00) должен быть загружен в регистр указателя адреса в качестве автоматического приращения указателя адреса к значению температуры младшего байта адреса (Адрес регистра 0x01).

Биты 0-2 являются флаги тревожного события для Tcrit, THIGH и TLOW. Когда АЦП сконфигурирован для преобразования температуры до 16-битного цифрового значения, то биты 0 2 больше не используется в качестве флага битов и вместо этого они используются, как менее значащие биты для расширенного цифрового значения.

Регистр заданных THIGH ЗНАЧЕНИЙ

Регистры установленного значения старшего бита THIGH и установленного значения младшего бита LSB THIGH хранят предельное значение перегрева. Перегрев происходит, когда температурное значение, хранящееся в регистре значения температур, превышает значение, хранящееся в этом регистре. Активируется INT, если произошел перегрев. Температуры сохраняются в формате дополнительного кода с MSB, являющимся битом знака температуры.

При чтении из этого регистра, восемь старших (Бит 15 до Бит 8) считываются первыми из регистра адреса 0x04, а затем восемь младших разрядов (бит 7 в бит 0)

считываются из адреса регистра 0x05. Только Адрес регистра 0x04 (установленное значение THIGH MSB) должен быть загружен в регистр указателя адреса в качестве адреса указателя автоматического приращения к адресу регистра 0x05 (LSB THIGH заданное значение).

Значение по умолчанию для установленного значения THIGH составляет 64 ° C.

Регистр установленного значения Tlow.

Регистры TLOW заданного значения MSB и LSB TLOW заданного значения хранят значение предельного переохлаждения. Переохлаждение происходит, когда значение температуры, сохраненное в регистре значения температуры меньше, чем значение, сохраненное в этом регистре. INT контактный активируется, если происходит переохлаждение. Температура сохраняется в формате дополнения до двух с MSB являющимся битом знака температуры.

При чтении из этого регистра, восемь старших (Бит 15 до Бит 8) считываются из регистра первого Адрес 0x06, а затем восемь младших разрядов (бит 7 в бит 0) считываются из 0x07 Адрес регистра. Только адресный регистр 0x06 (TLOW уставки MSB) должен быть загружен в регистр адресного указателя в качестве указателя адреса автоматического приращения Адреса регистра 0x07 (TLOW установленного значения LSB).

Значение установленное по умолчанию для TLOW 10 ° C.

Регистр установленного значения Tcrit.

Регистры Tcrit заданного значения MSB и установленное значение LSB Tcrit хранят критическое предельное значение перегрева. Критический перегрев происходит тогда, когда значение температуры, хранящееся в регистре значения температуры, превышает значение, хранящееся в этом регистре. Контактный СТ активируется, если происходит критический перегрев.

При чтении из этого регистра, восемь старших (Бит 15 до Бит 8) считываются из регистра первого Адрес 0x08, а затем восемь младших разрядов (бит 7 в бит 0) считываются из 0x09 Адрес регистра. Только адресный регистр 0x08 (Tcrit уставки MSB) должен быть загружен в адресный указатель в качестве указателя адреса автоматического приращения Адреса регистра 0x09 (Tcrit уставки LSB).

Значение по умолчанию для T_{crit} предел составляет $147^{\circ}C$.

THYST РЕГИСТР

Этот 8-разрядный регистр чтения / записи сохраняет предельные значения температурного гистерезиса для THIGH, TLOW и T_{crit} температур. Значение температурного гистерезиса хранится в двоичном формате, используя четыре младших разряда. Приращения возможны с шагом $1^{\circ}C$ от 0°

С до $15^{\circ}C$. Значение в этом регистре вычитается из значений THIGH и T_{crit} и прибавляется к значению TLOW для реализации гистерезиса.

3.5. Запись данных

Можно записать либо один байт данных или два байта ADT7410, в зависимости от того, какие регистры должны записываться.

Запись одного байта данных требует адреса последовательной шины, адреса регистра данных, записанного в регистр указателя адреса, следуя за байтом данных, записанный в выбранный регистр данных. Это показано на рисунке 15.

Для установленных значений THIGH, TLOW и T_{crit} регистров, можно записать как обоим регистрам старших и младших битов(MSB и LSB) в той же транзакции записи. Запись двух байтов данных в этом регистре требует адреса последовательной шины, регистра адреса данных MSB регистра, записанного в регистр указатель адреса, следующими за двумя байтами данных, записанными в выбранный регистр данных. Это показано на рисунке 16.

Если более чем необходимое количество байт данных записывается в регистр, регистр игнорирует эти дополнительные байты данных. Для записи в другой регистр, требуется начало или повторный старт

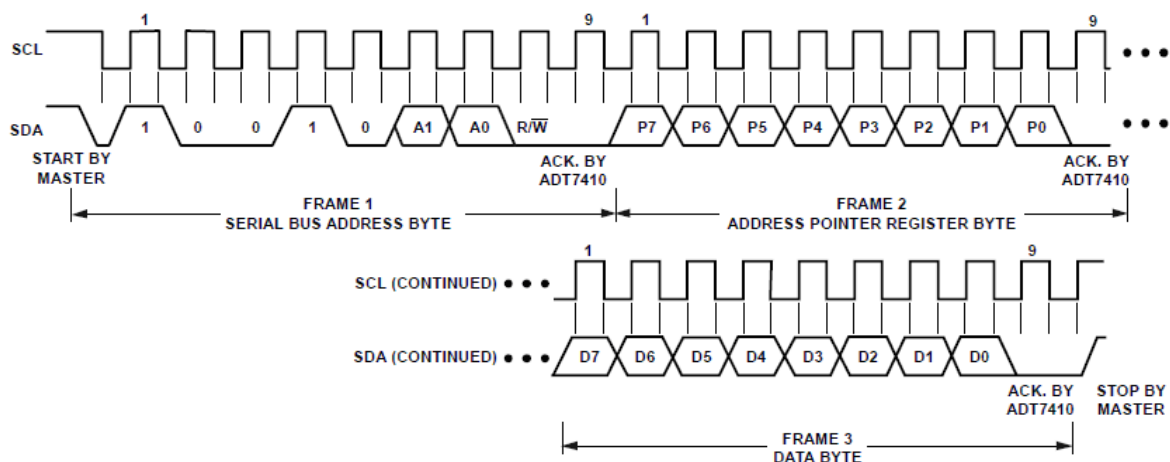


Рис. 3.4. Запись данных в регистры 1

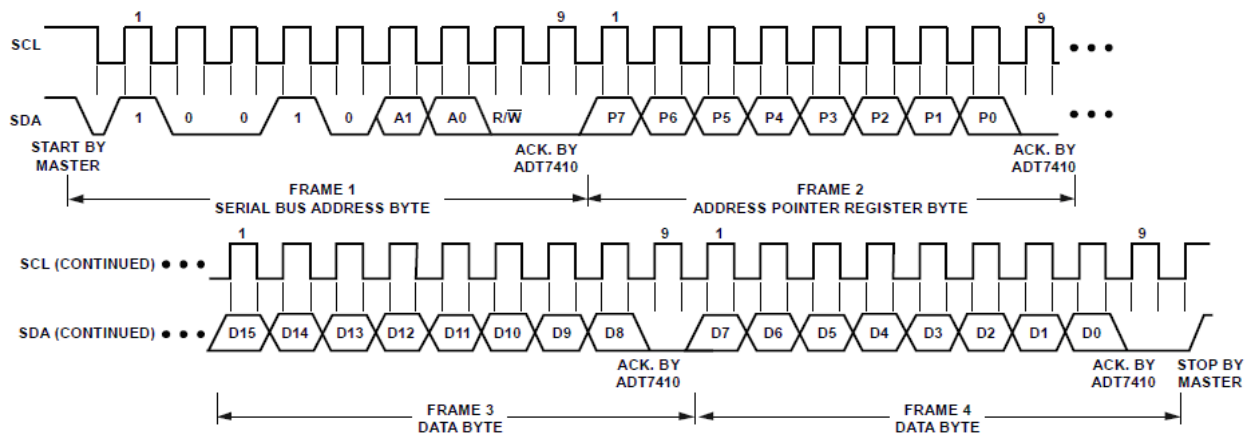


Рис. 3.5. Запись данных в регистры 2

3.6. Чтение данных

Чтение данных из ADT7410 делается в один байт данных операций для регистра конфигурации, регистра состояния, THYST регистра и регистра идентификатора. Операция чтения в два байта данных необходима для регистра значение температуры для установленных THIGH TLOW и Tcrit регистров. Обратное чтение содержания 8-битный регистр похоже на регистр конфигурации, показанный на рисунке 17. Чтение содержимого регистра значения температуры показано на рисунке 18.

Считывание данных с любого регистра в первую очередь требует однобайтовые операция записи в регистр указателя адреса, чтобы настроить адрес регистра, который должен быть считан. При считывании данных с 2-байтовых регистров, адресный указатель автоматически увеличивается с адреса регистра MSB до адреса регистра.

Для чтения из другого регистра, необходимо выполнить другую запись по регистру указания адреса, чтобы создать соответствующий адрес регистра. Если регистр указания адреса ранее был создан с адресом регистра, который собирается получать команды чтения, нет необходимости повторять операции записи для новой настройки адреса регистра.

3.7. Сброс

Для сброса ADT7410 без необходимости перезапуска всей шины I2C, предоставляется явная команда сброса. При этом используется то или иное слово указателя адреса в качестве командного слова для сброса части и загрузки всех настроек по умолчанию. ADT7410 не реагирует на команды шины I2C (не признает) в течение загрузки значения около 200 мкс.

Слово сброса адрес команды 0x2F.

3.8. Общий вызов

Когда ведущий выдает адрес ведомого устройства, состоящего из семи 0-ей с установленным восьмым битом (R / W бит), установленным в 0, это известно как адрес общего вызова. Адрес общего вызова служит для адресации каждого устройства, подключенного к шине I2C. ADT7410 признает этот адрес и считывает следующий байт данных.

Если второй байт 0x06, ADT7410 сбрасывается, полностью загрузив все значения по умолчанию. ADT7410 не реагирует на команды шины I2C (не признают), тогда как значения по умолчанию для загрузки около 200 мкс.

ADT7410 не признает любые другие общие команды вызова.

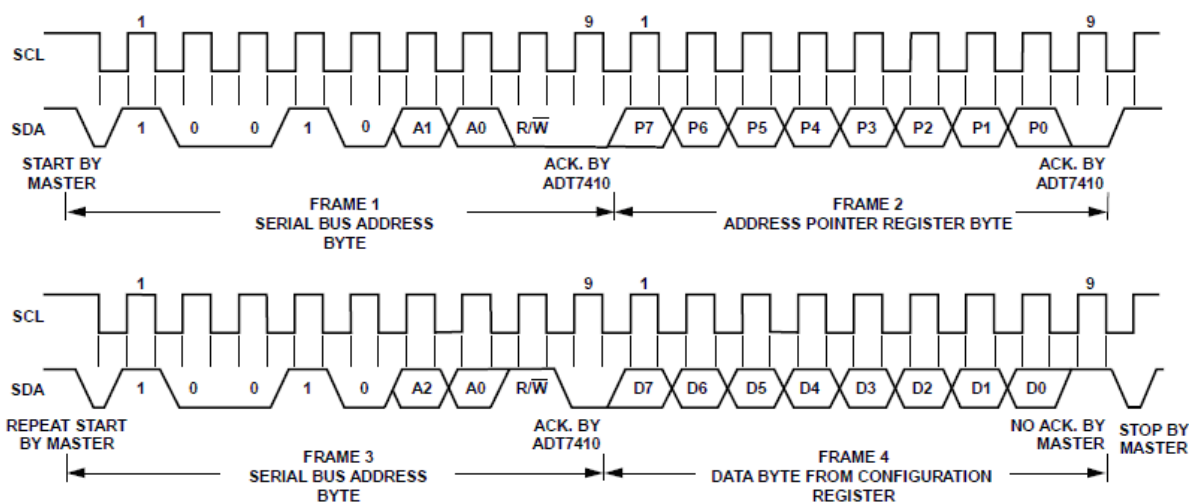


Рис. 3.5. Чтение данных с указанием адреса

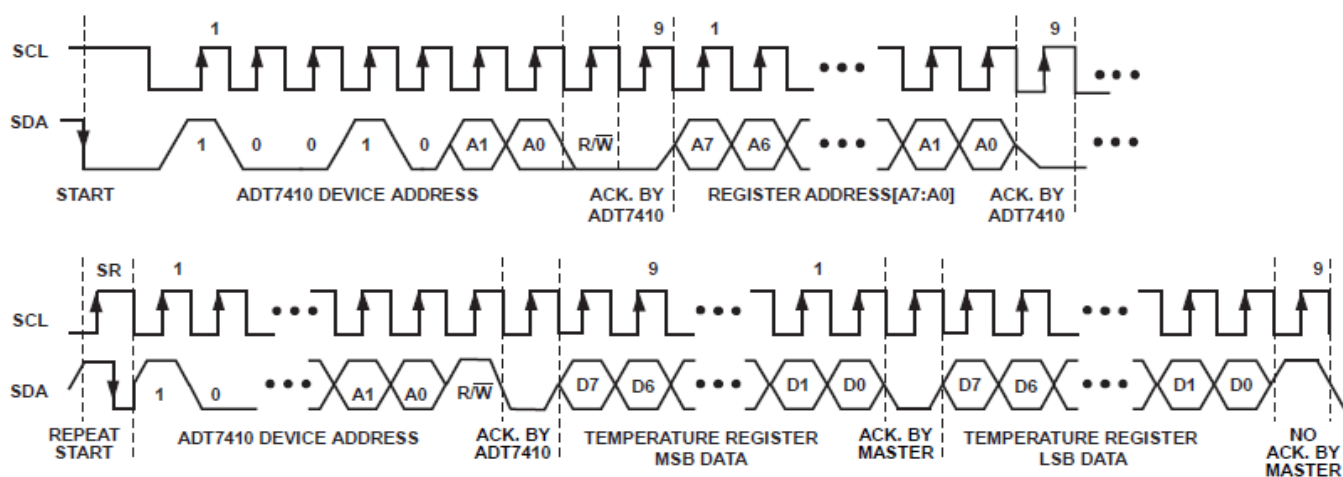


Рис. 3.6. Чтение значений температурных регистров.

INT и СТ ВЫХОДЫ

INT и СТ контакты - выходы с открытым стоком, выводам требуется 10 кОм резистор к VDD(питанию).

ОБНАРУЖЕНИЕ Переохлаждение и перегрева

INT и СТ выводы имеют два режима переохлаждения / перегрева: режим компаратора и режим прерывания. Режим прерывания является режимом перегрева питания по умолчанию. INT контактный выход активируется при температуре выше, чем температура, сохраненная в THIGH регистре, или меньше, чем температура, сохраненная в TLOW регистре. Как этот вывод реагирует после этого события, зависит от выбранного режима перегрева.

3.9. Режим компаратора

В режиме компаратора, INT возвращает контакт с его неактивное состояние, когда температура падает ниже предела THIGH - THYST предела или поднимается выше предела TLOW+THYST.

Установка ADT7410 в режим сброса не сбрасывает состояние INT в режиме компаратора.

Режим прерывания.

В режиме прерывания, контакт INT становится опять неактивным, когда читается любой из ADT7410 регистров. После сброса контакта INT, он становится снова активным только тогда, когда температура выше, чем сохраненная температура в заданном значении THIGH регистра или меньше, чем температура сохраненная в заданном значении TLOW регистра.

Размещение ADT7410 в режиме отключения сбрасывает контакт INT в режим прерываний.

Алгоритм протокола обмена с датчиком ADT7410:

- Обе линии SDA и SCL устанавливаем в высокое состояние и проверяем. Если состояние обеих линий соответствует заданному нами, то можно приступить к дальнейшим действиям, а если хоть одна из линий находится в низком состоянии, то нужно отключить схему, тщательно всё проверить и устранить неисправность.

- Ведущий должен сформировать состояние СТАРТ, т.е. сгенерировать переход линии SDA из высокого положения в низкое при высоком положении SCL. Это воспринимается всеми устройствами, подключенными к шине, как признак начала процедуры обмена. После состояния СТАРТ шина остается занятой.

Ведущий при передаче генерирует свой синхросигнал.

- После формирования состояния СТАРТ ведущий опускает состояние линии SCL в низкое состояние и выставляет на линию SDA старший бит первого байта. Количество байт в сообщении не ограничено.

Необходимо записать данные, а затем уже считывать их

- Запись данных проходит следующим образом. Сначала необходимо передать адрес последовательной шины, состоящий из 7 битов и имеющий структуру 1 0 0 1 0 A1 A0.

После 7-битного адреса шины идёт бит чтения/записи (R/W). Чтобы ведущий записал в ведомое устройство данные, необходимо переместить состояние линии SDA в низкое положение при высоком положении линии SCL.

- После этого бита идёт бит подтверждения (9-ый тактовый бит SCL). Подтверждение при передаче обязательно.

Соответствующий импульс синхронизации генерируется ведущим. Когда ведомый не может подтвердить свой адрес, линия данных должна быть оставлена в высоком состоянии.

- После этого ведущий может выдать сигнал СТОП, чтобы прервать передачу данных.

- Для формирования сигнала СТОП, ведущий изменяет состояние линии SDA из низкого в высокое при высоком состоянии SCL.

- После фиксации состояния СТОП шина считается освободившейся через некоторое время после фиксации.

- После бита подтверждения начинается передача адреса регистра данных, который записывается в регистр указателя адреса. Адрес регистра указателя составляет 8 бит. За ним следует бит подтверждения.

- После того, как подтвердился адрес регистра данных, передаются данные, (8 бит). За 8-ю битами данных следует бит подтверждения, затем состояние СТОП, (линия SDA переходит из высокого состояния в низкое при высоком состоянии SCL).

- Для того, чтоб записать 2 байта данных, необходимо регистр адреса данных старшего байта записать в регистр указателя адреса в качестве автоматического приращения указателя адреса к значению адреса температуры младшего байта.

- Считывание данных требует однобайтовые операции записи в регистр указателя адреса, чтобы настроить адрес регистра, с которого собираемся считать. Сначала идет передача адреса шины (7бит), 8-ой бит чтения/записи (R/W, SDA в низком состоянии) и затем 9-й бит подтверждения(SDA в низком состоянии).

- Формируется повторный СТАРТ и происходит считывание с датчика (передается адрес шины 7 бит и бит R/W=1),бит подтверждения, старший байт, бит подтверждения, младший байт.

- Последний бит – бит неподтверждения. В пересылке участвует ведущий-приемник, который должен сообщить об окончании передачи ведомому путем неподтверждения последнего бита. При этом ведомый-передатчик должен освободить линию данных для того, чтоб позволить ведущему выдать сигнал СТОП или повторный сигнал СТАРТ.

- Чтоб сформировать сигнал СТОП, нужно изменить состояние линии SDA из низкого в высокое при высоком состоянии SCL.

4. Описание лабораторной установки

Стенд для исследования интерфейса I2C состоит из лабораторного макета и компьютера с программой. Лабораторный макет выполнен на базе отладочного комплекса STM32F0-Discovery.



Рис.5.1. Макет «исследования интерфейса I2C».

Микропроцессор STM32F051 отладочного комплекса подключен к компьютеру через порт RS-232 и работает под управлением программы. По командам компьютера микропроцессор устанавливает на шинах интерфейса уровни, соответствующие логическим «нулям»/«единицам», либо считывает их состояние.

Внешний вид программы представлен на Рисунке 5.2.

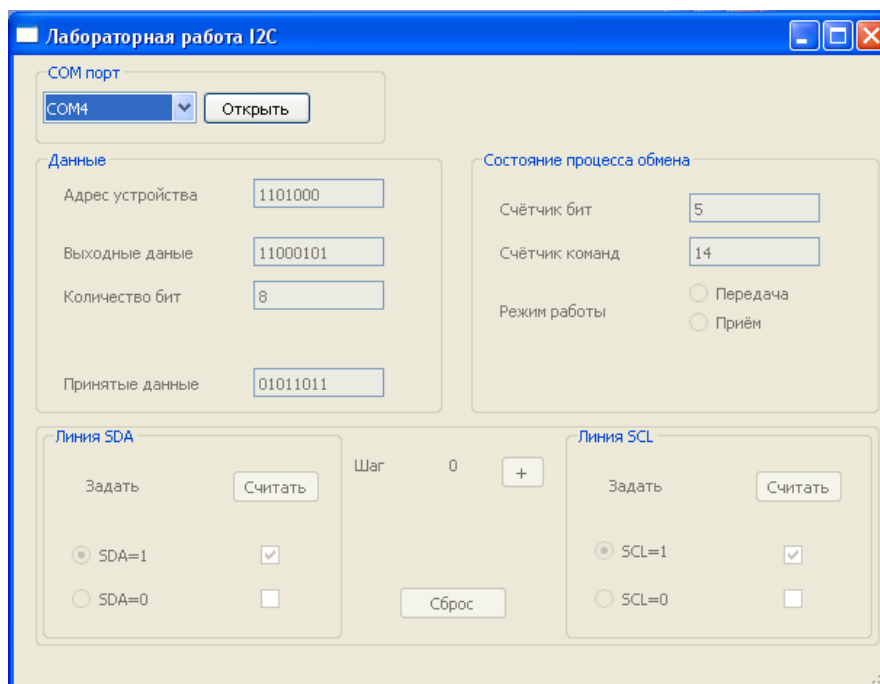
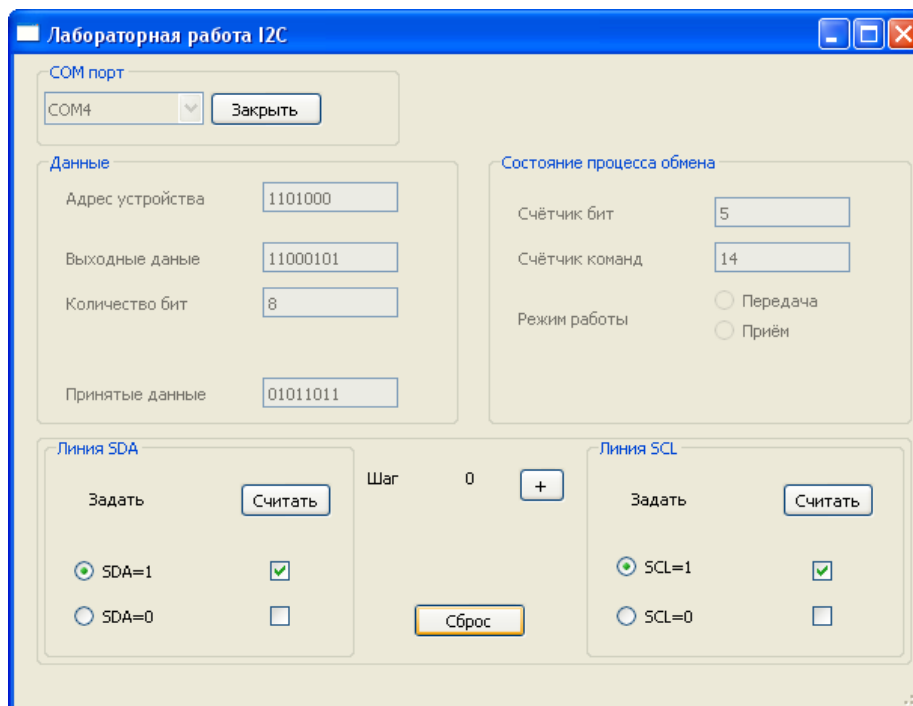


Рис.5.2. Окно программы «исследования интерфейса I2C».

5. Программа работы

- 5.1. Подключить макет к компьютеру USB-портам разъёмы 1 и 2.
- 5.2. Подключить плату термометра ADT7410 к разъёму 3.
- 5.3. Включить программу LABI2C.exe.
- 5.4. Выбрать из списка портов порт COM4 и нажать кнопку «Открыть».
- 5.5. Нажать кнопку СБРОС.

Программа и устройство готовы к работе. При этом окно программы выглядит следующим образом:



В окне программы имеются две панели, - Линия SDA и линия SCL.

В каждой панели расположены кнопки установки уровней в линиях, - SDA=1/0 и SCL=1/0 и кнопки считывания состояния линий СЧИТАТЬ. При нажатии кнопки



СЧИТАТЬ устанавливается указатель, показывающий состояние линии:

Также в программе имеется счётчик шагов, позволяющий контролировать текущий ход процедуры обмена данными. Счётчик переключается вручную кнопкой + и обнуляется при нажатии кнопки СБРОС.

5.6. Для начала работы по линии необходимо выполнить процедуру СТАРТ. Для этого задать уровень Логический 0 на линии SDA, нажав кнопку SDA=0. При этом уровень на линии SCL должен оставаться высоким.

5.7. Проверить состояние линий SDA и SCL, нажав кнопки СЧИТАТЬ на панелях линий. Указатель состояния линии SDA должен установиться в положение Логический 0, а указатель линии SCL должен остаться в высоком положении. Это означает, что процедура СТАРТ проведена.

5.8. Установить линию SCL в низкое состояние.

5.9. Передать датчику температуры 7 бит адреса шины: **1001001**, начиная со старшего бита, затем передать бит чтения 0. При этом необходимо смену бит линии данных SDA проводить при низком состоянии линии SCL, а для передачи каждого бита переключать состояние линии SCL в состояние 1 и обратно, - в состояние 0.

5.10. Принять бит подтверждения приёма данных, переключив линию SCL в состояние 1 и обратно, - в состояние 0. Подтверждение приёма данных осуществляется нулевым уровнем линии SDA.

5.11. Если бит подтверждения не принят, то необходимо осуществить команду СТОП и повторить процесс сначала.

5.12. В соответствии с п.п. 5.9., 5.10., считать с датчика температуры 8 бит данных температуры:

5.12. Повторить пункты 5.9., 5.10., 5.11. и принять младший байт значения температуры.

5.12 Преобразовать двоичное значение температуры в десятичное.

5.12. Выключить программу.

6. Контрольные вопросы:

6.1. Как сформировать сигналы СТАРТ и СТОП?

6.2. При каком уровне на линии SCL можно менять состояние линии SDA?

6.3. Как принять бит данных?

6.4. Как передать признак ЗАПИСИ/Чтения?

6.5. Какой режим преобразования по умолчанию в датчике температуры?

6.6. Какой адрес записан в регистре адресов датчика температуры по умолчанию?

6.7. Почему возможна работа по шине интерфейса в ручном режиме?

7. Список рекомендуемой литературы

1. http://www.itt-ltd.com/reference/ref_i2c.html - описание шины I2C

2. <http://www.analog.com/ru/mems-sensors/digital-temperature-sensors/adt7410/products/product.html> - датчик ADT7410