

Программная реализация I²C интерфейса (режим ведущего)

Статья основывается на технической документации DS00554c
компании Microchip Technology Incorporated, USA.

**© ООО «Микро-Чип»
Москва - 2001**

Распространяется бесплатно.
Полное или частичное воспроизведение материала допускается только с письменного разрешения
ООО «Микро-Чип»
тел. (095) 737-7545
www.microchip.ru

Программная реализация I²C интерфейса (ведущий режим)

Статья основывается на технической документации DS00554c компании Microchip Technology Incorporated, USA.

В статье описывается программная реализация I²C интерфейса в режиме ведущего для семейства микроконтроллеров PIC16CXXX без использования аппаратной поддержки модуля SSP.

Краткое описание шины I²C можно прочитать в статье «Краткий обзор интерфейса I²C», за более детальной информацией обратитесь к документу №939839340011 «The I²C bus and how to use it» корпорации Philips.

На последовательной двухпроводной шине I²C может быть несколько ведущих и ведомых устройств, соединенных друг с другом. Тактовый сигнал (линия SCL) формируется ведущим устройством, второй сигнал - данные (реверсивная линия SDA). Активным считается низкий логический уровень сигнала на линии, высокий (пассивный) уровень формируется подтягивающими резисторами.

Протокол шины I²C позволяет обнаруживать конфликты, синхронизировать тактовый сигнал, получать подтверждения о приеме данных.

В большинстве систем микроконтроллер является ведущим устройством, а периферийные внешние устройства - ведомыми. Если это так, Вы можете использовать этот пример в своих разработках.

Режим конкуренции (несколько ведущих на шине) сложно реализовать программно с выполнением всех требований спецификации I²C без использования аппаратной поддержки (распознавание битов START, STOP и др.).

Для работы с шиной I²C используются макрокоманды (подпрограммы) высокого уровня, описанные ниже. Как пример, испытательная программа для работы с двумя микросхемами EEPROM 24LC04 и 24LC01.

Работа с подпрограммами

Программное обеспечение работы с шиной I²C делится на два уровня. Подпрограммы низкого уровня (файл i2c_low.asm) и подпрограммы высокого уровня (файл i2c_high.asm) (см. тексты подпрограмм в файле 00554.zip).

Ниже приведены принятые сокращения:

- S – условие START
- P – условие STOP
- SivAR – адрес ведомого (операция чтения)
- SivAW – адрес ведомого (операция записи)
- A – условие подтверждения (позитивное ACK)
- N – условие подтверждения (негативное NACK)
- D – байт данных, D[0] первый байт, D[1] второй байт

Формат команды

В подпрограммах высокого уровня поддерживаются основные структуры сообщений. Каждое ведомое устройство поддерживает одну или несколько структур сообщений. Например, микросхема 24LC04 поддерживает следующее сообщение (чтобы записать байт в счетчик текущего адреса) S-SivAW-A-D-A-P, что вызовет следующую последовательность действий:

- выполнить команду START
- передать адрес ведомого
- ожидать подтверждения
- передать байт данных
- ожидать подтверждение
- выполнить команду STOP

Адрес ведомого

Поддерживается 7 и 10-разрядная адресация согласно спецификации на шину I²C. Перед использованием подпрограмм должен быть загружен адрес ведомого устройства, используя макрокоманды LOAD_ADDR_8 для 7-разрядной адресации и LOAD_ADDR_10 для 10-разрядной адресации устройств. Эти макрокоманды не только загружают адрес, но также включают нужный формат адресации (см. описание макрокоманд).

Удержание линии SCL

Тактовый сигнал на линии SCL всегда формирует ведущее устройство, но ведомый может удерживать его в низком уровне, указывая ведущему устройству в необходимости ожидания. Ведущее устройство должно проверять это условие и ожидать, когда ведомый отпустит линию SCL. Проверку удержания линии SCL можно включить/выключить установкой/сбросом бита _ENABLE_BUS_FREE_TIME. Если удержание линии будет длиться более 1 мс, то возникнет прерывание TOCKI, указывающее на аварийную ситуацию.

Арбитраж

Функция арбитража необходима в системе с возможной конкуренцией устройств на шине I²C, поэтому в данном примере не рассматривается.

Аппаратные средства

Для работы с шиной I²C используются два вывода: тактовый сигнал SCL и сигнал данных SDA (в примере SCL – RB1, SDA – RB0).

Используемые порты ввода/вывода настраиваются при инициализации как входы (с третьем состоянием вывода), а в выходную защелку записывается ноль. Для формирования на линии сигнала низкого уровня соответствующий вывод настраивается как выход.

Регистры стояния и управления шины I2C

Регистр состояния Bus_Status

Бит 0: *_Bus_Busy*

- 1 = выполнена команда START
- 0 = условие STOP

Бит 1: *_Abort*

- Если этот бит установлен, произошла фатальная ошибка, линия SCL удерживалась слишком долго. Сбрасывается программно.

Бит 2: *_Txmt_Progress*

- 1 = выполняется передача данных

Бит 3: *_Rcv_Progress*

- 1 = выполняется прием данных

Бит 4: *_Txmt_Success*

- 1 = передача данных завершена
- 0 = произошла ошибка

Бит 5: *_Rcv_Success*

- 1 = прием данных завершен
- 0 = произошла ошибка

Бит 6: *_Fatal_error*

- 1 = произошла фатальная ошибка (связь была прервана)

Бит 7: *_ACK_error*

- 1 = не получено подтверждение от ведомого устройства

Управляющий регистр Bus_control

Биты этого регистра должны быть настроены программным обеспечением до выполнения действий на шине I²C. Некоторые подпрограммы высокого уровня изменяют биты этого регистра автоматически.

Бит 0: *_10BitAddr*

- 1 = 10-разрядная адресация
- 0 = 7-разрядная адресация

Бит 1: *_Slave_RW*

- 1 = операция чтения
- 0 = операция записи

Бит 2: *_Last_Byte_Rcv*

- 1 = последний принимаемый байт, подтверждение не выдается

Биты 3,4,5: не используются

Бит 6: *_SlaveActive*

- Указывает на наличие ведомого устройства на шине I²C, при использовании подпрограммы I2C_TEST_DEVICE

Бит 7: *_TIME_OUT_*

- Указывает на удержание линии I²C более 1 мс

Подпрограммы низкого уровня**InitI2Cbus_Master**

Первичная инициализация, настройка регистра статуса и управления, конфигурация линий SCL и SDA.

TxmtStartBit

Формирование на шине I²C бита START.

TxmtStopBit

Формирование на шине I²C бита STOP.

LOAD_ADDR_8

Загрузка 7-разрядного адреса ведомого устройства.

LOAD_ADDR_10

Загрузка 10-разрядного адреса ведомого устройства.

Txmt_Slave_Addr

Передача ведомого адреса в зависимости от последней выполненной команды LOAD_ADDR_8 или LOAD_ADDR_10, а также бита _Slave_RW.

SendData

Передача байта данных из регистра DataByte

GetData

Прием байта данных в регистр DataByte. Если бит _Last_Byte_Rcv установлен, то подтверждение не формируется.

Подпрограммы высокого уровня (макросы)

Подпрограммы высокого уровня вызывают подпрограммы низкого уровня, описанные предварительно. В большинстве случаев необходимо только часть подпрограмм высокого уровня, что позволяет сэкономить память микроконтроллера.

I2C_TEST_DEVICE**Параметры:**

Нет

Назначение:

Проверка наличия ведомого устройства на шине I²C

Описание:

Перед использованием этой команды необходимо загрузить адрес ведомого устройства по команде LOAD_ADDR_8 или LOAD_ADDR_10. Если устройство присутствует на шине, то будет установлен бит _SlaveActive в регистре Bus_Control

Сообщение:

S-SlVAV-A-P

Пример:

```
LOAD_ADDR_8      0xA0      ; адрес 24LC04
I2C_TEST_DEVICE
bffs             _SlaveActive
goto             SlaveNotPresent
```

I2C_WR

Параметры:

`_BYTES_`, `_SourcePointer`
`_BYTES` – количество передаваемых байт
`_SourcePointer` – адрес начала буфера в RAM

Назначение:

Передача блока данных

Описание:

Передаёт несколько байт (определяется параметром `_BYTES_`) в ведомое устройство, начиная с адреса `_SourcePointer`. При возникновении ошибки передача блока прекращается.

Сообщение:

S-SlvAW-A-D[0]-A...A-D[N-1]-A-P

Пример:

```
btfsc      _Bus_Busy
goto      $-1
LOAD_ADDR_8  _Slave_1_Addr
I2C_WR      0x09,DataBegin
```

I2C_WR_SUB

Параметры:

`_BYTES_`, `_SourcePointer_`, `_Sub_Adress_`
`_BYTES` – количество передаваемых байт
`_SourcePointer_` – адрес начала буфера в RAM
`_Sub_Adress_` - адрес в адресном пространстве ведомого устройства

Назначение:

Передача блока данных с указанием адреса в ведомом устройстве

Описание:

Передаёт несколько байт (определяется параметром `_BYTES_`) в ведомое устройство начиная с адреса `_Sub_Adress_` из ОЗУ с адреса `_SourcePointer_`. Используется для ведомых устройств, в которых поддерживается инкремент внутреннего адреса. При возникновении ошибки передача блока прекращается.

Сообщение:

S-SlvAW-A-SubA-A-D[0]-A...A-D[N-1]-A-P

Пример:

```
LOAD_ADDR_8  _Slave_1_Addr
I2C_WR_SUB   0x08,DataBegin+1,0x30
```

I2C_WR_SWING

Параметры:

`_BYTES_`, `_SourcePointer_`, `_Sub_Adress_`
`_BYTES` – количество передаваемых байт
`_SourcePointer_` – адрес начала буфера в RAM
`_Sub_Adress_` - адрес в адресном пространстве ведомого устройства

Назначение:

Передача блока данных с указанием адреса в ведомом устройстве

Описание:

Передаёт несколько байт (определяется параметром `_BYTES_`) в ведомое устройство начиная с адреса `_Sub_Adress_` из ОЗУ с адреса `_SourcePointer_`. Используется для ведомых устройств, в которых не поддерживается инкремент внутреннего адреса. При возникновении ошибки передача блока прекращается.

Сообщение:

S-SlvAW-A-(SubA+0)-A-D[0]-A-P
S-SlvAW-A-(SubA+1)-A-D[1]-A-P
и т.д.

I2C_WR_BYTE_MEM

Параметры:

`_BYTES_`, `_SourcePointer_`, `_Sub_Adress_`
`_BYTES` – количество передаваемых байт
`_SourcePointer_` – адрес начала буфера в RAM
`_Sub_Adress_` - адрес в адресном пространстве ведомого устройства

Назначение:

Передача блока данных с указанием адреса в ведомом устройстве

Описание:

Передаёт несколько байт (определяется параметром `_BYTES_`) в ведомое устройство начиная с адреса `_Sub_Adress_` из ОЗУ с адреса `_SourcePointer_`. Используется для ведомых устройств, в которых не поддерживается инкремент внутреннего адреса и требующие ожидания записи предыдущего байта. При возникновении ошибки передача блока прекращается.

Сообщение:

S-SlvAW-A-(SubA+0)-A-D[0]-A-P
 Ожидание 1мс
 S-SlvAW-A-(SubA+1)-A-D[1]-A-P
 Ожидание 1мс
 и т.д.

I2C_WR_BUF_MEM

Параметры:

`_BYTES_`, `_SourcePointer_`, `_Sub_Adress_`, `_Device_BUF_SIZE_`
`_BYTES` – количество передаваемых байт
`_SourcePointer_` – адрес начала буфера в RAM
`_Sub_Adress_` - адрес в адресном пространстве ведомого устройства
`_Device_BUF_SIZE_` - размер буфера в ведомом устройстве

Назначение:

Передача блока данных с указанием адреса в ведомом устройстве и размера буфера

Описание:

Передаёт несколько байт (определяется параметром `_BYTES_`) в ведомое устройство начиная с адреса `_Sub_Adress_` из ОЗУ с адреса `_SourcePointer_`. Используется для ведомых устройств, в которых поддерживается инкремент внутреннего адреса, с разбиением всего блока передаваемых данных на части соответствующие буферу ведомого устройства. При возникновении ошибки передача блока прекращается.

Сообщение:

Аналогично макросу `I2C_SUB_WR`, только с разбиением на несколько посылок в соответствии с размером буфера ведомого устройства.

I2C_READ

Параметры:

`_BYTES_`, `_DestPointer_`
`_BYTES` – количество принимаемых байт
`_DestPointer_` – адрес начала приемного буфера в RAM

Назначение:

Прием блока данных из ведомого устройства

Описание:

Принимает несколько байт (определяется параметром `_BYTES_`) из ведомого устройства и записывает в ОЗУ начиная с адреса `_DestPointer_`. При возникновении ошибки прием блока прекращается. При приеме последнего байта подтверждение не формируется.

Сообщение:

S-SlvAR-A-D[0]-A...A-D[N-1]-N-P

Пример:

```
LOAD_ADDR_10      _Slave_3_Addr
I2C_READ          8,DataBegin
bfss              _Rcv_Success
goto              ReceiveError
```

I2C_READ_SUB

Параметры:

BYTES, _DestPointer_, _Sub_Adress_
BYTES – количество принимаемых байт
DestPointer – адрес начала приемного буфера в RAM
_Sub_Adress_ - адрес в адресном пространстве ведомого устройства

Назначение:

Прием блока данных из ведомого устройства с указанного адреса

Описание:

Принимает несколько байт (определяется параметром _BYTES_) из ведомого устройства начиная с адреса _Sub_Adress_ и записывает в ОЗУ начиная с адреса _DestPointer_. При возникновении ошибки прием блока прекращается. При приеме последнего байта подтверждение не формируется.

Сообщение:

S-SlvAW-A-SubAddr-A-S-SlvAR-A-D[0]-A....A-D[N-1]-N-P

Пример:

LOAD_ADDR_10	<u>_Slave_3_Addr</u>
I2C_READ_SUB	8,DataBegin, 0x60
btfs	<u>_Rcv_Success</u>
goto	ReceiveError

I2C_READ_BYTE или I2C_READ_STATUS

Параметры:

DestPointer
DestPointer – адрес начала приемного буфера в RAM

Назначение:

Прием байта из ведомого устройства

Описание:

Принимает байт из ведомого устройства, и записывает в ОЗУ по адресу _DestPointer_. При возникновении ошибки прием прекращается.

Сообщение:

S-SlvAR-A-D-N-P

I2C_WR_SUB_WR

Параметры:

Bytes1, _SrcPtr1_, _Sub_Adress_, _Bytes2_, _SrcPtr2_
Bytes1 – количество передаваемых байт в первом блоке
SrcPtr1 – адрес начала буфера в RAM первого блока
SubAddr - адрес в адресном пространстве ведомого устройства
Bytes2 – количество передаваемых байт во втором блоке
SrcPtr2 – адрес начала буфера в RAM второго блока

Назначение:

Передача двух блоков данных в одном сообщении с указанием адреса в ведомом устройстве

Описание:

Передаёт два блока данных одним сообщением в ведомое устройство, начиная с адреса _SubAddr_, без использования команды STOP. При возникновении ошибки передача прекращается.

Сообщение:

S-SlvAW-A-SubA-A-D1[0]-A....A-D1[N-1]-A-D2[0]-A....A-D2[M-1]-A-P

I2C_WR_SUB_RD

Параметры:

Count1, _SrcPtr_, _Sub_Addr_, _Count2_, _DestPtr_
Count1 – количество передаваемых байт
SrcPtr – адрес начала буфера в RAM блока передачи
SubAddr - адрес в адресном пространстве ведомого устройства
Count2 – количество принимаемых байт
DestPtr – адрес начала приемного буфера в RAM

Назначение:

Передача и последующий прием блока данных в одном сообщении с указанием адреса в ведомом устройстве

Описание:

Передает _Count1_ байт данных в ведомое устройство начиная с адреса _SubAddr_ без использования команды STOP. Затем принимает _Count2_ байт. При возникновении ошибки обмен данными прекращается.

Сообщение:

S-SlvAW-A-SubA-A-D1[0]-A....A-D1[N-1]-A-S-SlvAR-A-D2[0]-A....A-D2[M-1]-N-P

I2C_WR_COM_WR

Параметры:

Count1, _SrcPtr1_, _Count2_, _SrcPtr2_
Count1 – количество передаваемых байт в первом блоке
SrcPtr1 – адрес начала буфера в RAM первого блока
Count2 – количество передаваемых байт во втором блоке
SrcPtr2 – адрес начала буфера в RAM второго блока

Назначение:

Передача двух блоков данных в одном сообщении в ведомое устройство

Описание:

Передает два блока данных одним сообщением без указания адреса в ведомом устройстве. При возникновении ошибки обмен данными прекращается. Может использоваться для управления LCD драйвером.

Сообщение:

S-SlvAW-A-D1[0]-A....A-D1[N-1]-A-D2[0]-A....A-D2[M-1]-A-P

Применение

I²C – простой в реализации двухпроводный интерфейс связи между микросхемами. Промышленностью выпускается большое количество микросхем управляемые по интерфейсу I²C (EEPROM, RTC, расширители портов ввода/вывода, ЖКИ, АЦП и т.д.). Некоторые микроконтроллеры семейства PIC16CXXX не имеют аппаратной поддержки интерфейса I²C, но из-за высокой производительности (250 нс при 16МГц) он может быть реализован программно.

Исходные тексты подпрограмм низкого и высокого уровней – 00554.zip

Статья основывается на технической документации DS00554c
компании Microchip Technology Incorporated, USA.