

92 Возможные варианты подключения устройств к шине USB

Ранние попытки создать работоспособное устройство, связывающее микроконтроллер с компьютером, у многих разработчиков окончились неудачей. Протокол обмена данными по USB сложен как со стороны аппаратных решений, так и со стороны программного обеспечения и реализовать его до недавнего времени было не под силу не только радиолюбителям, но и многим специалистам. В качестве доказательства можно отметить, что известная микросхема USBN9603/USBN9604 фирмы National Semiconductor имеет в своём составе около 50 регистров, которыми должен управлять микропроцессор для того, чтобы обеспечить связь с компьютером по USB. Программное обеспечение в этом случае должно использовать две библиотеки Hid.dll и Setupapi.dll с множеством функций, которые необходимо изучить достаточно подробно.

Сегодня, установив в разрабатываемом приборе микросхему FT232BM(AM) или FT245BM(AM), можно преобразовать USB порт в "виртуальный" последовательный или параллельный порт, обмен данными с которым ведут привычными, хорошо известными методами.

Вопросы организации полноценного узла USB выполняет микросхема на аппаратном уровне, а программное обеспечение для компьютера базируется на драйвере и одной динамической библиотеке с набором простых и достаточно прозрачных функций. Всё это можно свободно получить на сайте фирмы FTDI (<http://www.ftdichip.com/>).

После установки драйвера один из имеющихся USB портов исчезает из списка ОС, а на его месте появляется другой, последовательный (или параллельный - в зависимости от типа микросхемы), единственным отличием которого от оригинала является возможность установки неестественно высокой скорости.

Компания FTDI предлагает три микросхемы — преобразователи интерфейсов: USB — последовательный порт, USB — параллельный порт и USB Hub контроллер с расширенными периферийными функциями. Внешний вид первых двух представлен на рис. 1:

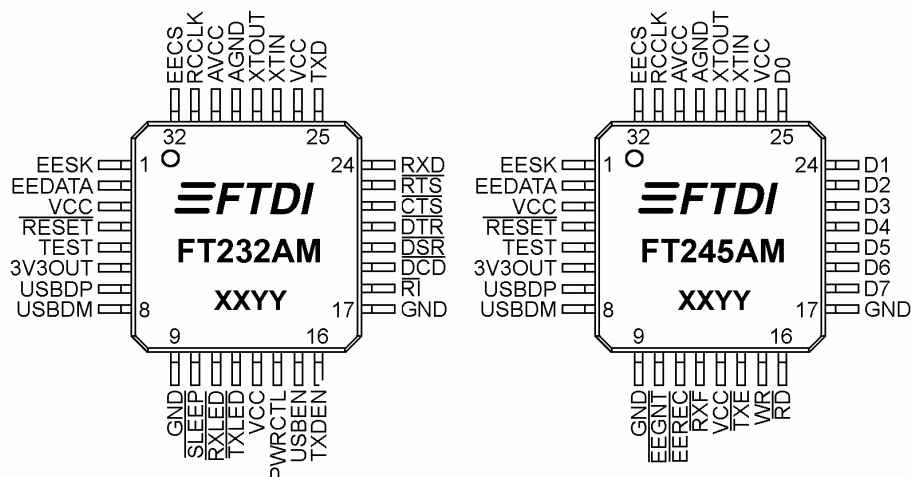


Рис.1 Внешний вид микросхем FT232BM(AM) и FT245BM(AM).

Первая микросхема это FT232BM(AM) — однокристалльный асинхронный двунаправленный преобразователь USB — последовательный интерфейс (RS232, RS422, RS485). FT232BM включает в себя USB приемопередатчик, UART контроллер и буферы, стабилизатор напряжения, умножитель частоты и другие функциональные узлы, которые делают ее готовым решением для быстрой и недорогой модернизации системы с COM портом для работы с USB интерфейсом.

FT232BM совместим со спецификациями USB 1.1 и USB 2.0 при скорости передачи до 12 Мбит в секунду (Full Speed) и поддерживает интерфейсы хост-контроллеров UHCI (Universal Host Controller Interface) Intel и OHCI (Open Host Controller Interface) Microsoft,

Compaq и новым EHCI (Enhanced Host Controller Interface) Intel. Поддерживается передача данных обычных и управляющих пакетов, передача прерываний и изохронных данных — пакетов передающихся на определенной скорости и не повторяющихся в случае сбоя, например аудио или видео данных.

Буфер передатчика USB составляет 128 байт, приемника — 384 байта с возможностью программирования таймаута по приему данных с периодом от 1 до 255 мс, что позволяет гибко настраивать быстродействие устройства при передаче коротких пакетов данных.

Включение в схему FT232BM требует минимального количества дополнительных внешних компонентов.

Встроенный стабилизатор напряжения подключается непосредственно к USB и обеспечивает питание 3,3В для USB — приемопередатчика и других узлов микросхемы. Кроме этого, стабилизатор имеет выход внешний нагрузки, для питания других компонентов на плате, требующих напряжение 3,3В и небольшой ток потребления (до 5 мА). Токи потребления FT232BM соответствуют требованиям спецификации USB устройств, питание которых осуществляется непосредственно от USB. Собственный ток потребления FT232BM в активном режиме работы не превышает 25 мА, а согласно спецификации USB — не более 100 мА. В режиме Suspend (приостановка) FT232BM потребляет не более 200 мкА (500 мкА по спецификации).

Как уже упоминалось, при питании от USB ток потребления не должен превышать 100 мА на одно устройство. Компоненты с током потребления более 100 мА должны подключаться через отдельный стабилизатор. Для управления питанием других компонентов схемы в FT232BM предусмотрен вывод "PWREN". "PWREN" подключается в затвор MOSFET ключа и с его помощью подключает и отключает питание компонентов схемы.

Встроенная схема формирования сигнала сброс генерирует импульс длительностью около 5 мс при превышении напряжением питания уровня 3,5 В. Сигнал сброса используется для внутренних цепей FT232BM и имеет дополнительно: вход "RESET" для принудительного сброса микросхемы преобразователя от внешнего устройства и выход "RSTOUT" для сброса других микросхем на плате.

Во время действия сигнала сброс выход "RSTOUT" находится в высокоимпедансном (Z) состоянии, а после окончания сброса на выводе "RSTOUT" устанавливается напряжение 3,3 В. Это позволяет использовать "RSTOUT" для подключения подтягивающего (pull-up) резистора на линию DP USB шины при необходимости применения задержанной эnumерации (задержки при подключении и идентификации устройства).

Кроме этого вход "RESET" может быть подключен к USB линии питания через резистивный делитель. В этом случае, при пропадании питания USB хоста или хаба на входе "RESET" будет низкий уровень, FT232BM перейдет в состояние сброса и выводы UART интерфейса перейдут в высокоимпедансное состояние.

FT232BM имеет встроенный интерфейс для подключения EEPROM памяти. Поддерживается 16-битная EEPROM с протоколом Microwire (например 93C46) и быстродействием не менее 1 МБит/с. EEPROM используется для хранения идентификационной информации устройства, когда это необходимо.

FT232BM может использоваться без EEPROM в том случае, если к хосту подключено только одно устройство. В этом случае (а также если EEPROM будет незапрограммирована) будут использоваться заданные по умолчанию идентификационные номера VID и PID USB, а серийный номер устройства будет отсутствовать.

При подключении к хосту нескольких устройств на базе FT232BM каждому из них назначается свой виртуальный COM порт, а серийные номера, VID и PID USB, строки с кратким описанием устройства должны быть предварительно запрограммированы в EEPROM. Программирование памяти осуществляется непосредственно в схеме по USB

интерфейсу с помощью специальной утилиты, которая можно скачать с сайта производителя.

FT232BM имеет встроенный умножитель частоты на базе ФАПЧ, который преобразовывает 6 МГц кварцевого генератора в 12 МГц опорный сигнал для USB контроллера и 48 МГц для цепи ФАПЧ USB приемопередатчика (USB DPLL) и тактового генератора UART. Генератор UART также имеет встроенный 14-битный делитель, позволяющий перестраивать частоту UART от 183 бод до 3Мбод. Максимальная скорость при работе с RS-232 составляет 1 Мбод, а с RS-422/485 — 3 Мбод.

FT232BM имеет поддержку полного набора квитирования модемного интерфейса и поддерживает различные режимы приема-передачи по UART: асинхронный 7/8 битный, с 1 или 2 стоп-битами, с четностью/нечетностью, маркером, с паритетом или без паритета. Поддерживаются сигналы готовности к передаче/приему RTS/CTS, DSR/DTR и управляющие символы, сообщающие о начале (X-ON) или окончании (X-OFF) передачи.

Вторая микросхема — FT245BM(AM) — это преобразователь USB — параллельный интерфейс. FT245BM полностью аналогична по своим характеристикам FT232BM и отличие заключается лишь в поддержке 8-битного параллельного интерфейса вместо последовательного. Параллельный интерфейс представлен 1-байтным портом шины данных, сигналами чтения и записи в FT245BM и во внешние устройства (RD/WR, TXE/RXE).

Иными словами, FT232BM, это преобразователь UCB \Leftrightarrow COM, а FT245BM - UCB \Leftrightarrow LPT.

Третья микросхема это FT8U100AX — однокристалльный семипортовый USB HUB контроллер, поддерживающий 7 нижних и 1 верхний USB порт по спецификации USB 1.1 и интерфейсы хост контроллеров UHCI/OHCI.

FT8U100AX имеет встроенное 8-ми битное микропроцессорное ядро с 256 байтами ОЗУ, работающее от внешнего генератора на частоте 48МГц. Программа FT8U100AX должна размещаться во внешней памяти.

Кроме USB, FT8U100AX имеет порты для подключения внешней периферии: последовательный порт RS-232, порт PS/2 клавиатуры, порт PS/2 манипулятора мышь и порт инфракрасного канала передачи данных.

Кроме этого есть встроенный последовательный двухпроводной интерфейс, с поддержкой режимов master/slave.

В FT8U100AX есть специальные выводы для подключения светодиодов индикации статуса USB. Светодиоды многофункциональные и отображают текущий трафик, включение защиты по току или помехам периферии, состояния активности, сброса или приостановки систем.

На каждом из подключенных портов USB осуществляется автоматический контроль напряжения питания и перегрузки.

Напряжение питания контроллера 3,3 В. Тип корпуса — 100 выводной PQFP.

Когда готовилась эта книга, стало известно, что компания FTDI объявила о начале серийного производства новой микросхемы третьего поколения FT2232C.

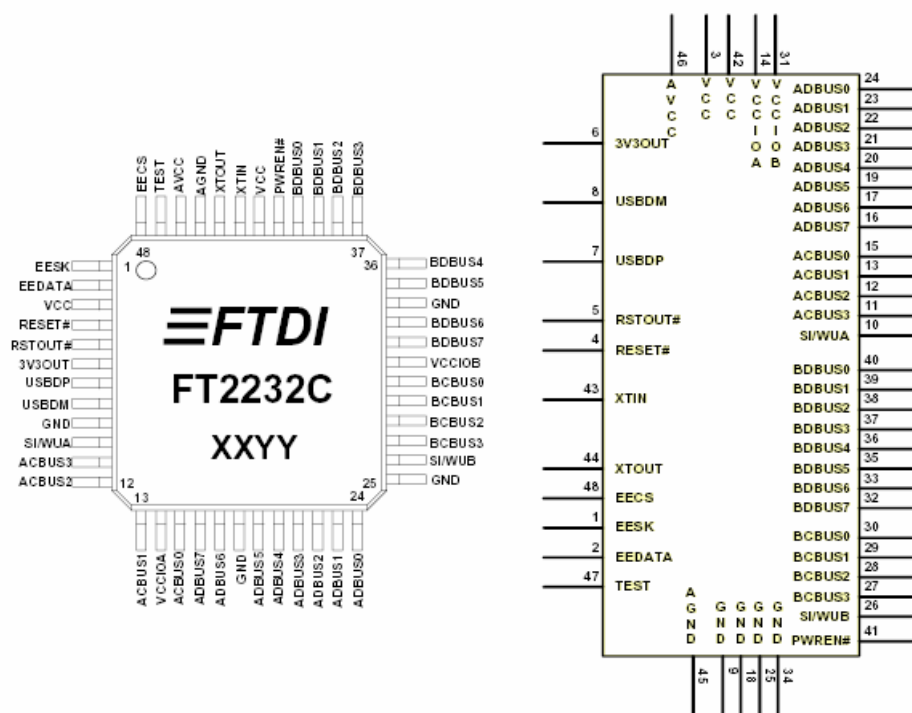


Рис. 2. Внешний вид и принципиальное обозначение FT2232C.

Эта микросхема, как и ее предшественники FT232BM и FT245BM, позволяет легко организовать связь микропроцессорной системы с компьютером через USB. Основная особенность м-мы заключается в том, что для связи с микроконтроллером имеются теперь два порта, которые могут независимо программироваться на поддержку различных протоколов: асинхронного (UART) или синхронных (SPI или JTAG), а также параллельного FIFO. Причём работать эти порты могут одновременно. По-прежнему, имеется возможность управлять через USB линиями квитирования при обмене данными с модемом, а также формировать управляющие сигналы при организации взаимодействия с шиной RS485.

Иными словами, указанная микросхема представляет собой две обычные FT2** в одном корпусе, каждая из которых может работать по любому из перечисленных протоколов.

Для поддержки разработчиков USB-приложений верхнего уровня, FTDI по-прежнему, предоставляет на выбор программиста два драйвера: VCP (Virtual Com Port) -драйвер, который позволяет работать с USB-каналом при помощи стандартных WIN32 API-функций, или D2xx-драйвер, который дает возможность программисту работать со специализированной dll-библиотекой функций, обеспечивающих более широкие возможности, чем стандартные функции Windows для работы с последовательным или параллельным каналом.

Функциональная схема FT232 представлена на рис. 3:

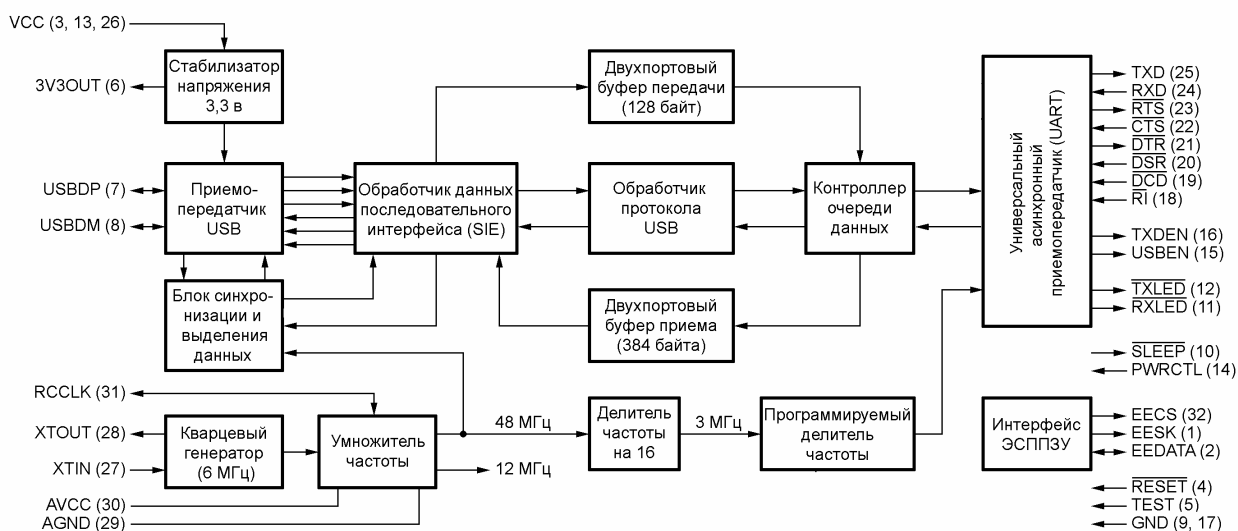


Рис. 3. Функциональная схема FT232.

Ее основа - приемопередатчики обоих интерфейсов. Блок UART снабжен полным набором сигнальных цепей стандарта RS-232, приемопередатчик USB - всего двумя информационными выводами USBDM и USBDP, образующими двунаправленный канал передачи данных. Блок SIE преобразует последовательный код в параллельный и обратно, выполняет процедуры «битстаффинга», генерирует (для исходящего потока данных) и проверяет (для входящего) контрольные коды.

Обработчик протокола USB нижнего уровня формирует ответы на запросы host-контроллера (компьютера). Через него же управляют режимом работы UART. Предусмотрены два буфера промежуточного хранения данных (FIFO) емкостью 384 байта (на прием) и 128 байт (на передачу). Управление FIFO возложено на соответствующий контроллер.

Выводы EECS, EESK, EEDATA микросхемы FT232 предназначены для подключения внешней энергонезависимой памяти, в которой хранят идентификаторы изготовителя (VID) и персональный (PID), заводской номер изделия и другие данные. Особенно важен серийный номер, так как программный драйвер полагается на его уникальность, ассоциируя тот или иной виртуальный COM-порт с конкретным устройством. Если ПЗУ отсутствует, к компьютеру можно подключить только одно образующее виртуальный COM-порт устройство.

Низким уровнем на входе RESET микросхему FT232 приводят в исходное состояние. К выводу RCCLK должна быть присоединена RC-цепь, задерживающая начало работы микросхемы на время, достаточное для "раскачки" кварцевого резонатора, подключенного к выводам XTIN, XTOUT. Вход TEST используют только в отладочном режиме. При обычной работе он должен быть соединен с общим проводом (GND).

Имеется несколько вспомогательных выходов. Высокий уровень на выходе USBEN сигнализирует о завершении процесса инициализации микросхемы по USB. Если некоторое время обмена данными не происходит, микросхема автоматически переходит в "спящий режим", о чем свидетельствует низкий уровень на выходе SLEEP. Аналогичные уровни на выходах TXLED и RXLED показывают, что идет соответственно передача или прием данных. Сигнал с выхода TXDEN предназначен для управления приемопередатчиком интерфейса RS-485. Его уровень - высокий, когда по линии TXD идет передача данных.

Напряжение питания микросхемы FT232 (VCC) - 4,4...5,25 В, потребляемый ток - не более 50 мА в рабочем и 250 мкА в спящем режиме. Если микросхему питают напряжением, поступающим по USB, ее вывод 14 (PWRCTL необходимо соединить с общим проводом (GND), если устройство имеет собственный источник питания - с цепью

VCC. Логические выходы микросхемы рассчитаны на ток до 4 мА (вытекающий) и до 8 мА (втекающий).

Программное обеспечение.

Существуют несколько типов драйверов для преобразователей интерфейсов FTDI, разработанных непосредственно FTDI или другими компаниями. Особенностью драйверов является их максимальная простота при установке и использовании, доступность (все они выложены на сайте компании) и широкое разнообразие, обеспечивающее возможность применения практически на любой операционной системе. Все драйверы сопровождаются руководствами и техническими описаниями по применению.

Компанией FTDI разработаны драйверы для операционных систем Windows (98, 98SE, 2000, ME, XP), Apple MAC OS, Linux.

- VCP — драйверы виртуального COM порта для Windows 98/ME/2000/XP (XP — сертифицированный).

Эти драйверы вместе с микросхемами преобразователей интерфейсов разработаны для тех случаев, когда необходимо быстро и без особых затрат сделать свою продукцию совместимой с USB, сохраняя при этом совместимость и с ранее разработанным программным обеспечением под COM порт. При установке драйвера в операционной системе добавляется виртуальный COM порт (дополнительно к существующим аппаратно) и программное обеспечение обращается к USB устройству также как к стандартному COM порту, используя стандартные вызовы VCOMM API или с использованием библиотек виртуального порта.

- Драйвер D2XX Direct для Windows 98/ME/2000/XP.

D2XX драйвер является альтернативным решением виртуальному и обеспечивает доступ к USB компонентам с использованием DLL. Драйвер применяется для новых разработок и в системах без COM порта. Драйвер состоит из Windows WDM драйвера и соединяется с устройством используя USB стек операционной системы и dll библиотеку, которая объединяет программное обеспечение (написанное на VC++, C++ Builder, Delphi, VB и т.д.) и WDM драйвер. В комплекте с драйвером на сайте FTDI находятся руководство программиста и примеры программного обеспечения на Visual C++, C++ Builder, Delphi, Visual Basic.

- Драйверы для Apple Mac OS и Linux.

Драйвер для Mac OS-8 и OS-9 — универсальный, для версий OS-X разработан отдельный драйвер.

Под Linux разработаны драйверы для версий OS от 2.4.0 и старше.

Кроме этого, FTDI разработаны утилиты для тестирования компонентов и программирования EEPROM памяти через USB интерфейс микросхем-преобразователей. Утилиты разработаны под Windows для работы с использованием D2XX драйвера и также свободно размещены на сайте компании.

Установка драйверов виртуального com-порта

VCP-драйверы представлены в двух вариантах: для устройств, подключаемых через преобразователь интерфейса и поддерживающих технологию PnP (Plug and Play) и

аналогичных устройств без такой поддержки (non-PnP). Ошибка в выборе драйвера приводит к задержке загрузки операционной системы на 20...30 с.

Процедура установки VCP-драйвера в Windows ничем не отличается от установки драйвера любого другого устройства. Все файлы из архива, в котором поставляется драйвер, необходимо скопировать в специально созданную папку на жестком диске. Далее, подключив к USB своё устройство, откройте окно "Установка/Удаление оборудования" ("Add/Remove Hardware") и следуйте указаниям "Мастера установки".

Чтобы убедиться в успешной установке драйверов, откройте закладку "Менеджер устройств" ("Device Manager") в окне "Свойства системы" ("System Properties") и найдите в списке USB High Speed Serial Converter. Если ничего похожего там нет, процедуру инсталляции стоит повторить еще раз.

После успешной установки драйверов в пункте USB High Speed Serial Converter появится устройство USB Serial port (COMx), где x - номер виртуального последовательного порта.

Основные параметры COMx идентичны параметрам и настройкам стандартного последовательного порта. Можно изменить скорость работы UART, число бит в слове, режим проверки четности, длину стоп-бита, способ управления потоком. Единственное отличие - возможность выбрать или изменить номер порта x в окне "Дополнительные настройки порта" ("Advanced Port Settings").

В качестве инструмента программирования виртуального COM-порта для Windows 98 можно использовать семейство стандартных функций VCOMM API. Документация и другая полезная информация по их применению содержится в MSDN (Microsoft Developer Network).

Как уже говорилось, компания FTDI предлагает еще одно решение, не требующее драйверов, эмулирующих последовательный порт. Архитектура, названная ее авторами D2XX, основана на технологии WDM. Программирование устройства ведется через стек USB и динамическую библиотеку драйвера. На сайте компании имеются примеры исходных текстов на некоторых популярных языках программирования, а также руководство по программированию D2XX Programmers Manual.

Установка скорости обмена данными.

Информация о значениях коэффициента деления тактовой частоты программируемым делителем микросхемы, необходимых для получения той или иной скорости обмена данными, содержится в файле ftdiport.inf, сопровождающем драйвер. Изменяя эти значения, можно достичь нестандартных значений скорости работы UART.

Чтобы рассчитать нужное значение коэффициента деления, число, вдвое меньшее частоты кварцевого резонатора (Гц), делят на требуемую скорость передачи (Бод). Частное округляют до ближайшего числа с дробной частью 0,125, 0,25, 0,5 или до целого числа. Полученное значение необходимо преобразовать в 16-разрядный двоичный код. В 14 младших разрядов кода (D0-D13) заносят целую часть коэффициента, а в старшие (D14, D15) - дробную в соответствии с таблицей. Этот код затем преобразуют в двухбайтное шестнадцатичное число.

Работая в системе Windows 98, в разделе [FtdiPort232.HW.AddReg] упомянутого выше файла ftdiport.inf найдите строку:

HKR,,ConfigData,1,01,00,3F,3F,10,27,88,13,C4,09,E2,04,71,02,38,41,9c,80,4E,C0,34,00,1A,00,0D,00,06,40,03,80,00,00,00,00

Учтите, что она разбита на несколько строк условно, а в файле должна быть записана единой строкой без пробелов. Значения коэффициентов, которые могут быть изменены, для удобства здесь выделены полужирным шрифтом и курсивом поочередно. В файле никакие выделения недопустимы. Младший байт каждого коэффициента записан первым,

На этом настройку виртуального порта можно считать завершённой.

На рисунках 4 и 6 показаны схемы простейших преобразователей UCB \Leftrightarrow COM. Эти схемы лишены EEPROM и индикации и представляют собой тот, тем не менее, функционирующий минимум, на который разработчик может рассчитывать при проектировке.

Разработчикам USB приложений надо помнить, что при сходных характеристиках микросхемы FT232AM (FT8U232AM) и FT232BM немного отличаются цоколёвкой. Это касается контактов № 5, 13, 15 и 31.

8

устройствами), рекомендуется подключить этот вывод через резистор 1.5кОм на ножку 7 (USBDP).

Контакт 13 - общее питание VCC в АМ, однако в семействе ВМ путем подачи на эту ножку напряжения 3.3В (например, от вывода 6 FT232ВМ) можно обеспечить совместимость с 3.3В устройствами. То есть выходные уровни линий RS-232 будут соответствовать уровням трёхвольтовой логики. При подключении ножки 13 к +5В уровни соответствуют стандарту ТТЛ, то есть результат идентичен АМ.

Контакт 15 в АМ переходит в высокое состояние после конфигурирования устройства через USB, в ВМ функция обратная: после конфигурирования переходит в низкое состояние, и в высокое в режиме USB suspend. Может быть использован для управления энергопотреблением устройства. А может оставаться незадействованным.

Контакт 31 в АМ - RC-таймер, гарантирующий тактовую стабильность после выхода из спящего режима, должен был подключаться через резистор 100кОм на Ucc и 0.1мкФ конденсатор на землю. Теперь это тестовая ножка (идентична 5-й в АМ), и должна быть подключена к GND.

Т.е. принципиальных отличий, влияющих на функциональность два - это контакты 5 и 31. Рекомендуется обратить на них наиболее пристальное внимание.

Фирма FTDI далеко не единственная, производящая микросхемы – преобразователи интерфейсов. На рынке комплектующих существует великое множество различных чипов с потрясающими характеристиками. Однако большинство из них абсолютно не имеет вспомогательного ПО и требует от разработчика умения программировать USB.

Ещё одним исключением, наряду с FTDI, является фирма Cygnal. Одним из лучших её преобразователей является CP2101 (**рис. 5**). Это очень простой преобразователь с всего тремя внешними деталями. Специально адаптирован для применения совместно с МК.

Дело в том, что скорость UART МК можно (в редких случаях) поднять до 921.6 Кбит/с. То есть значительно превысить стандартные 115200 бит/с. COM порт такую скорость уже не осилит, так что единственным способом связать МК и ПК в такой ситуации остаётся преобразователь. И именно по этому предельная скорость у CP2101 равна 921600 бит/с – а больше и не надо!



К недостаткам стоит отнести микроскопический корпус (всего 5×5мм) и неудобную цоколёвку. Проблема цоколёвки решается применением САПР при трассировке ПП, а маленький корпус выльется плюсом при серийном производстве.

Так же, как и в случае с FTDI, драйверы у-ва можно скачать на сайте производителя (<http://www.cygnal.com/>). Однако этот драйвер предоставляет значительно меньше свободы творчества, чем драйвер FTDI. Но это объяснимо – микросхема ведь разрабатывалась как быстрое, простое и стандартное решение.

Схема простейшего преобразователя на базе этой микросхемы показана на **рис. 6**.

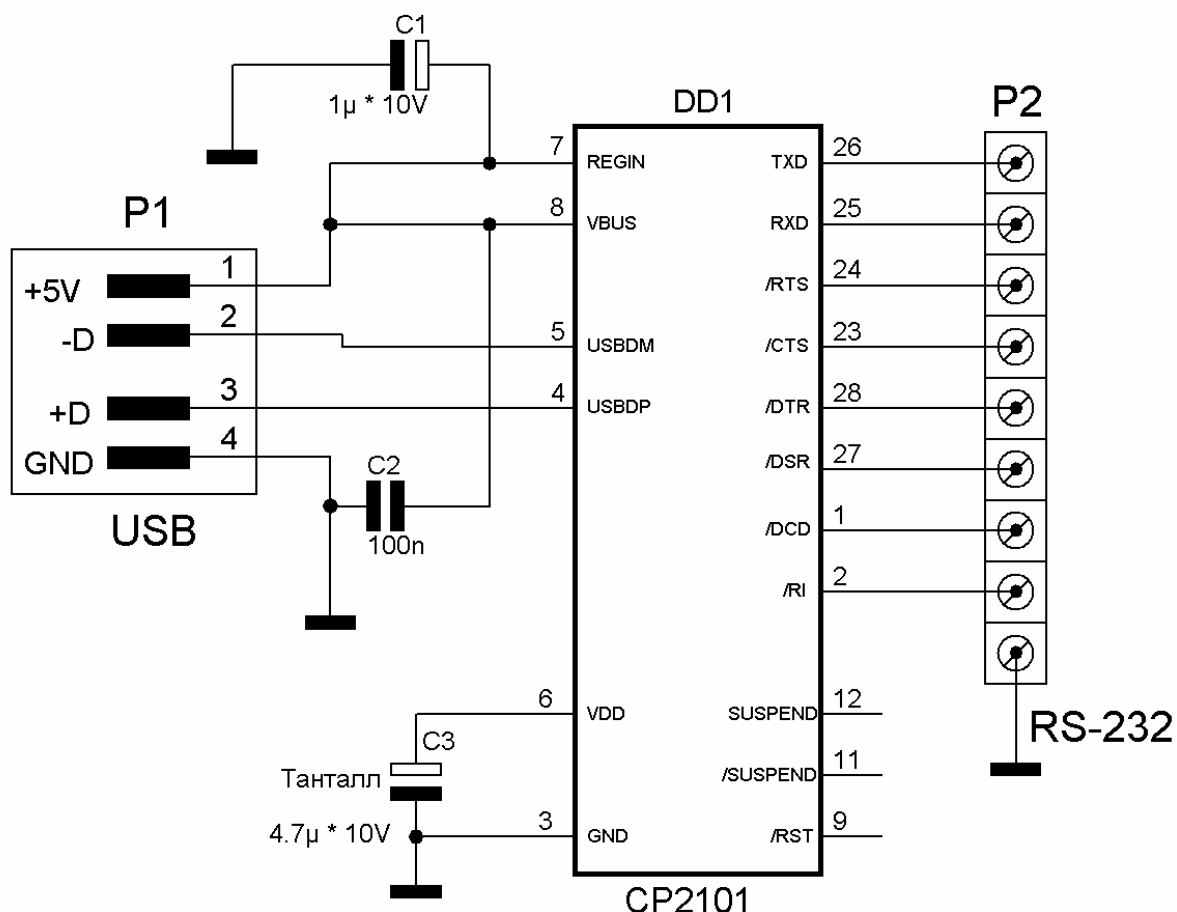


Рис. 6. USB <=> COM конвертор на базе CP2101.

Конденсаторы C1 и C2 должны располагаться как можно ближе к выводам 7 и 8 соответственно микросхемы DD1. Это обязательное условие! Проводники же от этих выводов должны идти к разъёму USB (или питания, если оно внешнее) по отдельности (см. главу 4) и соединится на его контактной площадке или в непосредственной от неё близости.

Отдельно стоит упомянуть разработку словацкого инженера Игоря Ческо (<http://www.cesko.host.sk/>). Игорь разработал и изготовил уникальную в своем роде конструкцию - на типовом микроконтроллере от ATMEL эмулировал USB-устройство.

Это стандартный AVR микроконтроллер (в оригинале: AT90S2313) с «хитрой» прошивкой. МК получает данные по одному из стандартных интерфейсов (в оригинале – RS232 (UART)) и преобразует их в USB формат с последующей передачей на скорости 1.5 Мбит/С. При этом, в роли линий USB выступают стандартные выводы порта МК.

Скорость UART, в зависимости от применённого МК, варьируется от 4800 до 115200 бит/с.

Исходный текст программы для контроллера бесплатен и размещён на сайте автора. Игорь написал также и драйвер. Работает полнофункционально, но при запуске и удалении выдает рекламный баннер. Зарегистрированная версия (без рекламы) стоит небольших денег.

Единственный недостаток такой схемы – виртуальное преобразование USB порта в COM не происходит. То есть драйвер для USB придётся писать самостоятельно, хоть и используя уже созданную несложную библиотеку функций.

Таким образом, это дешёвое и доступное решение для тех случаев, когда требуется работа устройства с USB портом, но при этом не требуется высокая скорость обмена (не более 115200 бит/с).

Литра:

<http://www.ftdichip.com/index.html> (сайт FTDI)

<http://www.kulakov.ru/> (FT8U245AM в интерфейсе USB)

<http://www.premier-electric.com/>

<http://www.silabs.com/> (Сайт Silicon Laboratories).

<http://www.cygnal.com/> (Сайт фирмы Cygnal).

<http://www.cesko.host.sk/> (сайт Игоря Ческо).