

# О некоторых особенностях USB

Тесленко В.А., НТУУ "КПИ", г.Киев

Публикация базируется на опыте проектирования устройства ввода/вывода информации с интерфейсом USB и может быть полезна начинающим разработчикам и приверженцам "инженерного подхода" освоения новой аппаратуры, при котором неизвестное устройство сначала включается, а затем - читается и изучается соответствующая техническая документация.

Тоскливо начинать разработку небольшого устройства с изучения документа объемом более 600 страниц. Речь идет об описании (спецификации) интерфейса USB 2.0 (Universal Serial Bus Specification Revision 2.0). Такая дилемма была и передо мной, когда приступил к разработке устройства ввода информации в компьютер с ПЗС-матриц через USB порт. В устройстве необходимо было реализовать управление ПЗС-матрицей, 12-битовое аналого-цифровое преобразование информативного сигнала с частотой дискретизации более 700 кГц и с объемом одного кадра более 1,3 мегапикселей, управление 12-битовым цифро-аналоговым преобразователем. При этом необходимо было обеспечить гальваническую развязку между компьютером и ПЗС-матрицей. Имея определенный опыт создания аналогичных устройств для работы с LPT-портом, COM-портом, шиной ISA и PC/104, бегло ознакомившись с рекламными и наиболее популярными публикациями о USB, я и не предполагал, что мне придется неоднократно обращаться к упомянутому объемному документу и консультироваться с производителями микроконтроллеров USB.

Учитывая, что в настоящее время имеется множество публикаций о USB (например, см. <http://www.usb.org>), давайте попытаемся акцентировать внимание на некоторых особенностях интерфейса, которые обычно не рекламируются.

## Питание USB-устройств

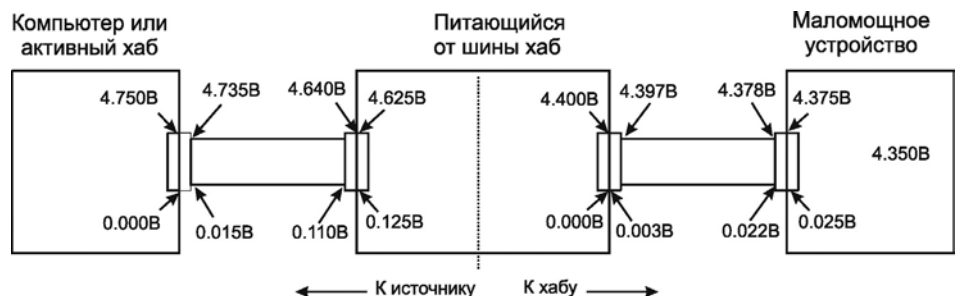
В большинстве рекламных и популярных публикаций о USB указано, что в данном интерфейсе обеспечивается возможность питания периферийных устройств. Напряжение питания для периферийных устройств +5 В. Максимальный ток потребления на одно устройство - до 500 мА.

Теперь несколько подробнее. Режим питания внешних устройств от шины USB может быть установлен в соответствии с двумя основными конфигурациями:

- питание маломощных устройств (**low-power function**), с допустимым током потребления до 100 мА;
- питание устройств большой потребляемой мощности (**high-power function**), с допустимым током потребления до 500 мА.

Важно отметить, что реальные уровни напряжений питания на шине USB существенно могут отличаться от

+5В. Так в режиме "low-power function" напряжение питания может находиться в диапазоне от +4.4 В до +5.25 В, а в режиме "high-power function" - от +4.75 В до +5.25 В. При этом следует учесть, что любое внешнее устройство (функция) при подключении к компьютеру (Host или Hub) до инициализации воспринимается как "low-power function". Это означает, что до инициализации компоненты данного внешнего устройства должны быть работоспособны при уровнях напряжения питания вплоть до +4.4 В. Это и отмечается в спецификации на USB 2.0. Переключение внешнего устройства после инициализации, при необходимости, в режим "high-power function" должно осуществляться с постепенным нарастанием тока нагрузки в течение нескольких десятков миллисекунд. Особенно это важно при использовании преобразователей питания типа DC/DC, которые имеют существенное значение начального тока при включении. Иначе происходит отключение питания по шине USB.



\* При определенных условиях питание может снизиться от 4,4В до 4,07В

В спецификации на USB 2.0 довольно наглядно показано существенное падение напряжения питания на соединительных кабелях и разъемах - на примере питания устройства типа "low-power function".

Необходимо обратить внимание, что в течение действия переходных процессов в моменты включения напряжение питания снижается практически до уровня 4В.

Измерение реальных уровней напряжений питания на шине USB ряда компьютеров показало, что номинальные значения этих напряжений в режиме работы "high-power function" не превышают уровня +4.75 В. С учетом падения напряжения на соединительном кабеле длиной 5 м (при полной нагрузке 500 мА), напряжение питания подключенной вторичной аппаратуры уменьшается до уровня +4.5 В.

## Быстродействие USB

Спецификация USB 2.0 предусматривает три возможные скорости передачи:

**High speed** - 480Мб/с;

**Full speed** - 12Мб/с;

**Low speed** - 1.5Мб/с.

Следует отметить, что приведенные цифры характеризуют возможные скорости передачи информации, а не обмена, как это указывается во многих публикациях. На мой взгляд, это очень важный момент, который может оказаться очень неприятным для начинающих разработчиков. Речь идет о том, что все операции по передаче данных по шине USB (транзакции) инициируются только хост-компьютером (контроллером). Периферийные же USB-устройства сами начать обмен данными не могут. Т.е. реализован принцип обмена типа "запрос-ответ". Хост-контроллер формирует кадры (**Frames**), в которые укладываются все запланированные транзакции. Каждый кадр начинается с посылки маркера **SOF** (Start Of Frame), который является синхронизирующим сигналом для всех устройств. В конце каждого кадра выделяется интервал времени **EOF** (End Of Frame), на время которого запрещается передача по направлению к контроллеру. Каждый кадр имеет свой номер. Хост-контроллер оперирует 32-битным счетчиком, но в маркере передаются только 11 младших бит. Номер кадра инкрементируется автоматически. Кадры формируются циклически с периодом 1 мс (в режиме "High speed" кадр разбит дополнительно на микрофреймы по 125 мкс). Из этого следует, что максимально возможная скорость обмена в USB в режиме "Full speed", например, при организации периодических процедур (циклов) типа "запись/чтение" не превышает 1 КГц. Реально эта скорость еще ниже и зависит от используемой операционной системы. Так по умолчанию в Windows XP время задержки (**latency time**) после записи или чтения USB составляет 16 мс. Для уменьшения этой задержки рекомендуется добавлять процедуру **Sleep(0)** после команд чтения или записи. А внутри кадра обеспечиваются указанные скорости передачи информации.

Для того, чтобы обратить внимание еще на одну особенность USB, кратко детализируем основные принципы передачи информации.

## Протокол обмена. Типы передачи данных

Транзакции USB состоят из трех пакетов:

маркер-пакет	пакет данных	пакет подтверждения
--------------	--------------	---------------------

Каждая транзакция инициируется компьютером (хост-контроллером) при посылке пакета-маркера и завершается пакетом квитирования. Пакет-маркер определяет тип и направление передачи, адрес устройства (функции) и адрес конечной точки. В каждой транзакции возможен обмен данными между конечной точкой адресуемого устройства и хостом. Источник данных передает пакет данных, а после успешного приема этого пакета приемник подтверждает прием информации.

В USB поддерживается 4 типа передачи:

- управляющие (**Control transfers**) - используются для конфигурирования во время подключения и для управления устройствами в процессе работы. Протокол обеспечивает гарантированную доставку данных. Длина поля данных управляющей посылки не превышает 64 байт для режима "Full speed";
- прерывания (**Interrupts**) - позволяют хост-компьютеру определять наличие новых данных в устройствах

ввода. Длина поля - до 64 байт для режима Full speed и до 1024 байт - для High speed. Период обслуживания устанавливается в диапазоне 1-255 мс. Термин "прерывания" в данном случае не соответствует общепринятому, т.к. USB не поддерживает ни аппаратных, ни программных прерываний. В данном случае речь идет о приоритетности передачи данных;

- изохронные передачи (**Isochronous Transfers**) - непрерывные передачи в реальном времени, занимающие предварительно согласованную часть пропускной способности шины и имеющие наивысший приоритет. Размер пакета - до 1023 байт для "Full speed" и до 1024 байт для "High speed". В случае обнаружения ошибки изохронные данные не повторяются, а недействительные пакеты игнорируются;

- передачи данных больших объемов (**Bulk Data Transfer**). Эти передачи занимают всю свободную полосу пропускания шины, не занятую другими типами передач. Пакеты имеют поле данных до 64 байт при Full speed, или до 512 байт при High speed. В случае возникновения ошибок реализуется алгоритм дублирования, т.е. повторных посылок, обеспечивающий получение достоверных данных. Приоритет этих передач самый низкий, они могут даже приостанавливаться при большой нагрузке шины.

Еще раз отмечу приоритетность передачи данных в USB:

- изохронные передачи;
- прерывания;
- управляющие передачи;
- передачи данных больших объемов.

*Сложность протокола обмена данными по шине USB делает абсолютно бесполезным применение для отладки устройств такого верного помощника разработчика как осциллограф.*

И еще одно замечание - многие выпускаемые USB-микроконтроллеры поддерживают не все типы передач данных.

## Объемы передаваемых данных

Этот вопрос возник передо мной при отладке разрабатываемого устройства. Не получив однозначного ответа из спецификации интерфейса USB 2.0, я обратился к производителям используемого микроконтроллера USB. Ответ сводился к следующему: "Максимальный объем передаваемых данных составляет 64 Кбайт. Превышение этого объема приводит к катастрофическим последствиям". В справедливости этого утверждения я смог убедиться. Дополнительно замечу, что в используемом драйвере только 62 байта из возможных 64-х являются информативными (2байта - зарезервированы), поэтому общий объем передаваемых данных не превышает 63488 байт. Замечу, что речь идет о передаче данных типа "Bulk Data Transfer" в режиме "Full speed".

Позже, из рекомендаций Microsoft.com "Maximum size of USB transfers on various operating systems" удалось узнать, что максимальный объем передаваемых данных по USB неоднозначен и зависит также от используемой операционной системы, типа передаваемых данных, от используемых драйверов, как системных, так и клиентских. Например, в Windows XP и Windows Server 2003 максимальный объем передаваемых данных для "bulk endpoint" не должен превышать

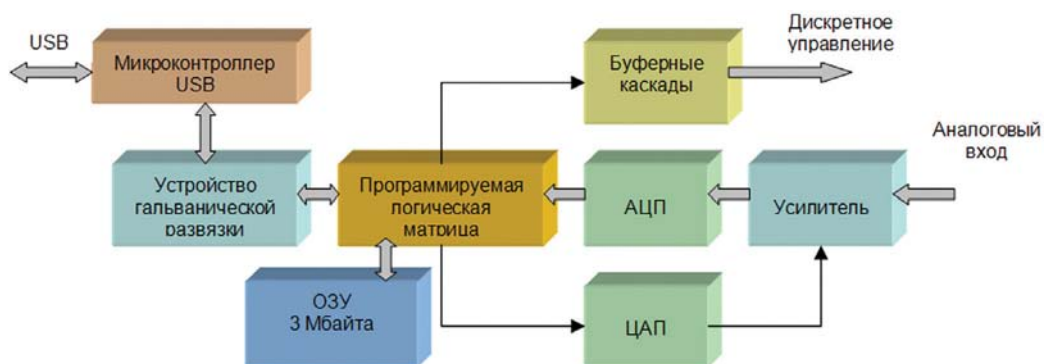
4 Кбайт. Соответственно, для 16-ти "endpoint" получаем 64 Кбайта. Microsoft не рекомендует передачу данных большого объема и указывает, что такие передачи фирмой не тестировались.

### 0 кабеле

Когда узнаешь, что максимальная длина кабеля USB не превышает 5-ти метров, то еще раз убеждаешься, что разработчики интерфейса не очень задумывались о применении своего детища в промышленных приложениях. Об этом свидетельствует и диапазон рабочих температур для кабелей, установленный спецификацией USB: 0°C... +50°C.

К разряду технических казусов можно отнести и рекомендации по увеличению расстояния до подключаемого USB устройства до 30 м путем использования пяти промежуточных хабов.

В заключение привожу результаты своего творения. Очевидная, на первый взгляд, структура разработанного устройства потребовала немало усилий при ее практической реализации. Напряженная многодневная работа, как говорится, "бессонные ночи" и, в конце концов, устройство "задышало". А основные технические характеристики уже боевых образцов выдержаны строго в соответствии с требованиями технического задания:



- частота дискретизации - 750 кГц;
- разрядность выходного кода - 12 бит;
- время передачи в компьютер одного кадра с числом пикселей 912x1368 - не более 3 сек;
- интерфейс USB 2.0;
- максимальный ток потребления - 450 мА;
- гальваническая развязка - 3 кВ;
- драйвера и примеры для операционной системы Windows XP;
- габаритные размеры 115x194x46 мм.

Без особых проблем изделие может быть модифицировано для работы в качестве многоканальной системы сбора данных.

#### КОНТАКТЫ:

т. (044) 245-31-00  
e-mail: tesva@yandex.ru