

# USB — это просто!

## Новые решения от компании FTDI

**В статье детально рассматривается ассортимент и особенности продукции, которую предлагает сегодня компания FTDI — широко известный разработчик и производитель специализированных микросхем для USB.**

Компания FTDI была основана в 1992 году в Шотландии. Сегодня она широко известна как разработчик и производитель специализированных микросхем для USB. Для реализации взаимосвязи и управления периферийными устройствами по шине USB FTDI традиционно предлагает как аппаратные, так и программные средства, что позволяет достаточно просто и безболезненно решать вопросы подключения периферии. За 2009–2010 гг. на рынок было выпущено ряд новых разработок так ожидаемых потребителями. Это высокоскоростные многоканальные преобразователи FT2232H, FT4222H оснащенные поддержкой режима High speed USB и новая микросхема хост-контроллера USB семейства Vinculum — VNC2.

В настоящее время аппаратные USB-преобразователи компании FTDI получили широкое признание во всем мире. Решение объединить аппаратную и программную реализацию завоевало популярность пользователей. Одной из основных сфер применения аппаратных мостов является модернизация существующих изделий с целью замены широко распространенного интерфейса UART на USB. Это может осуществляться путем замены микросхемы драйвера физического уровня интерфейса RS232/422/485 на аппаратный мост USB-UART FT232R непосредственно в устройстве либо путем изготовления внешнего преобразователя USB-RS232/422/485.

На сегодняшний день продукцию FTDI можно разделить на три группы:

- **Одноканальные USB-мосты.** Это популярные последовательные FT232B,

FT232R и параллельные FT245B, FT245R преобразователи.

- **Многоканальные универсальные USB-мосты.** Это двухканальные преобразователи FT2232D, FT2232H и четырехканальный FT4232H, причем новые микросхемы FT2232H и FT4232H поддерживают Hi-speed (480 Мбит/с) режим обмена по USB.
- **USB-Host/Slave-контроллеры серии Vinculum для автономных устройств VNC1L и VNC2.** В отличие от контроллера первого поколения VNC1L с закрытой программной архитектурой, новый хост-контроллер VNC2 позволяет обращаться к внутренним функциональным узлам на программном уровне.

### USB-МОСТЫ

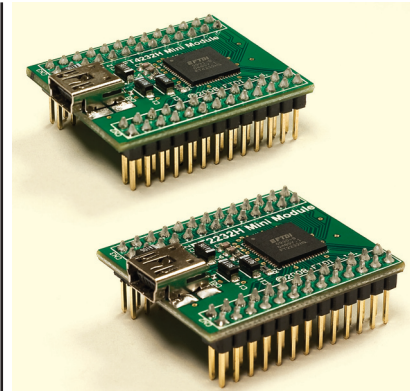
На данный момент компания FTDI серийно выпускает аппаратные мосты USB-UART/FIFO FT232/FT245, пришедшие на смену микросхемам FT8U232 и FT8U245. В эту группу входят два типа: серия «В» и серия «R». Микросхемы последнего поколения одноканальных USB-мостов FT232R и FT245R отличает интегрирование на кристалле как основных, так и вспомогательных узлов преобразователя: собственно аппаратный Full-speed USB-мост (FT232/245B), EEPROM-память для хранения настроек режимов работы и идентификаторов USB, встроенный тактовый генератор и некоторые пассивные компоненты.

Многоканальные универсальные USB-мосты имеют два или четыре выходных порта.

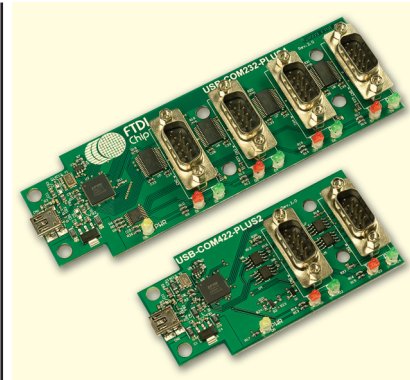
Двухканальный аппаратный мост FT2232D пришел на замену FT2232C. Он позволяет не только выполнять функции микросхем FT232 и FT245, но и работать в режиме MPSSE (Multi-Protocol Synchronous Serial Engine). В этом режиме FT2232D позволяет эмулировать интерфейсы SPI, IIC и JTAG или служить в качестве загрузчика конфигурации в ПЛИС Altera или Xilinx.

В 2009 году FTDI предложила пользователям новые универсальные двух- и четырехканальные USB-мосты 5-го поколения FT2232H и FT4232H с поддержкой скоростного режима передачи данных High speed (480 Мбит/с). Эти микросхемы выполнены в 64-выводных корпусах типа LQFP и QFN, рассчитаны на напряжение питания 3.3 В, рабочий температурный диапазон от –40 до +85 °С, имеют встроенный умножитель частоты (PLL) и стабилизатор на 1.8 В для питания ядра и USB приемопередатчика (LDO). Для работы преобразователей потребуются внешние компоненты: кварцевый резонатор на 12 МГц; микросхема EEPROM типа 93C46/56/66 для хранения конфигурации, дескрипторов USB, VID и PID; стабилизатор напряжения на 3.3 В при питании от шины USB.

Микросхема FT2232H представляет собой 2-канальный USB-мост. Каждый канал имеет буферную память по 4 Кбайт на прием и передачу, и может работать как последовательный (UART), или параллельный 8-разрядный (FIFO) интерфейс, или в режиме MPSS. Параллельный интерфейс имеет несколько вариантов конфигурации, основными из которых являются синхронный или асинхронный режим FIFO, а также режим bit-bang. В режиме MPSSE могут эмулироваться различные последовательные



**Рисунок 1** Отладочные модули FT2232H Mini Module и FT4232H Mini Module



**Рисунок 2** Модули серии USB-COM Plus

интерфейсы, например, SPI, JTAG и I<sup>2</sup>C, или реализован интерфейс для загрузки конфигурации в ПЛИС Altera или Xilinx. Для интерфейсов SPI, JTAG и I<sup>2</sup>C компания FTDI предоставляет готовые библиотеки верхнего уровня. Режим загрузчика конфигурации ПЛИС аналогичен режиму использования FT2232D.

Максимальная скорость обмена зависит от выбранного выходного интерфейса. В режиме UART скорость может достигать до 12 Мбод на каждый канал. В режиме MPSSE — до 30 Мбит/с. В случае работы синхронного параллельного FIFO интерфейса можно получить скорость 25 Мбайт/с (при этом доступен только один канал микросхемы).

Четырехканальный мост FT4232H может передавать данные по четырем независимым UART или bit-bang каналам. Для режима MPSSE доступно только два канала, но оставшиеся могут быть использованы в режиме UART/bit-bang. По скорости обмена микросхема имеет те же характеристики, что и FT2232H в соответствующих режимах.

Для тестирования возможностей новых микросхем FTDI предлагает готовые отладочные модули FT2232H Mini Module и FT4232H Mini Module (рис. 1).

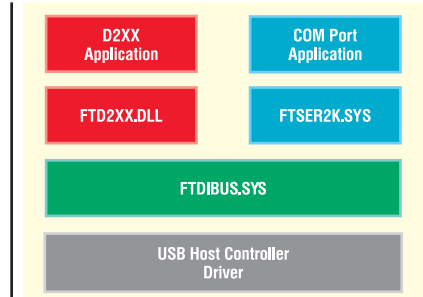
Они выполнены в одинаковом формате на плате с двумя 26-выводными штыревыми разъемами для доступа к выводам микросхемы и шинам питания, и 5-контактным разъемом USB mini-B для соединения с компьютером.

В ассортименте продукции FTDI появились платы функционально законченных последовательных преобразователей, построенных на базе новых высокоскоростных USB-мостов. Это модули серии USB-COM Plus, позволяющие подключать несколько интерфейсов RS232, RS422 и RS485 (рис. 2).

Наличие драйверов является одним из важных моментов при выборе USB-контроллера того или иного производителя. Отличительной особенностью компании FTDI является то, что она предоставляет пользователям бесплатную программную и информационную поддержку своей продукции. Доступны бесплатные драйверы для таких популярных операционных систем как Windows, MAC и Linux. FTDI предлагает также утилиты для настройки, примеры приложений верхнего уровня, а также подробную документацию по работе с ними. Так, например, используя примеры, приведенные в руководстве программиста по работе с драйвером Software Application Development D2XX Programmer's Guide, достаточно просто освоить интерфейс взаимодействия программы верхнего уровня и аппаратного моста (рис. 3).

Для микросхем USB-мостов предлагаются готовые драйверы двух типов — виртуальный COM-порт (драйвер VCP) и посредством прямого USB-соединения (D2XX). В первом случае система работает с USB-устройством как со стандартным COM-портом. Это не требует модификации программного обеспечения за исключением тех случаев, когда обращение к COM-порту осуществляется на «низком» уровне. В таком случае программу верхнего уровня придется модифицировать. Во втором случае D2XX-драйвер обеспечивает прямой доступ к микросхемам FTDI с помощью специальной библиотеки, содержащей API-функции верхнего уровня. Этот вариант дает возможность работать в режимах MPSSE, bit-bang, синхронного FIFO и обеспечивает максимальную скорость обмена, на которую рассчитан аппаратный мост.

На сегодняшний день оба драйвера входят в один пакет, называемый CDM (Combined Driver Model), и устанавливаются одновременно. Для ОС Windows драйверы имеют сертификат WHQL, если используются VID и PID



**Рисунок 3** Структура комбинированного драйвера аппаратных мостов FTDI

производителя. Сертификат аннулируется при смене идентификаторов на пользовательские.

В случае использования VID и PID идентификаторов FTDI для установки драйвера проще всего использовать автоматически устанавливаемый архив CDM x.xx.xx.exe (здесь x.xx.xx обозначает номер версии драйвера). При таком варианте установки драйвер должен быть установлен еще до подключения устройства! Если предполагается работа USB-мостов с измененными VID и PID, то для установки драйвера необходимо использовать версию дистрибутива, предоставляемую в обычном архиве. В таком случае драйвер устанавливается после подключения USB-моста к компьютеру, например, через мастер установки нового оборудования. Предварительно новые VID и PID должны быть прописаны в файлах ftdibus.ini и ftdiport.inf в разделах [FtdiHw], [FtdiHw.NTamd64] и [Strings] аналогично тому, как в данных разделах прописаны VID и PID производителя. Строка из раздела [FtdiHw] файла ftdiport.inf выглядит следующим образом:

```
%VID_0403&PID_6001.DeviceDcsc%-
FtdiPort232.NT.FTDIBUS\
COMPORT&VID_04038&PID_6001
```

Для упрощения процесса работы с INF-файлами FTDI предлагает утилиту INF File Generator. Эта утилита позволяет заранее, перед установкой драйвера, внести следующие изменения в настройки inf-файл драйвера: изменение VID и PID производителя, описание устройства, задание нестандартной скорости передачи при использовании VCP-драйверов и привязка нового значения к стандартной, привязка конкретного устройства к одному USB-порту и другие функции. Сохраняется также возможность вносить соответствующие изменения в INF-файл вручную, но они должны быть строго в формате INF-фай-

ла и надлежащим образом рассчитаны и преобразованы. Предлагаемая утилита существенным образом упрощает внесение изменений.

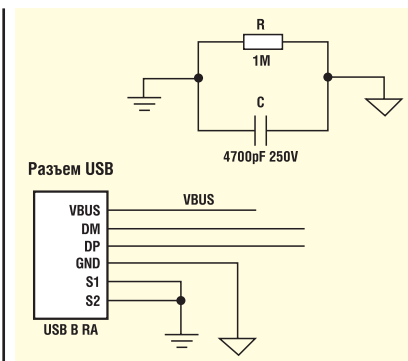
Необходимо помнить, что при внесении изменений в INF-файлы автоматически теряется сертификат WHQL. В этом случае сертификация должна осуществляться производителем конечного продукта.

Для установки режимов работы USB-мостов, изменения USB-дескрипторов и записи их во внутреннюю (FT232R/FT245R) или внешнюю EEPROM производителем предлагается использовать новую версию утилиты MProg-FTPProg, которая позволяет не только изменять настройки USB-мостов, но и дает возможность программировать хост-контроллеры Vinculum.

Доступ ко всей области EEPROM USB-мостов как служебной (куда записываются настройки и дескрипторы), так и пользовательской (по умолчанию свободная область памяти) может осуществляться из конечного приложения с помощью API-функций драйвера D2XX. В случае занесения ошибочных данных это может привести к трудноустраняемым сбоям в работе устройства. Поэтому при первом знакомстве рекомендуется осуществлять настройку с помощью стандартной утилиты FTPProg. Это поможет избежать недоразумений, которые, например, для микросхем FT232R могут привести к отключению встроенного генератора. Дальнейшая работа с таким мостом будет возможна только после подключения внешнего генератора. Диагностирование причин неисправности в таком случае также представляется затруднительным.

Записанные в память USB-моста дескрипторы могут быть проверены с помощью бесплатно распространяемой утилиты USBView. С помощью данной утилиты, не используя специализированного оборудования, легко обнаружить и устранить такие проблемы как, например, нулевое значение дескрипторов (0x000). В данном случае причины могут быть следующие:

- по мнению FTDI, 99% таких случаев вызваны прямым подключением экрана разъема к «земле» (см. рис. 4). Это означает, что вывод разъема USB 5 и 6 соединены с выводом 4 этого же разъема. Один из вариантов развязки сигнальной и приборной «земли» приведен на данном рисунке в качестве примера;
- иногда такую проблему вызывает включение дополнительных оконеч-



**Рисунок 4** Вариант развязки «земель»

ных резисторов в линии DP и DM, что не требуется для всех новых микросхем серии R и H. В данных микросхемах эти резисторы интегрированы на кристалле;

- использование USB-кабелей, не соответствующих спецификации. Особенно актуальным вопрос качества кабелей становится при использовании высокоскоростных USB-мостов.

В основу всех решений компании FTDI положен принцип: «Интерфейс USB — это просто!». Для удобной и быстрой интеграции в разрабатываемое или готовое оборудование компания предлагает уже готовые программно-аппаратные решения.

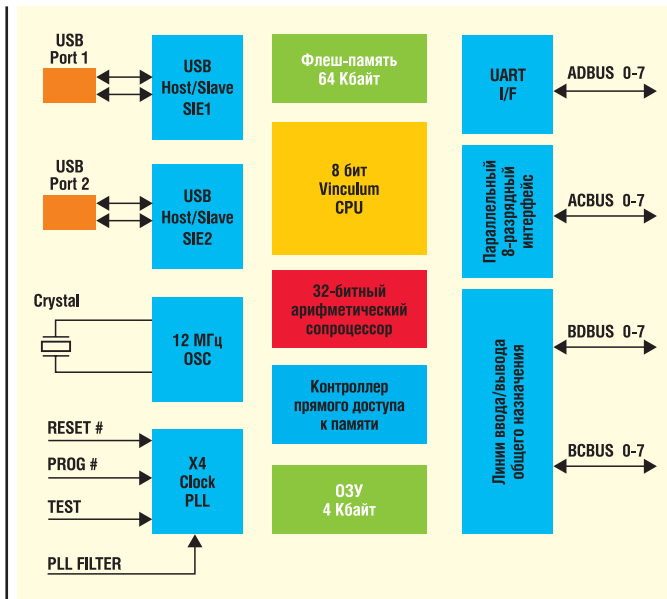
## ХОСТ-КОНТРОЛЛЕРЫ VINCULUM

Для встраиваемых приложений компания FTDI предлагает двухканальные хост-контроллеры семейства Vinculum: VNC1 и VNC2. Первый хост-контроллер семейства был выпущен на рынок в 2006 году. Компания FTDI предложила законченное программно-аппаратное решение, которое позволяет автономному устройству под управлением внешнего контроллера и одной из готовых исполняемых программ реализовать обмен данными по USB-интерфейсу. VNC1 может выполнять функции хост-контроллера и периферийного устройства с поддержкой режимов Low- и Full-speed. Он не поддерживает спецификацию OTG и не может динамически менять свою функциональную роль на шине. Функциональное назначение двух USB-портов микросхемы и поддерживаемые классы USB-устройств задаются одной из готовых программ, загруженной в контроллер. Интерфейс управления микросхемой VNC1 программируемый и может быть сконфигурирован как UART, SPI или параллельный 8-разрядный FIFO. Компания FTDI предлагает несколько вари-

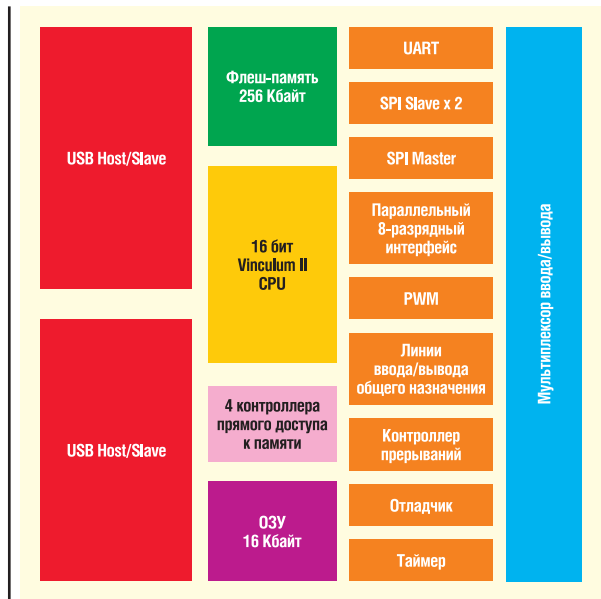
антов программного обеспечения для хост-контроллера VNC1, позволяющего работать с USB-устройствами разных классов. Все версии прошивок предоставляются бесплатно и доступны на веб-сайте производителя. При разработке устройств на микроконтроллере VNC1 следует учесть, что хост-контроллеры поставляются незапрограммированными. Их первичное программирование осуществляется по интерфейсу UART (необходимо предусмотреть доступ к этому интерфейсу микросхемы на плате) или с помощью программатора VPROG1, поставляемого производителем (программирование производится до установки на плату). Для перепрошивки или обновления программного обеспечения может использоваться USB флэш-диск. В этом случае необходимо поместить новую версию ПО в корневой каталог диска и подключить его к VNC1. Контроллер автоматически запишет программу в EEPROM.

Использование готовых программ, определяющих функциональные возможности хост-контроллера, с одной стороны — упростило разработку приложений, а с другой — ограничило возможности разработчиков использовать внутренние ресурсы ИМС.

В марте 2010 года FTDI представила новый USB хост-контроллер семейства Vinculum — VNC2. При разработке этой микросхемы были учтены основные недостатки контроллера Vinculum I: ограниченные аппаратные ресурсы, отсутствие возможности программирования и высокая стоимость. Благодаря внесению ряда изменений в процесс производства, удалось значительно снизить цену и модифицировать аппаратную часть контроллера. Наряду с этим был подготовлен и комплекс программных средств Development Tool Chain Suite. В состав хост-контроллера теперь входит 16-разрядное процессорное ядро, построенное по Гарвардской архитектуре; два блока USB, которые могут выполнять функции периферийного устройства или хост-контроллера; интерфейсные блоки: UART, FIFO 2xSPI Slave, SPI Master, ШИМ, отладочный интерфейс; мультиплексор, предназначенный для коммутации внутренних блоков контроллера и внешних выводов; 4 канала прямого доступа к памяти, флеш-память размером 256 Кбайт и 16 Кбайт ОЗУ. На рис. 5 и 6 для сравнения приведены блок-схемы хост-контроллеров VNC1 и VNC2. Компания FTDI предлагает микросхемы VNC2 в корпусах LQFP и QFN с 32, 48 и 64 выводами для каждого



**Рисунок 5** Основные узлы контроллера Vinculum I



**Рисунок 6** Основные узлы контроллера Vinculum II

типа. Интересно, что контроллеры в 48-выводном корпусе сделаны максимально совместимыми с VNC1. При замене микросхем на плате потребуются изменить номиналы части элементов и некоторые резисторы заменить перемычками или резисторами с нулевым сопротивлением.

VNC2 содержит два USB-интерфейса, которые могут быть сконфигурированы как для выполнения функций хоста, так и периферийного устройства. Интерфейсы совместимы со спецификациями USB 1.1 и USB 2.0, поддерживают Low-speed (1.5 Мбит/с) и Full-speed (12 Мбит/с). USB-интерфейсы контроллера поддерживают все типы передачи, определенные спецификацией USB: Interrupt (периодический опрос устройств на предмет наличия данных для передачи); Bulk (передача больших блоков данных с проверкой их целостности); Isochronous (передача данных, требующих постоянной скорости обмена); Control (используется для передачи служебных данных).

Для сохранения низкого энергопотребления нового хост-контроллера производитель отказался от применения высокоскоростного режима передачи High-speed (480 Мбит/с). К используемому в Vinculum I были также добавлены два дополнительных режима энергосбережения. Кроме основного режима (на частоте 48 МГц с током потребления 25 мА) и режима ожидания Standby с потреблением порядка 150 мкА (VNC1 — 2 мА), это два режима с рабочими частотами 24 и 12 МГц и потреблением 14 и 8 мА соответственно. При работе только операционной системы

энергопотребление для всех режимов может понижаться на 30–50%. Из режима ожидания микросхема выводится при наличии изменения сигнала на любом из USB-интерфейсов, на линии Chip Select одного из двух интерфейсов SPI-Slave или на линии Ring интерфейса UART.

Новый хост-контроллер использует более гибкую систему управления внешними выводами, чем в VNC1. Внутренний мультиплексор VNC2 позволяет одновременно подключать несколько интерфейсных блоков в зависимости от числа выводов выбранного корпуса (в отличие от одного из трех имеющихся для Vinculum I). В дополнение, каждый внутренний сигнал может быть дополнительно скоммутирован на разные выводы микросхемы, что удобно при отладке для контроля передаваемых данных. В состав среды разработки входит специальная утилита I/O MUX Configuration Utility, с помощью которой можно назначить выводам необходимое функциональное назначение и сформировать код, который включается в проект. Выводы микросхемы, благодаря мультиплексору, могут использоваться как линии ввода/вывода общего назначения центрального процессора с возможностью формирования прерывания по фронту (по переднему, заднему или по любому из них) или по уровню (низкому или высокому).

Были внесены изменения в реализацию новым контроллером интерфейса SPI, который в VNC1 вызывал множество нареканий. VNC2 использует три интерфейса SPI, два из которых работают в режиме Slave, а третий — в режиме Master.

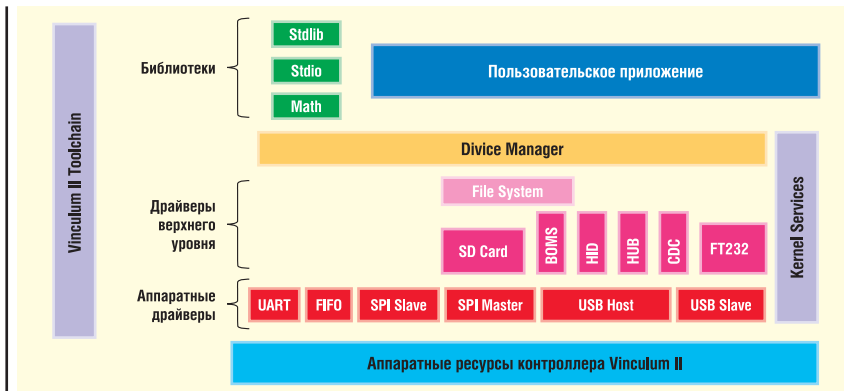
SPI-Slave могут работать в пяти режимах: полнодуплексном, полудуплексном 4-проводном, полудуплексном 3-проводном, режиме «Unmanaged» (управление передачей осуществляется на аппаратном уровне под управлением линий «ss» и «clk») и режиме, совместимом с используемым в контроллере VNC1.

В режиме SPI Master поддерживаются следующие функции: полнодуплексный и полудуплексный режимы передачи; синхронная передача данных; тактовый сигнал с программируемой частотой, полярностью и фазой; один сигнал (ss) для управления ведомым; поддержка SD-карт; поддержка протокола микросхемы аудиокодека VLSI VS1033.

Режимы работы параллельного интерфейса дополнены синхронным режимом. По принципу работы он аналогичен синхронному режиму работы скоростного USB-моста FT2232H (используется два дополнительных сигнала — тактовый и OE). Синхронный режим недоступен для микросхем в 32-выводном корпусе.

Программирование нового контроллера по умолчанию осуществляется по однопроводному отладочному интерфейсу — Debug Interface. С его помощью может также осуществляться отладка приложенных.

Принципиальным отличием хост-контроллера Vinculum II от своего предшественника, является возможность использования собственного программного обеспечения. Для этого производителем разработаны специализированные программные средства, включающие в себя среду разработки Vinculum II



**Рисунок 7** Структура модели программного обеспечения Vinculum II

IDE, операционную систему реального времени, драйверы и примеры готовых приложений. Структура программного обеспечения может быть представлена как трехуровневая модель (рис. 7). Базовый уровень драйверов обеспечивает интерфейс пользовательского приложения с аппаратными ресурсами хост-контроллера. Аппаратные драйверы предоставляют доступ к ресурсам контроллера через API-функции и поставляются производителем в закрытом виде. Драйверы верхнего уровня выполняют специализированные функции (например, работу с файловой системой) и не имеют прямого доступа к аппаратным ресурсам. В дополнение к драйверам верхнего уровня, поставляемым производителем, могут использоваться собственные драйверы, реализованные как надстройка к существующим или выполняющие собственные функции. Пользовательские драйверы также не могут непосредственно обращаться к аппаратным ресурсам контроллера.

Операционная система реального времени VOS (Vinculum Operation System) обеспечивает взаимодействие драйверов и разрабатываемых приложений. Она реализует, с одной стороны, управление и доступ к драйверам, обработку прерываний, а с другой — планировку и синхронизацию выполняемых приложений на приоритетной основе.

Среда разработки Vinculum IDE представляет собой стандартную оболочку для разработки и отладки приложения. Основным инструментом программирования является язык «С» с возможностью вставок на Ассемблере. Компилятор VinC совместим с ANSI C. Он имеет некоторые модификации для оптимизации работы с памятью, не поддерживает операции с плавающей точкой, массивы переменной длины и передачу структур или объединений в качестве параметров (необходимо использовать указатели). Vinculum II IDE позволяет отлаживать приложения, используя точки останова, пошаговое вы-

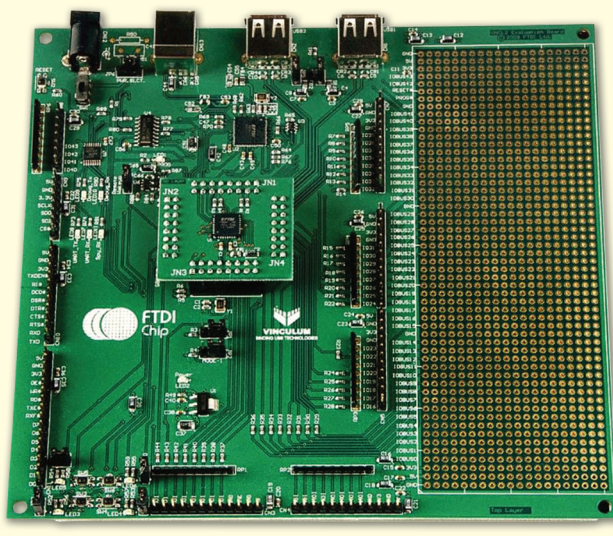
полнение программы, возможность изменения значений переменных в режиме отладки или останова программы.

Для ознакомления с новым хост-контроллером и изучения его возможностей фирма FTDI предлагает аппаратный комплекс отладки. Он состоит из базовой отладочной платы V2-Eval (рис. 8) и набора мезонинных модулей V2-Eval-Ext, поставляемых отдельно, которые устанавливаются в центральный разъем базовой платы. Модули выполнены в одном типоразмере и отличаются количеством выводов, установленного на них контроллера Vinculum II (в 32, 48 или 64-выводном корпусе). Совместно с модулями V2-Eval-Ext отладочный набор V2-Eval содержит все необходимые компоненты для тестирования и программирования контроллера VNC2.

FTDI традиционно для нового хост-контроллера предлагает готовые модули серии V2DIP, предназначенные как для тестирования, так и для монтажа в готовые устройства. Они отличаются по количеству штырьевых выводов, соответствующих выбранному корпусу микросхемы (32, 48 или 64-выводной), а также имеют один (V2DIP1-xx) или два (V2DIP2-xx) USB-разъема типа-A. Все модули имеют разъем для программирования и отладки.

Программируемый хост-контроллер Vinculum II является новым этапом для компании FTDI, до этого предлагавшей своим клиентам только готовые решения в виде аппаратных мостов. Опыт, накопленный при разработке контроллера Vinculum I и сопровождении разработок на его базе, послужил серьезной основой для нового хост-контроллера и программного обеспечения для него. Vinculum II будет интересен многим разработчикам встраиваемых приложений, базирующихся на недорогих 8- и 16-разрядных контроллерах.

Реализация USB-интерфейса существенно упрощается при использовании готовых программно-аппаратных решений от компании FTDI. Легкость в освоении и разработке является ключевой особенностью всей продукции FTDI. Если необходим интерфейс USB, микросхемы FTDI помогут реализовать его с максимальной быстротой.



**Рисунок 8** Отладочная плата V2-Eval с модулем V2-Eval-Ext