

Серийна шина USB. Основни характеристики

1. Причини за създаване на USB

В миналото, преди създаването на USB, свързването на повече периферни устройства към компютъра е същински проблем. Съществуват твърде много разнообразни портове и конектори, към които да се присъединяват външните устройства (фиг. 1): паралелни портове (LPT), серийни (последователни) портове (COM), конектори за клавиатури (5-изводен DIN или 6-изводен miniDIN, наричан още PS/2) и конектори за мишки (6-изводен miniDIN, наричан още PS/2). Към паралелните портове се свързват обикновено принтери и скенери, а към последователните – мишки и модеми.



фиг. 1 Разнообразие от портове и конектори преди появата на USB

Съществуващите начини за свързване на външни периферни устройства създават редица ограничения като: малък възможен брой на свързаните устройства, липса на автоматично конфигуриране и „горещо включване”, бързо изчерпване на хардуерните ресурси (главно IRQ канали) и др.

Основната причина за създаването на USB е да се заместят всички тези остарели (legacy) портове с един универсален, за да може потребителят лесно и бързо да добавя периферни устройства.

USB преодолява следните ограничения на съществуващите портове:

- **Ниска пропускателна способност.** Максималната пропускателна способност на серийния порт е 115.2 Kb/s (за рядко срещаните версии с разширен буфер достига до 230, 460 и 920 Kb/s)¹, а на паралелния 150 KB/s (при режими EPP и ECP достига до 500 KB/s – вход и 2.77 MB/s – изход). При USB 1.0 пропускателната способност достига до 12 Mb/s – вход/изход (1.5 MB/s) а при USB 2.0 – 480 Mb/s (60 MB/s). Скоростта на USB е достатъчна за работа с всички стандартни типове периферни устройства и с повечето от новите високоскоростни устройства, като цифрови камери и външни твърди дискове.
- **Ограничени хардуерни ресурси.** Всеки сериен и паралелен порт изисква свой собствен канал за прекъсвания (IRQ) и входно-изходен порт. Броят на входно-изходните портове в един PC е предостатъчен, но каналите за прекъсвания са много малко – 16 (а при усъвършенствания контролер APIC - 24), повечето от които са заети от други устройства. Някои PC имат само 5 свободни IRQ канала преди инсталирането на периферните устройства. Независимо от броя на свързаните USB устройства се използва само един IRQ канал, тъй като те не консумират директно системни ресурси като прекъсвания, входно-изходни

¹ Обърнете внимание, че скоростите при серийните портове се измерват в Kb/s или Mb/s, а при паралелните – в KB/s или MB/s. Това е така, защото при серийните портове данните се предават бит по бит, а при паралелните – по 8 или повече бита наведнъж (паралелно), а $8 \text{ b} = 1 \text{ B}$.

портове и DMA канали. Единственият необходим ресурс е системна памет, използвана от системния софтуер на USB.

- **Ограничен брой на свързваните устройства.** Повечето PC имат 2 серийни (COM) порта и 1 паралелен (LPT) порт. Възможно е да се добавят още портове и от двата вида, но всеки добавен порт заема по един от дефицитните IRQ канали, така че тези възможности също са ограничени. USB позволява едновременната работа на до 127 устройства на една шина, като някои устройства (като монитори и клавиатури) могат да служат като допълнителни места за включване (хъбове).
- **Необходимост от преконфигуриране на системата** при всяко новодобавено устройство. USB позволява периферните устройства автоматично да се разпознават и конфигурират след физическото им присъединяване, без необходимост да се рестартира системата или да се стартират специални настройващи програми
- **Разнообразни портове и конектори.** USB елиминира необходимостта от портове със специално предназначение и намалява необходимостта от използване на специализирани входно/изходни карти. Старите серийни и паралелни конектори се заменят от един тип конектор, добре дефиниран и стандартизиран, към който може да се присъединява широк диапазон от устройства като: клавиатури, мишки, принтери, скенери, флаш памет, външни твърди дискове, външни CD/DVD устройства, телефони, модеми, цифрови фотоапарати, цифрови видеокамери, аудио устройства и др. Така се елиминира необходимостта от различни кабели и конектори и се опростява конструкцията на USB устройствата.

🔗 *За любознателните*

USB (Universal Serial Bus) представлява стандарт, разработен от Intel и още шест компании - Compaq, Digital, IBM, Microsoft, NEC и Northern Telecom. Заедно тези компании основават форума USB-IF (USB Implementers Forum), който да разработва, поддържа и насърчава USB архитектурата. Форумът USB-IF обявява официално спецификацията USB 1.0 през януари 1996 година, а нейната доизясняваща версия USB 1.1 – през септември 1998 година. Практически USB е внедрен за пръв път в **южния мост PIIX3 на чипсета 430HX (Triton II)**, представен от Intel през **февруари 1996 година** и оттогава се включва във всички чипсети на компанията. Другите производители на чипсети последват начинанието на Intel, включвайки USB като стандартна възможност в своите продукти за настолни и преносими PC-та.

2. Същност и основни характеристики на USB

Универсалната серийна шина (Universal Serial Bus - USB) е стандарт за външна шина за свързване на периферни устройства с ниска и средна скорост, проектирана да пренесе Plug and Play възможностите и към външната периферия. Тя осигурява последователен (сериен), разширяем, бърз, двупосочен, евтин, с „горещо включване” и Plug and Play хардуерен интерфейс. Той улеснява живота на компютърните потребители, като им позволява да включват

в движение (при включен компютър и без нужда от рестартиране) различни периферни устройства в USB порта, които автоматично се конфигурират и са готови за работа.

Основните технически характеристики на USB са следните:

- USB е **серийна** (последователна) шина, което означава, че данните се предават последователно бит по бит. Затова скоростта ѝ се измерва в мегабитове за секунда (Mb/s).
- поддържа технологията **Plug and Play**, което означава че периферните устройства се конфигурират автоматично при закачването им към системата, без да се налага да се стартира инсталационна програма или да се рестартира компютърът.
- поддържа **“горещо включване”** – позволява на потребителите да свързват и махат периферни USB устройства, без да е необходимо преди и след това да изключват системата. Също се премахва необходимостта от инсталирането на разширителни карти в РС и последващото преконфигуриране на системата.
- **разширяемост** - поддържа свързване на **до 127 устройства** и използва йерархично-звездна топология (tiered¹ star topology), изградена на базата на разширителни хъбове, които могат да се намират в РС-то, във всяко USB периферно устройство, както и в самостоятелни кутии. Периферните устройства се **самоидентифицират**, което означава, че не е необходимо потребителят да назначава уникални номера или идентификатори за всяко от устройствата, а това става автоматично.
- **висока производителност** – осигурява ниска скорост 1.5 Mb/s, пълна скорост 12 Mb/s, висока скорост – до 480 Mb/s и суперскорост – до 5 Gb/s
- използва ефективна схема за кодиране **на данните, наречено NRZI** (Non Return to Zero Invert - без връщане към нулата с инвертиране). Тя елиминира необходимостта от допълнителни синхронизиращи импулси, които в противен случай биха прахосали време и пропускателна способност. NRZI е метод за кодиране на серийни данни, при който единиците и нулите се представят чрез противоположни и редуващи се високи и ниски напрежения, където няма връщане към нулево (или опорно) напрежение между кодираните битове. В NRZI кодирането единицата се представя без изменение в нивото на сигнала, а нулата се представя с изменение в нивото.
- **възможност устройствата да се захранват по интерфейсния кабел** – през кабела може да се подава ток до 500 mA на устройства без собствено захранване и се допуска дори концентратори без захранване да предават ток на такива устройства – в такъв случай консумацията не трябва да превишава 100 mA. 4-портовият концентратор работи с 2.1 A (500 mA на порт и 100 mA за центъра).
- **уеднаквен конектор и кабел** за всички USB устройства

За да работи, USB трябва да се поддържа освен хардуерно, също и от операционната система и от системния BIOS. Когато се използва операционна система Windows, се изисква версия Windows 95B и по-нова: Windows 98, Windows 2000, Windows Me, Windows XP, Windows Vista, Windows 7 и т. н. Поддръжка от BIOS е включена в по-новите системи с вградени USB портове.

¹ **Tier**, преведено буквално от английски, означава ред (на тухлен зид, на амфитеатрален салон) и има смисъл на ниво в някаква йерархична структура. Затова смятам за най-удачен превода на “tiered topology” като „йерархична топология”, а „tier” като „ниво” (бел. авт.)

В заключение може да се каже, че поради успеха си и широкото си разпространение USB се е превърнал на практика в индустриален стандарт за свързване на периферни устройства с настолни РС и лаптопи.

3. Спецификации на USB

Известни са следните основни спецификации на USB:

- USB 1.0 (януари 1996) въвежда трансфер с пълна скорост 12 Mb/s ($12:8=1,5$ MB/s) и нискоскоростен трансфер 1,5Mb/s - за периферни устройства, изискващи ниска скорост на комуникацията, каквито са мишките, посочващите устройства и клавиатурите;
- USB 1.1 (септември 1998 г.) – подобрява спецификацията USB 1.0 и става широко използвана;
- USB 2.0 – скорост 480 Mb/s ($480:8=60$ MB/s). Едно от допълнителните преимущества на USB 2.0 шината е способността ѝ да работи с едновременни трансфери
- USB 3.0 (ноември 2008) – SuperSpeed USB - скорост 5 Gb/s

Всяка следваща спецификация е обратно съвместима с предишните. За крайния потребител няма разлика в начина на употребата им, тъй като кабелите, конекторите и софтуерният интерфейс са едни и същи. Възможна е едновременна работа на една и съща система на устройства за USB 1.0, USB 1.1 и USB 2.0. USB кабелите, конекторите, хъбовете и периферните устройства могат да се идентифицират чрез знаци, както е показано на фиг.2.



а) Поддържа USB 1.x



б) Поддържа USB 2.0

фиг. 2 Тези изображения идентифицират USB кабелите, конекторите, хъбовете и периферните устройства.

Към стандарта USB 2.0 има допълнение, наречено **USB On-The-Go**. То е създадено за да даде възможност за прехвърлянето на данни между две устройства без да е необходимо РС, което да управлява трансферите. Преди появата на това допълнение не можеше да се свържат два фотоапарата един към друг и да се прехвърлят снимки, без за целта да се използва РС, което да управлява трансферите. Въпреки че тази възможност може да работи и с РС периферия, тя е добавена главно заради USB устройствата от областта на битовата електроника, където не винаги е задължително да има компютър. Използвайки този стандарт, устройства като цифрови видеорекодери могат да се свързват с други рекордери с цел запис на видео; персоналните органайзери могат да прехвърлят информация към други органайзери и т.н.

Освен това съществува **Certified Wireless USB** – безжичен радиокомуникационен протокол, който комбинира леснотата на използване на USB с удобствата на безжичната технология.

4. Основни компоненти на USB системната архитектура

USB системната архитектура се състои от следните компоненти (фиг. 3):

- хост-компютър (букв. компютър-стопанин, домакин);
- едно или повече USB устройства;
- физическа шина, представена от USB кабели, които свързват устройствата с хост-компютъра



фиг. 3 Пример за компютърна система с USB устройства

4.1 Хост-компютърът управлява комуникацията между системата и USB устройствата. Той съдържа два слоя: хардуерен слой на хост контролера и софтуерен слой.

Хардуерният слой отговаря за:

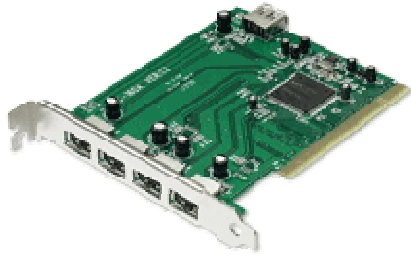


- откриване на присъединяването и отстраняването на USB устройствата;
- наблюдение на състоянието на устройствата и събиране на статистика за активността;
- осигуряване на захранване на присъединените USB устройства;
- управление, контрол и прехвърляне на данни между USB хоста и USB устройствата;
- проверка на валидността на прехвърлянията по шината.

Софтуерният слой включва драйверите за широк диапазон USB устройства като клавиатури, мишки, цифрови фотоапарати, скенери, запомнящи устройства и др. Драйверите превръщат данните между формата, който се използва от хост-компютъра и формата, използван от USB устройствата. Софтуерният слой отговаря за:

- управление на USB устройствата и тяхната свързаност;
- идентифициране, адресиране (enumeration) и конфигуриране на USB устройствата;
- зареждане на подходящи драйвери за устройствата;
- управление на захранването и пропускателната способност на шината;
- управление на трансфера на данни между софтуера и хардуера.

Хардуерният слой се състои от един или повече USB хост контролери, които или са вградени на дънната платка или се реализират като PCI карта (фиг. 4). Хост контролерът осигурява интерфейс за изпращане на потоци от данни между хост компютъра и USB устройствата.



фиг. 4 USB PCI карта

Интерфейсът на хост контролера (*Host Controller Interface* - HCI) позволява на хост контролера да комуникира с операционната система на хост компютъра. Съществуват три типа интерфейс:

- Open Host Controller Interface (OHCI) – създаден от Compaq, Microsoft и National Semiconductor; поддържа USB 1.x;
- Universal Host Controller Interface (UHCI) – създаден от Intel; поддържа USB 1.x;
- Enhanced Host Controller Interface (EHCI) – създаден от Intel, Compaq, NEC, Lucent и Microsoft; поддържа USB 2.0;

Двата стандарта OHCI и UHCI осигуряват еднакви възможности и работят с всички USB устройства, но не поддържат високоскоростни трансфери (480 Mb/s). Разликата между тях е, че OHCI е с по-сложен хардуер и опростен софтуер, докато UHCI е с по-прост и евтин хардуер и по-сложен софтуер и натоварва повече централния процесор. Стандартът EHCI отстранява проблемите, предизвикани от надпреварата между OHCI и UHCI и е единственият, който поддържа USB 2.0 и съответно, високоскоростни трансфери.

Всеки USB хост контролер съдържа по подразбиране USB хъб, наречен коренов (главен) хъб (Root Hub). Главният USB хъб е вътрешно устройство, свързано директно към USB хост контролера и осигурява няколко начални точки на присъединяване, наречени USB портове, за присъединяване на USB устройства и външни USB хъбове към хост компютъра.

Съвременните типични дънни платки имат два или четири USB порта, разположени директно на дънната платка (фиг. 5) . Останалите USB портове са достъпни чрез конектор, разположен на платката. Повечето нови компютърни кутии имат USB портове на предния панел, които могат да се присъединят чрез кабел към дънната платка. Това е много удобно за устройства като флаш памети, цифрови фотоапарати или четци на флаш карти, които често се поставят и вадят.



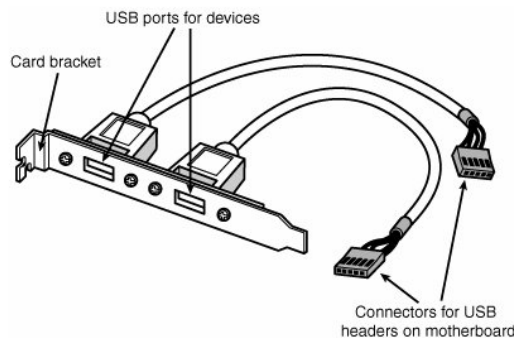
а) USB портове на дънната платка (на задния панел)



б) USB портове на предния панел

фиг. 5. USB портове на компютърната кутия

За по-рядко изключвани устройства, като принтери и скенери, може да се използва скоба с USB портове, закрепена на задния панел в областта на разширителните карти (фиг.6).



фиг. 6 Скоба с USB портове, закрепена на задния панел

Друга възможност за разширяване на броя на USB портовете е да се инсталира USB PCI карта (фиг. 4).

4.2 USB устройствата са периферни устройства, които използват USB протокола за двупосочна комуникация с хост-компютъра (фиг. 7).



фиг. 7 USB устройства

Главното задължение на USB устройството е да осигури на крайния потребител специфични функции, като клавиатура, модем, видеокамера и др. Поради тази причина официалната USB спецификация използва термина „функция”, когато има предвид USB периферно устройство. Всяко USB устройство получава собствен адрес, като са възможни максимално 127 адреса. За да се свърже USB устройство към компютъра, трябва да има свободен USB конектор.



фиг. 8 USB хъб

За да се осигурят на потребителя допълнителни точки за присъединяване на повече устройства се използва USB устройство, наречено **USB хъб (концентратор)** (фиг. 8). USB хъбът е устройство с множество точки на свързване (най-често 4 или 7) за присъединяване на USB устройства и други хъбове в звездна топология. Точките на свързване се наричат USB портове.

Хъбът няма логическа функция, а служи като разпределител с вграден сигнал усилвател (повторител). Вътрешния главен хъб на хост контролера и външните хъбове са функционално еднакви.

Хъбът контролира както връзките, така и разпределението на захранването към всяка от свързаните функции. Хъбът разпознава динамичното включване на устройство и му осигурява поне 0,5W захранване по време на инициализацията. Под управлението на драйверния софтуер в PC-то, хъбът може да осигури и по-голямо захранване - максимум 2,5W за едно устройство. USB хъбовете могат да бъдат със собствено захранване или без захранване (ако са предназначени за устройства с малка консумация). Някои USB устройства (като клавиатури и монитори) могат да притежават вграден USB хъб (фиг. 3). Такива

устройства се наричат съставни. Съществуват и други интересни решения за комбинирани устройства – подложка за мишка с USB хъб; четец на карти с USB хъб и др.

На всеки нов хъб, който се свързва към шината, му се назначава уникален адрес.

4.3 USB кабелът свързва хост-компютъра и USB устройството

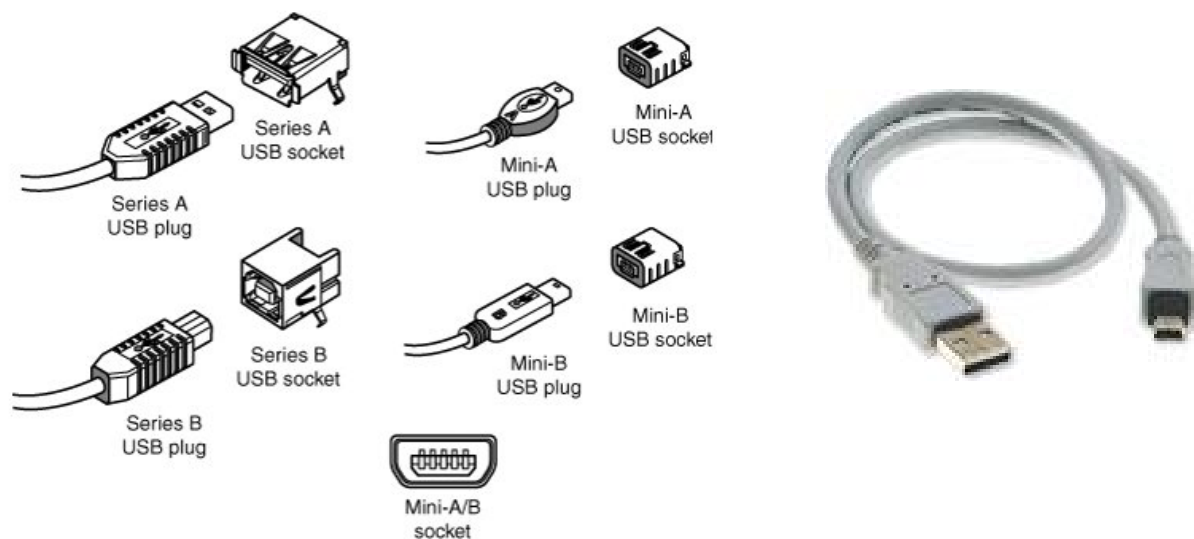
Кабелът е с четири проводника (захранване, земя и два за данни). За високоскоростните устройства (12Mb/сек) е екраниран (ширмован), а отделните линии са усукани, като е допустима максимална дължина 5 м. Кабелът при нискоскоростните устройства (1,5Mb/сек) е с максимална дължина от 3 м и не е предвидено екраниране и усукване. Използването на по-дълъг кабел намалява качеството на сигнала и може да попречи на USB устройствата да работят правилно или въобще да работят. За да се използват USB устройства на по-голямо разстояние (максимално теоретично до 30 м) се изисква използването на няколко захранвани USB хъба или активен кабел за разширение (USB Active Extension Cable, USB Repeater Cable). Активният кабел съдържа електроника, която възстановява и усилва USB сигнала.

Таблицата дава информация за изводите на четирипроводниковия USB кабел.
табл. 1 Описание на изводите на USB конекторите

Извод	Име на сигнала	Цвят на проводника	Коментар
1	VCC	Червен	Кабел за захранване
2	-Data	Бял	Прехвърляне на данни
3	+Data	Зелен	Прехвърляне на данни
4	Ground	Черен	Кабел за земя
Обвивка	Shield	—	Оплетка за екраниране

При USB 1.x и 2.0 се използва куплунг с 4 извода. Обменът на данни се осъществява по две диференциални сигнални линии (D+ и D-). Освен това са предвидени линии за подаване на маса и линии за захранващо напрежение (+5 V). Диференциалният сигнал на USB е най-малко 1 V. Не се подава тактов сигнал – такъв се генерира от потока данни.

За свързване към USB шината са специфицирани 4 типа **конектори**, наречени Серия А, Серия В, Mini-A, и Mini-B (фиг. 9). Серия А конекторът е проектиран за устройства, при които потокът на информацията е нагоре (към хоста), а кабелът остава включен постоянно - хъбове, клавиатури и мишки. USB портовете на повечето дънни платки и хъбове използват нормални Серия А конектори. Серия В конекторите са проектирани за устройства, при които потокът на информацията е надолу (към периферията) и се изисква кабелът често да се разкачва - принтери, скенери, модеми, телефони и високоговорители. Мини конекторите са умалени версии на основните конектори и се използват за по-малки устройства.



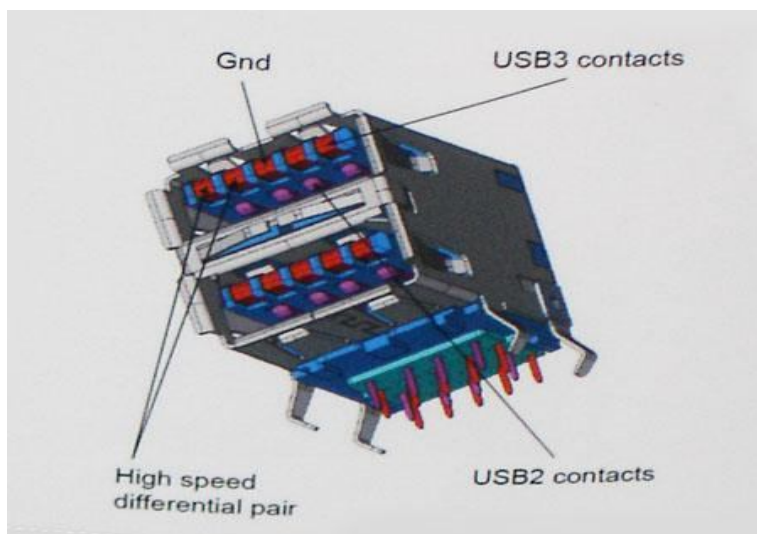
а) Типове USB конектори

б) Кабел USB A - USB mini

фиг. 9 USB конектори

Мъжките USB конектори са малки, и за разлика от типичния сериен или паралелен кабел не се прикрепват с винтове или врътки. Няма крачета, които да се огъват или чупят, което прави USB устройствата много удобни за инсталиране и премахване.

За USB 3.0 е създаден нов конектор, като основната разлика е в увеличената дълбочина и допълнителните контакти при новия интерфейс (фиг. 10).



фиг. 10 Конектор за USB 3.0

4.4 USB адаптери

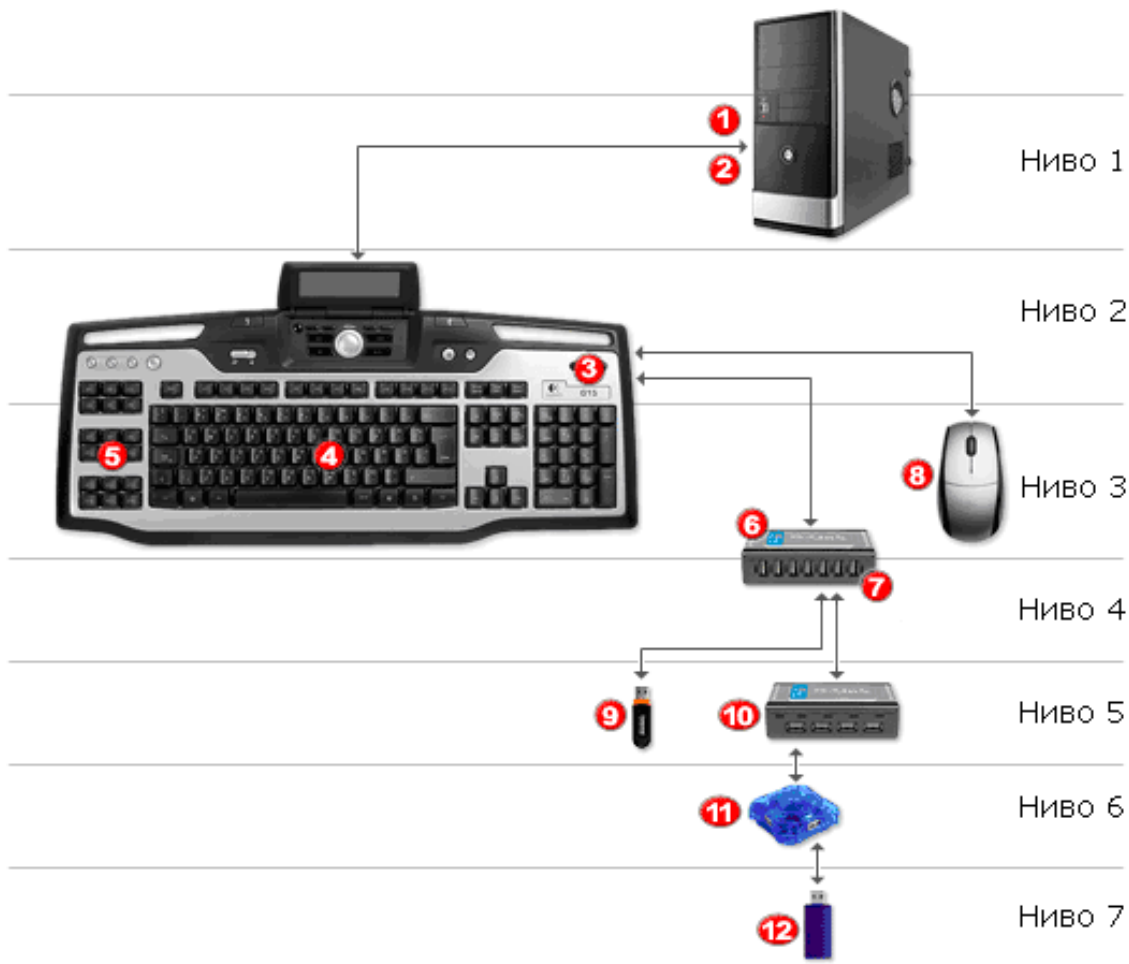
Ако потребителят има стари периферни устройства и иска да се възползва от предимствата на USB конектора, или просто дънната му платка не притежава старите портове, може да се използват следните сигнални преобразуватели или адаптери: USB-паралелен порт(принтер); USB-сериен порт; USB-SCSI; USB- Ethernet (мрежа); USB-клавиатура/мишка; USB-TV/видео.

5. Свързване на USB устройствата. USB топология

Както беше посочени по-горе, свързването на повече от едно устройства към USB шината се осъществява чрез USB хъбове (концентратори). USB хъбът е специално USB устройство, единствената цел на което е да даде възможност да се свържат още устройства към USB веригата. Той отговаря и за това да открива в кой момент устройствата се включват или изключват от шината. След като се включи хъб, вече е възможно да се свържат няколко други устройства към него, в това число и други хъбове, като така се изгражда дървовидна структура. Всички включени към USB интерфейса периферни устройства се управляват от USB хост-контролер, монтиран на дънната платка на РС или на PCI карта.

Моделът, описващ връзката между хоста и USB устройствата се нарича **топология на шината**. Топологията се дефинира на физическо ниво и логическо ниво.

Физическата топология дефинира как се свързват USB устройствата към хоста. Следващата схема (фиг. 11) показва USB хост с няколко свързани периферни устройства, от гледна точка на потребителя.

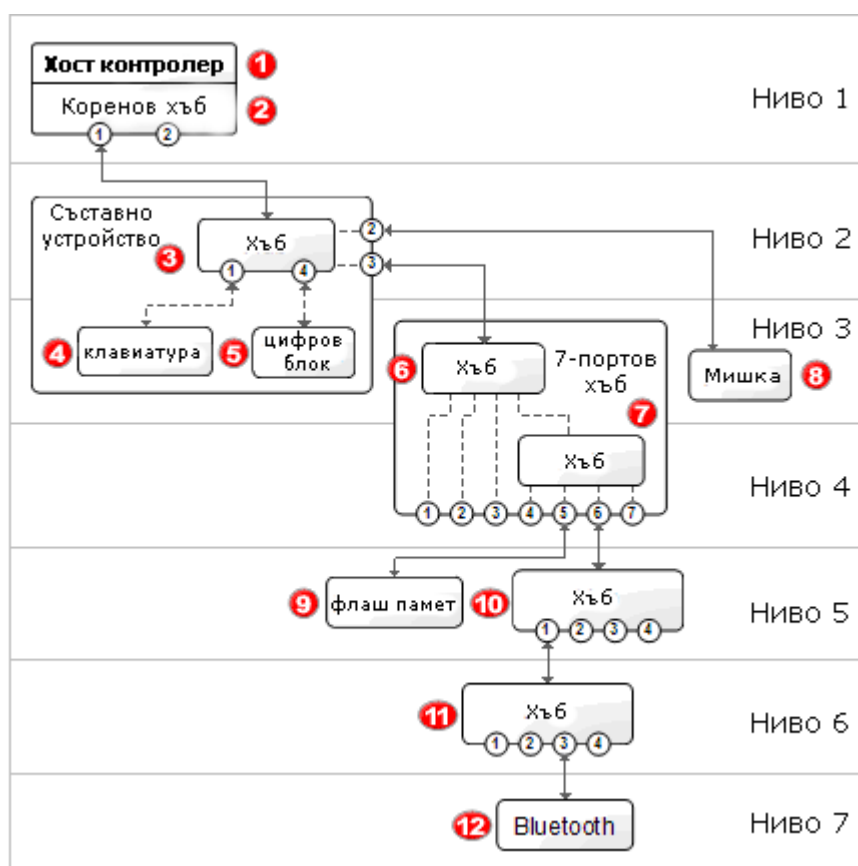


фиг. 11 Пример за USB топология от гледна точка на потребителя

1. USB хост с хост контролер
2. 2-портов коренов хъб, вграден в хост контролера
3. 4-портов хъб, вграден в клавиатурата (част от съставно устройство)
4. USB клавиатура (част от съставно устройство)

5. USB цифров блок (част от съставно устройство)
6. 4-портов хъб (част от 7-портов хъб)
7. 4-портов хъб (част от 7-портов хъб)
8. USB мишка
9. USB флаш памет
10. 4-портов хъб
11. 4-портов хъб
12. USB bluetooth адаптер (например, за дистанционна връзка с мобилен телефон или лаптоп)

Следващата схема (фиг. 12) илюстрира същата топология, но от гледна точка на хоста и с по-подробно представяне на периферните устройства.



фиг. 12 Пример за USB топология от гледна точка на хоста

От показаните фигури се вижда, че устройствата на USB шината физически се свързват към хоста чрез йерархична звездообразна топология (tiered, star topology), която изглежда като дърво. Кореновият хъб е вграден в USB хост контролера и осигурява една или повече начални точки за присъединяване към хоста. Той е в центъра на звездата и се счита за първо ниво или коренов възел в USB дървото.

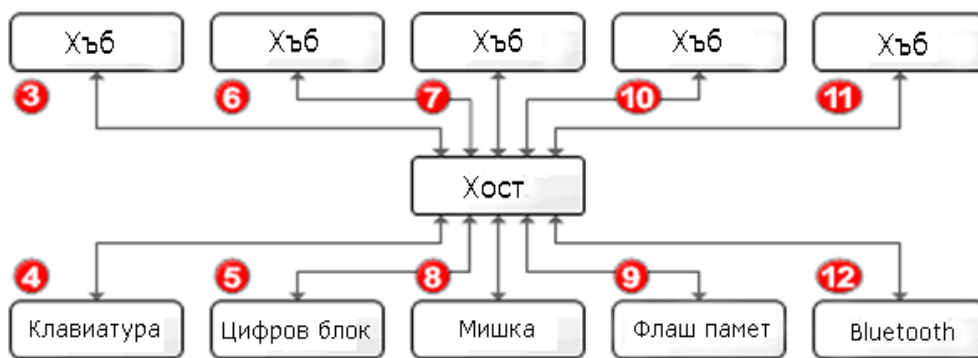
Допълнителни точки на свързване (портове) се осигуряват от външните хъбове, които се явяват междинни възли между устройствата и хост компютъра. Външният хъб има единична връзка към горното ниво в йерархията и няколко (обикновено 4 или 7) връзки към

долните нива за свързване на периферните устройства и други хъбове, осигурявайки свързване на до 127 устройства (вкл. хъбовете) чрез каскадно свързване на множество хъбове.

Периферните устройства са винаги крайни възли (листа) в дървото. Тъй като съвременните хост системи имат множество хост контролери, обикновено има повече от едно USB дърво на компютъра.

Логическата шинна топология дефинира как компонентите, съставлящи физическата топология, се виждат и комуникират от гледна точка на софтуера на хоста.

На фиг. 13 е показана логическата топология за разгледания пример. Макар че устройствата физически са свързани в йерархична звездовидна топология, логически всяко устройство е свързано директно с кореновия порт в топология „звезда”. При това хъбовете, които стоят между хоста и периферното устройство са „прозрачни”.



фиг. 13 Пример за логическа топология

6. USB комуникация

USB е шина, управлявана от хоста. Всички трансфери на данни се инициират и управляват от хоста, който може да обслужва прекъсвания, като обикновено използва IRQ11. Осъществява се режим на последователно запитване (Polling) и никое USB устройство не може само да инициира обмен на данни. По тази причина и за предпазване от евентуални загуби на данни, докато шината е заета с обръщение към дадено устройство, останалите устройства трябва да изчакват и трябва да имат вградени собствени буфери (FIFO¹).

Тъй като само едно главно устройство (master) управлява шината, две USB устройства не могат да комуникират директно едно с друго, поради липса на главно устройство. Това ограничение се преодолява с разширението USB On-The-Go, за което стана дума при разглеждане на USB спецификациите. При него едното периферно устройство действа като главно, а останалите – като подчинени. Съществува също устройство, наречено USB мост (USB Bridge), което може да свързва две USB устройства, без необходимост от хост-компютър (фиг. 14 а). В този случай USB моста е главно устройство.

USB хостовете също не могат да комуникират директно, тъй като в този случай ще има две главни устройства на шината. Това ограничение се преодолява чрез специален USB кабел за прехвърляне на данни, известен като "USB to USB адаптер" (фиг. 14 б). В този кабел има устройство, което действа като подчинено за двата свързани компютъра.

¹ FIFO (First Input First Output) – „първи влязъл – първи излязъл”, това е принципа на опашката. Означава, че данните, които са постъпили първи в буфера, се извеждат първи.



а) USB мост – за връзка между две USB устройства



б) USB to USB адаптер – за връзка между 2 компютъра

фиг. 14 USB устройства за осъществяване на директна връзка

Когато хостът се включи, той запитва всички устройства, свързани към шината и назначава на всяко от тях уникален адрес. Този процес се нарича enumeration (изброяване). Когато някое ново устройство се присъедини към шината, то също получава адрес.

USB комуникацията се извършва между хоста и крайните точки, разположени в периферните устройства. Крайната точка е уникално адресируема част от периферното устройство, която е източник или получател на данните. Адресът на крайната точка на устройството се дефинира от 4 бита. Чрез кодове се указва направлението на трансфера и дали прехвърлянето е управляващо.

Всички трансфери протичат през **виртуални канали**, които свързват крайните точки на периферните устройства с хоста. Когато се установява комуникация с периферното устройство, крайната точка връща дескриптор – структура данни, която казва на хоста каква е конфигурацията на крайната точка и очакванията. Дескрипторите включват типа на трансфера, максималния размер на пакетите данни, евентуално интервала на трансфера и в някои случаи необходимата широчина на честотната лента.

USB поддържа 4 типа трансфери на данни: управляващ, изохронен, обемен (bulk) и чрез прекъсвания.

- **Управляващите трансфери** обменят данни за конфигурацията, настройките и командите между устройствата и хоста. Коректността на пакетите се извършва чрез CRC.
- **Обемните трансфери** преместват големи обеми данни, когато своевременната доставка не е критична. Типични приложения са принтерите и скенерите. Тези трансфери запълват неизползваната честотна лента, когато няма трансфер на нещо по-важно. Използват защита на данните чрез CRC.
- При **трансферите чрез прекъсвания** се запитват последователно устройствата дали имат нужда от обслужване. Използват се от периферните устройства, които обменят малки количества данни, които се нуждаят от незабавно внимание (например, данни от мишката и клавиатурата). Данните се валидират чрез проверка на грешките.
- **Изохронните трансфери** поддържат поточни данни, като тези от аудио или видео устройствата. Тъй като това е чувствителна към времето информация, тя получава гарантиран достъп до USB шината. Не се извършва проверка за грешки, тъй като

се допускат случайно повредени байтове, но забавянето поради проверката и повторното изпращане на сгрешената информация е недопустимо.

След като са идентифицирани устройствата, хостът следи пълната широчина на пропускателната лента, която всички изохронни и прекъсващи устройства изискват. Те могат да използват до 90% от достъпната лента 480 Mb/s. След като се заемат 90%, хостът забранява достъпа на всички изохронни и прекъсващи устройства. Управляващите пакети и пакетите за обемни трансфери използват останалата лента (най-малко 10%). USB дели наличната лента на кадри (frames), които се управляват от хоста. Кадрите съдържат 1500 байта и на всяка милисекунда стартира нов кадър. По време на кадъра, изохронните и прекъсващи устройства получават място в него, за да им се гарантира пропускателната лента, от която се нуждаят. Управляващите и обемните трансфери използват колкото място е останало в кадъра

Литература:

1. Дембовски, Клаус. PC Сервизен справочник. т.3 Интерфейси и системни шини. С., Техника, 2001.
2. Мюлер, Скот. Компютърна енциклопедия. 14-то издание. С., СофтПрес, 2002.
3. Mueller, Scott Upgrading and Repairing Pcs, 17th Edition. Que. 2006.
4. Brain, Marshall. How USB Ports Work. <http://computer.howstuffworks.com/usb.htm>
5. USBlyzer - Professional Software USB Protocol Analyzer. <http://www.usblyzer.com/>
6. Ganssle, Jack G. An Introduction to USB Development
<http://www.embedded.com/2000/0003/0003ia2.htm>
7. Сайт на организацията на разработчиците USB-IF. www.usb.org