



Rozhraní USB



Certified USB



Certified Hi-Speed USB

1



Specifikace USB

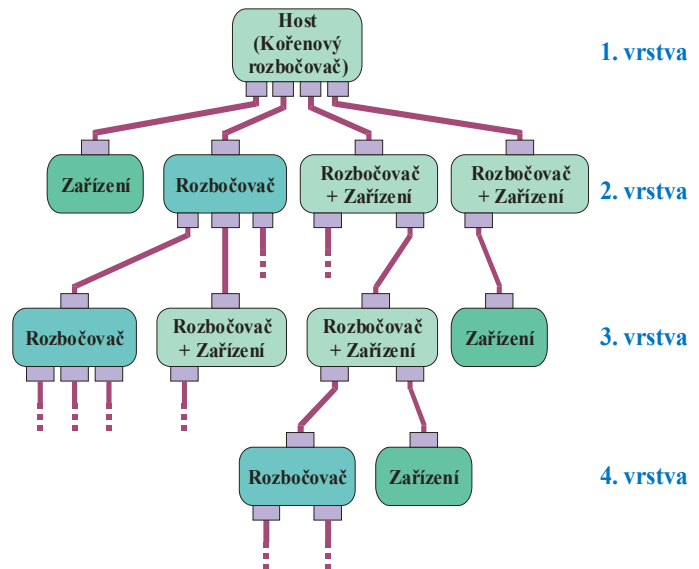
- USB 1.0
 - Původní specifikace.
- USB 1.1
 - Doplnění (upřesnění) 1.0.
 - Rychlosti Low Speed (1.5 Mb/sec) a Full Speed (12 Mb/sec).
- USB 2.0
 - Doplněno o High Speed (480 Mb/sec.) a další rozšíření (ping, ...).
- USB OTG (On-The-Go)
 - Doplněk k USB 2.0.
 - Rozšíření o komunikaci mezi dvěma zařízeními (bez počítače Host).

2



Architektura USB (1)

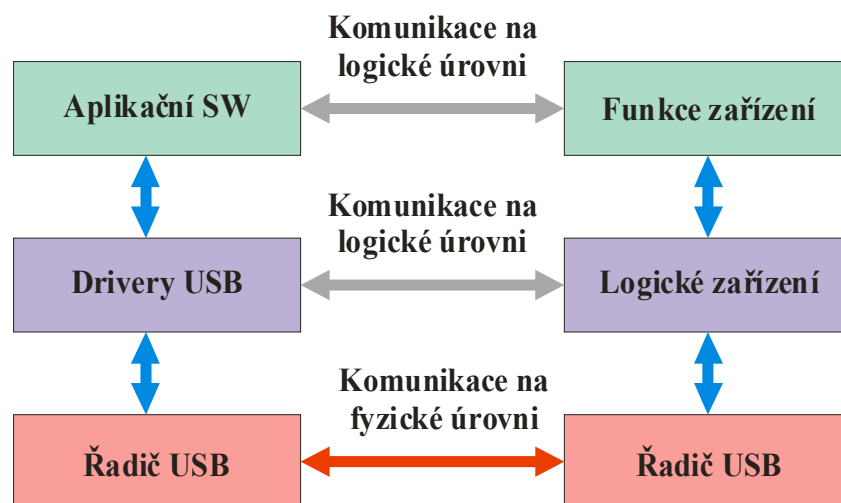
- Propojení pomocí USB má stromovou strukturu.
- Počítač je obvykle Host.
- Na dalších úrovních je buď zařízení nebo rozbočovač (Hub).
 - USB 1.1 – max. 5 vrstev.
 - USB 2.0 max. 7 vrstev.



3



Architektura USB (2)

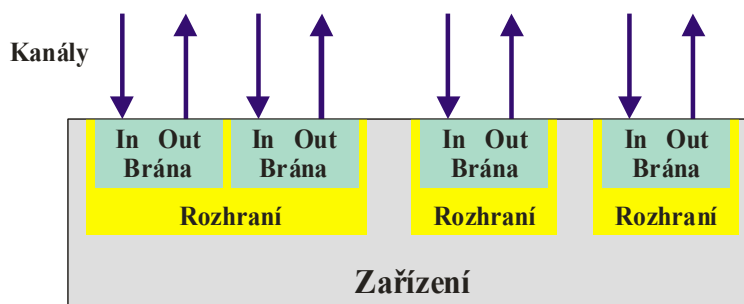


4



Architektura USB (3)

- Zařízení může mít několik různých rozhraní (**Interface**).
 - Např CD může mít rozhraní Audio CD a CD-ROM.
- Každé rozhraní má několik bran (**Endpoint**).
 - Například může mít bránu pro řízení a bránu pro data.



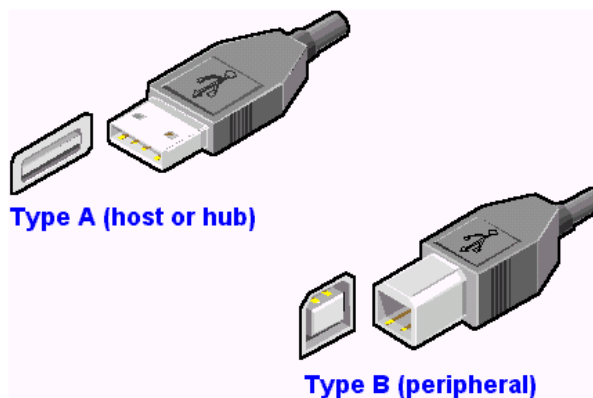
5



Konektory a kabely

- Maximální délka kabelu LS = 3 m (zpoždění 18 ns).
- Maximální délka kabelu FS a HS = 5 m (zpoždění 26 ns).
- $Z_0 = 90\Omega$.

From Computer Desktop Encyclopedia
© 1999 The Computer Language Co. Inc.

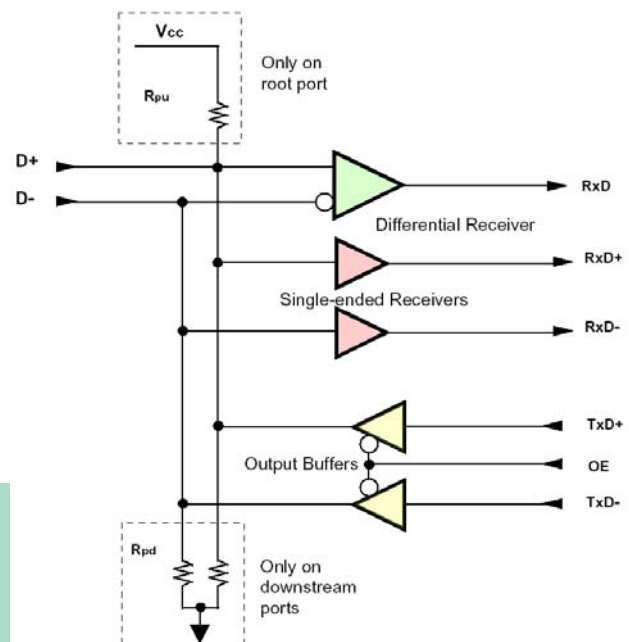
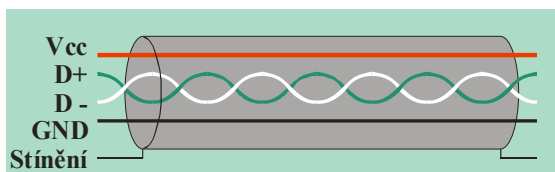


6



Fyzická vrstva LS/FS

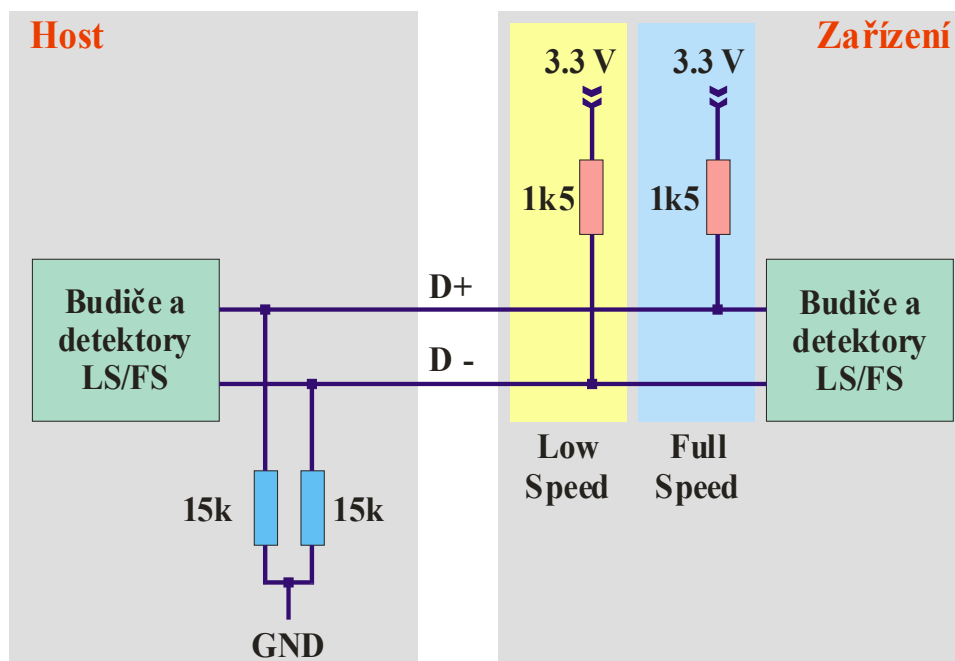
- Používá se diferenciální signál.
- Jeden pár vodičů slouží pro oba směry.
- Elektrické úrovně na vodičích definují několik stavů (odlišné pro LS, FS, HS), viz dále.



7



Úrovně napětí na lince LS/FS



8



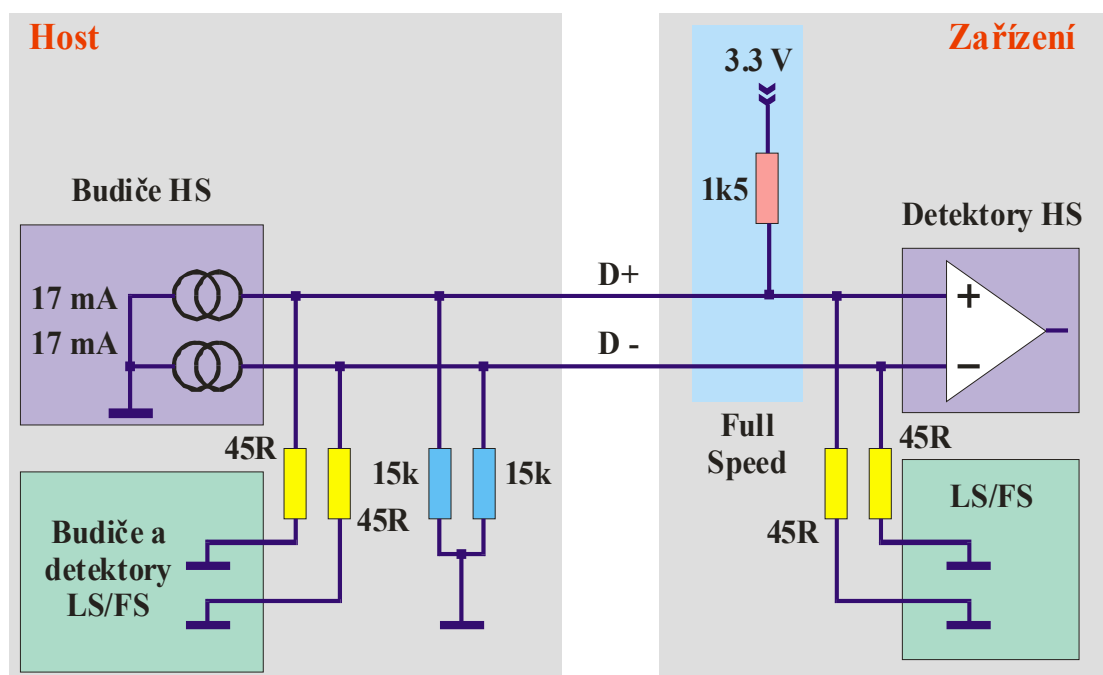
Fyzická vrstva HS

- Rozšířená proti LS/FS.
- Budiče linky HS fungují jako zdroj proudu 0 mA nebo 17 mA.
- Napětí na lince (400 mV / 800 mV) závisí na zakončovacích odporech ($2 \times 45 \Omega$).
- Detekce připojení HS – napřed jako FS, potom „HS chirp“.
- Detekce odpojení – zvýšení linkového napětí na 800 mV.

9



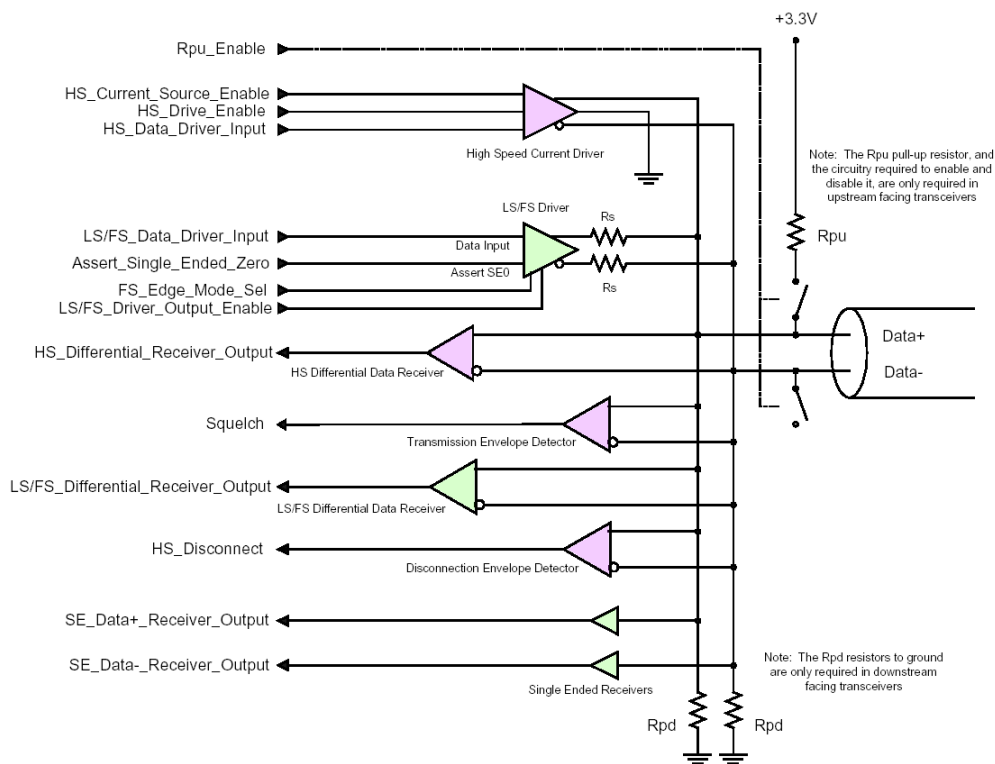
Úrovně napětí na lince HS



10



Budiče linky LS/FS/HS

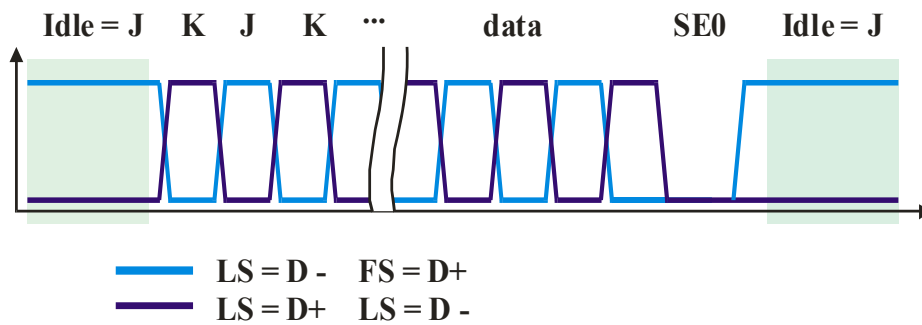


Úrovně signálů

Význam	Low Speed		Full Speed		High Speed	
	D+	D-	D+	D-	D+	D-
Stav J	D+ < D-		D+ > D-		D+ > D-	
Stav K	D+ > D-		D+ < D-		D+ < D-	
SE0	< V _{IL}	< V _{IL}	< V _{IL}	< V _{IL}		
Idle	< V _{IL}	> V _{IH}	> V _{IH}	< V _{IL}	< V _{IL}	< V _{IL}
SOP	Idle → K		Idle → K		Idle → K	
EOP	2 × SE0 + J		2 × SE0 + J		40 × J (K)	
Připojení	< V _{IL}	> V _{IH}	> V _{IH}	< V _{IL}	FS + Chirp	



Stavy J, K a SE0 na lince LS/FS

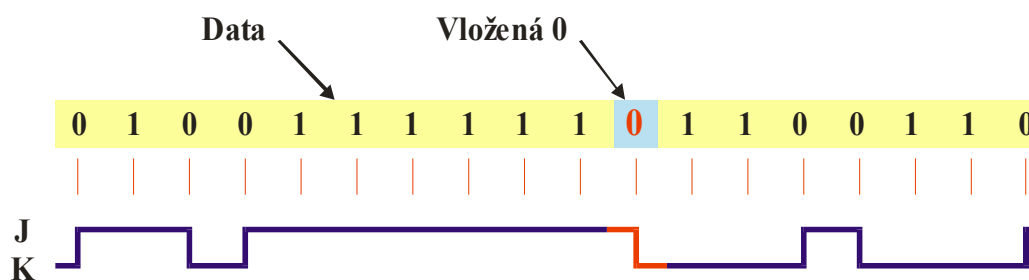


13



Kódování dat

- Kód NRZI.
- Po souvislém sledu 6×1 se vkládá 0 (bit stuffing) pro synchronizaci.

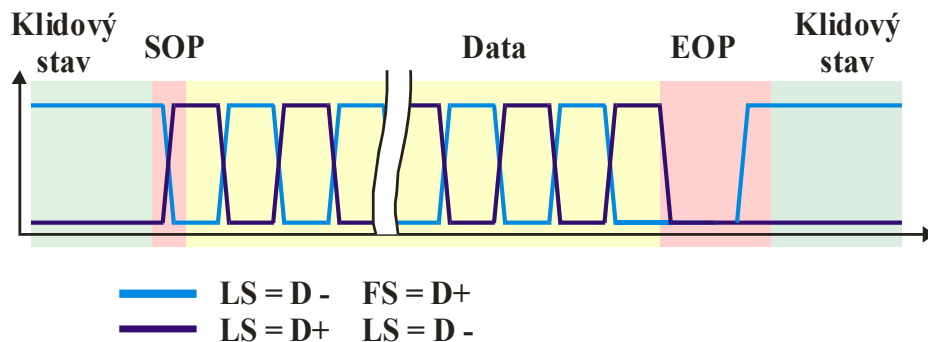


14



Formát paketu USB 1.1 (1)

- Začátek paketu (SOP) = přechod z klidového stavu (Idle) do K.
- Konec paketu (EOP) = $2 \times \text{SE0}$ a přechod do klidového stavu (J).

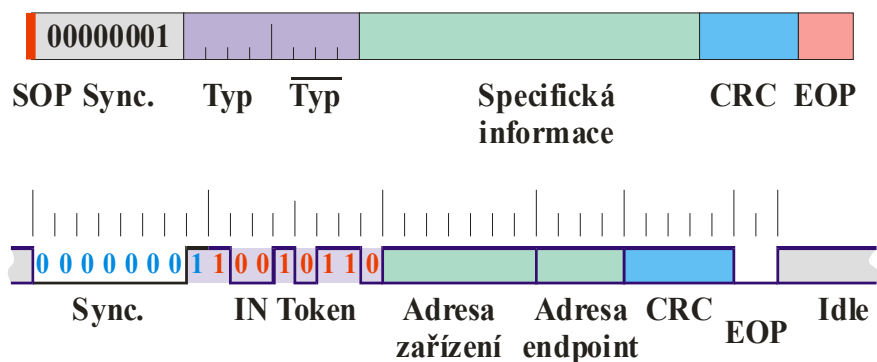


15



Formát paketu USB 1.1 (2)

- Na začátku paketu je synchronizační pole 0000 0001.
- Za synchr. polem je 1 byte s typem paketu.
- Další obsah paketu závisí na jeho typu.
- Na konci paketu je CRC 5 nebo 16 bitů (5, 2, 0 resp. 16, 15, 2, 0).



16



Typy paketů

- Základní typy paketů:
 1. Pověřovací (Token Packet).
 2. Datové (Data Packet).
 3. Potvrzovací (Handshake Packet).
 4. Speciální (Special Packet).



Typy paketů (USB 1.1)

Skupina	Paket	Kód	Význam
Token	SOF	0101	Začátek rámce
Token	SETUP	1101	Nastavení/zjištění parametrů zařízení
Token	IN	1001	Přenos dat IN
Token	OUT	0001	Přenos dat OUT
Data	DATA0	0011	Datový paket
Data	DATA1	1001	Datový paket
Handshake	ACK	0010	Potvrzení přijetí dat
Handshake	NAK	1010	Odmítnutí dat (OUT) / Data nejsou k dispozici (IN)
Handshake	STALL	1110	Odmítnutí požadavku (chybový stav zařízení)
Special	PRE	1100	Přepnutí na LS



Další typy paketů (USB 2.0)

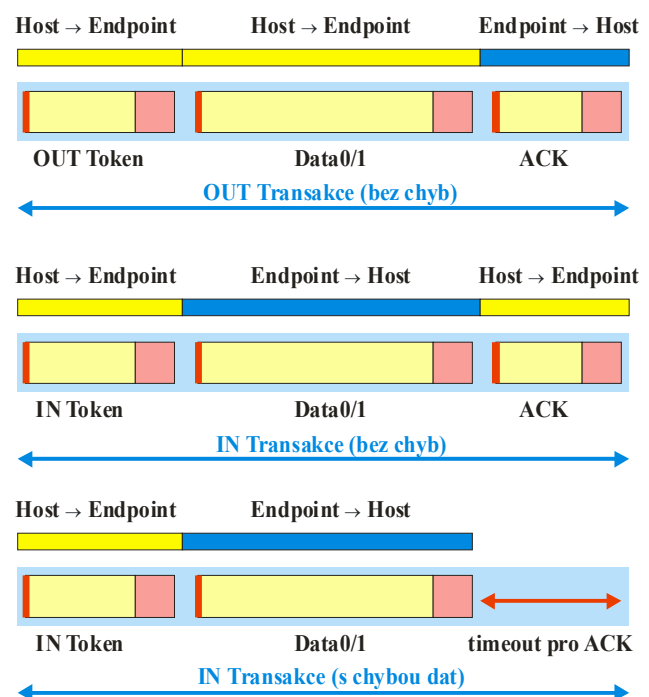
Skupina	Paket	Kód	Význam
Data	DATA2	0111	Datový paket
Data	MDATA	1111	Datový paket v isochronním přenosu OUT
Handshake	NYET	0110	Potvrzení přijetí, další požadavek bude odmítnut
Special	ERR	1100	Chyba při SPLIT transakci
Special	SPLIT	1000	Začátek komunikace se zařízením USB 1.1
Special	PING	0100	Dotaz na připravenost k přenosu OUT

19



Transakce

- Transakce obsahuje pakety Token – Data – Potvrzení.
- Některé transakce nemají datový nebo potvrzovací paket.

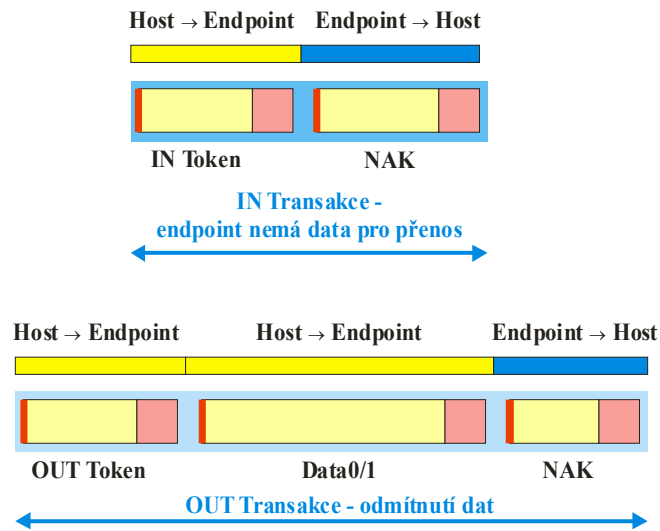


20

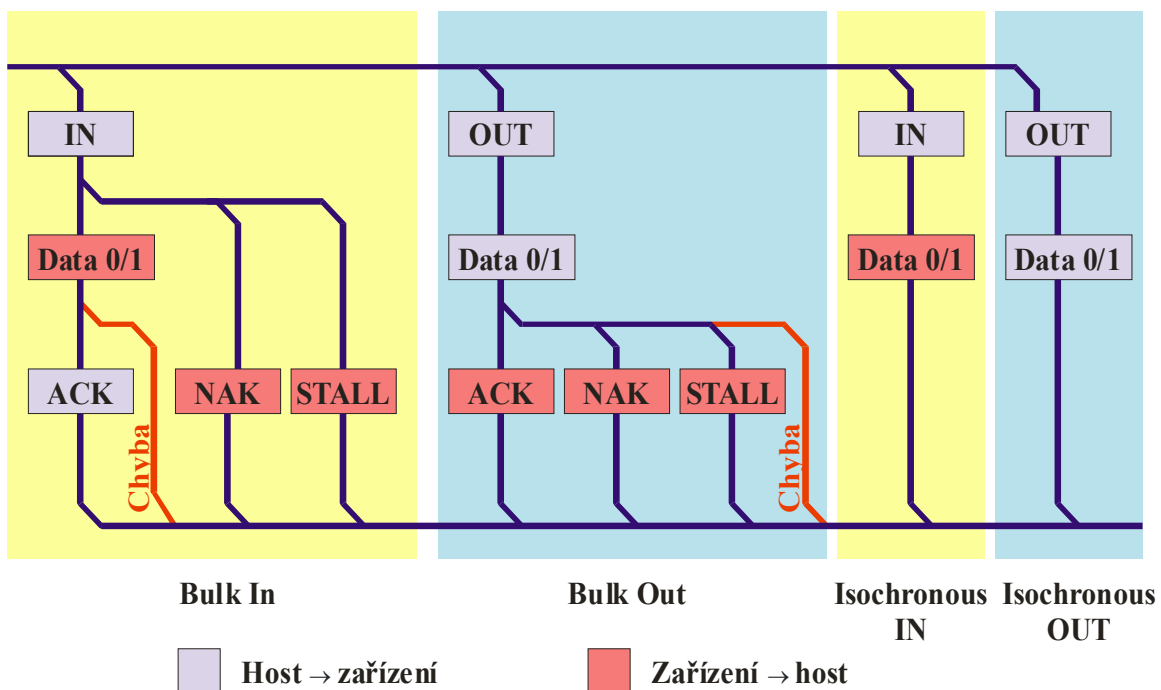


Transakce s odmítnutím

- NAK indikuje nedostupnost dat (IN) nebo odmítnutí dat (OUT).



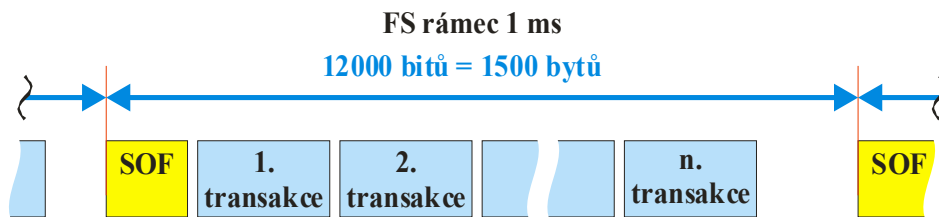
Transakce přenosu dat





Rámce

- Na USB 1.1 je přenosová kapacita rozdělena do rámců dlouhých 1 ms.
 - Při FS: 1 rámeček = 12 000 bitových intervalů, tj. 1500 bytů.
- Na začátku rámeček se vysílá SOF pro případnou synchronizaci zařízení.

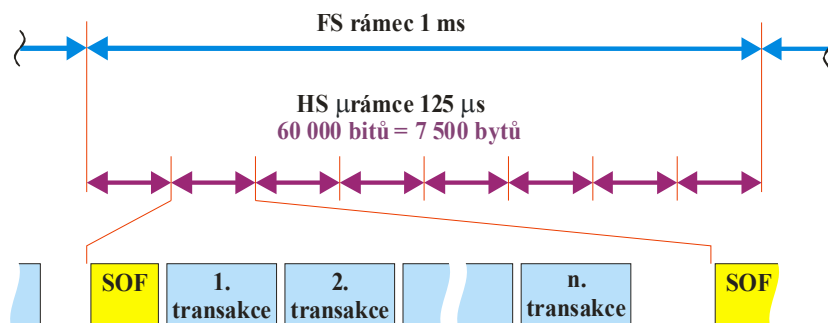


23



Mikrorámce

- Na USB 2.0 (HS) je přenosová kapacita rozdělena do mikrorámčů (125 μ s).
 - Při HS (480 MHz): 125 μ s = 60 000 bitových intervalů, tj. 7500 bytů.



24



Typy přenosů

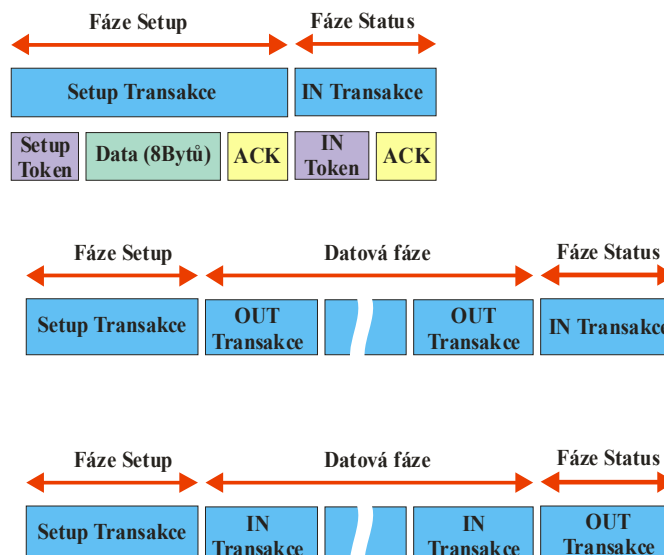
- Podle požadavků na přenos se používají různé typy přenosu:
 - **Setup** - nastavení / zjištění konfigurace zařízení.
 - **Isochronous** – přenos dat s dodržením požadované rychlosti přenosu.
 - **Bulk** – přenos dat bez dodržení požadavků na rychlost přenosu.
 - **Interrupt** – požadavek na přenos (Token IN/OUT) se vysílá s nastavenou periodou.

25



Přenosy Setup

- Přenos Setup má obecně fáze Setup – Data – Status.



26



Přenosy Isochronous

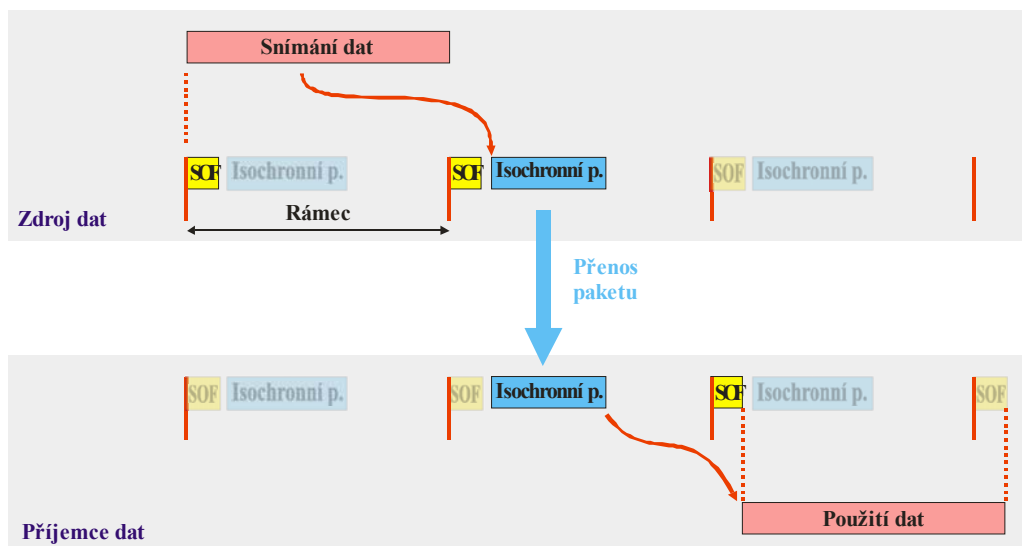
- Při konfiguraci zařízení žádá o přenos **Isochronous** s určitou kapacitou – Host žádost akceptuje nebo zamítne.
- Maximálně 1023 bytů v paketu (**HS: 1024 bytů**).
- V rámci je max. 1 Isochronous paket pro každou bránu (endpoint) (**HS: 3 pakety**).
- Nepotvrzuje se ACK/NAK.
- Maximální přenosová rychlost:
 - FS: 1 paket \bar{a} 1023 B \times 1000 rámců/s = \approx 1 MB/s (využije cca 69% přenosové kapacity).
 - HS: 3 pakety \bar{a} 1024 B \times 8000 μ rámců/s = \approx 24 MB/s (cca 41% kapacity).

27



Synchronizace při Isochronním přenosu

- Příjemce dat se synchronizuje pomocí SOF.



28



Přenosy Bulk

- Nemají zaručenou přenosovou rychlost.
- V paketu 8, 16, 32 nebo 64 bytů (HS: max. 512 bytů).
- V jednom rámci může být libovolný počet transakcí na jednu bránu (endpoint).
- Maximální přenosová rychlost*:
 - FS: 19 paketů \bar{a} 64 B \times 1000 rámců = ≈ 1.2 MB/s.
 - HS: 13 paketů \bar{a} 512 B \times 8000 μ rámců = ≈ 52 MB/s.

* *neprobíhají-li jiné přenosy.*

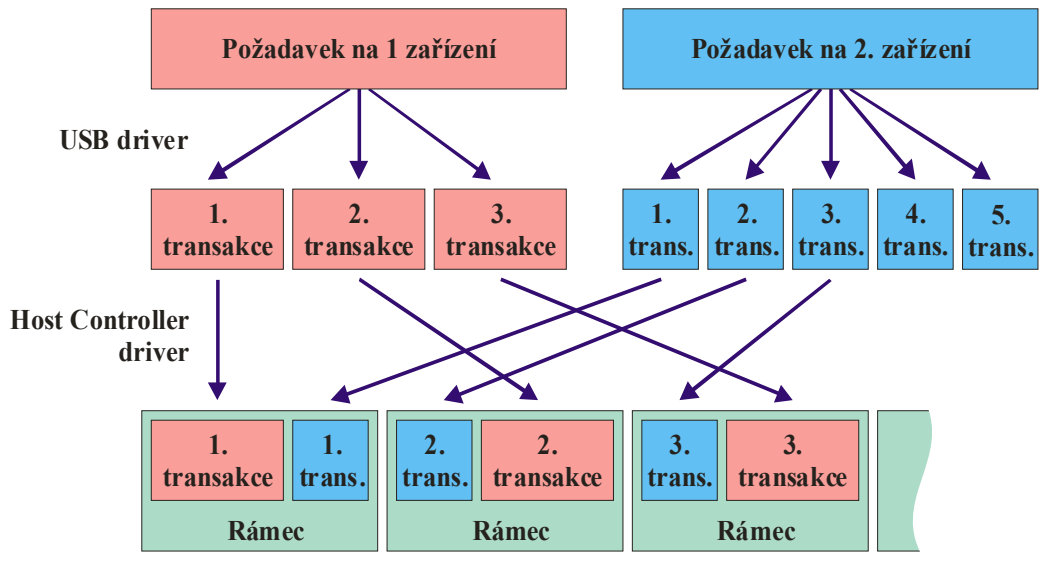


Přidělování kapacity rámce (1)

- Plánování provádí Host podle požadavků jednotlivých zařízení.
- 90% kapacity rámce se přednostně přiděluje přenosům Isochronous a Interrupt (u USB 2.0 – 80%).
- 10% je vyhraženo pro řídicí přenosy (Setup).
- Případný zbytek (pokud není využita kapacita pro Isochronous a Interrupt) se přiděluje pro přenosy Bulk.

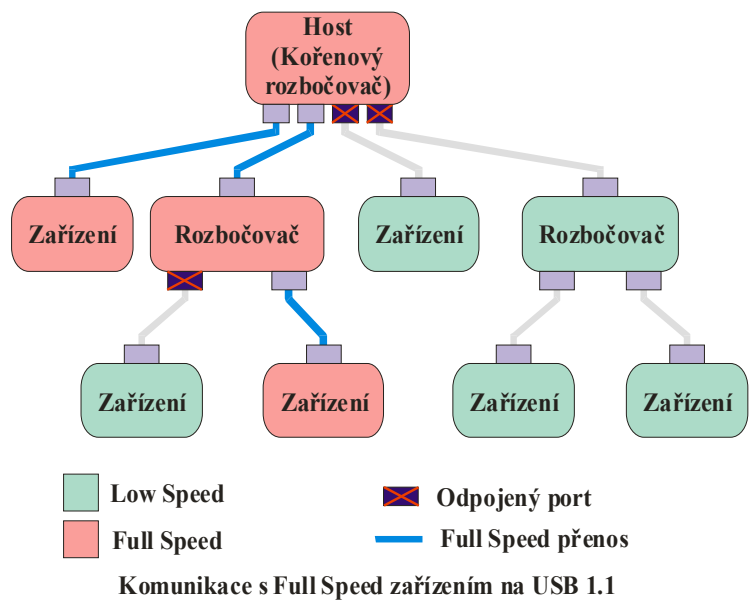


Přidělování kapacity rámce (2)



Kombinace LS/FS zařízení na USB 1.1 (1)

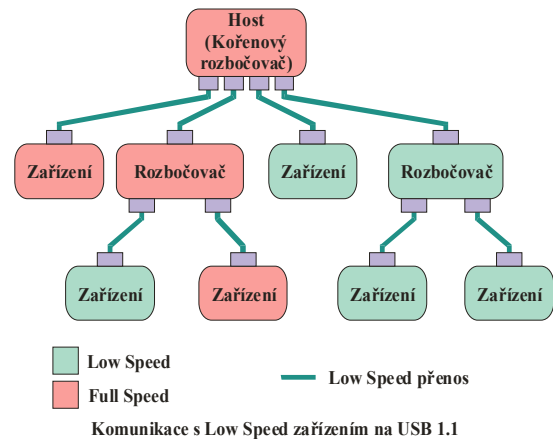
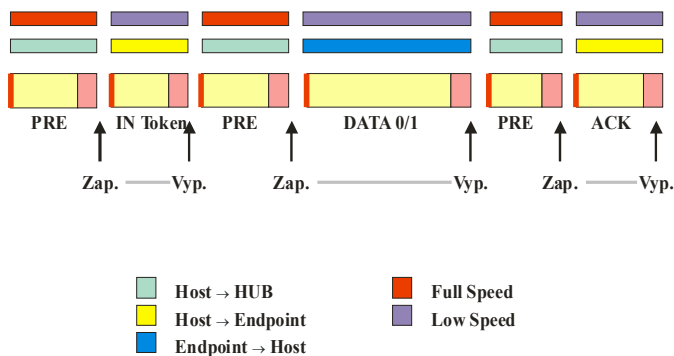
- Při komunikaci s FS jsou porty s LS zařízením odpojeny.





Kombinace LS/FS zařízení na USB 1.1 (2)

- Při komunikaci s LS se porty LS připojí paketem PRE.
- LS přenos je detekován i ve FS zařízeních.

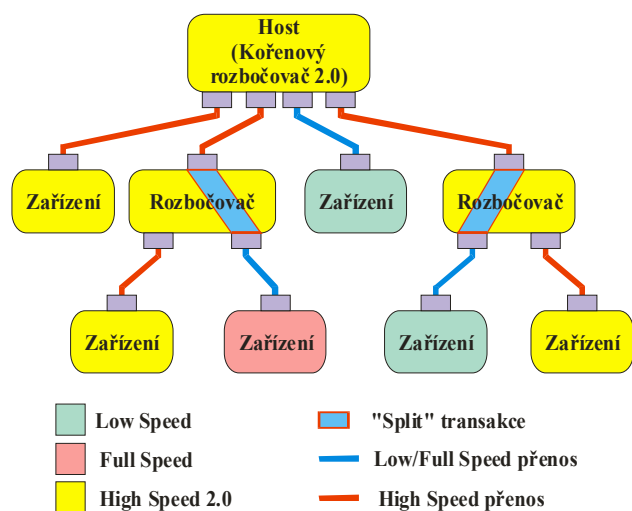


33



Kombinace zařízení LS/FS/HS na USB 2.0

- Host/Hub je USB 1.1 (LS/FS), zařízení je USB 2.0 (HS).
 - Zařízení se přizpůsobí a komunikuje podle USB 1.1 (FS).
- Host/Hub je USB 2.0 (HS), zařízení je USB 1.1 (LS/FS).
 - Port se zařízením se nastaví do režimu USB 1.1. Hub převede pakety z HS do LS/FS a naopak – „Split“ transakce.

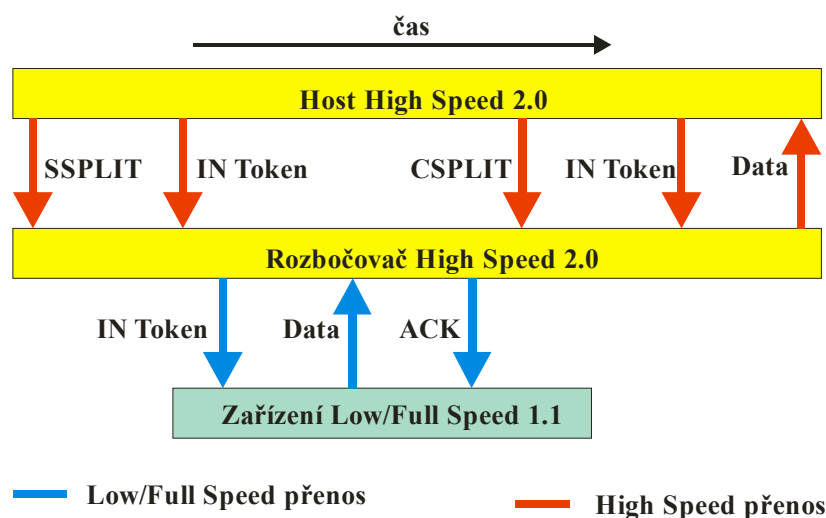


34



Split transakce

- Je zahájena paketem SSPLIT resp. CSPLIT.
- Hub převede pakety HS na LS/FS a naopak.



35



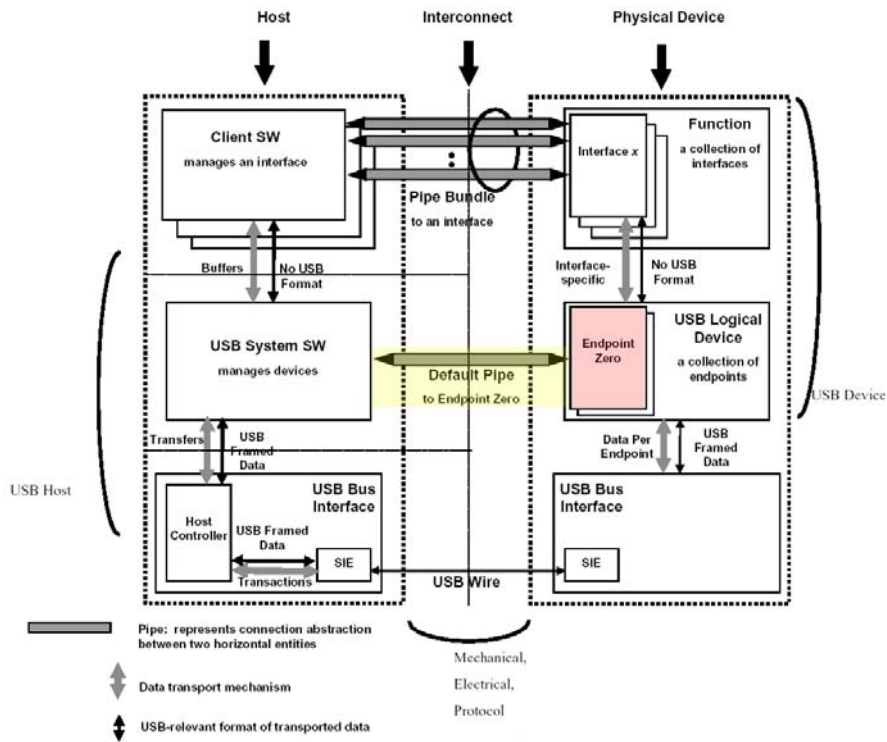
Připojení zařízení (1)

- Po připojení musí mít zařízení funkční bránu 0 (**Endpoint 0**).
- Host přečte z brány 0 deskriptor konfigurace zařízení.
- Host přidělí zařízení unikátní adresu na USB.
- Host přečte sadu deskriptorů pro jednotlivá zařízení, konfigurace, rozhraní (**Interface**) a brány (**Endpoint**).
- Host nastaví vhodnou konfiguraci zařízení.

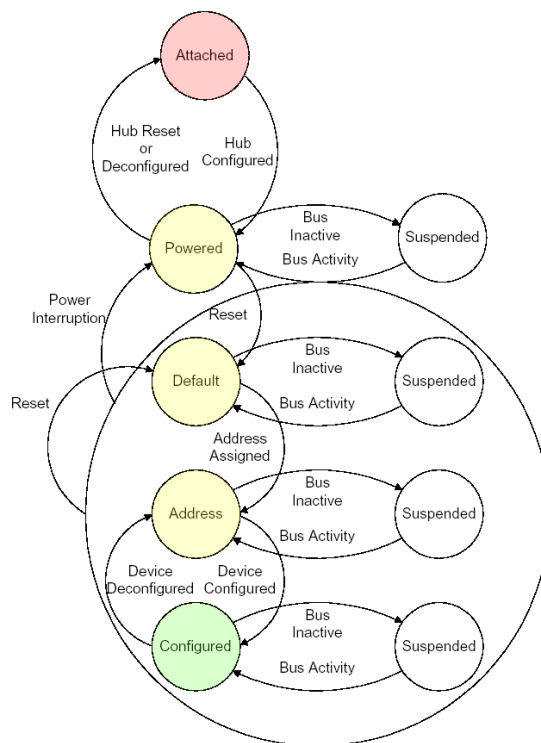
36



Připojení zařízení (2)



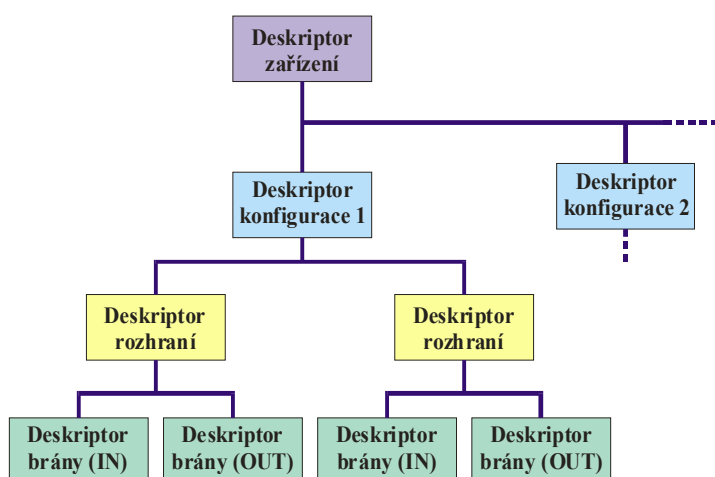
Připojení zařízení (3)





Deskriptory

- Každé zařízení má hierarchickou sadu deskriptorů, které popisují zařízení, konfigurace, rozhraní a brány.
- Deskriptory se čtou ze zařízení po jeho připojení v procesu „enumerace“.



39



Třídy zařízení

- Každé zařízení má jedno nebo více rozhraní pro zařízení různé třídy a podtřídy (**Device Class**, **Device Subclass**) - zjistí se z deskriptoru.
- Pro každou třídu existují specifické drivery.

- Audio Class.
- Communication Device Class.
- Content Security Class.
- Human Interface Device Class.
- Image Device Class.
- IrDA Class.
- Mass Storage Device Class.
- Monitor Class.
- Physical Device Interface Class.
- Power Device Class.
- Printer Device Class.

40



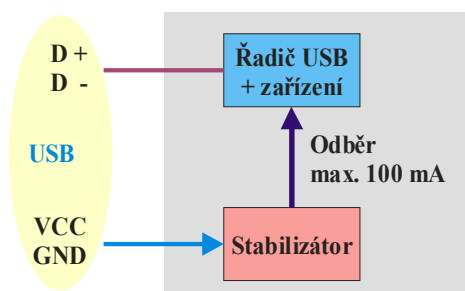
Napájení zařízení (1)

- Po připojení může zařízení odebírat z USB maximálně 100 mA.
- Při konfiguraci může požadovat větší odběr, maximálně 500 mA.
- Podle způsobu napájení lze zařízení rozdělit do 3 skupin:
 1. Zařízení napájená jen z USB.
 2. Zařízení napájená jen z vnějšího zdroje.
 3. Zařízení napájená z USB a vnějšího zdroje.

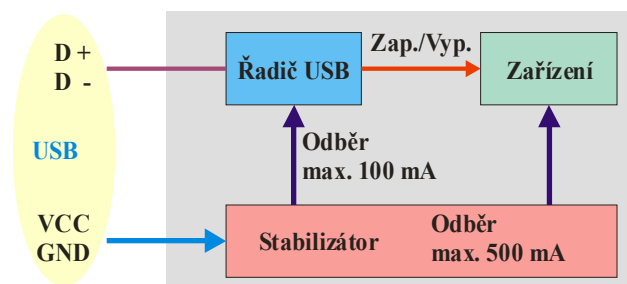
41



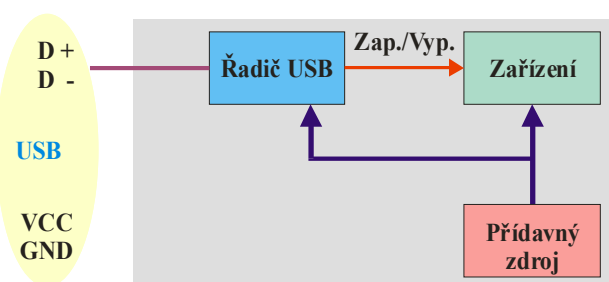
Napájení zařízení (2)



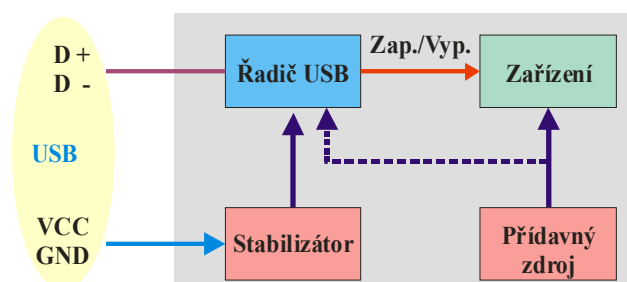
Napájení jen z USB



Napájení z USB - max. 500 mA



Napájení z vnějšího zdroje



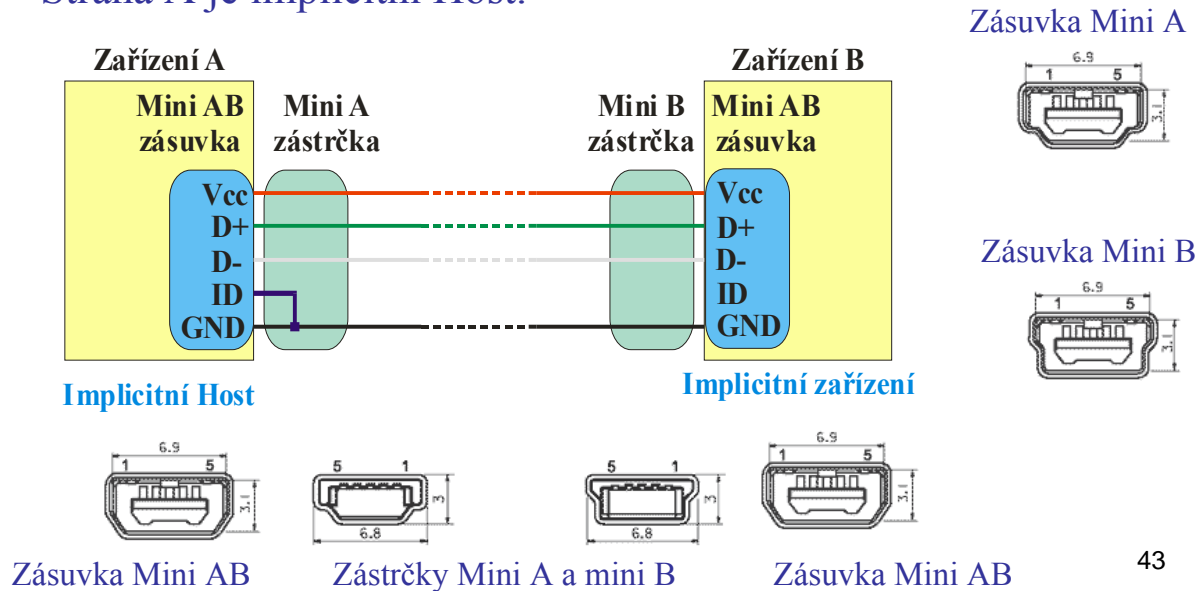
Kombinované napájení

42



USB On-The-Go

- Pro propojení dvou zařízení („Device“).
- Zařízení jsou vybavena zásuvkami Mini AB.
- Strana A je implicitní Host.



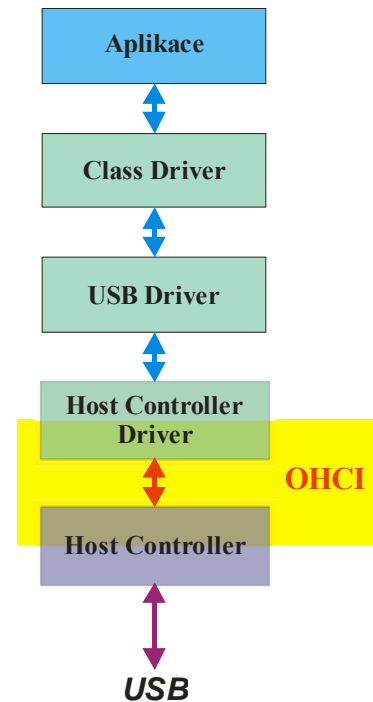
USB On-The-Go

- Doplněny nové protokoly:
 - Protokolem HNP (Host Negotiation Protocol) lze převádět zařízení Host ↔ Device (průběžně).
 - Protokolem SRP (Session Request Protocol) může odpojené zařízení žádat o zahájení komunikace.



Řadiče USB

- Hardwarový řadič USB (Host Controller) má nad sebou několik vrstev ovladačů.
- **OHCI** (Open Host Controller Interface) definuje komunikaci mezi HC a HCD (Host Controller Driver). Pro USB 1.1.
- **UHCI** (Universal Host Controller Interface) používá jiný typ HC s menší schopností plánování (plánování přenosů provádí HCD). Pro USB 1.1.
- **EHCI** (Enhanced Host Controller Interface) - pro USB 2.0.

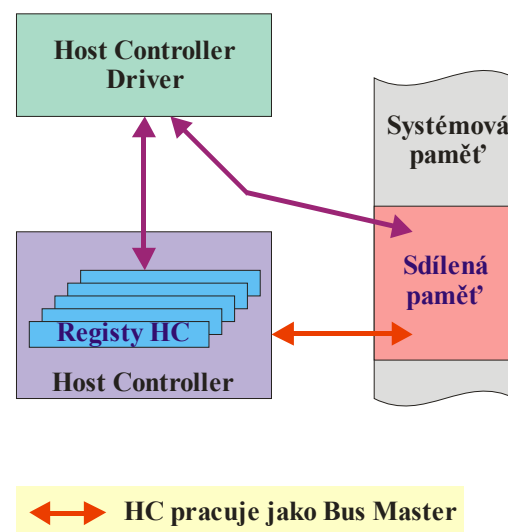


45



OHCI

- V OHCI se používají dva způsoby komunikace mezi HCD a HC:
 - Registry v HC.
 - Sdílená paměť (je součástí hlavní paměti).
 - Při práci se sdílenou pamětí se HC chová jako Bus Master.



46



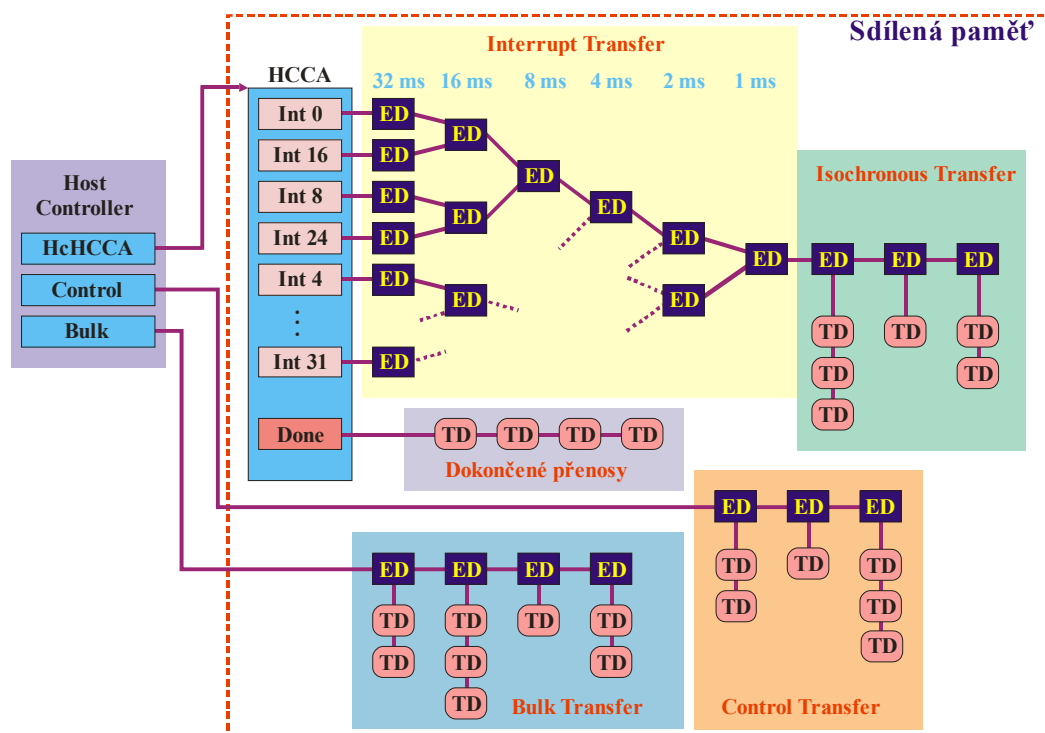
Sdílená paměť v OHCI

- HCD vytváří a udržuje ve sdílené paměti seznamy deskriptorů:
 - **ED** – Endpoint Descriptor.
 - Popisuje komunikaci s jednotlivými bránami (Endpoint).
 - **TD** – Transfer Descriptor.
 - Popisuje jednotlivé přenosy.
- Ukazatele na seznamy deskriptorů jsou v registrech HC nebo v komunikační oblasti sdílené paměti (**HCCA**).

47



Seznamy deskriptorů



48



Endpoint Descriptor

- Maximální délka paketu.
- Řízení a status (směr přenosu, ...).
- Odkaz na seznam TD.
- Odkaz na další ED.

ED

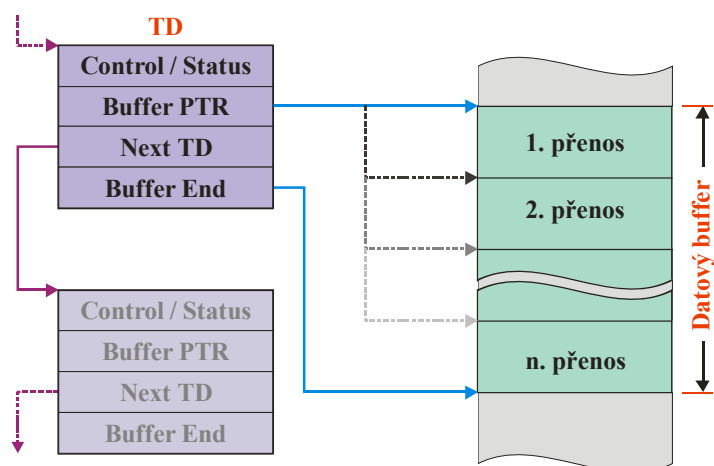
Max. Packet Size	Contr/Stat
TD Queue Tail	
TD Queue Head	
Next Endpoint Descriptor	

49



Transfer Descriptor

- Řízení a status.
- Adresa na začátku a konce datového bufferu.
- Odkaz na další TD.
- Pro každý ED se použije jen první TD v seznamu.
- Po dokončení přenosu se TD zařadí do seznamu dokončených přenosů.

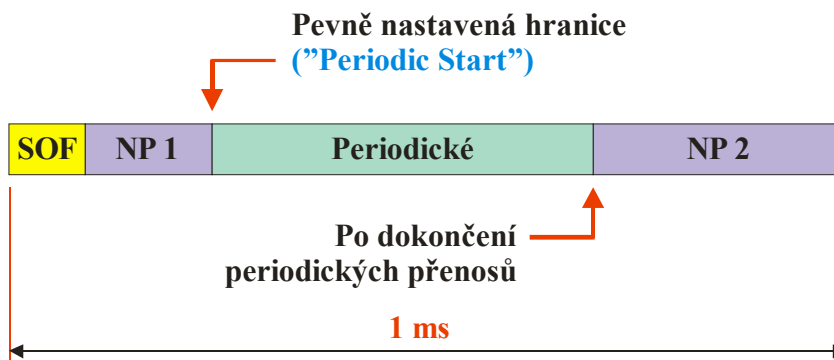


50



Plánování přenosu (1)

- V první části rámce se přenáší Control a Bulk.
 - Control a bulk mají přiděleno min. 10% kapacity.
- Po vyčerpání kapacity Control a Bulk se přenáší periodické přenosy (Interrupt a Isochronous).
- Je-li volná kapacita na konci rámce, použije se na Control a Bulk.

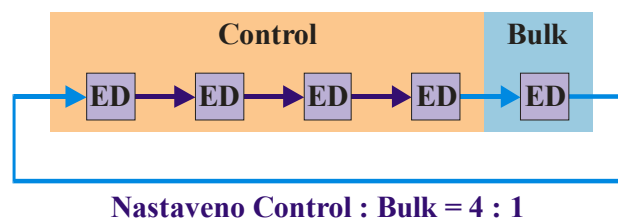


51



Plánování přenosu (2)

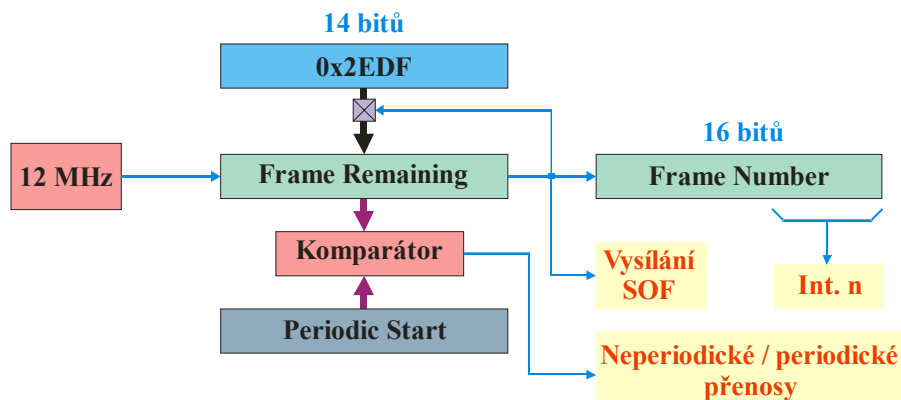
- Poměr mezi přenosy Control a Bulk se nastavuje v registrech HC.



52



Blokové schéma časování



53



Reference

- ❖ <http://www.usb.org/home>
- ❖ Anderson, D., Dzatko, D.: Universal Serial Bus System Architecture. Second Edition, Addison Wesley 2001. ISBN 0-201-30975-0.

54