

# 1. USB

## 1.1. Uvod

USB (*Universal Serial Bus*) je vrsta serijske komunikacije razvijena od strane *Intela*. Ovaj vid komunikacije je razvijen da bi omogućio vezu između računara i periferija kao što su miš, tastatura, štampači, kamera, *flash* memorija ... Vremenom je USB port potisnuo serijski i paralelni port, tako da ih noviji računari ne poseduju (naročito laptop računari).

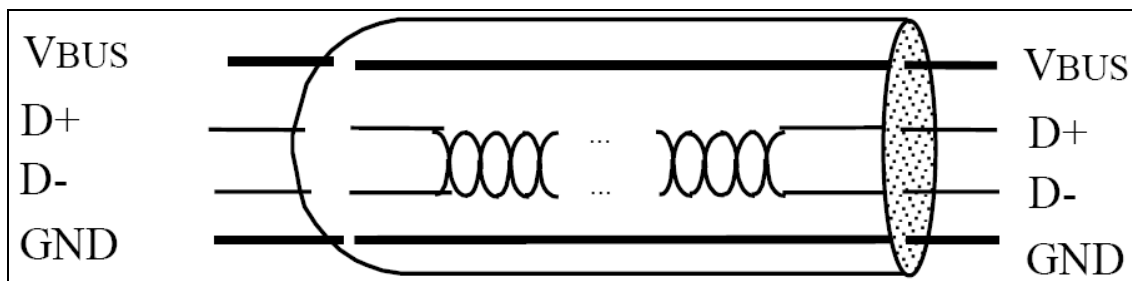
Moguć je dvosmerni prenos podataka, s tim da je računar *host* a periferija *slave* uređaj. To znači da periferni uređaji ne mogu na sopstvenu inicijativu slati podatke, nego moraju sačekati da im *host* pošalje zahtev. Dok taj zahtev ne stigne, uređaj stavlja podatke u bafer. U nekim slučajevima postoji mogućnost da dva uređaja koja su povezana preko USB-a pregovaraju o tome koji će preuzeti ulogu *host*-a (*Host Negotiation Protocol*). *Host* ima kontrolu nad svim transakcijama koje se odigravaju na vezi. Na USB magistralu je moguće priključiti 127 uređaja, pri čemu je samo jedan od njih *host*.

Postoji nekoliko standarda:

1. USB 1.1, koji obuhvata dve brzine prenosa podataka:
  - *low speed* (1,5 Mbita/s)
  - *full speed* (12 Mbita/s)
2. USB 2.0, u kome je dodat *high speed* (480 Mbita/s), kompatibilan je sa verzijom 1.1
3. USB 3.0, *super speed* (4,8 Gbita/s), kompatibilan je sa verzijom 2.0

USB 2.0 periferni uređaj ne mora podržavati *high speed*. *Low speed* USB 1.1 periferni uređaji ne moraju podržavati *full speed*. *High speed* periferni uređaji ne smeju podržavati *low speed*, ali moraju podržavati *full speed* da bi se ostvarila konekcija (objašnjeno u poglavlju 1.4). USB 2.0 uređaji koji su *hub* ili *host* moraju podržavati sve tri brzine prenosa.

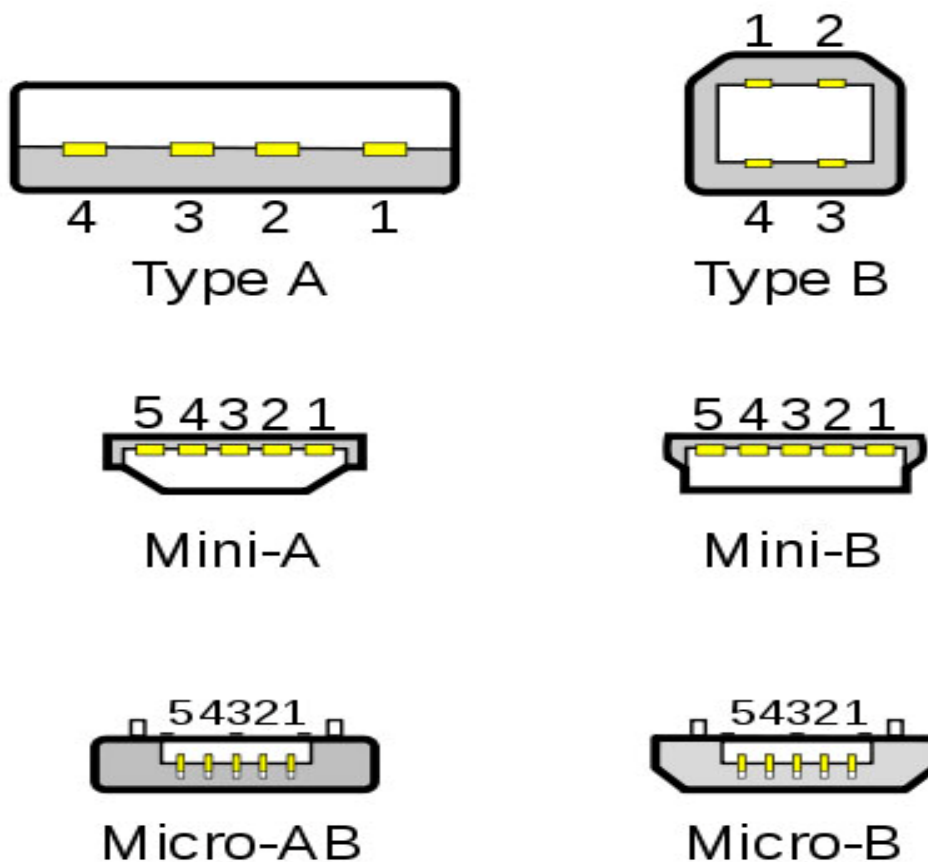
Za priključak na USB port se koristi 4-žični kabl preko koga se prenose podaci i napajanje. Da bi se smanjio uticaj šuma koristi se kabal sa upredenim paricama, kao što se može videti na slici 1. Za prenos podataka se koriste linije D+ i D-.



Slika 1: USB kabl

## 1.2. Konektori

Na slici 2 su prikazane dve osnovne vrste konektora, a u tabeli 1 je prikazano značenje pojedinih pinova.



Slika 2: USB konektori

Pin	Naziv	Boja žice	Opis
1	Vcc	Crvena	5V
2	D-	Bela	Data -
3	D+	Zelena	Data +
4	GND	Crna	Masa

Tabela 1: Značenje pinova USB konektora

Kao što se može videti sa slike linije Vcc i GND su nešto duže u odnosu na D+ i D-, zbog toga se prilikom uključivanja prvo uspostavi napon napajanja pa tek onda komunikacija. Kod isključivanja je obrnuto, prvo se isključe komunikacione linije pa tek onda napajanje. Zahvaljujući ovome moguće je uključivanje i isključivanje uređaja dok računar još radi (eng. *Hot Plugging*).

Pored osnovnih postoje i dodatne vrste konektora, kao što su Mini-A, Mini-B, Micro-AB i Micro-B.

## 1.3. Električne karakteristike

Za prenos podataka se koristi par diferencijalnih signala (D+ i D-) koji je kodiran korišćenjem NRZI sa potpunom bita. Kod *low* i *full speed* prenosa, kada se prenosi logička jedinica linija D+ se podiže na napon veći od 2,8V (sa 15k $\Omega$  *pull-down* otpornikom povezanim na masu) dok se D- spušta ispod 0.3V (sa 1,5k $\Omega$  *pull-up* otpornikom povezanim na napon od 3,6V), kod logičke nule je obrnuto. Pošto je ovaj vid prenosa

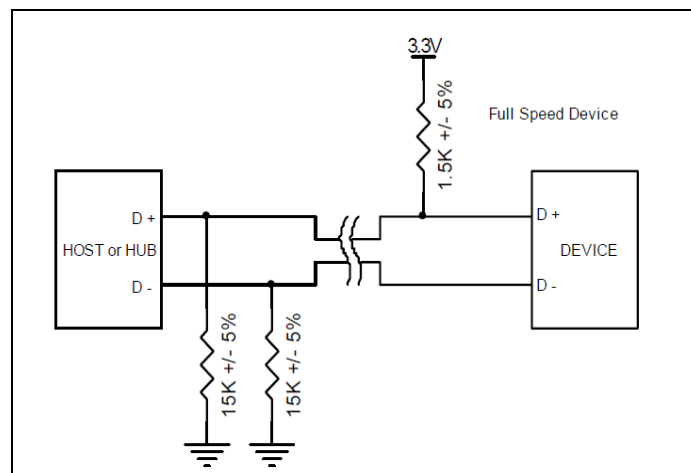
diferencijalan na prijemnoj strani se detektuje razlika potencijala na linijama podataka. Prijemnik će detektovati "1" ako je D+ na 200mV većem potencijalu od D-, a "0" ako je D+ na 200mV manjem potencijalu od D-.

Pored diferencijalnog prenosa, linije D+ i D- se mogu koristiti i zasebno. Na primer, *single ended zero (SEO)* može biti korišten da označi reset uređaja ako je zadržan duže od 10ms. *SEO* je generisan držanjem obe linije na niskom nivou (<0,3V).

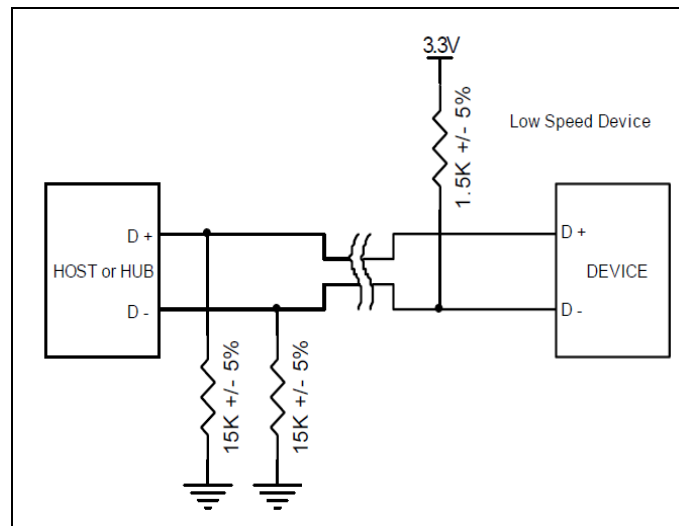
*Low/full speed* veza ima karakterističnu impedansu  $90\Omega \pm 15\%$ , zato je bitno pročitati *datasheet* kada biramo impedanse koje ćemo uklopiti sa serijskim otpornicima za D+ i D-.

#### 1.4. Identifikacija brzine

Izbor brzine se vrši postavljanjem *pull-up* otpornika od 1,5 k $\Omega$  između 3,3V i jedne od linija: D+ ili D-. Ako želimo *full speed*, pull-up otpornik se vezuje sa D+ (što se može videti na slici 3), a ako želimo *low speed* otpornik povezujemo sa D- (prikazano je na slici 4).



Slika 3: Povezivanje otpornika za full speed



Slika 4: Povezivanje otpornika za low speed

Pomoću ovog *pull-up* otpornika *host* detektuje prisustvo uređaja, ako ga nema *host* smatra da ništa nije priključeno. Ovaj otpornik je nekad uključen u uređaj, a nekad ga treba dodati spolja.

Kod *high speed* veze se koristi isti metod kao kod *full speed* (D+ preko 1,5k $\Omega$  se povezuje na 3,3V), sa tom razlikom što će nakon povezivanja biti poslat poseban signal, zvani *chirp*, tokom reseta. Ako se uspostavi *high speed* veza, ovaj *pull-up* otpornik se uklanja da bi se održao balans veze.

### 1.5. Napajanje preko USB-a

Dodatna mogućnost USB-a je napajanje bez veza sa spoljnim izvorima. U odnosu na to da li se napajanje vrši preko USB veze postoje tri vrste veza:

1. *Low-power* napajanje preko USB-a: Ovi uređaji uzimaju svu snagu preko  $V_{BUS}$  i ne mogu povući više od jedne jedinice opterećenja koja iznosi 100mA. Moraju biti dizajnirani tako da rade na  $V_{BUS}$  između 4,40V i 5,25V. Za mnoge uređaje koji rade na 3,3V, LDO regulatori su obavezni.

2. *High-power* napajanje preko USB-a: Ovi uređaji koriste jednu jedinicu opterećenja (100mA) tokom inicijalizacije, a posle toga koriste najviše pet jedinica (500mA). Mora biti omogućeno detektovanje i enumeracija na minimalnih 4,40V. Kada počne da koristi 500mA, minimalni napon veze  $V_{BUS}$  mora biti 4,75V, a maksimalni 5,25V.

3. Samostalno napajanje: Ovi uređaji se napajaju preko spoljnog izvora. Pored toga mogu koristiti jednu jedinicu opterećenja (100mA) od USB veze. Bitno je napomenuti da, u slučaju da spoljno napajanje otkáže, uređaj ne sme da povuče veću struju sa USB veze. Zato se mora obezbediti zaštita. Detekcija i enumeracija je omogućena bez korišćenja spoljnog napajanja.

### 1.6. Suspendovano stanje

Suspendovani mod rada je obavezan. Maksimalna struja u suspendovanom stanju je  $500\mu A$ . Na *host*-u i D+ i D- imaju *pull-down* otpornike od  $15k\Omega$ . Zbog regulisanja potrošnje energije, ovi otpornici su sa strane uređaja povezani u seriji sa *pull-up* otpornicima od  $1,5k\Omega$ , što daje ukupno opterećenje od  $16,5k\Omega$  na  $V_{TERM}$  koje je tipično 3,3V. Ovi otpornici vuku  $200\mu A$  pre nego što uređaj uopšte krene sa radom. Mnogi USB uređaji rade na 3,3V, zbog toga za njih treba uzeti u razmatranje 3,3V regulator. Treba obezbediti da ovaj regulator ne koristo više od predviđenih  $500\mu A$ .

USB uređaj će ući u suspendovano stanje kada nema aktivnosti na magistrali duže od 3ms, 7ms nakon toga, tj. nakon ukupnih 10ms neaktivnosti, uređaj se gasi. U cilju održavanja veze sa *host*-om, uređaj mora obezbediti napajanje za svoje *pull-up* otpornike za identifikaciju brzine tokom suspendovanog stanja.

USB ima "*start of frame*" paket ili "*keep alive*", koji se šalje periodično. Ovo sprečava da sistem u *idle* stanju uđe u suspendovano stanje u odsustvu podataka. *High speed* šalje mikro pakete svakih  $125\mu s \pm 62,5ns$ . *Full speed* šalje ove pakete svakih  $1ms \pm 500ns$ . *Low speed* ima "*keep alive*" paket, koji je isti kao "*end of data*" paket i šalje ga u odsustvu podataka na svakih 1ms.

Razlikujemo globalno suspendovanje, kada kompletna USB magistrala uđe u suspendovano stanje, i selektovano suspendovanje kada samo jedan odabrani uređaj uđe u suspendovano stanje.

### 1.7. Protokol

Svaka USB transakcija se sastoji iz sledećih paketa:

1. Token paket: Ovo je prvi paket generisan od strane *host*-a. U njemu se nalaze podaci koji govore o tome šta raditi sa podacima koji slede, na primer da li se podaci čitaju ili upisuju, koja je adresa uređaja...

2. Data paket: Ovaj deo nije obavezan, postoji samo kad imamo podatke za slanje. On se šalje nakon token paketa i prati ga handshaking paket koji daje izveštaj o tome da li su podaci (ako ih ima) i token uspešno primljeni.

3. Status paket: Ovaj paket služi za potvrdu transakcija (handshaking) i regulisanje grešaka.

Pored ovih vrsta paketa postoji "*start of frame*" paket o kome je bilo priče u prethodnom poglavlju.

Ovi paketi se sastoje iz sledećih polja:

Sync – Svi paketi moraju početi ovim poljem koje služi sa sinhronizaciju predajnika i prijemnika

PID - je polje koje određuje ID paketa

ADDR – ovo polje koje sadrži adresu uređaja. Ovo polje je 7-bitno i nalazi se u opsegu od 0 do 127.

ENDP – je endpoint polje i sastoji se od 4bita.

CRC – je polje koje služi za kontrolu greške.

EOP – ovo polje određuje kraj paketa.

U tabeli 2 se može videti format svakog od navedenih paketa.

Token paket:

Sync	PID	ADDR	ENDP	CRC5	EOP
------	-----	------	------	------	-----

Data paket:

Sync	PID	DATA	CRC16	EOP
------	-----	------	-------	-----

Handshake:

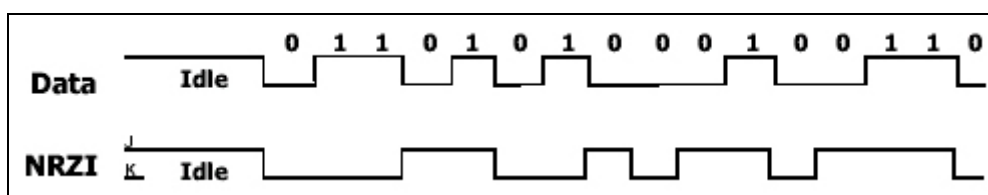
Sync	PID	EOP
------	-----	-----

Start of frame paket:

Sync	PID	Frame Number	CRC5	EOP
------	-----	--------------	------	-----

Tabela 2: formati paketa

USB protokol koristi NRZI (eng. *Non Return to Zero, Inverted*) kodovanje sa potpunom bita. Kada se unutar podatka pojavi "1", u kodovanom signalu neće biti promene nivoa, a kada se unutar podataka pojavi "0" to će rezultovati promenu nivoa kodovanog signala kao što se može videti na slici 5.



Slika 5: NRZI kodovanje

Ovako kodovan signal stalno menja nivo kada se pojavi dugačka sekvenca nula, ali kada se pojavi dugačka sekvenca jedinica nivo ostaje nepromenjen, što nije dobro za sinhronizaciju. Zbog toga se koristi potpuna bita, koja podrazumeva da se pri slanju podataka nakon šest uzastopnih jedinica umetne jedna nula pre NRZI kodavanja.

Iznad fizičkog sloja komunikacije nalazi se *end point* sloj koji opisuje komunikaciju sa stanovišta izvora ili odredišta podataka. Definisana su četiri tipa *end point* transfera:

1. Kontrolni transfer: Obuhvata komandne i statusne operacije. Kod *low speed* komunikacije koristi 8B, kod *high speed* 8, 16, 32 ili 64B a kod *full speed* 64B

2. *Interrupt transfer*: Nije omogućen potpuni metod prekida. Ako uređaj želi da zadobije pažnju *host*-a mora sačekati da ga *host* pozove pa tek onda može prijaviti svoj zahtev za prekidom.

3. Izohroni transfer: Paketi se šalju kontinualno. Na ovaj način se prenose podaci koji su osetljivi na vremenski raspored paketa, ali nisu osetljivi na eventualne greške tokom slanja, na primer audio i video zapisi. Kod ovakvog prenosa, ako dođe do greške, paket neće biti ponovljen.

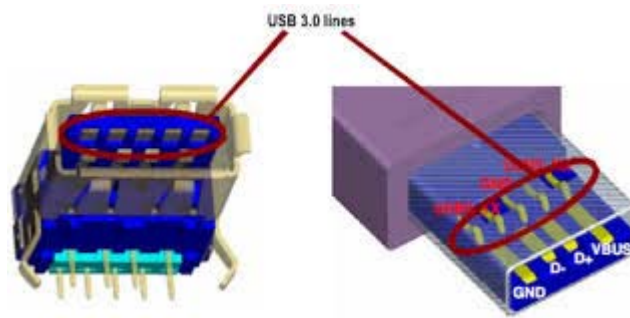
4. *Bulk transfer*: Ovo je suprotno od izohronog prenosa. Kod ovakvog transfera prenosi se velika količina podataka koja mora biti u potpunosti ispravna. Zbog toga se koristi neki od mehanizama za ispravljanje grešaka, kao što je CRC (eng. *Cyclic redundancy check*). Može doći do kašnjenja podataka ako se pojave greške. Ova vrsta slanja je podržana samo u *full* i *high speed* vezama. Maksimalna veličina paketa kod *full speed* transfera je ograničena sa 8, 16, 32 ili 64B. Kod *high speed* veze paketi mogu biti do 512B, pri čemu se za pakete manje od maksimalne veličine ne moraju dodavati biti na kraju (eng. *padding*).

### 1.8. USB 3 standard

Verzija 3.0, a zatim i 3.1 USB komunikacije donela je značajno povećanje brzine prenosa, uz naziv **Super Speed** (uz već postojeće nazive **Low Speed**, **Full Speed** i **High Speed**). Maksimalna brzina prenosa u Super Speed varijanti iznosi do 5 Gbit/s, odnosno 625 MB/s. Ovo je postignuto dodavanjem još dva para diferencijalnih signalnih linija, po jedan par za svaki smer komunikacije. Primer konektora (tip A) za USB 3 je prikazan na slici 6. Osim ovih, i ostali tipovi konektora postoje i za USB 3, uglavnom na način da je postojeća varijanta konektora (za USB 2 ili stariji) zadržana, a dodati su još i novi kontakti.

Osim veće brzine, USB 3 ima i povećane strujne mogućnosti, do 150 mA za standardne potrošače i do 900 mA za potrošače većih snaga.

Kompatibilnost prema USB 2 je zadržana, jer i dalje postoje osnovni signali USB 1.1 i 2.0, tako da su periferni uređaji koji podržavaju USB 3 kompatibilni i sa USB 2.0 standardnom.



*Slika 6: USB 3 konektori*