



Vhodno-izhodne naprave (VIN)

Predavanja

8. Povezave in komunikacijski standardi

Robert Rozman

rozman@fri.uni-lj.si

Vsebina

- ❑ Pojavi, ki vplivajo na hitrost prenosa podatkov
 - Čas vzpona linije (ang. transmission line rise time)
 - Zamik (ang. skew)
 - Tresenje (ang. jitter)
 - Intersimbolna interferenca (ang. intersymbol interference)

- ❑ Očesni vzorec (ang. eye pattern)

- ❑ Povezovalni standardi
 1. EIA/TIA-232 (RS-232)
 2. EIA/TIA-485 (RS-485)
 3. USB - Universal Serial Bus
 4. PCI Express (PCIe)

Vir: <https://control.com/textbook/digital-data-acquisition-and-networks/eiatia-232-422-and-485-networks/>

8.1 Povezave in hitrost prenosa podatkov

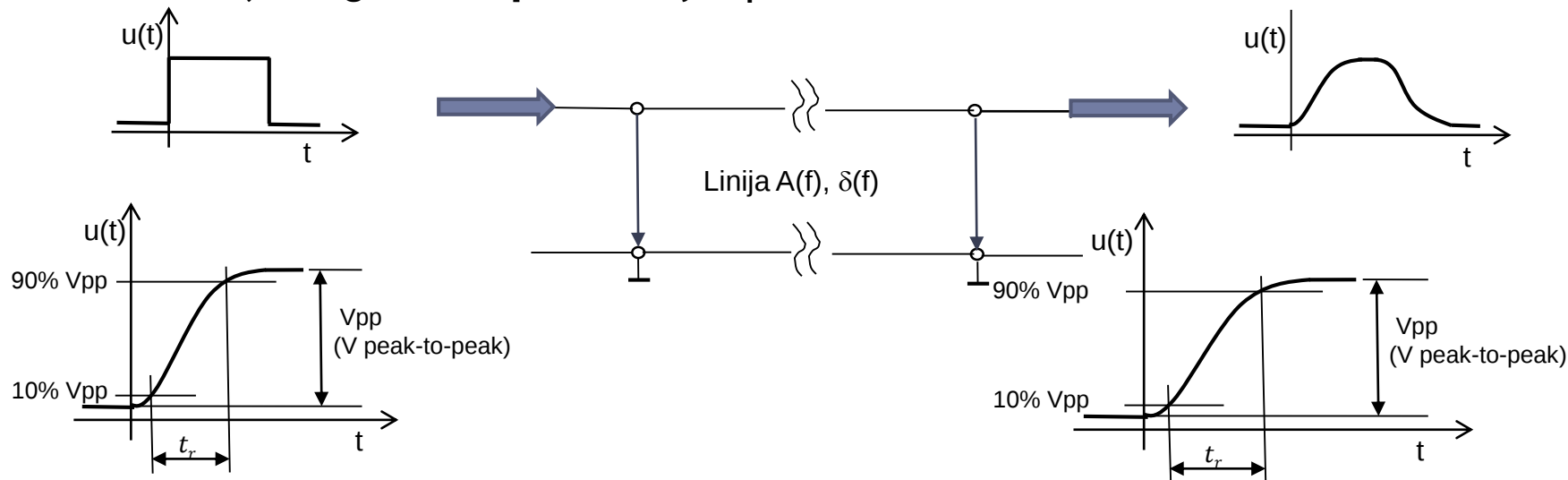
- ❑ Baudna hitrost (BR) – število signalnih elementov (T_{UI}) v sekundi [baud].
- ❑ Bitna hitrost (C)– število bitov na sekundo [bit/s].

- ❑ Pojavi, ki omejujejo hitrost prenosa
 - Čas vzpona linije (ang. transmission line rise time) – na izhodu linije je čas vzpona večji kot na vhodu.
 - Zamik (ang. skew) - časovna razlika med dejanskim in pričakovanim časom prihoda signala.
 - Tresenje (ang. jitter) - časovno odstopanje fronte signala od pravilnega položaja.
 - Intersimbolna interferenca (ang. intersymbol interference) - vpliv vrednosti prejšnjega bita na sosednjega.

- ❑ Določanje najvišje hitrosti prenosa
 - Očesni vzorec (ang. eye pattern)

8.1.1 Čas vzpona linije

- Pravokotni signal je na izhodu linije popačen, čas vzpona signala je daljši kot pa na vhodu. Imenujemo ga **čas vzpona linije t_r**

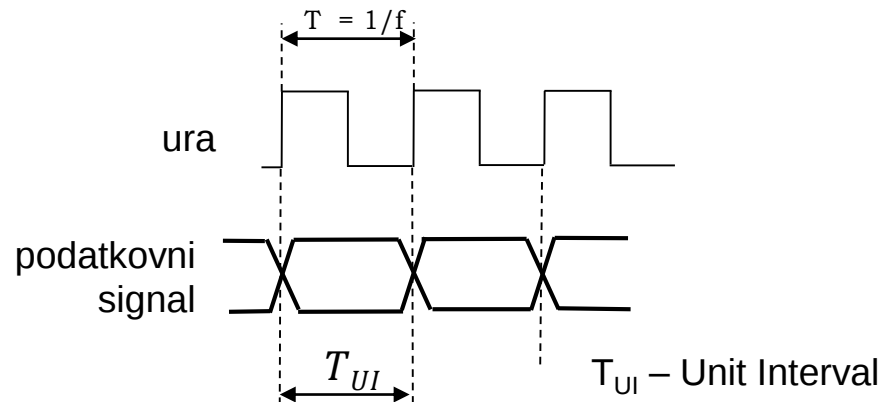
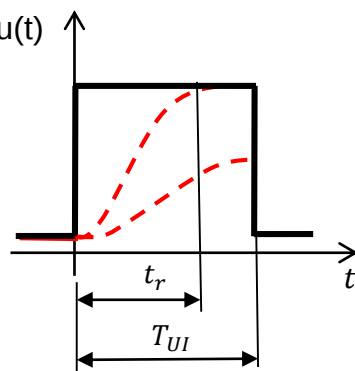


- Idealna linija - čas vzpona linije bi bil enak 0.
 - Realna linija - čas vzpona linije linearno narašča z dolžino linije.
- Komponente pravokotnega signala različnih frekvenc, ki vstopajo na vhod linije istočasno, na izhod linije ne prispejo istočasno in so različno oslabiljene.
 - Slabljenje linije je odvisno od frekvence signala- z višanjem frekvence slabljenje narašča.
 - Hitrost potovanja signala po liniji narašča s frekvenco – zakasnitev signala δ [ns/m] pada.

- ❑ Pri prenosu pravokotnih signalov mora veljati, da je čas vzpona signala manjši od časa trajanja signalnega elementa $t_r < T_{UI}$.

- ❑ Za zanesljiv prenos podatkov mora veljati, da je čas vzpona $t_r < \frac{T_{UI}}{2}$, s čimer je določena maksimalna hitrost prenosa.

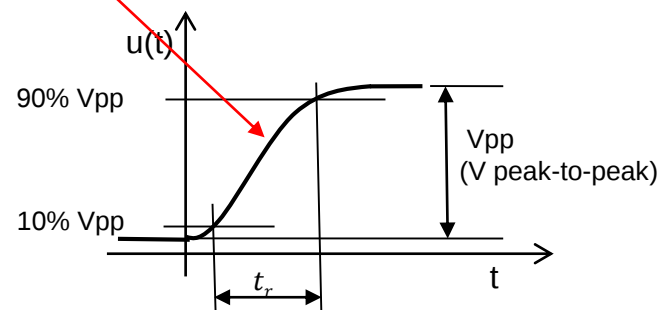
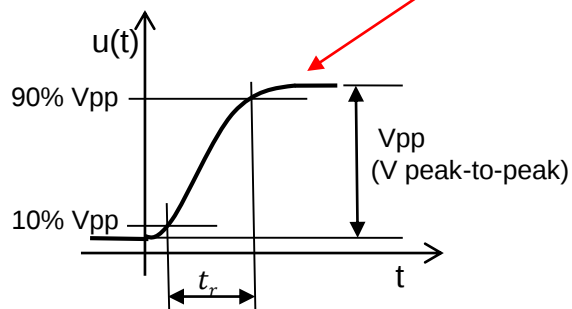
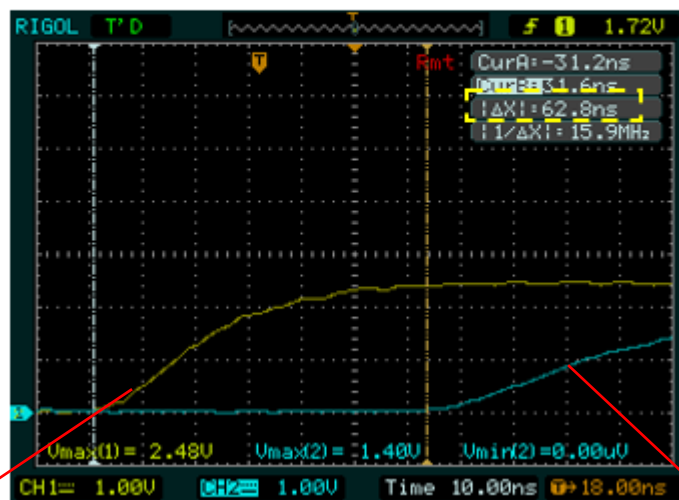
Primer:



- ❑ Ker je hitrost prenosa odvisna od števila signalnih elementov na sekundo, čas vzpona t_r omejuje najvišjo hitrost prenosa.

8.1.1 Čas vzpona linije – primer ploščatega kabla

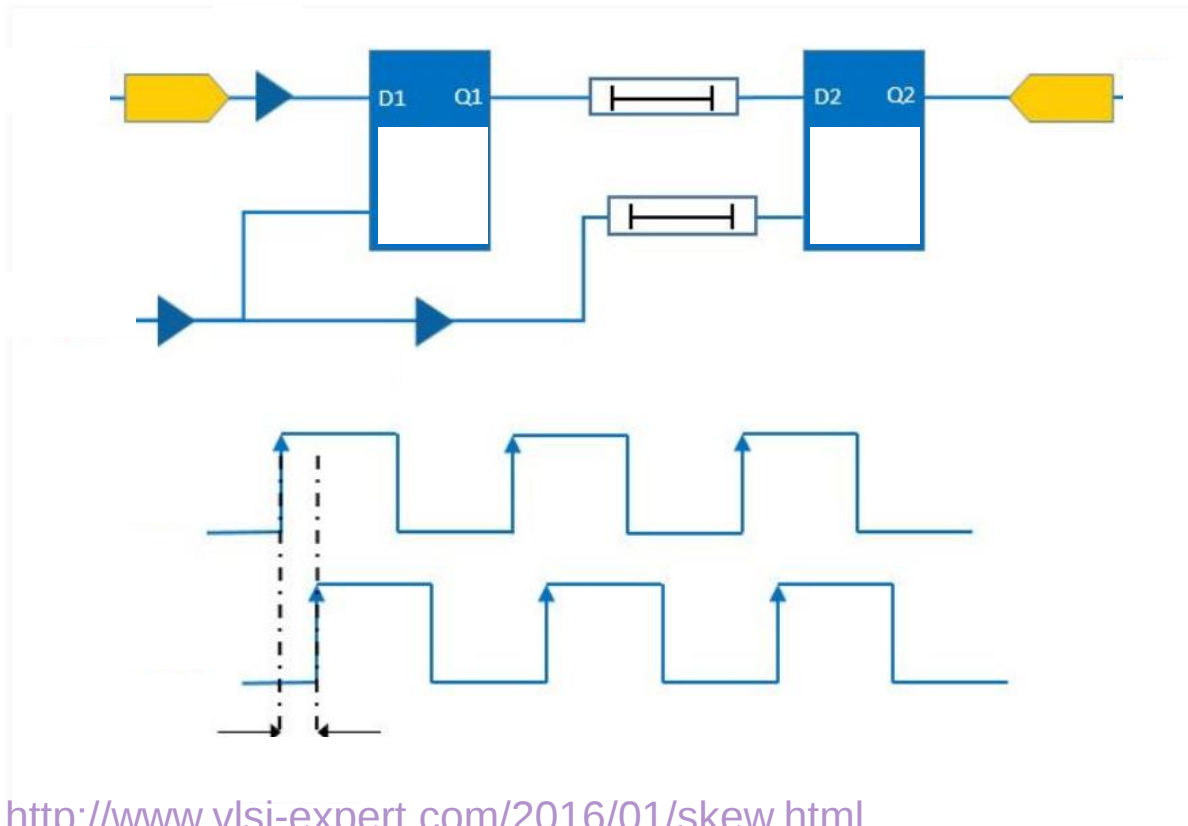
Izmerite čas potovanja po ploščatem kabl



8.1.2 Zamik (ang. skew)

- Zamik je časovna razlika med dejanskim in pričakovanim časom prihoda signala med dvema dogodkoma, ki bi se v idealnih razmerah morala zgoditi istočasno (Definicija JEDEC Standard No. 65B).

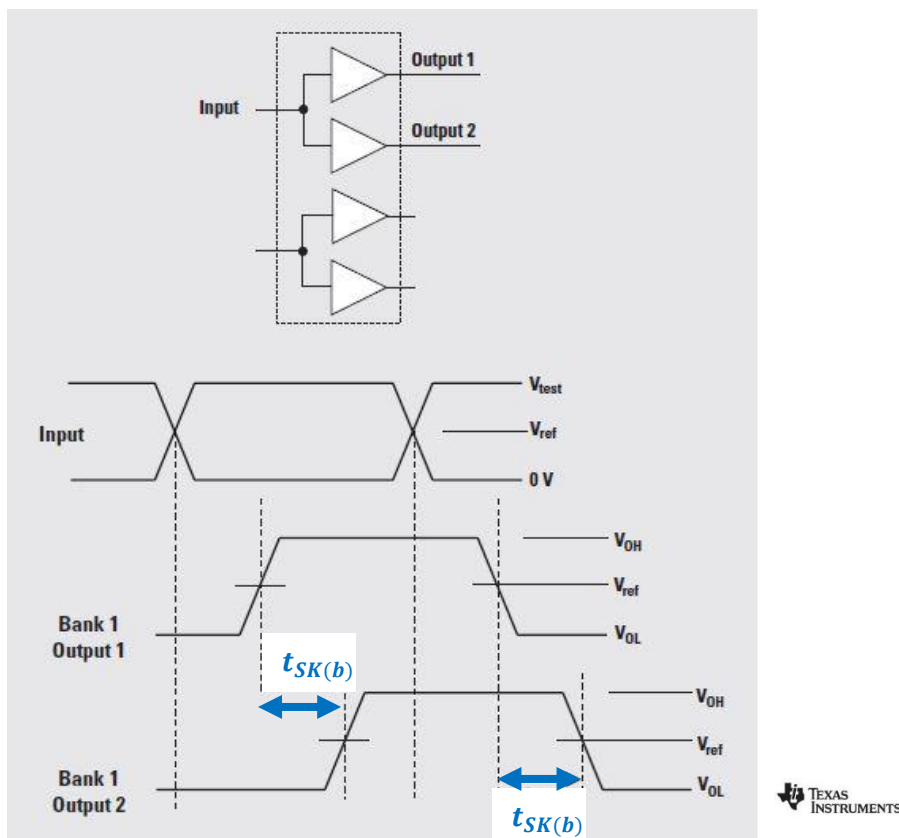
- Primer:



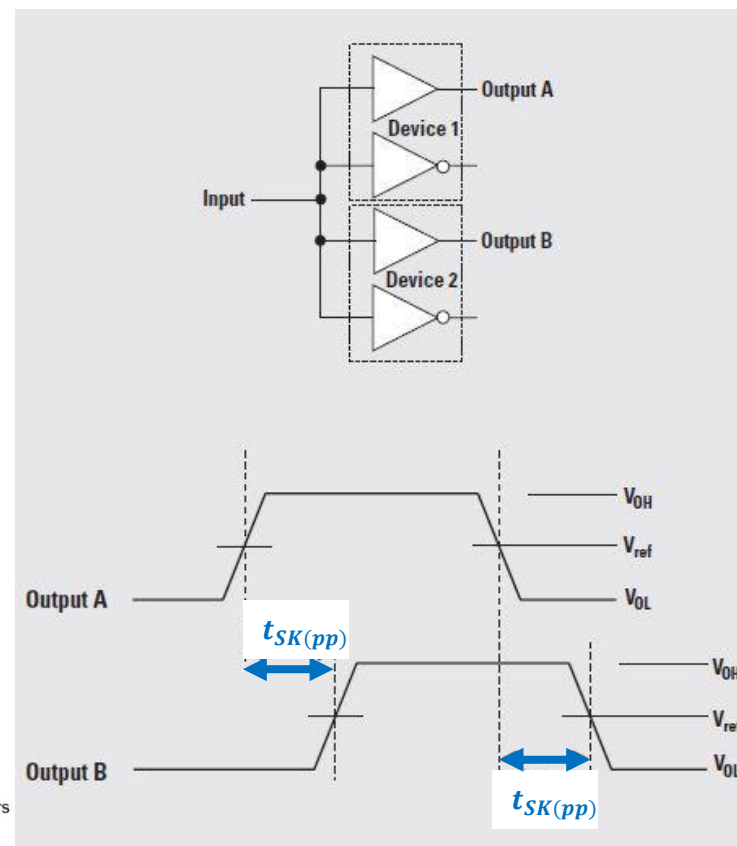
<http://www.vlsi-expert.com/2016/01/skew.html>

Primeri zamika

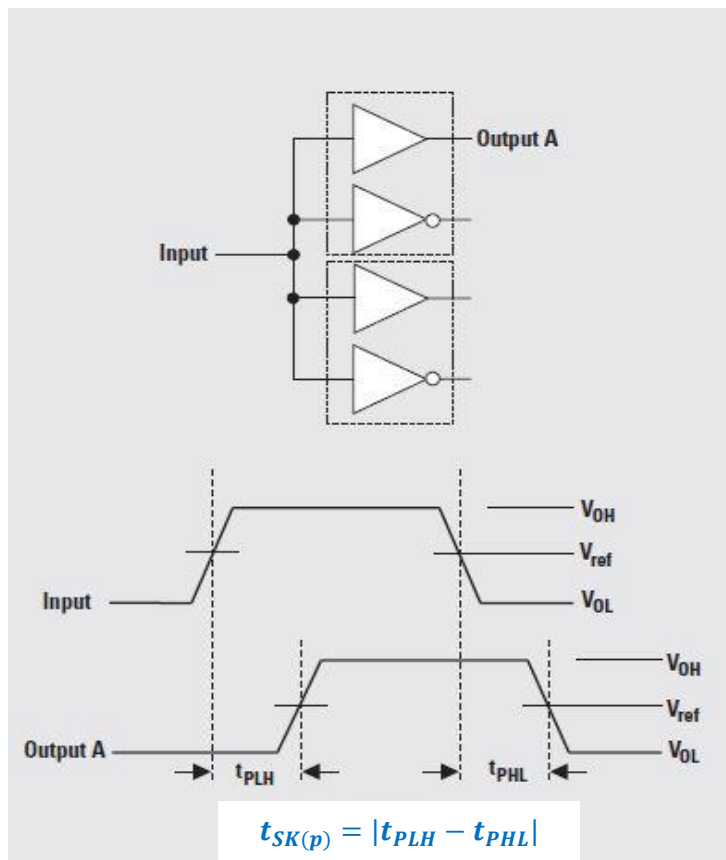
- Bank skew ($t_{SK(b)}$): Zamik med dvema izhodoma oddajnikov v istem čipu.



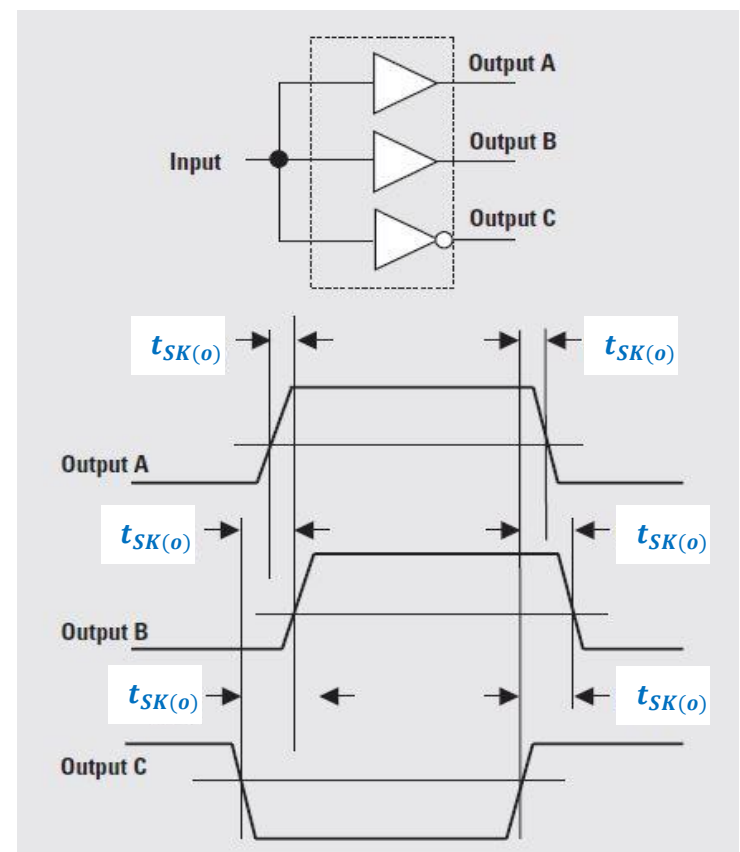
- Part-to-part skew ($- t_{sk(pp)}$): Zamik med dvema izhodoma oddajnikov v različnih čipih.



- ❑ *Pulse skew ($t_{SK(p)}$):* Impulzni zamik – časovna razlika med zakasnitvama pozitivne in negativne fronte.

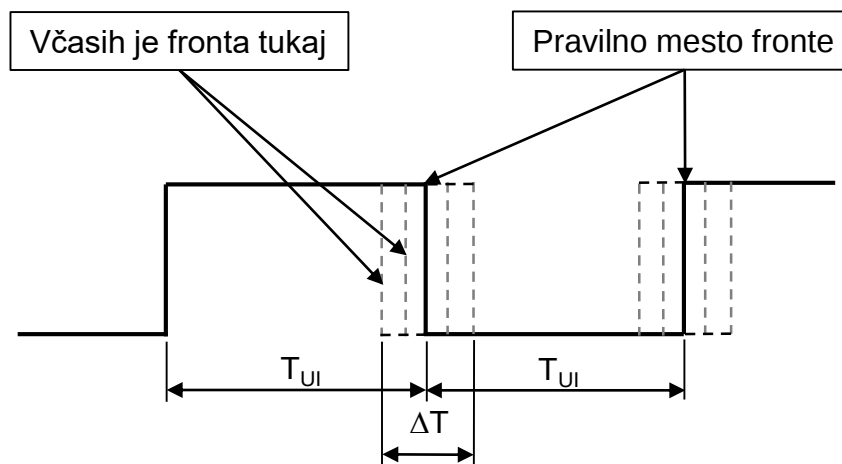


- ❑ *Output skew ($t_{SK(o)}$):* Zamik med izhodi v čipu pri skupaj vezanih vhidih.

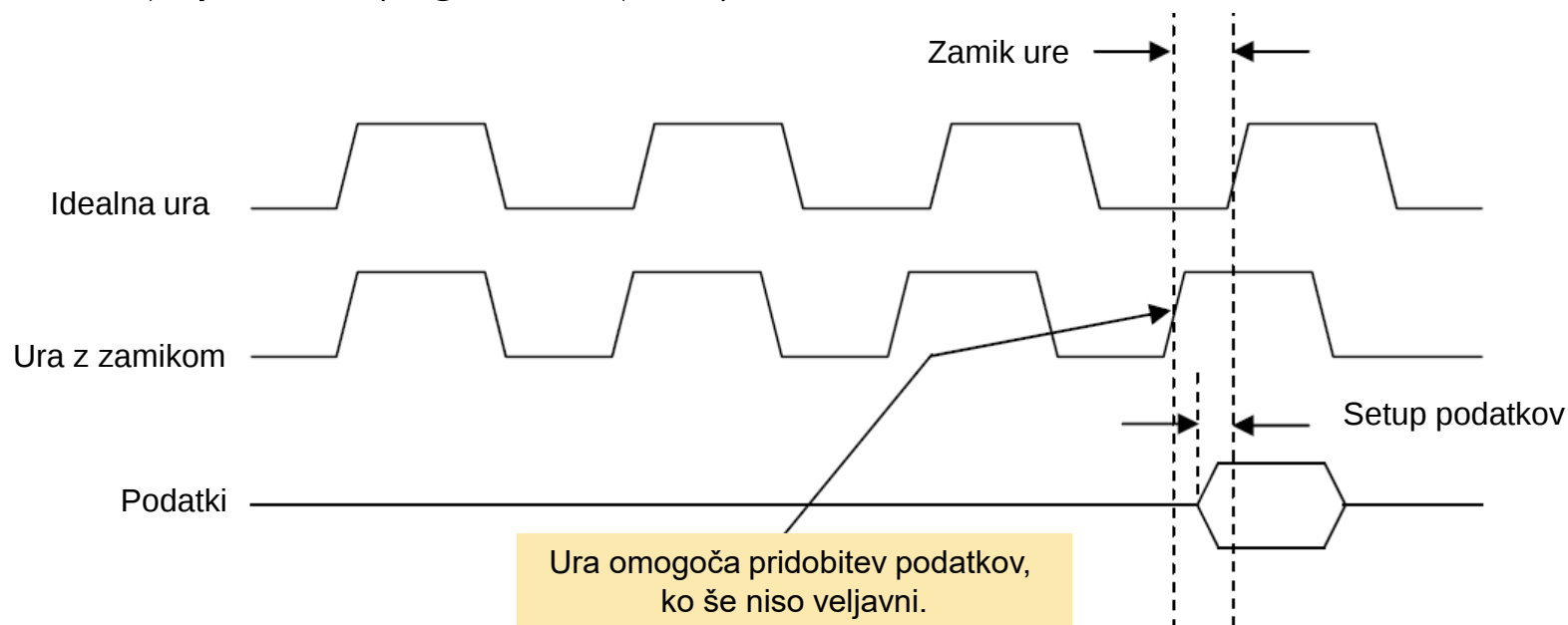


8.1.3 Tresenje (ang. jitter)

- **Tresenje** (ang. jitter) je časovno odstopanje fronte signala od pravilnega položaja. (Definicija JEDEC Standard No. 65B)
 - Pri prenosu podatkov je prekop iz enega stanja v drugo definiran s fronto signala, tresenje je časovno odstopanje te fronte od pravilnega mesta.
 - Pogosto se tresenje definira kot vsoto vseh zamikov signala (ang. skew), odbojev (ang. reflections), medsimbolne interference (ang. Inter Symbol Interference-ISI), zakasnitev (ang. delay) in šuma (ang. noise), ki poslabšuje kvaliteto signala.
 - *Primer: Clock Jitter – enaka povprečna frekvenca signala, vendar pride do kratkoročnih odstopanj -> tresenje*



❑ Tresenje periode (ang. Period jitter)

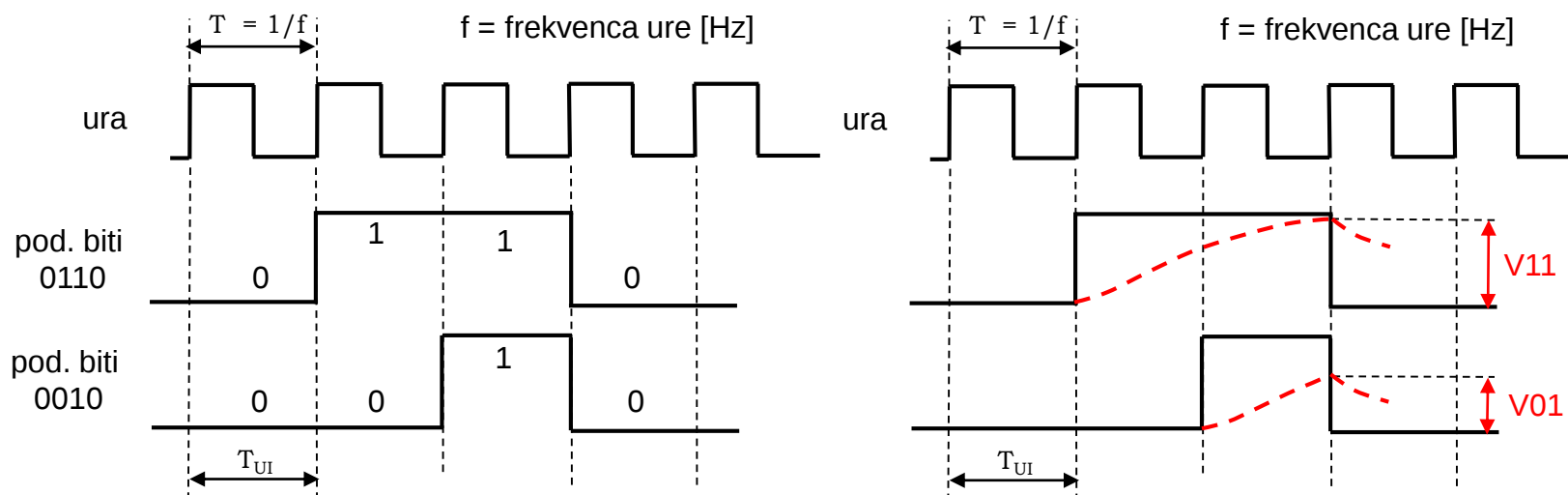


❑ Primer v časovnem diagramu:

- Mikroprocesorski sistem zahteva nastavitve podatkov 1 ns pred prehodom ure.
- Če je čas tresenja ure daljši, to je 1,5 ns, potem lahko pride do spremembe prehoda ure preden so na voljo veljavni podatki.
- V tem primeru bo mikroprocesor pridobil napačne podatke.

8.1.4 Intersimbolna interferenca (ang. Inter Symbol Interference-ISI)

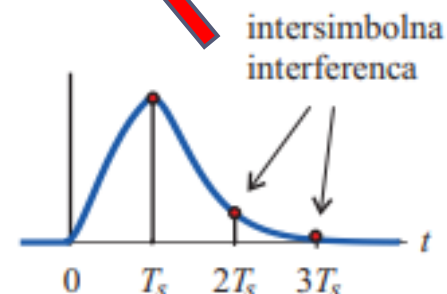
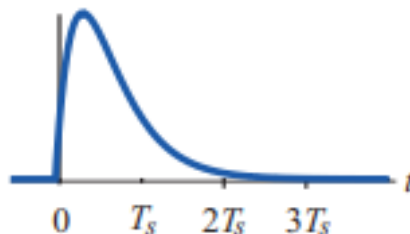
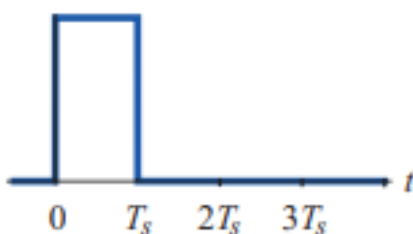
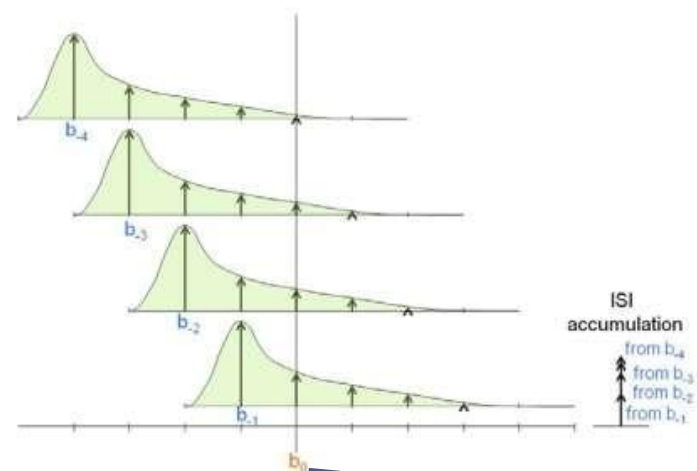
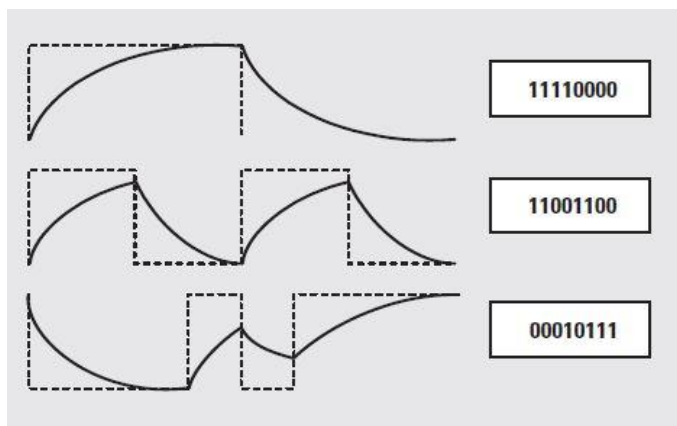
- Intersimbolna interferenca (ISI) nastopi, kadar v neko točko linije pride naslednji simbol, še preden je predhodni simbol dosegel svojo maksimalno vrednost.
- Ali enostavneje: ISI opredeljuje vpliv vrednosti prejšnjega bita na sosednjega.
- Pri velikih hitrostih, kjer je kratek čas trajanja simbola (T_{UI}), pride ta vpliv do izraza.



- Napetost signala v bitni celici ni enaka, če je bil predhodni bit 0 ali 1 (pri 0I < pri 1I).
- Intersimbolno interferenco lahko zmanjšamo, če:
 - povečamo čas trajanja signalnega elementa (kar pomeni zmanjšamo hitrost prenosa)
 - zmanjšamo čas vzpona linije (skrajšamo linijo)
 - uporabimo izenačevalnike signala (ang. equalizer)

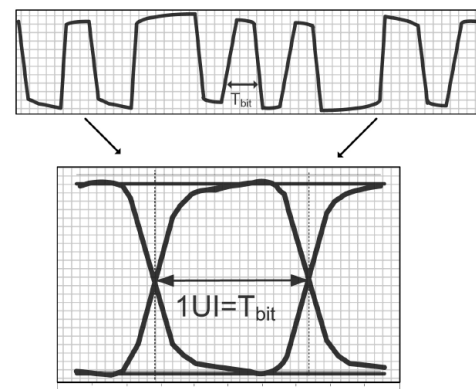
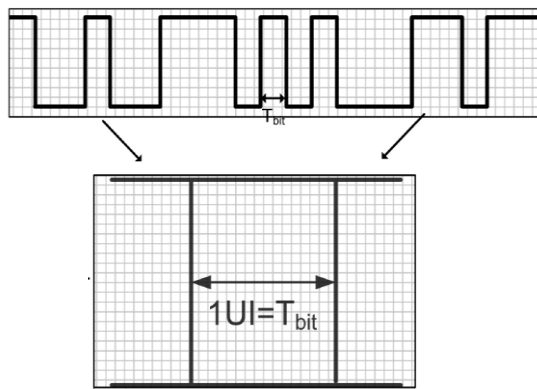
□ Primer:

Na prejeti impulz signala podanega podatkovnega simbola vplivajo prejšnji simboli in naslednji simboli.



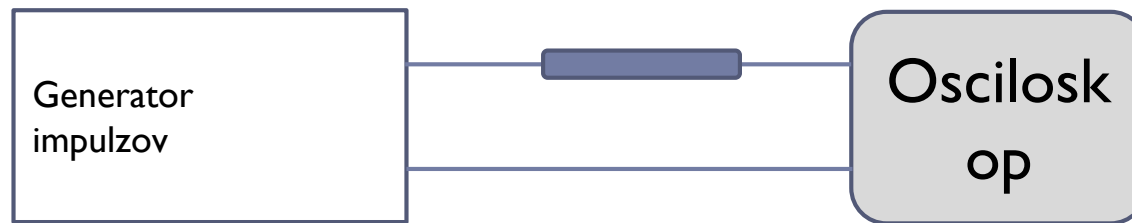
2. Očesni vzorec (ang. eye pattern)

- Metodologija, ki **analizira prenos digitalnega signala pri visokih hitrostih**.
- Omogoča, vizualizacijo in določanje ključnih parametrov električne kakovosti signala.
- Vzorec ali diagram je izdelan iz digitalne valovne oblike signala, ki ustreza vsakemu posameznemu bitu in je predstavljen v grafu.
- Amplituda signala je na navpični osi, čas pa na horizontalni osi.
- Primer: Očesni vzorec za (a) idealen digitalni signal in (b) realen signal



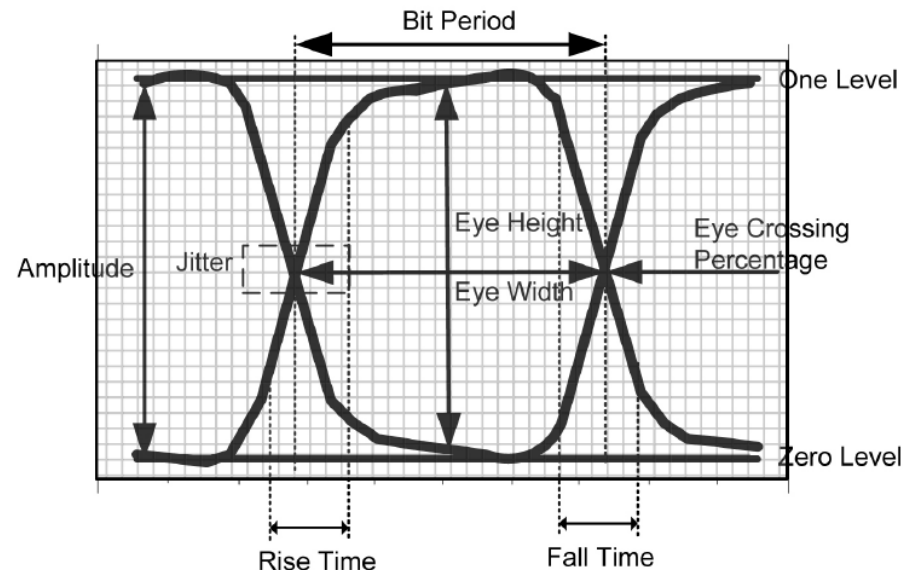
- T_{UI} – čas trajanja signalnega elementa (UI – unit interval) $\equiv T_{\text{bit}}$
- Vir: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/AND9075-D.PDF>

- ❑ Za izvedbo meritev očesnega vzorca potrebujemo psevdonaključni generator digitalnega signala, prenosno linijo, urin signal in osciloskop.
- ❑ Testna postavit



❑ Meritve očesnega diagrama

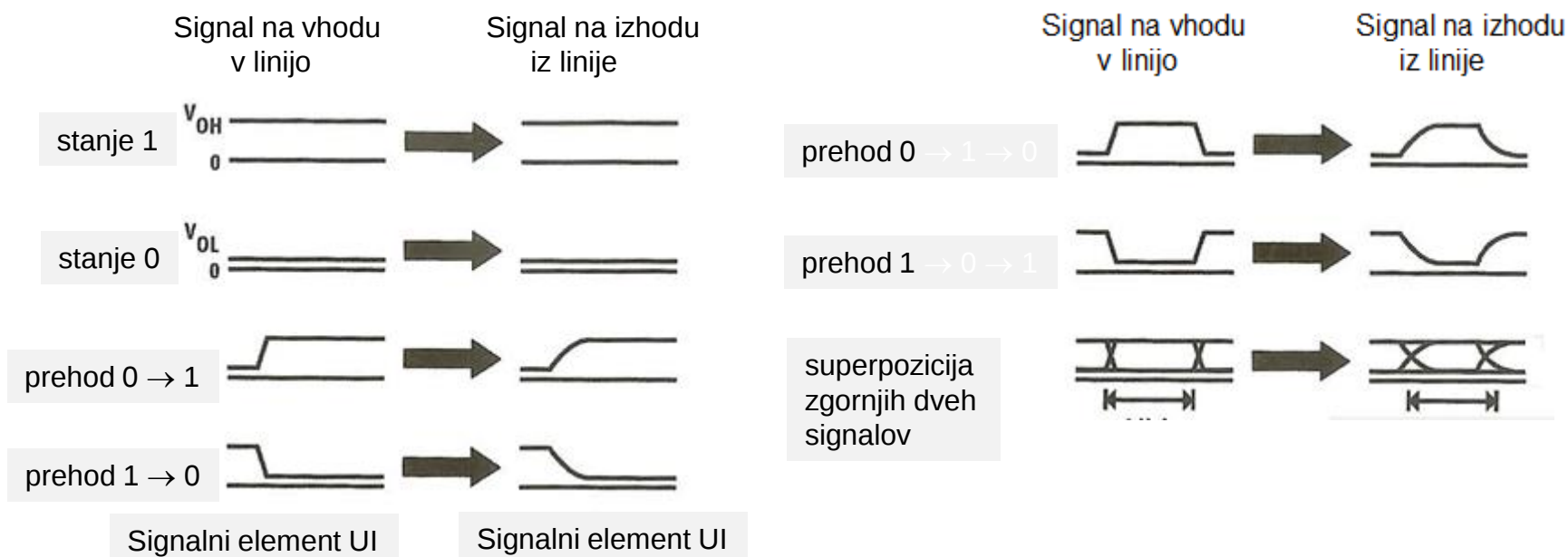
- Rise Time, Fall Time
- Zero Level, One Level
- Eye Height, Eye Width
- Eye Crossing percentage
- Bit Period
- Amplitude
- Jitter



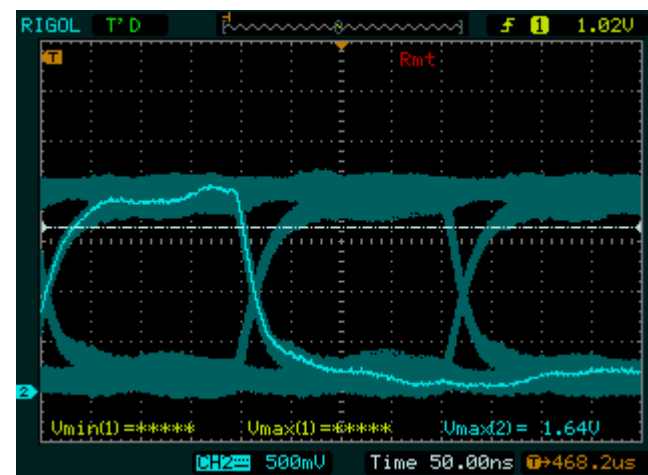
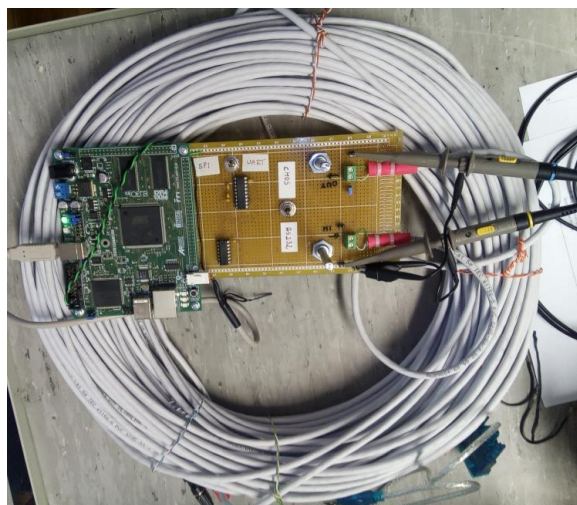
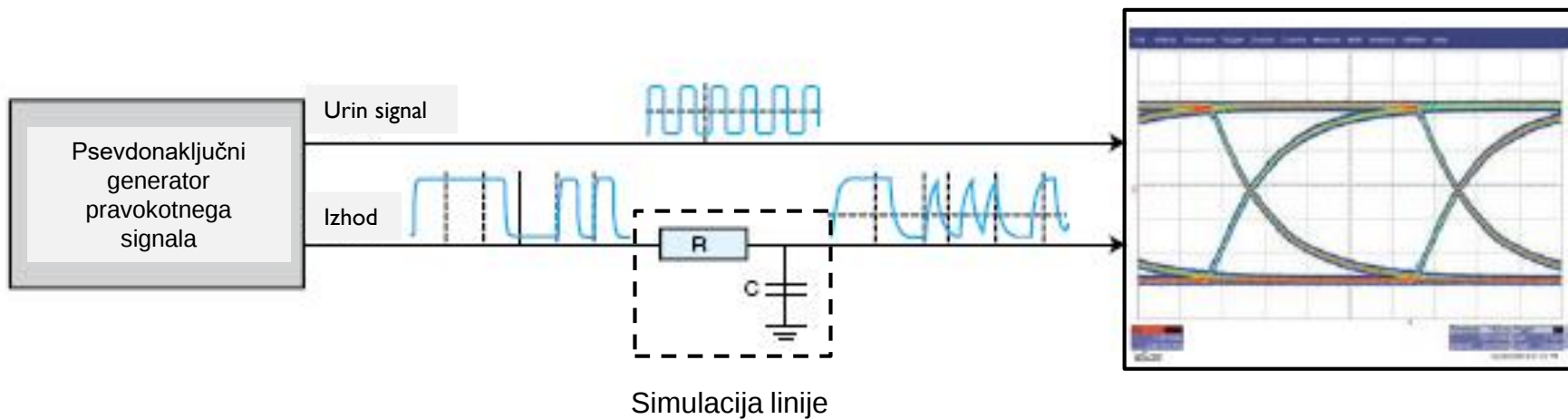
❑ Iz diagrama očesnega vzorca lahko:

- izmerimo najvišjo možno hitrost prenosa na določeni prenosni poti ali kanalu.
- določimo najkrajši možni čas signalnega elementa (T_{UI}), da je sprejem še možen.
- izmerimo tresenje (ang. jitter).
- določimo število možnih napetostnih nivojev, to je število bitov v signalnem elementu

❑ Očesni vzorec generiramo s superpozicijo signalov

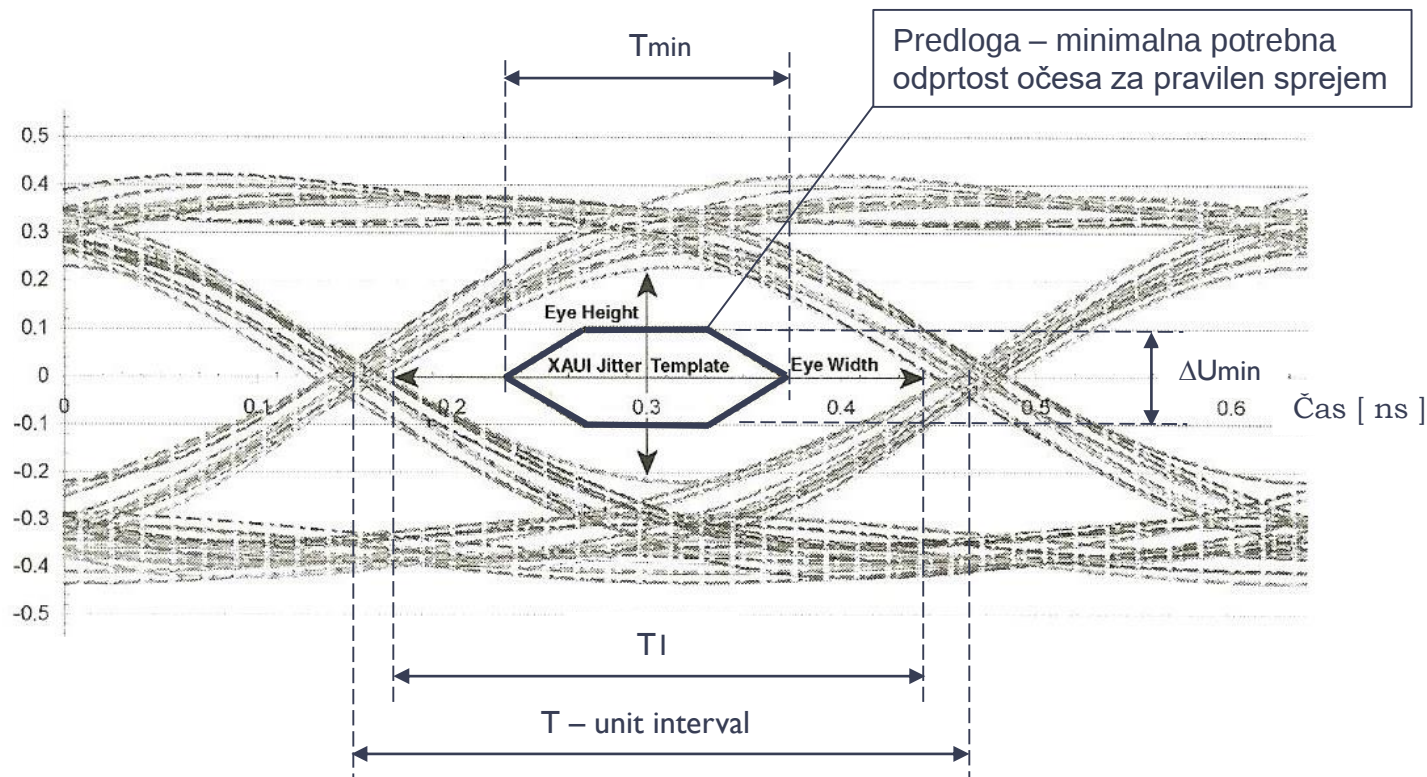


□ Shema meritve očesnega vzorca



□ Primeri meritev očesnega vzorca

Očesni vzorec s predlogo za 10-Gigabit Ethernet sprejemnik, ki preklaplja med ± 100 mV



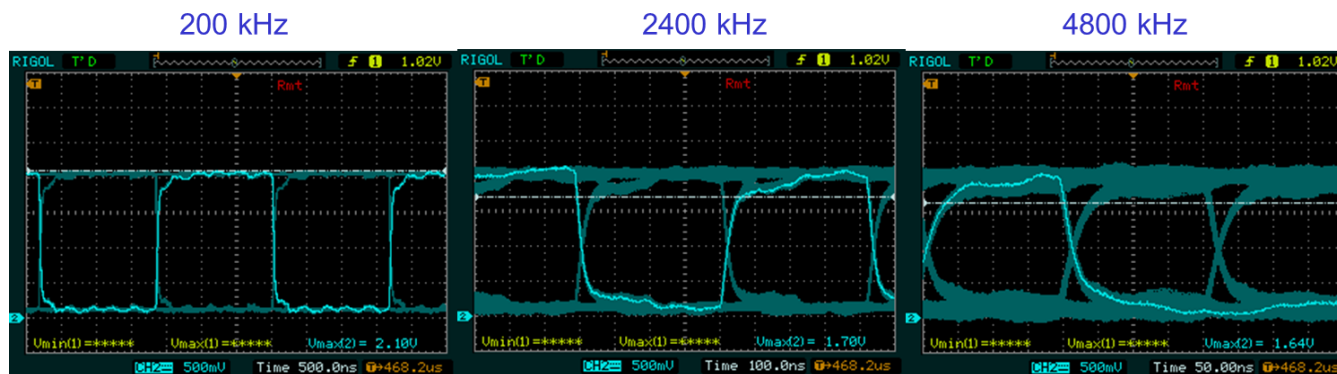
Tom Granberg, Digital Techniques for High-Speed Design

Ko se T_I skrajša pod minimalno vrednost T_{min} (širina očesa se krajša), sprejem ni več možen.
Ko se napetostni nivoji znižajo pod mejo ločljivosti (višina očesa se zmanjša pod ± 100 mV), sprejem prav tako ni več možen.

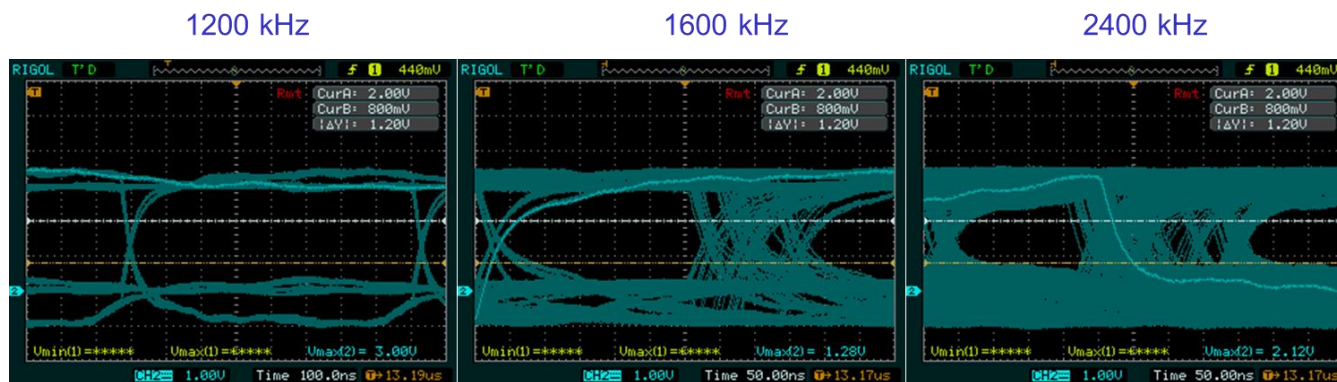
□ Primeri meritev očesnega vzorca

Oddajnik CMOS – merimo izhod linije !

Zaključena linija

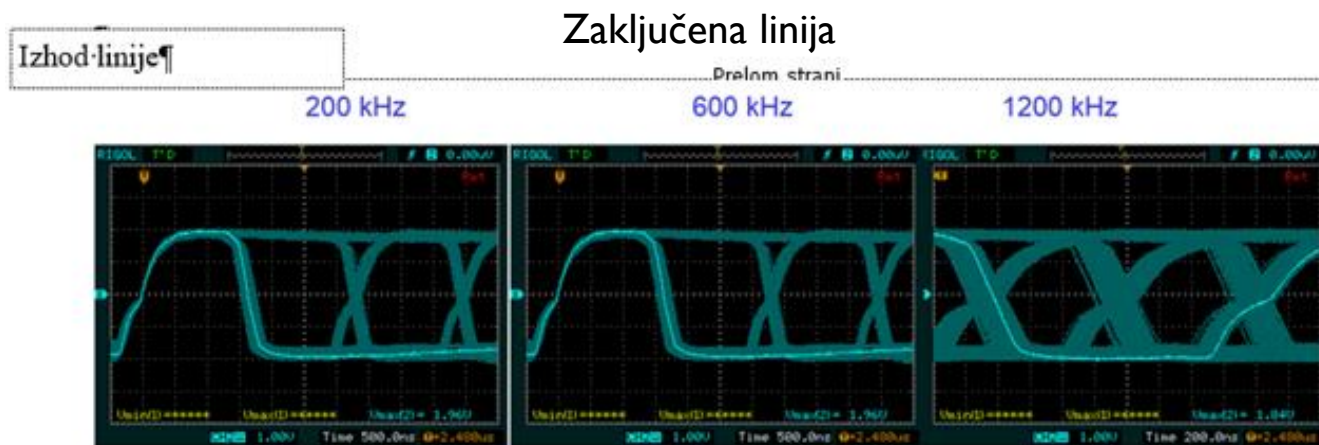


Nezaključena linija

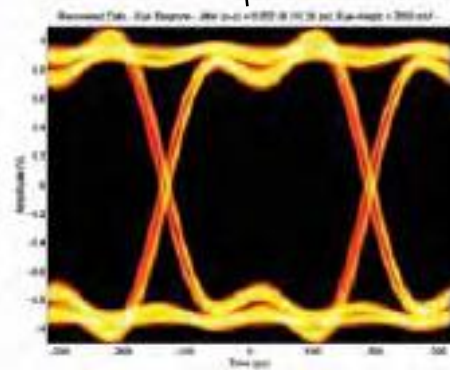
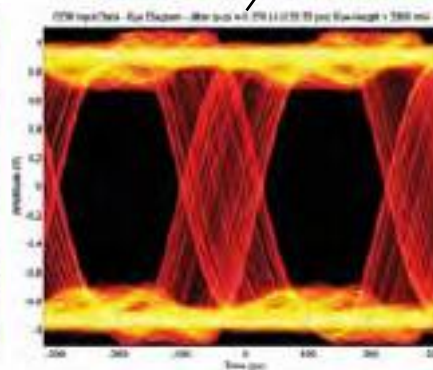
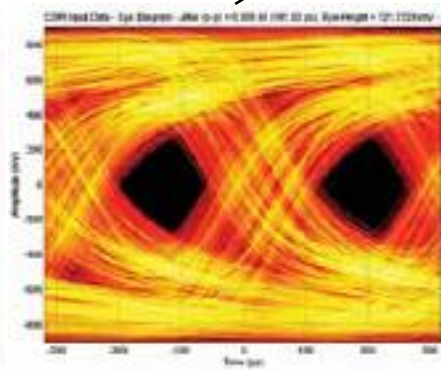
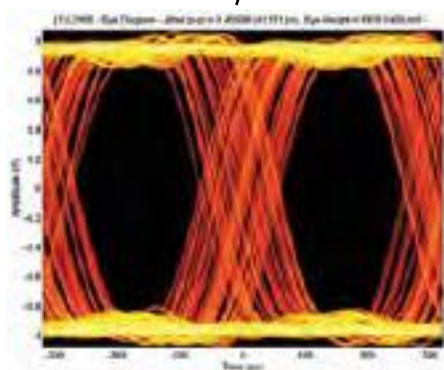
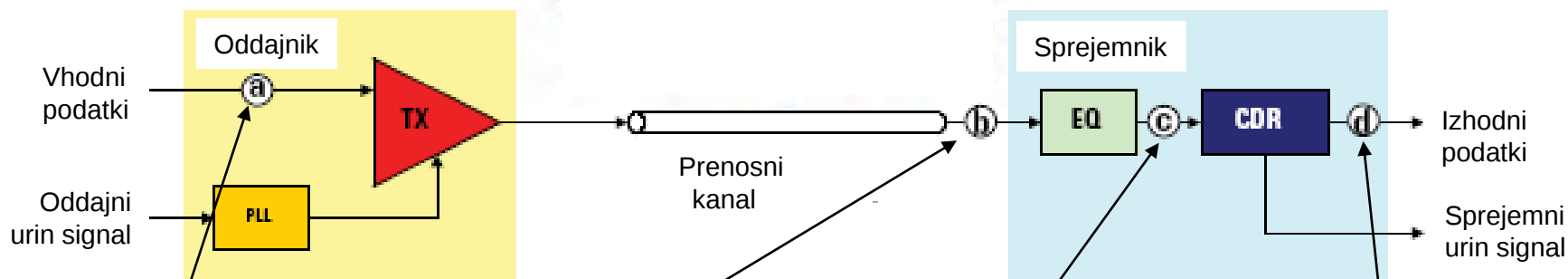


❑ Primeri meritev očesnega vzorca

Oddajnik RS232 – merimo izhod linije !

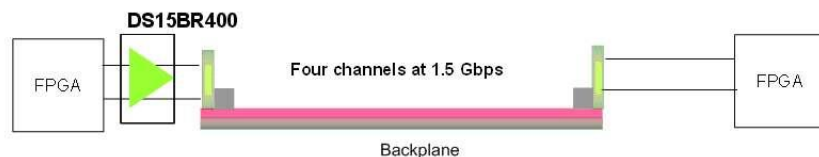


Primer izboljšav prenosa podatkov in očesnega vzorca

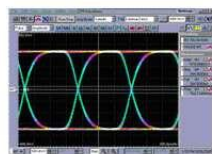


□ Primer izboljšav prenosa podatkov in očesnega vzorca

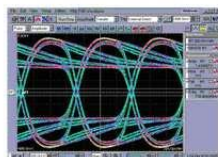
Pre-emphasis (pred-priprava)



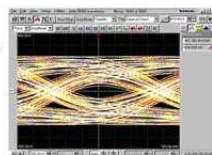
Pre-emphasis
OFF



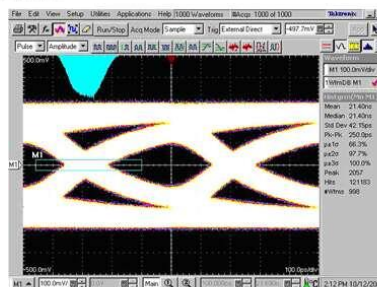
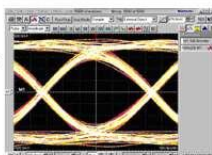
Pre-emphasis
ON



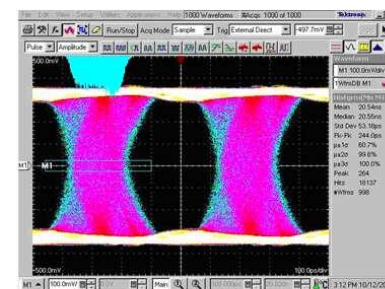
Eye opening
After 60 inches



Eye Opening
After 60 inches

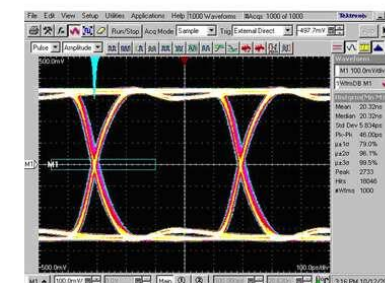


Equalization (po-priprava)



Output Signal
No Equalization

Input Signal



Output Signal
9dB Equalization

Vir: <https://www.edn.com/reclocking-and-equalization-for-restoring-hd-digital-video-with-low-jitter/>

3. Povezovalni standardi

- ❑ **Standard** je dokumentiran dogovor, ki vsebuje tehnične specifikacije ali druge natančno določene kriterije. Lahko ga imenujemo tudi **priporočilo**.
- ❑ Uporablja se kot pravila, smernice ali definicije lastnosti, da bi materiali, izdelki ali storitve ustrezali svojim namenom.
- ❑ Zakaj **standardi**?
 - Omogočajo **komunikacijo med programom in strojno opremo** (slike, tekst, telefonski pogovori).
 - Neuporaba lahko onemogoči komunikacijo, ali pa vodi k napačni interpretaciji informacij.
- ❑ Kako pride do njihove uveljavitve?
 - **Neformalno sprejemanje** standardov
Primer TTL napetostni nivoji (0V – low, 5V – high) so pri V/I lastnostih logičnih vezij postali standard zaradi možnosti povezovanja čipov različnih proizvajalcev.
 - **Formalno sprejemanje** standardov - običajno jih definira združenje proizvajalcev ali organizacija:
 - IEEE – Institute of Electrical and Electronic Engineers
 - EIA – Electronic Industries Association
 - TIA – Telecommunications Industry Association

- ❑ Za povezavo dveh sistemov, dveh naprav, dveh modulov, dveh tiskanih vezij želimo uporabiti serijski prenos podatkov.
- ❑ Kako lahko to izvedemo?
- ❑ Kaj potrebujemo?
 - Prenosni medij
 - Konektor

- **RS-232 – RS-232**



- **USB – RS-232**



USB – RS-485



3.1 EIA/TIA-232 (RS-232)

❑ Standard RS 232 določa:

- električne in časovne lastnosti oddajnika in sprejemnika pri asimetrični povezavi,
- pomen in vrste signalov in
- razpored pinov na konektorjih.

ali

- napetostne in signalne nivoje
- konfiguracije povezav pinov
- minimalno količino krmilnih informacij med gostiteljskim in perifernim sistemom.

❑ Začetek in razvoj standarda:

- RS-232 – leta 1962 (organizacija EIA)
- RS-232 C leta 1969
- RS-232 D leta 1986
- TIA-232 F leta 1997 (še vedno v veljavi)

❑ Standard RS-232 omogoča široko združljivost in zanesljivo povezovanje V/I naprav.

❑ Vir: <https://www.virtual-serial-port.org/article/what-is-serial-port/rs232-pinout/>

3.1.1 Električni del standarda

□ Napetostna in logična nivoja

Logična 0 : pozitiven napetostni nivo

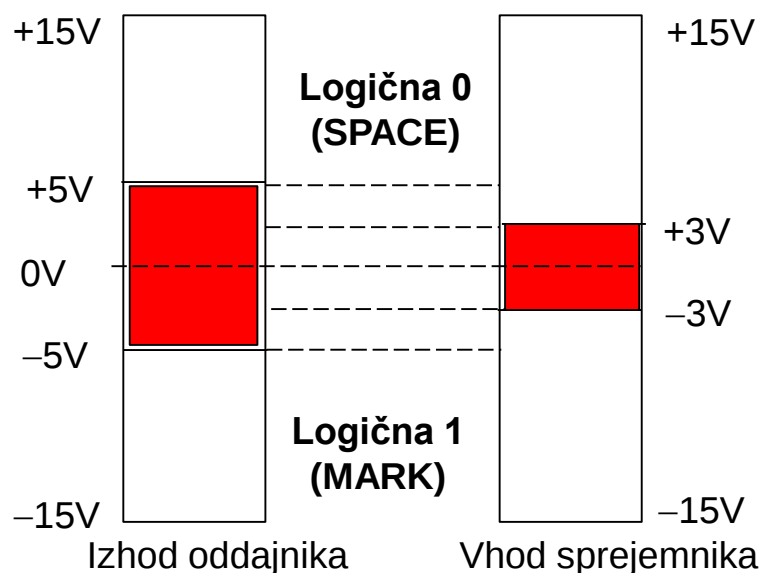
Oddajnik: od +5V do +15V

Sprejemnik: od +3V do +15V

Logična 1 : negativen napetostni nivo

Oddajnik: od -5V do -15V

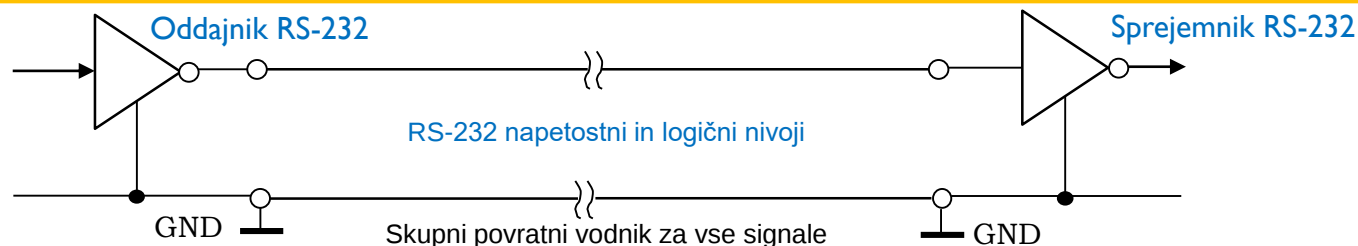
Sprejemnik: od -3V do -15V



- **Šumna imuniteta** je napetostna razlika med izhodom oddajnika in vhodom sprejemnika, ki pri neugodnih razmerah določa odpornost signalov na šum ($5V - 3V = 2V$).

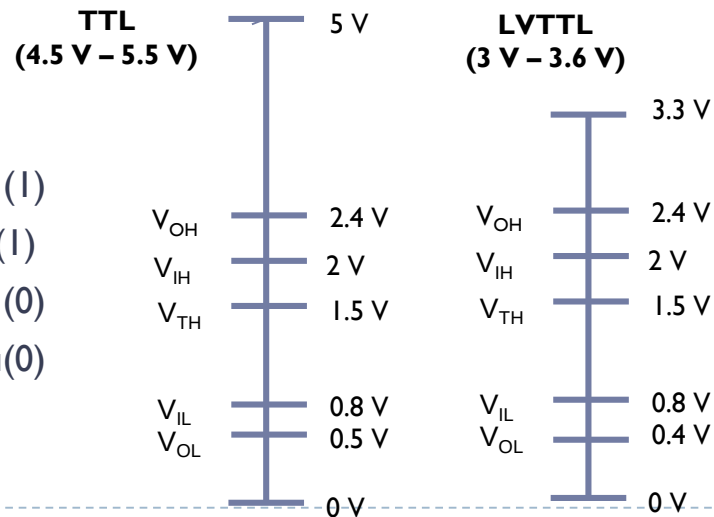
□ V RS-232 je uporabljen

- asimetrični prenos (ang. unbalanced) podatkov,
- s skupim povratnim vodnikom za vse signale,
- in napetostno nezaključeno napajanje linije ($R_{IZH} < R_0$ in $R_{VH} > R_0$)



Napetostni nivoji za TTL in LVTTTL:

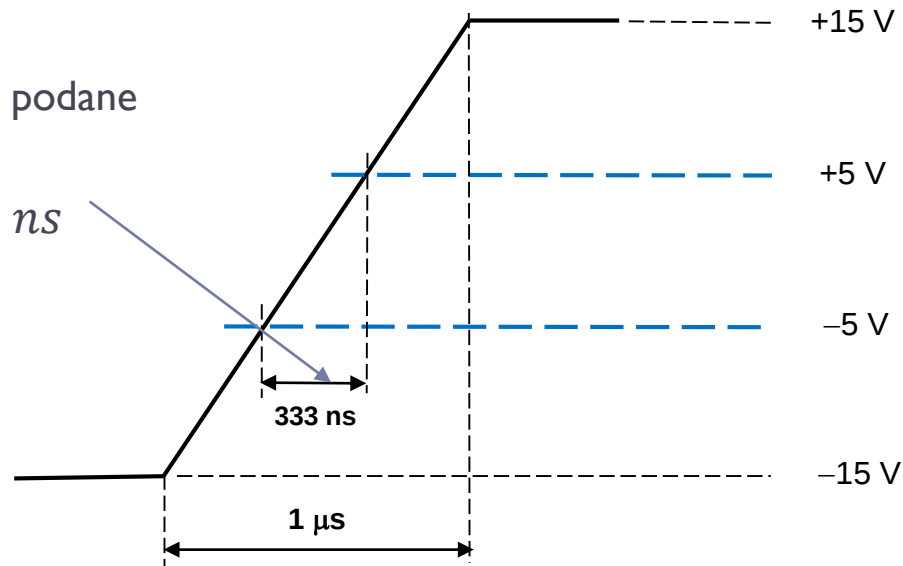
- V_{OH} = Minimalna izhodna napetost pri visokem nivoju (1)
- V_{IH} = Minimalna vhodna napetost pri visokem nivoju (1)
- V_{IL} = Maksimalna vhodna napetost pri nizkem nivoju (0)
- V_{OL} = Maksimalna izhodna napetost pri nizkem nivoju (0)
- V_{TH} = Napetost preklopa (preklopni prag)



- Za omejevanje odbojev in presluha je uporabljeno razmerje $\frac{t_r}{\tau}$.
- Hitrost spreminjanja kateregakoli signala je omejena na 30 V/ μ s (ang. slew rate).

Čas vzpona t_r signala je za podane napetostne omejitve

$$t_r \geq 333 \text{ ns}$$

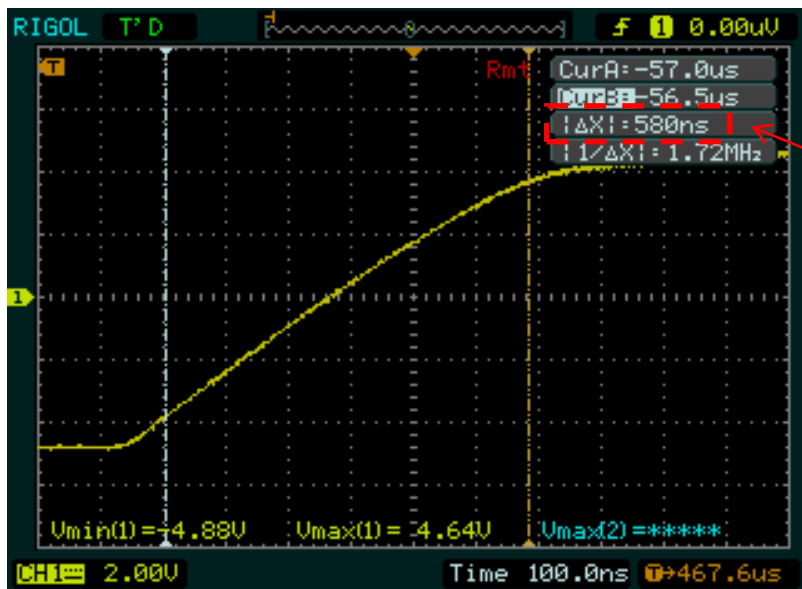


- Pri upoštevanju pogoja za omejevanje odbojev $t_r \geq (3 \div 5)\tau$, standard RS-232 priporoča **največjo dolžino povezave 15 m**.

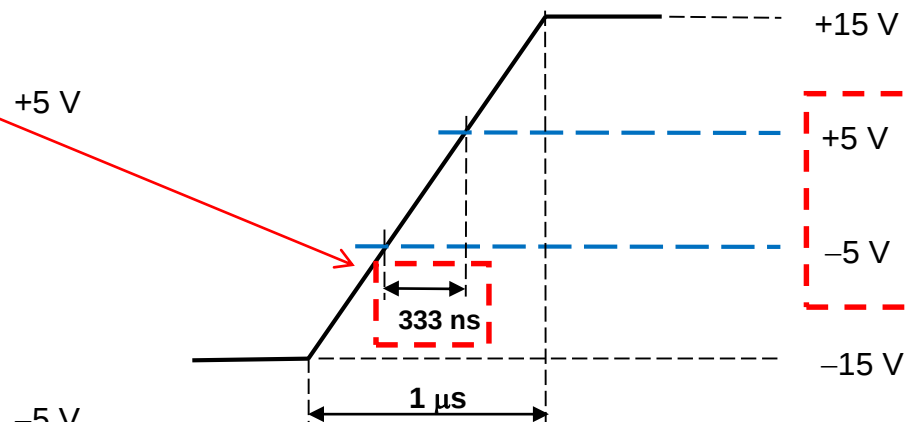
Izračun: $t_r \geq 4\tau$ in $\delta = 5,6 \left[\frac{\text{ns}}{\text{m}} \right]$

$$\text{čas vzpona } t_r \geq 4\tau = 4 \cdot l \cdot \delta \rightarrow l \leq \frac{t_r}{4 \cdot \delta} = \frac{333 \text{ [ns]}}{4 \cdot 5,6 \text{ [ns/m]}} = 15 \text{ [m]}$$

- Meritev časa vzpona (Slew Rate)



580 ns



580 ns

❑ RS-232 povezava dveh naprav

- Data Terminal Equipment (DTE)
- Data Communication Equipment (DCE)

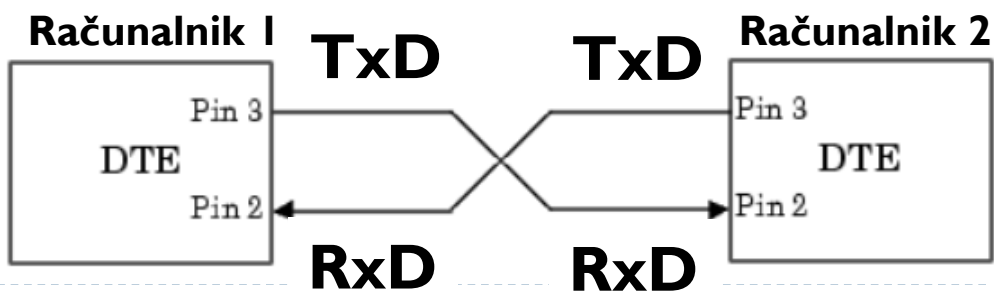
DB9 Pins	DTE	In/Out		In/Out	DCE	DB9 Pins
1	DCD	In	↔	In	DCD	1
2	RXD	In	←	Out	TXD	2
3	TXD	Out	→	In	RXD	3
4	DTR	Out	→	In	DSR	4
5	GND	--	--	--	GND	5
6	DSR	In	←	Out	DTR	6
7	RTS	Out	→	In	CTS	7
8	CTS	In	←	Out	RTS	8
9	RI	In	↔	In	RI	9

Prenos podatkov:

- Povezava naprav DTE in DCE (direktna povezava)



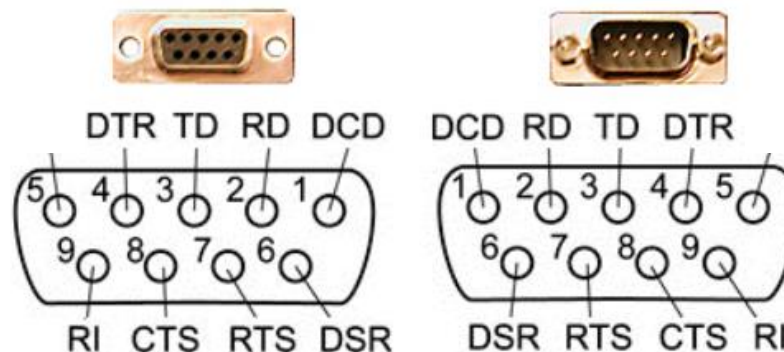
- Povezava dveh naprav DTE (navzkrižna povezava)



□ Vrste in razpored signalov na 9-pinskem konektorju (DB9 Male):

- RD (ang. receive data) - sprejem podatka
- TD (ang. transmitt data) – oddaja podatka
- RTS (ang. request to send) - zahteva za pošiljanje podatka
- CTS (ang. clear to send) – pripravljenost za sprejem podatka
- DCD (ang. data carrier detect) – sprejem prenosa iz oddaljene lokacije
- DSR (ang. data set ready) – pripravljenost za prenos podatka
- DTR (ang. data terminal ready) – pripravljenost za sprejem zahteve
- RI (ang. ring indicator) – zazna prihajajoči signal iz linije
- GND (ang. ground) – ozemljitev

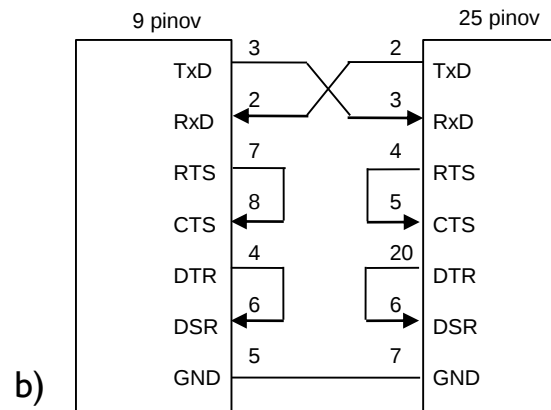
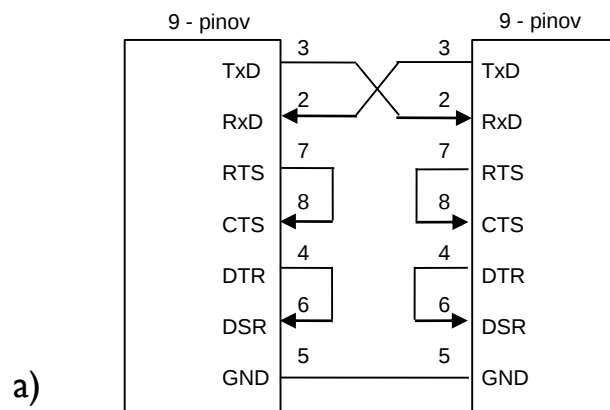
- Konektor DB9 Female in DB9 Male



3.1.2 Načini delovanja RS-232

a) Enostavno **ne-usklajeno delovanje** (ang. simple no-handshaking)

- Komunikacija deluje s predpostavko, da **sprejemnik lahko bere podatke iz vmesnega pomnilnika** (ang. buffer) predno je sprejet nov znak.
- Podatek je poslan iz oddajnika (pin TxD) in sprejet na sprejemniku (pin RxD).
- Prikaz povezave med dvema vozliščema:
 - a) 9-pinski konektor – 9 pinski konektor
 - b) 9-pinski konektor – 25 pinski konektor

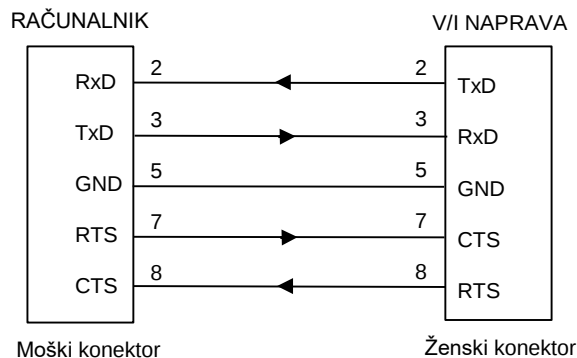


b) **Programsko usklajeno delovanje** (ang. software handshaking)

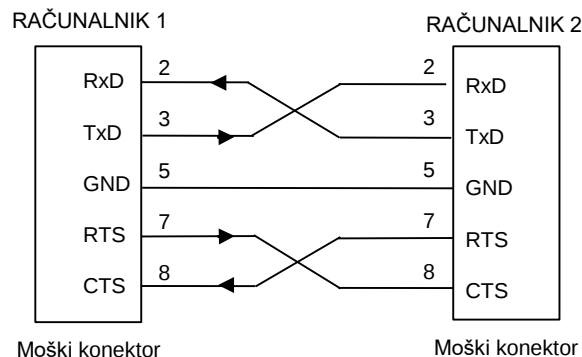
- Hitro procesiranje tako na oddajniku, kot sprejemniku
- Znaka ASCII sta uporabljena za začetek (start - Ctrl-S) in konec prenosa (stop - Ctrl-Q)

c) **Signali so uporabljeni za usklajevalno delovanje (ang. hardware handshaking)**

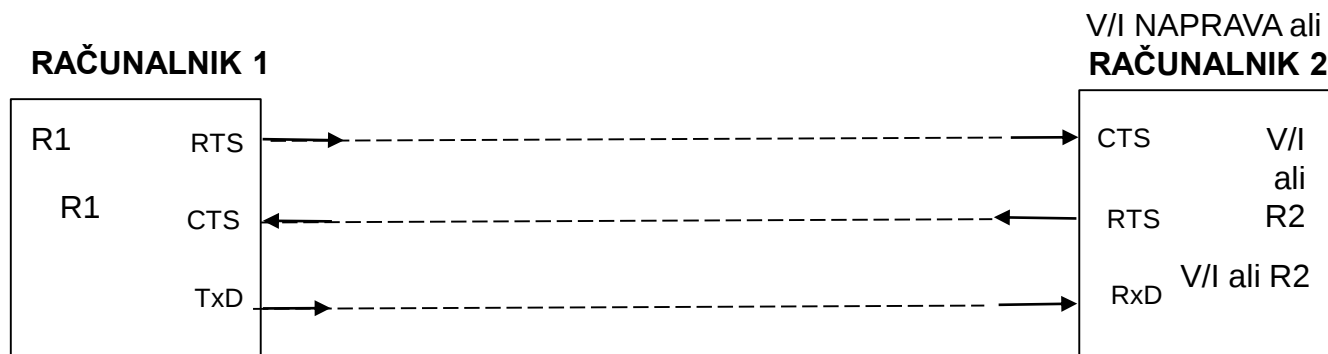
Računalnik – V/I naprava

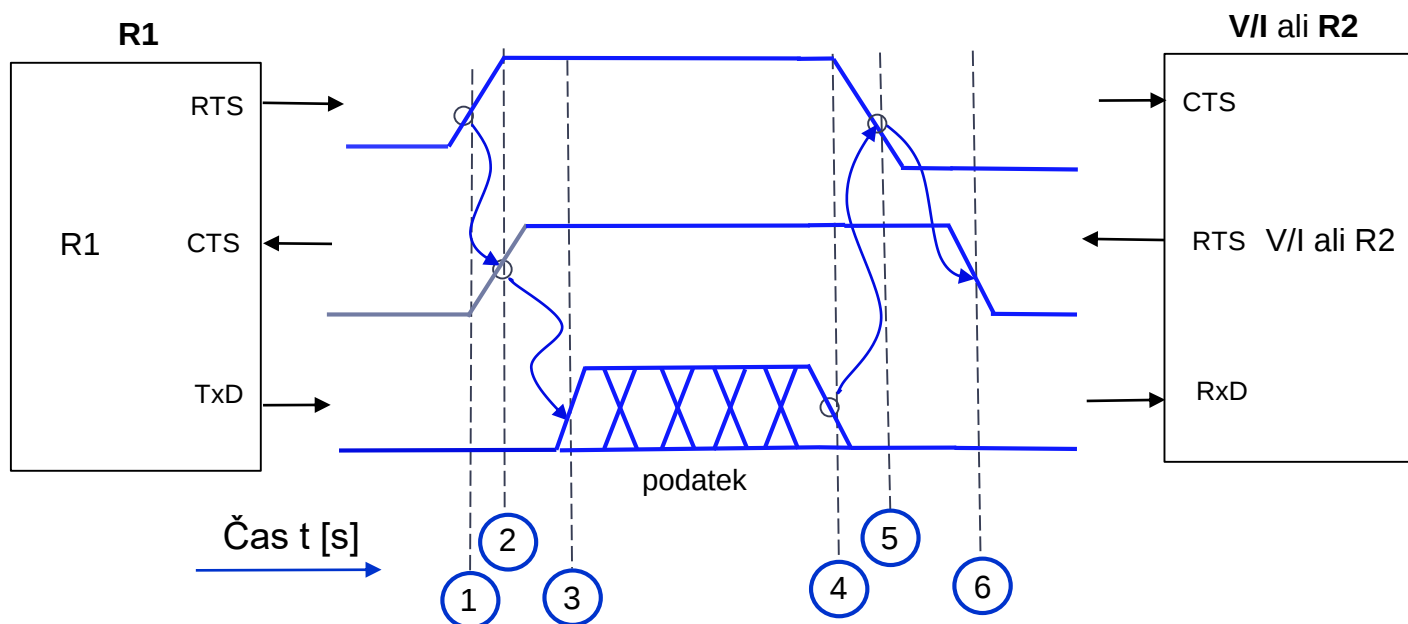


Računalnik 1 – Računalnik 2



□ Primer za prenos podatka: RAČUNALNIK 1 → V/I NAPRAVA ali RAČUNALNIK 2





- (1) R1 aktivira signal RTS, ko želi poslati podatek
- (2) Ko V/I ali R2 sprejme signal RTS na svoj CTS vhod, odgovori s signalom RTS, ki ga R1 sprejme na vhod CTS, kar pomeni da V/I ali R2 lahko sprejme podatek.
- (3) R1 prične s pošiljanjem podatka
- (4) R1 konča pošiljanje
- (5) R1 deaktivira signal RTS
- (6) V/I ali R2 odgovori - deaktivira svoj RTS

3.1.3 Lastnosti RS-232

❑ Napetostni nivoji:

- Logična 1: -3 V do -15 V; -5 V do -15 V
- Logična 0: +3 V do +15 V; +5 V do +15 V

❑ Asinhrona komunikacija – ni urinega signala

❑ Format podatka

- Prenos: Start, $b_0, \dots, b_7$, Stop; Ni paritetnega bita.



❑ Asimetrična povezava

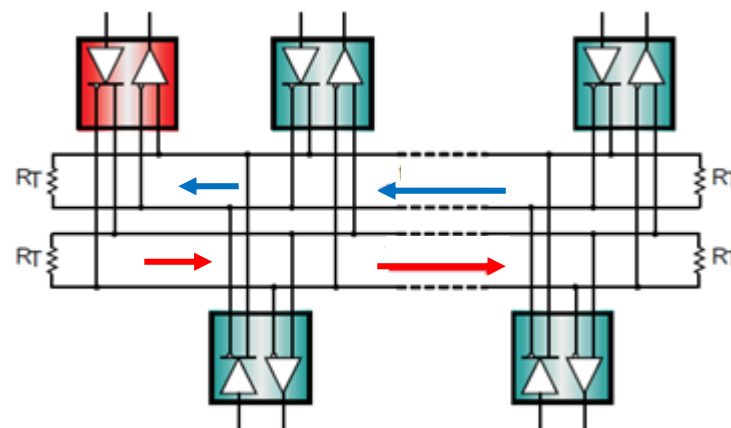
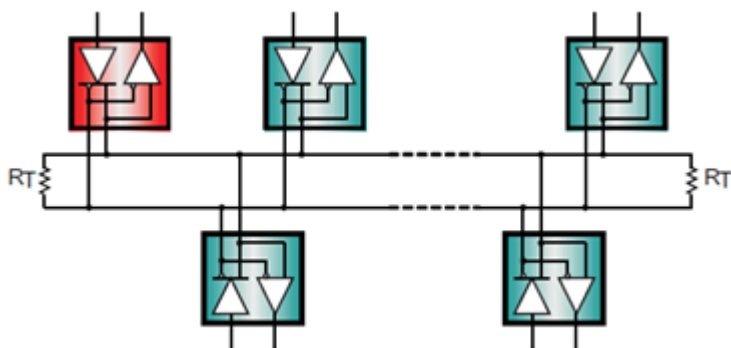
- Dvosmerna povezava (ang. full duplex)
- Povezava dveh naprav na isto maso (GND).
- Večja občutljivost na šum.
- Omejitev dolžine povezave je 15 m.

❑ Baudna hitrost

- Običajna - 9600 bps
- Druge standardne možnosti: 1200, 2400, 4800, 19200, 38400, 57600, 115200 bps

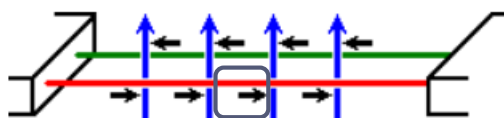
3.2 EIA/TIA-485 (RS-485)

- Standard RS-485 definira **električne lastnosti** oddajnikov, linije in sprejemnikov za simetrično povezavo v obliki vodila.
 - Določa simetrični, **diferencialni prenos v obe smeri** (half-duplex ali full-duplex).
 - Priporoča uporabo **parice** in **zaključitev linije** za omejevanje odbojev.
 - Omogoča **hitrosti do 35 Mb/s** in več ter dolžino **povezave do 1200 m**, vendar ne hkrati (višja kot je hitrost $\Leftrightarrow$ krajša je povezava in obratno)
 - Na vodilu je tako **število oddajnikov, kot število sprejemnikov do 32**.
 - Če obremenitev ni presežena, je lahko sprejemnikov tudi več, do 256.
 - Primer: half-duplex in full-duplex struktura vodila v RS-485

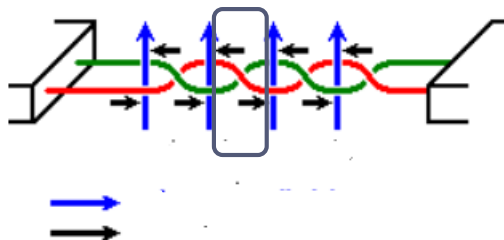


- ❑ Standard ne določa posebnega protokola za prenos podatkov, obratno pa veliko protokolov uporablja RS-485 kot električni standard povezave (npr. Modbus)
- ❑ Povezave po standardu RS-485 so zaradi simetrične povezave in uporabe paric zelo uporabne v industrijskih okoljih:
 - Neobčutljive za šum in premik potenciala ozemljitve
 - Ne povzročajo motenj navzven (presluh na sosednje povezave)
 - Možne so višje hitrosti prenosa
 - Kjer ni zahtevana velika hitrost, so povezave lahko zelo dolge (npr. v procesni industriji)
 - Primer za raven kabel in sukano parico

Raven kabel

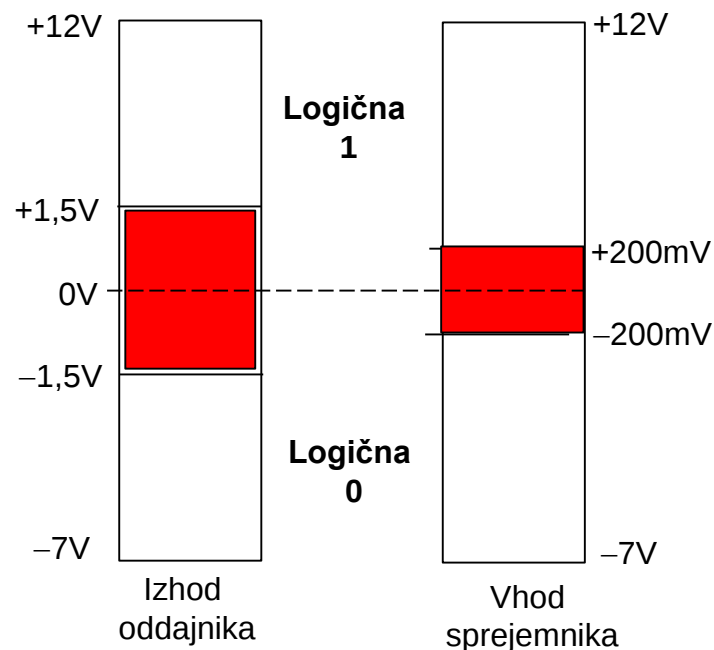


Sukana parica

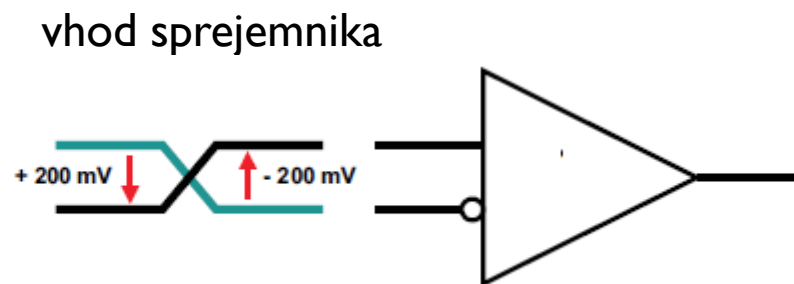
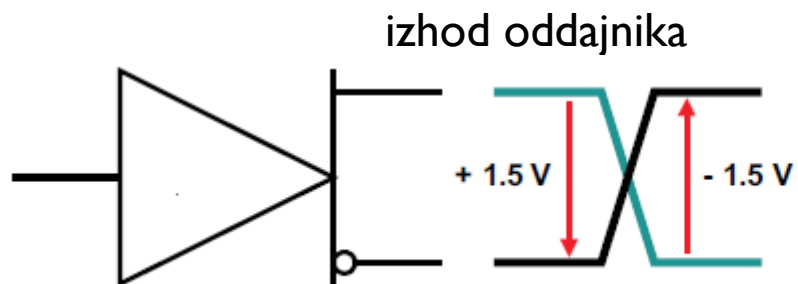


Logični nivo – napetostni nivo

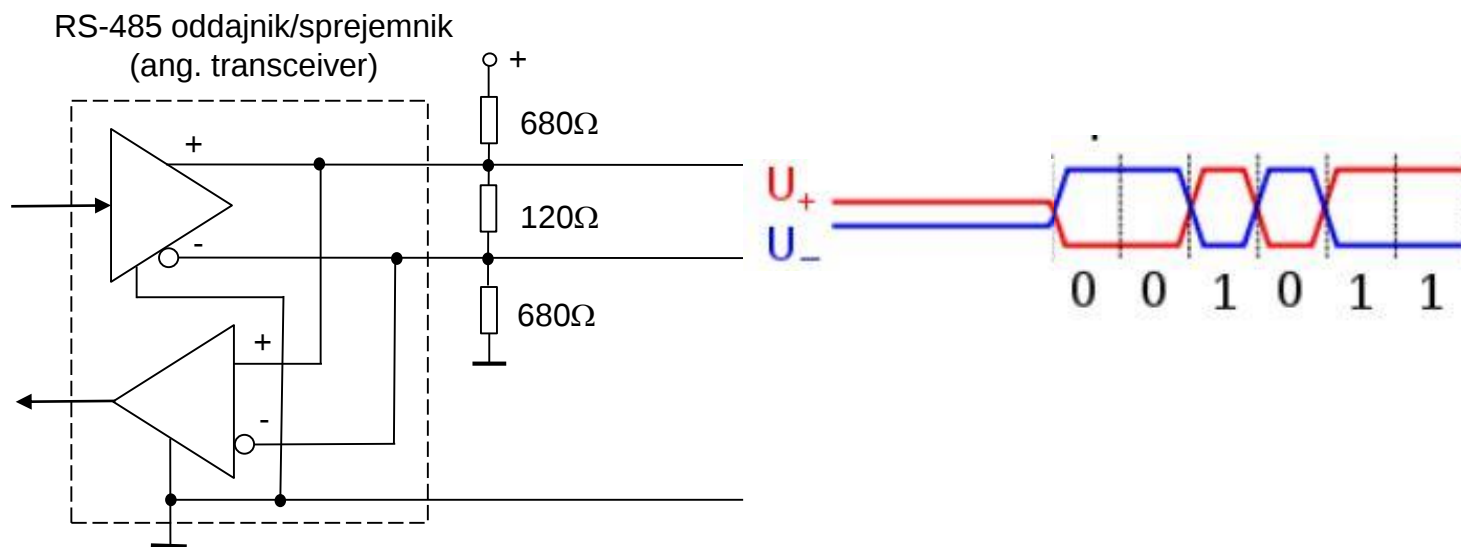
- Logična 0** : negativen napetostni nivo
 - Oddajnik: od -1,5V do -7V
 - Sprejemnik: od -200 mV do -7V
- Logična 1** : pozitiven napetostni nivo
 - Oddajnik: od +1,5V do +12V
 - Sprejemnik: od +200 mV do +12V



Minimalne napetosti



- ❑ Za omejevanje odbojev se uporablja **zaključitev linije** na obeh koncih (120Ω), upornost zaključitvenega upora je odvisna od karakteristične impedance linije (Z_0), zato je standard ne specificira.
- ❑ Primer:



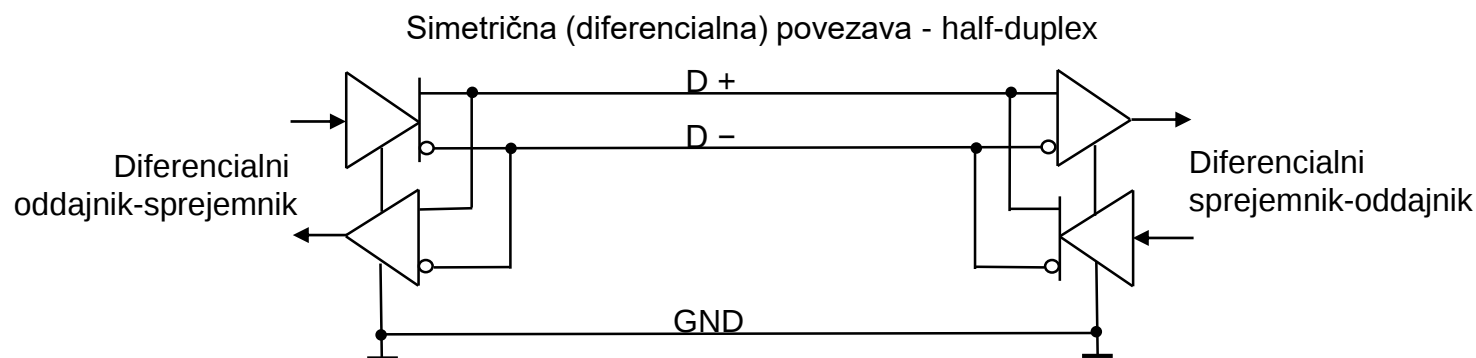
□ Povzetek standardov RS-232 in RS-485

	RS232	RS485
Differential	no	yes
Max number of drivers	1	32
Max number of receivers	1	32
Modes of operation	half duplex full duplex	half duplex
Network topology	point-to-point	multipoint
Max distance (acc. standard)	15 m	1200 m
Max speed at 12 m	20 kbs	35 Mbs
Max speed at 1200 m	(1 kbs)	100 kbs
Max slew rate	30 V/μs	n/a
Receiver input resistance	3..7 kΩ	≥ 12 kΩ
Driver load impedance	3..7 kΩ	54 Ω
Receiver input sensitivity	±3 V	±200 mV
Receiver input range	±15 V	-7..12 V
Max driver output voltage	±25 V	-7..12 V
Min driver output voltage (with load)	±5 V	±1.5 V

3.3 Universal Serial Bus (USB)

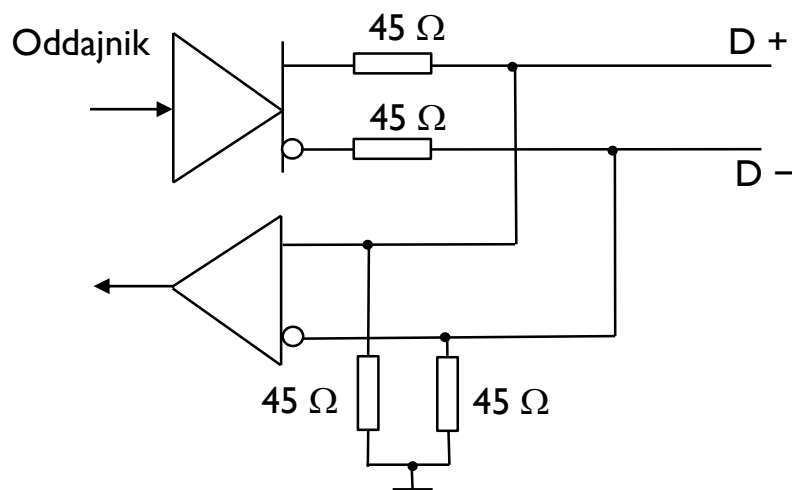
- ❑ Povezovalni standard USB je bil objavljen 1996. Določa:
 - specifikacije za **kable, priključke in protokole za povezavo,**
 - **komunikacijo in napajanje** med osebnimi računalniki in njihovimi perifernimi napravami.
 - ❑ Za razvoj in vzdrževanje skrbi USB Implementers Forum (USB-IF), ki vključuje podjetja, kot so: Hewlett Packard, Intel, LSI Corporation, Renesas, Microsoft
- ❑ Cilji, ki so jih želeli doseči, pri razvoju USB standarda:
 - Nastavljanje stikal ali mostičev na kartici ali napravi ne bo potrebno.
 - Pri instalaciji novih V/I naprav ne bo treba odpirati ohišja.
 - **Samo ena vrsta kabla** za vse vrste naprav.
 - V/I naprave naj dobijo **napajanje po USB kablju.**
 - Možnost priključitve do 127 V/I naprav na krmilnik.
 - Podpora napravam, ki **delujejo v realnem času.**
 - Naprave naj bo možno **nameščati med delovanjem** (ang. hot plug).
 - Po instalaciji nove naprave naj ne bi bilo potreben ponovni zagon (ang. reset) računalnika.
 - Povezava naj bi bila **poceni.**

- ❑ Električno je to dvosmerna simetrična povezava z enim parom podatkovnih linij (ang. half-duplex).

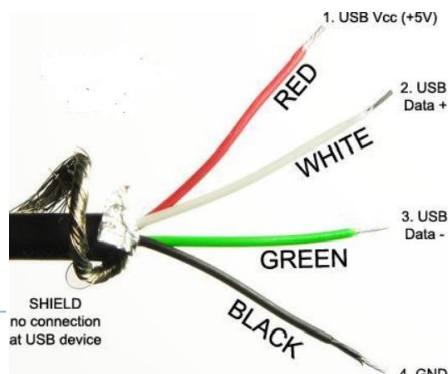


- Nizke hitrosti prenosa: LS (Low-speed) = 1,5 Mb/s
Minimalna izhodna napetost pri visokem nivoju (1) $V_{OH} > 2,8V$
Maksimalna izhodna napetost pri nizkem nivoju(0) $V_{OL} < 0,3V$
 - Visoke hitrosti prenosa: HS: High-speed 480 Mb/s
Minimalna izhodna napetost pri visokem nivoju (1) $V_{OH} = 400\text{ mV} \pm 10\%$
Maksimalna izhodna napetost pri nizkem nivoju(0) $V_{OL} = 0V \pm 10\text{ mV}$
- Maksimalna dolžina: $l_{max} = 5\text{ m}$

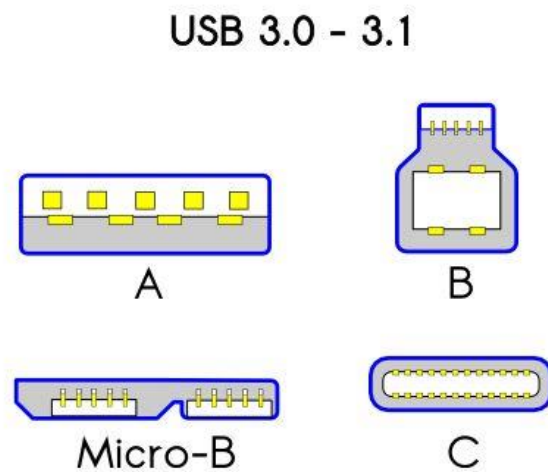
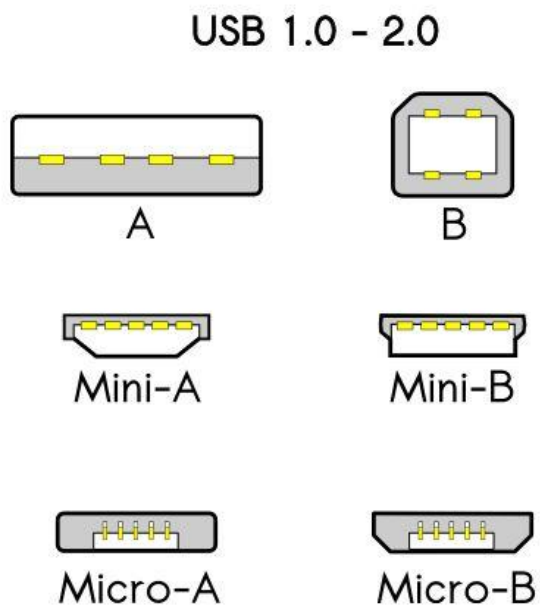
- Za preprečevanje odbojev se uporablja serijska zaključitev pri oddajniku in paralelna zaključitev pri sprejemniku ($Z_0 = 90 \Omega$).



- USB kabel



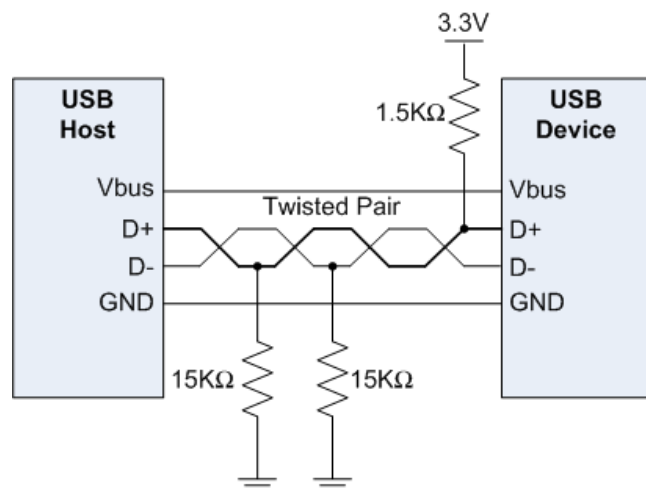
□ Strojna oprema - Konektorji USB



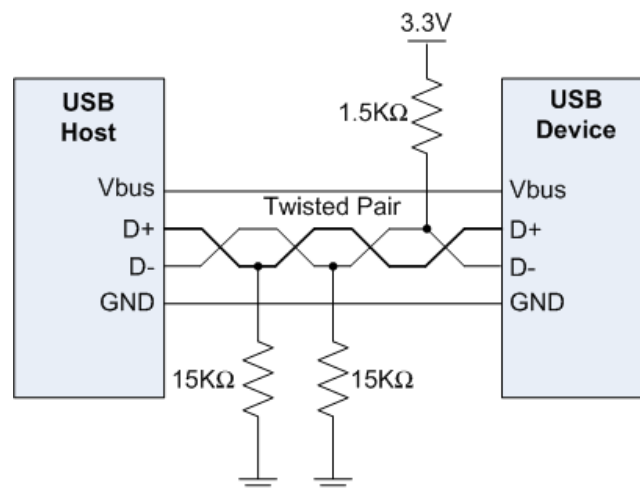
https://en.wikipedia.org/wiki/USB_hardware

❑ Identifikacija hitrosti :

- ▶ low speed (1.5 Mbit/s = 187 KB/s)
- ▶ full speed (12 Mbit/s = 1.5 MB/s)
- ▶ high speed (480 Mbit/s = 60 MB/s)
- ▶ super speed (4.8 Gbit/s = 600 MB/s)



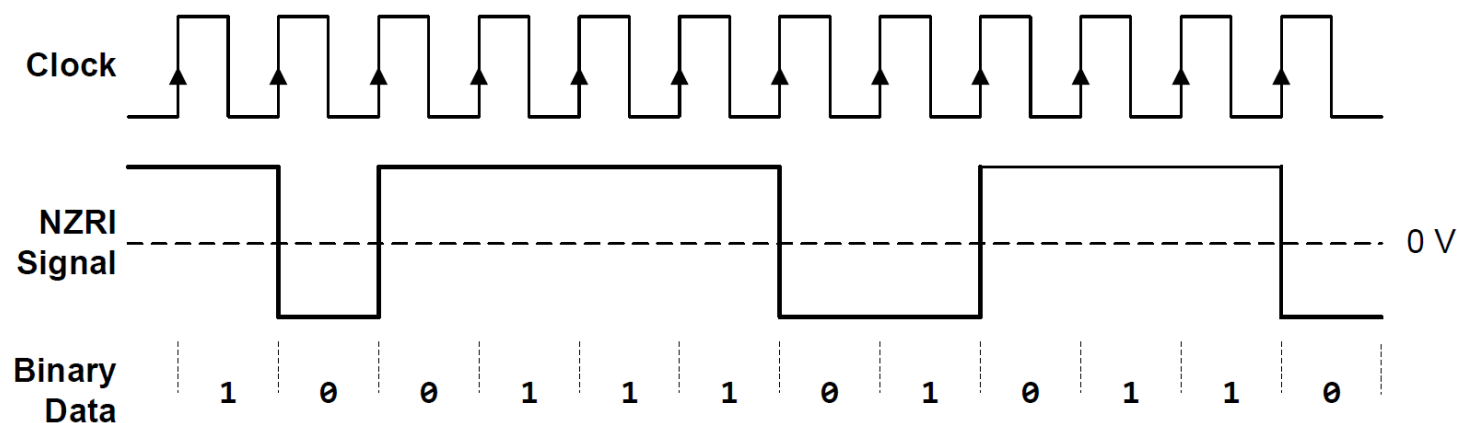
Full-speed mode (12 Mbits/s)
1.5KΩ pull-up na D+



Low-speed mode (1.5Mbits/s)
1.5KΩ pull-up na D-

□ Kodiranje NRZI :

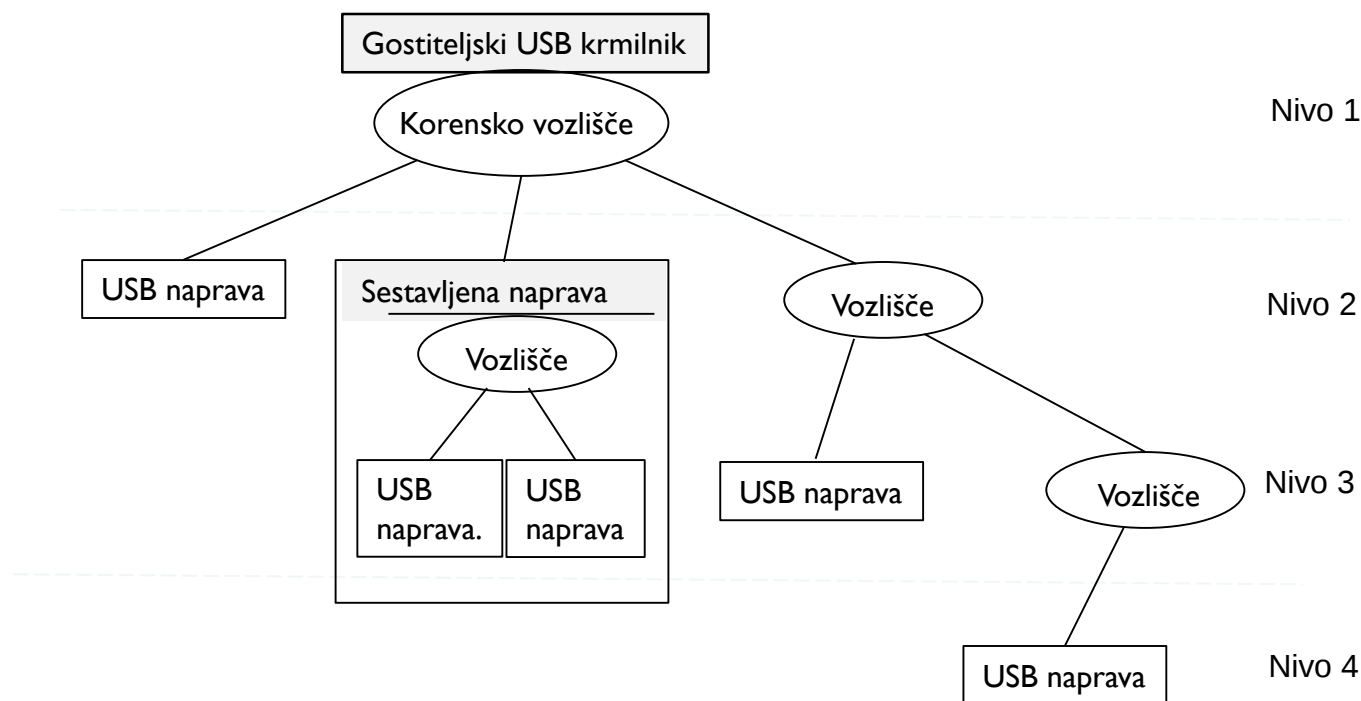
- ▶ **0**: sprememba napetosti
- ▶ **1**: ni spremembe



3.3.1 Topologija USB

□ Splošno:

- Naprave USB so fizično povezane v vozlišče.
- Za delovanje je potreben gostiteljski USB krmilnik (ang. root host),
- Vsaka USB naprava ima tudi svoj USB krmilnik.

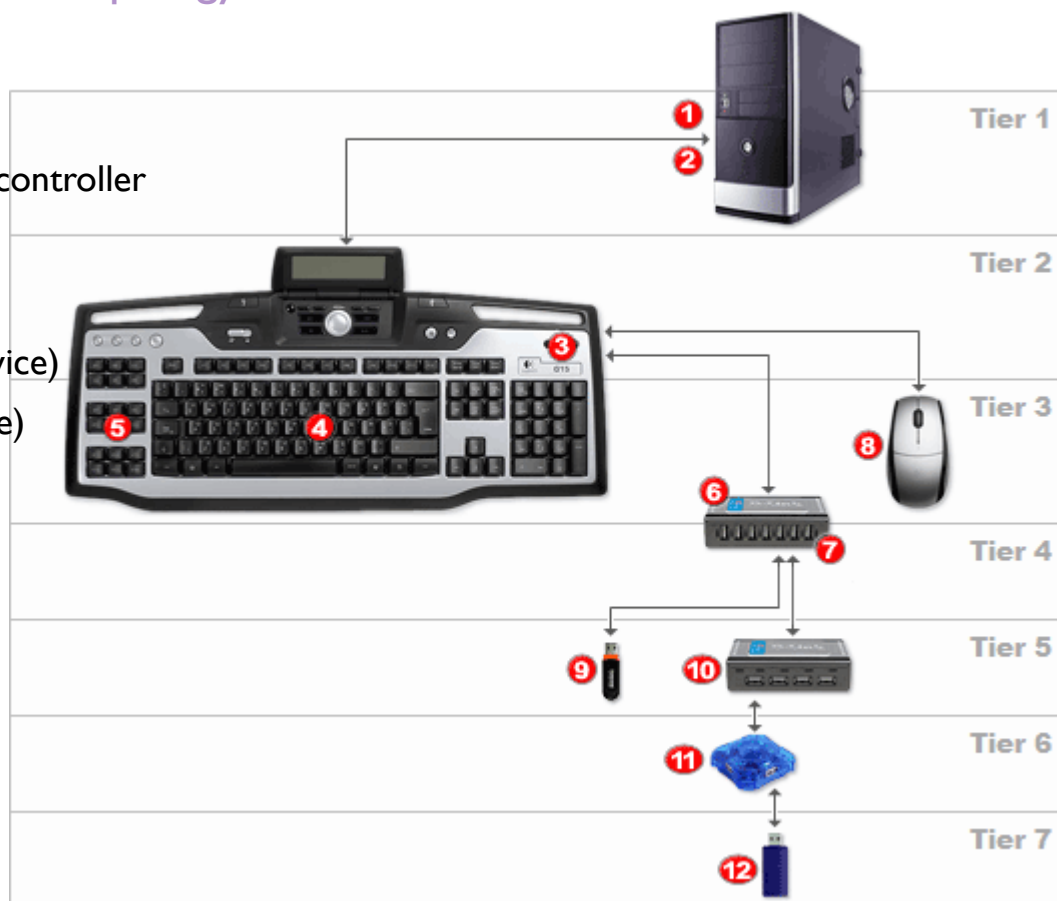


- ❑ Maksimalno število nivojev vključno s korenskim vozliščem je 7.
 - ❑ Vsaka naprava ali vozlišče predstavlja en nivo. Sestavljena naprava npr. tipkovnica in sledilna plošča predstavljata dva nivoja.
 - ❑ Logično USB gostiteljski krmilnik z vsako napravo komunicira kot bi bil z njo direktno povezan (točka-v-točko).
 - ❑ Logične povezave $\Rightarrow$ cevi (bit pipe).
 - ❑ Urin signal se po povezavi ne pošilja, na sprejemni strani se urin signal restavrira iz podatkovnega zaporedja.
 - ❑ Uporablja se NRZI kodiranje (bomo spoznali v nadaljevanju)
 - ❑ Ko priključimo novo USB napravo, gostiteljski krmilnik to zazna in pošlje prekinitveno zahtevo v CPE.
 - ❑ Operacijski sistem (OS) poizve kakšna naprava je to in kakšno hitrost zahteva, oziroma koliko pasovne širine bo zasedla.
 - ❑ OS dodeli novi napravi enoveljaven naslov (1 – 127) ter naslov in ostale parametre povezave naloži v konfiguracijske registre krmilnika USB naprave.
 - ❑ Neinicilizirane naprave začnejo z naslovom 0, da se lahko v nadaljevanju uporabijo.
-
- ❑ Namestitev poteka tako brez konfiguracijskih posegov uporabnika (ang. on the fly).

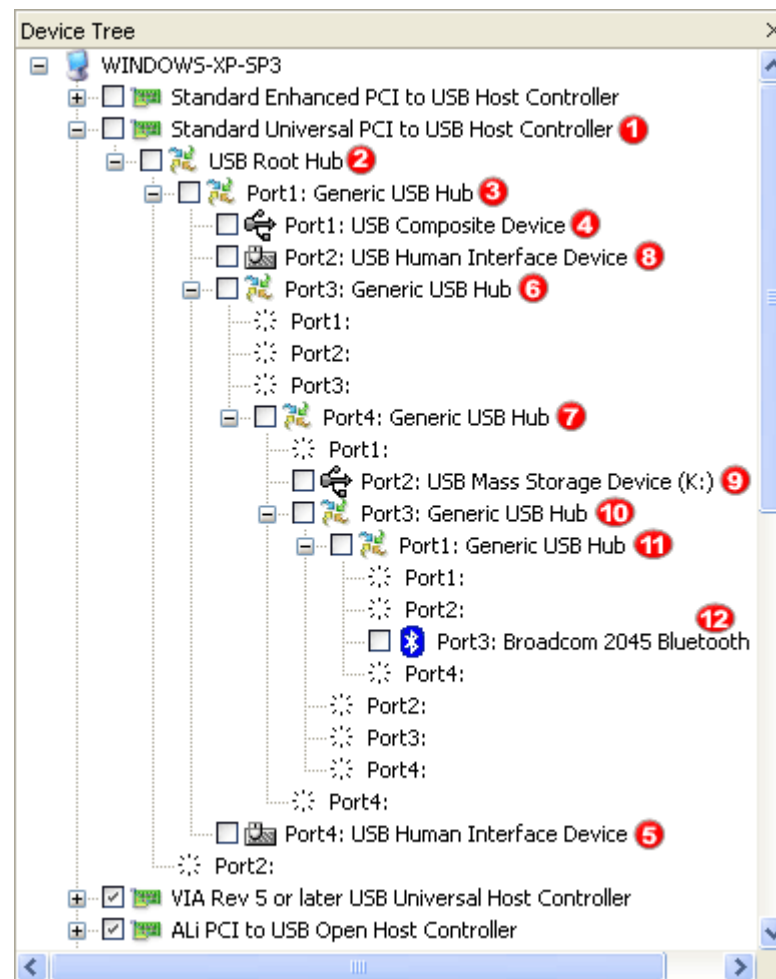
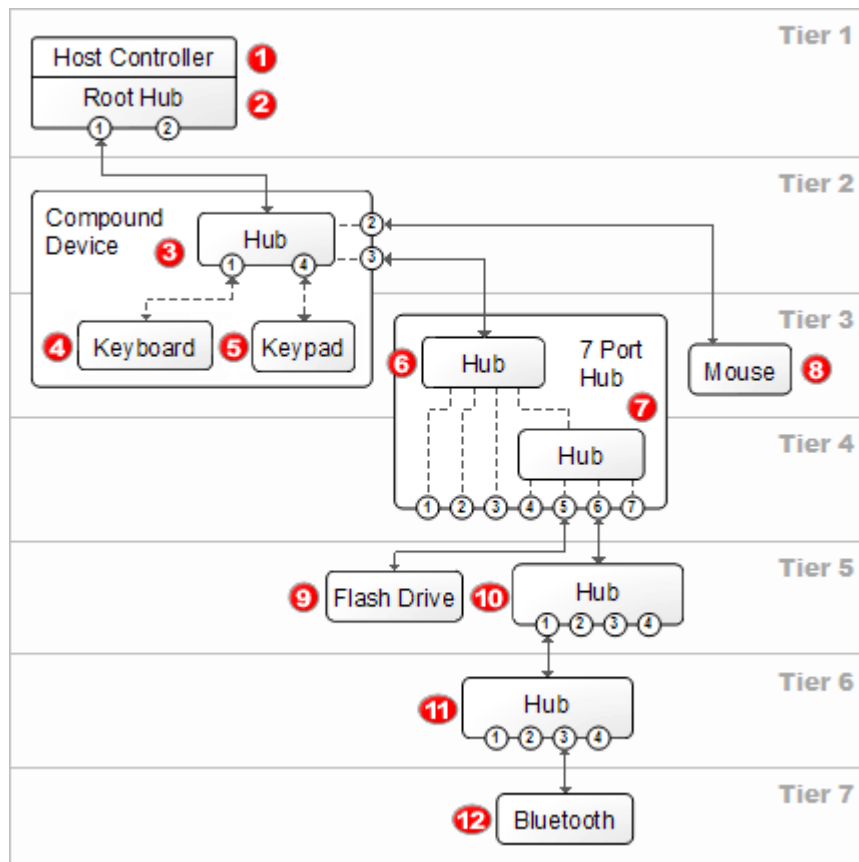
❑ Fizična topologija vodila – Uporabniški pogled

<http://www.usblyzer.com/usb-topology.htm>

1. USB host with host controller
2. 2-port root hub integrated into the host controller
3. 4-port hub integrated into the keyboard
(part of the compound device)
4. USB keyboard (part of the compound device)
5. USB keypad (part of the compound device)
6. 4-port hub (part of the 7-port hub)
7. 4-port hub (part of the 7-port hub)
8. USB mouse
9. USB flash drive
10. 4-port hub
11. 4-port hub
12. USB bluetooth adapter

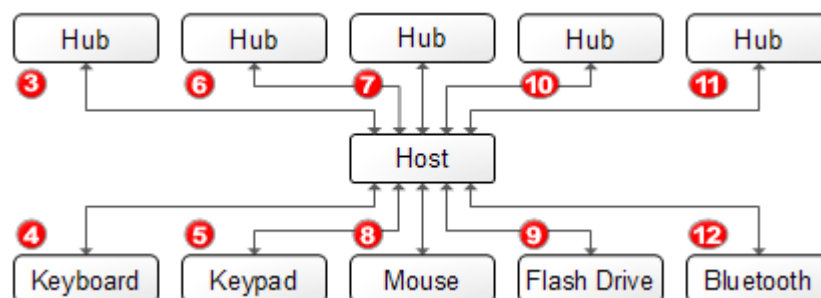


❑ Fizična topologija vodila USB – podrobnejši pogled

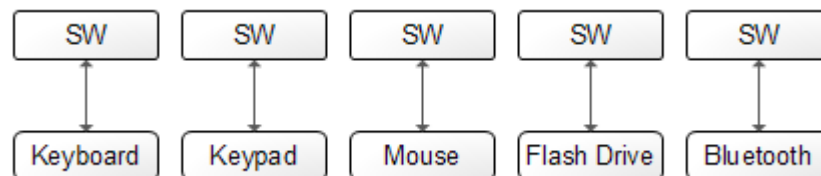


□ Logična topologija vodila USB:

- Fizično so naprave povezane nivojsko, v zvezdni topologiji.
- Gostitelj komunicira z V/I napravami, kot da bi bile direktno povezane na 'Root hub'.



□ Pogled programskega odjemalca – program odjemalca komunicira z napravo, kot da bi bila direktno povezana na gostitelja.



3.3.2 Prenos podatkov

- ❑ Podatki se prenašajo med dvema napravama v majhnih količinah, **kot paketi**. Z vsakim paketom se prenese določeno število bajtov (enota digitalnih informacij).
- ❑ Pošljejo se tudi druge informacije, kot so:
 - izvor podatkov in ponor podatkov,
 - dolžina podatkov,
 - podrobnosti o odkritih napakah
- ❑ Tipi prenosov podatkov:
 - 'Interrupt transfer' – naprave zahteva prekinitev, majhne količine podatkov, manj pogosti prenosi (tipkovnica, miška)
 - 'Bulk transfer' - večje količine podatkov, nizka prioriteta (tiskalniki, skenerji)
 - 'Isochronous transfer' – lahko pride do napak, prenos paketov se ne prekine in se ne pošilja ponovno (audio, video)
 - 'Control transfer' : konfiguracija in kontrola naprave USB.
- <https://www.cmd-ltd.com/advice-centre/usb-chargers-and-power-modules/usb-and-power-module-product-help/usb-data-transfer-guide/>

- ❑ Logično je USB sistem videti **kot množica povezav** (cevi) med USB napravami in korenskim vozliščem (gostiteljskim krmilnikom).
- ❑ Vsi prenosi potekajo med korenskim vozliščem in USB napravami. Prenos med napravami ni možen.
- ❑ Prenos med dvema USB napravama je možen le, če ima krmilnik ene od USB naprav tudi gostiteljske sposobnosti (ang. dual role device, OTG).
- ❑ USB gostiteljski krmilnik pošlje vsako milisekundo ($1,00 \text{ ms} \pm 0,05 \text{ ms}$) nov okvir in tako vzdržuje sinhronizacijo z napravami.
- ❑ Okvir, ki ga sestavljajo paketi, je povezan z določeno povezavo USB.
- ❑ **Prvi paket** v okvirju (SOF) je **vedno v smeri od korenskega vozlišča proti napravi**. Ostali paketi v okvirju pa so lahko v eni ali drugi smeri.

❑ Primer komunikacije med USB krmilnikom in USB napravami

SOF: Start of Frame;

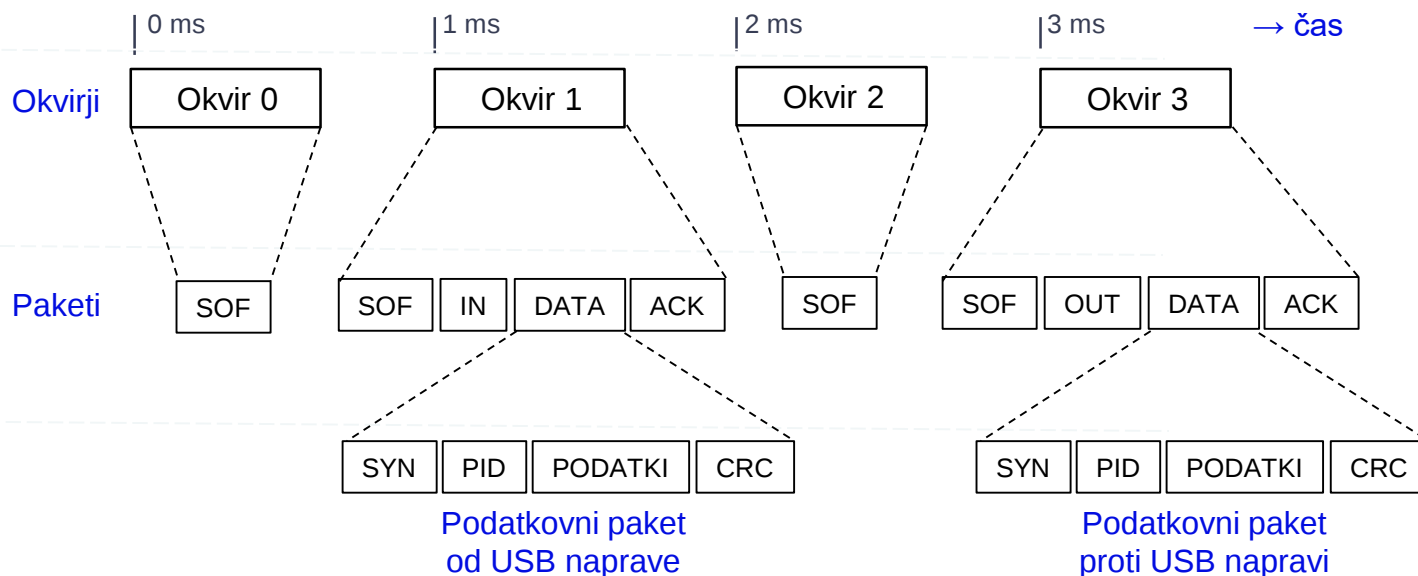
IN: prenos od naprave;

OUT: prenos proti napravi (vsi vedno od krmilnika proti napravi)

SYN: 8-bitno sinhronizacijsko polje

PID: 8-bitna oznaka vrste paketa

CRC: 16-bitno polje za detekcijo napak



3.3.3 Razvoj standarda USB

- ❑ USB 1.0 (1996): 1,5 Mb/s Low-speed – LS
- ❑ USB 1.1 (1998): Bolj stabilno delovanje, 12 Mb/s Full-speed – FS
- ❑ USB 2.0 (2000): 480 Mb/s High-speed (HS), Kodiranje NRZI, Dolžina povezave do 5m, S petimi razdelilniki (hubi) do 30m, Obremenitev vodila pri +5V do 500mA (5 x 100 mA), Možno hkratno delovanje LS, FS in HS naprav, Potreben je gostiteljski krmilnik (Host controller)
- ❑ USB OTG (USB On-the-Go; leto 2001): Dodatek k standardu USB 2.0, Periferna naprava lahko prevzame vlogo gostiteljske naprave (krmilnika, ki vodi prenos) – dual role device, Novi konektorji (mini A, mini B), manjša poraba
- ❑ USB 3.0 (leto 2008): Maksimalna teoretična hitrost 5 Gb/s (realno 3,2 Gb/s) - Super-speed – SS, Kodiranje 8b/10b, Dodatni 4 vodniki (2 x diferencialni signal v eno in drugo smer), Praktična dolžina povezave do 3m (standard dolžine direktno ne omejuje), Hkratni dvosmerni prenos (full-duplex), Novi konektorji (kompatibilni z USB 2.0), Obremenitev vodila do 900 mA (6 x 150 mA), Kompatibilnost z USB 2.0
- ❑ USB 3.1 (leto 2013): Maksimalna teoretična hitrost 10 Gb/s SuperSpeed+ , Kodiranje 128b/132b ($\Rightarrow$ hitrost $10 \cdot 10^9 \text{ b/s} \cdot (128/130) / 8 \text{ b/B} = 1,23 \text{ GB/s}$), Konektor USB C, ki pa ni del specifikacij USB 3.1
- ❑ USB 3.2 (leto 2017) in USB 4 (leto 2019)

3.3.4 Napajanje in polnjenje preko kabla USB

❑ Napajanje USB naprav po USB kablu:

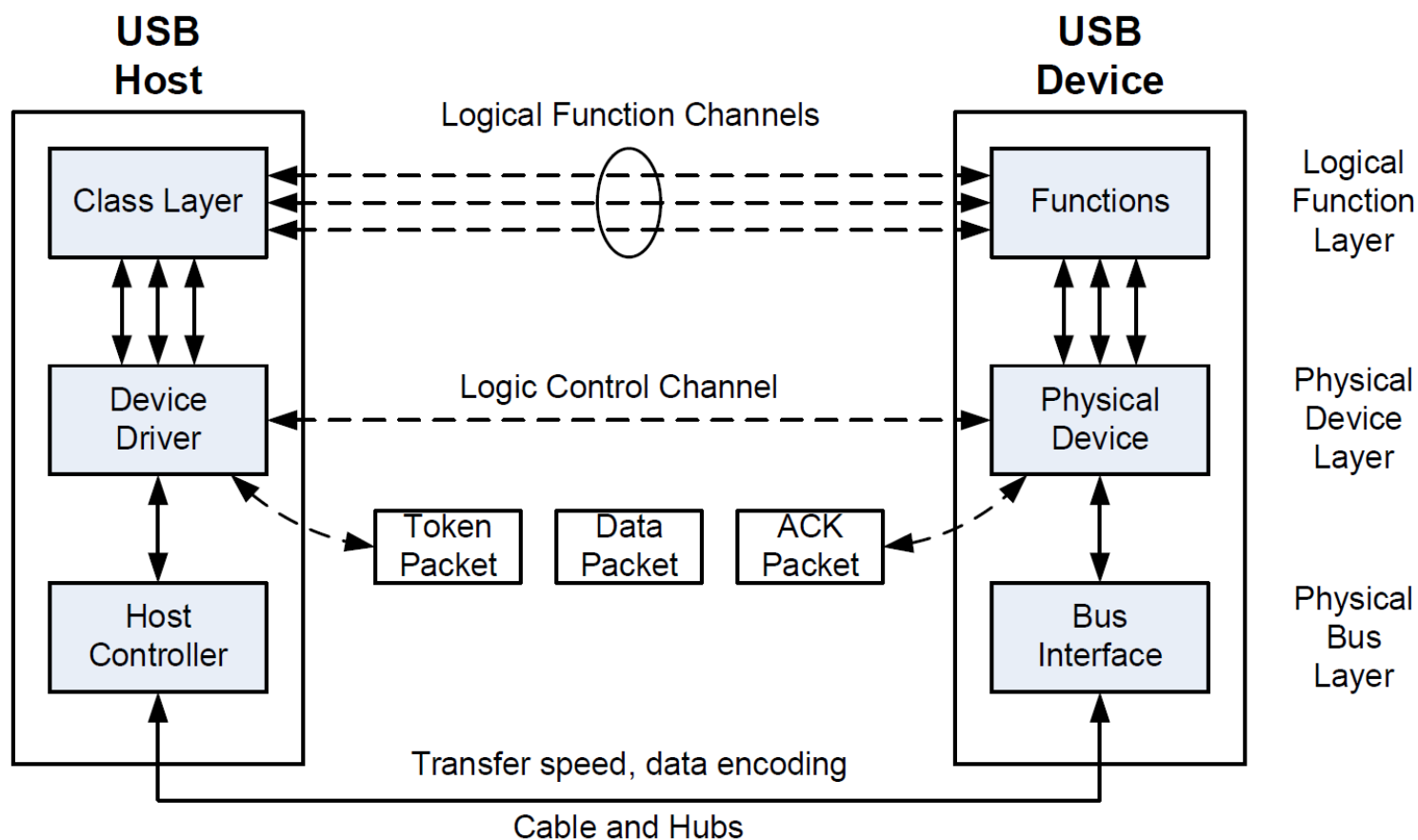
- Napetost na korenskem vozlišču je $5\text{ V} \pm 5\%$, USB naprave morajo delovati do 4,4 V.
- Enota obremenitve (ang. unit load) je definirana s tokom:
USB 2.0 $\Rightarrow$ 100 mA (= 0,5 W pri napetosti 5 V)
USB 3.0 $\Rightarrow$ 150 mA (= 0,75 W)
- Ko se USB naprava priklopi na vodilo, dobi 100 mA toka, med delovanjem lahko zahteva še dodatne obremenilne enote, do največ 5 (6 pri USB 3.0).
- USB naprave se delijo v:
 - Varčne naprave (ang. Low power: tok $\leq$ 100 mA)
 - Požrešne naprave (ang. High power: tok $\leq$ 500 mA)
 - Naprave z zunanjim napajanjem (ang. Self powered devices)

❑ USB polnjenje akumulatorjev:

- CDP (Charging Downstream Port) - napajalni in podatkovni vodniki.
 - Možno polnjenje in hkraten prenos podatkov.
 - Maksimalni tok do 5 A, Konektor C 1,5 A.
 - Pri velikih polnilnih tokovih se pri večjih hitrostih lahko pojavijo motnje na podatkovnih povezavah.
- DCP (Dedicated Charging Port) - samo napajalna vodnika brez podatkovnih (avtomobilski polnilci, ...)

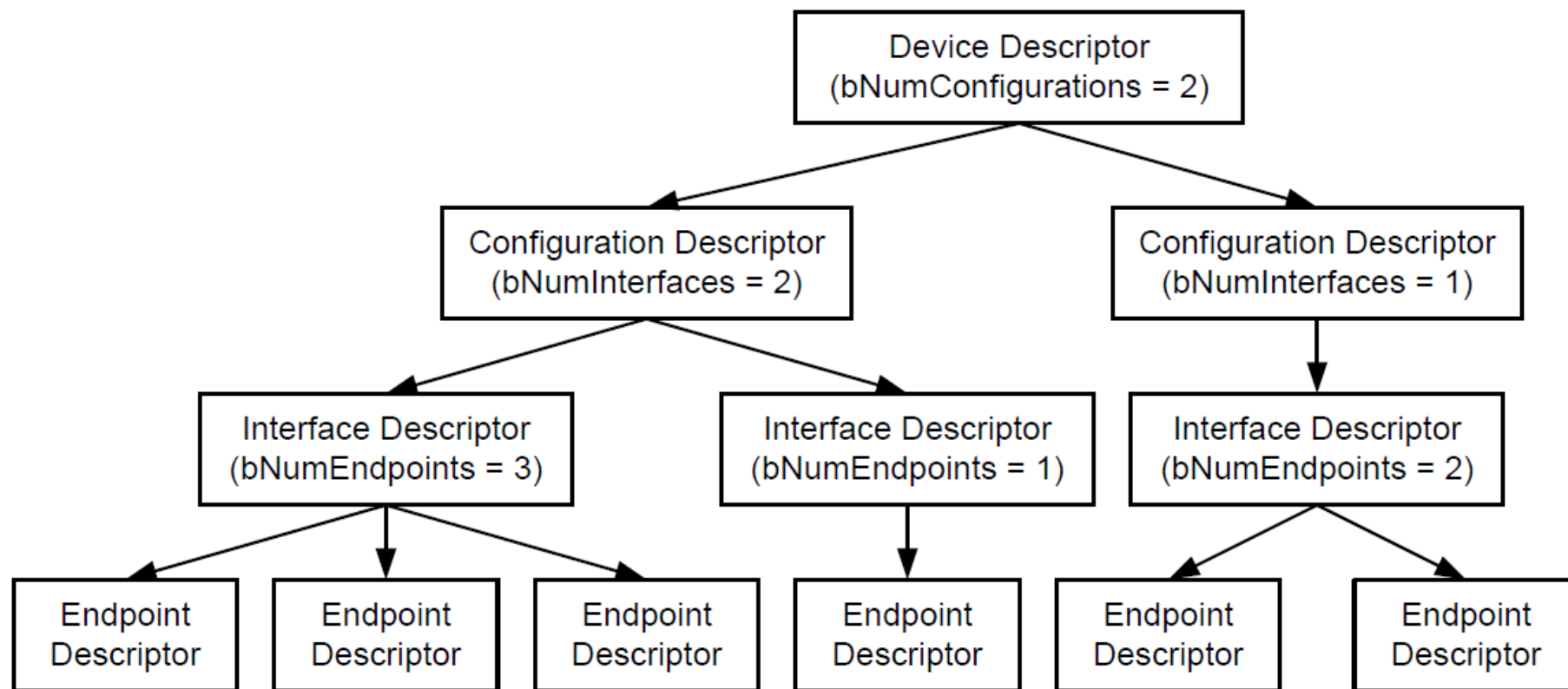
3.3.5 USB – programerski vidik

❑ Komunikacijske plasti



3.3.5 USB – programerski vidik

□ Deskriptorji



3.3.5 USB – programerski vidik

□ Deskriptorji

Field Name	Size	Offset
bLength	1	0
bDescriptorType	1	1
bcdUSB	2	2
bDeviceClass	1	4
bDeviceSubClass	1	5
bDeviceProtocol	1	6
bMaxPacketSize	1	7
idVendor	2	8
idProduct	2	10
bcdDevice	2	12
iManufacturer	1	14
iProduct	1	15
iSerialNumber	1	16
bNumConfigurations	1	17

Device descriptor

Field Name	Size	Offset
bLength	1	0
bDescriptorType	1	1
bInterfaceNumber	1	2
bAlternateSetting	1	3
bNumEndpoints	1	4
bInterfaceClass	1	5
bInterfaceSubClass	1	6
bInterfaceProtocol	1	7
iInterface	1	8

Interface descriptor

Field Name	Size	Offset
bLength	1	0
bDescriptorType	1	1
wTotalLength	2	2
bNumInterfaces	1	4
bConfigurationValue	1	5
iConfiguration	1	6
bmAttributes	1	7
bMaxPower	1	8

Configuration descriptor

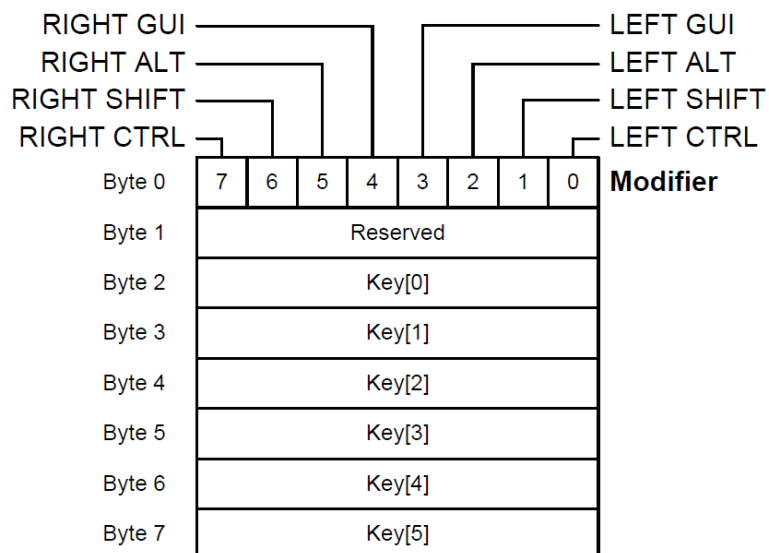
Field Name	Size	Offset
bLength	1	0
bDescriptorType	1	1
bEndpointAddress	1	2
bmAttributes	1	3
wMaxPacketSize	2	4
bInterval	1	6

Endpoint descriptor

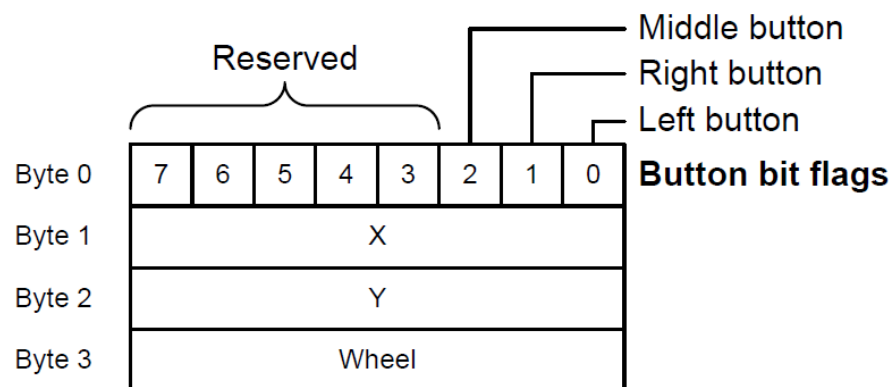
3.3.5 USB – programerski vidik

- Primeri podatkovne vsebine („Report format“) – HID profil

Tipkovnica



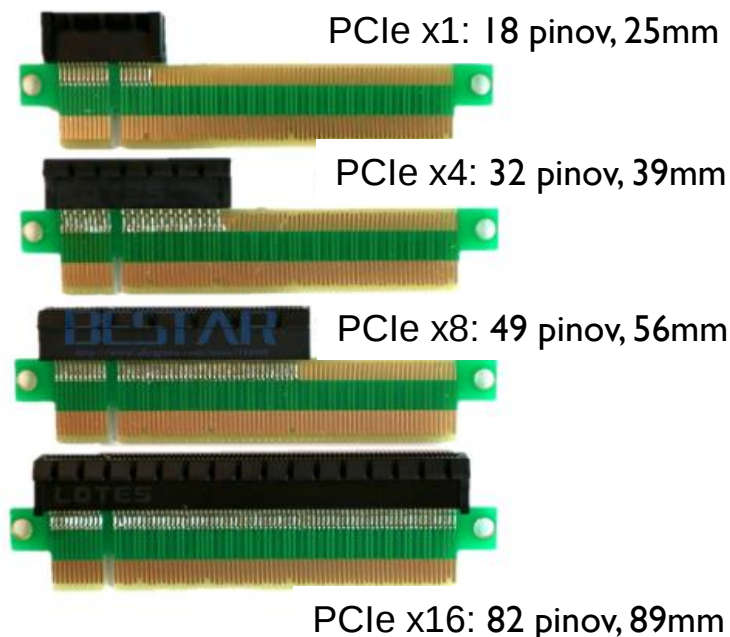
Miška



4. PCI Express

❑ PCI Express $\equiv$ PCIe ali PC-E (Peripheral Component Interconnect Express)

- Standarden tip povezav za notranje naprave računalnika.
- Številne matične plošče v računalniku imajo danes reže ali vtična mesta PCIe
- Fizične velikosti rež PCIe z različnim številom pinov so: PCIe x16, PCIe x8, PCIe x4, PCIe x1
- Fizične velikosti PCIe:



Verzije PCIe:

Version	Introduced	Line code	Transfer rate per lane ^{[1][2]}	×1
1.0	2003	8b/10b	2.5 GT/s	0.250 GB/s
2.0	2007	8b/10b	5.0 GT/s	0.500 GB/s
3.0	2010	128b/130b	8.0 GT/s	0.985 GB/s
4.0	2017	128b/130b	16.0 GT/s	1.969 GB/s
5.0	2019	128b/130b	32.0 GT/s	3.938 GB/s
6.0	2022	242B/256B	64.0 GT/s 32.0 GBd	7.563 GB/s

- ❑ Primer povezave naprav na PCIe, <https://computer.howstuffworks.com/pci-express-pictures.htm>



PCI Express Example Connectors

x1 **BANDWIDTH** Single direction: 2.5 Gbps/200 MBps
Dual Directions: 5 Gbps/400 MBps



x4 **BANDWIDTH** Single direction: 10 Gbps/800 MBps
Dual Directions: 20 Gbps/1.6 GBps



x8 **BANDWIDTH** Single direction: 20 Gbps/1.6 GBps
Dual Directions: 40 Gbps/3.2 GBps



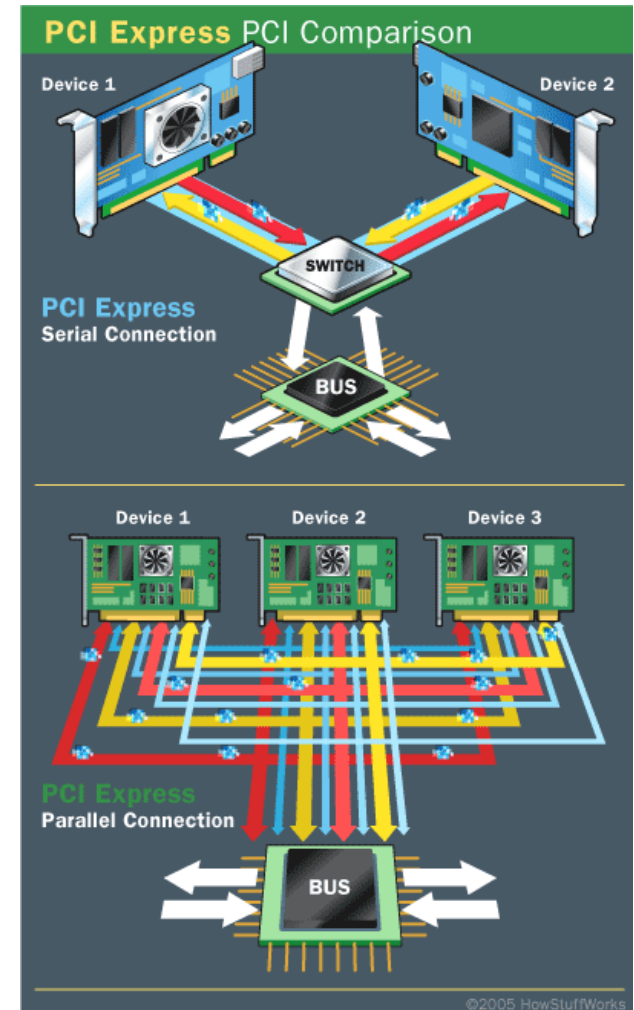
x16 **BANDWIDTH** Single direction: 40 Gbps/3.2 GBps
Dual Directions: 80 Gbps/6.4 GBps



Source: IBM

©2005 HowStuffWorks

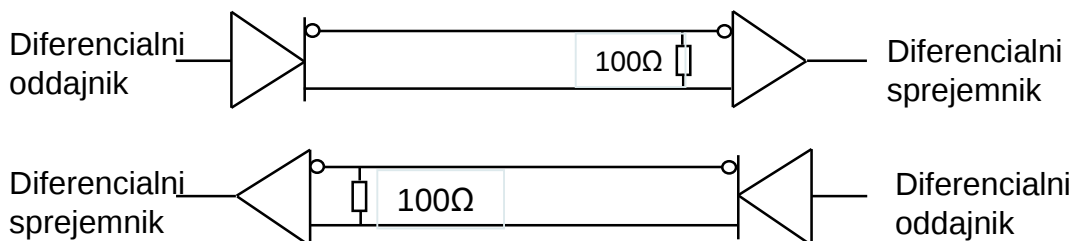
Serijska povezava
naprav



Paralelna povezava
naprav

- ❑ PCI Express je hitra serijska dvosmerna (ang. full-duplex) povezava točka-v-točko.
- ❑ Sestavljata jo dve simetrični (ang. differential) povezavi z LVDS (Low Voltage Differential Signaling), vsaka v eno smer (ang. full-duplex) z zaključitvenim uporom na sprejemni strani.

PCIe x1 enojna dvosmerna povezava - full-duplex



- ❑ Hitrost prenosa na enojni povezavi (PCIe x1) v eno smer je pri frekvenci ure 2,5GHz enaka 2,5Gb/s.

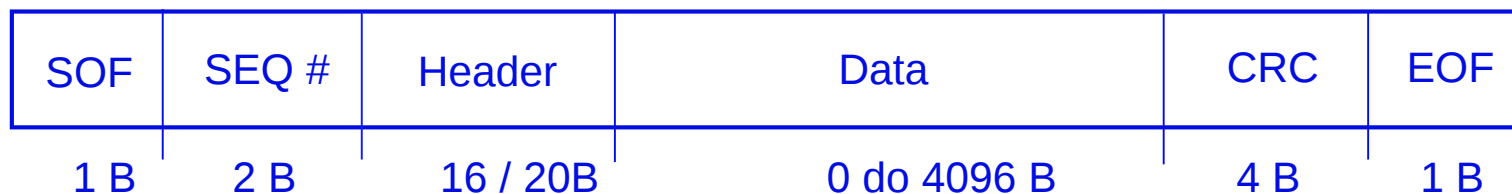
Zaradi kodiranja 8b/10b dobimo hitrost prenosa

$$2,5\text{Gb/s} * 8/10 = 2\text{Gb/s} = 250\text{MB/s}$$

- ❑ Dolžina povezave je lahko največ 50 cm.
- ❑ <http://www.interfacebus.com/PCI-Express-Bus-PCIe-Description.html>

□ PCIe protokol: Podatki se prenašajo v obliki okvirjev, ki jih sestavljajo:

- Start bajt (Start of Frame - SOF)
- Zaporedna številka (Sequence Number - SEQ #)
- Glava (Header)
- Podatki (Data)
- CRC - biti za detekcijo in korekcijo napak
- Konec okvirja (End of Frame - EOF)



- Dejanska hitrost prenosa na enojni povezavi (PCIe x1), če upoštevamo zgradbo okvirja z najdaljšim podatkovnim poljem 4096 B, je enaka:

$$2,5\text{Gb/s} * 8/10 * 4096 / 4124 = 1,9864\text{Gb/s} = 248,3\text{MB/s}$$

❑ PCI Express protokolski sklad

