

Razvoj tehnologija, a posebno poluprovodničke uticao je da dođe do opšteg napretka na planu tehnike, što se možda najbolje vidi na primeru računarske tehnike. Nepotrebno je praviti paralele između karakteristika i performansi računara, sa početka računarske ere i današnjih računara, jer su takva poređenja danas postala krajnje bizarna. Međutim, kada su računari u pitanju treba ukazati na promenu koja se na tom planu desila tokom poluvekovne istorije računarske tehnike. U početku računari su se projektovali kao autohtoni uređaji, koji su u različitim oblastima ljudske delatnosti bili korišćeni u skladu sa kompatibilnošću između zahteva primene i karakteristika računara. Pri tome značajan ograničavajući faktori u primeni računara bili su njihovi gabaritni, potrošnja električne energije, pouzdanost, a naravno i cena. Autohtonost računara ogledala se u činjenici da su prvi računari bili projektovani kao uređaji opšte namene, prvenstveno namenjeni naučno – tehničkim, a nešto kasnije i poslovnim proračunima.

Skoro dramatičan razvoj poluprovodničke tehnologije uticao je na bitnu promenu u pristupu projektovanju računara. Pored toga što je bio omogućen razvoj računara boljih performansi uz manju cenu, računari su počeli sve više da se projektuju u skladu sa zahtevima konkretne primene, a to je značilo da su sve više postajali specijalizovani uređaji. Istovremeno sa poboljšanjem performansi, smanjenjem gabarita i cene došlo je do širenja oblasti primene računara.

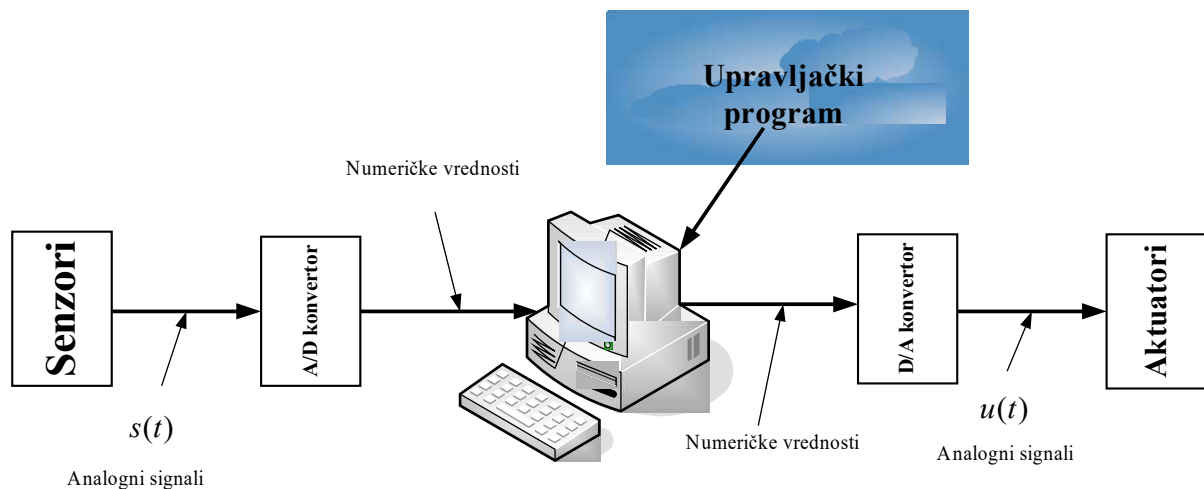
Posebno treba naglasiti primenu računara u oblasti nadzora i upravljanja fizičkim procesima. Procesiranje signala koji odgovaraju fizičkim procesima i njihovim parametrima ima određene osobenosti koje prvi digitalni računari nisu mogli da zadovolje. U prvom redu signali koji se identifikuju pri praćenju fizičkih procesa, tj. merenje odgovarajućih fizičkih veličine ne podrazumeva rad sa električnim signalima, što je preduslov da oni budu tretirani primenom računara. S druge strane, čak i da se merenjem neke fizičke veličine, kao njen reprezentant dobije električni signal on je po svojoj prirodi analogni, što je nekompatibilno sa načinom funkcionisanja digitalnih računara. S druge strane identifikacija određene fizičke veličine, tj. njeno merenje u opštem slučaju ne podrazumeva da će vrednost date fizičke veličine biti predstavljena električnim signalom. Shodno tome praćenje ponašanja neke fizičke veličine korišćenjem računara podrazumeva najmanje dve operacije:

- Predstavljanje vrednosti merene fizičke veličine u obliku električne veličine;
- Transformisane dobijene električne veličine u oblik koji je pogodan za obradu korišćenjem digitalnog računara.

Za merenje vrednosti različitih fizičkih veličina koriste se uređaji koji se u opštem slučaju nazivaju **senzori**. Iz fizike je poznato da se za merenje temperature može koristiti efekat širenja živinog stuba na bazi čega su konstruisani živini termometri. Takođe, za merenje temperature može da se koristi i efekat savijanja bimetalnog vlakna. Međutim, ni u jednom od pomenutih načina merenja temperature, njena veličina nije izražena električnom veličinom. Shodno tome može da se postavi pitanje primenljivosti ovih načina merenja u sistemima za računarsko praćenje temperature. Međutim, postoje efekti koji omogućavaju da se promena temperature direktno predstavlja električnim veličinama. Najšire se koristi tzv. termoelektrični efekat, koji je otkrio Tomas Johan Sibek (Thomas Johann Seebeck) 1821. godine pa se još naziva i Sibekov efekat. Kada se spoj dva metala izloži temperaturi na krajevima kola se pojavljuje potencijalna razlika, koja je proporcionalna temperaturi spoja. Ovakve kombinacije dva metala koji se koriste za merenje temperature na bazi termoelektričnog efekta nazivaju se *termoelementi* ili *termoparovi*. Za merenje temperature mogu da se koriste i tzv. termo zavisni otpornici kod kojih se otpornost menja u zavisnosti od temperature kojoj su izloženi. U ovom slučaju potrebno je obezbediti merenje veličine otpornosti. Najjednostavniji način merenja otpornosti bazira se na indirektnom merenju, koje se zasniva na merenju neke druge električne veličine proporcionalne veličini otpornosti. Npr. ako se kroz ovakav temperaturno zavisan otpornik uspostavi konstantna struja poznate jačine potencijalna razlika na krajevima otpornosti biće direktno proporcionalna veličini otpornosti, a to znači i temperaturi kojoj je ovakva otpornost izložena

$\theta \approx u = R(\theta) I_{const}$. Na sličan način temperatura može da se meri ako se na krajeve temperaturno zavisnog otpornika priključi izvor konstantnog napona. U ovom slučaju struja kroz otpornost zavisiće od temperature kojoj je izložena otpornost, $\theta \approx i = \frac{1}{R(\theta)} U_{const}$.

Od svih električnih veličina koje bi na svom izlazu dali senzori najpogodniji za računarsko praćenje vrednosti fizičkih veličina su **napon** ili **struja**. S obzirom da su ove veličine u svom izvornom obliku kontinualne prirode potrebno je da na ulazu u digitalni računar budu konvertovane u digitalni oblik. U principu senzori fizičkih veličina na svom izlazu ne moraju da daju električni signal, što zahteva da u sistemu za merenje pored takvog senzora mora da postoji **pretvarač**, čiji je zadatak da promene koje se dešavaju unutar senzora pretvori u odgovarajući električni signal.



Slika 1.1 Blok šema računarski baziranog upravljačkog sistema

Proces upravljanja nekim fizičkim procesom podrazumeva generisanje određenog upravljačkog signala kojim se deluje na parametre procesa. Po pravilu upravljački signali su električne prirode i njihovo neposredno delovanje na željeni parametar procesa ostvaruje se preko uređaja koji se nazivaju **aktuatori**. U slučaju da je potrebno da upravljački signal bude kontinualan potrebno je da se digitalna informacija na izlazu računara konvertuje u odgovarajući analogni električni signal.

Praktična primena računara u sistemima upravljanja procesima ogleda se u realizaciji upravljačke funkcije. To podrazumeva da se na osnovu trenutnih vrednosti relevantnih parametara upravljanog procesa izračunavaju vrednosti upravljačkog signala čijim delovanjem će se uticati na ponašanje procesa u budućnosti.

Na slici 1.1 prikazana je uprošćena šema primene digitalnih računara u procesu nadgledanja i upravljanja fizičkim procesima. Na njoj su prikazani svi relevantni uređaji koji se koriste za realizaciju jednog ovakvog sistema.

Signal sa izlaza senzora ili dobijen korišćenjem pretvarača, $s(t)$ najčešće je kontinualnog karaktera. Da bi on bio prihvaćen i obrađen od strane računara neophodno je da bude izvršena analognu – digitalna konverzija. U postupku analognu – digitalne konverzije kontinualni signal se predstavlja nizom numeričkih vrednosti, koje odgovaraju amplitudama analognog signala posmatranim u vremenskim trenucima koji obezbeđuju da data numerička vrednost validno predstavlja posmatrani signal. Analognu – digitalna konverzija se bazira na mogućnosti diskretizacije signala zasnovanoj na *Teoremi o odmeravanju*, koja se može iskazati na sledeći način:

Ako kontinualna vremenska funkcija $f(t)$ ima spektar koji se nalazi u intervalu od 0 do $f_{\max}$ onda je ta funkcija u potpunosti definisana svojim trenutnim vrednostima uzetim u vremenski ekvidistantnim tačkama koje obrazuju niz čiji je interval $\Delta t = T_s = \frac{1}{2f_{\max}}$.

Teorema o odmeravanju je poznata i kao Nikvistov (Nyquist) uslov odmeravanja, a učestanost odmeravanja $f_s = \frac{1}{T_s} = 2f_{\max}$ naziva se i Nikvistova učestanost, a interval u

kome se vrši odmeravanje T_s naziva se periodom odmeravanja. S druge strane Klod Šenon (Claude Shannon) definisao je uslove pod kojima je moguće izvršiti rekonstrukciju originalnog kontinualnog signala iz njegovih odmeraka. Ova teorema je važna, jer ona ukazuje na uslove pod kojima diskretizovani i na bazi njega digitalizovani signal „verno“ predstavljaju originalni kontinulani signal. Šenonova teorema glasi:

Ako je kontinualni vremenski signal $x(t)$ frekvencijski ograničen sa $f_{\max}$ onda se on može tačno rekonstruisati iz svojih odmeraka $x[n]=x(nT_s)$, pod uslovom da je učestanost odmeravanja f_s veća od $2f_{\max}$.

Iz Šenonove teoreme jasno sledi da je za digitalizaciju signala neophodno da on bude frekvencijski ograničen. Povoljna je okolnost da većina signala u prirodi ima takav frekvencijski spektar, tj. da signali, po pravilu nemaju značajnijih komponenta iznad neke maksimalne frekvencije, što omogućava da se njihov frekvencijski opseg može da ograniči. Jasno je da minimalna učestanost odmeravanja zavisi od frekvencijskih komponenta koje sadrži kontinualni signal. Kao dobar primer može da posluži zvučni signal. S obzirom da ljudsko uho može da čuje zvučne signale koji se nalaze između 20Hz i 20kHz digitalizacija signala za potrebe snimanja na CD realizuje se odmeravanjem učestanošću od 44.1kHz što je malo više od 2 puta 20kHz, što je najveća učestanost koju ljudsko uho može da čuje.

Jedan od najznačajnijih aspekta primene računara u sistemima za nadzor i upravljanje procesima predstavlja mogućnost pamćenja informacija stanju procesa tokom vremena odnosno realizacija zakona upravljanja na bazi računarskog programa. Programskom realizacijom zakona upravljanja postiže se visok stepen fleksibilnosti celokupnog sistema upravljanja, jer nije potrebna izmena u hardveru, kao kod klasičnih upravljačkih sistema.

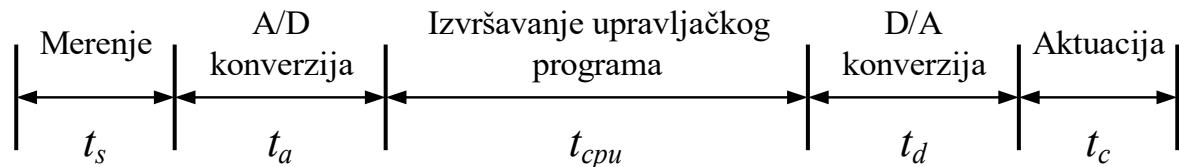
Pošto upravljački program na svom izlazu generiše niz diskretnih upravljačkih vrednosti, u slučaju kada je na aktuator, kao izvršni uređaj u lancu upravljanja, potrebno delovati kontinualnim električnim signalom neophodno je izvršiti digitalno – analognu konverziju. U postupku digitalno – analogne konverzije vrši se transformacija niza numeričkih vrednosti u odgovarajući analogni električni signal. Pored fleksibilnijeg upravljačkog sistema digitalni računari omogućavaju realizaciju upravljačkih funkcija višeg nivoa, a takođe i korišćenje složenijih algoritama. Čak se može reći da većina savremenih složenih upravljačkih sistema ne može da realizuje bez primene digitalnih računara.

Maksimalna učestanost u frekvencijskom spektru signala koji odgovaraju određenom parametru nadgledanog odnosno upravljanog procesa značajna je i sa aspekta kašnjenja koje se može uneti u proces obrade informacija o datom procesu. Ovo je posebno značajno sa aspekta primene računara, jer je u intervalu između dva odmeravanja signala, u principu potrebno:

- Izvršiti digitalizaciju uzetog odmerka, tj. izvršiti analognu – digitalnu konverziju;
- Obraditi dobijenu numeričku vrednost signala u skladu sa definisanim zakonom upravljanja i generisati odgovarajuću numeričku vrednost upravljačkog signala;
- Istovremeno sa realizacijom zakona upravljanja, po pravilu je potrebno izvršiti i pamćenje numeričke vrednosti koja predstavlja parametar(e) nadgledanog/upravljanog procesa;

- U slučaju da upravljački signal mora da bude kontinualan mora se izvršiti i odgovarajuća digitalno – analogna konverzija.

Shodno ovome značajan aspekt primene digitalnih računara u nadgledanju i upravljanju fizičkim procesima predstavlja i odnos brzine rada računara i zahteva obrade signala koji karakterišu odgovarajući fizički proces. Od trenutka kada se pomoću senzora izmere vrednosti parametara koji karakterišu proces kojim se upravlja do trenutka delovanja preko aktuatora na proces, protiče određeno vreme, kao što je prikazano na slici 1.2.



Slika 1.2 Uprošćeni vremenski dijagram upravljačkog procesa

Vremena t_s i t_c odgovaraju operacijama koje postoje i u slučaju klasičnog i računarskog upravljanja procesima. Međutim, kod klasičnog upravljanja vremena t_a , t_{cpu} i t_d ne postoje, što znači da se kod računarskog upravljanja unosi kašnjenje u proces upravljanja. Zbog toga delovanje upravljačkog signala na proces posredstvom aktuatora može da bude neblagovremeno, jer će se u intervalu generisanja upravljačkog signala stanje procesa toliko promeniti da ga upravljački signal ne može dovesti u željeno stanje. Zbog toga kod računarski podržanih upravljačkih sistema dodatno dolazi do problema upravljanja u **realnom vremenu** (Real – time Control) tj. nemogućnosti upravljačkog sistema da odgovori na brze promene parametara upravljanog procesa.

Kod primene digitalnih računara u upravljanju ne sme se zanemariti ni aspekt gabarita samih računara i različite električne karakteristike, kao što su npr. naponi napajanja odnosno potrošnja električne energije. Očigledno je da su tek zahvaljujući poluprovodničkoj revoluciji i pojavi mikroprocesora i mikrokontrolera stekli uslovi da računari svojim gabaritima i električnim karakteristikama budu primenljivi za upravljanje kod najšireg skupa procesa odnosno objekata upravljanja koji njima odgovaraju.

Takođe treba ukazati i na činjenicu da je razvoj komunikacionih tehnologija omogućio da se stvore uslovi za široku primenu računara u upravljanju procesima. Na to je presudno uticao razvoj standarda koji se primenjuju u povezivanju računara u računarske mreže. Posebno treba ukazati na tzv. **bežične računarske mreže**, kod kojih se komunikacija među elementima mreže ostvaruje radio putem. Primena bežičnih računarskih mreža omogućila je upravljanje procesima kod kojih su izvori parametara i objekti upravljanja međusobno udaljeni.

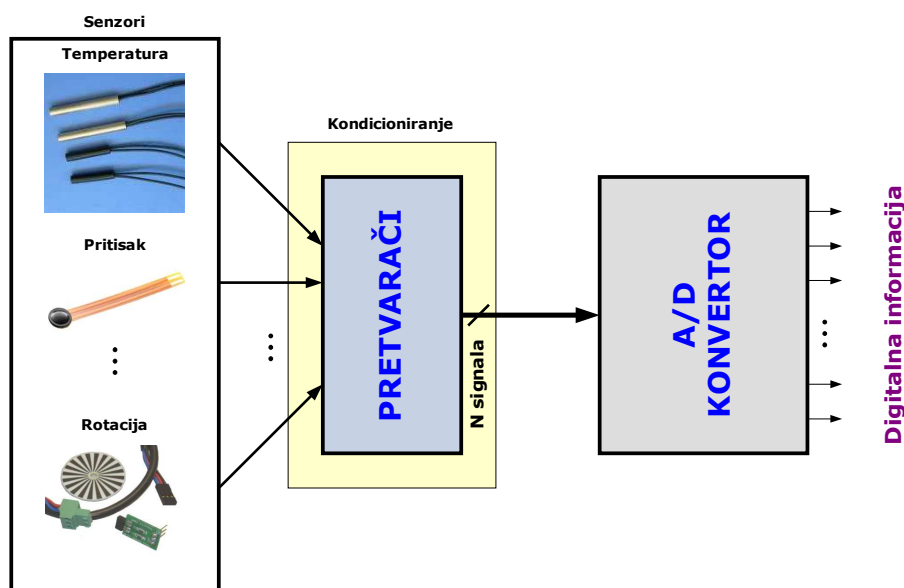
Akvizicija podataka

Sistem za akviziciju podataka (Data Acquisition System) predstavlja spregu između realnog sveta, karakterisanog određenim fizičkim parametrima i sveta u kome se vrši obrada tih parametara i po potrebi upravlja realnim svetom. Naglasak na digitalnim sistemima za obradu podataka i upravljanje učinio je da funkcija sistema za akviziciju podataka postane još važnija. Zahvaljujući relativno jeftinim uređajima, koji poseduju visok nivo tačnosti i koji su pored svoje složenosti relativno jednostavni za implementaciju, mikroracunari bazirani na mikroprocesorima i mikrokontrolerima postali su dominantni na planu realizacije složenih mernih i upravljačkih funkcija.

Moderno industrijsko društvo u velikoj meri svoju produktivnost duguje sistemima upravljanja baziranim na računarskoj podršci. Skoro da nema oblasti industrije u kojoj se danas ne koriste takvi automatski sistemi.

Posmatrano sa strane računara moglo bi se zaključiti da je u lancu akvizicije podataka najvažnija komponenta A/D konvertor (Analog – to – Digital Converter) koja obezbeđuje da

na ulaz računara dolazi povorka numeričkih vrednosti koje odgovaraju ponašanju određenog fizičkog parametra, umesto signala u izvornom obliku. S obzirom da su sistemi upravljanja po pravilu bazirani na električnim uređajima nameće se potreba da signal na ulazu A/D konvertora takođe bude električne prirode. To znači da bi senzor, kojim se registruje određena fizička veličina na svom izlazu trebalo da generiše električni signal, što nažalost zbog prirode samog senzora nije uvek moguće. Da bi se obezbedilo da na ulaz A/D konvertora dođe električni signal u slučajevima kada to ne obezbeđuje sam senzor na njegov izlaz se postavlja uređaj koji fizičku veličinu koja je registrovana senzorom najčešće pretvara u analogni električni signal. Reč *najčešće* nije upotrebljena slučajno, jer postoje situacije kada sam uređaj za pretvaranje na svom izlazu generiše direktno digitalne signale. Uređaji za predstavljanje neke fizičke veličine analognim električnim signalom jednostavno se nazivaju **pretvarači** (Transducers). Shodno tome ulazni deo svakog računarski podržanog sistema za nadzor i upravljanje procesima može da se predstavi šemom datom na slici 1.3.



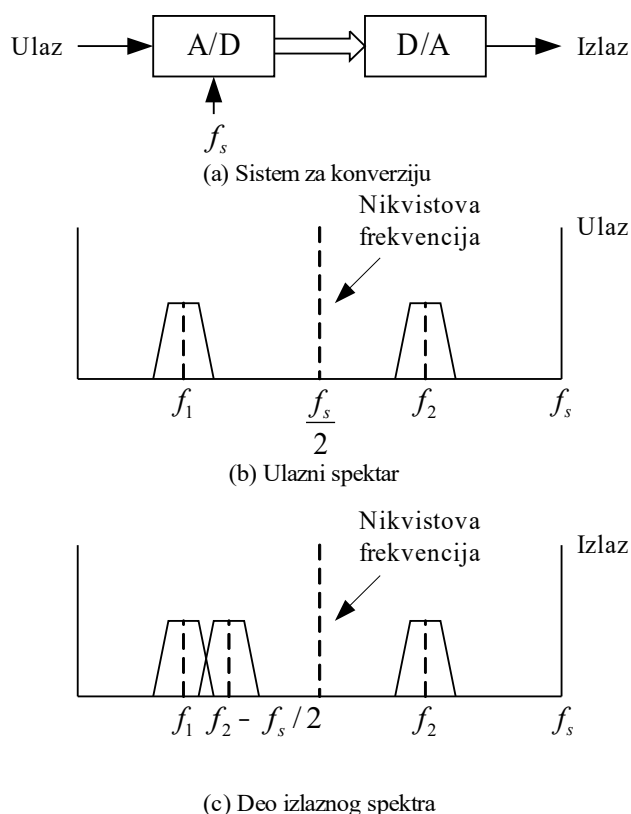
Slika 1.3 Ulazni blok sistema za akviziciju podataka

Kondicioniranje signala

S obzirom da se neki proces opisuje sa većim brojem parametara sledi da svakom od njih odgovara najmanje jedan signal koji posle digitalizacije treba dovesti na ulaz računara. To bi moglo da znači da za svaki od njih treba obezbediti poseban A/D konvertor, čiji izlaze zatim treba multipleksirati na ulaznu magistralu podataka da bi mogli da budu prihvaćeni od strane računara. Alternativa ovakvom pristupu bi bilo multipleksiranje analognih signala i korišćenje jednog A/D konvertora. Kod identifikacije vrednosti parametara procesa korišćenjem senzora može se desiti da nivo dobijenog električnog signala bude mali što zahteva njegovo pojačavanje. Takođe, signali na izlazu senzora mogu da budu praćeni signalom šuma, što podrazumeva njegovo filtriranje da bi se dati šum eliminisao. Postojanje frekvencijskih komponenta u spektru realnih signala, koje nisu od značaja pružaju mogućnost da se propuštanjem signala kroz niskopropusni filter ograniči njegov spektar i stvore uslove da se na njega mogu primeniti teoreme o odmeravanju i Šenonova teorema. Sve ove operacije nad signalom jednim imenom se nazivaju **kondicioniranje** signala, čime se stvaraju uslovi za uspešnu digitalizaciju signala i njihovu računarsku obradu.

U okviru kondicioniranja signala značajno je pomenuti korišćenje filtera u cilju sprečavanja tzv. *aliasing* – a signala – fenomena koji se pojavljuje kada je signal odmeravan suviše sporo. Nikvistov uslov odmeravanja definiše da kada se vrši odmeravanje analognih signala, bilo koja komponenta, čija je učestanost veća od jedne polovine učestanosti

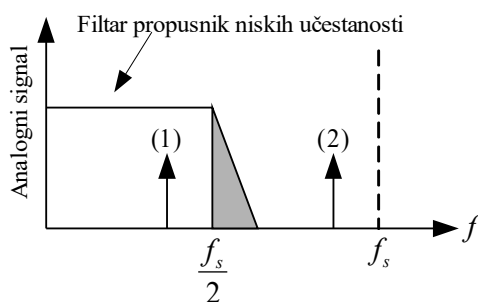
odmeravanja, će se pojaviti u odmeravanom podatku kao niskofrekventni signal. Da bi se objasnio problem *aliasing* – a može da posluži slika 1.4.



Slika 1.4 Grška usled *aliasing* – a

Iako šema koverzionog sistema prikazana na sklici 1.4a nije realna ona može da se iskoristi sa upoznavanjem problema *aliasing* – a. Ulazni signal sadrži dva frekventna spektra centrirana oko f_1 i f_2 , kao što je prikazano na slici 1.4b. Izlazni spektar u slučaju ovakvog sistema je prikazan na slici 1.4c. Pod Nikvistovom učestanošću se podrazumeva polovina učestanosti odmeravanja i koja predstavlja najvišu učestanost koja može da se procesira u konverzionom sistemu, a da pri tome ne dođe do izobličenja spektra. Spektar oko f_2 , koja je viša od Nikvistove učestanosti postoje i u izlaznom spektru, ali se takođe pojavljuju u izlaznom spektru i na nižoj učestanosti $f_2 - f_s/2$. Međutim, ova učestanost predstavlja izobličenje spektra, koje se naziva *aliasing* učestanosti ulaznog signala. Pošto u ovom slučaju ne postoji verna reprodukcija ulaznog signala. Ako se u ovakvim situacijama ne postupa ispravno može da dođe do značajnih izobličenja signala.

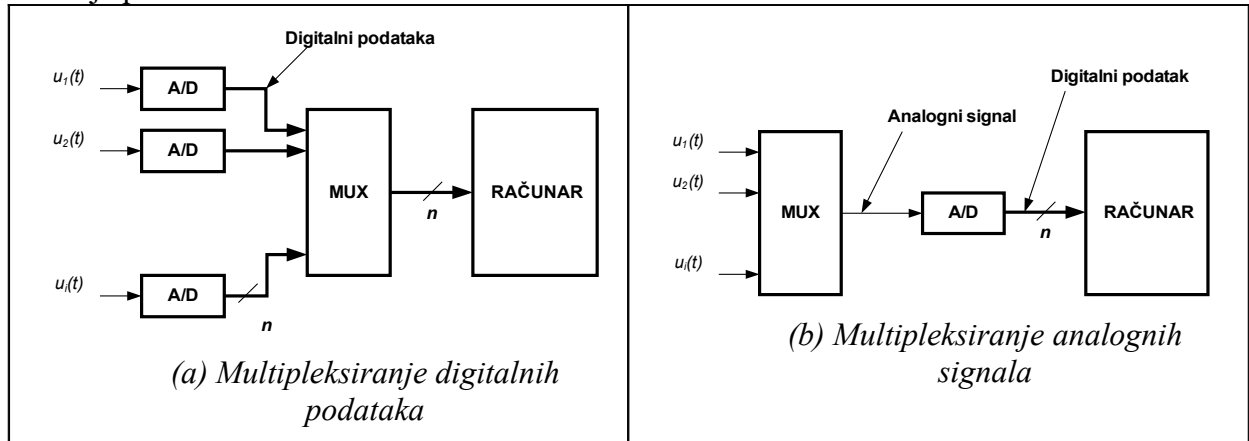
Ova distorzija signala može da se prevaziđe odstranjivanjem bilo koje komponente signala koja je iznad polovine učestanosti odmeravanja sa niskopropusnim filtrom pre uzorkovanja signala, kao što je prikazano na slici 1.5.



Slika 1.5 Anti – *aliasing* filtriranje

Analogno/digitalna konverzija

Signali, nad kojima je izvršeno kondicioniranje u toku daljeg procesiranja, da bi mogli da budu obrađeni pomoću digitalnih računara moraju da budu digitalizovani. Za to se koriste **analogno/digitalni konvertori**. U opštem slučaju na ulaz akvizicionog sistema dolazi veći broj signala tako da se postavlja problem kako realizovati višestruku digitalizaciju. Moguća rešenja prikazana su na slici 1.6a i 1.6b.



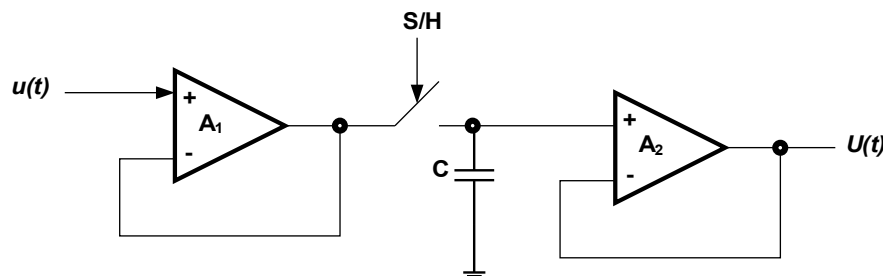
Slika 1.6 Mogući pristupi višestrukoj digitalizaciji

Očigledno je da digitalizacija više analognih signala zahteva multipleksiranje:

- Digitalnih podataka dobijenih u postupku A/D konverzije, kao što je prikazano na slici 1.6a;
- Analognih signala, kao što je prikazano na slici 1.6b.

S obzirom da broj analognih signala koje je potrebno obuhvatiti postupkom akvizicije varira od slučaja do slučaja kao bolje rešenje za analogno/digitalnu konverziju nameće se pristup prikazan na slici 1.6b. Jednostavno, racionalnije je razviti sklop za analogno/digitalnu konverziju sa rezervom u pogledu broja ulaza u multiplekser analognih signala, odnosno odgovarajućim blokom za upravljanje njime, nego praviti procenu na nivou broja A/D konvertora.

S druge strane proces digitalizacije analognih signala bazira se na prethodnoj diskretizaciji, koja de facto predstavlja proces odmeravanja analognog signala u skladu sa Nikvistovim pravilom. Za diskretizaciju analognih signala se koriste tzv. „uzmi i zadrži“ (Sample and Hold) kola. Ovaj postupak pri digitalizaciji analognih kola je neophodan da bi se obezbedilo da vrednost odmerka uzetog od analognog signala bude konstantna u toku postupka njegove digitalizacije, tj. pretvaranja u odgovarajuću digitalnu vrednost. Na slici 1.7 je data principna šema izgleda Sample and Hold kola.

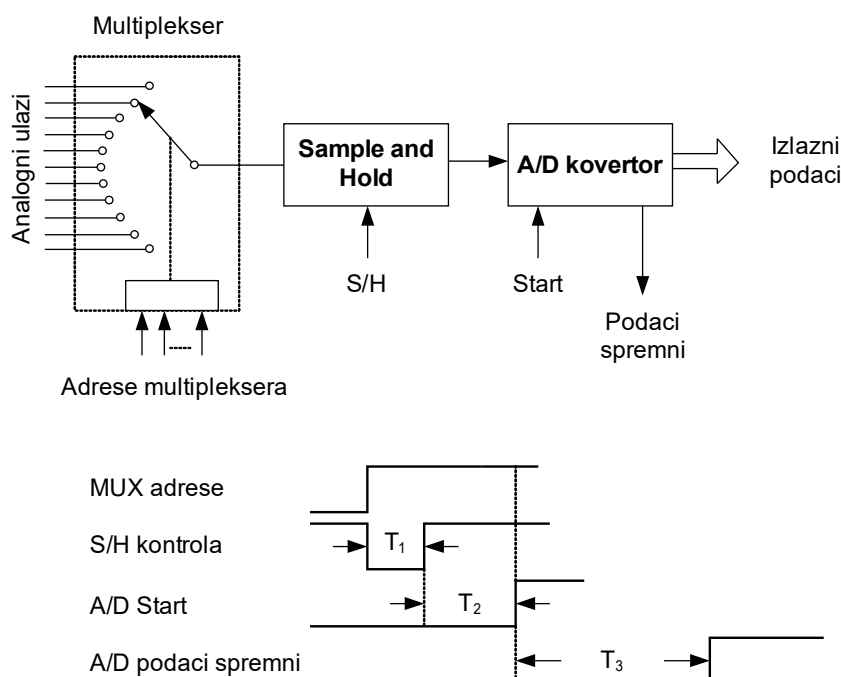


Slika 1.7 Principna šema Sample and Hold kola

U opštem slučaju Sample and Hold kolo se može realizovati na bazi običnog kondenzatora, na čiji ulaz se preko prekidača, kojim se upravlja S/H signalom dovodi analogni signal koji se digitalizuje. Zatvaranjem prekidača dolazi do punjenja kondenzatora na trenutni nivo analognog signala. Nakon toga se prekidač otvara, a proces A/D konverzije može da započne, jer je kondenzator vezan na ulaz A/D konvertora. Kondenzator je u vreme

kada je prekidač zatvoren povezan na izlaz analognog multipleksera koji ima određenu izlaznu otpornost koja onemogućava da se napon na kondensatoru brzo približi trenutnoj vrednosti analognog signala. S druge strane kondensator je povezan na ulaz A/D konvertora koji takođe ima konačnu ulaznu otpornost što znači da u toku konverzije dolazi do smanjenja napona na kondensatoru, a time se unosi greška u proces konverzije. Idealno bi bilo kada bi izlazna otpornost multipleksera bila jednako 0, a ulazna otpornost A/D konvertora bila ∞ . Da bi se stvorili uslovi bliski idealnim Sample and Hold kolo na ulazu i izlazu sadrži kola koja imaju zadatak da transformišu otpornosti elemenata u lancu akvizicije, kao što je prikazano na slici 1.7. Ta kola su realizovana na bazi operacionih pojačavača jediničnog pojačanja sa povratnom spregom, koji imaju jako malu ulaznu otpornost i veoma veliku izlaznu otpornost.

Imajući u vidu prethodna razmatranja, koja podrazumevaju da se kod akvizicije više analognih signala koristi jedan A/D konvertor uz multiplekser analognih signala, principna šema kola za A/D konverziju u sistemu za računarsku akviziciju podataka, može da se prikaže kao na slici 1.8.



Slika 1.8 Kolo za A/D konverziju sa vremenskim dijagramom relevantnih signala

Za bolje razumevanje rada kola za A/D konverziju na slici 1.8 prikazan je i vremenski dijagram relevantnih signala, kojima se kontroliše njegov rad:

- Signali na ulazu u analogni multiplekser kojima se definiše ulaz sa koga će se selektovati analogni signal za digitalizaciju – **Adrese multipleksera**;
- Signal za kontrolu Sample and Hold kola – **S/H**;
- Signal za startovanje procesa A/D konverzije – **Start**;
- Signal koji ukazuje da je proces A/D konverzije okončan i da su podaci na njegovom izlazu spremni za dalje procesiranje – **Podaci spremni**.

Po okončanju procesa A/D konverzije računar može da preuzme dobijenu numeričku vrednost sa izlaza A/D konvertora i izvrši njenu obradu ili je zapamti radi kasnije obrade. Na taj način postupak akvizicije podataka se okončava. U prikazu postupka akvizicije mernih podataka u obzir nije uzeta mogućnost da izvor analognog signala bude udaljen od računara u kome treba da se procesira njegov digitalni ekvivalent.

Akvizicija udaljenih mernih signala

U praksi postoji realna mogućnost da izvor mernog signala bude udaljen od računara koji treba da realizuje njegovu akviziciju. U takvim slučajevima postavlja se pitanje kako

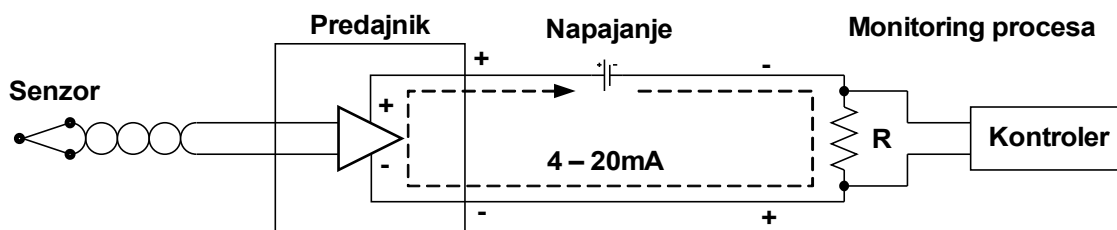
obezbediti signal bez slabljenja ili superponiranja šuma, što bi dovelo do njegove degradacije bude prosleđen računaru. Jasno je da informacija o mernom signalu može biti prenet na dva načina:

1. U osnovnom, tj. analognom obliku, što podrazumeva da će se A/D konverzija izvršiti neposredno na ulazu u računar;
2. U digitalnom obliku, što podrazumeva da se A/D konverzija izvršava na mestu generisanja analognog mernog signala.

U prvom slučaju ako se prenos vrši u obliku naponskog signala rastojanje na koje se signal može preneti ograničeno je slabljenjem koje će ovakav signal pretrpeti pri prenosu. Naime ako se ne koriste uređaji sa visokim ulaznim impedansama, pri prenosu naponskih signala na velika rastojanja signal do prijemnika dolazi oslabljen proporcionalno otpornosti linija za prenos i konektora. S druge strane instrumenti sa visokim impedansama mogu da budu osetljivi na šum, koji se superponira korisnom signalu pošto linije za prenos na daljanu često prolaze pored izvora elektromagnetnog zračenja. Za samnjenje uticaja šuma mogu da se primene oklapljene prenosne linije, ali njihova visoka cena može da bude ograničavajući faktor prenosa signala na velika rastojanja.

Alternativa ovom prenosu bila bi ako bi se umesto naponskog prenosio ekvivalentni strujni signal. Radi se o uobičajenoj tehnici prenosa analognih signala na veća rastojanja korišćenjem strujnog signala u opsegu od 4 – 20mA, što podrazumeva prethodnu konverziju izvornog naponskog u dati strujni signal. Ovakav pristup prenosa signala od senzora do mesta gde se vrši njihova obrada, posebno u industrijskim uslovima, poznat je pod nazivom **strujna petlja 4 – 20mA**.

Strujna petlja 4 – 20mA, čiji princip rada je prikazan na slici 1.9, posebno je korisna kod prenosa informacija na velika rastojanja, 300m i više.



Slika 1.9 Tipičan izgled strujne petlje 4 – 20mA

Način rada strujne petlje 4 – 20mA je veoma jasan: signal sa izlaza senzora se prvo konvertuje u proporcionalni strujni signal, kod koga 4mA normalno predstavljaju nulti nivo sa izlaza senzora, a 20mA predstavlja pun opseg signala na izlazu senzora. Prijemnik na udaljenoj kraju petlje konvertuje 4 – 20mA struju u odgovarajući naponski signal koji može dalje da se procesira od strane računara ili nekog drugog elektronskog uređaja.

Prenos struje na velike daljine dovodi do smanjenja napona proporcionalno dužini linija za prenos. Međutim, ovo smanjenje napona ne dovodi do smanjenja struje 4 – 20mA, jer se ono može kompenzovati pomoću napona napajanja predajnika i strujne petlje. U opštem slučaju Za strujnu petlju na slici 1.9 može da se napiše sledeća jednačina:

$$V_g - (R + R_w)I_{MAX} = 0$$

gde je:

V_g - napon izvora za napajanje

R - otpornost otpornika preko koga se vrši konverzija struje u napon na prijemu

R_w - otpornost linija za prenos signala

I_{MAX} - maksimalna veličina struje u petlji, što za konkretan slučaj iznosi 20mA.

Na osnovu ove jednačine uz poznavanje otpornosti konverzionog otpornika i dužine prenosne linije i njene podužne otpornosti može da se izračuna napon izvora za napajanje koji će obezbediti da u takvoj strujnoj petlji ne dođe do smanjenja struje, a time i gubljenja informacije koja je sadržana u strujnom signalu. Da bi mogla napraviti procena otpornosti linija za prenos signala u funkciji njihove dužine u Tabeli 1.1 prikazane u vrednosti podužnih otpornosti bakarnih žica različitog poprečnog preseka:

Tabela 1.1 Otpornost bakarne žice

American Wire Gauge	Presek [mm ²]	Podužna otpornost [Ω/km]
14	2.080	8.2860
16	1.310	13.170
18	0.823	20.950
20	0.518	33.310
22	0.326	52.960
24	0.205	84.220

Prenos u digitalnom obliku ima značajnu prednost u odnosu na analogni prenos, jer je manje osetljiv na šum. U slučaju da se prenos na daljinu vrši u digitalnom obliku, tj. ako se na daljinu prenosi signal dobijen posle A/D konverzije mogu da se uoče sledeći glavni problemi:

- Pošto se radi o prenosu naponskog signala postoji problem slabljena signala;
- Linija za prenos zbog postojanja kapacitivnosti i induktivnosti ponaša se kao filter što dovodi do degradacije digitalnog signala, što u kombinaciji sa prethodno pomenutim slabljenjem može da dovede do degradacije signala pa i do njegovog potpunog gubitka;
- Signal na izlazu A/D konvertora je predstavljen određenim brojem binarnih cifara, što znači da za prenos svake od njih treba obezbediti posebnu liniju/žicu, značajno utiče na cenu koju treba platiti da bi se obezbedio paralelan prenos svih bitova.

Da bi se iskoristile dobre osobine prenosa informacija u digitalnom obliku, a usput eliminisali neki nedostaci najčešće se prenos umesto paralelnog prenosa više bitova vrši po serijskom principu bit – po – bit. Na taj način se postižu uštede u pogledu broja kablova za prenos signala, ali se smanjuje efektivna brzina prenosa, jer dok je kod paralelnog prenosa za prenos, npr. n bitova potreban jedan vremenski interval, kod serijskog prenosa potrebno n vremenskih intervala. Mogućnosti digitalnog serijskog prenosa su uticale da se razviju različiti interfejsi, koji su postali standardi za ovu vrstu prenosa. Najpoznatiji od ovih standarda su:

- RS – 232;
- RS – 422/485.

Iskustva u primeni pomenutih standarda uticala su na definisanje širokog spektra komunikacionih magistrala za prenos digitalnih signala u industrijskim uslovima, poznatih pod zajedničkim nazivom **Field Bus**. Najpoznatije komunikacione magistrale tog tipa su:

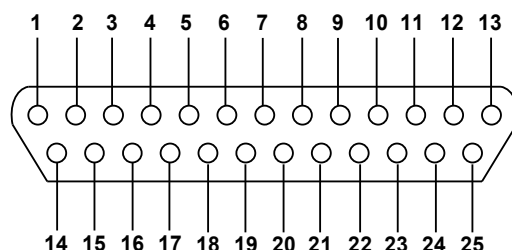
- ProfuBus;
- ModBus;
- CAN

RS – 232

Radi se o standardu koji definiše digitalnu, serijsku komunikaciju između tzv. DTE (Data Terminal Equipment) i DCE (Data Communication Equipment) uređaja. Prvobitno je bio zamišljen za povezivanje računara i terminala, koji predstavljaju DTE uređaje sa modemima, kao DCE uređajima za potrebe povezivanja sa, u to vreme skupim centralnim računarima. Standardom su definisane električne karakteristike, raspored signala i konektori preko kojih se ostvaruje povezivanje uređaja. Standard je definisala EIA (Electronic

Industries Association) asocijacija i danas se koristi varijanta standarda pod oznakom RS – 232C, što ukazuje da se radi o trećem izdanju pomenutog standarda.

Osnovni standard za povezivanje uređaja kod RS – 232 interfejsa predviđa korišćenje tzv. DB25 konektora, kao što je prikazano na slici 1.10. Raspored signala po kontaktima konektora dat je u tabeli 1.2.



Slika 1.10 Izgled konektora DB25

Razlikuju se tzv. “muški” konektori kod kojih se kontakti ostvaruju preko nožica (pin) i “ženski” konektori kod kojih se kontakti ostvaruju preko rupica (socket). “Muški” konektori se uvek nalaze na DTE uređajima (računari), a “ženski” konektori se uvek nalaze na DCE uređajima, npr. modemu.

Tabela 1.2 Raspored signala na RS – 232 konektoru

1	Zaštitno uzemljenje	14	Transmit Data (2)
2	Transmit Data	15	Transmitter Clock (DCE)
3	Receive Data	16	Receive Data (2)
4	Request to Send	17	Receiver Clock
5	Clear to Send	18	
6	Data Set Ready	19	Request to Send (2)
7	Signalna masa	20	Data Terminal Ready
8	Data Carrier Detect	21	Signal Quality Detector
9	Test pin	22	Ring Indicator
10	Test Pin	23	Data Signal Rate Indicator
11		24	Transmitter Clock (DTE)
12	Data Carrier Detect (2)	25	
13	Clear to Send (2)		

Danas se za prenos signala prema RS – 232 standardu češće koristi samo 9 signala, korišćenjem DB9 konektora, iako je komunikacija moguća i sa samo 3 signala. Signali koji se koriste pri 9 – signalnoj komunikaciji dati su u tabeli 1.3.

Tabela 1.3 Raspored signala na DB9 konektoru

1	Data Carrier Detect (DCD)
2	Receive Data (Rx)
3	Transmit Data (Tx)
4	Data Terminal Ready (DTR)
5	Masa
6	Data Set Ready (DSR)
7	Request to Send (RTS)
8	Clear to Send /CTS)
9	Ring Indicator (RI)

Svi signali mogu da se podele u dve grupe:

- Podaci (Tx i Rx);
- Kontrolni signali.

Signali podataka koriste binarna stanja, a kontrolni logička stanja. U električnom pogledu RS – 232 standard propisuje korišćenje napona u opsegu od -12V do +12V iako se tolerišu i

naponi u opsegu od -15V do +15V. Naponski nivoi iznad +3V smatraju se binarnom "0", odnosno logičkom "1". S druge strane naponski nivoi ispod -3V smatraju se binarnom "1" odnosno logičkom "0". Ovakvim izborom napona dobijeno je široko zaštitno područje (-3V do +3V) u kome signali imaju nedefinisana stanja.

U pogledu brzine prenosa standar RS – 232 omogućava brzine do 20kbps (tačnije 19200bps – bita u sekundi). Maksimalno rastojanje na koje signali mogu da budu preneti je 15m (50feet).

RS – 485

RS – 232 metod serijske komunikacije je svakako najpoznatiji interfejs ovog tipa, jer je implementiran na skoro svim današnjim računarima. Međutim, neka od njegovih ograničenja uticala su da neki drugi serijski intefejsi postanu interesantni. Osnovno obeležje RS – 232 standarda je da on omogućava povezivanje jednog DTE uređaja sa jednim DCE uređajem maksimalnom brzinom od 20kbps na maksimalno rastojanje od 15m. Ovo je bilo zadovoljavajuće u vremenu kada su skoro svi računari sa udaljenim uređajima bili povezivani putem modema. Međutim, danas su potrebni intefejsi koji imaju jednu ili više od sledećih karakteristika:

- Povezivanje DTE uređaja direktno bez modema;
- Povezivanje više DTE uređaja u mrežnu strukturu;
- Mogućnost komunikacije na veća rastojanja;
- Mogućnost komuniciranja većom brzinom.

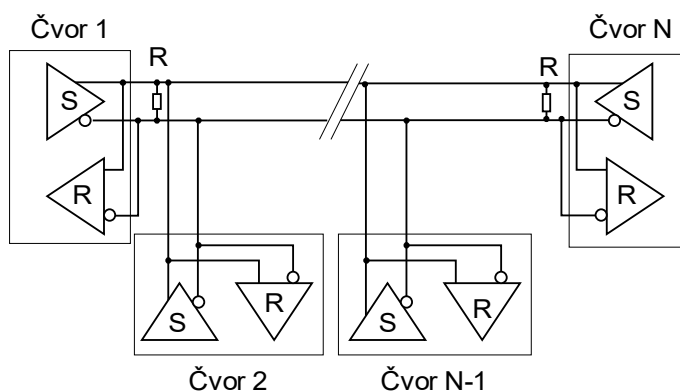
RS – 485 je komunikacioni standard, definisan od strane EIA asocijacije, koji dobro podržava sva četiri prethodna zahteva. Zbog toga je RS – 485 danas široko korišćeni komunikacioni standard u akviziciji podataka i upravljačkim aplikacijama kod kojih više čvorova međusobno komunicira.

Jedan od glavnih nedostataka RS – 232 interfejsa je nedostatak otpornosti na šum duž prenosne linije. Predajnik i prijemnik kod ovog interfejsa signale podataka i potvrđivanja računaju u odnosu na zajedničku referentnu liniju. Zbog toga promene referentnog nivoa (ground level) mogu da imaju katastrofalne posledice. Da bi se to ublažilo nivo na kome dolazi do promene značenja signala kod RS – 232 intefejsa je postavljen relativno visoko na $\pm 3V$. Ipak šum relativno lako može da pređe ovu granicu, što ograničava maksimalno rastojanje na koje signal može da se prenese i maksimalnu brzinu komunikacije. Suprotno ovome RS – 485 interfejs ne poseduje zajedničku referentnu liniju u odnosu na koju se određuju signali. Zbog toga nekoliko volti razlike u referentnim nivoima na strani predajnika i prijemnika (ground level) neće da izazove nikakve probleme. Signali kod RS – 485 „plivaju“ i svaki signal se prenosi preko **Sig+** i **Sig-** linije. Predajnik u okviru RS – 485 interfejsa poredi naponske razlike između ovih linija umesto apsolutnih naponskih nivoa na signalnim linijama, čime se izbegava postojanje petlji po referentnim linijama (ground loops), koje su osnovni izvor problema pri komunikaciji. Najbolji rezultati se postižu ako su Sig+ i Sig- linije dodatno realizovane kao upredene parice. Diferencijalni signali i upredene parice omogućavaju da se korišćenjem RS – 485 može komunicirati na znatno veće rastojanje nego što je to bilo moguće korišćenjem RS – 232. Korišćenjem RS – 485 može da se komunicira na rastojanja do 1200m. Diferencijalne signalne linije takođe omogućavaju veće brzine komuniciranja. Zahvaljujući tome današnji RS – 485 interfejsi su tako projektovani da mogu da omogućе brzine od 35Mbps. Međutim, RS – 232 interfejs ima jednu prednost u odnosu na RS – 485. S obzirom da se kod njega koriste odvojene linije za slanje i prijem podataka, što omogućava da komunikacija korišćenjem ovog interfejsa može biti full – duplex. Zahvaljujući tome sa dobro napisanim softverskim protokolom za komunikaciju RS – 232 može da obezbedi veću efektivnu brzinu prenosa podataka od drugih interfejsa pri istoj brzini prenosa bitova.

Mogućnost realizacije rada u mreži je glavni razlog što je RS – 485 danas najčešće korišćeni interfejs među svim sličnim interfejsima koji omogućavaju serijsku komunikaciju

između uređaja. On je jedini interfejs koji omogućava međusobnu komunikaciju više predajnika i prijemnika u istoj mreži. Korišćenjem standardnog RS – 485 prijemnika sa ulaznom otpornošću od $12k\Omega$ moguće je formirati mrežu od 32 uređaja. Savremeni RS – 485 prijemnici sa viskom ulaznom otpornošću dozvoljavaju da se ovaj broj uređaja proširi do 256. Povećanje broja uređaja u RS – 485 mreži i na nekoliko hiljada može da se ostvari korišćenjem RS – 485 pojačavača (repeater). Pri tome mreža može da bude raširena i na više kilometara. Takođe je važno naglasiti da softverska podrška RS – 485 interfejsu nije mnogo komplikovanija u odnosu na onu potrebnu za rad RS – 232 interfejsa. Sve je to uticalo da RS – 485 interfejs bude jako popularan kod realizacije komunikacije između računara, PLC (Programmable Logic Controllers), mikrokontrolera i inteligentnih senzora u naučnim i tehničkim primenama.

Na slici 1.11 prikazan je opšti izgled mrežne topologije baziran na RS – 485 interfejsu. Da bi se ostvarile veće brzine i komunikacija na veća rastojanja neophodno je postavljanje terminacionih otpornika na oba kraja prenosne linije da bi se eliminisale refleksije. Vrednost ovih otpornika treba da bude 100Ω . RS – 485 mreža mora da bude projektovana kao linijska topologija, a ne kao topologija tipa zvezda.



Slika 1.11 RS – 485 mreža

Na kraju treba se upoznati sa funkcionalnošću RS – 485 interfejsa. Inicijalno, svi predajnici (S) na RS – 485 magistrali se nalaze u tri – state satnju visoke impedanse. U praksi jedan od čvorova je definisan kao „gazda“, koji šalje zahteve ili komande preko RS – 485 magistrale. Svi drugi čvorovi primaju ove podatke. Zavisno od toga kakva je informacija poslata, više čvorova ili nijedan od njih koji su povezani na liniju odgovara „gazdi“. Takođe postoje i druge implementacije RS – 485 mreže kod kojih svaki čvor može da startuje svoju sopstvenu sesiju prenosa podataka. Kod ove mreže je veoma važna činjenica da predajnik ne mora eksplicitno da isključuje RS – 485 drajver, jer se on automatski vraća u stanje visoke impedanse nekoliko milisekundi pošto pošalje podatke. Zbog toga nije potrebno da postoji kašnjenje između paketa koji se šalju preko RS – 485 magistrale. Inače RS – 485 se koristi kao električni nivo kod mnogih poznatih standarda za povezivanje uključujući Profibus i Modbus. Shodno tome očekuje se da će RS – 485 interfejs biti korišćen još dugo vremena.

Problemi akvizicije podataka

U prethodnim sekcijama ukazano je na okvire u kojima se realizuje proces upravljanja procesima sa aspekta primene digitalnih računara. Pri tome je najveća pažnja posvećena akviziciji podataka na bazi koje se realizuje upravljanje, a koja u sebe uključuje:

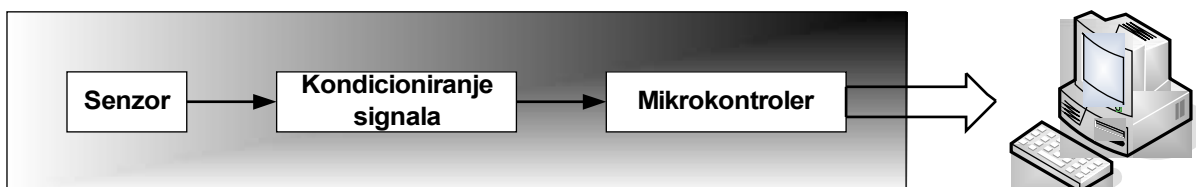
- Identifikaciju vrednosti fizičkih veličina, koje određuju proces kojim se upravlja. Ovaj proces podrazumeva korišćenje odgovarajućih **senzora**, tj. uređaja koji mere fizičke veličine i omogućavaju da izmerena vrednost bude čitljiva od strane posmatrača ili drugog uređaja;

- Izražavanje izmerenih vrednosti u obliku vrednosti električnih veličina (napon, struja, otpornost, itd.) koje su neophodne za realizaciju elektronski i računarski baziranog upravljanja. U slučaju da se na izlazu senzora ne dobija direktno električni signal neophodno je primeniti postupak pretvaranja izmerene vrednosti u vrednost analogne električne veličine. Takvi uređaji su poznati pod nazivom **pretvarači** (transducers);
- Prenos dobijenog električnog signala od mesta gde je generisan kao mera posmatrane fizičke veličine do mesta gde se realizuje upravljanje. Pri tome se postavljaju pitanja, kao što su: koliko je rastojanje na koje se mogu preneti signali; kakva je osetljivost prenošenih signala na šum, itd.;
- U slučaju računarski podržane akvizicije podataka odnosno upravljanja neophodno je izvršiti digitalizaciju analognih električnih signala da bi mogli da budu procesirani od strane računara. Pošto digitalizacija analognih električnih signala podleže Nikvistovom kriterijumu u slučaju veoma brzih signala postavlja se pitanje mogućnosti da računar izvrši sve operacije u intervalu uzimanja dva uzorka analognog signala i njihove digitalizacije.
- U opštem slučaju upravljanje udaljenim objektima i odgovarajuća akvizicija podataka podrazumevaju da na mestu objekta kojim se upravlja postoje odgovarajući senzorski, pretvarački i komunikacioni uređaji koji treba da obezbede merenje fizičkih veličina i njihovo prosleđivanje do mesta gde se vrši njihova akvizicija i realizuje zakon upravljanja. U principu izvori parametara na kojima se bazira upravljanje mogu da budu distribuirani na širokom prostoru, zbog čega se postojanje udaljenog upravljačkog sistema nameće kao imperativ. Senzorski, pretvarački i komunikacioni uređaji zahtevaju odgovarajuće električno napajanje što zbog potrebe obezbeđenja električne energije na udaljenim lokacijama može predstavljati značajan problem.

Nabrojani problemi zahtevaju da se problemu akvizicije podataka sa udaljenih objekata u sistemima upravljanja na daljinu posvećuje posebna pažnja. Pošto se ovakvi sistemi po pravilu realizuju u sredinama gde je nivo šuma veliki, kao bolje rešenje nameće se prenos signala u digitalnom obliku, a to znači da se A/D konverzija mora izvršiti na mestu merenja. Takođe prostorna distribuiranost mernih tačaka zahteva izradu odgovarajuće komunikacione infrastrukture. U tom pogledu digitalizacija mernih signala na mernoj strani pogoduje primeni savremenih digitalnih bežičnih komunikacija. Međutim, problem napajanja udaljenih mernih komunikacionih stanica i velika potrošnja, na koju posebno utiče potrošnja radio predajnika nameću kao ideju da se značajan deo obrade podataka vrši na mernoj strani, a da se samo onda kada je neophodno podaci prenose na upravljačku stranu sistema. Ovakav pristup uticao je na razvoj specijalizovanih uređaja koji na strani gde se vrši identifikacija praćenih fizičkih veličina omogućavaju njihovo merenje korišćenjem odgovarajućih senzora, pretvaranje u analogni električni signal, njegovo kondicioniranje, digitalizaciju i primarnu obradu odnosno distribuciju digitalnih podataka do sistema gde se mogu koristiti. Ovakvi uređaji poznati su kao inteligentni senzori.

Inteligentni senzori

Jedan od najvažnijih napredaka u oblasti automatskog upravljanja predstavlja razvoj i primena tzv. **inteligentnih** ili **pametnih senzora**. S obzirom da je ovaj udžbenik posvećen inteligentnim sensorima neophodno je da se oni definiše. Kao početna definicija ovog pojma može da posluži ona po kojoj se pod inteligentnim sensorima podrazumevaju merni instrumentacioni uređaji koji su upravljani od strane mikroprocesora ili mikrokontrolera i poseduju karakteristike kao što su mogućnost komunikacije i sopstvene dijagnostike, koja obezbeđuje informacije za sistem monitoringa procesa i/ili operatera sa ciljem povećanja operacione efikasnosti i redukovanja cene opsluživanja. Shodno tome blok dijagram inteligentnog senzora može da se prikaže kao na slici 1.12.



Slika 1.12 Inteligentni senzor

Mikrokontroler se tipično koristi za digitalno procesiranje signala (npr. digitalno filtriranje), analognu/digitalnu konverziju, razna izračunavanja i povezivanje sa okruženjem. Za potrebe povezivanja sa okruženjem mikrokontroleri mogu da bud kombinovani ili nadgrađeni sa standardnim uređajima za povezivanje. Pri tome mnogi mikrokontroleri mogu da sadrže i različite magistrale koje su pogodne za komunikaciju na kraća rastojanja, kao što je **I2C Bus** (Prilog 8.1) ili serijske intefejse RS – 232/RS – 485 za komunikaciju na relativno velika rastojanja.

Bitna razlika između običnih senzora i inteligentnih senzora je u njihovim inteligentnim svojstvima, koja podrazumevaju posedovanje funkcija samodijagnosticiranja (self – diagnostics), samoidentifikacije (self – identification) ili samoadaptacije (self – adaptation). Po pravilu ove funkcije implementira „ugrađeni“ mikrokontroler ili digitalni signal procesor (DSP). Dodavanje novih funkcija i mogućnost modifikovanja njihovih performansi su glavne prednosti inteligentnih senzora. Shodno tome inteligentni senzor se može prilagođavati mernom procesu sa aspekta optimizacije maksimalne tačnosti, brzine i potrošnje energije.

Danas postoje mnogi različiti tipovi inteligentnih senzora. Brz napredak tehnika projektovanja VLSI (Very Large Scale Integrated) kola obezbedio je tehnološku bazu za realizaciju inteligentnih senzora i otvorio put ka dobijanju integrisanih senzora prilagođenih različitim namenama, koji istovremeno zadovoljavaju zahteve u pogledu performansi, veličine i cene. Time se stvara mogućnost integrisanja senzora i elektronskih kola i realizacija kompletnog sistema za akviziciju podataka kao jedinstvenog integrisanog kola. Pri tome glavni problem fabrikacije jednog ovakvog kola predstavlja pitanje kompatibilnosti njegovih elemenata, kao što su senzor, odgovarajuća analogna mikro kola i digitalna kola za spregu i razvoja odgovarajućeg procesa za njihovu integraciju. U principu takav proces može da se razvije, ali je veoma skup tako da samo veliki broj proizvedenih kola može da opravda cenu razvoja. Da bi neki projekat integrisanog senzora mogli da smatramo uspešnim on mora da ima prihvatljivu složenost i da bude primenljiv u širokom opsegu merenja. Tehnologija koja se zove Micro Electro Mechanical System (MEMS) omogućava minijaturizaciju senzora i u isto vreme integraciju senzorskih elemenata sa mikroelektronskim funkcijama na minimalnoj površini. Ova tehnologija pored poboljšanja funkcionalnosti i minijaturizacije senzora takođe omogućava proizvodnju senzora velikog obima uz poboljšanje odnosa cena – performanse.

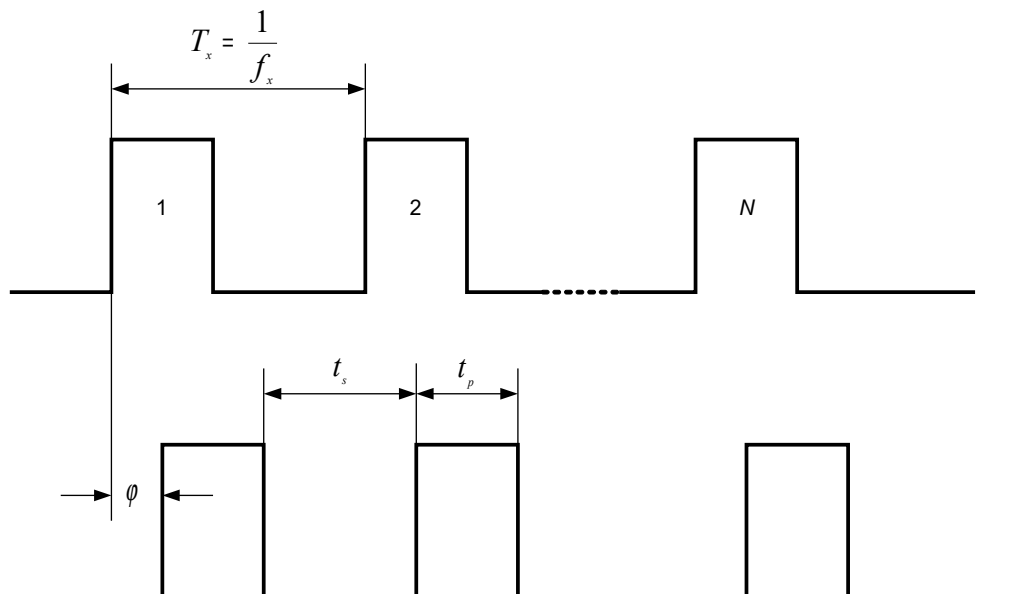
Implementacija mikrokontrolera na istom integrisanom kolu zajedno sa senzorskim elementom i kolima za kondicioniranje signala je elegantno i poželjno inženjersko rešenje. Međutim, primenom tzv. hibridnih inteligentnih senzora mogu da se postigne značajan nivo tehničkih i metroloških performansi i da se dobije uređaj za kraće vreme bez korišćenja skupih CAD alata. Hibridni inteligentni senzori umesto realizacije uređaja na jedinstvenom integrisanom kolu podrazumevaju realizaciju senzorskog elementa i elektronskih kola u okviru istog kućišta.

Jedan od značajnih aspekata oblasti inteligentnih senzora podrazumeva korišćenje tzv. frekventno/vremenskih senzora. Ovakvi senzori su bazirani na fenomenima rezonancije i promenljivim oscilatorima kod kojih se informacija ne predstavlja amplitudom, već frekvencijom ili vremenskim parametrima izlaznog signala. Ovi senzori imaju:

- Frekvenciju (f_x);

- Periodu ($T_x = \frac{1}{f_x}$);
- Širinu impulsa – pulse width (t_p);
- Širinu pauze – spacing interval (t_s);
- Odnos signal/perioda – duty cycle ($\frac{t_p}{T_x}$);
- Vremenski odnos – off – duty factor ($\frac{T_x}{t_p}$);
- Broj impulsa (N);
- Fazni pomeraj – phase shift (ϕ);
- Vremenski interval (τ)

kao što je prikazano na vremenskom dijagramu na slici 1.13.



Slika 1.13 Informacioni parametri frekventno/vremenskih senzora

Pošto navedeni parametri istovremeno imaju i analogna i digitalna svojstva odgovarajući senzori se još nazivaju i „kvazi digitalni“ senzori. U okviru ovog tipa senzora najbrojniju grupu čine senzor sa frekvencijskim izlazom. Da bi se video značaj ovakvih senzora razmotriće se glavne prednosti senzora sa frekvencijskim izlazima:

- *Velika otpornost na šum.* Frekvencijski senzori omogućavaju postizanje veće tačnosti u poređenju sa analognim sensorima. Ovo svojstvo potiče od velikog imuniteta na šum, jer odgovara frekventnoj modulaciji na koja je osnovna pretpostavka rada frekvencijskih senzora. Frekventni signal se može distribuirati komunikacionim linijama na mnogo veća rastojanja od analognih i digitalnih signala. Takođe za prenos ovakvog signala dovoljne su samo dve linije. U poređenju sa uobičajenim serijskim digitalnim prenosom ovi signali imaju prednost, jer ne zahtevaju nikakvu sinhronizaciju. Frekventni signal je idealan za visoko šumno industrijsko okruženje.
- *Velika snaga izlaznog signala.* Senzorski signali mogu da budu grupisani u šest energetskih domena: *električni, termalni, mehanički, hemijski, radijantni i magnetni.*

Danas je najpoželjniji električni oblik signala. Zbog toga je projektovanje senzora usmereno na razvoj pretvarača koji konvertuju oblike signala različitih energetske domena u neku od veličina iz električnog domena. Sa stanovišta energije blok za prenos signala od izlaza senzora do ulaza pojačavača je najteži za projektovanje u kanalu za prenos mernog signala, jer se na ovom nivou prenose signali veoma male energije. Gubici koji se dese u ovom bloku ne mogu se nadoknaditi nikakvim procesiranjem signala. Izlazna snaga frekvencijskih senzora je po pravilu velika. U ovom slučaju, snaga koja utiče na stabilnost generisane frekvencije zavisi od promene snage u oscilatornoj petlji. Međutim, zbog visokog kvaliteta faktora oscilatorne petlje njegova snaga je velika.

- *Širok dinamički opseg.* Pošto signal ima oblik frekvencije dinamički opseg nije ograničen naponom napajanja i šumom. Zbog toga se lako može postići dinamički opseg preko 100dB.
- *Visoka tačnost frekvencijskih standarda.* Frekvencijske reference, npr. kristalni oscilatori mogu da se naprave da budu stabilnije od naponskih referenci. Ovo se može objasniti na isti način kao informacione karakteristike amplitudno modulisanih i frekventno modulisanih signala.
- *Jednostavnost komunikacije i povezivanja.* Parazitne elektro – motorne sile, tranzientne otpornosti i preslušavanje kanala analognih multipleksera kod analognih senzora povećavaju nivo grešaka. Frekventno modulisani signal nije osetljiv na nabrojane faktore. Multiplekseri kod frekvencijskih senzora i pretvarača su dovoljno jednostavni da ne utiču na pojavu grešaka.
- *Jednostavnost integracije i kodovanja.* Precizna vremenska integracija izlaznih signala iz frekvencijskih senzora može da se realizuje veoma jednostavno. Impulsni brojač je idealan integrator sa neograničenim vremenom merenja. Istovremeno frekvencijski signal može da se procesira korišćenjem mikrokontrolera bez bilo kog dodatnog kola za spregu.

Nabrojane karakteristike čine projektovanje i korišćenje različitih frekventno/vremenskih inteligentnih senzora veoma efikasnim. Uzimajući frekventno/vremenski domen kao polazište može se ukratko prikazati projektovanje inteligentnih senzora.

- *Adaptivnost.* Inteligentni senzori treba da budu adaptivni sa ciljem da se optimizira merni proces. Npr., zavisno od uslova merenja, poželjno se promene u tačnosti merenja da bi se povećala brzina i obratno, a takođe da se menja potrošnja u slučajevima kada velika brzina i tačnost nisu neophodne. Takođe je poželjno da se može podešavati frekvencija kristalnog oscilatora zavisno od temperature okruženja.
- *Tačnost.* Greška merenja treba da bude programabilna. Samo kalibracija će dozvoliti smanjenje sistemskih grešaka, koje su urukovane, npr., netačnošću parametara sistema. Korišćenjem statističkih algoritama omogućava smanjenje slučajnih grešaka, koje su posledica npr., interferencije, šuma ili nestabilnosti.
- *Pouzdanost.*

Univerzalna serijska magistrala

Osnovna ideja Univerzalne serijske magistrale (*Universal Serial Bus – USB*) je izmeštanje sporih uređaja iz računara, tačnije izvan njegovog memorijskog i *U/I* prostora. Komunikacija sa njima se ostvaruje serijski, posredstvom specijalizovanog kontrolera povezanog na *PCI* magistralu, koji koristi samo jedan vektor prekida i jedan skup memorijskih i *U/I* adresa. Svi spoljni uređaji se multipleksiraju preko njega, i ne zahtevaju

dodatne računarske resurse. Na taj način se na *PCI* magistrali otvara dodatni prostor za povezivanje brzih periferija koje opravdavaju korišćenje internih računarskih resursa. U periodu od objavljivanja prve *USB* specifikacije (revizija 1.0, 1996. godine) ovakav koncept je potvrđen u praksi i postao verovatno najperspektivniji način sprežanja brojnih periferija sa računarskim sistemom.

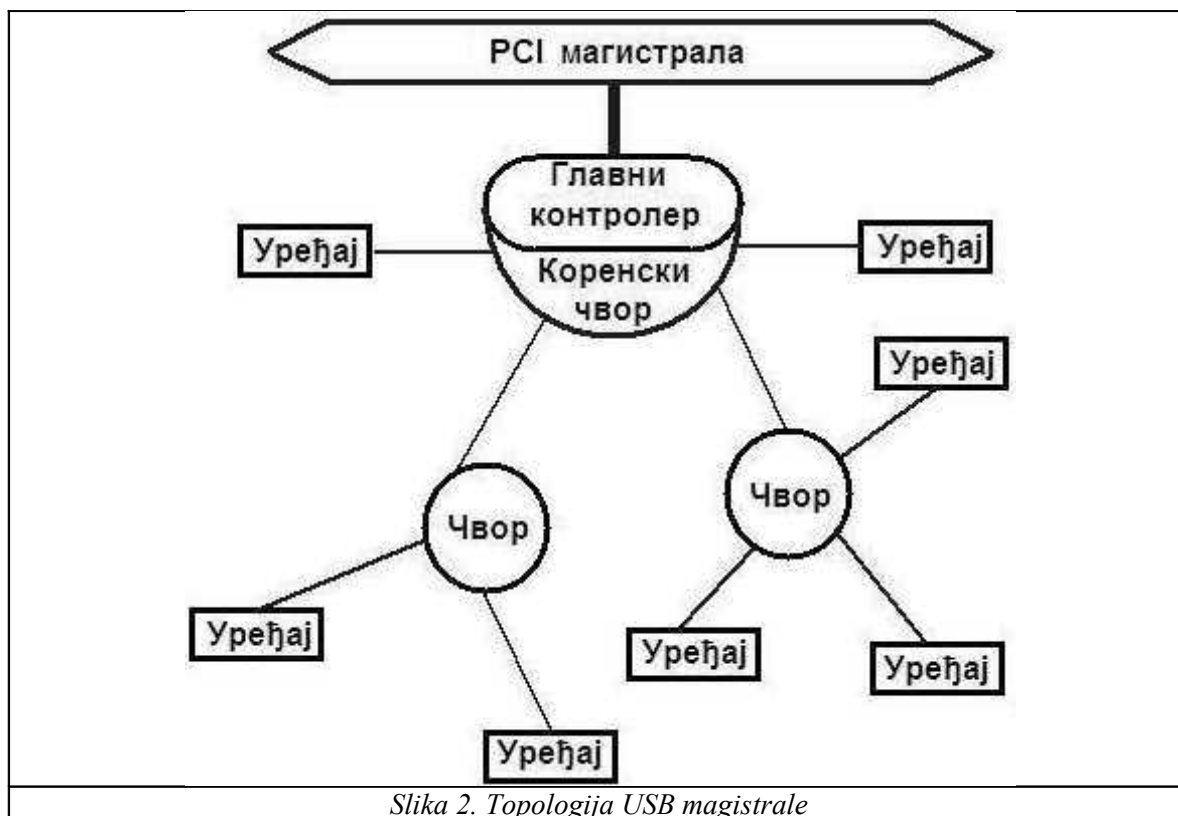
U odnosu na prethodna rešenja koja zamenjuje, *USB* magistrala je mnogo fleksibilnija. Cena koja se pritom plaća je njena interna složenost, pogotovo u delu programskih rukovaoca niskog nivoa. *USB* je deljena serijska magistrala, kod koje se većina inteligentnih sprežnih funkcija izvršava na samom računaru (*Host computer*). Glavni izazov u razvoju serijskih magistrala ovakvog tipa predstavlja povećanje brzine prenosa i propusnosti magistrale. Prvobitno projektovane brzine prenosa od 1.5 Mbit/s i 12 Mbit/s, unapređene su revizijom 2.0 (april 2000. godine) do nivoa od čak 480 Mbit/s.

Osnovne karakteristike *USB* magistrale su sledeće :

- Povezivanje do 127 perifernih uređaja u višestručnoj (multidrop) konfiguraciji.
- Sinhrona komunikacija preko deljene dvožične linije, *NRZI* kodiran diferencijalni signal, dužina kabla jednog *USB* segmenta do 5 m.
- Brzina prenosa 1.5 Mbit/s (spori uređaji), 12 Mbit/s (uređaji pune brzine) i 480 Mbit/s (uređaji visoke brzine).
- Distribucija napajanja 5 V za uređaje koji troše 100-500 mA uz smanjenje utroška energije u neaktivnom stanju kada se potrošnja smanjuje na oko 500 μ A.
- Automatsko prepoznavanje priključenja nove perifernice i njen nesmetan rad bez potrebe za restartom sistema.
- Četiri režima komunikacije, u skladu sa prirodom perifernih uređaja, uz neophodne mehanizme kontrole grešaka i retransmisije poruka.
- Jedan tip konektora i kablova za povezivanje.

***USB* arhitektura**

2. U okviru *USB* sistema mogu se uočiti sledeće osnovne komponente prikazane na slici



Na vrhu *USB* stabla, direktno povezan sa *PCI* magistralom, nalazi se glavni kontroler (*host controller*) kao osnovna upravljačka jedinica *USB* magistrale. To je jedina komponenta sa kojom sistemska programska podrška direktno komunicira, i koja je zadužena za izvršenje brojnih funkcija razmene podataka preko magistrale. Komunikacija sa *USB* uređajima odvija se na osnovu podataka koji definišu:

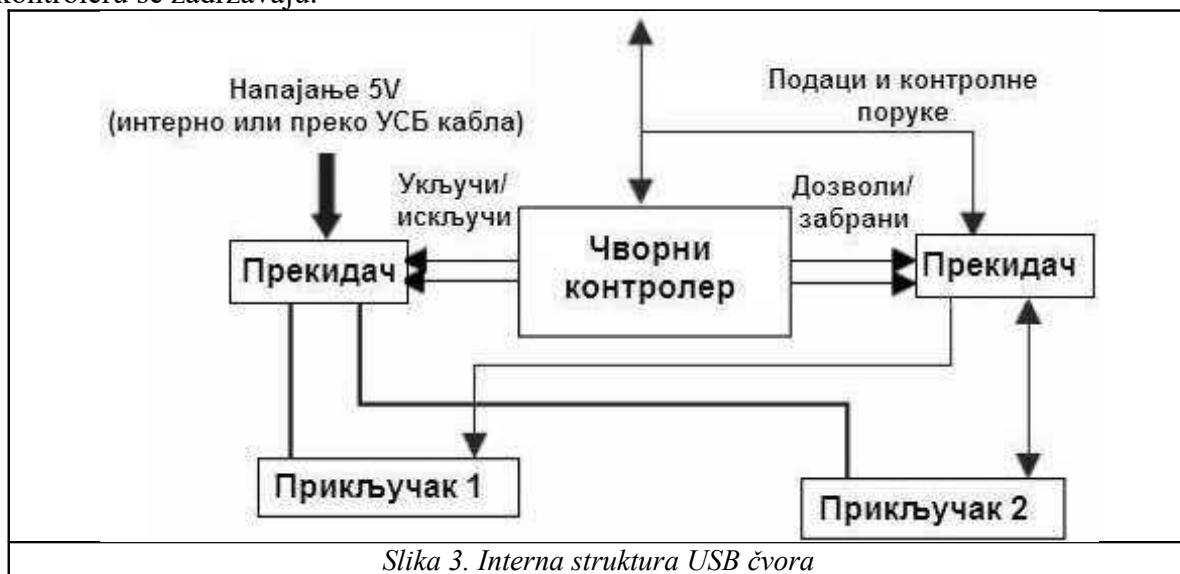
- Adresu *USB* uređaja,
- Tip i smer prenosa podataka,
- Adresu memorijskog bafera rukovaoca uređaja.

Korenski čvor (*root hub*) je osnovni spojni element koji obezbeđuje komunikacijono povezivanje glavnog kontrolera sa uređajima, kao i distribuciju napajanja 5 V ka njima. Na njega se uređaji (*periferijske jedinice*) priključuju direktno, ili posredstvom dodatnih čvorova (*hub*) čime se širi broj priključaka i *USB* struktura. Svaki čvor ima jedan ulazni priključak, orjentisan ka sloju višem u *USB* strukturi, i 2-8 izlaznih priključaka namenjenih za povezivanje uređaja ili dodatnih *USB* čvorova. Osnovna funkcija čvora je realizacija fizičkog prenosa podataka (*serijske sprege na magistrali*). Dodatne funkcije obuhvataju:

- Konverziju brzine prenosa između sporih uređaja i magistrale,
- Dozvolu i zabranu komunikacije preko priključaka, u cilju izolacije uređaja sa različitom brzinom prenosa povezanih na istom čvoru,
- Prepoznavanje priključenja uređaja i detekciju njegovog tipa, tačnije brzine prenosa,
- Kontrolu napajanja na svojim priključcima, što podrazumeva uključivanje/isključivanje napajanja i limitiranje izlazne struje na 500 mA (100 mA za sisteme napajane baterijom),
- Smanjivanje struje napajanja pojedinačnog uređaja na nivo reda 500 μ A, ukoliko je isti neaktivan duže od 3 ms,
- Određivanje i postavljanje statusa (*stanja*) priključka, o čemu se izveštava na upit.

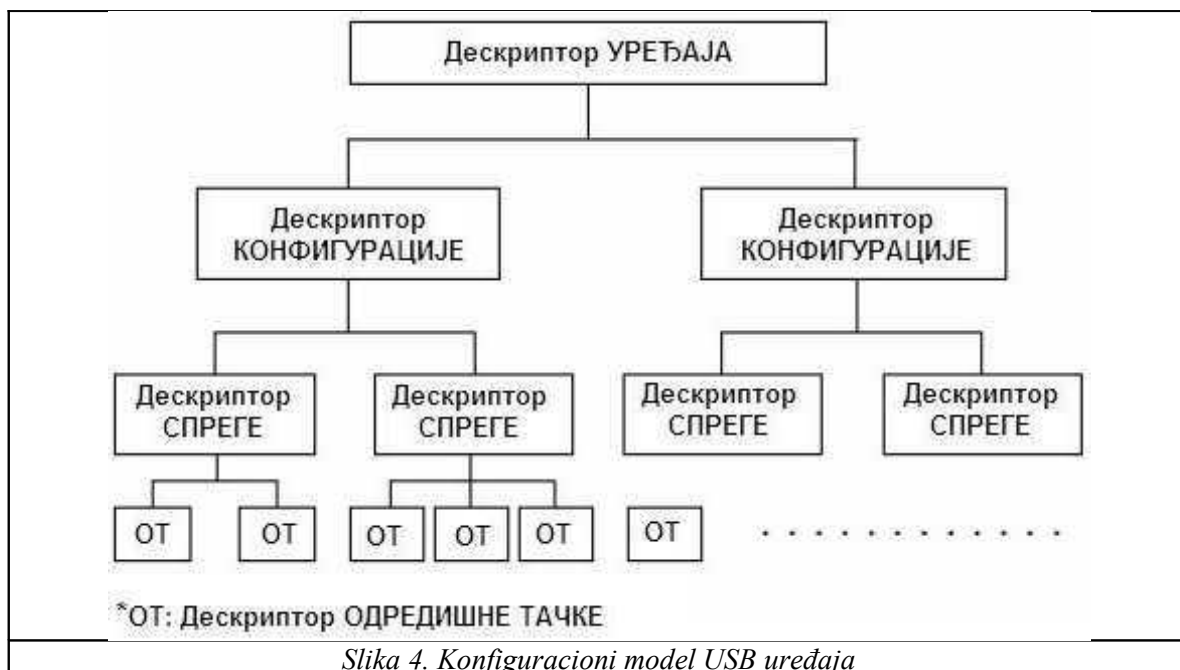
Interna struktura čvora sa dva priključka prikazana je na slici 3. Čvorni kontroler upravlja izvršenjem prethodno navedenih funkcija. Ponavljač (*repeater*) generiše komunikacioni signal na magistrali, tako što vrši transmisiju poruke. Komunikacija se obavlja

preko aktivnih (dozvoljenih) priključaka i to u oba smera. Kontrolne poruke upućene datom kontroleru se zadržavaju.



Periferijski *USB* uređaji su međusobno vrlo različiti u pogledu obima podataka koje je potrebno preneti, kao i pri tome prisutnim vremenskim ograničenjima (dozvoljenim kašnjenjima pre svega). S obzirom na deljenu magistralu, *USB* uređaji ne mogu inicirati prenos podataka, već moraju sačekati upit koji generiše glavni kontroler. *USB* specifikacijom definisan je standardan način za opisivanje periferijskog uređaja, tj. njegov *USB* model koji je osnova za povezivanje sa programskim rukovodiocima niskog nivoa. Ovaj model zadaje se deskriptorima različitih nivoa, prikazanim na slici 4.

Deskriptor uređaja čuva pre svega podatke potrebne za komunikaciju sa rukovaocem i operativnim sistemom. Opis se nastavlja definicijom brzine sprege i karakteristikama napajanja, što je u standardu označeno kao konfiguracija uređaja. Deskriptor sprege namenjen je različitim funkcijama (*režimima rada*) istog periferijskog uređaja. Na primer, CD-ROM uređaj različito izvršava funkcije čitanja podataka, muzike (*audio zapis*) i slike (*video*). Konačno, određene tačke (u standardu *end-point*) definišu krajnje podatke o tipovima prenosa, registrima ili krajnjim zonama koje u komunikaciji učestvuju, i sl. Model upotpunjuje deskriptor teksta, kao sprega za ispis određenih poruka krajnjem korisniku, a na raspolaganju je i korisnički (*class-specific*) deskriptor kao pomoć u rešavanju eventualno nepokrivenih varijanti. Pored podataka specifičnih za nivo opisa, svaki deskriptor sadrži i podatke o skupu sadržanih deskriptora nižeg nivoa, tako da se iz programskog rukovaoca lako pristupa svakom od njih.

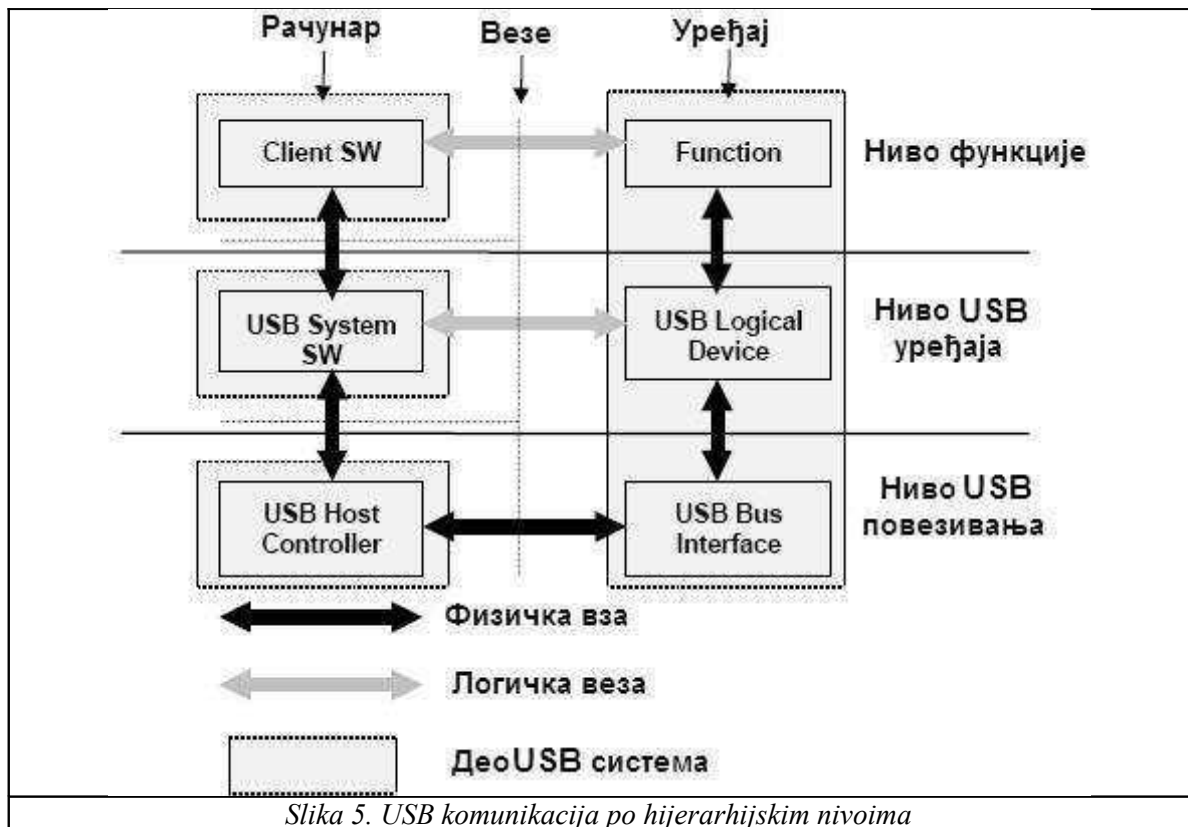


Prilagođenje različitostima perifernih uređaja je podržano uvođenjem četiri tipa prenosa:

- **Prekidni prenos** (*interrupt transfer*), na osnovu prozivke uređaja na *USB* magistrali imitira prekid na računaru. Ovakav režim rada namenjen je sporim uređajima, poput tastature ili miša, koji ne postavljaju velike zahteve pred sprežni sistem. Osnovne karakteristike ovog načina prenosa su niska učestanost ponavljanja, skroman obim podataka i ograničena (relativno mala) kašnjenja pri prenosu.
- **Masovni prenos** (*bulk transfer*) podrazumeva prenos velikog broja podataka, ali bez vremenske uslovljenosti u pogledu brzine ili periodičnosti. Tipičan primer uređaja koji radi u ovom režimu je štampač, kome se šalju masovni podaci, ali eventualna kašnjenja u prenosu podataka ne nanose štetu. Zato se paketi podataka mogu slati u momentima kada je magistrala rasterećena, a zadržani dok se ona ne oslobodi.
- **Izohroni prenos** (*isochronous transfer*) je orijentisan ka najzahtevnijim periferijama koje zahtevaju prenos podataka velikog obima uz konstantnu periodiku. Tipičan primer su audio/video periferni uređaji gde i malo kašnjenje direktno utiče na kvalitet ili čak onemogućava uslugu. U toku izohronog prenosa, obe strane (predajna i prijemna) moraju biti sinhronizovane u pogledu brzine i kašnjenja.
- **Prenos kontrolnih poruka** (*control transfer*) obuhvata komunikaciju u cilju koordinacije rada, prepoznavanja i inicijalizacije *USB* uređaja, i sl. Dešava se najčešće po priključenju uređaja na *USB* magistralu, nije periodičan i predstavlja niz upit/odgovora koje pokreće sistemska programska podrška. Deo saobraćaja na magistrali vezan je za komunikaciju glavnog kontrolera sa čvorovima.

Tip prenosa definiše različite osobine komunikacionog toka: format poruke, veličinu paketa, smer i redosled prenosa paketa, dozvoljena kašnjenja, pristup magistrali, rukovanje greškama itd.

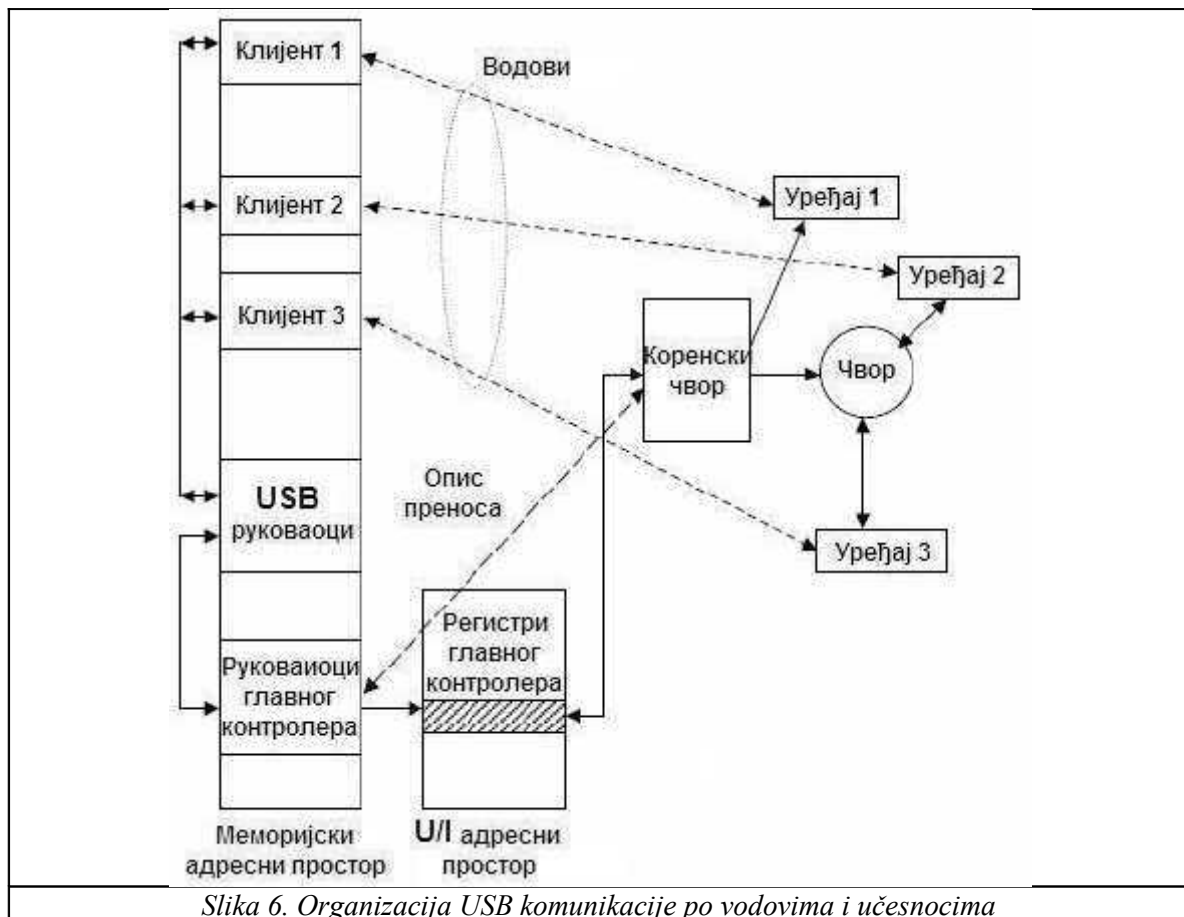
U samoj razmeni podataka učestvuju programske komponente različitog nivoa (slika 5). Klijentska programska podrška (*Client SW*) posredstvom uslužnih funkcija operativnog sistema komunicira isključivo sa *USB* sistemskom podrškom, i ne zna mehanizme slanja/prijema poruka preko *USB* magistrale. *USB* sistemska podrška, koju čine rukovaoc *USB* uređaja i rukovaoc glavnog kontrolera, prenosi zahteve do glavnog kontrolera koji započinje njihovo izvršenje. Na strani *USB* uređaja, potrebno je obezbediti funkcije koje odgovaraju na primljene standardizovane upite.



Slika 5. USB komunikacija po hijerarhijskim nivoima

Komunikacija se fizički odvija uvek između glavnog kontrolera i adresiranog uređaja. Logički posmatrano, prenos podataka se dešava između neke određene tačke na uređaju, i memorijskog bafera programskog rukovodioca. Ovakva logička konekcija označena je kao vod (*message pipe*) i ona se uspostavlja za svaku određenu tačku. Karakteristike voda uspostavljene pri njegovom formiranju ostaju nepromenjene u toku njegovog trajanja. Slanje preko voda inicira rukovaoc *USB* uređaja posredstvom strukturer *IRP* (*I/O Request Packet*), na osnovu koje rukovaoc glavnog kontrolera formira sekvencu transakcija koje izvršava glavni kontroler. *USB* rukovaoc sprečava konkurentno slanje više zahteva na jedan vod, pre nego što se tekući zahtev završi. Specifikacijom je potvrđena procedura prekida izdatih zahteva usled prekida komunikacije. Transakcija se dalje realizuje razmenom niza paketa, od kojih prvi tzv. predznak (*token*) označava početak transakcije, a preostali paketi nose podatke ili kontrolne (*handshake*) informacije. Svaki paket sastoji se od tri polja: identifikatora, informacionog i *CRC* dela.

Slika 6 ilustruje prethodno iznete mehanizme i tok komunikacije između učesnika na *USB* magistrali.



Rukovanje komunikacijom na *USB* magistrali zasniva se na kontrolnom periodu u kome se pokreću sve aktivnosti, a koji se označava kao *ram (frame)*. Za magistrale niske i srednje brzine (1.5 i 12 Mbit/s) ovaj period iznosi 1 ms (*ram*), a za brze magistrale (480 Mbit/s) 125μs (*mikroram*). Pod kontrolom glavnog *USB* kontrolera, u datom vremenu prvo se šalje tzv. *SOF (Start Of Frame)* paket a potom se pokreće jedna ili više transakcija, shodno tipu prenosa i odredišne tačke. Izvršenje izoehnog i prekidnog prenosa se može konfigurisati na svaki *n*-ti *ram*, čime se otvara prostor za ostale uređaje na magistrali. Broj uređaja koji se mogu povezati na magistralu određen je propusnim opsegom magistrale. Kada se on popuni, priključenje novih uređaja se odbija.

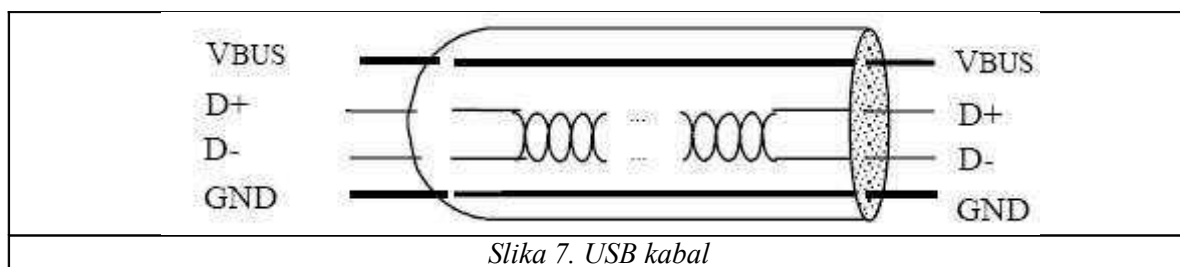
Fizičko okruženje *USB* magistrale

USB specifikacija propisuje minimum mehaničkih i električnih zahteva koje svako kompatibilno rešenje mora zadovoljiti. Na taj način obezbeđeno je međusobno uklapanje komponenti velikog broja različitih proizvođača, pa samim tim i široka primenljivost univerzalne serijske magistrale.

Mehanički deo specifikacije definiše karakteristike konektora tipa A i tipa B, lociranih na čvoru i *USB* uređaju. Različitost ovih konektora onemogućava pogrešno povezivanje uređaja i čvora usled obrtanja kabla.

USB kabal ima četiri žile, dve za napajanje i dve signalne (za komunikaciju). Signalne žile su upredene u paricu (slika 7). Standardan *USB* kabal je oklopljen, dug do 5 m i može se koristiti za sve brzine prenosa. Specifikacijom su propisane njegove mehaničke i električne

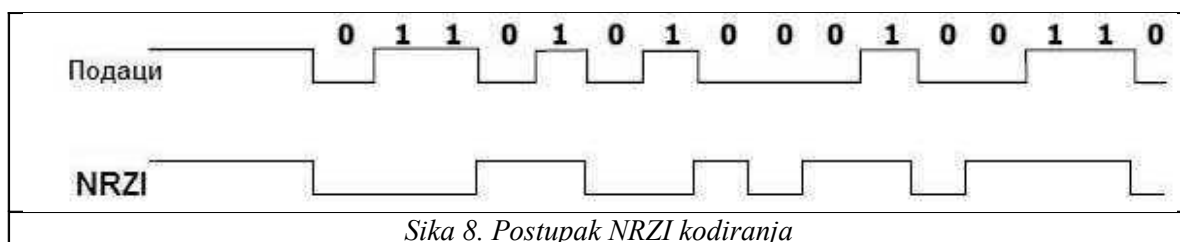
osobine, poput njegove kompozicije, izbora materijala, promera žila i kabla, kapacitivnosti i sl. Spori uređaji se mogu povezati jednostavnijim kablom koji nije oklopljen i ne mora imati signalne žile upredene u paricu. Ovo je značajno za uređaje poput miša ili tastature, koji moraju imati što mekši i fleksibilniji kabal.



Slika 7. USB kabal

Postizanje velikih brzina prenosa preko ovako jednostavnog kabla zahteva primenu sinhronne komunikacije, diferencijalnog serijskog signala i tehnike *NRZI* kodiranja.

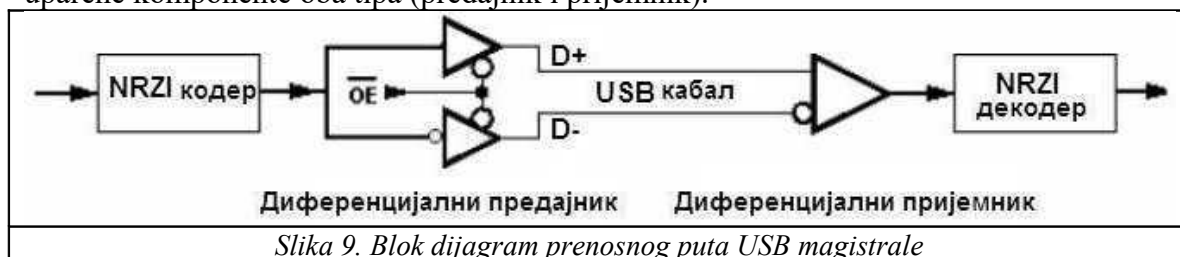
NRZI (*Non Return to Zero - Inverted*) je poznata metoda za utiskivanje takta u signal koji se prenosi, te stoga nije potreban prenos komunikacionog takta preko posebnih žila. U *NRZI* nizu, promenom *NRZI* signala se kodira vrednost 0 bita izvorne poruke. Vrednost 1 u poruci ne izaziva promenu *NRZI* izlaznog signala. Pri tome se između dva uzastopna bita poruke električni signal ne vraća na 0. Slika 8 ilustruje postupak *NRZI* kodiranja serijskih podataka.



Slika 8. Postupak NRZI kodiranja

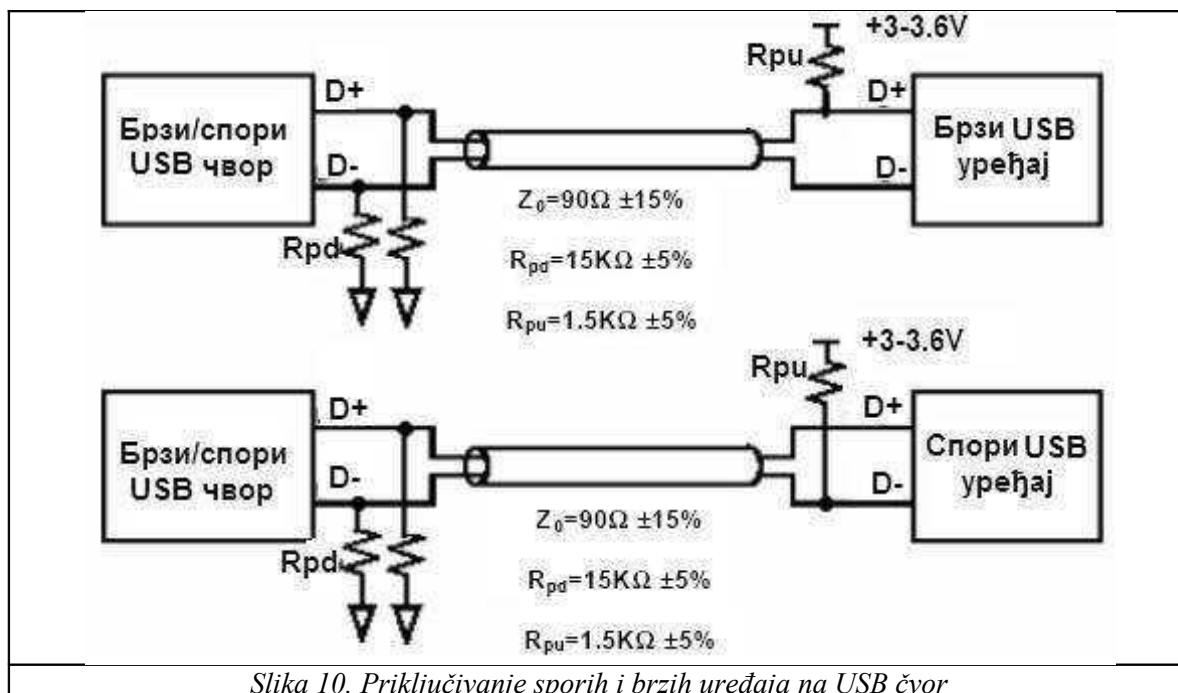
Promene *NRZI* signala dozvoljavaju ekstrakciju takta na prijemnoj strani. Ukoliko se u originalnoj poruci pojavi niz jedinica (1111...11), promene *NRZI* signala izostaju. Stoga je potrebna korektivna logika, koja se zasniva na brojanju uzastopnih jedinica u izvornom nizu. Posle 6 uzastopnih jedinica se ubacuje 0, čime se obezbeđuje promena *NRZI* signala posle 6 taktova bez promene. Ovaj postupak se označava kao popunjavanje bita (*bit stuffing*), i na prijemnoj strani zahteva inverzni postupak detekcije i odstranjivanja umetnute 0.

Pobudna kola za serijsko povezivanje *USB* komponenti formiraju diferencijalni serijski signal, koji je prilagođen visokim brzinam prenosa na magistrali. Prenos *USB* serijskog signala u jednom pravcu prikazan je na slici 9. Slanje vrši diferencijalni predajnik sačinjen od dva CMOS bafera, upravljana kontrolnim signalom dozvole izlaza (*OE – Output Enable*). Zbog deljenog prenosnog puta na magistrali, neaktivni predajnici se postavljaju u stanje visoke impedanse. Dvosmerno slanje podataka zahteva na obe strane *USB* segmenta uparene komponente oba tipa (predajnik i prijemnik).



Slika 9. Blok dijagram prenosnog puta USB magistrale

Dodatna funkcija sprežnog *USB* podsistema je vezana za prepoznavanje priključenja uređaja na čvor i detekciju njegove brzine. Stoga se spori i brzi uređaji povezuju na magistralu na način prikazan na slici 10.



Slika 10. Priključivanje sporih i brzih uređaja na USB čvor

Na *USB* čvoru su komunikacioni signali D+ i D- preko otpornika Rpd povezani na masu, tako da su oba na niskom nivou kad *USB* uređaj nije priključen. Na strani *USB* uređaja, otpornikom Rpu jedan od signala D+ ili D- povezan je na napon napajanja Vcc. Priključenjem uređaja na čvor, formira se razdelnik napona Rpd/Rpu, te se naponski nivo reda 90% Vcc pojavljuje na ulazu *USB* čvora. Na taj način, kontroler čvora može da prepozna priključeni uređaj, tačnije da pouzdano zna kojom brzinom radi. *USB* specifikacijom propisani su tačni uslovi pod kojima se promena signala registruje kao priključenje ili odspajanje uređaja. U osnovi pad napona ispod 0.8 V označava isključenje, a porast napona iznad 2 V ukazuje na priključenje *USB* uređaja. U oba slučaja, signal mora biti stabilan najmanje 2.5 μ s.